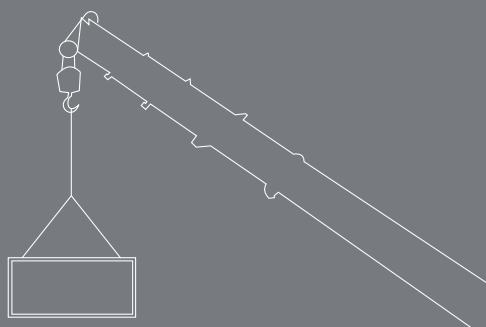
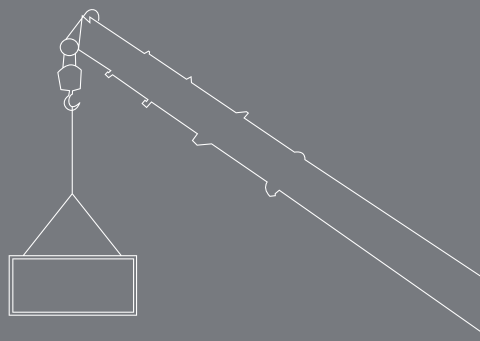


Hogar **Concreto**

Industrialización parcial del hábitat popular para mejorar la eficiencia en el diseño y la construcción de la vivienda social

Universidad Pontificia Bolivariana



Hogar **Concreto**

Hogar Concreto

Industrialización parcial del hábitat popular para mejorar la eficiencia el diseño y la construcción de la vivienda social.

721.04454
R436

Restrepo-Montoya, Alejandro, autor
Hogar concreto. Industrialización parcial del hábitat popular para mejorar la eficiencia en el diseño y la construcción de la vivienda social / Alejandro Restrepo-Montoya, autor – Medellín : UPB, 2020.
400 páginas, 21 x 29,7 cm.
ISBN: 978-958-764-901-7 (versión digital en español)
ISBN: 978-958-764-722-8 (versión digital en inglés)

1. Prefabricados de hormigón – 2. Vivienda popular – Diseño y construcción – 3. Materiales de construcción – I. Título

CO-MdUPB / spa / rda
SCDD 21 / Cutter-Sanborn

© Alejandro Restrepo-Montoya
© Editorial Universidad Pontificia Bolivariana
Vigilada Mineducación

Hogar concreto. Industrialización parcial del hábitat popular para mejorar la eficiencia en el diseño y la construcción de la vivienda social
ISBN: 978-958-764-901-7 (versión digital en español)
DOI: http://doi.org/10.18566/978-958-764-901-7
ISBN: 978-958-764-722-8 (versión digital en inglés)
DOI: http://doi.org/10.18566/978-958-764-722-8
Primera edición, 2020
Escuela de Arquitectura y Diseño
Facultad de Arquitectura

Gran Canciller UPB y Arzobispo de Medellín: Mons. Ricardo Tobón Restrepo
Rector General: Pbro. Julio Jairo Ceballos Sepúlveda
Vicerrector Académico: Álvaro Gómez Fernández
Decana de la Escuela de Arquitectura y Diseño: Juliana Restrepo Jaramillo
Editor: Juan Carlos Rodas Montoya
Coordinación de Producción: Ana Milena Gómez Correa
Corrección de Estilo: Cristian Suárez

Dirección Editorial:
Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 2020
Correo electrónico: editorial@upb.edu.co
www.upb.edu.co
Telefax: (57)(4) 354 4565
A.A. 56006 - Medellín - Colombia

Radicado: 1948-11-02-20

Reservados todos los derechos. Salvo excepción prevista por la ley, no se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin la autorización previa de la Editorial Universidad Pontificia Bolivariana y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos conlleva sanciones legales y puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

Fakultät für Architektur / Lehrstuhl für Baukonstruktion und Baustoffkunde - EBB

Name der promotionsführenden Einrichtung

Concrete Home: Betonfertigteile als Weg, die Effizienz in Entwurf und Konstruktion sozialer Wohnbauprojekte in Antioquia zu verbessern

Concrete Home: Precast Concrete to improve Efficiency in the Design and Construction of Social Housing for Antioquia

Titel der wissenschaftlichen Abhandlung

Omar Alejandro Restrepo Montoya

Vorname und Name

Vollständiger Abdruck der von der promotionsführenden Einrichtung
Fakultät für Architektur / Lehrstuhl für Baukonstruktion und Baustoffkunde - EBB
der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)
genehmigten Dissertation.

Vorsitzende/-r: Prof. Dr.-Ing. Thomas Bock

Prüfende/-r der Dissertation:

1. Prof. Dipl.-Ing. Florian Musso / EBB Lehrstuhl / Fakultät für Architektur / TU München

2. Prof. Hubert Klumpner / Architektur und Städtebau / ETH Zürich

3.

Die Dissertation wurde am 31.01.2018 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die promotionsführende Einrichtung
Fakultät für Architektur / Lehrstuhl für Baukonstruktion und Baustoffkunde - EBB angenommen.

Anhang I

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die bei der promotionsführenden Einrichtung
Fakultät für Architektur / Lehrstuhl für Baukonstruktion und Baustoffkunde - EBB

der TUM zur Promotionsprüfung vorgelegte Arbeit mit dem Titel:
Concrete Home: Betonfertigteile als Weg, die Effizienz in Entwurf und Konstruktion sozialer Wohnbauprojekte in Antioquia zu verbessern

Concrete Home: Precast Concrete to improve Efficiency in the Design and Construction of Social Housing for Antioquia

in Fakultät für Architektur / Lehrstuhl für Baukonstruktion und Baustoffkunde - EBB
Fakultät, Institut, Lehrstuhl, Klinik, Krankenhaus, Abteilung

unter der Anleitung und Betreuung durch: Prof. Dipl.-Ing. Florian Musso ohne sonstige Hilfe erstellt und bei der Abfassung nur die gemäß § 6 Ab. 6 und 7 Satz 2 angebotenen Hilfsmittel benutzt habe.

☒ Ich habe keine Organisation eingeschaltet, die gegen Entgelt Betreuerinnen und Betreuer für die Anfertigung von Dissertationen sucht, oder die mir obliegenden Pflichten hinsichtlich der Prüfungsleistungen für mich ganz oder teilweise erledigt.

☒ Ich habe die Dissertation in dieser oder ähnlicher Form in keinem anderen Prüfungsverfahren als Prüfungsleistung vorgelegt.

☐ Die vollständige Dissertation wurde in _____ veröffentlicht. Die promotionsführende Einrichtung

_____

hat der Veröffentlichung zugestimmt.

☒ Ich habe den angestrebten Doktorgrad noch nicht erworben und bin nicht in einem früheren Promotionsverfahren für den angestrebten Doktorgrad endgültig gescheitert.

☐ Ich habe bereits am _____ bei der Fakultät für _____

_____

der Hochschule _____

unter Vorlage einer Dissertation mit dem Thema _____

_____

die Zulassung zur Promotion beantragt mit dem Ergebnis: _____

_____

Die öffentlich zugängliche Promotionsordnung der TUM ist mir bekannt, insbesondere habe ich die Bedeutung von § 28 (Nichtigkeit der Promotion) und § 29 (Entzug des Doktorgrades) zur Kenntnis genommen. Ich bin mir der Konsequenzen einer falschen Eidesstattlichen Erklärung bewusst.

Mit der Aufnahme meiner personenbezogenen Daten in die Alumni-Datei bei der TUM bin ich

☒ einverstanden, ☐ nicht einverstanden.

Alejandro Restrepo M. .

Medellín (Kolumbien), 30.04.2018, Unterschrift

Hogar Concreto

Industrialización parcial del hábitat popular para mejorar la eficiencia en el diseño y la construcción de la vivienda social.

Autor

Alejandro Restrepo-Montoya
Dr. Ingeniero y Arquitecto, Profesor Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), Facultad de Arquitectura. Medellín, Colombia.
Director Proyectos Urbanos Estratégicos de la Alcaldía de Medellín, Colombia, 2016 – 2020
Embajador Científico del Servicio Alemán de Apoyo Académico (*Deutscher Akademischer Austauschdienst, DAAD*) en Medellín, Colombia.
Coordinador en Colombia del *Urban Transformation Program* ETH Zürich - UPB Medellín

Director

Profesor Florian Musso
Director de la Investigación.
Profesor de la Universidad Técnica de Munich (*Technische Universität Munchen TUM*). Facultad de Arquitectura.
Grupo de Investigaciones en Diseño, Construcción y Ciencia de los Materiales (*Lehrstuhl für Entwerfen, Baukonstruktion und Baustoffkunde EBB*). Munich, Alemania.

Asesor

Profesor Hubert Klumpner
Asesor de la investigación.
Profesor del Departamento de Arquitectura (*Department of Architecture D-ARCH*), Escuela Politécnica Federal de Zurich (*Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zurich*).
Grupo de Investigaciones en Arquitectura y Diseño Urbano (*Architecture and Urban Design*). Zürich, Suiza.

Resumen

Un tercio de la población mundial vive en asentamientos informales.

La vivienda no es hoy un factor igualador: se ha convertido en factor de desigualdad social y económico. El 97% de las viviendas en países en vías de desarrollo no fueron accesibles financieramente para quienes se destinaron, por lo cual no representó un factor de cambio sostenible que promoviera la igualdad (ONU Häbitat, Reporte Mundial de Ciudades, 2016). La vivienda ocupa más del 70% del suelo, proporciona empleo y contribuye al crecimiento. Sin embargo, su sentido facilitador ha fracasado y se ha convertido en factor de desigualdad social y económico (ONU Hábitat, 2018).

El déficit urbano en América Latina y Colombia presenta una proporción del 60% del déficit total, mientras el déficit rural alcanza una proporción del 40% (DANE-Colombia, BID, 2019).

Esta investigación pretende reducir el déficit cuantitativo y cualitativo de la vivienda de interés social urbana y rural en Colombia con casos de aplicación en el departamento de Antioquia mediante un sistema constructivo modular y replicable que aumenta la eficiencia y la calidad habitacional, disminuye el costo total hasta un 15% y el tiempo de construccion hasta un 50% con respecto a los sistemas utilizados convencionalmente. El proyecto desarrolló un nuevo modelo para el diseño y la construcción de viviendas sociales. El primer momento del proceso industrializa la estructura de soporte. Un segundo momento permite que, desde el diseño arquitectónico, el lenguaje y la espacialidad del proyecto, las viviendas se adapten a las condiciones del entorno y a las tradiciones sociales y culturales. Finalmente, en el proceso de ocupación y habitación, las familias pueden transformar sus casas y adaptarlas a sus gustos y necesidades.

Industrializar lo esencial (estructura de soporte)

La vivienda se industrializa parcialmente mediante un sistema estructural de marcos prefabricados en hormigón armado para contextos urbanos y con perfiles metálicos o elementos de madera para contextos rurales sobre topografías planas o inclinadas. Estos marcos estructurales configuran el espacio habitable con plantas libres. En la industrialización de la estructura de soporte se estandarizan los procesos técnicos, se reciclan residuos sólidos de construcción y se reduce la huella de carbono.. Este sistema vincula el diseño estructural con el diseño arquitectónico y puede ser replicable en viviendas, escuelas o proyectos institucionales.

Personalizar lo complementario (elementos no estructurales)

La prefabricación parcial de la estructura de soporte se combina con la participación de la comunidad en procesos de diseño y construcción. Esta condición permite adaptarse al entorno, diversificar el lenguaje arquitectónico y las tipologías de las viviendas de acuerdo con las tradiciones de cada contexto. Los materiales locales se utilizan como elementos no estructurales en la construcción de fachadas y muros interiores, con participación de mano de obra y técnicas del sector, lo cual permite procesos de diseño y construcción cooperativos. Esta condición adapta la vivienda al entorno social, cultural y ambiental, y motiva la participación de diferentes sectores políticos, económicos y sociales en el proceso de planificación, financiación y construcción.

Transformar lo necesario (espacio habitable)

La adaptación de la vivienda a cambios futuros permite crecimientos planificados por autoconstrucción. Una vivienda adaptable a modificaciones de acuerdo con las necesidades de sus habitantes se valoriza en el tiempo y fortalece el patrimonio familiar. Este proyecto se concibe para generar nuevos desarrollos en el territorio y también permite adaptarse a otros usos arquitectónicos como edificios escolares, hospitalarios e institucionales.

La industrialización en obra reduce emisiones, costos de transporte y tiempos de construcción. Los concretos investigados utilizan áridos obtenidos de residuos sólidos de construcción. La prefabricación de la estructura en concreto, metal o madera reduce la emisión de residuos e incorpora procesos constructivos eficientes mediante una producción estandarizada y montajes planificados. La estructura en marcos prefabricados distribuye uniformemente las cargas sobre el terreno y permite que las fundaciones sean superficiales, se minimicen movimientos de tierra y se reduzcan las modificaciones a las topografías originales.

Esta metodología puede ser replicada en Colombia y otros países de América Latina para la reducción del déficit de vivienda social, instituciones educativas, centros de salud y alojamientos transitorios.

A aquellos que han mantenido la esperanza.

"Todos los colombianos tienen derecho a vivienda digna. El Estado fijará las condiciones necesarias para hacer efectivo este derecho y promoverá planes de vivienda de interés social, sistemas adecuados de financiación a largo plazo y formas asociativas de ejecución de estos programas de vivienda".

Constitución Política de Colombia, 1991.
Capítulo II. "De los Derechos Sociales, Económicos y Culturales".

Prefacio

Hace unos años, caminando por la parte baja de New York, se me aproximó un joven para hablarme de cómo la música que he escrito produjo un efecto positivo en su vida. Le pregunté su nombre, de dónde era y qué hacia. Respondió que su nombre es Alejandro, de Medellín, Colombia, a punto de graduarse de arquitectura en una universidad alemana. Este ultimo punto despertó mi curiosidad y comenzamos a conversar sobre la necesidad de crear diseños de vivienda popular, accesibles al sector menos privilegiado económicamente, pero con diseños que estimulasen calidad de vida, distintos a esas "cajetas de fósforos", con una ventana y una puerta, que más que casas parecen celdas de cárcel y que no estimulan un ambiente existencial positivo, ni proveen la privacidad ideal.

Desde ese primer encuentro hemos continuado en contacto. Le indiqué mi deseo de posiblemente aplicar en Panamá la oferta de vivienda desarrollada a través de su tesis doctoral. Y como la letra de mis canciones, que buscan documentar la experiencia de vivir en la ciudad, de igual forma su trabajo servirá para crear una respuesta que produzca efectos positivos, mas allá de su querida ciudad de Medellín, mas allá de las fronteras entre nuestros países, para ser compartida y utilizada por personas que desesperadamente necesitan y reclaman atención.

Quizás algunos consideren que este prólogo resulta un tanto extraño como para incluirlo en una Tesis de grado.

Creo que Alejandro y yo pensamos distinto.

Para impedir el Apocalipsis que crearía la desaparición de la solidaridad humana, nuestro egoísmo suicida y la hegemonía del materialismo por sobre la consideración espiritual, es necesaria la ayuda que justifique el triunfo de nuestros mejores instintos. Y esa colaboración será brindada desde muchas fuentes, por gente de todas las edades y ocupaciones, de todas las naciones del mundo y de todos los sexos y religiones. Nada que se encuentre enmarcado dentro de la consideración hacia un mejor futuro para los demás debe parecernos extraño, ni fuera de lugar.

Te felicito Alejandro, por terminar con disciplina lo que empezaste hace años atrás, lejos de tu patria pero siempre con ella presente, estimulando y justificando tu esfuerzo académico.

Espero la oportunidad de estudiar tu Tesis, publicarla en nuestra pagina web y, Dios mediante, incorporarla a un proyecto social que espero resulte de beneficio, no solo para mi Panamá, sino para toda nuestra América Latina.

Un abrazo,

Rubén Blades

New York, febrero de 2018

Contenido

Introducción
1 Problemática
2 Contexto
3 Vivienda Social
4 Tecnología del Concreto Prefabricado
5 Casos de Estudio
6 Eficiencia
7 Conclusión
8 Investigación Experimental
9 Perspectivas
10 Bibliografía
Anexos

Introducción

Concreto prefabricado y vivienda social. Una alternativa para mejorar la eficiencia y reducir el déficit de vivienda social en Antioquia, Colombia

La vivienda social ha sido objeto de estudio durante décadas. Los espacios que la conforman, los sistemas técnicos con los que se ha construido, los costos y sus contribuciones a los desarrollos urbanos y regionales se consideran en proyectos que intentan satisfacer los deseos de las comunidades al tiempo que pretenden mejorar su calidad de vida.

En un contexto en el que los sistemas constructivos tradicionales y las industrializaciones masivas y totalitarias aún no han resuelto completamente el déficit cuantitativo y cualitativo de la vivienda social, esta investigación propone una industrialización parcial del hábitat popular a través de la prefabricación de la estructura de soporte como una estrategia para aumentar la eficiencia, cualificar los procesos de construcción local, mejorar la calidad, reducir los costos y el tiempo requeridos convencionalmente para su construcción. Para acercar la industrialización a las condiciones constructivas locales, deben reafirmarse las tradiciones culturales, responder a las condiciones ambientales, sociales y económicas, y proponer espacios y soluciones a partir de técnicas constructivas que contribuyan al bienestar de la población.

La industrialización parcial de la vivienda social puede ayudar a resolver el déficit mediante la producción continua y con bajos costos de algunos de los elementos que la conforman. El desafío para la arquitectura y la ingeniería consiste en proponer espacios que respondan a las necesidades de los grupos familiares, considerando las mejores condiciones de calidad posibles y preservando la identidad e individualidad en las comunidades.

Este texto se centra en el modelo técnico de la prefabricación en concreto de la estructura de soporte para proponer soluciones a los problemas relacionados con la calidad de la vivienda, el tiempo de producción, el uso eficiente de los materiales y los procesos de industrialización asociados con los métodos tradicionales de construcción. Este proceso de investigación de siete años se realizó en la Universidad Técnica de Múnich (T*echnische Universität München*, TUM) y en la *Universidad Pontificia Bolivariana* (UPB) en Medellín, Colombia.

En la primera parte, conformada por los Capítulos 1 y 2, se analiza el problema del déficit de vivienda desde los contextos nacionales y regionales a través de sus dimensiones geográficas, sociales, económicas, industriales, políticas, legales, históricas, urbanas y arquitectónicas.

La segunda parte, conformada por los Capítulos 3 y 4, estudia los principios técnicos de la prefabricación del concreto y plantea tres preguntas: *¿Qué es la prefabricación? ¿Cuáles son sus características? ¿Cómo se contextualiza esta técnica en la vivienda social?* Algunos proyectos construidos en Europa Occidental y en América desde 1948, se analizan desde cada uno de sus componentes para entender en detalle la esencia técnica de la vivienda y su estética desde la prefabricación en concreto.

La tercera parte, conformada por los Capítulos 5 y 6, presenta las ideas centrales sobre las cuales se estructura el proyecto, considerando tres aspectos para aumentar la eficiencia en la construcción de la vivienda social: cantidad, *calidad* y *recursos* necesarios.

En la cuarta parte, conformada por los Capítulos 7 y 8, se presentan los resultados de la investigación: las tipologías arquitectónicas y constructivas de las viviendas concebidas en tres momentos. La industrialización de la estructura de soporte, la personalización de los diseños arquitectónicos y la transformación de los espacios habitacionales. Dos prototipos construidos a escala 1:1 al final del proceso de investigación detallan los componentes, los procesos técnicos y los resultados de este proyecto en el contexto de la vivienda social en Colombia y en el departamento de Antioquia, considerando el futuro de esta técnica constructiva y sus desarrollos posteriores, que formarán parte de nuevos procesos de investigación.

La quinta parte de esta investigación está conformada por los Capítulos 9, 10 y los Anexos. El Capítulo 9 propone futuros desarrollos estructurales, urbanos y arquitectónicos a partir de este sistema constructivo, la variación de su geometría, la sustitución de algunos de sus componentes y el uso de elementos industrializados más livianos que permiten reducir el déficit de vivienda en las áreas rurales y urbanas con difícil accesibilidad. El Capítulo 10 enumera las fuentes bibliográficas utilizadas en el desarrollo de la investigación. Los Anexos complementan la información analizada y las propuestas realizadas en los capítulos anteriores.

El objetivo de esta investigación es acercar la ingeniería y la arquitectura con comunidad para la industrialización parcial de una vivienda social que considere las técnicas tradicionales de construcción en cada contexto, lo cual permite preservar y reafirmar las tradiciones culturales, el entorno ambiental, la identidad y la calidad de vida en proyectos eficientes y económicos con criterios de calidad y sostenibilidad.

El 28 de abril de 2015, se presentó en Colombia una solicitud de patente de invención científica para este sistema industrializado de construcción modular. El 28 de abril de 2016 ascendió a la categoría de una solicitud de patente internacional. El 8 de diciembre de 2017, la Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia (SIC) otorgó el Número Nacional de patente de invención científica (11): 15096687 al Sistema de Construcción Modular Prefabricada desarrollado en esta tesis doctoral.

Los resultados de esta investigación se pondrán al servicio de la comunidad con el objetivo de ampliar la oferta de soluciones de vivienda y otras infraestructuras que puedan replicarse en diferentes lugares, mejorar las condiciones de vida de las familias que conforman nuestra sociedad y ofrecer nuevas soluciones que permitan resolver el déficit habitacional con viviendas de calidad.

I

Problemática

Figura 1
Una vista de Medellín desde las montañas del noroeste. En el primer plano, las parcelas disponibles para la construcción y los edificios de viviendas sociales construidos por el gobierno local. Al fondo, viviendas construidas por familias clasificadas en déficit cuantitativo.

El déficit acumulado de viviendas sociales en Colombia y en el departamento de Antioquia se debe, entre otros factores, a las condiciones económicas, técnicas y sociales, que se clasifican en deficiencias cuantitativas y cualitativas.

1.1. El problema en términos cuantitativos

El número de casas construido no ha sido suficiente para ofrecer una solución de vivienda a las familias existentes enColombia y Antioquia. Este problema está relacionado con los costos y tiempo de los sistemas tradicionalmente utilizados, como el concreto vaciado *in situ* y la mampostería estructural y no estructural, en la construcción de viviendas sociales. Estas mismas técnicas, que provienen de la construcción de viviendas en estratos socioeconómicos medios y altos, se han replicado en sectores donde se construye la vivienda social. Por lo tanto, no existe una diferencia técnica obvia entre los métodos de construcción de los estratos socioeconómicos altos y la vivienda social. Según la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL), los costos de la estructura de soporte pueden representar hasta el 65% de los costos directos de construcción (Forero, 2011, pp. 6-7). Para adaptarse a los presupuestos disponibles, los diseños arquitectónicos deben buscar formas de reducir costos en el 35% restante de la operación. El costo de la vivienda social supera las posibilidades de compra de las familias con menos recursos económicos, incluso cuando la disponibilidad de subsidios o préstamos ha allanado el camino para comprar viviendas nuevas y usadas. Por lo tanto, estas familias deben recurrir a otras estrategias, como alquilar, compartir su hogar con otras personas o comenzar procesos de autoconstrucción con los riesgos que conlleva esta actividad. Además del costo, el tiempo de construcción de los sistemas tradicionales no equilibra la velocidad de crecimiento del déficit, lo que hace que la cantidad de soluciones creadas sea insuficiente para satisfacer la demanda que existe y que aumenta constantemente. Desde el punto de vista social, la migración del campo a las ciudades y el desplazamiento interno, causado por la violencia o la búsqueda de mejores las condiciones de vida, ha causado que el crecimiento de la población en ciertas áreas supere la oferta de vivienda disponible, lo que hace que el déficit se incremente (Figura 1).

1.2. El problema en términos cualitativos

Algunas viviendas sociales que ya se han construido no cumplen con las condiciones mínimas de calidad establecidas en las regulaciones existentes. Algunos de sus elementos, como pisos, paredes y techos, no existen o presentan un deterioro físico grave. Otras viviendas no tienen ventilación adecuada, iluminación, condiciones de salud y seguridad necesarias, cocina o servicios públicos como el agua y la electricidad.

Figura 2
Una vista de Medellín hacia las montañas del noreste. Viviendas en el déficit cualitativo que no cumplen las condiciones de seguridad y de vida establecidas por las regulaciones existentes. Foto: M. Vásquez.

Algunas presentan hacinamiento, con cuatro o más personas por habitación. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), estas casas requieren la provisión de servicios públicos, mejoras en su estructura física y la expansión del espacio habitable (Freire et al., 2009, p. 15). A pesar de la existencia de estas casas, generalmente construidas por las propias familias, se han generado las condiciones de bienestar deseadas ni las establecidas en las regulaciones existentes (Figura 2).

1.3. Política actual de vivienda social

El Artículo 90 del Plan Nacional de Desarrollo, contenido en la Ley 1753 de 2015, define la Vivienda Social como la unidad de vivienda que cumple con los estándares de calidad en diseño urbano, arquitectónico y de construcción. Según su valor de mercado, la vivienda social se clasifica en dos tipos: Vivienda de Interés Social Prioritario (VIP) y Vivienda de Interés Social (VIS) Ley 1753, 2015, Art. 90).

1.3.1. Vivienda Social de Interés Prioritario (VIP)

Este tipo de vivienda debe cumplir dos condiciones, de acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018: un precio de venta máximo de 70 Salarios Mínimos Mensuales Legales Vigentes (SMMLV[1]) en Colombia, y un área construida mínima de 45 m². Su precio promedio de venta por metro cuadrado es $ 1.215.265 (aproximadamente € 347) (Ley 1753 de 2015, Art 90). Además de estos requisitos, y según CAMACOL y el Gerente de la Oficina Regional de Antioquia, Eduardo Loaiza, la oferta del mercado propone estas otras condiciones para Viviendas Sociales de Interés Prioritario (VIP): una cocina, un área de ropas, un baño, un área social compuesta por una sala y un comedor, dos alcobas, una puerta principal y una puerta para el baño e instalaciones para agua, luz y teléfono. Estas viviendas no cuentan con pisos o paredes terminadas, excepto en el área del baño, cocina y ropas (E. Loaiza, comunicación personal, 20 de enero de 2016) (Tabla 1).

1 En enero de 2018, equivalía a $781.242 (aproximadamente € 223,52)

Componentes	VIP	VIS
Precio máximo de venta en salaries mensuales (Colombia)	70	135
Precio máximo de venta en pesos (COP)	54,686,940	105,467,670
Precio máximo de venta en Euros €	15,646	30,175
Área mínima construida (m²)	45	de 45 a 80
Costo promedio de venta en pesos por metro cuadrado: COP/ m²	1,215,265	1,318,346
Costo promedio de venta en Euros € por metro cuadrado: €/ m²	347	377
Cocina	1	1
Área de ropas	1	1
Baño	1	1 ó 2
Sala	1	1
Comedor	1	1
Estudio	0	1
Balcón	0 ó 1	0 ó 1
Alcobas	2	2 ó 3
Puerta principal	1	1
Puerta en las alcobas	0	2 ó 3
Puerta para el baño	1	1 ó 2
Pisos terminados (área)	10% a 30%	75% a 100%
Paredes terminadas (área)	10% a 30%	75% a 100%
Instalaciones para agua, luz y teléfono	Sí	Sí
Accesibilidad general a las viviendas	En el primer piso	En el primer piso
Ventilación e iluminación natural	Sí	Sí
Acceso vehicular y rutas de transporte publico	Sí	Sí
Cercanía del Proyecto a fuentes de contaminación	No	No
Recolección de basura del hogar	Sí	Sí
Circulaciones peatonales exteriores continuas	Sí	Sí
Ascensor	No	No

Tabla 1
Requisitos regulatorios y ofertas comerciales para viviendas de interés social prioritarias (VIP) y viviendas de interés social (VIS) en el mercado inmobiliario en Colombia y Antioquia.

1.3.2. Vivienda de Interés Social (VIS)

El Plan Nacional de Desarrollo de Colombia 2014-2018 propone que la Vivienda de Interés Social (VIS) cumpla con dos condiciones: un precio de venta máximo de 135 Salarios Mínimos Mensuales en Colombia y un área construida mínima de 45 m². En el mercado inmobiliario local, se ha construido una Vivienda de Interés Social (VIS) de hasta 80 m². El costo comercial promedio para las viviendas sociales, con 80 m² en área, es de $ 1.318.346 por metro cuadrado (aproximadamente €377) (Ley 1753 de 2015, Art. 90). Según CAMACOL, además de estos requisitos, el mercado de viviendas sociales VIS ofrece: una cocina, un área de ropas, uno o dos baños y un área social compuesta por una sala, un comedor y, a veces, un estudio. Eventualmente puede tener un balcón, dos o tres dormitorios, una puerta principal, una puerta en cada baño, una puerta en cada habitación, instalaciones para agua, luz y teléfono, acabados en el baño, la cocina y el área de ropas. Según la oferta comercial, algunas casas se entregan con pisos y paredes terminadas en toda la casa (E. Loaiza, comunicación personal, 20 de enero de 2016) (Tabla 1).

1.4. El déficit

Según el DANE, el déficit de vivienda se clasifica como cuantitativo y cualitativo. El déficit cuantitativo indica la cantidad de unidades necesarias para que cada familia tenga una vivienda. El déficit cualitativo indica el número de hogares que no cumplen con los estándares mínimos para ofrecer una calidad de vida adecuada a sus habitantes (Freire et al., 2009, pp. 14-16).

1.4.1. El déficit cuantitativo

Es la diferencia entre el número de familias y los hogares existentes (Freire et al., 2009, pp. 14.16). En la Tabla 2, se presentan los indicadores utilizados por el DANE para medir el déficit cuantitativo de vivienda en Colombia.

Indicadores para medir el déficit cuantitativo
Total falta de vivienda
Cohabitación: dos hogares en una sola casa
El hacinamiento inmitigable: *Viviendas con cinco o más personas por habitación* *Viviendas en los que cada persona tiene menos de cuatro metros cuadrados para su uso*
Viviendas construidas con materiales temporales o precarios
Grupos familiares de cualquier tamaño que comparten el hogar con otros *Hay falta de vivienda ya que no tienen una casa para su propio uso*
Viviendas ubicadas en zonas de alto riesgo y con condiciones de deterioro evidente

Tabla 2
Indicadores utilizados por el DANE para medir el déficit cuantitativo de vivienda.

Las causas del déficit cuantitativo se analizan desde dos aspectos: los costos de la vivienda social y la velocidad de su construcción en relación con el crecimiento de la población.

1.4.1.1. Costo de Construcción

Si bien la vivienda social es uno de los bienes menos costosos en el mercado inmobiliario en Colombia y Antioquia, los recursos financieros disponibles para las familias sin hogar, las condiciones de los créditos financieros y la inestabilidad de los costos de los materiales, han aumentado la magnitud del déficit. Hasta ahora, el número de casas construidas y la inversión realizada por el gobierno y la industria de la construcción privada no han equilibrado las cifras del déficit. El arquitecto Alejandro Aravena y el ingeniero Andrés Iacobelli plantean que dos estrategias se han utilizado para reducir los costos en la construcción de viviendas sociales en el contexto local, lo cual ha deteriorado su calidad: la ubicación de los proyectos en áreas remotas, donde la tierra cuesta menos que en los centros urbanos y la reducción de las áreas de vivienda (Iacobelli y Aravena, 2012, p. 14). A estas dos estrategias, se debería agregar la eliminación de algunos elementos no estructurales (paredes, ventanas, puertas) y la mayoría de los materiales de acabado. Cuando los procesos de construcción no se formalizan, los habitantes generalmente recurren a la autoconstrucción, con riesgos ambientales y de estabilidad que se convierten en una amenaza y un nuevo problema de seguridad.

1.4.1.2. Tiempo de construcción

Generalmente, en los proyectos de viviendas sociales, los diseños arquitectónicos no están diseñados para ser construidos a través de procesos estandarizados y la producción en serie de sus partes. El incumplimiento de los plazos o presupuestos se resuelve ocasionalmente mediante la eliminación de elementos no estructurales y acabados para reducir los costos y el tiempo de construcción, lo que afecta la calidad arquitectónica y técnica del proyecto. Las técnicas tradicionales seleccionadas para construir viviendas sociales hacen que los períodos de tiempo sean inciertos. El tiempo de construcción tiene un impacto significativo en el costo final, ya que el incumplimiento de los plazos establecidos originalmente aumenta los costos y retrasa el retorno de la inversión. Las ventas se aplazan y algunos costos fijos, como servicios públicos, mano de obra, seguridad y el uso de equipos, aún deben pagarse. Los diseños arquitectónicos, en algunos casos hechos sin los principios de coordinación dimensional, generan desperdicios y reprocesos, lo que aumenta el tiempo y los costos directos. Según CAMACOL, los sobrecostos en materiales, mano de obra y la extensión del tiempo de construcción debido a desperdicios o reprocesos en las construcciones pueden alcanzar entre el 3% y el 5% del costo total en los proyectos de vivienda de interés social (E. Loaiza, comunicación personal, 20 de diciembre de 2010).

1.4.2. El déficit cualitativo

Esta es la cantidad de hogares que no cumplen con los estándares mínimos de calidad y no proporcionan espacios de vida adecuados para sus habitantes (Freire et al., 2009, pp. 15-16). Los indicadores utilizados por el DANE para medir este déficit se presentan en la Tabla 3:

Indicadores para medir el déficit cualitativo de viviendas
Deterioro de pisos, paredes y techos
Hacinamiento mitigable: hogares que tienen cuatro personas por habitación
La ausencia de una cocina o deficiencias en el funcionamiento de este espacio
Viviendas sin la prestación de servicios públicos
Viviendas que necesitan ser mejoradas o aumentar su área
Deficiencias en iluminación y ventilación

Tabla 3
Indicadores utilizados por el DANE para medir el déficit cualitativo de vivienda.

Las causas del déficit cualitativo se encuentran en el incumplimiento de los requisitos mínimos para el diseño y la construcción de viviendas sociales y los procesos informales de planificación y construcción. Incluso cuando las casas ya están habitadas, la falta de recursos financieros no permite que las familias las completen. Algunas casas están ubicadas en áreas geológicamente inestables sin acceso a redes de transporte público, espacios para educación, salud y recreación. Las soluciones de vivienda masiva están diseñadas para resolver el déficit cuantitativo sin garantizar la solución del déficit cualitativo.

El crecimiento no planificado de las viviendas existentes ignora las regulaciones urbanas y genera problemas relacionados con la alta densidad, la disponibilidad de servicios públicos y la calidad de vida en espacios domésticos y urbanos. Estas deficiencias cualitativas se clasifican en criterios objetivos y subjetivos:

1.4.2.1. Criterios objetivos: Incumplimiento de los requisitos mínimos de vivienda social

- Deterioro del espacio habitable, eliminación de acabados en pisos, paredes y techos.
- Los procesos utilizados, generalmente asociados con la autoconstrucción, impiden la replicación de sistemas técnicos para la construcción de viviendas sociales.
- La vivienda social generalmente se ubica en lugares donde no existen servicios públicos, como el agua y la electricidad. Esto causa dificultades en el transporte de materiales a los sitios de construcción y genera procesos de urbanización en áreas inestables con altos riesgos geológicos.
- La adaptabilidad de la vivienda a topografías inclinadas es difícil debido a las tipologías arquitectónicas y los sistemas de construcción utilizados. La capacidad de carga de estas áreas hace necesario que los cimientos de las estructuras de soporte sean profundos, lo cual aumenta los costos directos.
- Debido a las características de la topografía y las características de las viviendas, existen dificultades para el acceso de personas con discapacidades físicas.

1.4.2.2. Criterios subjetivos: Procesos informales de planificación y construcción

- La complejidad de algunos de los sistemas de construcción elegidos aumenta los costos y el tiempo, reduce los presupuestos disponibles y, por lo tanto, la calidad del espacio habitable.
- Las tipologías y sistemas de construcción que utilizan elementos estructurales en los espacios interiores reducen la flexibilidad y las variaciones tipológicas en las viviendas.
- Algunas casas muestran falta de calidad ambiental y confort bioclimático en el espacio habitable.
- La ubicación de elementos estructurales en las fachadas y su repetición sistemática reducen la expresión individual en el lenguaje de cada vivienda.
- La ubicación de algunos elementos estructurales restringe la transformación del espacio interior después de ser ocupado.

1.4.3. El déficit acumulado

Las fuentes consultadas para determinar el déficit acumulado de viviendas en Colombia y Antioquia provienen del censo oficial, realizado por el DANE en 1993 y 2005.

1.4.3.1. El déficit acumulado en 1993

Según cifras oficiales, en 1993 Colombia tenía un total de 7.159.825 familias. De estas, 3.841.300 (53,65% del total) tenían algún tipo de déficit habitacional. El déficit cuantitativo fue de 1.217.056 hogares (igual al 17%) y el déficit cualitativo fue de 2.624.244 hogares (igual al 36,65%) (DANE, 1993). En 1993, el departamento de Antioquia tenía un total de 981.004 familias. De estas familias, 372.288 (37,95% de su población) presentaron algún tipo de déficit. Entre ellos, 69.301 hogares (7,06%) presentaron un déficit cuantitativo y 302.987 (30,89%) fueron clasificados como viviendas en el déficit cualitativo (DANE, 1993) (Gráfico 1).

1.4.3.2. El déficit acumulado en 2005

El censo oficial de vivienda más reciente, realizado por el DANE, indicó que Colombia tenía 10.570.899 familias. El déficit acumulado en el país fue de 3.828.055 viviendas, el 36,21% de la población. De estos hogares, 1.307.757 (12,37%) presentaron un déficit cuantitativo y 2.520.298 hogares (23,84%) tuvieron un déficit cualitativo (DANE, 2005). En el mismo año, el departamento de Antioquia tenía 1.458.193 viviendas, de las cuales 386.118 (26,48% del total) estaban en déficit. De estos, 96.169 (6,6%) presentaron un déficit cuantitativo y 289.949 (19,88%) se clasificaron como viviendas con déficit cualitativo (DANE, 2005) (Gráfico 1).

1.4.4. Variaciones en el déficit

El censo oficial de viviendas en 2005 indicó que Colombia tenía 3.411.074 familias más que en 1993. Esto explica por qué el crecimiento anual promedio fue de 284.256 familias en el país (equivalente a 2,69% por año de la población total). En el departamento de Antioquia, el aumento entre 1993 y 2005 fue de 477.189 familias, lo que indica un crecimiento anual promedio de 39.765 hogares (equivalente a 2,73% por año de la población del estado). Las variaciones en el déficit cuantitativo, cualitativo y total en este período presentaron los siguientes resultados:

1.4.4.1. Cuantitativo

Entre 1993 y 2005, el déficit cuantitativo en Colombia aumentó de 1.217.056 a 1.307.757 hogares, un total de 90.701 unidades, un promedio de 7.558 hogares por año. En términos porcentuales, el déficit disminuyó 4,63%, del 17% en 1993 al 12,37% en 2005. En el departamento de Antioquia, el déficit cuantitativo aumentó en 26.868 unidades, pasando de 69.301 familias en 1993 a 96.169 familias en 2005, un promedio de 2.239 familias al año. En cifras porcentuales, al considerar el aumento de la población, el déficit cuantitativo en Antioquia disminuyó en un 0,46% (Gráfico 2).

1.4.4.2. Cualitativo

En el mismo período, el déficit cualitativo en Colombia disminuyó en 103.946 hogares (12,81%), de 2.624.244 en 1993 a 2.520.298 unidades en 2005. En Antioquia, el déficit cualitativo también se redujo en 13.038 hogares, pasando de 302.987 unidades en 1993 a 289.949 en 2005. Porcentualmente, el déficit cualitativo en Antioquia disminuyó en un 11,01% (Gráfico 2).

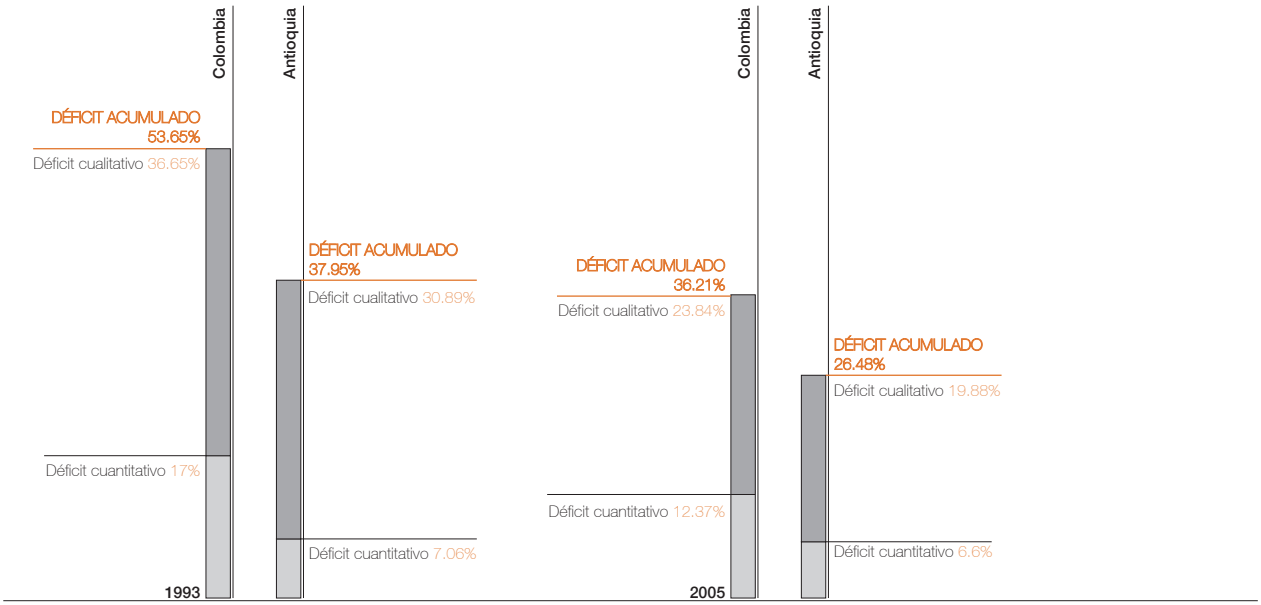


Gráfico 1
El déficit cuantitativo y cualitativo acumulado en Colombia y en Antioquia en 1993 y 2005, según cifras oficiales del DANE.

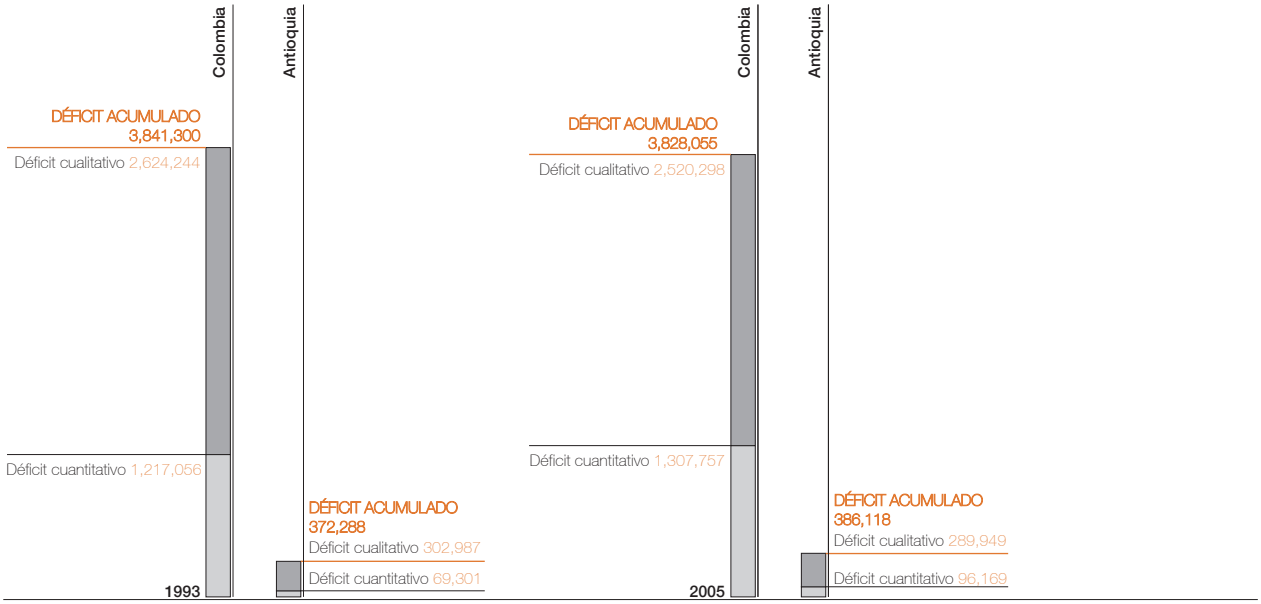


Gráfico 2
Variaciones en el déficit cuantitativo, cualitativo y acumulado en Colombia y Antioquia entre 1993 y 2005, según cifras oficiales del DANE.

1.4.4.3. Acumulado

El déficit acumulado (entendido como la suma del déficit cuantitativo y cualitativo) disminuyó en Colombia en 13.245 unidades (17,44%), de 3.841.300 familias en 1993 a 3.828.055 en 2005. En Antioquia, el déficit total de vivienda aumentó en 13.830 unidades (un promedio de 1.152 unidades por año), pero como porcentaje, cayó 11,47%, considerando el aumento de la población en este período (Gráfico 2).

1.5. Hipótesis

Si bien los sectores oficiales y las empresas privadas han construido numerosas soluciones de vivienda social, el déficit cuantitativo y cualitativo aún no se ha resuelto o se ha reducido drásticamente. Por lo tanto, es necesario construir un mayor número de viviendas en menos tiempo, con menores costos y con un control detallado de la calidad. Para ello, es necesario aumentar la eficiencia en la construcción, adaptar las viviendas a diferentes contextos y responder a los requerimientos de sus habitantes para generar bienestar. Las estrategias que se proponen son la *industrialización* (producción en serie y estandarizada de elementos estructurales en menos tiempo), la *personalización* (individualización en el diseño arquitectónico, en el proceso de producción y en la construcción de los proyectos, para ofrecer diferentes respuestas y evitar aspectos indeseados generados por la masificación del lenguaje arquitectónico) y la *transformación* (modificaciones y mejoras realizadas por las propias familias, según sus necesidades y preferencias, una vez que habitan el espacio).

1.5.1. Industrialización: producción en serie de elementos estructurales

Para reducir el déficit de la vivienda social, la producción industrial de elementos estructurales incorpora las ventajas de la estandarización y la producción en masa para aumentar el número de unidades, ahorrar tiempo y reducir costos con un control de calidad detallado. Es necesario producir industralmente los componentes que la propia población no puede hacer (la estructura de soporte, el techo y las instalaciones técnicas), con rapidez, calidad, precisión y seguridad. Los elementos complementarios no estructurales, como las paredes interiores y exteriores o la instalación de los materiales de acabado, podrían entregarse después o ser construidos por las propias comunidades.

Con la industrialización del componente estructural de las viviendas, se agrega un elemento adicional: el ahorro de tiempo, lo que también podría llevar a una reducción de costos. La vivienda social está soportada y definida por su estructura, que debería ser una de las actividades más rápidas para ejecutar. La disminución del tiempo de ejecución sin sacrificar la calidad de la construcción y la seguridad de la vivienda reduce los costos financieros y, por lo tanto, los costos generales de la operación. De acuerdo con las condiciones del déficit acumulado de viviendas, los proyectos deben construirse lo más rápido posible. Se propone la industrialización de la vivienda, como la prefabricación de todas o algunas de sus partes. Iacobelli y Aravena (2012) argumentan que si hay un lugar donde tiene sentido la industrialización o prefabricación de la arquitectura, ese lugar es en la vivienda social. Ellos proponen que un sistema estructural prefabricado ahorra tiempo porque, en lugar de construirse, sólo se ensambla. En prefabricación, la estandarización de las piezas y la repetición sistemática de los procesos es el aspecto fundamental de su propia eficiencia. Además, las construcciones prefabricadas controlan la calidad de sus componentes en el sitio de producción, lo que permite certificar el cálculo estructural, su fabricación y montaje. Reducir el tiempo de construcción en viviendas sociales es, por lo tanto, económica y socialmente deseable.

El concreto vaciado *in situ*, que precede al uso del concreto prefabricado, se ha utilizado en la construcción de diversos proyectos arquitectónicos: viviendas, oficinas, edificios institucionales y espacios públicos. Dado el uso que el concreto ha tenido como material estructural en el contexto colombiano y en el departamento de Antioquia, el concreto prefabricado es una posibilidad para industrializar la construcción de viviendas sociales. Este sistema permite controlar su calidad, conocer sus costos de antemano y ahorrar tiempo en la construcción. El conocimiento del material dará el salto a su industrialización para mejorar la eficiencia en la construcción de viviendas públicas. El concreto prefabricado es un sistema considerado y respaldado por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Las materias primas para su producción se encuentran en el mercado colombiano. Según Eduardo Loaiza, Colombia produce aproximadamente el 93% de los materiales para la construcción, lo que significa que, al aumentar la construcción a través de un sistema que utiliza materias primas producidas en el país, la economía y el empleo también crecen (E. Loaiza, comunicación personal, 12 de diciembre de 2010). Se propone la industrialización del concreto mediante la prefabricación para lograr una mejor calidad, y controlar de costos y tiempo mediante el uso óptimo de los recursos disponibles: espacio urbano y arquitectónico, materiales, actividades laborales y equipos necesarios para ensamblar los elementos prefabricados.

1.5.2. Personalización: individualización durante el diseño, producción y construcción

La estandarización de la vivienda social, deseable para construir un mayor número de unidades de vivienda y responder rápidamente a un bajo costo, ha sido criticada históricamente por la incapacidad de adaptarse a la diversidad de usuarios a los que sirve. Ramón Araújo (1997, p. 8) propone que hay muchos ejemplos que confirman que las soluciones homogéneas no pueden responder a diferentes estructuras familiares, cada una con diferentes gustos y sensibilidades y un ideal natural para identificar o personalizar su hogar. Los esfuerzos de diseño arquitectónico, que han intentado romper el patrón repetitivo, han caído en operaciones estéticas arbitrarias a expensas de la eficiencia del propio sistema.

La industrialización es la estrategia para la producción masiva, rápida y de bajo costo de elementos estructurales. La personalización de los elementos no estructurales es la estrategia para generar un lenguaje diverso desde el diseño arquitectónico, adaptarlo al entorno y a las preferencias de los usuarios en la vivienda social. Para reducir el déficit de vivienda social mediante el uso de mano de obra calificada en fábricas de producción y mano de obra convencional en los procesos de construcción, se propone una estrategia que considera simultáneamente la eficiencia de la industrialización y la diversidad de la personalización.

1.5.3. Transformación: mejora y contribución personal después de la ocupación

Si bien es posible concebir diferentes respuestas desde el diseño arquitectónico. Para evitar la monotonía de las soluciones estandarizadas, son las propias familias las que tienden a transformar el espacio y la apariencia del lugar en el que viven de acuerdo con sus necesidades o con sus preferencias estéticas en busca de condiciones de identidad. Algunas familias amplían sus hogares al tamaño deseado o modifican el espacio habitable para darle otro uso. Otros varían las formas y los colores de las fachadas para personalizar el lenguaje de la vivienda.

Si bien el proceso de personalización genera una deseable individualidad en los procesos de arquitectura y diseño, la transformación o la contribución personal de las familias que viven en las casas adaptan estos espacios a sus necesidades de vida y sus preferencias. La intervención en las áreas habitables y el lenguaje del hogar es el proceso de adaptar el espacio a las necesidades de la familia, a los sueños de quienes viven allí y a las condiciones ambientales. En la medida en que la estructura esté diseñada de manera estandarizada y repetitiva, los elementos no estructurales definirán los espacios para el crecimiento y la transformación de los hogares con diferentes formas y aspectos. Según Iacobelli y Aravena (2012), esta construcción espontánea, sin la presencia de mano de obra calificada, ahora funciona como una adaptación de las estructuras a las preferencias de cada familia, lo que le da vitalidad y diversidad a los complejos de viviendas urbanas.

Las viviendas parcialmente industrializadas resuelven los límites del espacio habitable con una estructura de soporte hecha en una planta industrial y con todos los estándares técnicos que aseguran su calidad. El lenguaje de las fachadas, los crecimientos futuros y la adaptación del espacio interior a las necesidades de las familias son aspectos que vinculan el espacio habitable a sus actividades diarias y a la calidad de vida que busca cada familia.

Resumen

Incrementar la cantidad y calidad de la vivienda social para reducir el déficit de vivienda en Antioquia

El número de casas que se han construido en el contexto local desde mediados del siglo XX no ha sido suficiente para satisfacer la demanda existente o para reducir el déficit de vivienda. Las pocas variaciones en los sistemas estructurales y en los procesos de construcción para construir viviendas sociales han hecho que se repitan las mismas fórmulas sin que se resuelva el problema.

Viviendas con menores costos y tiempo de construcción en comparación con los sistemas de construcción tradicionales

En términos de cantidad (déficit cuantitativo), este no se ha resuelto debido a dos factores principales. Los *costos* y el *tiempo* requerido por los procesos de construcción con los sistemas utilizados convencionalmente, como las estructuras de concreto vaciado y los muros de mampostería estructural. Con el uso de estos sistemas, los procesos de construcción tradicionales no han resuelto el déficit de viviendas y el tiempo requerido en los procesos de construcción convencionales no alcanza la velocidad del crecimiento del déficit. Si los procesos de construcción de viviendas sociales redujeran sus costos, una mayor parte de la población podría acceder a ellas. Si se redujeran los plazos de construcción, la velocidad de construcción de nuevas viviendas ampliaría la oferta existente y, con las condiciones del mercado, los costos de venta podrían reducirse. Por lo tanto, es necesario repensar la técnica de los procesos de construcción para reducir los costos y el tiempo requeridos por estos procesos de construcción de viviendas sociales. La solución considerada es la industrialización de una parte o la totalidad de los procesos de construcción de viviendas sociales a través de la estandarización y la producción en serie de algunos de sus componentes y de los procesos de instalación, que deben estudiarse desde los aspectos sociales, culturales, topográficos, de transporte, económicos y técnicos, entre otros.

Viviendas con control de calidad urbano, espacial y técnico

El déficit cualitativo evidencia el no cumplimiento de los requisitos mínimos exigidos por las regulaciones actuales para su diseño y construcción. Este problema se clasifica en los siguientes aspectos:

Criterios objetivos (incumplimiento de los requisitos mínimos de calidad en vivienda social):

- Los procesos de construcción utilizados en viviendas sociales en el contexto local no consideran criterios de modularidad o coordinación dimensional entre los elementos estructurales y no estructurales. Esta condición aumenta los costos, dificulta los procesos de construcción y conduce a la no instalación de algunos de los componentes de la vivienda.
- Los procesos de construcción individuales, informales y no calificados no permiten la replicación masiva de soluciones técnicas industrializadas que podrían reducir los costos y aumentar la calidad de los procesos.
- La ubicación de nuevos proyectos de vivienda en territorios alejados de centros y servicios urbanos dificulta los procesos de transporte de materiales, lo que propicia el uso de elementos no certificados que ponen en riesgo la estabilidad de las construcciones y, por lo tanto, la vida de las personas.
- La ocupación informal de los territorios significa que la vivienda no se adapta adecuadamente a suelos con dificultades topográficas y con diferentes resistencias mecánicas. El uso de estructuras con cargas puntuales (como los sistemas esqueletales conformados por columnas y vigas o con cargas lineales como los muros portantes) hace que los cimientos sean más profundos y costosos para garantizar la estabilidad del sistema. Esto reduce los presupuestos para la construcción del espacio habitable y la selección de acabados.
- Los territorios disponibles, generalmente inclinados y alejados de los centros urbanos, reducen las posibilidades de acceso a la vivienda.

Criterios subjetivos (causados por la planificación informal y los procesos de construcción de viviendas sociales):

- Los procesos constructivos utilizados en la vivienda social en el contexto local son complejos, artesanales, lejos de los desarrollos industriales, con períodos de tiempo y costos inciertos.
- Las casas construidas con sistemas estructurales convencionales (esqueletales o muros de carga) minimizan las posibilidades de variación en el uso del espacio interior y la expresión individual en el lenguaje de sus fachadas.
- Los diseños arquitectónicos y sistemas de construcción utilizados no consideran permanentemente criterios de calidad bioclimática y ambiental, ni el bienestar del espacio interior.
- Los sistemas técnicos utilizados, con estructuras de carga que ocupan áreas considerables de la fachada, hacen que los lenguajes de la vivienda carezcan de expresión individual, lo que aleja las fachadas de los criterios de identidad y belleza deseados por las comunidades.
- Al contar con sistemas de construcción que reducen la flexibilidad de los espacios, se reducen las posibilidades de transformación o adaptación de las casas en el futuro, generando respuestas que están lejos de los deseos y las necesidades de sus habitantes.

Tres estrategias: racionalidad, identidad e incrementalidad

Para aumentar la cantidad y la calidad de la vivienda social, controlar los costos y el tiempo, cumplir con los requisitos mínimos establecidos por las regulaciones existentes y formalizar los procesos de planificación, diseño y construcción de la vivienda social se proponen tres momentos:

Racionalidad: industrializar lo esencial (la estructura de soporte)

El proceso de producción se lleva a cabo en plantas industriales productoras de materiales.

El control de la producción industrializada o prefabricada de la estructura de soporte en las industrias permite tener producciones estandarizadas, reducir los costos en las producciones a escala, disminuir el tiempo en la fabricación de estos elementos, y al mismo tiempo tener estándares de calidad verificables y criterios de seguridad controlados desde las plantas de producción. La estructura de soporte debe ser económica y contar con procesos de instalación ágiles, que reduzcan los costos y el tiempo de instalación de las estructuras utilizadas convencionalmente. Debe ser modular, replicable en diferentes contextos, transportable, adaptable a diferentes condiciones, conformando viviendas asequibles con procesos de instalación simples y económicos. Deberían permitir la flexibilidad en el uso de la vivienda, incrementar el bienestar en el espacio interior, permitir diferentes respuestas estéticas en el lenguaje según el contexto y las tradiciones culturales de sus habitantes, y permitir la transformación futura del espacio interior.

Identidad: personalizar lo necesario (el espacio habitable y el lenguaje de las viviendas)

El proceso de diseño participativo entre los profesionales y las comunidades.

La vivienda social debe permitir la adaptabilidad de sus sistemas estructurales y sus elementos no estructurales a las características ambientales del entorno, las tradiciones culturales de sus habitantes y los deseos de individualidad de las familias. Para aumentar la flexibilidad, la estructura de soporte debe ocupar espacios perimetrales y definir áreas interiores y fachadas con una presencia mínima de elementos estructurales. Esto permite adaptar el espacio existente a las necesidades de las familias y el lenguaje del edificio a las condiciones climáticas, culturales y económicas del contexto. Una estructura de soporte perimetral, que permite la presencia de plantas y fachadas libres, permite la interacción de los profesionales de la arquitectura con las comunidades a partir de los procesos de diseño, genera respuestas de los deseos de los usuarios, mejora las condiciones bioclimáticas, define criterios de belleza basados en las tradiciones locales y los deseos de las comunidades, y establece libertades para la transformación y crecimiento del espacio interior a partir de las necesidades de las familias.

Incrementalidad: transformando lo ideal (usos, áreas y formas de vida)

El proceso de ocupación y apropiación de las viviendas realizado por las comunidades.

Los sistemas estructurales y la concepción convencional de la vivienda no permiten el crecimiento o la transformación a lo largo del tiempo, actividades a las que generalmente recurren las comunidades en el contexto local. En las viviendas populares, el espacio interior puede transformarse de acuerdo con el aumento de los integrantes del grupo familiar, con la implementación de nuevas actividades económicas o con el deseo de aumentar las áreas o modificar la apariencia de sus viviendas. Por lo tanto, los sistemas estructurales de la vivienda social deben articularse con diseños urbanos y arquitectónicos que permitan concebir espacios evolutivos e incrementales, transformando su uso a lo largo del tiempo, modificando la espacialidad y transformando el espacio habitado según las necesidades o deseos de los grupos familiares.

2

Contexto

Las características geográficas, sociales y culturales de la población, la economía, la infraestructura de transporte y los desarrollos industriales han condicionado el proceso para diseñar, construir y habitar viviendas sociales. Las características del grupo urbano, los modelos tipológicos, la materialidad y las formas de vida son el resultado de una relación entre el contexto y el proyecto que define la apropiación del espacio, sus transformaciones, el lenguaje arquitectónico y la calidad de vida.

2.1. Geografía

El departamento de Antioquia se ubica en el noroeste de Colombia y ocupa un área de 62.612 km², equivalente al 5,6% del territorio nacional (Gráfico 3). Está compuesto por 125 municipios, agrupados en nueve regiones: Urabá, Norte, Bajo Cauca, Oeste, Valle de Aburrá (donde se ubica Medellín, su capital,), Noreste, Sudeste, Este y Magdalena Medio. Estos combinan diferentes elementos de la geografía colombiana: mar, llanuras, montañas, mesetas, páramos, ríos, pantanos y bosques (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, (s. f.)

2.1.1. Topografía

Dos tercios del territorio en Antioquia son superficies planas ubicadas al norte y al oeste: el valle del Río Magdalena, la parte baja del Río Cauca, las áreas cercanas al departamento de Chocó y la región de Urabá; cerca de la costa caribeña. El otro tercio de la superficie está conformado por áreas montañosas de la Cordillera Central y Occidental de Colombia, con elevaciones entre 1.000 y 4.080 metros sobre el nivel del mar (MSNM) (Gráfico 4) (IGAC, s. f.).

2.1.2. Sismología

En 2006, el Instituto Colombiano de Ingeniería y Minería (Ingeominas), hoy conocido como Servicio Geológico Colombiano, y el Comité 300 de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), realizaron estudios para determinar el grado de amenaza sísmica en diferentes regiones del país y en cada uno de sus departamentos. Estos estudios indicaron que el 14% de la tierra en Antioquia está ubicada en áreas de alto riesgo sísmico, mientras que el 86% se encuentra en áreas de amenaza sísmica intermedia. Al oeste, la amenaza sísmica es alta. En las áreas central y oriental, la amenaza sísmica es intermedia (Gráfico 5) (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, p. 11).

2.1.3. Hidrografía

Antioquia cuenta con una red hidrográfica para la producción de energía y transporte fluvial. Al noroeste del departamento, las costas están bañadas por el mar Caribe; Su cuenca ocupa el 32% de la red hidrográfica y es donde se encuentra la sub-cuenca del Río Atrato. La cuenca del Río Cauca ocupa el 46% de la red hidrográfica de Antioquia e incluye las sub-cuencas de los Ríos Nechí y San Juan. La cuenca del Río Magdalena cubre el 22% y en sus orillas se encuentran embalses y ubicaciones con puertos fluviales. Las precipitaciones anuales promedian entre 1.000 mm y 4.500 mm (Gráfico 6) (IGAC, s. f.).

Gráfico 3
Ubicación de Colombia en América del Sur y la ubicación de Antioquia en Colombia.

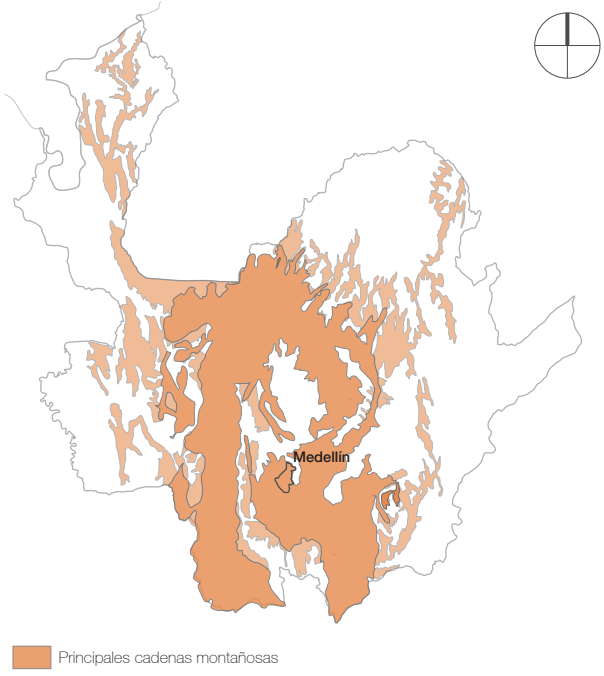


Gráfico 4
Zonificación topográfica del departamento de Antioquia.

2.1.4. Clima

El clima en Antioquia es tropical y está condicionado por el sistema montañoso andino, que presenta un clima determinado por la altitud y los niveles térmicos que van desde 2 hasta 2.550 MSNM. Las temperaturas promedio están entre 13ºC en las áreas más altas a 28ºC en lugares situados cerca de las regiones costeras.

- Cuarenta municipios (32% del departamento) se ubican entre 2 y 1.000 MSNM. Su temperatura promedio oscila entre los 22ºC y los 28ºC.
- Sesenta y cuatro municipios (51,2%) están ubicados entre 1.001 y 2.000 MSNM, con temperaturas promedio entre 18ºC y 22ºC.
- Veintiún municipios (16,8%) están ubicados entre 2.001 y 2.550 MSNM, con temperaturas promedio entre 13ºC y 18ºC (Gráfico 7) (IDEAM, s. f.).

2.2. Sociedad

En el contexto social, se estudian tres aspectos: población, cultura y calidad de vida.

2.2.1. Población

La proyección demográfica de 2015 del DANE indicó que Antioquia tenía 6.299.886 habitantes. De estos, 4.906.327 (77,88% de la población total) estaban concentrados en el área urbana de sus municipios, mientras que 1.393.559 (22,12%) vivían en áreas rurales. La migración (motivada por la búsqueda de nuevos trabajos, oportunidades académicas y desplazamientos causados por la violencia) cambió la vocación rural inicial a una urbana (Gráfico 8) (DANE, 2005), lo que resultó en el crecimiento no planificado de las áreas periféricas y metropolitanas (Hoyos, 2010, p. 94).

Gráfico 6
Mapas hidrográficos del departamento de Antioquia.

Gráfico 5
Áreas de riesgo sísmico en Antioquia.

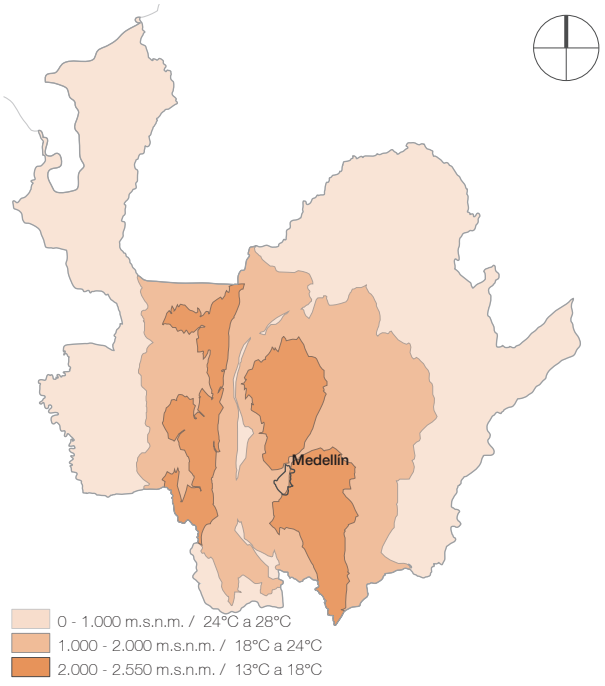


Gráfico 7
Temperaturas en los municipios de Antioquia, según la altitud sobre el nivel del mar (IGAC, 2009).

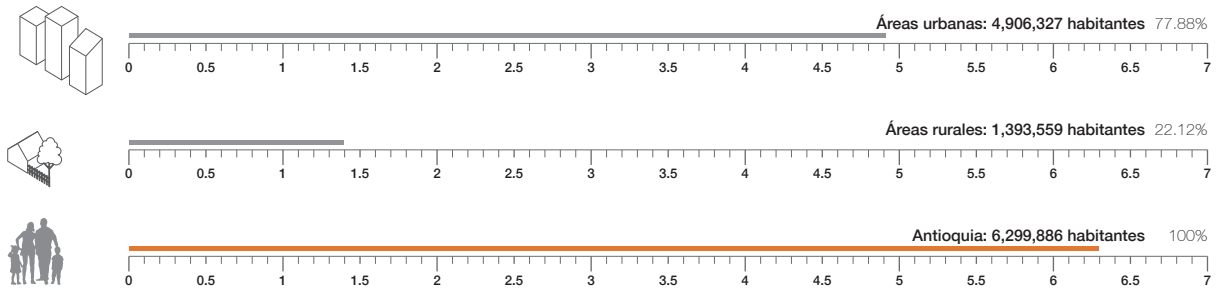


Gráfico 8
La proyección poblacional de 2015 en Antioquia (DANE, 2015).

Según la proyección de población del DANE en 2015, 3.685.278 habitantes (58,5% de la población en Antioquia) estaban concentrados en la región del Valle de Aburrá, conformada por Medellín y sus municipios circundantes: Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Envigado, Itagüí, Sabaneta, La Estrella y Caldas. En las otras ocho regiones del departamento, había 2.614.608 personas, equivalente al 41,50% de la población total. Estos estudios indican que la composición étnica de la población de Antioquia en 2015, estaba compuesta en un 89% por razas mixtas, un 10% por afrocolombianos y un 1% por indígenas (DANE, 2013, como se cita en la Empresa de Vivienda de Antioquia, VIVA, 2015, p. 24). El desplazamiento de la población, debido a la violencia ocurrida entre marzo de 2006 y marzo de 2011, causó que 174.088 personas vinieran a Antioquia desde otras partes del país. En el mismo período, 163.202 personas abandonaron el departamento (DANE, 2013, citado en VIVA, 2015, p. 26). La modernización del país y la concentración de la población en los centros urbanos han transformado las estructuras sociales. Desde mediados del siglo XX, el número de miembros de la clase trabajadora y el número de familias de bajos ingresos en las ciudades han aumentado. Algunas comunidades, sin posibilidad de adquirir una casa, decidieron construirla por sí mismas, lo que generó graves riesgos debido a las condiciones geológicas y la inestabilidad estructural de las casas (Echeverri y Orsini, 2010, p. 130).

2.2.2. Cultura

El patrimonio cultural ha influido en los patrones de urbanización y las formas de vida. Según Saldarriaga (2009, p. 22), estas tradiciones han cambiado gradualmente para coexistir con estilos de vida contemporáneos. Los *Pasados Presentes* en la arquitectura doméstica de Antioquia se han manifestado en la disposición urbana, en las tipologías arquitectónicas y en su lenguaje. Las viviendas construidas a nivel local han conservado algunas tradiciones urbanas, de vivienda y técnicas, pero la modernización de las formas de vida y la influencia de otros contextos culturales han modificado su condición original. Cada área geográfica ha conservado tradiciones étnicas específicas. La herencia prehispánica ha sido la base sobre la cual se han agregado aspectos de otras culturas, como las tradiciones indígenas, africanas, antillanas, europeas y modernas (Saldarriaga, 2009, p. 18).

Los ambientes urbanos contemporáneos han incorporado una heterogeneidad sociocultural reflejada en los modos de vida. Las industrias inmobiliarias y de construcción también han tenido un impacto en las viviendas sociales desde mediados del siglo XX. Las casas, los apartamentos, los complejos de viviendas cerrados y los vecindarios se han mezclado en áreas urbanas, donde las posibilidades económicas de la población determinan las características específicas del proyecto. La vivienda popular ocupa casi el 50% de los territorios urbanizados en las ciudades colombianas. Su desarrollo se ve en diferentes tipos de asentamientos, como vecindarios planificados, urbanizaciones con desarrollos progresivos y vecindarios informales. Se han establecido variantes de residencia contemporáneas en espacios públicos y domésticos en barrios populares, donde las tradiciones culturales se han combinado con aspectos sociales, económicos y urbanos. En las zonas rurales, las viviendas agrícolas tradicionales han sido reemplazadas parcialmente por viviendas modernas, con características espaciales y formales que tienen como objetivo replicar experiencias construidas en entornos urbanos, pero con las limitaciones y precariedad similares a las de las viviendas existentes (Saldarriaga, 2009, p. 22) .

2.2.3. Calidad de vida

Los estudios realizados en la Encuesta de Calidad de Vida e Indicadores Principales de 2013 en Antioquia concluyeron que las regiones del Bajo Cauca, Urabá y Magdalena Medio presentaban los porcentajes más altos de hogares con hacinamiento (considerados cuando hay cinco o más personas por habitación). El tamaño promedio de los hogares era de 3,7 personas en el área urbana y 4,1 en el área rural (Gráfico 9). Del total de hogares, el 15% presentó necesidades básicas insatisfechas (falta de servicios públicos, ventilación e iluminación inadecuadas, hogares sin pisos y cocinas, y con áreas insuficientes para la ocupación de los habitantes) (DANE, 2013, como se cita en VIVA, 2015, p. 26). El deterioro de la calidad de vida de las familias en Antioquia se debe a dos causas principales: la primera fue el conflicto armado, que generó dificultades para acceder a los servicios sociales básicos, impidió la libre circulación de personas en las zonas habitadas y redujo el suministro de alimentos. La segunda fue un conjunto de actividades económicas ilegales, como los cultivos ilícitos y la explotación minera no regulada, que causaron el desplazamiento de la población, la inseguridad, el mal uso de la tierra y la reducción de las áreas de vivienda (Departamento Administrativo de Planeación, como se cita en VIVA, 2015, p. 28). Además, los procesos informales de autoconstrucción en las periferias urbanas causaron desequilibrios físicos, ambientales y sociales con implicaciones negativas en la calidad de vida de sus habitantes (VIVA, 2015, p. 131).

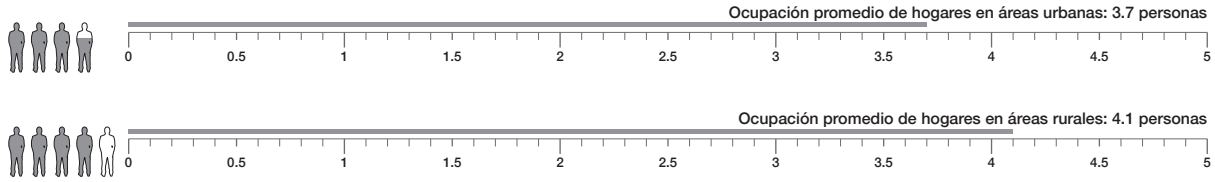


Gráfico 9
Tamaño promedio del hogar en áreas urbanas y rurales en Antioquia (Encuesta de Calidad de Vida e Indicadores Principales en Antioquia, 2013).

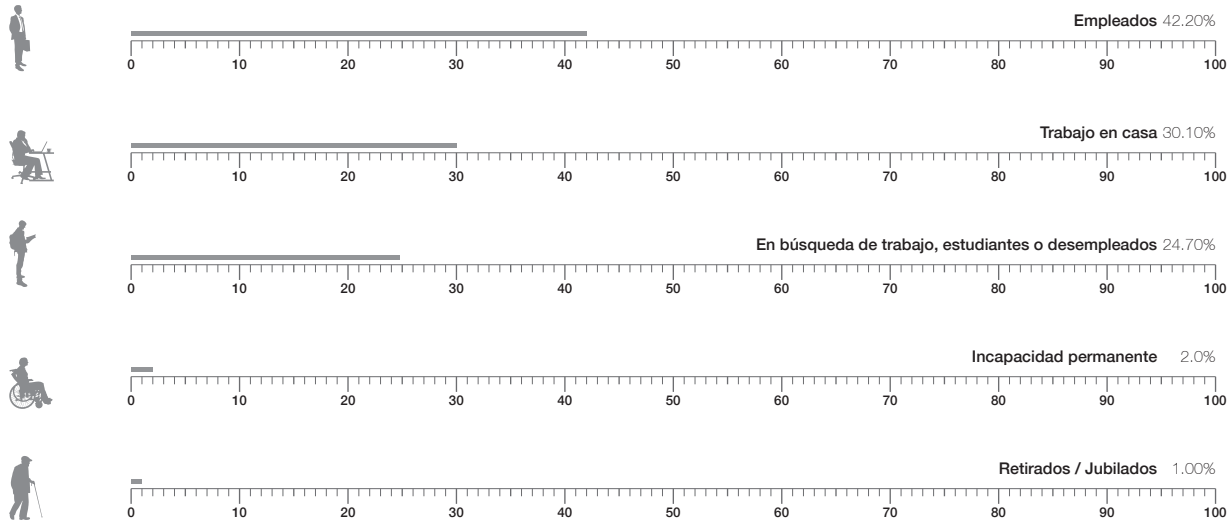


Gráfico 10
Condiciones laborales en la población de Antioquia (DANE, 2005).

2.3. Economía

Según el censo oficial del DANE de 2005, en Antioquia, el 42,20% de la población económicamente activa tenía empleo; el 30,1% hizo tareas domésticas; El 24,7% de las personas buscaban trabajo, estudiaban o estaban desempleadas; el 2% había sido declarado discapacitado permanente para trabajar y el 1% de las personas estaban jubiladas (Gráfico 10) (DANE, 2013, citado en VIVA, 2015, p. 30).

Más del 65% de la economía de Antioquia está clasificada en el sector de servicios. Es el segundo departamento más industrializado de Colombia y su contribución al Producto Interno Bruto (PIB) nacional tiene un promedio de 15%. Otras contribuciones al desarrollo económico provienen de los sectores rural y manufacturero (DANE, 2013, citado en VIVA, 2015, p. 30). En el siglo XXI, Antioquia ha enfocado su potencial hacia la economía del conocimiento. En 2014, el ingreso promedio per cápita fue de $680.708, aproximadamente € 200 en ese momento (DANE, 2015).

2.4. Infraestructura

Se estudian dos componentes, asociados al diseño y construcción de viviendas sociales: transporte y servicios públicos.

2.4.1. Transporte

Antioquia cuenta con redes de transporte fluvial, ferroviario, aéreo y terrestre.

En 2012, el sistema de transporte fluvial tenía 18 puertos y siete ríos con tramos navegables para embarcaciones que transportaban menos de 25 toneladas (CTA, 2013).

En el mismo año, el transporte ferroviario tenía 723 km de largo (26% de ellos en operación) y el transporte aéreo tenía 32 aeropuertos activos en sus 125 municipios (Aerocivil, s. f.).

El transporte terrestre ha sido el más utilizado. En 2016, el 99% de la carga se movió por camión a través de redes de carreteras primarias, secundarias y terciarias que tiene un total de 17.869 km (Mintransporte, según lo citado en VIVA, 2015, pp. 32-33).

La red vial principal, con una extensión de 1.672 km (9,3% de las carreteras del departamento) (VIVA, 2015), es administrada por la nación (Mintransporte, según se cita en Alcaldía de Bogotá, s. f.).

La red de carreteras secundarias, con un área de 4.690 km (equivalente al 26,2% de las carreteras en Antioquia) (Mintransporte, según lo citado en VIVA, 2015, p. 32) es administrada por los departamentos y los municipios.

La red de carreteras terciarias, con un área de 11.507 km (64,4% de las carreteras de Antioquia) (Mintransporte, según lo citado en VIVA, 2015, p. 32), es administrada por municipios (Gráfico 11).

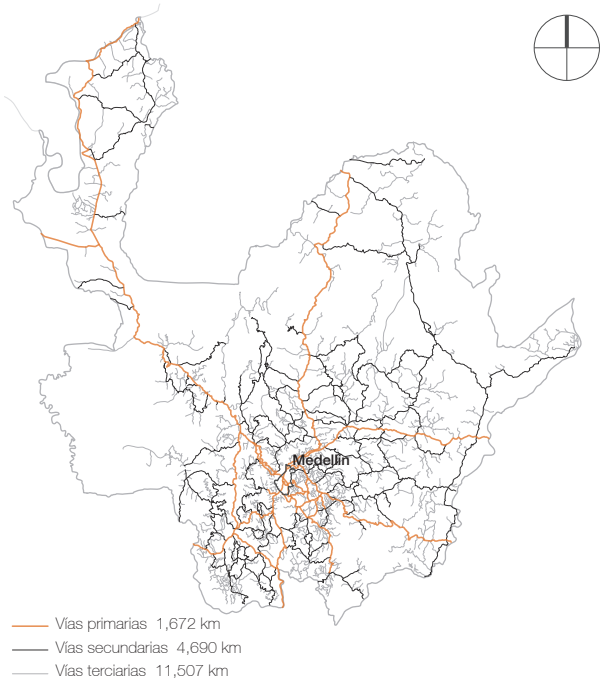


Gráfico 11
Redes de transporte terrestre en Antioquia (Ministerio de Transporte de Colombia, 2015).

2.4.2. Servicios públicos

En 2016, el 97,8% de las casas ubicadas en áreas urbanas tenían cobertura de acueductos; mientras que, en las zonas rurales, la cobertura fue del 57,8%. En las zonas urbanas, el 93,7% de los hogares tenía disponibilidad de red de alcantarillado, mientras que en las zonas rurales era del 25%. Más del 95% de los hogares en Antioquia tienen conexiones a la red eléctrica (Gráfico 12) (Encuesta de Calidad de Vida, 2013, como se cita en VIVA, 2015, p. 32).

2.5. Industria

Casi el 95% de las materias primas necesarias para construir infraestructuras urbanas, carreteras y edificios pueden encontrarse en el mercado de Antioquia (E. Loaiza, comunicación personal, 2016). Los sistemas estructurales de concreto vaciado *in situ* o la mampostería estructural en bloques de concreto o ladrillos se han utilizado para la construcción de proyectos de estratos socioeconómicos altos y para proyectos de viviendas sociales. Desde 2008, algunas empresas regionales de prefabricación se unieron para formar el Comité de Prefabricados en Concreto de la Cámara Colombiana de la Construcción, CAMACOL), bajo la coordinación del Instituto de Productores de Cemento (ICPC). En octubre de 2016, contaba con 14 empresas afiliadas. Este comité se formó para estudiar e investigar temas relacionados con el diseño, producción y construcción de elementos de concreto prefabricado, desarrollar nuevos productos con ellos, ingresar al mercado de la construcción de edificios y desarrollar nuevos procesos para mejorar sus canales de comercialización.

2.6. Contexto político

El Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio se creó a través del Artículo 14 de la Ley 1444 de 2011. Se definió como una entidad pública nacional que, de acuerdo con las condiciones de acceso y financiamiento de la vivienda, es responsable de formular, adoptar, dirigir, coordinar y ejecutar políticas, planes y proyectos públicos con respecto a la vivienda urbana y saneamiento básico (Minvivienda, s. f. b). En 2010, el gobierno nacional y su Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio desarrollaron un programa para la construcción masiva de viviendas, a fin de reducir el déficit existente. En 2012, comenzó la construcción de 100.000 unidades de vivienda gratuitas para familias colombianas con recursos económicos limitados (Minvivienda, s. f. a). Entre 2012 y 2015, la Empresa de Vivienda de Antioquia (VIVA) formó alianzas estratégicas para formular y gestionar la construcción de nuevas viviendas. Esta entidad, de naturaleza comercial e industrial y dependiente de la Gobernación de Antioquia, se creó para desarrollar, a partir de requisitos arquitectónicos, técnicos y legales, nuevas viviendas en áreas urbanas y rurales, legalizar terrenos y mejorar las viviendas existentes. (VIVA, s. f.). Entre 2012 y 2015, VIVA lideró la construcción de 38.340 viviendas nuevas y la mejora de 7.700 viviendas existentes en Antioquia (VIVA, s. f.).

2.7. Concreto prefabricado: normativa técnica

Desde marzo de 2010, la construcción de viviendas se rige por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. El Capítulo C.16, "Concreto prefabricado" del Título C, "Concreto Estructural", considera y regula los elementos estructurales y no estructurales para la construcción con este sistema. Este documento define los estándares mínimos que deben cumplirse en el diseño estructural de elementos prefabricados y propone condiciones técnicas como:

Distribución de tensiones en el diseño de elementos estructurales y no estructurales
Integridad estructural
Diseño de conexiones y soportes
Elementos embedidos tras el vaciado del concreto
Marcas de identificación, gestión y evaluación de las resistencias de las estructuras prefabricadas

Tabla 4
Estándares mínimos y condiciones técnicas de elementos prefabricados (NSR 10).

El Título C tiene otros capítulos que deben consultarse antes de diseñar elementos de concreto prefabricado. La subsección C.1.1.1 de la NSR-10 indica que la resistencia a la compresión especificada del concreto estructural no debe ser inferior a 17 megapascales (MPa). La sección C.7.7.3 del capítulo C.7, titulada "Detalles de Refuerzos", indica las regulaciones que rigen para los refuerzos del concreto prefabricado.

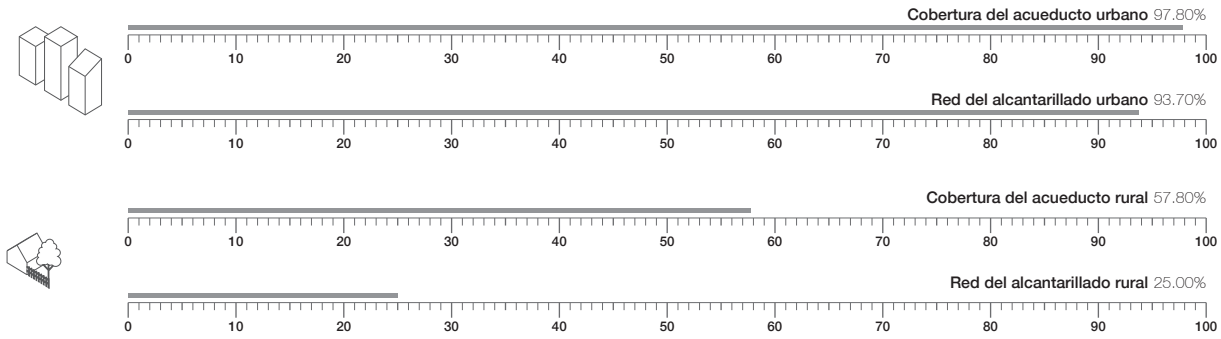


Gráfico 12
Servicios públicos disponibles en hogares ubicados en áreas urbanas y rurales (Encuesta de Calidad de Vida, 2013).

El Capítulo C.9 indica los requisitos de resistencia y funcionamiento de cada uno de los elementos estructurales que podrían ser parte de un edificio (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, p. C-1). Para cada diseño de mezcla, la NSR-10 propone pruebas de concreto de acuerdo con los requisitos definidos en el Capítulo C.5.6.2 hasta el Capítulo C.5.6.5 (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, p. C-75).

El Capítulo C.18, "Concreto Preesforzado", regula los requisitos técnicos de los elementos prefabricados y preesforzados para la construcción de estructuras. El concreto preesforzado se define, en la NSR-10, como concreto estructural con esfuerzos introducidos internamente que ayudan a reducir los esfuerzos de tracción potenciales causados por las cargas (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, p. C-311).

El contexto industrial del país ha entrado en el mercado de aditivos y adiciones para mezclas de concreto, elementos que pueden reducir los costos al tiempo que mantienen o mejoran la resistencia de las mezclas. Todos los elementos estructurales y no estructurales en concreto prefabricado, que están especificados para el diseño y construcción de proyectos de vivienda social en Colombia, deben cumplir con los requisitos de la NSR-10, documento oficial que ha regulado el diseño y la construcción sismo resistente en el país desde 2010.

Resumen

Contexto e industrialización de la vivienda social

Las condiciones del contexto local insinúan diversos aspectos a tener en cuenta en el diseño y la construcción de viviendas sociales.

En términos geográficos

Las viviendas deben estar diseñadas para adaptarse a los diferentes perfiles topográficos de cada contexto. Las superficies inclinadas constituyen un tercio del área, mientras que las áreas planas ocupan dos tercios del territorio. La conformación de la estructura de soporte también debe adaptarse a la resistencia mecánica de los suelos disponibles. En general, la vivienda social se ha concebido en áreas remotas, donde el costo de la tierra es menor. Estas periferias están ubicadas en parcelas inclinadas, con resistencias mecánicas más bajas que las de los suelos en terrenos urbanizados. Para resolver la estabilidad de las unidades de vivienda en relación con el suelo, los cimientos de los sistemas de construcción tradicionales concentran las cargas en elementos puntuales (como columnas) o elementos longitudinales (como muros de carga). Esta concentración de las cargas en paredes o en columnas aumenta la profundidad de los cimientos y, por lo tanto, los costos y el tiempo de construcción. Además de configurar geometrías en las viviendas para que los proyectos puedan ocupar terrenos planos o inclinados, las estructuras de soporte deben tener cimientos que distribuyan las cargas al suelo de manera uniforme y superficial, idealmente con losas estructurales continuas para áreas con riesgos sísmicos altos e intermedios, que son las que conforman los suelos del departamento. Las viviendas deben concebirse a partir de un sistema estructural que, además de adaptarse a perfiles de terreno con diferentes capacidades de carga, proporcione condiciones de bienestar y confort.

En términos sociales

Las tradiciones y formas de vida de las comunidades locales deben considerarse en el diseño de viviendas versátiles, personalizables, confortables y con una estética asociada a sus tradiciones culturales. Si bien la industrialización de los sistemas de construcción de la vivienda puede reducir los costos y el tiempo, esta debe mantener condiciones de individualidad o adaptabilidad a diferentes entornos en términos ambientales, culturales y sociales, que expresen los gustos y tradiciones de las comunidades según el contexto. Culturalmente, la vivienda social ha sido condicionada por sus elementos estructurales utilizando materiales tradicionales, como concreto vaciado *in situ* y mampostería estructural en bloques de concreto o ladrillo.

En términos económicos

La economía de las industrias del cemento y el ladrillo se ha visto fortalecida por estas tradiciones locales en contextos urbanos. Por lo tanto, las innovaciones que utilizan este tipo de materiales podrían tener a la industria del cemento como un aliado en los procesos de investigación, producción e instalación de estos elementos. Se argumenta que la industrialización de los elementos que conforman la vivienda social puede darse a través de la prefabricación. El concreto se ha utilizado en la construcción de numerosas soluciones de vivienda en el país desde los primeros años del siglo XX, donde se ha especificado como material fundido *in situ* para la conformación de los elementos estructurales de los proyectos.

Infraestructura

Si la estructura de soporte o los elementos no estructurales se prefabrican en plantas industriales ubicadas a cierta distancia de los proyectos, deben responder a diferentes restricciones, en sus dimensiones, volúmenes y pesos. Por lo tanto, las propuestas para la industrialización de la estructura de la vivienda están concebidas para territorios con accesibilidad terrestre (en algunos casos, ferrocarril o río), que permiten la carga de elementos con estas dimensiones y pesos, y que, idealmente, no se encuentren a más de 150 km para que las distancias puedan cubrirse sin perder eficiencia en el tiempo y los costos del transporte. Para este caso, es necesaria la presencia industrial de plantas de prefabricación en varias partes del territorio departamental y nacional, para satisfacer la demanda de posibles viviendas de concreto prefabricado en otros municipios y departamentos. Otra posibilidad de industrialización es la producción de elementos de concreto prefabricado en obra. Esto se conoce como fábricas de campo, que pueden reducir los costos de transporte, pero aumentar los costos de logística al mover maquinaria y herramientas especializadas al sitio del proyecto. En cada caso, según las distancias entre las plantas y los proyectos, los costos de transporte y la accesibilidad a los lotes, se debe considerar si la producción de los elementos estructurales en la industria o en el sitio de construcción es más eficiente.

En términos industriales

El contexto industrial en los procesos de concreto prefabricado se ha fortalecido desde los últimos diez años del siglo XX con el deseo de las industrias de innovar y producir nuevos conocimientos. La presencia de puntos de fábricas de cemento y la cantidad de prefabricadores de concreto en el país han aumentado desde principios del siglo XXI. La industria del concreto prefabricado en el contexto local tiene una agremiación denominada el Comité de Prefabricadores de Antioquia, con la presencia del Instituto Colombiano de Productores de Cemento (ICPC), la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL) y empresas de prefabricación que tienen su sede en el departamento. La prefabricación de viviendas sociales cuenta con el sector industrial como uno de sus aliados potenciales más fuertes, dada la presencia histórica de la industria del cemento en la construcción de viviendas y la unión de prefabricadores, cada vez más posicionados en el mercado de infraestructura física, para formar parte del mercado de la vivienda.

En términos políticos

La entrega de nuevas unidades de vivienda a comunidades con bajos ingresos económicos ha sido un programa de los gobiernos locales y del gobierno nacional. En 2010, el gobierno colombiano lanzó un programa para construir 100,000 viviendas gratuitas para comunidades distribuidas en todo el territorio nacional, mientras que el gobierno de Antioquia, a través de la Empresa de Vivienda de Antioquia (VIVA), ha construido decenas de miles de viviendas en cada periodo de gobierno. El Plan de Desarrollo de Medellín ha propuesto la construcción de 20.000 nuevas unidades de vivienda entre 2016 y 2020, una situación que muestra el interés de los gobiernos en la construcción de viviendas asequibles y de calidad para las comunidades. Este compromiso político se beneficiaría de los sistemas industrializados que reducen el tiempo, los costos y aumentan la cantidad y calidad de las viviendas sociales ofrecidas, una situación que hace que la industrialización de viviendas sea atractiva para los programas de subsidios oficiales y para el desarrollo de la empresa privada.

En términos normativos

El uso del concreto prefabricado en la construcción de casas y otros edificios, está regulado por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 en el Capítulo C.16 (Concreto Prefabricado), que forma parte del Título C (Concreto estructural). La construcción con concreto prefabricado en el país está normatizada y permite desarrollos de vivienda a través del uso de este sistema. Dosificaciones, resistencias mínimas requeridas, refuerzos estructurales, mecanismos de elevación y tipos de juntas de los elementos prefabricados están explicados en detalle en las normativas vigentes para el uso de este sistema estructural y constructivo.

Vivienda Social

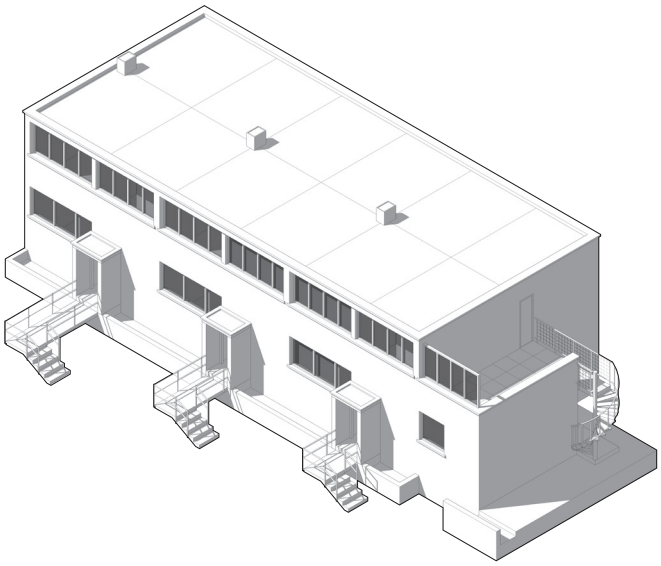


Gráfico 13
Vivienda propuesta en el modelo *Existenzminimum*. *Weißenhofsiedlung,* Stuttgart. Arquitecto: Mart Stam

3.1. Historia y evolución del concepto de vivienda social

Tanto en el contexto internacional como en el local, el desarrollo de la vivienda social tiene algunos aspectos similares. Los principios conceptuales, desarrollados en Europa Occidental, se replicaron posteriormente en América Latina. En el contexto regional, estos desarrollos han sido acompañados por modelos urbanos, sociales, económicos y técnicos, con los cuales se han propuesto diferentes proyectos.

3.1.1. En Europa Occidental

En la segunda mitad del siglo XX, se utilizaron tres modelos o acciones para la producción de viviendas en serie: especulativa, cooperativa y estatal. La acción especulativa se basó principalmente en la construcción de barrios con requisitos legales básicos para fines de alquiler. La acción cooperativa se basó en asociaciones de trabajadores y empleados de grandes empresas industriales, cuyo objetivo principal era obtener una vivienda con sus propios recursos y con los subsidios estatales disponibles. La acción estatal incluyó legislación sobre problemas urbanos y de vivienda, el establecimiento de cadenas de crédito, subsidios y entidades responsables de concebir, diseñar y construir los barrios (Saldarriaga y Carrascal, 2006, pp. 11-12). En los primeros años del siglo XX, se revisaron los programas de vivienda y sus necesidades; se estudiaron estrategias para reducir los costos de construcción, se experimentaron otros sistemas técnicos, se propuso la estandarización de los diseños y se implementó la industrialización de la construcción. El intento de establecer un nuevo modelo urbano impulsó la reflexión sobre las características de los proyectos de vivienda; se plantearon teorías sobre espacios públicos, políticas de transporte, equipamiento y planes urbanos regionales (Sambricio, 2012, p. 7).

3.1.1.1. Vivienda mínima

Esta filosofía estaba relacionada con el desarrollo de viviendas masivas para la clase trabajadora (Saldarriaga y Carrascal, 2006, p. 13). El Segundo Congreso Internacional de Arquitectura Moderna (CIAM), celebrado en Fráncfort en 1929, tuvo como tema "Vivienda para el nivel mínimo de vida". Walter Gropius contribuyó con un texto titulado "Los fundamentos sociológicos de la vivienda mínima para la población trabajadora de la ciudad", en el que propuso que se debía encontrar el tamaño mínimo óptimo para satisfacer las necesidades de la vida al precio más bajo posible. Gropius creía que el aspecto fundamental de este modelo se encontraba en conocer la cantidad mínima de aire, luz y espacio necesaria para el desarrollo de funciones vitales, variables que podrían modificarse según las condiciones específicas de una ciudad, región o clima (Gropius, 1973, pp. 120-121). El texto resumía la idea de encontrar un mínimo de estándares de vida con respaldo científico. Se encontraron diferencias sustanciales entre la simplificación (como un problema estético) y la minimización de los estándares de vida (como un problema social). La vivienda mínima fue uno de los aspectos más estudiados en la concepción de la vida moderna, la vivienda de los trabajadores y las ciudades planificadas. Esta filosofía proponía que la vivienda en el siglo XX fuera austera, eficiente y funcional (Saldarriaga y Carrascal, 2006, pp. 14-15). El modelo se denominó Existenzminimum y guió el desarrollo de algunos proyectos en Europa Occidental a partir de 1920, comenzando con los principios de funcionalismo y racionalización constructiva (Gráfico 13) (Saldarriaga y Carrascal, 2006, p. 15).

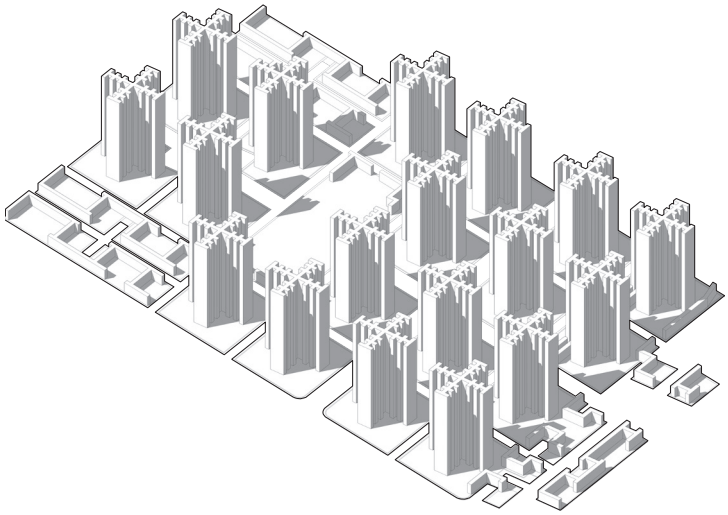


Gráfico 14
Vivienda masiva de producción industrial. *Ville Radieuse*. Arquitecto: Le Corbusier.

3.1.1.2. Vivienda masiva

Este método tenía dos modelos con pocas variaciones tipológicas: casas unifamiliares de uno o dos pisos y edificios multifamiliares con apartamentos. La reconstrucción de las ciudades después de la guerra y la producción masiva de viviendas impulsaron la investigación y el desarrollo de otros sistemas de construcción, en los que la prefabricación fue una de las más utilizadas (Saldarriaga y Carrascal, 2006, p. 16). En 1923, Le Corbusier reflexionó sobre la industria como una inspiración para la vivienda en "Hacia una nueva arquitectura". Se refirió a la influencia de las leyes económicas en la forma de pensar y actuar del hombre. Destacó el hogar como un componente fundamental de la sociedad; propuso una revisión de los elementos de construcción de las casas, diciendo que la producción en masa debería basarse en el análisis y la experiencia, y que la industria debería ocuparse de la construcción (Le Corbusier, 1976, p. 96). En 1951, la Exposición *Constructa* se llevó a cabo en la ciudad de Hannover, donde las escuelas de arquitectura alemanas mostraron las propuestas de *Wiederaufbau* (reconstrucción) para levantar nuevos hogares en un corto plazo después de la Segunda Guerra Mundial. En otro contexto, el Primer Secretario del Partido Comunista de la Unión Soviética, Nikita Khrushchev, se dirigió a la Conferencia Nacional de Constructores, Arquitectos y Trabajadores en 1954 para solicitar la industrialización como un mecanismo para la construcción de nuevas viviendas (Sambricio, 2012, p. 11). La producción en masa de los elementos constructivos se hizo para reducir los costos y el tiempo, aumentar la eficiencia industrial y entregar un mayor número de soluciones de vivienda en menos tiempo (Gráfico 14).

3.1.1.3. La unidad de barrio

Este modelo resume los elementos que conforman una ciudad moderna: construcción a gran altura, viviendas en masa y ciudad jardín. La unidad de vivienda con servicios comunes y áreas libres, reemplazó gradualmente el concepto de vecindario como una unidad de desarrollo urbano, formada por grupos de lotes individuales con algunas áreas comunes (Saldarriaga y Carrascal, 2006, p. 19). En *Notas sobre grupos de vivienda* (1929), Clarence Perry declaró que los ocupantes de una unidad vecinal deberían tener acceso a una escuela primaria, espacios para jugar y centros comerciales minoristas (Posada, como se cita en Saldarriaga y Carrascal, 2006, p. 19). En el Congreso Internacional de Arquitectura Moderna (CIAM) de 1930, Le Corbusier propuso la creación de nuevos espacios domésticos con un uso al aire libre, como terrazas o jardines cubiertos, un aumento de los espacios públicos para reuniones comunitarias y una mejora en la movilidad peatonal (Le Corbusier, 1973, como se cita en Saldarriaga & Carrascal, 2006, p. 20). En la Carta de Atenas, escrita en el CIAM de 1933 y publicada en 1941, se sugirió que el núcleo básico de la planificación urbana consistía en la vivienda, que debería agruparse para proporcionarles los servicios comunes que necesitaban (CIAM, como se cita en Saldarriaga y Carrascal, 2006, p. 20). Entre los ejemplos más difundidos en Europa Occidental, en la segunda y tercera décadas del siglo XX, se encuentran el *Weißenhofsiedlung* en Stuttgart, los modelos racionales de Alexander Klein y las ciudades jardín de Le Corbusier. En todos ellos, existía lo fundamental: unidades residenciales, bloques de súper manzanas, ciudad jardín y vida comunitaria (Gráfico 15) (Saldarriaga y Carrascal, 2006, pp. 21-22).

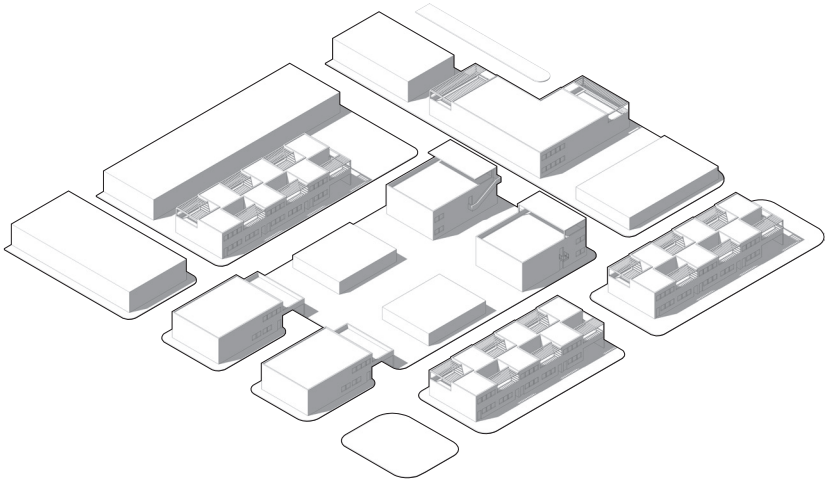


Gráfico 15
Una unidad de barrio con modelos de viviendas de ciudad jardín. Ciudad Jardín. Arquitecto: Le Corbusier

3.1.2. En América Latina

La vivienda social latinoamericana se clasifica en tres períodos: vivienda de los trabajadores, vivienda del gobierno y la fase experimental de la vivienda social.

La vivienda de los trabajadores, entendida como la respuesta de las ciudades a la migración de la población rural, generó nuevas áreas de desarrollo, vecindarios de trabajadores y áreas urbanas. La vivienda estatal fue propuesta por los programas gubernamentales como respuesta al creciente déficit de vivienda. En la fase experimental de vivienda social, las nuevas propuestas de vivienda repensaron aspectos como la calidad de vida urbana, la implementación de nuevos sistemas de construcción y los esquemas de desarrollo de crecimiento planificado. En este período, se propuso una nueva forma de interpretar las necesidades de las familias y las ciudades en constante crecimiento.

3.1.2.1. Vivienda de los trabajadores

Las políticas estatales aumentaron en América Latina desde principios del siglo XX, un período en el que se establecieron algunas bases legales e institucionales para el desarrollo de nuevos proyectos. La crisis económica de 1929 y la migración del campo a la ciudad llevaron a reconsiderar algunas políticas económicas latinoamericanas. La industrialización se instaló en centros urbanos a mediados del siglo, lo que coincidió con la llegada de nuevos grupos familiares del campo a las ciudades, que comenzaron a crecer e incorporaron algunos aspectos de la modernización, como las comunicaciones, el transporte y la cultura de masas (Saldarriaga). & Carrascal, 2006, pp. 23-24). Los grupos familiares que llegaron a las ciudades y no pudieron encontrar trabajo se unieron al sector informal de la economía. La unión de las tradiciones de los grupos de trabajadores y la racionalidad de la vivienda masiva mostró desequilibrios culturales y generó transformaciones en la función y el lenguaje de los espacios residenciales (Gráfico 16) (Saldarriaga y Carrascal, 2006, p. 24).

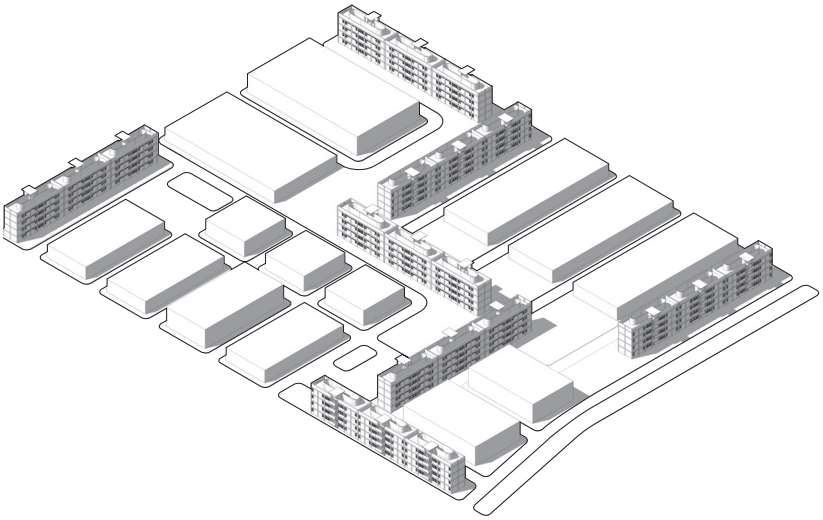


Gráfico 16
Modelos para vivienda de la clase trabajadora en Latinoamérica. Unidades de Vivienda Matute, La Victoria, Lima. Arquitecto: Santiago Agurto Calvo

3.1.2.2. Viviendas estatales

Antes de 1920, algunos países latinoamericanos comenzaron a establecer bases legales e institucionales para desarrollar programas de vivienda social. Su construcción en las primeras décadas del siglo XX fue impulsada por una acción gubernamental que promovió la modernización. Entre 1940 y 1960, algunos gobiernos iniciaron un proceso de industrialización que reemplazó las importaciones y favoreció el surgimiento de una clase socioeconómica media. Esta modernización tuvo inversiones públicas y se reflejó en la mejora de las condiciones de vida de las clases económicas con menor poder adquisitivo. Los primeros proyectos estatales de vivienda masiva en América Latina se construyeron en los años cincuenta. Más tarde, esto evolucionó hacia el desarrollo de unidades vecinales, concebidas como barrios con servicios y equipos, que luego determinarían el crecimiento urbano futuro (Sambricio, 2012, p. 12). La vivienda estatal fue pensada como un medio para desarrollar políticas públicas, encontrar un acuerdo entre los sectores oficiales y la sociedad, y mejorar la calidad de vida de la clase trabajadora. Algunos gobiernos asumieron su construcción como una estrategia para fortalecerse políticamente y para ganar el apoyo público. Otros gobiernos tecnocráticos sostuvieron una visión más racional del problema y lo abordaron basándose en modelos internacionales (Saldarriaga y Carrascal, 2006, p. 23). La mayoría de los países demoraron en alcanzar un grado significativo de industrialización y los usuarios de estos proyectos fueron, durante mucho tiempo, familias recientemente urbanizadas (Saldarriaga y Carrascal, 2006, p. 24). Aunque se replicaron en diferentes contextos, se reafirmaron las ventajas de la vivienda estatal y se evidenciaron sus debilidades. Si no se tienen en cuenta las diferencias culturales o los aspectos específicos de cada contexto, algunas comunidades se resisten a la uniformidad y modificación de sus espacios de vida (Gráfico 17). Desde los primeros años del siglo XXI, la acción del Estado se ha reducido gradualmente debido a las políticas macroeconómicas y las acciones de privatización emprendidas originalmente por el mismo Estado (Saldarriaga y Carrascal, 2006, p. 23).

3.1.2.3. Vivienda experimental

Desde 1960, se documentaron las primeras experiencias de autoconstrucción y desarrollo progresivo. Este proceso se llevó a cabo en barrios populares con la participación de sus habitantes en la construcción, que se reglamentó para evitar que las iniciativas particulares estuvieran por encima de las de la comunidad. Con parcelas individuales, cada familia podría emprender la construcción de su casa con sus propios recursos. En la autoconstrucción, el propietario asumió la responsabilidad de llevar a cabo parte del proceso o todas las actividades que lo comprendían: la adquisición del terreno, la planificación del proyecto y la construcción. A veces, la mano de obra provino exclusivamente del propietario con la ayuda de su familia. En la autogestión, la mano de obra podría ser contratada por el propietario, quien en algunos casos también contribuyó con su trabajo (Rueda, 1979, como se cita en Saldarriaga y Carrascal, 2006, p. 26). El arquitecto inglés John Turner, que trabajaba en barrios de Lima, Perú, propuso incorporar la autoconstrucción en los programas estatales como una alternativa para reducir costos, mejorar la calidad del proceso y obtener mejores resultados. En su libro Libertad para construir (*Freedom to Build*) (1972), propuso, entre otros aspectos, lo siguiente:

> *Cuando los usuarios pueden hacer su propia contribución al diseño, construcción o administración, el proceso y el entorno estimulan el bienestar individual y grupal. Cuando las personas no tienen control ni responsabilidad en las decisiones que guían la definición de las políticas de proyectos de vivienda, los asentamientos resultantes pueden convertirse en una barrera para la satisfacción personal y una carga para la economía [...]. La producción y distribución de los recursos debe organizarse en redes de fácil acceso, sin estructuras jerárquicas autoritarias [...]. Los recursos más significativos están representados por el ahorro real y potencial de la población. La economía es una cuestión del uso eficiente de los recursos disponibles en un momento dado. (Rueda, 1979, como se cita en Saldarriaga y Carrascal, 2006, pp. 26-27)*

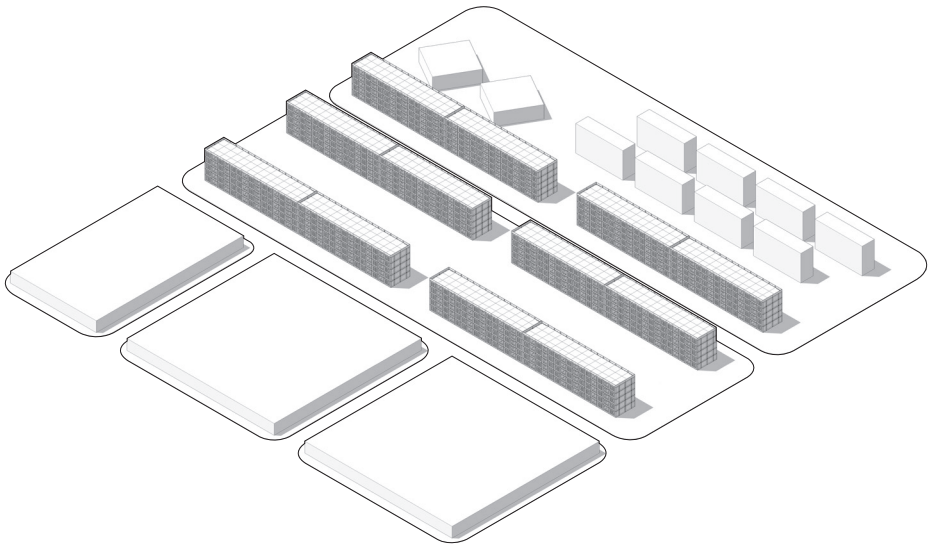


Gráfico 17
Modelos de vivienda del Estado en América Latina. Distrito José Martí, Santiago de Cuba. Arquitectos: Dean, Baeza, López, Cárdenas, Rodríguez y Azze.

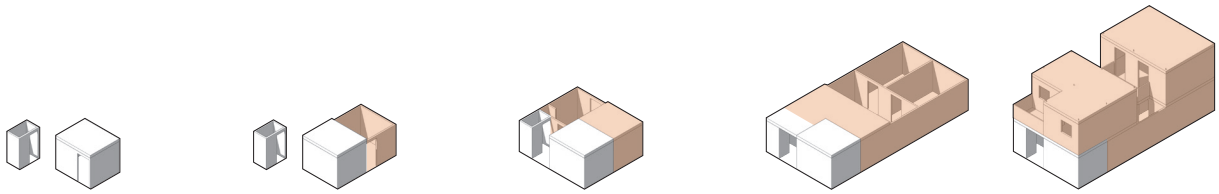


Gráfico 18
Vivienda colectiva en América Latina (modelo experimental). Lima. Arquitecto: John Turner

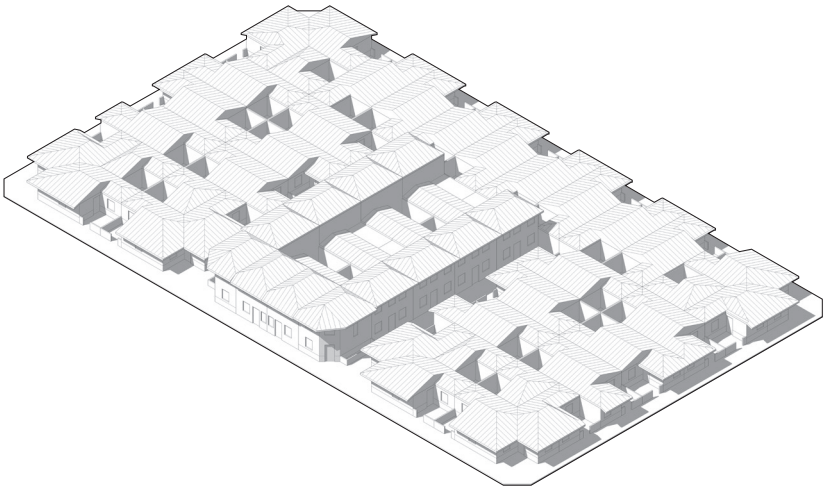


Gráfico 19
Modelos de vivienda construidos en Colombia en el Periodo Higienista. Barrio Colombia, Bogotá. Arquitectos: BCH

La autoconstrucción fue la alternativa de vivienda más asequible en América Latina y propuso otros tipos de condiciones a los modelos institucionalizados por el CIAM. Las propuestas de Turner se recibieron con entusiasmo y se transfirieron a planes estatales "autodirigidos", que se iniciaron en la década de 1960 por algunas entidades y grupos de autoayuda (Gráfico 18) (Saldarriaga y Carrascal, 2006, p. 27).

3.1.3. En Colombia y Antioquia

La atención de los gobiernos locales a las necesidades de vivienda de la población se intensificó a principios del siglo XX, con su interés en resolver la falta de agua y alcantarillado en algunos hogares. Posteriormente, la acción del Estado tuvo como objetivo establecer métodos de administración pública, mediante el desarrollo de formas institucionales de asistencia social e industrialización. La afiliación laboral de los trabajadores a una empresa a través de contratos formales y la legislación laboral les permitía asegurar un ingreso con el que podían pagar el alquiler o comprar una casa (Saldarriaga y Carrascal, 2006, p. 12). El artículo 44 de la Ley 9 de 1989 introdujo el concepto de Vivienda de Interés Social Prioritario (VIP) y Vivienda de Interés Social (VIS), con un precio de venta máximo definido por el salario mínimo mensual. El artículo 91 de la Ley 388 de 1997 los definió como aquellos que "aseguran el derecho a la vivienda de las familias con ingresos más bajos", indicando que en cada Plan Nacional de Desarrollo (PND), el gobierno nacional establecería el tipo y el precio máximo de las soluciones destinadas a estos hogares, teniendo en cuenta el déficit de vivienda, las posibilidades de acceso al crédito, las condiciones de las ofertas y los fondos estatales. Las políticas de vivienda en Colombia se clasifican en cinco periodos: Higienista, Institucional, Transicional, Corporativo y Comercial.

3.1.3.1. Higienista (1918-1942)

El Periodo Higienista fue impulsado a preservar la salud y las condiciones de vida en las ciudades y el campo. Desde 1920, el Estado colombiano comenzó a conformar instituciones públicas para promover la vivienda urbana. La reforma Constitucional de 1936 determinó su función social, estableció estrategias para el financiamiento individual y promovió la construcción de hogares de trabajadores y granjas familiares para los habitantes rurales. Los municipios fueron autorizados a otorgar un subsidio del 20% al 25% de su costo, una cuota inicial del 10% y subsidios variables para el pago de las tasas de interés. En 1939, el Estado fundó el Instituto de Crédito Territorial (ICT) y el Banco Agrario, inicialmente destinado a la financiación y construcción de viviendas rurales. En este período, se avanzó en la regulación del crédito; se promovió el establecimiento de bancos de suministro y se construyeron los primeros modelos de vecindario de trabajadores (Minvivienda, 2014, p. 26). En 1942, el Departamento de Vivienda Urbana abrió sus puertas dentro del ICT (Gráfico 19) (Saldarriaga y Carrascal, 2006, p. 29).

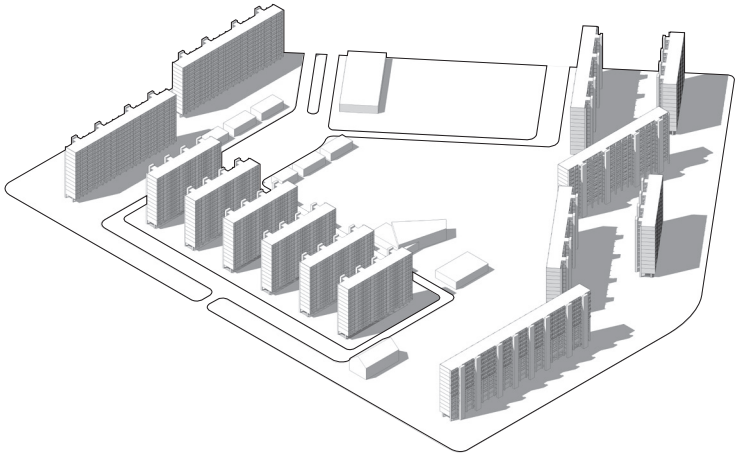


Gráfico 20
Modelos de vivienda construidos en Colombia en el Periodo Institucional. Centro Urbano Antonio Nariño, Bogotá. Arquitectos: Gutiérrez, Esguerra Sáenz, Urdaneta y Suárez.

3.1.3.2. Institucional (1942-1965)

Durante este período, la intervención estatal se consolidó a través de las instituciones oficiales existentes. Se ampliaron las funciones y recursos fiscales del Banco Central Hipotecario (BCH) y el ICT.

Entre 1952 y 1957, el subsidio familiar se creó por un monto que se otorgó en función del número de hijos del beneficiario. En ese momento, se observó una creciente preocupación por la calidad de las casas existentes, y se crearon regulaciones para establecer las condiciones en la ubicación de los proyectos y su relación con la infraestructura de servicio en las ciudades. Entre otros requisitos, tenía que haber un área mínima para cada usuario, un número específico de habitaciones, un área mínima de ventanas para iluminación y ventilación, la cocina y el baño tenían que estar separados de otros espacios, había que utilizar materiales de construcción de calidad. y tenía que haber un precio máximo. Para reducir los costos, se propuso la producción e importación de suministros de acuerdo con sus precios y la prefabricación se consideró como una alternativa para la construcción.

El concepto de desarrollo progresivo fue contemplado por primera vez, práctica que posteriormente se replicó en diferentes proyectos. En 1954, el ICT desapareció temporalmente para fusionarse con la Corporación de Servicios Públicos y se estableció el subsidio familiar. El ICT reapareció en 1957, después de la caída de un gobierno militar en Colombia (Saldarriaga y Carrascal, 2006, p. 29). En el mismo año, se creó la Caja de Crédito Agrario, Industrial y Minero para implementar programas de vivienda rural, asociado con el concepto de vivienda asequible.

Las políticas de subsidio se descentralizaron para incluir institutos y asociaciones cooperativas para trabajadores o empleados, considerados beneficiarios potenciales de crédito. En este período, el sector privado intervino como operador y proveedor de crédito para la vivienda. Además de apoyar la compra de nuevas viviendas, se incluyó el financiamiento para comprar un lote y la construcción, la reparación de viviendas usadas y los pagos de hipotecas.

Entre 1958 y 1962, se tomaron medidas para complementar el enfoque institucional. La ubicación de los proyectos en las afueras fue un factor que incrementó los costos, debido a la necesaria extensión de las redes de servicios públicos. La falta de financiamiento para los constructores se atribuyó a la baja rentabilidad del negocio, lo que llevó a la creación de incentivos fiscales para la inversión privada. Se establecieron planes para la construcción de nuevas viviendas con recursos del ICT y apoyos beneficiarios a través de cuotas iniciales. En este período, se construyeron edificios de gran altura para reducir la incidencia de los terrenos urbanos en el costo de los proyectos (Gráfico 20). La suma de los requisitos económicos llevó a la conclusión de que los recursos fiscales del país eran insuficientes y que debía proponerse el apoyo de entidades internacionales. La concepción de esta política correspondía al modelo universal de la "Teoría del Bienestar", que sostenía que el Estado debía intervenir en la generación de servicios sociales. La estimulación de los recursos privados, como mecanismo para financiar la construcción, permitiría la inversión, generaría empleo para la mano de obra disponible, lograría mejores niveles de vida y crearía condiciones favorables para el crecimiento industrial (Minvivienda, 2014, pp. 27-33).

3.1.3.3. Transicional (1965-1972)

En este período, hubo una acción estatal que avanzó hacia un nuevo modelo en el que los bancos, asociaciones y asociaciones de ahorro asumieron el control financiero de los proyectos de vivienda (Saldarriaga y Carrascal, 2006, p. 29). A partir de 1966, se introdujeron subsidios en el segmento inmediatamente superior a la población clasificada en estado de pobreza. El enfoque institucional y la acción estatal se reforzaron con la creación del Fondo Nacional de Ahorro (FNA) en 1968. A esta entidad se le asignó la tarea de administrar la indemnización por despido de los funcionarios del sector público colombiano, desarrollando programas de vivienda y ofreciendo líneas de crédito hipotecario. En 1969, se creó el Consejo Superior de Vivienda y Desarrollo Urbano como la entidad gobernante para la política de vivienda urbana en Colombia. La tipología multi-familiar fue favorecida en proyectos públicos, y se propuso la necesidad de

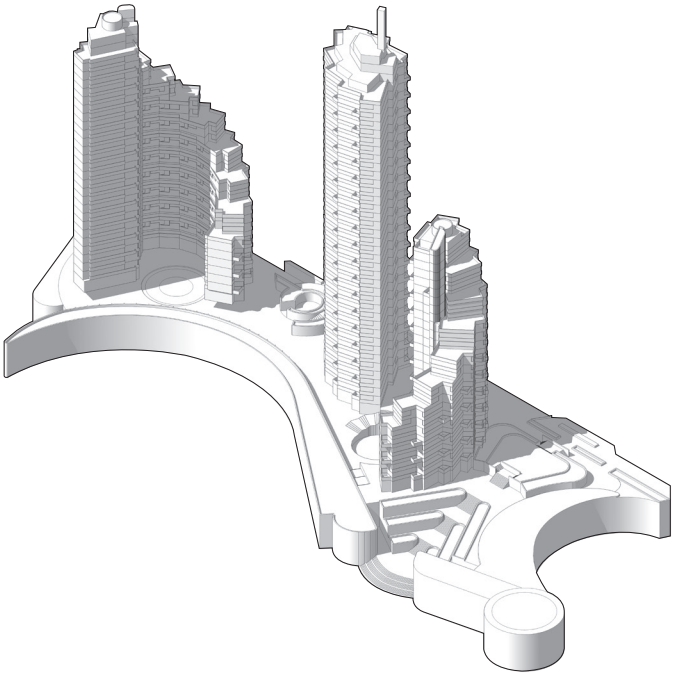


Gráfico 21
Modelos de vivienda construidos en Colombia en el período de transición. Residencias El Parque, Bogotá. Arquitecto: Rogelio Salmona

densificar ciudades con nuevos proyectos de vivienda, que podrían operar como instrumentos de desarrollo (Gráfico 21) (Minvivienda, 2014, pp. 34-35).

3.1.3.4. Corporativo (1972-1991)

En este período, hubo dos enfoques diferentes: la participación de instituciones estatales y las Corporaciones de Ahorro y Vivienda (CAV), que trabajarían con la Unidad de Poder de Adquisitivo Constante (UPAC) (Saldarriaga y Carrascal, 2006, p. 29). Estas corporaciones fueron concebidas como entidades privadas autorizadas por el Estado para financiar proyectos residenciales. Entre 1978 y 1982, el gobierno nacional alentó el desarrollo de nuevos grupos de viviendas y aumentó la participación de la construcción en el Producto Interno Bruto (PIB) del país. Entre 1982 y 1986, el gobierno volvió a centrar su atención en el déficit cuantitativo, reforzando la capacidad financiera y operativa de del ICT. La política se centró en "Vivienda sin Cuota Inicial" y estableció el objetivo de construir 400.000 unidades en cuatro años, la mitad de las cuales eran de interés social. Teniendo en cuenta la participación del sector privado, el sistema de UPAC estaba regulado, cuyo objetivo era mantener el poder de compra del dinero y ofrecer una solución a las familias que necesitaban obtener un préstamo a largo plazo. Las cuentas de ahorro en UPAC ajustarían su valor de acuerdo con la inflación, para garantizar que el dinero mantuviera su poder adquisitivo. Las Corporaciones de Ahorro y Vivienda debían colocar un porcentaje de sus carteras en los segmentos de vivienda social, y se regulaban las condiciones financieras de los créditos hipotecarios. Al BCH se le asignaron proyectos para promover la redensificación en sectores urbanos populares y mejorar los asentamientos informales. El programa de vivienda sin cuota inicial marcó el último hito del ICT en lo que respecta a la construcción de nuevas unidades (Gráfico 22). El presupuesto asignado en ese momento le permitió generar aproximadamente un tercio del total de unidades construidas por esta entidad desde 1939.

Por primera vez, el Departamento Administrativo Nacional de Planificación (DANE) separó el déficit cuantitativo del déficit cualitativo. Esto llevó al ICT a concentrarse en programas destinados a mejorar los hogares construidos en las ciudades. El período de la Corporación de Ahorros y Vivienda finalizó cuando el sistema UPAC alcanzó la etapa de mayor vitalidad, que funcionaría hasta la crisis económica de 1999, desencadenada por las dificultades para cobrar los pagos. En la década de 1990, el ICT (que en 1990 agregó casi 700.000 unidades en más de 600 municipios en el país) y el BCH se liquidaron. La responsabilidad de implementar la política y la planificación del uso del suelo fue transferida a los municipios. En ese momento, el déficit cuantitativo y cualitativo afectó a casi un tercio de los hogares de Colombia. Así, se terminó la concepción de políticas de vivienda basadas en el Estado del Bienestar. Las soluciones de vivienda insuficientes de este modelo, sumadas a los proyectos estatales que no correspondían a las necesidades y capacidades de pago de los hogares en déficit, provocaron el desarrollo de una producción social autónoma de hogares, con problemas de ilegalidad e informalidad en el proceso de autoconstrucción (Minvivienda, 2014, pp. 35-39).

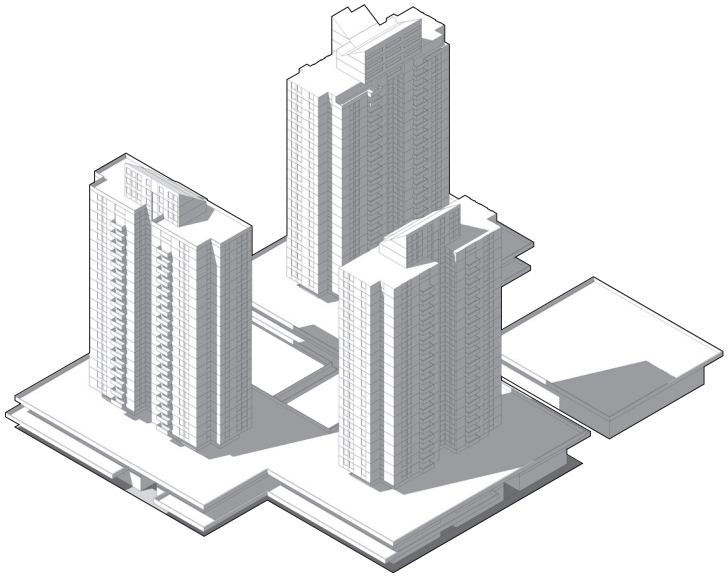


Gráfico 22
Viviendas colectivas construidas en Colombia por el ICT durante el Periodo Corporativo. Torres Marco Fidel Suárez, Medellín. Arquitecto: Eduardo Arango

3.1.3.5. Concepción de mercado y subsidios a la demanda (desde 1991)

La Ley 3 de 1991 propuso desmantelar las formas de intervención estatal y aumentar el poder adquisitivo a través de subsidios (en efectivo o en especie) (Saldarriaga y Carrascal, 2006, p. 30). La participación del sector privado se promovió en proyectos de interés social para atraer al sector financiero (Minvivienda, 2014, pp. 40-44). A través de la Ley 388 de 1997, se formuló una política basada en la definición de áreas destinadas a vivienda social y el empleo de nuevos instrumentos para regular los precios de los lotes, así como la participación de las ganancias de capital y la expropiación a través de medios administrativos. Se establecieron subsidios para tres tipos de programas: mejora del ambiente y vivienda, legalización de títulos de propiedad y adquisición. El gobierno asignó un papel estratégico al sector financiero a través de mecanismos como el arrendamiento de viviendas (un sistema financiero que no requería ahorros previos o una cuota inicial; el usuario pagaría una cantidad periódica para adquirir su vivienda) (Plan Nacional de Desarrollo, como se cita en Saldarriaga y Carrascal, 2006, p. 31) y el microcrédito de vivienda (financiamiento que se otorgó para la adquisición, construcción o mejora de bienes raíces con un monto que no superó los 25 Salarios Mínimos Legales Mensuales Vigentes SMLMV, que se pagaría en un período de cinco años y una tasa de interés equivalente a la provista para la financiación de VIS) (Ley 795 de 2003, Art. 95, según lo citado en Saldarriaga y Carrascal, 2006, p. 31). Según este modelo, el Estado no debe suplantar o competir con el sector privado en la producción de bienes y servicios. En este período, las instituciones públicas reportaron un balance desfavorable en su producción, financiamiento y calidad. La situación era evidente en la crisis financiera del ICT y en la magnitud del déficit. También se argumentó la exclusión de grandes sectores de la población del mercado de la vivienda, debido a sus bajos niveles de ingresos y la informalidad de sus ocupaciones. Surgió el Sistema Nacional de Vivienda de Interés Social, además del Subsidio Familiar de Vivienda) y el Instituto Nacional de Vivienda de Interés Social y Reforma Urbana (INURBE), en sustitución del ICT. En este período, la nueva Constitución de Colombia de 1991 entró en vigor, y su Artículo 51 consagró el derecho de los colombianos a una vivienda digna.

Durante los siguientes períodos administrativos, los planes Nacionales de desarrollo conservaron esta concepción del mercado y su legislación. La función de INURBE se centró en la gestión del subsidio de vivienda familiar. Durante el período administrativo que comenzó en 1994, se concibió una visión urbana integral para reemplazar la construcción y el mejoramiento de las políticas de vivienda.

La Política de Vivienda Social Urbana se estableció para hogares con bajos ingresos y la Red de Solidaridad Social se creó para administrar los programas urbanos y rurales dirigidos a la población con menores recursos económicos (Gráfico 23) (Ministerio de Desarrollo Económico, 1995, citado en Minvivienda, 2014, p. 42).

La Ley 546 de 1999 (Ley de Financiamiento de la Vivienda) tuvo un impacto en la terminación del sistema de la UPAC luego de haber financiado cerca de 1.5 millones de hogares en el país desde 1972. En 1998, se crearon las Cuentas de Ahorro para Promover la Construcción (AFC). En 2003, se creó el Fondo Nacional de Vivienda (FONVIVIENDA) bajo el Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial. En el período comprendido entre 2006 y 2010, se implementó la política de vivienda de Ciudades Amables, que fue parte de la estrategia para promover el empleo y la equidad con las siguientes acciones: articulación e implementación de políticas sectoriales (mejora integral de barrios, macroeconomía y proyectos de vivienda social, renovación urbana, redensificación urbana y fortalecimiento de la oferta de vivienda), creación de bancos de suministro y motivación para nuevas estrategias, como acuerdos con el sector financiero.

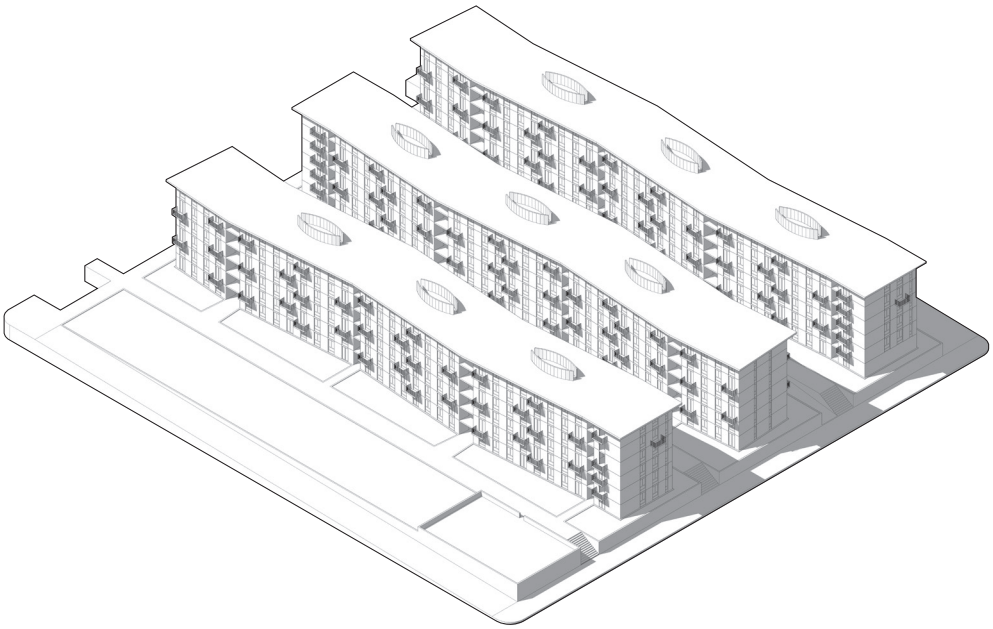


Gráfico 23
Vivienda social urbana construida en Colombia durante el período de concepción del mercado y subsidios a la demanda. Residencias La Playa, Medellín. Arquitectos: Ana E. Vélez y Juan B. Echeverri.

Los problemas de desembolso, el acceso al crédito hipotecario y las restricciones de ahorro llevaron a la política de vivienda a centrarse en la demanda efectiva, lo que excluyó a los sectores de la población con ingresos más bajos. En 2010, el Plan Nacional de Desarrollo incluyó la construcción de un millón de hogares, de los cuales 649.454 serían VIS.

El plan mantuvo las categorías VIP y VIS en las escalas de precios definidas, y calificó un tercer tipo llamado Renovación Urbana VIS, con un precio de hasta 175 SMLMV para unidades de vivienda construidas en áreas de renovación urbana.

Desde 2010, la gestión institucional ha impulsado las intervenciones de oferta y demanda con la participación del sector privado. La acción directa del Estado se recuperó en préstamos hipotecarios y en la promoción de VIP y VIS. Este proceso fue liderado directamente por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y operó en base a la oferta, los instrumentos financieros, las formas de producción y el control de precios de los insumos (Minvivienda, 2014, p. 43).

3.2. Diseño urbano, arquitectónico y técnico de las viviendas sociales en el siglo XXI

El espacio urbano, los edificios y las unidades de vivienda han tenido variaciones espaciales; han vuelto a los aspectos tipológicos y han explorado otros tipos de soluciones técnicas en Europa Occidental, América Latina, Colombia y Antioquia.

Según las investigadoras Aurora Fernández Per, Javier Mozas y Javier Arpa, en Density Is Home (2011), los contextos urbanos en los que se construyeron viviendas colectivas se clasifican como dispersos, modernos, expansivos, centrales y reciclados (Fernández, Mozas y Arpa, 2011, p. 33). La vivienda colectiva también se ha construido en contextos redensificados (Gráficos 24 a 29).

Cada uno de estos contextos presenta diferentes condiciones con respecto a la ubicación de los edificios y la ocupación de los territorios: Los contextos dispersos generalmente se ubican en las periferias urbanas, con bajas densidades. Los contextos modernos generan diferentes tipos de zonificación en las ciudades, generalmente asociados con el uso. Los contextos expansivos son el resultado del crecimiento, planificado o no, de las ciudades. Los contextos centrales han densificado nuevamente la ciudad habitada y construida, mientras que los contextos reciclados corresponden al uso de infraestructuras industriales u otros usos, que han dejado las ciudades para expandirse a otros territorios y han dejado espacios para ser intervenidos por los desarrollos urbanos.

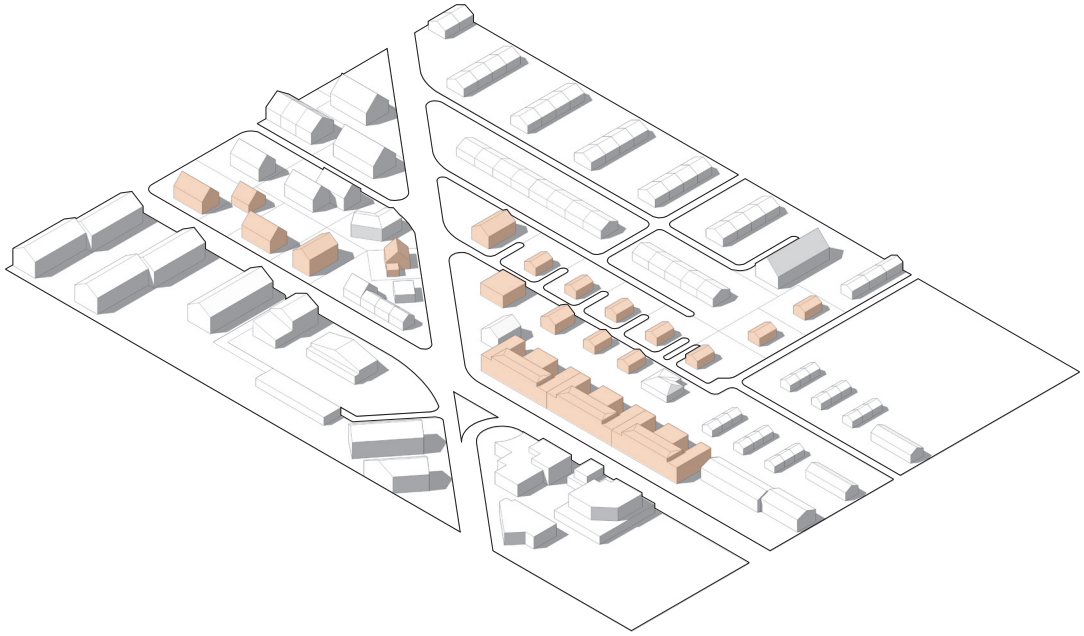


Gráfico 24
Contexto de la ciudad dispersa. Conversión de Rosenberg, Winterthur. Arquitectos: EM2N

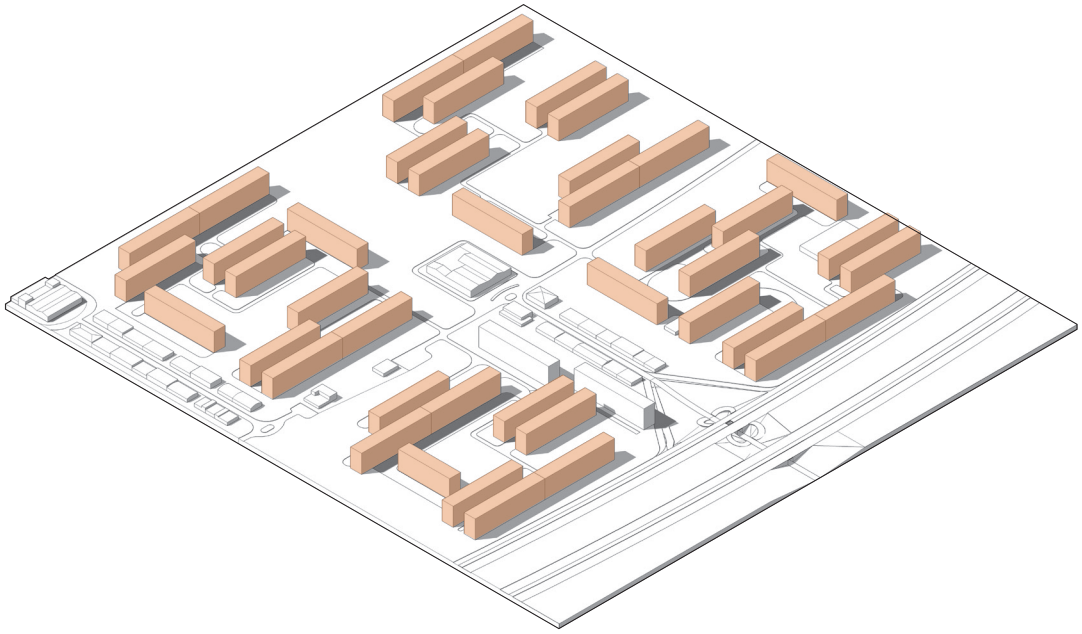


Gráfico 25
Contexto de la ciudad moderna. Brasilia, Brasil. Arquitecto: Lucio Costa

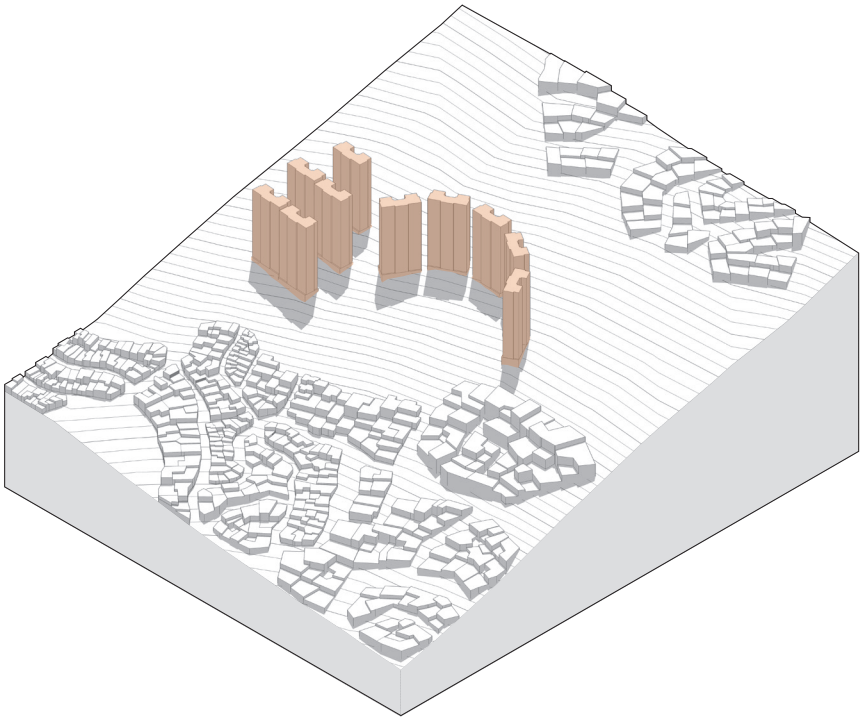


Gráfico 26
Contexto urbano expansivo. Viviendas Pajarito La Aurora, Medellín. Arquitectos: Instituto Social para la Vivienda y el Hábitat de Medellín, ISVIMED

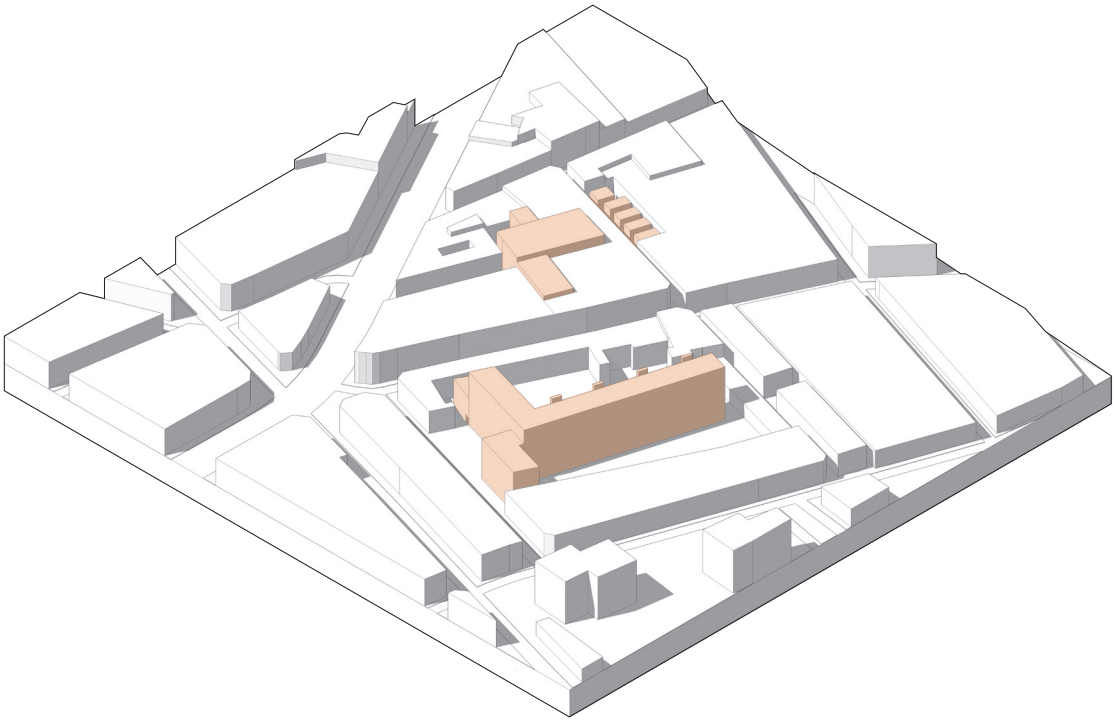


Gráfico 27
Contexto urbano central. Regeneración de la zona de Emile Chaíne, París. Arquitectos: Moussafir, Katz y Tachon

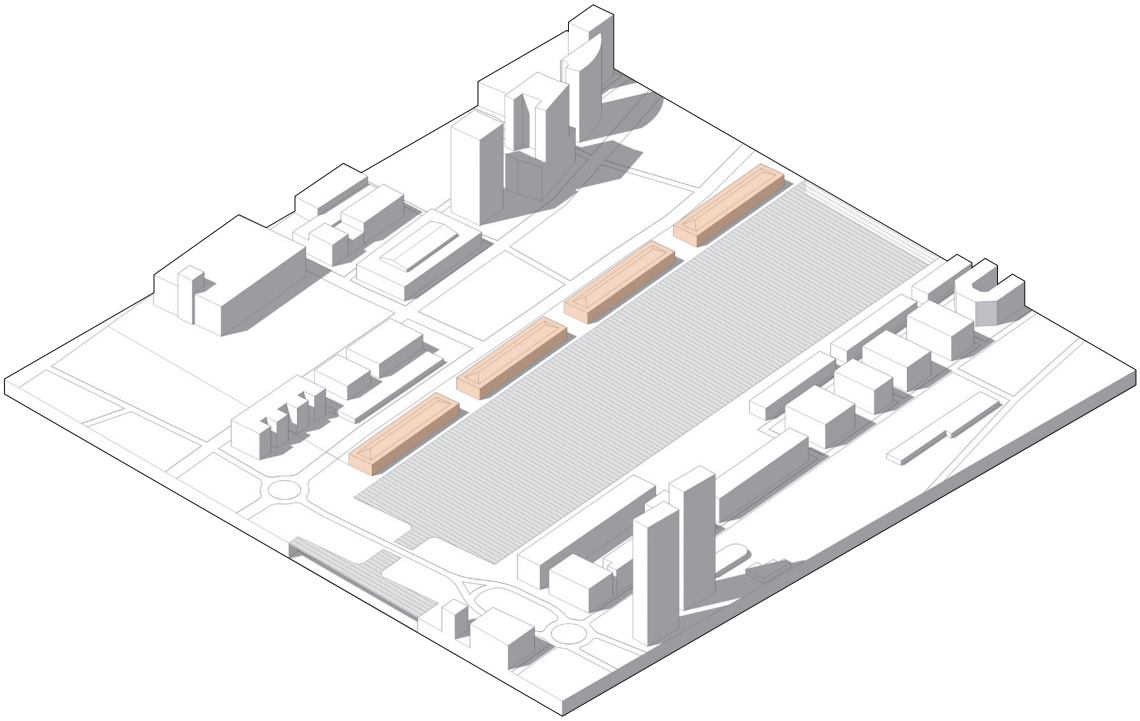


Gráfico 28
Contexto de la ciudad reciclada. Puerto Madero, Buenos Aires

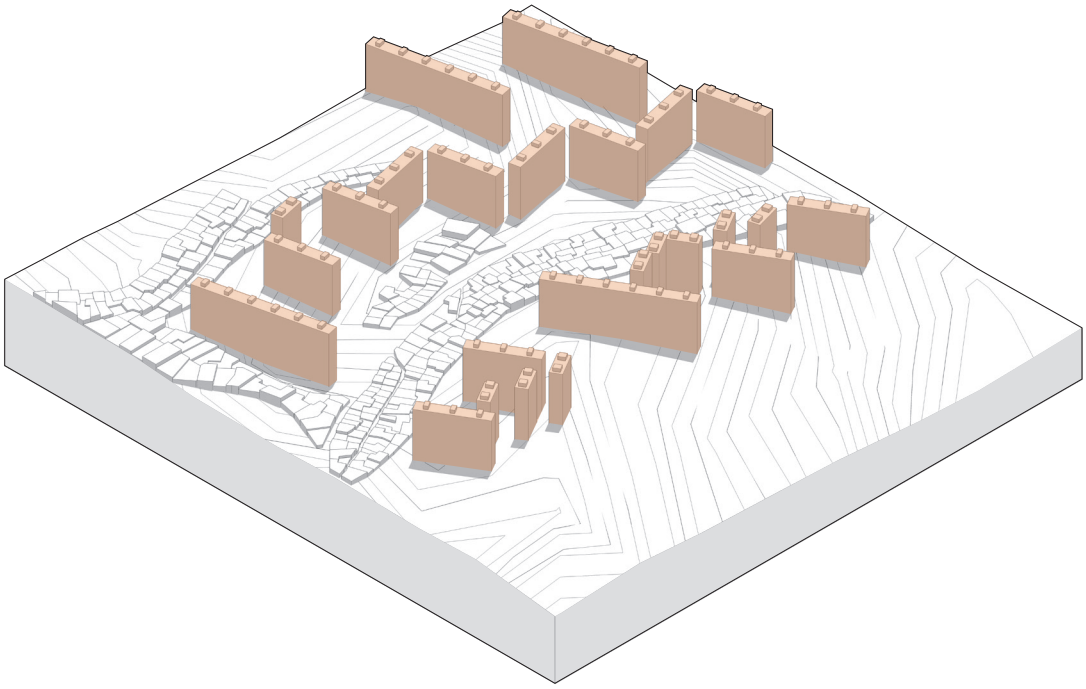


Gráfico 29
Contexto de la ciudad redensificada. Zona del barrio, 23 de enero, Caracas

3.2.1.Europa Occidental

Con la excepción de los procesos de inmigración en la segunda década del siglo XXI, donde algunas ciudades europeas han tenido que prepararse para recibir a muchas familias que han llegado por diferentes motivos, la vivienda colectiva en Europa Occidental no ha presentado los déficits de vivienda encontrados en América Latina, Colombia y Antioquia. Su evolución se ha dado a través de diferentes aspectos relacionados con la planificación urbana, las modalidades de habitar y las técnicas de construcción.

3.2.1.1. Urbanismo

El contexto de la ciudad dispersa es el que ocupa las periferias urbanas generalmente desarticuladas y que requiere infraestructuras adicionales para evitar el aislamiento de la vivienda. Su éxito en el sector inmobiliario radica en el hecho que los terrenos ubicados en la periferia – con el uso agrícola en la mayoría de los casos – son menos costosos, menos densos y menos favorables para la construcción. Algunos proyectos construidos desde el año 2000 han contribuido a aumentar las densidades residenciales en su entorno, y en algunos casos han introducido aspectos complementarios al uso residencial (Fernández, Mozas y Arpa, 2011, p. 35).

La ciudad moderna es el resultado de la expansión económica después de la Segunda Guerra Mundial, un aspecto que tuvo un impacto en la construcción de viviendas de bajo costo para trabajadores e inmigrantes. Estos complejos residenciales fueron el resultado de políticas que propusieron la ruptura del tejido de conformación urbana existente en la ciudad a través de bloques residenciales que transformaron los vecindarios en partes segregadas. Los espacios entre los edificios causaron problemas de seguridad. La repetición de soluciones constructivas y la estandarización del espacio habitable distanciaron la relación entre las familias y el lugar (Fernández, et al., 2011, p. 141).

Los contextos urbanos expansivos se basaron en el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB), que – según las cifras del Banco Mundial – aumentó un 206% entre 1995 y 2008 (Banco Mundial, s. f.). La perspectiva económica de ese momento llevó a la formulación de planes urbanos con ocupaciones de tierras que se comportaron como nuevas ciudades dormitorio y que no se integraron en la ciudad existente desde el principio. La ubicación de un contexto aislado permitió a estos proyectos experimentar nuevas formas, agrupaciones urbanas, tipologías arquitectónicas y el uso de otros materiales (Fernández, et al., 2011, p. 81).

Los contextos urbanos centrales aparecieron como una respuesta a la modernidad y tenían como objetivo mostrar que la superposición de usos y caminos peatonales en la ciudad histórica era casi indispensable para un desarrollo más sostenible. Ante el empuje del mercado, muchas ciudades experimentaron un aumento en los costos de la tierra. En Europa Occidental, aún se pueden encontrar vecindarios compactos que necesitaron la construcción de proyectos urbanos y de vivienda para mejorar la accesibilidad, el espacio público y sus instalaciones. En varias de sus ciudades, se encuentran ejemplos de operaciones de reciclaje, redensificación, reemplazo o crecimiento de formas urbanas tradicionales. Estos proyectos de vivienda colectiva han introducido algunas instalaciones públicas, grupos sociales de diferentes edades, intereses o recursos (Fernández, et al., 2011, p. 206).

La ciudad reciclada fue el resultado de la reubicación de industrias en otros lugares, la renovación de la infraestructura pública y la construcción de nuevos espacios urbanos. Estas acciones generaron áreas de oportunidades. El reciclaje de estos terrenos, adyacentes a las áreas urbanas, llevó a muchas ciudades a crecer desde adentro. Los paisajes industriales, conformados por edificios existentes, quedaron en manos de nuevos usos que las ciudades adaptaron a sus infraestructuras. Las viviendas sociales en la ciudad reciclada se ubicaron en áreas integradas a su entorno y se construyeron a través de programas oficiales o inversiones privadas. En estas áreas deprimidas, la vivienda pública se usó como una solución para usos y desarrollos futuros, que han sido necesarios para la regeneración de proyectos e intervenir positivamente en el entorno urbano (Fernández, et al., 2011, p. 321).

3.2.1.2. Vivienda

En los primeros quince años del siglo XXI en Europa Occidental, este tema ha sido estudiado desde la tipología del edificio y el programa de espacios interiores con sus áreas promedio edificadas.

3.2.1.2.1. Tipologías

Las tipologías se clasifican en función de la ocupación del territorio, agrupaciones urbanas y variantes arquitectónicas. Los edificios compactos generalmente se ubican en áreas urbanas, ocupando un espacio de la manzana, entre medianeros o en una esquina. Para aumentar el número de unidades, se repiten en altura, sin variaciones tipológicas. Los edificios extendidos ocupan un área más grande del terreno, generalmente en lotes periféricos. Configuran su sistema de circulaciones colectivas con corredores interiores hacia los patios o hacia las fachadas exteriores. La tipología arquitectónica del edificio varía de acuerdo con las regulaciones existentes, con las tasas de ocupación del terreno, las densidades permitidas, las alturas máximas o la vocación del mercado.

3.2.1.2.2. Programa

Las viviendas sociales contemporáneas en Europa Occidental desarrollan un programa con ligeras variaciones, donde los espacios domésticos generalmente se dividen en tres usos: servicios (que consisten en una cocina, uno o dos baños y un área de ropas, a veces ubicados en áreas comunes del edificio); el área social (compuesta por una sala, un comedor y, ocasionalmente, por un balcón o un estudio); y un área privada (que tiene de uno a tres dormitorios). Las áreas construidas varían según el programa y pueden medir entre 25 m² y 80 m². La formación de edificios de gran altura y la ocupación del espacio urbano varían de acuerdo con el contexto en el que están ubicados y con la densidad de ocupación permitida por las regulaciones locales.

3.2.1.3. Técnicas de construcción

La mayoría de los sistemas estructurales en viviendas sociales europeas, en el siglo XXI, se pueden clasificar en dos tipos: esqueletales (columnas y vigas) y muros de carga. El sistema esqueletal tiene estructuras de concreto vaciado *in situ*, concreto prefabricado, perfiles estructurales metálicos y – en algunos casos – madera. Los muros de carga generalmente se construyen con mampostería estructural, concreto vaciado *in situ* o concreto prefabricado. La evolución técnica ha mostrado desarrollos en elementos no estructurales, como paredes de fachadas y divisiones interiores. Estos se han

construido tradicionalmente en mampostería no estructural y, eventualmente, se han utilizado recubrimientos en piedra, concreto o arcilla. El cambio técnico se ha centrado en el uso de paneles industrializados en diferentes materiales (madera, metal y prefabricados de concreto de alto rendimiento), lo que ha acelerado los procesos de construcción y ha generado diferentes lenguajes.

3.2.2. América Latina

En 2012, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) informó que América Latina tenía una creciente escasez de viviendas, que podría reducirse con más inversión de sus gobiernos y del sector privado para aumentar la oferta de viviendas de bajo costo. En mayo de ese mismo año, una de cada tres familias (un total de 59 millones de personas) no tenía vivienda, habitaba una vivienda inadecuada construida con materiales precarios o carecía de servicios básicos. Dos tercios de las familias cada año, entre 2000 y 2012, se vieron obligados a establecerse en viviendas informales y barrios marginales (Banco Interamericano de Desarrollo, 2014). Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) de las Naciones Unidas, durante la mayor parte del siglo XX, las políticas de vivienda se caracterizaron por la presencia del Estado en la construcción y el financiamiento. La CEPAL publicó que, a partir de 2010, cada diez años, la población latinoamericana en las ciudades aumentaría en un 2,5%. Dadas las limitaciones del uso de la tierra y debido a un proceso de urbanización no planificado, la búsqueda de soluciones al problema de la escasez de viviendas se ha vuelto más compleja (CEPAL, 2010).

3.2.2.1. Urbanismo

Según Alejandro Aravena y Andrés Iacobelli, las políticas públicas y el mercado han desarrollado dos estrategias para enfrentar la escasez de recursos que generalmente se relacionan con el diseño y la construcción de viviendas sociales en América Latina. Uno es reducir el área. El otro es ubicarlas en entornos remotos, donde la tierra cuesta menos, en las periferias que carecen de servicios públicos y que están marginadas de las oportunidades que se concentran en las ciudades (Iacobelli y Aravena, 2012, p. 14). Gran parte de la vivienda social latinoamericana en el siglo XXI se ha construido en contextos dispersos y, en algunos otros casos, en contextos expansivos. Algunos proyectos de vivienda han propuesto redensificaciones en áreas urbanas previamente ocupadas. Tres tipos de contexto acompañan estos desarrollos urbanos: la ciudad dispersa, la ciudad expansiva y la ciudad redensificada.

En la ciudad dispersa, la vivienda social ha ocupado generalmente periferias inconexas. El costo de estas tierras ha permitido proyectos viables que posteriormente requieren infraestructura urbana, como carreteras, parques, comercio, edificios educativos y de salud, transporte y espacios para deportes.

Se han construido entornos urbanos concebidos de manera independiente y que luego se integraron en la ciudad, debido al crecimiento de su periferia.

Algunos casos de la ciudad redensificada, con proyectos de vivienda colectiva, han revitalizado sectores tradicionalmente marginados. Varios ejemplos de operaciones para reemplazar o redensificar las formas urbanas tradicionales se han integrado en el entorno y se han articulado con espacios públicos, hogares existentes, servicios auxiliares (salud, negocios, educación, cultura) e infraestructura vial. La vivienda social, diseñada y construida para redensificar el suelo urbano, ha mejorado las condiciones ambientales y su habitabilidad.

3.2.2.2. Vivienda

En los primeros quince años del siglo XXI, el estudio de la vivienda colectiva en América Latina ha incluido los tipos de edificios y espacios interiores de los programas.

3.2.2.2.1. Tipologías

En este contexto, la vivienda social contemporánea ha tenido diferentes matices. Uno de ellos es la construcción de proyectos que han mejorado la calidad de vida, desde la inserción en contextos urbanos y desde la comprensión de la dinámica de la vivienda, lo que ha permitido el crecimiento programado de sus áreas. Algunas experiencias – como las desarrolladas en Chile y México por el estudio Elemental y programas de vivienda como *Minha Casa, Nossa Cidade* (Mi Casa, Nuestra Ciudad) en Brasil – han permitido el crecimiento de la vivienda para satisfacer las necesidades de cada familia, entregando la individualidad buscada por sus habitantes en el complejo habitacional.

En un segundo caso, la vivienda social se ha desarrollado a través de edificios masivos que están aislados de la estructura urbana. La repetición tipológica de programas, áreas, espacios y lenguajes no ha considerado la diversidad de las tradiciones sociales y culturales de las comunidades. Esto ha generado una ausencia relacionada con el sentido de pertenencia y la falta de propiedad de las familias.

Un tercer caso, conformado por el crecimiento informal de las ciudades a través de la autoconstrucción, ha sido la fórmula utilizada por las comunidades con menos recursos económicos para resolver su falta de hábitat. Las diferencias en la conformación de los grupos familiares, el aumento de sus miembros a lo largo del tiempo y la aparición de actividades complementarias (principalmente económicas), han transformado progresivamente el uso y el lenguaje de la vivienda popular en América Latina.

Según cada contexto, los edificios de vivienda colectiva responden a las regulaciones existentes: densidad, índice de ocupación, índice de construcción y alturas máximas. Los patrones de vivienda son unidades que, cuando se repiten, generan complejos de viviendas con lenguajes, alturas, ocupación de tierras y programas arquitectónicos similares. Estos se ubican dentro del contexto urbano o de manera aislada, en terrenos destinados a futuros desarrollos inmobiliarios.

3.2.2.2.2. Programa

La vivienda social en América Latina generalmente se compone de un área de servicio (con una cocina, uno o dos baños y un área de ropas, a veces acompañada por un patio); un área social (con una sala y un comedor, que generalmente están integrados, a veces con un balcón o un estudio); y un área privada (con dos o tres habitaciones en promedio). Las áreas construidas varían entre 40 m^2 y 80 m^2. Con el tiempo, las necesidades familiares han impulsado el crecimiento en la planta baja y en el piso superior, o transformaciones del espacio interior para condicionar las áreas iniciales a sus necesidades.

3.2.2.3. Técnicas de construcción

América Latina ha tenido una tradición técnica en la construcción de viviendas sociales desde los primeros años del siglo XX. Los sistemas estructurales utilizados se clasifican en dos tipos: esqueletales (compuestos por columnas y vigas) y muros de carga. El sistema esqueletal está conformado por estructuras de concreto vaciado *in situ*. En países como Chile y Brasil, elementos de madera se han utilizado para construir este tipo de estructuras. En ocasiones, los perfiles estructurales metálicos se han utilizado en países como Argentina, Venezuela, Chile, Ecuador y Brasil. Los muros de carga tradicionalmente se han construido en bloques de concreto o ladrillos cerámicos, materiales ampliamente utilizados en toda la región, conocidos por las comunidades y trabajados en procesos de autoconstrucción. Los muros de carga o muros estructurales también se han construido con concreto vaciado *in situ*. Los elementos no estructurales (algunas paredes divisorias o de fachada) se han construido en bloques de concreto o ladrillos cerámicos. En algunos casos, se han aplicado acabados superficiales como revestimientos de paredes, yeso y pinturas. Estos materiales, que permiten su transformación en el tiempo, han permitido la búsqueda de diferentes lenguajes y crecimientos progresivos, de acuerdo con las necesidades de cada grupo familiar.

3.2.3. Colombia y Antioquia

3.2.3.1. Planificación urbana

Las estrategias de ocupación de tierras en Colombia y Antioquia se han dado en contextos dispersos, contextos expansivos y contextos donde el espacio urbano o rural se ha redensificado.

Una fracción de los proyectos se ha construido en periferias urbanas o rurales, en contextos dispersos. Estas intervenciones han permitido la ocupación de terrenos con otras actividades complementarias de vivienda. La falta de terrenos planos y con una disponibilidad de tierra principalmente inclinada, las áreas de expansión determinadas por los instrumentos de uso de la tierra han sido ocupadas. En entornos rurales y urbanos, las entidades oficiales y privadas han construido casas separadas, a través de las cuales la tierra ha sido cedida a los propietarios.

Los complejos ubicados en áreas urbanas y rurales expansivas se han integrado gradualmente a la ciudad existente. En estos casos, los programas de mejoramiento ambiental han sido dirigidos por entidades oficiales o privadas para integrar las viviendas en el espacio urbano (VIVA, 2015, p. 168). A pesar de las limitaciones del espacio físico, las condiciones legales existentes y la escasez de recursos financieros, las entidades oficiales han implementado proyectos básicos de planificación urbana para complementar el entorno.

Algunos complejos de viviendas han dado nueva vida a áreas urbanas redensificadas y han revitalizado sectores complejos, desde el componente social hasta su infraestructura física. La construcción de estas casas ha dinamizado las economías del barrio, han generado apropiaciones de diferentes terrenos y se ha reducido la brecha en el déficit cuantitativo. Estos proyectos han articulado centros en términos de accesibilidad, continuidad peatonal y la relación con su entorno (VIVA, 2015, p. 162).

3.2.3.2. Vivienda

Este estudio ha considerado las tipologías de construcción y su programa de espacios interiores, con el promedio de áreas tradicionalmente construidas.

3.2.3.2.1. Tipologías

En contextos nacionales y locales, la tipología de estos edificios se clasifica por el uso del suelo y las características arquitectónicas. Algunos de estos proyectos han recogido las tradiciones de los grupos familiares para ofrecer varias posibilidades con respecto a los espacios interiores y permitir su transformación a lo largo del tiempo. Las alturas de los edificios están reguladas por la normativa vigente. Por encima de cinco pisos desde el nivel de acceso, la instalación de un ascensor es obligatoria.

Un primer caso, que consiste en edificios construidos en los primeros años del siglo XXI, ha entendido el hábitat como una sucesión de eventos y transformaciones que hacen del espacio doméstico un lugar dinámico que puede cambiar con el tiempo. Estas propuestas (que no se han replicado masivamente en el contexto local) han permitido que la vivienda responda a las necesidades de cada familia.

En un segundo caso, los complejos de viviendas han replicado sus programas, áreas y lenguajes con muy pocas variaciones y en diferentes entornos. La ocupación del suelo ha generado diferentes problemas sociales al construirlos en lugares donde no existen suficientes infraestructuras urbanas complementarias a la vivienda. Los grupos familiares que ocupan estos edificios no reconocen el entorno como su propio espacio y, a veces, estos proyectos no han facilitado el acceso a servicios complementarios. La inserción de estos complejos con variaciones tipológicas mínimas ha generado problemas de violencia y deficiencias en la calidad de vida de la comunidad.

Un tercer caso, definido por el crecimiento no programado a través de la construcción informal en la periferia de las ciudades, ha sido la respuesta de las comunidades con menos recursos económicos al déficit de vivienda. Cuando el Estado o las empresas privadas no proporcionan las soluciones que estas familias necesitan, la ocupación ilegal de la tierra y los procesos de autoconstrucción han sido la respuesta a la falta de hábitat, generando riesgos estructurales al establecerse en áreas geológicamente inestables y promoviendo condiciones de insalubridad, hacinamiento e inseguridad.

3.2.3.2.2. Programa

En el contexto local, la vivienda social se compone de estos tres grupos de espacios: un área de servicio (con una cocina, uno o dos baños y un área de ropas); un área social (con una sala y un comedor, casi siempre integrado, a veces con un balcón o un estudio); y un área privada (generalmente con dos o tres dormitorios). El promedio de las áreas construidas es de 45 m² para viviendas de interés prioritario (VIP) y de 45 a 65 m² para viviendas de interés social (VIS).

En *Vivienda Urbana* (2014), la Empresa de Vivienda de Antioquia (VIVA) propuso sistemas de agrupaciones nucleadas o colectivas con diferentes configuraciones que contemplaban estas estrategias fundamentales: geometría elemental, núcleos de servicios, espacios servidos, espacios intermedios, tecnología, bioclimática y percepción.

- La geometría elemental de la unidad es la conformación de un espacio que puede agruparse de diferentes maneras, de acuerdo con la tipología arquitectónica seleccionada (Gráfico 30).
- Los servicios nucleados (compuestos por un baño, una cocina y un área de ropas) se concentran en un espacio para disminuir las distancias de las instalaciones técnicas (Gráfico 31).
- Los espacios servidos son las áreas para dormir, circular, comer o reunirse. Pueden tener dos o tres dormitorios, y la circulación se propone de la manera más eficiente posible, para evitar distancias excesivas (Gráfico 32).
- Los espacios intermedios son balcones o pasillos exteriores que favorecen la relación del espacio interior con el entorno (Gráfico 33).
- La tecnología y la bioclimática establecen los principios del bienestar en un espacio interior. La estructura se propone con columnas y vigas o mampostería estructural, para edificios de hasta cinco pisos (Gráfico 34).
- La percepción se centra en los principios de calidad espacial, que deben transmitir una imagen digna con su propia identidad (Gráfico 35).

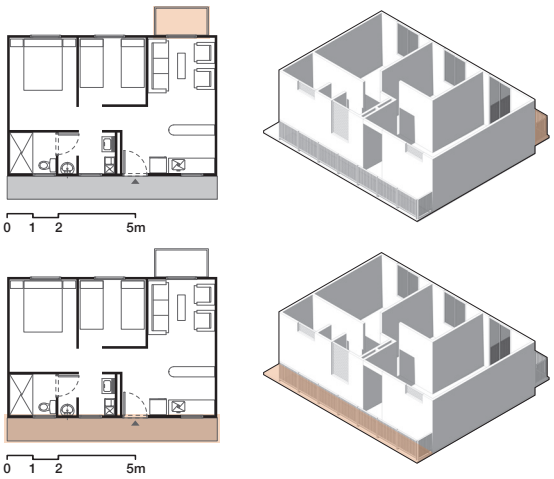


Gráfico 33
Espacios intermedios

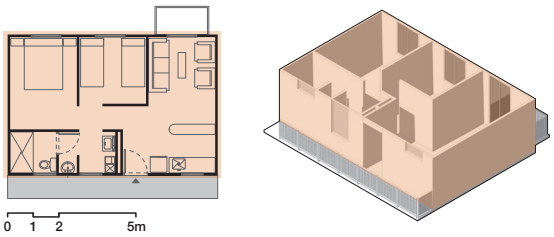
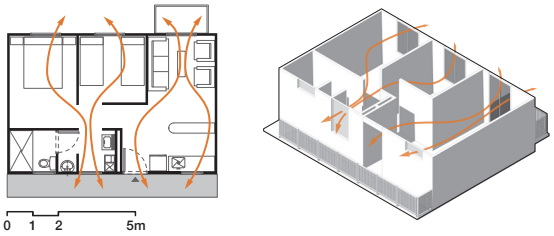


Gráfico 30
Geometría elemental



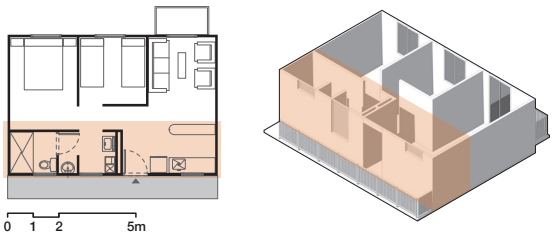


Gráfico 31
Servicios nucleados

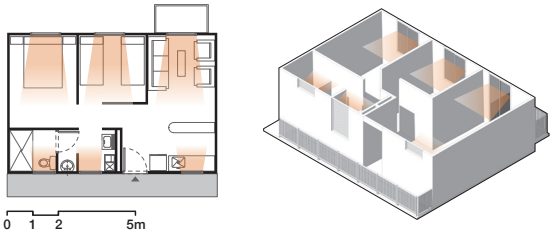


Gráfico 34
Tecnología y bioclimática

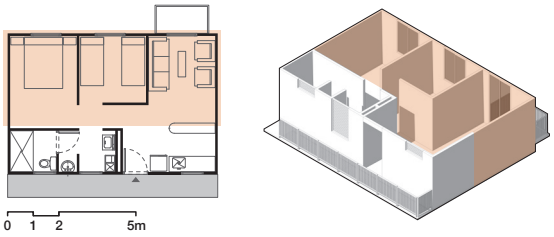


Gráfico 32
Espacios servidos

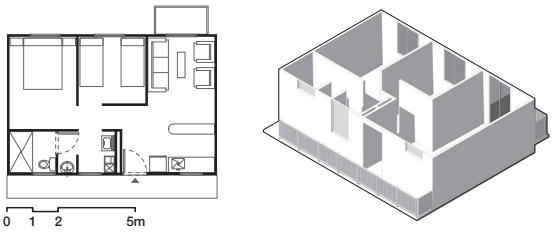


Gráfico 35
Percepción

La propuesta de VIVA incluye adaptabilidad topográfica, climática y cultural. Estos prototipos corresponden a los espacios que los componen y se clasifican en: balcón, pasarela interior, galería y patio.

- El prototipo de balcón propone un acceso lateral; los servicios se agrupan en la pared divisoria interna y tres espacios servidos a la fachada, para capturar la iluminación natural y la ventilación desde sus cuatro lados (Gráfico 36).
- El prototipo de pasarela interior tiene acceso a la parte posterior, junto a los servicios que se agrupan hacia la misma fachada. Las habitaciones y el área social se orientan a la fachada principal para ventilarse e iluminarse naturalmente (Gráfico 37).
- Las viviendas cuentan con una galería con un espacio ventilado e iluminado de manera natural hacia la fachada de acceso, lo cual genera un corredor al lado del área social. Los servicios se agrupan en un núcleo que está iluminado y ventilado por el patio. Hacia la fachada principal, se ubican el área social y las habitaciones. Una variante de este sistema espacial es la suma de un dormitorio adicional y la agrupación de servicios en un lado (Gráfico 38).
- El prototipo de patio tiene un corredor al aire libre y un pasillo de acceso, como resultado de agrupar las unidades. Los servicios se concentran en una de las paredes divisorias interiores y un patio trasero captura la mayor cantidad de iluminación y genera ventilación cruzada. El área social se encuentra en el centro y cada una de las dos habitaciones se enfrenta a cada fachada. Este prototipo permite el crecimiento hacia atrás (Gráfico 39) (VIVA, 2014, pp. 28-44).

3.2.3.3. Técnicas de construcción

En el contexto local, esencialmente se han construido tres tipos de sistemas estructurales: esqueletales (conformado por vigas y columnas), muros de carga y una tercera posibilidad que combina las estructuras de vigas, columnas y muros de carga (conocida como sistema dual). Las vigas y columnas se utilizan generalmente para edificios de más de cinco pisos de altura, destacando el uso casi exclusivo del concreto vaciado *in situ*. Los muros de carga se utilizan generalmente en edificios de hasta cinco pisos de altura y se han construido con mampostería estructural (en bloques de concreto o ladrillo) y, ocasionalmente, con concreto vaciado *in situ*. Los elementos no estructurales en fachadas y paredes interiores son en mampostería (bloques de concreto o ladrillo). En algunos casos, la madera se ha utilizado en la construcción de fachadas y en la división de los espacios interiores. La tradición de construcción de viviendas sociales en el país no ha sido reconocida por su innovación tecnológica. Sus contribuciones en este campo no han sido evidentes y – debido a los altos costos de otros materiales como el acero o las estructuras de madera – casi nunca se utilizan en estos proyectos.

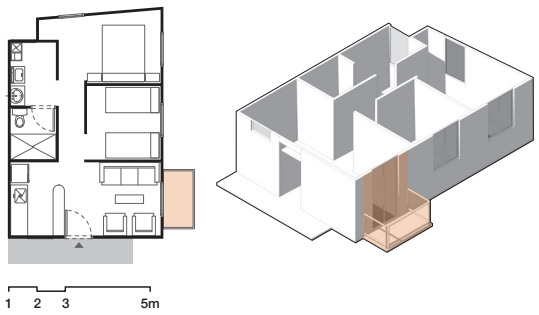


Gráfico 36
Prototipo balcón

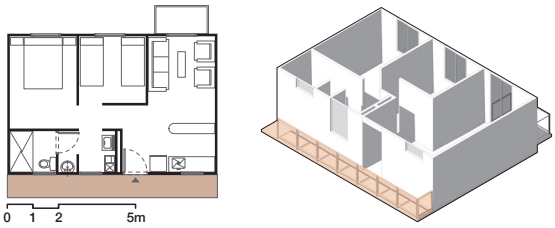


Gráfico 37
Prototipo pasarela interior

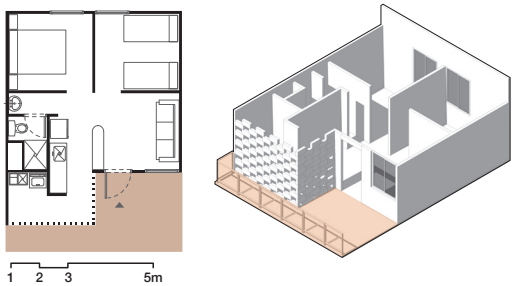


Gráfico 38
Prototipo galería

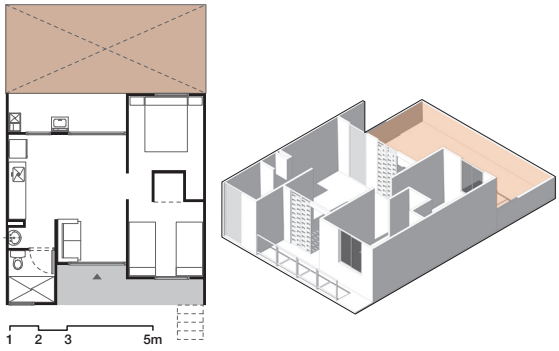


Gráfico 39
Prototipo patio

Resumen

El diseño urbano, arquitectónico y técnico de la vivienda social

En contextos internacionales, nacionales o locales, la vivienda social ha tenido desarrollos similares en términos urbanos, tipológicos, programáticos y técnicos. La evolución del concepto se ha producido principalmente en su agrupación, cambios tipológicos y algunas técnicas de construcción. Los principios conceptuales desarrollados en Europa Occidental se replicaron posteriormente en América Latina, Colombia y Antioquia. Inicialmente, la vivienda social en Europa Occidental proponía conceptos, como vivienda mínima, vivienda en serie y unidades vecinales. En América Latina, dadas las condiciones del contexto social y político, estas condiciones llevaron a la conceptualización de la vivienda de los trabajadores, la vivienda promovida por el Estado y la vivienda experimental. En el contexto local, estos principios llevaron a la concepción de la vivienda social clasificada en cinco períodos: Higienista, Institucional, Transitorio, Corporativo y a la Concepción de la Demanda según el mercado y los subsidios.

La búsqueda de viviendas mínimas, repetitivas y agrupadas en los barrios de Europa Occidental desde los primeros años del siglo XX sigue vigente. Las propuestas para nuevas viviendas de interés social en el contexto local deben considerar espacios eficientes más que mínimos, replicables en lugar de repetitivos y que conformen las unidades de vida colectiva y del vecindario. Las propuestas de vivienda colectiva, eficiente, replicable y versátil que consideran los valores de la vivienda en otros contextos son un principio rector para el diseño urbano y arquitectónico de estos espacios.

La concepción de la vivienda social es el ejercicio racional y experimental para reducir sus costos y tiempo de construcción, y para pensar en principios que mejoren la calidad de vida de las comunidades, con espacios colectivos para la reunión de familias y con espacios privados cómodos y adaptables a las condiciones de sus habitantes.

La vivienda social puede ser concebida en tres momentos:

El primero es la etapa de industrialización, realizada en fábricas por especialistas. Allí, el proceso productivo de la estructura de soporte se realiza con todos los estándares de calidad y estandarización de sus componentes.

El segundo es la personalización. A través de la búsqueda de la individualidad, la estructura conforma el perímetro del espacio (paredes laterales y losas) de modo que los espacios interiores sean áreas libres, inicialmente ocupadas por un módulo de servicio que contiene las unidades de baño, cocina y ropas, ubicadas de manera que permitan diferentes usos del espacio interior. Puede ser realizado por profesionales de la arquitectura con la participación de la comunidad. El espacio interior debe ser concebido con la menor presencia de elementos estructurales para adaptarlo a las necesidades o deseos de sus habitantes. Las fachadas también se conciben mediante elementos no estructurales, y pueden adaptarse a las condiciones ambientales, culturales o sociales del entorno en el que se encuentran.

El tercer momento es la transformación o incrementalidad, que permite la modificación de la vivienda durante su ocupación por parte de las familias, que pueden adaptarlas a sus necesidades o deseos.

Las técnicas de construcción que parten de un proceso industrial en la concepción e instalación de la estructura de soporte se complementan con métodos tradicionales y con materiales locales utilizados en los elementos no estructurales. En el proceso de ocupación puede modificarse el uso del espacio interior y adaptar la vivienda a las necesidades o preferencias de sus habitantes.

4

Tecnología del concreto prefabricado

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, define el concreto prefabricado como el "elemento de concreto construido en un lugar diferente de su ubicación final en la estructura" (*Comisión Sismorresistente & Minambiente*, 2010, p. C-29). El concreto convencional, la base para la producción de concreto prefabricado, se define como "un compuesto conformado por un material de unión (generalmente cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico), agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos" (Comisión Sismorresistente & Minambiente, 2010, p. C-28). De acuerdo con el NSR-10, la resistencia a la compresión para elementos estructurales en concreto no debe ser inferior a 17 MPa, 28 días después del vaciado (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, p. C-1).

En elementos de concreto prefabricado, se pueden obtener mayores resistencias en el mismo período de tiempo debido a la trabajabilidad que debe lograrse en las primeras ocho horas después del proceso de vaciado. Además de los componentes del concreto convencional, el concreto prefabricado estructural puede contener aditivos y refuerzos, como cables, varillas metálicas, fibras estructurales, mallas textiles y nanomateriales, entre otros elementos, que mejoran su comportamiento mecánico.

4.1. Generalidades

Con el concreto prefabricado, los edificios pueden formarse a partir de la estructura de soporte y los elementos no estructurales a través de un lenguaje sin recubrimientos, donde es deseable la menor cantidad de juntas para aumentar los rendimientos de la construcción, reducir las actividades de trabajo y asegurar la continuidad de los elementos que los conforman (Mañà, González, Cuchí, Zamora y Roca, 2001, p. 78). Desde el diseño arquitectónico, es necesario tener en cuenta que, en el proceso de producción de los elementos, el edificio debe dividirse en las partes que lo componen y unirse en el proceso de ensamble. Estas piezas deben producirse con los tamaños y pesos adecuados para el transporte y los requisitos de instalación *in situ*. En Alternativas a la Construcción Convencional de Viviendas (2002), Josep María González-Barroso afirma que la prefabricación debe cumplir con dos requisitos: continuidad y flexibilidad.

4.1.1. Continuidad

Este requisito propone la producción industrial del edificio en un conjunto de piezas con características similares, que luego se unen en el proceso de ensamblaje *in situ*. La continuidad permite comprender el edificio como la suma de sus partes. Establece tres condiciones indicadas en la Tabla 5: continuidad estructural, continuidad espacial y continuidad constructiva (Mañà et al., 2001, pp. 23-26).

4.1.1.1. Continuidad estructural

El concreto prefabricado debe asegurar el transporte continuo de esfuerzos en elementos estructurales y no estructurales, garantizando su estabilidad y la resistencia sísmica con deformaciones aceptables para todos los subsistemas del edificio. En prefabricación, el edificio está concebido en componentes o partes, con dimensiones que permiten el transporte al sitio del proyecto. En el proceso de montaje, el criterio de unidad es importante para garantizar la estabilidad estructural.

Para lograr esta condición, se han utilizado procedimientos de unión el hormigonado de nudos con refuerzos internos continuos, las uniones a través de elementos metálicos interiores o exteriores y los sistemas de postensado (Mañà et al., 2001, p. 24).

4.1.1.2. Continuidad espacial

Se refiere a la percepción visual que tradicionalmente han tenido los usuarios sobre la continuidad de los elementos que conforman un edificio y su relación con los espacios habitables. Esta percepción sólo admite discontinuidades o juntas visibles en ciertos lugares, como las que se encuentran entre paredes y losas o entre vigas y columnas. Los recubrimientos utilizados intentan ocultar estas discontinuidades detrás de una apariencia uniforme. Los elementos prefabricados tienden a evidenciar las uniones. Por lo tanto, a partir del proceso de diseño arquitectónico y la producción industrial de estas piezas, las divisiones deseadas para el edificio deben considerarse para ubicarlas en lugares admisibles. Para garantizar la continuidad espacial, estas uniones deben coordinarse con todos los elementos de la estructura, las fachadas y los componentes de los espacios interiores (Mañà et al., 2001, p. 25).

4.1.1.3. Continuidad constructiva

La prefabricación permite la introducción de otros métodos industriales, diferentes de sus condiciones específicas, para controlar la calidad, el costo y el tiempo de ejecución. Esto permite que el sistema tenga continuidad en el proceso constructivo y no depende de otros procesos alternativos. Esta independencia implica que los sistemas prefabricados resuelven la mayor cantidad de actividades técnicas posibles para aumentar la eficiencia de los procesos constructivos. Con la excepción de los cimientos, que tradicionalmente se han construido con concreto vaciado *in situ*, la prefabricación en concreto establece la prioridad, el orden de construcción y determina el tiempo en el programa de actividades (Mañà et al. ., 2001, p. 24).

4.1.2. Flexibilidad

La demanda de flexibilidad en la prefabricación tiene como objetivo encontrar una proporción ideal entre la estandarización de sus partes y algunas variaciones formales y modulares, derivadas de los criterios de uniformidad y repetición, para generar respuestas a diferentes escalas: urbana, de edificios, de vivienda y otros subsistemas de construcción, como se indica en la Tabla 6.

4.1.2.1. A escala urbana

Los entornos urbanos requieren condiciones de accesibilidad y espacios adaptados a los procesos de transporte, clasificación, elevación y fijación de elementos prefabricados. En estos casos, donde se pueden usar elementos prefabricados, la configuración del edificio debe responder a las características urbanas deseadas para el proyecto, y también a las posibilidades de transporte, montaje y maniobra del equipo necesario (Mañà et al. , 2001, p. 27).

Requerimientos de continuidad	
Estructural	Estabilidad del edificio y un comportamiento articulado y armonioso entre todos sus componentes
Espacial	Percepción visual integral de los elementos y espacios que conforman el edificio
Constructiva	Coordinación del proceso de construcción de prefabricados con otros sistemas técnicos

Tabla 5
Requerimientos de continuidad en concreto prefabricado: estructural, espacial, constructivo.

Requisitos de flexibilidad	
A escala urbana	Características del contexto, accesibilidad y adaptabilidad del sistema
A escala de un edificio	Articulación de elementos estructurales y no estructurales para definir usos y lenguaje
A escala de vivienda	Adaptación a diferentes condiciones de vida, usos y lenguajes
A escala de otros sistemas constructivos	Convergencia de diferentes materiales, sistemas técnicos y procesos constructivos

Tabla 6
Demandas de flexibilidad en los diseños y la construcción con concreto prefabricado: escala urbana, de edificios, viviendas y a la escala de otros subsistemas de construcción.

4.1.2.2. A escala de un edificio

El concreto prefabricado resuelve esencialmente el componente estructural del edificio. Los elementos estandarizados que conforman la estructura y algunos de sus recintos están articulados para permitir diferentes usos, lenguajes y tipologías arquitectónicas. Los edificios con estructuras de concreto prefabricado combinan estacionamientos en los sótanos, tiendas en los primeros niveles y diferentes tipologías residenciales en los pisos superiores. Esta adaptación implica una flexibilidad espacial, estructural y tipológica que se resuelve desde el diseño arquitectónico, el sistema constructivo y la logística para instalar los elementos prefabricados (Mañà et al., 2001, pp. 27-28).

4.1.2.3. A escala de vivienda

La casa es un conjunto de espacios con diferentes usos, características y proporciones. La disposición de los elementos prefabricados en el edificio debe entenderse como una suma de las piezas que conforman diferentes tipologías residenciales, y que permiten su reproducción estandarizada o su adaptación a diferentes condiciones de vivienda, desde elementos modulares y repetitivos. Esta adaptación implica un orden de flexibilidad dimensional y de vivienda que combina diferentes tipologías de un sistema constructivo racional, repetitivo y modular.

4.1.2.4. A escala de otros subsistemas constructivos

Un edificio está conformado por la convergencia de diferentes espacios, materiales, instalaciones técnicas y sistemas constructivos. El concreto prefabricado ha permitido la incursión de otros sistemas que lo han complementado y mejorado su eficiencia (Mañà et al., 2001, pp. 28-29). La mejora técnica progresiva de los procesos de construcción se ha agregado a otros sistemas de cerramiento, revestimiento e instalación, que han diversificado sus respuestas, mejorado su eficiencia y se han adaptado a diferentes entornos técnicos, ambientales y culturales.

4.1.3. Sistemas de prefabricación en concreto

Diferentes estudios clasifican la prefabricación en concreto en tres sistemas: cerrado, abierto y parcialmente industrializado. De acuerdo con la Tabla 7, están definidos por las características de los elementos que los conforman y el grado de relación con otros materiales o procesos constructivos (Staib, Dörrhöfer y Rosenthal, 2008a, p. 42).

4.1.3.1. Cerrado

En los sistemas de prefabricación cerrados, todos los elementos deben producirse con las mismas características industriales y técnicas, e idealmente por el mismo fabricante (Staib et al., 2008a, p. 42). Su objetivo es industrializar todo el edificio como un concepto unitario, con la menor cantidad de variación entre los elementos para preservar los criterios de estandarización y mejorar la eficiencia en los procesos de producción e instalación. El fabricante debe asegurarse de que los componentes del sistema sean compatibles entre sí, para lograr la instalación coordinada de todos los elementos estructurales y no estructurales que conforman el edificio (Mañà et al., 2001, pp. 79-80).

4.1.3.2. Abierto

Los sistemas de prefabricación abiertos permiten combinar elementos de concreto prefabricado con elementos prefabricados en otros materiales, lo que aumenta la flexibilidad en el proceso de diseño y en la selección de los componentes estructurales y no estructurales. En este sistema, todos los elementos deben ser prefabricados; pueden estar conformados por diferentes materiales y pueden ser producidos por diferentes fabricantes (Staib et al., 2008a, p. 42). Los sistemas de prefabricación abiertos definen los criterios comunes (tipos, coordinación dimensional y orden de instalación) para diseñar y construir edificios con elementos prefabricados que provienen de diferentes procesos industriales, con diversidad en sus materiales, formatos y características geométricas (Mañà et al., 2001, pp. 80-81).

Sistemas de construcción prefabricadas		
Cerrado	Abierto	Parcialmente Industrializados
Un solo material prefabricado	Diferentes materiales prefabricados	Materiales prefabricados y no prefabricados
Elementos de un solo fabricante	Elementos de diferentes fabricantes	Elementos de diferentes fabricantes
Combinación entre elementos definidos	Combinación de elementos variables	Combinación de elementos variables

Tabla 7
Clasificación de los sistemas de prefabricación en concreto: cerrado, abierto y parcialmente industrializado. Tomado de Detail: *Elemente + Systeme*, p. 43.

4.1.3.3. Parcialmente industrializado

En los sistemas de prefabricación parcialmente industrializados, el edificio puede combinar diferentes procesos de construcción. En este caso, los elementos de concreto prefabricado se combinan con sistemas tradicionales, como mampostería en ladrillo, bloques de concreto, divisiones en madera, elementos metálicos o con otros tipos de elementos prefabricados, que se adaptan a las condiciones técnicas del edificio. Esta es una versión menos dogmática de la prefabricación, donde se hace evidente una concepción que conduce a la optimización de las ventajas de cada técnica (Mañà et al., 2001, pp. 81).

4.2. Componentes de concreto armado prefabricado

Se pueden utilizar diferentes tipos de concreto en los procesos de prefabricación. Su clasificación se propone de acuerdo con los materiales que componen la mezcla: material aglutinante (generalmente cemento Portland o cualquier otro tipo de cemento hidráulico), agregados, refuerzos, aditivos y agua.

4.2.1. Material conglomerado

El material de conglomerado más utilizado es el cemento Portland, que se compone de una mezcla de clínker y yeso. El clínker es el resultado de la calcinación de piedra caliza y arcilla a temperaturas de hasta 1450ºC. El yeso permite que la mezcla se moldee y se endurezca después de entrar en contacto con el agua (Figura 3) (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, pág. C-29). El cemento se produce cuando se agrega yeso al clínker, a través del cual la mezcla adquiere la propiedad de unirse agregando agua y luego endureciéndose.

Figura 3
El material conglomerante más utilizado es el cemento Portland, formado por una mezcla de clínker (arcilla calcificada y piedra caliza) y yeso.

4.2.2. Agregados

De acuerdo con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, los agregados son materiales granulares, como la piedra triturada, grava, arena y escoria de alto horno, que se mezclan con un medio de cementación para formar concreto hidráulico o mortero (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, p. C-25).

Los agregados de peso normal para concreto deben cumplir con la Norma Técnica Colombiana (NTC) 174 (ASTM C33); los agregados ligeros deben cumplir con NTC 4045 (ASTM C330).

Algunas definiciones clasifican los agregados como finos y gruesos, de acuerdo con sus tamaños. El agregado fino generalmente se compone de arena natural procesada. El módulo de finura de arena más adecuado para producir concreto debe estar entre 2.0 y 3.1. Un valor menor a 2.0 indica una arena fina, 2.5 indica una arena media-fina, y un valor mayor que 3.0 indica arena gruesa. El tamaño nominal máximo de grosor no debe ser más de un quinto (1/5) de la separación menor entre los lados del encofrado; un tercio (1/3) de la altura de la losa o tres cuartas partes (3/4) del espacio mínimo libre entre las barras o alambres de refuerzo individuales, tendones o conductos (Figura 4) (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, pág. C-43).

Cuanto menor sea el tamaño del agregado, se puede diseñar una mezcla de concreto más densa, que incide en la resistencia final de los elementos prefabricados estructurales o no estructurales.

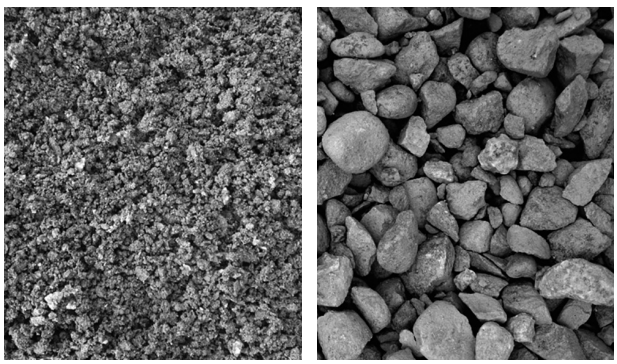


Figura 4
Agregados finos y gruesos, clasificados según el módulo de finura y los tamaños nominales máximos.

4.2.3. Refuerzos

Los refuerzos para el concreto prefabricado se pueden clasificar en tres grupos, según su geometría:

- Refuerzos lineales, como barras y cables para la construcción de elementos pretensados y estructuras postensadas.
- Refuerzos de superficie continuas, como malla metálica o refuerzos textiles.
- Refuerzos discontinuos, como las fibras.

4.2.3.1. Lineal

Los refuerzos lineales para el concreto prefabricado se componen de elementos pasivos y activos, con las siguientes características:

4.2.3.1.1. Refuerzos pasivos

El NSR-10 explica que los refuerzos metálicos pasivos, como las barras de metálicas, deben estar corrugados (Figura 5). Los refuerzos lisos solo se pueden usar en estribos, espirales (o tendones) y refuerzos para distribución y temperatura.

Las barras de refuerzo corrugadas deben ser de acero de baja aleación que cumpla con el estándar NTC 2289 (ASTM A706M). Las regulaciones NSR-10 permiten el uso de barras de acero inoxidable fabricadas bajo la norma ASTM A955M, sólo cuando cumplen con los requisitos de la norma NTC 2289 (ASTM A706M).

Las condiciones para usar acero reforzado para elementos de concreto prefabricado se indican en las Regulaciones NSR-10, Capítulo C.3. Materiales, Sección C.3.5 Acero de refuerzo (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, p. C-44). Estos refuerzos también pueden usarse para las conexiones entre elementos prefabricados. Las uniones que se hacen utilizando estos refuerzos están expuestas, lo que garantiza la continuidad estructural necesaria para la estabilidad del sistema.

4.2.3.1.2. Refuerzos activos

Los refuerzos lineales activos son cables metálicos que soportan las fuerzas de tensión y se utilizan principalmente en estructuras de concreto prefabricado pretensado y postensado. Las cargas se dividen en partes iguales entre las roscas del cable, lo que permite que cada una esté sujeta a la misma tensión admisible. De acuerdo con el número de filamentos que los conforman, los cables pueden ser de una sola hebra o de múltiples hebras (Figura 6) (Salvadori y Heller, 1978, p. 374).

4.2.3.2. Continuo

En este tipo de refuerzos, existen mallas metálicas estructurales y refuerzos textiles. La malla estructural está formada por varillas de metal corrugado que cumplen con todas las especificaciones NSR-10 para el refuerzo de estructuras de concreto vaciado *in situ* o estructuras de concreto prefabricado. Los refuerzos textiles son una malla continua que se ubica en áreas de gran tensión, con las cuales se obtienen estructuras más delgadas y con una gran capacidad de carga debido a la presencia de fibras de carbono resistentes a la corrosión, que reducen la cantidad de concreto que se necesita para cubrir las barras de acero corrugadas (Figura 7) (Schätzke y Schneider, 2006, pp. 32-37).

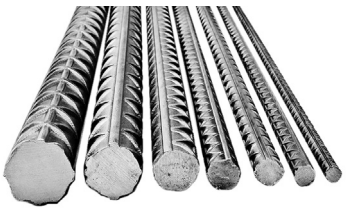


Figura 5
Varillas de metal corrugado, refuerzos pasivos de concreto prefabricado. Accedido el 12 de diciembre de 2015; disponible en: http://img.aws.ehowcdn.com/intl-1200x630/ds-photo/getty/article/110/41/92828224.jpg.

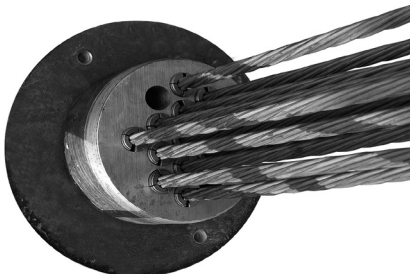


Figura 6
Cables simples y multifilares. Refuerzos lineales activos en estructuras prefabricadas de concreto pretensadas y postensadas.

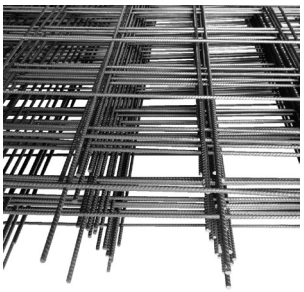


Figura 7
Refuerzos continuos utilizados en el concreto prefabricado: malla estructural metálica y refuerzos textiles.

4.2.3.3. Discontinuo

La producción de elementos de concreto prefabricado ha utilizado otros componentes para aumentar la resistencia del material y reducir pesos y volúmenes. Dadas sus proporciones y pesos, estos refuerzos discontinuos se conocen como fibras y pueden complementar los refuerzos de las varillas de metal corrugado en el concreto estructural. En algunos casos, los refuerzos se reemplazan completamente en la construcción de elementos no estructurales. Se encuentran las normas que regulan el uso de fibras en mezclas de concreto para la prefabricación de elementos estructurales y no estructurales en Colombia en la Tabla 8:

- ASTM C 1339: Método de prueba para determinar el esfuerzo residual promedio en concreto reforzado con fibra.
- ASTM C 1609: Método de prueba para determinar el rendimiento del concreto reforzado con fibra (utilizando una viga con cargas en los tercios).
- ASTM C 1550: Método de prueba para determinar la resistencia a la flexión del concreto reforzado con fibra (utilizando una carga central).

Normas	
ASTM C 1339	Método de prueba para determinar la tensión residual promedio en concreto reforzado con fibra.
ASTM C 1609	Método de prueba para determinar el rendimiento del concreto reforzado con fibra (utilizando una viga cargada en tercios).
ASTM C 1550	Método de prueba para determinar la resistencia a la flexión del concreto reforzado con fibra.
EN 14889-1	Fibras para concreto, Parte 1: Fibras de acero. Definición, especificaciones y conformidad.
EN 14889-2	Fibras para concreto, Parte 2: Polímero o fibras sintéticas. Definición, especificaciones y conformidad.
NTC 5214	Fibras de acero para refuerzo de concreto, equivalentes a la norma ASTM A 820.
NTC 5541	Concretos reforzados con fibra, equivalentes a la norma ASTM C 1116.
NTC 5721	Método de prueba para determinar la capacidad de absorción de energía (tenacidad) del concreto reforzado con fibra.
IIS-SF4	Método de prueba para determinar la tenacidad del concreto reforzado con fibra.

Tabla 8
Normas para el uso de fibras en prefabricados de concreto en Colombia.

- EN 14889-1: Fibras para concreto. Parte 1, Fibras de acero. Definición, especificaciones y conformidad.
- EN 14889-2: Fibras para concreto. Parte 2, fibras poliméricas o sintéticas. Definición, especificaciones y conformidad.
- NTC 5214: Fibras de acero para refuerzo de concreto, equivalentes a la norma ASTM A 820.
- NTC 5541: Concretos reforzados con fibra, equivalentes a la norma ASTM C 1116.
- NTC 5721: Método de prueba para determinar la capacidad de absorción de energía (tenacidad) del concreto reforzado con fibra (Federación Europea de Asociaciones Nacionales Representando Productores y Aplicadores de Productos Especiales de Construcción para Concreto, EFNAR2).
- IIS-SF4: Método de prueba para determinar la tenacidad del concreto reforzado con fibra.

La adición de fibras al concreto se utiliza para mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla. Los refuerzos pueden ser de acero no continuo, plástico, vidrio, carbono o fibras naturales en diferentes formas y tamaños. Las fibras con una rigidez reducida, como las fibras plásticas o naturales, proporcionan ventajas para mejorar la resistencia a la tracción del concreto y se utilizan para reducir la formación de expansiones debido a la contracción. El NSR-10 permite el uso de fibras para la construcción de elementos no estructurales. Las fibras disponibles para reforzar el concreto se clasifican en la Tabla 9 como: fibras metálicas (acero, acero inoxidable, hierro, hierro dúctil, níquel, titanio y aluminio), fibras de origen orgánico (nylon, poliéster y polipropileno) y fibras de origen inorgánico, tales como vidrio, boro o carbono (Figura 8) (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, pp. C-56-C-58).

4.2.4. Aditivos

Los aditivos se incorporan al concreto prefabricado antes o durante su producción para modificar sus propiedades (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, p. C-25). La dosis varía según el producto y el efecto deseado entre el 0.5% y el 5% del peso del cemento en la mezcla (Instrucción Española del Concreto Estructural, EHE, s. f.). Según su dosificación, la incorporación de aditivos reduce el contenido de cemento en la dosificación final hasta en un 20% y aumenta la resistencia del concreto a la compresión y la tensión. El uso de aditivos en la mezcla de concreto está regulado en el Capítulo C.3, Materiales,

Figura 8
Fibras utilizadas como refuerzos discontinuos para elementos prefabricados.

Sección C.3.6, Aditivos, del NSR-10 (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, pp. C-51-C-52). La norma técnica colombiana NTC 1299, "Aditivos químicos para concreto" (igual a la norma ASTM C494M), explica siete tipos de aditivos. Aquellos que son necesarios para producir concreto fluido se encuentran en el estándar NTC 4023 (ASTM C1017M). Para reducir el peso de la mezcla, los aditivos que incorporan aire se encuentran en el estándar NTC 3502 (ASTM C260). En el concreto prefabricado, destaca el Tipo E, que es un reductor de agua y un acelerador de fraguado. Los aditivos que incorporan aire (lo que reduce el peso del concreto y mantiene sus resistencias) están incluidos en la norma ASTM C260, "Especificaciones para aditivos que incorporan aire para concreto".

La combinación de todos los elementos que conforman el concreto prefabricado requiere una alta resistencia inicial para ser desmoldado, antes de completar las 12 horas de vertido y para manipularlos en la planta. Para la construcción de elementos estructurales, el concreto prefabricado utiliza dosificaciones, que son similares a las que aparecen en la Tabla 10.

4.2.5. Desarrollos establecidos

Las innovaciones realizadas para el concreto prefabricado han modificado sus condiciones técnicas y han diversificado las características de sus superficies. Estos desarrollos han reducido el volumen y el peso de los elementos, lo que ha influido en las condiciones de absorción de la temperatura en el concreto liviano. Además, se han utilizado agregados reciclados de desechos de construcción, refuerzos textiles y fibras naturales o sintéticas en elementos estructurales. Con el desarrollo del Concreto de Ultra Alto Rendimiento (UHPC [3]), y con el uso de

2 Por su sigla en inglés.

3 Por su sigla en inglés.

Refuerzos discontinuos para concreto prefabricado		
Fibras metálicas	Fibras de origen orgánico	Fibras de origen inorgánico
Acero	Nylon	Vidrio
Hierro	Poliéster	Boro
Hierro dúctil	Polipropileno	Carbono
Níquel		
Titanio		
Aluminio		

Tabla 9
Refuerzos discontinuos para concreto prefabricado: fibras metálicas, orgánicas e inorgánicas.

Componentes	kg/m³	Peso (%)	Costo (%)
Cemento 52,5	400	16.6	74.49
Árido fino (Arena 0–5)	850	35.42	6.84
Árido grueso (Arena 5–10)	1000	41.67	8.24
Aditivos (policarboxilato)	4	0.17	9.47
Agua	146	6.08	0.96
Total	2400	100	100

Tabla 10
Dosificaciones utilizadas frecuentemente en Colombia y Antioquia para elementos estructurales de concreto prefabricado.
Índice de Costos de Construcción de Viviendas (ICCV), Colombia, julio de 2014. Regás, Xavier. Dosificación media de la mezcla de concreto prefabricado. Barcelona, marzo de 2012. Arango, Jesús Humberto. Dosificación media de la mezcla de concreto prefabricado. Medellín, agosto 2013.
Los precios son proporcionados por la Firma de Presupuesto de Proyectos Proyectar, ubicada en Medellín, Colombia. Ingenieros Juan Carlos Gómez y Nathalie Rúa, julio de 2014.

técnicas de pretensado y postensado, se han mejorado las resistencias de los materiales y se han reducido los volúmenes utilizados convencionalmente. Con estos procedimientos, la versatilidad de las piezas prefabricadas ha aumentado y la eficiencia en su comportamiento estructural se ha mejorado.

4.2.5.1. Concreto prefabricado ligero

4.2.5.1.1. Con agregados expandidos

Este tipo de concreto debe cumplir con las especificaciones de NTC 4045 (ASTM C330). Los agregados expandidos reemplazan los agregados de piedra natural. Tienen una estructura celular que proporciona baja densidad, resistencia a la compresión adaptada a las regulaciones y capacidad de aislamiento térmico (Figura 9). La baja densidad se logra incorporando un producto orgánico en la arcilla que forma gases a altas temperaturas y genera porosidad o arcillas ricas en hematita (Elías, 2009, p. 348).

4.2.5.1.2. Con partículas de madera

Este componente se utiliza en una mezcla compuesta de cemento, agua y aditivos. El concreto con partículas de madera se especifica en la norma DIN EN 206-1 (Figura 10). De acuerdo con la dosis utilizada con estos ingredientes, se pueden obtener densidades de entre 400 y 1700 kg/m³. Este material, desarrollado a través de la investigación realizada en la *Technische Universität München* (TUM) en Alemania, presenta propiedades de aislamiento térmico y resistencia a la abrasión. También presenta contracciones y dilataciones debido a la expansión y la tendencia a agrietarse, que están directamente relacionadas con el proceso de mineralización de los componentes de la madera (Krippner, 2005, p. 67).

Figura 9
Agregados ligeros con una estructura celular que proporciona baja densidad y permite el aislamiento térmico. Arcilla expandida y pizarra. Foto: Weigler, Helmut; Karl, Sieghart. Stahlleichtbeton. Bauverlag, Berlín y Wiesbaden, 1993.

4.2.5.1.3. Concreto celular

Esta es una mezcla de cemento, arena de sílice finamente molida, cal, yeso, polvo de aluminio y agua (Figura 11). Una vez que la mezcla se ha fraguado se lleva a cabo un proceso de curado en un autoclavado (que es un instrumento que retiene la humedad de las piezas de concreto con vapor) (Elías, 2009, p. 382). El concreto celular se caracteriza por una resistencia a la compresión (entre 3 y 10 N/mm²), una densidad reducida (de 400 a 800 kg/mg³) y una alta porosidad, característica que lo hace más ligero. Su construcción alveolar, compuesta por celdas de micro aire, le confiere propiedades de aislamiento térmico y acústico. Este tipo de aislamiento se conoce como "aislamiento compartido", ya que las cavidades de aire se localizan en la masa del material. Sirve como una barrera contra el calor exterior en climas cálidos o como un control de la temperatura interior en climas fríos (Hess Group, s. f.).

4.2.5.2. Concreto prefabricado con áridos reciclados

Los agregados reciclados en elementos de concreto prefabricado se utilizan para reducir costos y mejorar las condiciones ambientales. La reutilización de desechos son un factor importante para promover la construcción sostenible sin el agotamiento a largo plazo de los recursos renovables o no renovables (Krippner, 2005, p. 38). Entre este tipo de concreto se encuentran los siguientes desarrollos:

4.2.5.2.1. Concreto con cenizas volantes

Las cenizas volantes son un residuo que generalmente proviene de plantas de energía que consumen antracita, carbón o lignito. Se obtiene del carbón pulverizado de las quemas de los hornos, que se arrastra en los gases del proceso y se recupera en los filtros. Xavier Elías (2009) propone que es posible hacer concreto estructural con cenizas volantes que alcancen hasta el 30% del peso del cemento en la mezcla. Su estructura es esencialmente vítrea, debido a las altas temperaturas con las que se obtiene. Es un polvo fino con un tamaño de grano de hasta 45 micrones (µm), que le proporciona una superficie específica de 3000 cm^2/g. Cuando las cenizas volantes se activan con una lechada de cal y agua, producen una reacción puzolánica. La adición de cenizas volantes al concreto es su principal destino y su presencia genera estas reacciones en la mezcla:

- La densificación de masa, que mejora el contacto agregado-cemento y reduce las posibilidades de segregación de componentes.
- La forma esférica de las cenizas volantes, que es más pequeña que la del cemento, mejora y compensa la geometría angular e irregular de las partículas de cemento, distribuyendo mejor la granulometría de la mezcla y reduciendo la cantidad de agua requerida.
- El aumento de la resistencia mecánica del concreto.
- Las cenizas volantes pueden retardar el tiempo de curado, una situación no deseada para elementos de concreto prefabricado. En este caso, se pueden usar aditivos de aceleración en el curado, o la alcalinidad de la mezcla se puede aumentar cuando está fresca (Figura 12) (Elías, 2009, p. 396).

4.2.5.2.2. Concreto prefabricado con materiales reciclados de procesos de construcción

Los materiales obtenidos de los procesos de demolición se pueden usar como agregados en el concreto (Figura 13). También utiliza una parte del concreto premezclado que se devuelve a las plantas de producción del material. Estos materiales pétreos se clasifican de acuerdo con sus tamaños. Su composición puede reemplazar a los agregados convencionales según la resistencia diseñada para elementos estructurales y no estructurales específicos. Los requisitos técnicos para los agregados reciclados son aquellos relacionados con su uso en elementos estructurales de concreto, como se describe en las normas DIN EN 206-1 y DIN 1045.

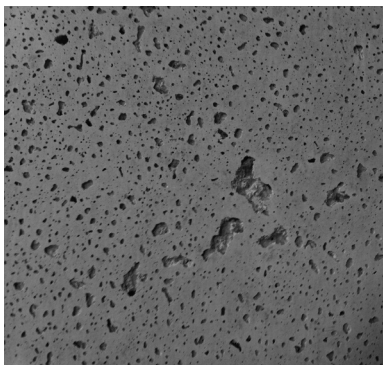


Figura 10
Superficie de un elemento de concreto construido con partículas de madera como agregados. *Technische Universität München* (TUM).

Figura 11
Concreto celular. Las cavidades de aire hacen que la mezcla sea más ligera y menos densa. Por su conformación, posee propiedades de aislamiento acústico y térmico.

Figura 12
Cenizas volantes. Residuos industriales que pueden ser utilizados en la construcción de elementos de concreto prefabricados estructurales y no estructurales.

Figura 13
Los materiales de piedra, cerámica y concreto obtenidos de los procesos de demolición podrían utilizarse como agregados reciclados para producir elementos de concreto prefabricado.

4.2.5.2.3. Hormigones con cemento de escoria de alto horno

Una vez enfriada, la escoria de alto horno se homogeneiza y almacena (Figura 14). Luego se seca y se mezcla con clínker y yeso para producir cemento. La cantidad de escoria en el cemento puede alcanzar hasta el 70% y dependerá de su reactividad y su distribución granulométrica, según Xavier Elías (2009). La finura Blaine de la escoria debe ser superior a 400 m^2/kg. La cantidad reducida de agua necesaria para la hidratación minimiza las contracciones y reduce la porosidad (Elías, 2009, p. 392). La propiedad más destacada de los cementos con escoria de alto horno es su resistencia a los ataques de sulfato, lo cual hace que su uso sea ideal en entornos cercanos a las costas tropicales (Elías, 2009, p. 392).

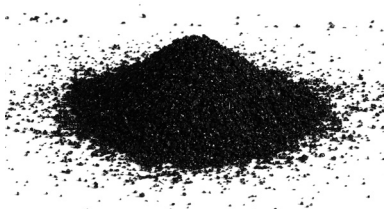


Figura 14
Escoria de alto horno, utilizada para producir elementos de concreto prefabricado cuando se mezcla con clínker y yeso. Accedido el 11 de diciembre de 2015; disponible en: http://i01.i.aliimg.com/photo/v0/167791269/COPPER_SLAG.jpg

4.2.5.3. Concreto prefabricado reforzado con textiles y fibras

4.2.5.3.1. Concreto prefabricado reforzado con mallas textiles

El comportamiento de este concreto está influenciado por las propiedades de los refuerzos textiles y su adherencia a la mezcla. Los materiales más utilizados como refuerzo son las fibras resistentes a los alcalinos, las fibras de carbono, la aramida, la fibra de vidrio, el polipropileno y el alcohol polivinílico (PVA[4]) (Schätzke y Schneider, 2005, pp. 32-33). Las fibras reforzadas con textiles deben estar formadas por filamentos con diámetros entre 10 y 30 micrones (µm). Los refuerzos utilizados son redes multiaxiales, separadores de malla y tubos textiles continuos:

- Las redes multiaxiales están compuestas por varias capas de fibras agrupadas en mechas (rovings) o en hilados, dispuestas en diferentes direcciones (Figura 15) (Schätzke y Schneider, 2005, pp. 32-33).
- Los separadores de malla son una cuadrícula tridimensional con dos capas unidas por hebras perpendiculares al plano de la tela (Figura 16) para separar las capas de refuerzo.
- Los tubos textiles continuos son tejidos tridimensionales con una sección transversal cerrada y tubular (Figura 17). Las hebras se disponen paralelamente al eje del tubo, en ángulos de 20º a 80º. Estos tubos se utilizan generalmente para reforzar elementos estructurales huecos como columnas o vigas (Schätzke y Schneider, 2005, pp. 32-33).

Con el concreto reforzado con mallas textiles se han logrado secciones de 10 mm a 20 mm en elementos prefabricados hasta de cuatro (4) metros de longitud (Schätzke y Schneider, 2005, p. 32). Estos elementos están conformados por dos lados de concreto y un núcleo de material aislante como poliuretano o poliestireno expandido (Figura 18). Los elementos acanalados tienen una superficie lisa en el exterior y elementos perpendiculares a la superficie en el interior. Desde 2005, las universidades alemanas de Dresden y la RWTH Aachen han construido prototipos con un núcleo de poliestireno expandido que permite el aligeramiento de la estructura dejando vacíos en las capas exteriores del concreto. (Figura 19) (Schätzke y Schneider, 2005, p. 32).

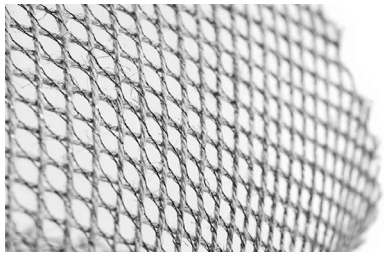


Figura 15
Redes multiaxiales. Compuestas por capas de fibras agrupadas en hilados y dispuestas en diferentes direcciones. Foto: Detalle. *Múnich: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG*, 2005.

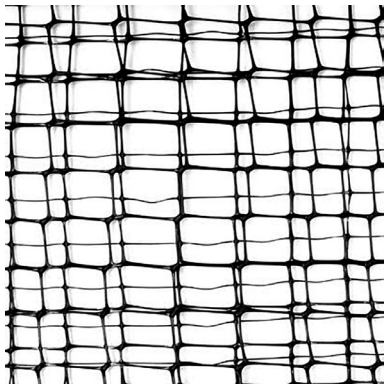


Figura 16
Separador de malla. Elemento tridimensional con dos capas de malla unidas por hebras perpendiculares al plano del tejido. Foto: Detalle. Múnich: *Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG*, 2005.

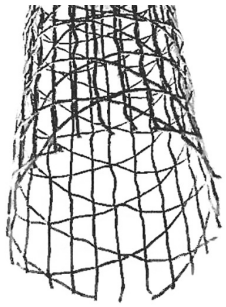


Figura 17
Tubos textiles para reforzar elementos huecos. Foto: Detalle. Múnich: *Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG*, 2005.

4 Por su sigla en inglés.

4.2.5.3.2. Concreto prefabricado reforzado con fibras de acero

El concreto reforzado con elementos discontinuos utiliza una cantidad de fibras inferior al 2% de su volumen. Las más comunes son las fibras de acero con diámetros hasta de 1 mm y longitudes entre 10 mm y 75 mm (Figura 20). Las fibras de acero mejoran la resistencia a la tensión, flexión y torsión de los elementos prefabricados. La resistencia a la rotura y al impacto se puede mejorar hasta tres veces en comparación con el concreto convencional. Refuerzos con fibra superiores al 5% del volumen de la mezcla influyen en la trabajabilidad del concreto (Elías, 2009, pp. 386-392).

4.2.5.3.3. Concreto prefabricado reforzado con fibra de vidrio (GRC[5])

Con este refuerzo el grosor de los paneles prefabricados en hormigón puede ser entre 8mm y 20mm, con superficies que pueden tener hasta 4 metros de largo y 2 metros de ancho. Generalmente, estos paneles tienen una estructura interior para aumentar su rigidez. La fibra de vidrio resistente a los álcalis es uno de los refuerzos más utilizados, debido a que el dióxido de circonio proporciona durabilidades superiores a las obtenidas con las fibras de vidrio convencionales (Figura 21). La fibra de carbono es una alternativa a las fibras de vidrio y ofrece un alto módulo de elasticidad, capacidad de carga elevada y durabilidad prolongada. Las fibras de vidrio o carbono tienen una resistencia a tracción entre 800 MPa y 1800 MPa (que equivale a entre 8157,43 kg/cm² y 18354,2 kg/cm²) y una resistencia mayor que la del acero de refuerzo convencional, que es de 412 MPa (Elías, 2009, pp. 386-392).

4.2.5.3.4. Concreto prefabricado reforzado con fibra de polietileno

Es una macro fibra sintética y estructural que combina tereftalato de polietileno (PET) y polipropileno convencional (Figura 22). El PET es un polímero termoplástico transparente y lineal, que se puede procesar por extrusión para reciclar los materiales usados. Esta fibra se fabrica para reemplazar la malla de alambre soldado.

4.2.5.4. Concreto prefabricado de ultra alto rendimiento, Ultra High Performance Concrete (UHPC)

Este tipo de concreto es una combinación de cemento Portland, humo de sílice, arena de cuarzo, arena de sílice fina, aditivos reductores de agua y fibras de acero, vidrio y fibras orgánicas (Figura 23). Debido a su contenido de material conglomerante (que excede al de los elementos prefabricados convencionales), aditivos y fibras, puede resistir tensiones de compresión que superan los 150 MPa, flexión hasta 50 MPa y tensión hasta 10 MPa (American Concrete, 2008). En la norma DIN EN 206-1 se clasifica en la categoría de dureza C100/115. El UHPC tiene una relación de material agua-cemento (w/cm) de menos de 0,2, lo que aumenta su densidad y su resistencia a la compresión (Portland Cement Association, s. f.). Para aumentar la resistencia a la tracción, un alto porcentaje de fibras debe ser orientado paralelamente a la dirección del esfuerzo. Según el American Concrete Institute, el UHPC reforzado con fibras presenta variantes según su tamaño, como se muestra en la Tabla 11.

5 Por su sigla en inglés.

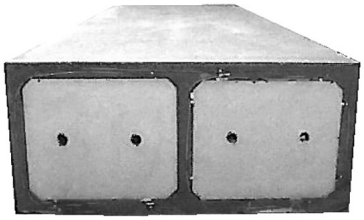


Figura 18
Paneles sándwich: dos lados de concreto y un núcleo de material aislante.

Figura 19
Elementos con un núcleo de poliestireno expandido. Foto: Universidad Internacional de Desdén y la Universidad RWTH Aachen, 2012.

Figura 20
Fibras metálicas para reforzar el concreto. Accedido el 12 de diciembre de 2015; disponible en: http://www.emaresa.cl/construccion/images/stories/virtuemart/product/fibra_maccaferri.jpg.

Figura 21
Fibras de vidrio en los paneles de concreto prefabricado. Prefabricados Moià, Barcelona, enero de 2013.

Variantes de UHPC reforzadas con fibra	Contenido de fibras (%)	Longitud (mm)
Con altas proporciones de fibras cortas	5 a 10	Hasta 6
Con proporciones intermedias de fibras largas	2 a 3	13 a 20
Con proporciones muy altas de fibras en varias longitudes	Hasta 11	1 a 20

Tabla 11
Variantes de UHPC reforzadas con fibra.

- El UHPC con altas proporciones de fibras cortas: en esta mezcla, el contenido de fibras alcanzó entre el 5% y el 10% del volumen, y no exceden los 6 mm de longitud. Las fibras mejoran la resistencia a la tensión, pero no aumentan su ductilidad. Por lo tanto, el material se utiliza en estructuras con refuerzos tradicionales.
- El UHPC con proporciones intermedias de fibras largas: el contenido de fibras en la mezcla varía entre el 2% y el 3% del volumen. Su longitud está entre 13 y 20mm. Las fibras mejoran la resistencia a la tensión, la ductilidad del concreto y buscan reemplazar la totalidad o parte de las varillas de refuerzo que normalmente se usan en elementos de concreto pretensado o reforzado.
- El UHPC con proporciones muy altas de fibras en varias longitudes: el contenido de fibras en la mezcla puede ser hasta el 11% de su volumen. Las fibras cortas pueden variar entre 1 y 20mm de longitud. Estas fibras aumentan la resistencia a la tensión, la ductilidad del concreto y pueden reemplazar todas las varillas de refuerzo tradicionales (*American Concrete Institute*, 2008).

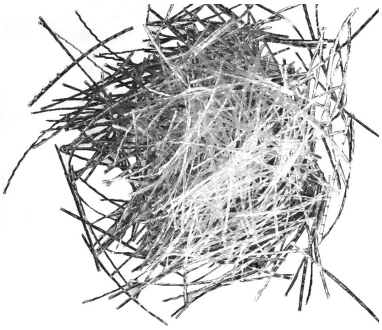


Figura 22
Fibras de polietileno recicladas para la construcción de elementos de concreto prefabricados.

Figura 23
Placa acanalada en UHPC. Barcelona, enero de 2013.

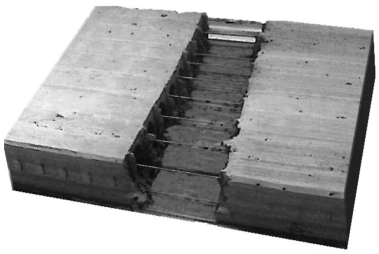


Figura 24
Proceso de pretensado de una losa alveolar. Accedido el 17 de julio de 2014; disponible en: http://www.prensoland.com/admin/uploads/imatges/thumbnailsG/20101011122056.jpg.

4.2.5.5. Concreto prefabricado pretensado y postensado

Mediante el uso de refuerzos lineales activos, como cables, se ha modificado el comportamiento estructural y los volúmenes requeridos para producir elementos prefabricados con refuerzos pasivos convencionales. Estas variantes son el concreto pretensado, que responde a la manera de producir elementos prefabricados y el concreto postensado, que define el mecanismo de instalación de estos elementos.

Uno de los aspectos característicos de la prefabricación en concreto es que sus elementos pueden producirse mediante técnicas que permiten alcanzar una mayor resistencia a través del comportamiento y la disposición de sus refuerzos, reduciendo los volúmenes de concreto. El mecanismo de unión obtenido con el postensado permite que los refuerzos sean continuos e internos en los elementos prefabricados, lo que aumenta la rigidez de la estructura.

4.2.5.5.1. Concreto prefabricado pretensado

Este tipo de concreto prefabricado abrió un nuevo campo en el diseño de piezas estructurales al aumentar la resistencia del material mediante el uso de refuerzos activos como barras, alambres o cables de acero, tensados antes del proceso de vaciado en la planta. El volumen de concreto y el espesor de los elementos se redujeron en comparación con los elementos prefabricados convencionales, debido a la disposición y el comportamiento de estos refuerzos (Figura 24). Esta técnica se ha utilizado para superar la debilidad natural del concreto contra las fuerzas de tracción y fue patentada por Eugène Freyssinet en 1920 (Nilson, 1987, p. 14). A través de este proceso, se han producido elementos con diferentes características formales y estructurales: losas alveolares, losas macizas, losas de doble T, vigas con secciones I, C, T o L, vigas huecas y vigas de cajón (Figuras 25 y 26). La presencia de aligerantes o perforaciones longitudinales en losas alveolares ha reducido la cantidad de concreto entre 45% y 70% en contraste con las losas prefabricadas sólidas o losas de concreto vaciado *in situ*. La cantidad de acero de refuerzo se ha reducido hasta en un 50% en elementos prefabricados pretensados, como vigas y losas. Los elementos en concreto pretensado ocasionalmente requieren una cierta cantidad de armaduras pasivas (sin tensión aplicada), tales como el acero reforzado convencionalmente.

4.2.5.5.2. Concreto prefabricado postensado

Este proceso permitió una nueva concepción del material al construir piezas continuas formadas por elementos prefabricados más pequeños. Esta condición trajo nuevos desarrollos en el diseño de piezas, en los diseños arquitectónicos y estructurales y en el proceso de montaje. El concreto postensado se somete a fuerzas de compresión y tensión a través de refuerzos activos (cables de acero montados al interior de los elementos prefabricados), que se tensan una vez se han instalado en el sitio. Se han construido proyectos más livianos, se han utilizado equipos de montaje con especificaciones más bajas que las necesarias para montar elementos de gran formato y se han logrado mayores distancias entre los soportes, en comparación con los que se han obtenido con elementos prefabricados convencionales. Los segmentos que forman parte de un elemento estructural logran su máxima capacidad estructural en su instalación. Este proceso se realiza en la mayoría de los casos con elementos prefabricados y pretensados, lo cual reduce el consumo de acero de refuerzo convencional y concreto. Las perforaciones longitudinales se dejan en este caso para la ubicación de los cables de refuerzo en el proceso de ensamblaje, lo que crea tensiones una vez que se han instalado todas las piezas prefabricadas hasta que se logran las resistencias requeridas (Araújo, 1997, p. 8). Este sistema ha resuelto uno de los problemas más frecuentes en la prefabricación: la continuidad de las uniones entre sus elementos, lo que garantiza la continuidad de la estructura y sus refuerzos (Figuras 27, 28 y 29).

4.2.6. Evaluación de resistencia

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, ha establecido los criterios para evaluar la resistencia del concreto en el diseño de elementos estructurales y no estructurales, como se indica en la Tabla 12.

- La sección C.16.10 del NSR-10 (Concreto Prefabricado) explica los procedimientos para evaluar la resistencia de los elementos estructurales. La sección C.16.10.1 indica que las evaluaciones deben realizarse cumpliendo con estos requisitos:
- Sección C.16.10.1.1: Las cargas de prueba deben aplicarse sólo cuando los cálculos indiquen que la compresión o el pandeo no son críticos para el elemento prefabricado aislado.
- Sección C.16.10.1.2: La carga de prueba debe ser la carga que, cuando se aplica al elemento prefabricado aislado, induce las mismas fuerzas totales en el refuerzo de tracción que las que se inducirían al cargar el elemento compuesto con las cargas de prueba indicadas en la Sección C.20.3.2 del Reglamento NSR-10 (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, p. C-306).

El Capítulo C.20.5 especifica los requisitos para aceptar o rechazar los elementos prefabricados. En las secciones que lo conforman, se explican los requisitos mínimos necesarios para aprobar:

- Sección C.20.5.1: indica que la parte evaluada de la estructura no debe mostrar evidencia de falla. La evidencia de falla incluye agrietamiento, descamación o deflexión. La descamación de algunos elementos de concreto prefabricado, no necesariamente indica un deterioro estructural general. Los anchos de la fisura indican la condición de deterioro o la falla de la estructura, y deben

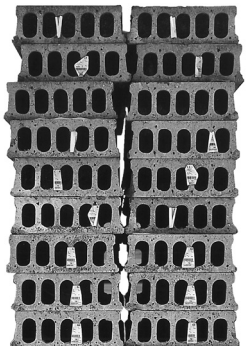


Figura 25
Láminas alveolares de concreto pretensado. Accedido el 13 de diciembre de 2015; disponible en: https://plexa.com.mx/sites/default/files/ct/gdi/ALVEOLAR2.jpg.

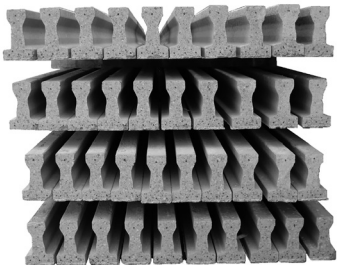


Figura 26
Vigas prefabricadas de concreto pretensado. Accedido el 13 de diciembre de 2015; disponible en: http://www.forsecusa.es/s/cc_images/cache_10816935.jpg.

Figura 27
Elementos pretensados de concreto prefabricado instalados a través de procesos de postensado. Fotos, *Tectónica*. 1998.

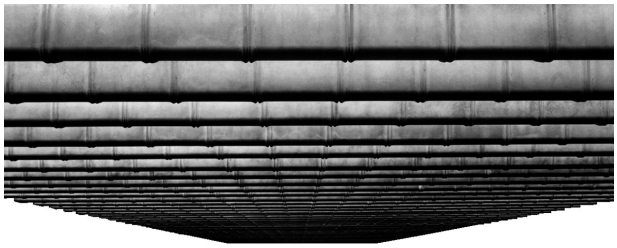


Figura 28
Elementos pretensados de concreto prefabricado instalados a través de procesos de postensado. https://alrededordelaarquitectura.files.wordpress.com/2013/07/nave.jpg, consultado el 13 de diciembre de 2015.

Sección	Objeto de Estudio
C.16.10.1.1.	La compresión no es crítica para el elemento prefabricado aislado.
C.16.10.1.2.	El elemento prefabricado aislado induce las mismas fuerzas totales en el refuerzo de tracción.
C.20.5.1.	Indica que la parte de la estructura que se evalúa no debe mostrar evidencia de falla.
C.20.5.2.	Límites de deflexiones máximas medidas.
C.20.5.3.	Los elementos estructurales prefabricados probados no deben tener fisuras que indiquen una falla de cizalladura inminente.
C.20.5.4.	Fisuras estructurales inclinadas respecto al eje longitudinal.

Tabla 12
Criterios para la evaluación de la resistencia del concreto prefabricado.

observarse para determinar si su condición es satisfactoria y cumple con los requisitos mínimos de seguridad. (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, p. C-355).

- La sección C.20.5.2 especifica los límites de deflexiones máximas medidas, de acuerdo con la proporción de elementos estructurales prefabricados y la composición de la mezcla de concreto para producirlos. Se pueden usar si, en las pruebas de carga, la estructura no muestra evidencia de falla (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, p. C-355).
- La sección C.20.5.3 indica que los elementos estructurales prefabricados probados no deben tener fisuras que indiquen una falla de cizalladura inminente. Si la longitud de la fisura se extiende a una longitud horizontal aproximada que es igual a la altura del elemento, si se ensancha o si los estribos comienzan a perder su anclaje, se supone que el elemento está cerca de una falla de cizalladura (Comisión Sismorresistente y Minambiente 2010, p. C-355).
- La sección 20.5.4 propone que se evalúen las áreas que no tienen refuerzo transversal y donde las fisuras estructurales aparecen con una proyección horizontal mayor que la altura del elemento en el punto medio de la fisura. Se debe prestar atención a las implicaciones estructurales de las fisuras observadas, que pueden conducir a un colapso de los elementos sin refuerzo transversal (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, p. C-356).

En áreas de empalme o ensambles superpuestos, se debe investigar la aparición de una serie de fisuras cortas inclinadas o fisuras horizontales (Figura 30) en toda la línea de refuerzo, de acuerdo con lo que se especifica en la Sección 20.5.5 de la NSR-10. Las fisuras a lo largo del eje del refuerzo en las áreas de anclaje pueden estar relacionadas con altas tensiones asociadas con la transferencia de fuerzas entre el refuerzo y el concreto. Estas fisuras pueden ser una indicación de una falla potencial del elemento y es importante evaluar sus causas y consecuencias (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, p. C-356).

4.2.7. Diseño técnico

Esta actividad se refiere al diseño arquitectónico y estructural, la producción, el transporte y la instalación de elementos estructurales y no estructurales de concreto prefabricado en Antioquia, que se rigen por las mismas regulaciones estructurales que deben utilizarse en Colombia. El Capítulo C.16 del NSR-10 indica que el diseño de los elementos prefabricados y sus conexiones deben considerar las condiciones de carga y las restricciones que van desde la fabricación inicial hasta la finalización de la estructura, incluido el desencofrado, almacenamiento, transporte y ensamblaje

Figura 29
Elementos pretensados de concreto prefabricado instalados a través de procesos de postensado. http://blogs.elpais.com/.a/6a00d8341bfb1653ef017c324343e6970b-pi, consultado el 13 de diciembre de 2015.

Figura 30
Agrietamiento horizontal de un elemento de concreto prefabricado a lo largo del eje ocupado por refuerzos estructurales.

(Comisión Sismorresistente y Minambiente), 2010, p. C-299). Cuando los elementos prefabricados se incorporan a un sistema estructural, las tensiones y deformaciones de estos elementos y sus conexiones deben incluirse en el diseño técnico. También se deben especificar las tolerancias de los elementos prefabricados con los elementos de conexión. La NSR-10 aclara el hecho de que el comportamiento estructural de los elementos prefabricados puede diferir sustancialmente del comportamiento de elementos similares construidos con concreto vaciado *in situ*. En la construcción de estructuras prefabricadas, el diseño de las conexiones requiere atención especial para la continuidad estructural debido a la retracción, la variación de la temperatura, las deformaciones elásticas, los asentamientos diferenciales, el viento y los terremotos (Figura 31) (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, p. C-299).

Para el diseño estructural de los elementos, la NSR-10 requiere que se incluya la siguiente información en los documentos del contrato, informes y planos técnicos:

- Detalles de refuerzo estructural, refuerzos internos, elementos de conexión y dispositivos de elevación necesarios para resistir las fuerzas temporales resultantes de la manipulación, el almacenamiento, el transporte y el montaje.
- La resistencia del concreto a esfuerzos estructurales definidos en cada etapa del proceso de construcción.

La sección C.16.4 aclara que en el concreto pretensado, los elementos con un ancho no mayor a 3.7 metros, como losas alveolares, losas macizas o losas nervadas, generalmente no son necesarios refuerzos transversales para soportar las fuerzas debidas a la retracción y la variación de la temperatura en la dirección más corta. Estos principios también pueden aplicarse a las losas del piso y al techo no pretensado. El ancho de 3.7 metros es menor que el ancho en el que las fuerzas de retracción y la variación de temperatura pueden alcanzar una magnitud que requiere refuerzos transversales (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, pp. C-300-C-301).

Para los elementos prefabricados, la mayoría de la retracciones se producen antes de que estos elementos se hayan instalado en la estructura. Las fuerzas causadas por la retracción y la variación de temperatura se reducen significativamente. La NSR-10 indica que esta consideración no se aplica a los elementos que requieren refuerzo para resistir las fuerzas de flexión transversales, como los elementos simple-T o doble-T (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, pp. C-300-C-301). Para muros prefabricados en concreto no pretensado, los refuerzos deben diseñarse de acuerdo con las disposiciones de los Capítulos 10 (Flexión y cargas axiales) y 14 (Muros) de la NSR-10. Para el diseño técnico, se debe considerar el hecho de que cada área de refuerzo vertical y horizontal no debe ser inferior a 0,001 milímetros cuadrados. La separación de la armadura no debe exceder cinco (5) veces el grosor de la pared o 750mm para paredes interiores, o 450mm para paredes exteriores. El área bruta de la sección de concreto en milímetros cuadrados se expresa con la convención "Ag"[6]. El código aclara que, para una sección con espacios vacíos o iluminados, "Ag" considera sólo el área de concreto y no incluye el área vacía. Las evaluaciones de la resistencia de las estructuras prefabricadas se consideran en la Sección C16.10 de la NSR-10 (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, pág. C-306). La regulación permite la evaluación de la flexión como si las estructuras fueran elementos prefabricados aislados que reciben concreto vaciado *in situ* para complementar su instalación.

Para evaluar la resistencia de las estructuras prefabricadas, las disposiciones de la Sección C.20.5 (Criterios de aceptación) de la NSR-10 forman las bases para la aprobación o el rechazo de elementos estructurales. En la actividad de producción, el diseño técnico interviene en la dosificación de cada componente de la mezcla, en las características de los moldes para generar superficies, en las estrategias para reducir el peso y los costos, y para aumentar la resistencia de los elementos prefabricados. En las actividades de transporte e instalación, el diseño técnico define las estrategias de montaje, el tipo de juntas entre los elementos prefabricados y la programación del orden de instalación (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, pp. C-354). El diseño arquitectónico en la prefabricación es también un diseño de construcción. El ensamblaje de elementos debe funcionar de manera armoniosa y eficiente para construir espacios domésticos con control de calidad, tiempo y costos.

Figura 31
Continuidad estructural en elementos de concreto prefabricados mediante el diseño de sus conexiones. Foto: *Elematic*.

4.3. Encofrados

Para la producción de elementos de concreto prefabricado, es necesario utilizar moldes o encofrados. Los elementos pretensados, como losas alveolares, se fabrican en superficies que pueden alcanzar más de 250m de longitud. Sobre estas superficies, los refuerzos se tensionan previamente y luego se vacía el concreto. Para aumentar la eficiencia en la producción industrial de elementos prefabricados, de acuerdo con la velocidad de producción requerida, se sugiere que los elementos sean desencofrados entre 4 y 12 horas después del vaciado. Según los encofrados, pueden clasificarse como rígidos o flexibles.

4.3.1. Rígido

Los encofrados rígidos son aquellos que mantienen su geometría durante el vaciado, ajuste y desencofrado de elementos de concreto prefabricado. En este estudio, se consideran encofrados en diferentes materiales: metal, tablas de madera, listones de madera, encofrados en poliéster laminado con fibra de vidrio y en concreto reforzado con fibra de vidrio (GRC[7]).

4.3.1.1. Metálico

Este tipo de encofrados son los más utilizados en la producción de elementos prefabricados, debido a su resistencia, el número de reutilizaciones y la velocidad con la que se pueden desencofrar los elementos prefabricados. Los encofrados metálicos se pueden producir con diferentes grados de complejidad. En la mayoría de los casos, puede ser necesario tener una estructura metálica que garantice la resistencia y la estabilidad de las superficies en contacto con el concreto. Estas superficies, en contacto con la estructura del encofrado (hojas de metal u otros materiales), deben reemplazarse cuando los elementos prefabricados comienzan a tener aspectos no deseados o cuando se ha alcanzado el número máximo de usos (Regás & Bolaños, 2007, p. 140). Los encofrados metálicos generan superficies lisas en elementos prefabricados. Estos deben producirse a través de un vaciado

6 Por su sigla en inglés.

7 Por su sigla en inglés.

completo con compactación uniforme y continua, para evitar la aparición excesiva de porosidad y burbujas en la superficie (Figura 32). Los acabados de las superficies metálicas originales del encofrado también pueden modificarse para obtener diferentes texturas en elementos prefabricados.

4.3.1.2. Tablas de madera

Las tablas de madera están disponibles principalmente con dimensiones de 122cm x 244cm o 153cm x 244cm, que acondicionan las dimensiones o las uniones entre elementos prefabricados. En comparación con otros materiales, los moldes de tablas de madera permiten más usos que el encofrado en madera natural, pero tienen menos usos que los encofrados metálicos. Para elementos prefabricados a gran escala, las tablas de madera en contacto con la superficie prefabricada deben reforzarse con una estructura que garantice su estabilidad contra los empujes del concreto. Algunas de estas tablas tienen tratamientos de humedad que permiten un cierto número de reutilizaciones sin perder las características de las superficies. Los moldes para elementos prefabricados de una complejidad moderada se pueden construir utilizando estas tablas, que también pueden generar diferentes tipos de texturas en la superficie (Figura 33).

4.3.1.3. Listones de madera

Los moldes de listones de madera convencionales se han utilizado tradicionalmente en la construcción de elementos estructurales y no estructurales con concreto vaciado *in situ*. También pueden usarse para construir elementos prefabricados, que según sus dimensiones también pueden requerir una estructura de soporte adicional para garantizar su estabilidad. Las superficies construidas en estos moldes pueden tener varios acabados, según los tamaños, las texturas y los tipos de madera seleccionados (Figura 34). En general, el uso de listones de madera tradicionales transmite texturas que muestran las uniones entre los elementos.

4.3.1.4. Poliéster laminado con fibra de vidrio

En este tipo de encofrado, cada una de sus paredes tiene un espesor de entre 4mm y 6mm, y debe tener una estructura que soporte los empujes del concreto para evitar la deformación y facilitar su asentamiento (Regás y Bolaños, 2007, p. 84). El número de usos es similar a los encofrados en tablas de madera y menos que los encofrados metálicos. Este tipo de molde genera superficies de concreto de alta calidad, debido a la regularidad de sus acabados. Debido a su flexibilidad, estos moldes permiten la producción de elementos de concreto prefabricado con diferentes geometrías, seguidos de un proceso de desmoldado ágil y seguro, que no deteriora las superficies de los procesos de las piezas (Figura 35) (Cárdenas y Peláez, 2010, pág. 25).

4.3.1.5. Concreto reforzado con fibra de vidrio (GRC[8])

Estos encofrados se producen a partir de un modelo o pieza inicial que se construye a escala natural, e incluyen todas las características especificadas en su diseño arquitectónico

8 Por su sigla en inglés.

Figure 32
Superficie obtenida utilizando un encofrado de metal. Foto: Cementos Argos, Medellín 2010.

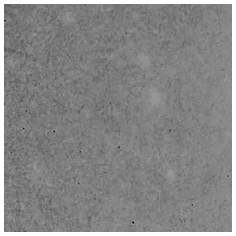


Figura 33
Superficies de concreto obtenidas mediante el uso de tablas de madera. Foto: Cementos Argos, Medellín 2010.

Figura 34
Superficie de concreto obtenida mediante el uso de un encofrado de tablero de madera. Foto: Cementos Argos, Medellín, 2010.

(Regás y Bolaños, 2007, p. 84). Las características de las superficies pueden ser tan diversas como se desee (Figura 36). Los encofrados en GRC se pueden utilizar varias veces, de forma similar a los encofrados en tablas de madera. Es necesario usar un desmoldante entre la superficie del molde y el elemento prefabricado, que permite que la pieza se retire sin sufrir daños.

4.3.2. Flexibles

Estos encofrados se producen generalmente en poliuretanos, elastómeros, silicona o elementos textiles. Durante los procesos de vaciado, ajuste y desencofrado de estos moldes, su geometría puede modificarse de acuerdo con la forma final especificada, lo que facilita la generación de formas no convencionales. Un molde flexible para la prefabricación de elementos de gran formato, especificado con superficies planas y formas regulares, necesita un molde rígido que lo sostenga y evite las deformaciones no deseadas causadas por los empujes del concreto. Con el uso de un desmoldante adecuado, estos encofrados permiten retirar los elementos prefabricados sin que se adhieran a sus superficies. Texturas impresas o diferentes superficies se pueden obtener de acuerdo con las especificaciones arquitectónicas de cada proyecto y los procesos de fabricación de encofrados con comportamientos flexibles, que pueden tener los aspectos deseados para los elementos prefabricados (Figura 37).

4.4. Producción

Los elementos de concreto prefabricado pueden fabricarse en plantas industriales o en el sitio del proyecto mediante el uso de fábricas de campo transportables. Estos lugares deben garantizar las condiciones adecuadas para la producción continua y el almacenamiento de los elementos.

4.4.1. Plantas industriales

Las industrias de prefabricación tienen los espacios y equipos apropiados para producir elementos prefabricados (Figura 38). Estas plantas industriales generalmente se ubican en las afueras de las ciudades debido a las grandes áreas que deben usar, el volumen de materiales manipulados y el costo del suelo urbano. El proceso de prefabricación es secuencial y tiene áreas específicas para producir elementos de concreto prefabricados estructurales y no estructurales: patios de dosificación y mezcla, patios de vaciado, patios de curado, patios de desencofrado, patios de limpieza y patios de almacenamiento (12). Si bien los elementos prefabricados pueden producirse a la intemperie, se recomienda cubrir los espacios de producción para mejorar las condiciones de trabajo y proteger el equipo utilizado en el proceso.

4.4.2. Fábricas de campo

La accesibilidad restringida a los lotes, debido al tamaño de los elementos prefabricados, los costos de transporte y la distancia desde las plantas industriales y el sitio del proyecto, han generado la alternativa de implementar plantas móviles ubicadas en el sitio de construcción. Estas plantas deben adaptarse a la topografía del terreno y a las condiciones espaciales y climáticas existentes, con todas las especificaciones técnicas necesarias para producir elementos de concreto prefabricado (Figura 39). Es necesario considerar que los espacios de trabajo, almacenamiento y desplazamiento para la instalación de estos elementos prefabricados deben coordinarse con la disponibilidad de espacio en el sitio y con los procesos constructivos del edificio, para mejorar la eficiencia de los procesos.

4.5. Transporte

Este es el desplazamiento de elementos de concreto prefabricado desde la planta de producción al sitio del proyecto. En esta actividad es necesario asegurar que el diseño estructural, de acuerdo con el manejo de las cargas (las que se producen en el desplazamiento, elevación y almacenamiento de los elementos) y las cargas de servicio (las que se llevan a cabo una vez que se instalan las piezas), cumplen con los requisitos establecidos en el Título C del Reglamento NSR-10. El transporte de elementos prefabricados en el contexto local se puede hacer de tres maneras: por tierra, río o ferrocarril.

El transporte condiciona la prefabricación, ya que determina – en muchos casos, debido a las proporciones de sus elementos – la viabilidad de un proyecto. Además del transporte, se debe considerar el equipo para levantar e instalar las piezas. Como alternativa a esta condición, se han construido fábricas de campo en el sitio del proyecto que requieren áreas suficientes para la producción, manejo y almacenamiento de los elementos prefabricados.

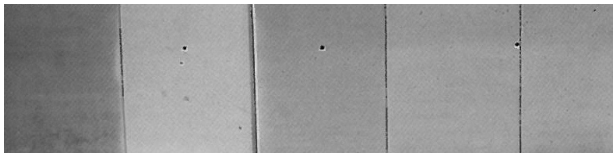


Figura 35
Superficie de concreto obtenida mediante el uso de un encofrado construido con poliéster y laminado con fibra de vidrio. Foto: Cementos Argos, Medellín, 2010.

Figura 36
Superficie de concreto obtenida mediante el uso de un encofrado en GRC. Foto: F. Regás y J. Bolaños, Piedra Moldeada: GRC y concreto arquitectónico, 2010.

Figura 37
Superficie de concreto obtenida mediante el uso de un encofrado en elastómeros de poliuretano. Foto: F. Regás y J. Bolaños, Piedra Moldeada: GRC y concreto arquitectónico, 2010.

4.5.1. Transporte terrestre

La infraestructura vial en el departamento de Antioquia está conformada por las Autopistas para la Prosperidad y las carreteras primarias, secundarias y terciarias, clasificadas de acuerdo con sus anchos y características físicas. Según la Aeronáutica Civil de Colombia, el 99,9% de la carga en Antioquia se mueve por tierra (VIVA, 2015, p. 32). En diciembre de 2015, la red principal de carreteras consistía en 1.672km; la red de carreteras secundarias tenía 4.69 km, mientras que la red de carreteras terciarias tenía 11.507km de longitud. A diciembre de 2015, la extensión total de las rutas terrestres en Antioquia ascendió a 17.869km (VIVA, 2015, p. 32).

4.5.1.1. Pesos y longitudes permitidos

La Norma Técnica Colombiana (NTC) 4788 regula el tipo de vehículos de carga y aspectos como el peso bruto máximo y las dimensiones, para que puedan operar normalmente en las redes de carreteras del país. El transporte terrestre automotriz de carga está regulado por el Decreto 173 de 2001, de conformidad con el Ministerio de Transporte de la República de Colombia. El peso bruto vehicular (PBV) es la suma del peso del vehículo más su carga. Los límites de PBV definidos en NTC 4788 tienen los siguientes rangos en la Tabla 13.

Es posible transportar elementos prefabricados de concreto de hasta 4,40m de altura, con un ancho de 2,60m y longitudes de hasta 12,20m para vehículos de tres y cuatro ejes. (Mintransporte, s. f.).

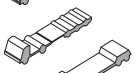
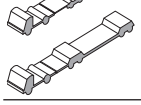
	Tipo de transporte	Largo (metros)	Ancho (metros)	Altura (metros)	Capacidad (Toneladas)
	Camiones	10,80	2,60	4,40	Entre 16 y 32
	Camiones semirremolques	12,20	2,60	4,40	Entre 27 y 52
	Camiones de remolque	18,50	2,60	4,40	Entre 16 y 48
	Camiones de remolque equilibrado	18,50	2,60	4,40	Entre 15 y 48

Tabla 13
Rangos de peso bruto vehicular (PBV) definidos en NTC 4788

4.5.1.2. Características y clasificación de carreteras

El Ministerio de Transporte de Colombia ha clasificado las carreteras nacionales en los siguientes tipos:

- Carreteras primarias, 30m de ancho: Estas carreteras comunican las ciudades capitales del país y las fronteras internacionales. Se clasifican según el papel que desempeñan en la economía nacional.
- Carreteras secundarias, de 24m de ancho: Estas carreteras comunican a los municipios con las capitales del país o con otros municipios vecinos. También comunican regiones o pueden comunicar un municipio con una carretera principal.
- Caminos terciarios, 20m de ancho: estos caminos comunican pequeños y medianos caseríos, veredas o parajes con centros urbanos. Normalmente convergen a una red secundaria o primaria (Gobernación de Antioquia, 2006). Según el mapa vial de Antioquia, la red de carreteras primarias pavimentadas cubre el 85% de las comunicaciones entre Medellín y los otros municipios. A través de carreteras secundarias pavimentadas y no pavimentadas, se accede al 15% restante de los municipios (Gobernación de Antioquia, s. f. b.).
- Vías urbanas: las dimensiones máximas que pueden ser transportadas también están condicionadas por el ancho y la condición de las carreteras de algunos barrios dentro de un municipio. Las dimensiones de los elementos prefabricados están condicionadas por la accesibilidad al proyecto.

4.5.2. Transporte fluvial

El transporte de elementos pesados y en gran escala por los ríos se realiza generalmente en barcazas, que son unidades navales no motorizadas de fondo plano impulsadas por otro barco. Pueden colocarse temporalmente en playas arenosas sin la necesidad de muelles o embarcaderos para cargar o descargar.

4.5.2.1. Pesos y longitudes permitidos

Las dimensiones promedio que se han utilizado para el transporte fluvial en barcazas son 40m de largo (la longitud del bote desde la popa hasta la proa) y 10m de ancho (el ancho máximo del bote). Estas barcazas pueden transportar hasta 3,2 toneladas de peso. Otras barcazas, con dimensiones de 35m de largo por 15m de ancho, tienen una capacidad de transporte de hasta 4,0 toneladas (Ostornol y Cardozo, s. f.). La capacidad de carga de los medios de transporte fluviales, los anchos de los ríos y la profundidad de sus canales condicionan las proporciones y los pesos de los elementos prefabricados de concreto, como se indica en la Tabla 14.

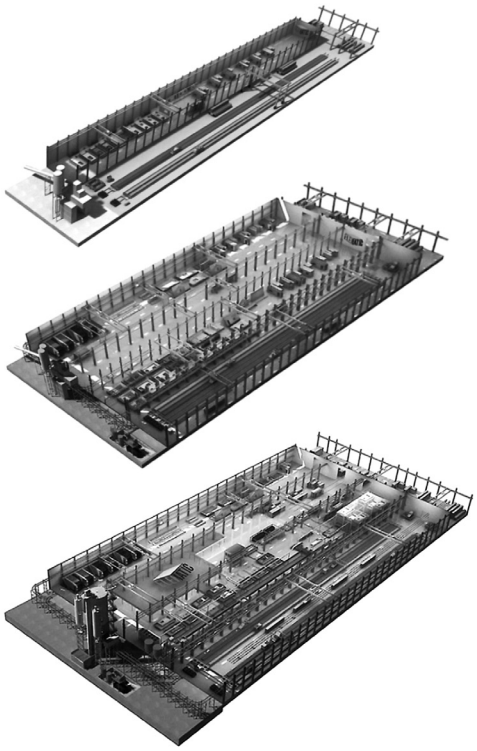


Figura 38
Sistemas operativos y organización espacial en una planta de producción de elementos prefabricados. Modelo tomado de la organización de producción de la firma *Elematic* en Helsinki, Finlandia, junio de 2013. *Elematic*. Planta completa prefabricada. Catálogos SEMI, PRO, EDGE. Aldus, Finlandia, 2013. Helsinki, Finlandia, junio de 2013

Figura 39
Modelo de la fábrica de campo comercialmente ofrecido por *Weiler*, Alemania.

4.5.2.2. Características y clasificaciones de los ríos

Según el Departamento de Planificación Nacional de Colombia (DNP) y el Ministerio de Transporte, los ríos colombianos tienen una longitud de 24.725km. Aproximadamente 18.225 km (74% de su extensión) permiten una menor navegación durante todo el año. El DNP indicó que un total de 7.063km, equivalente al 39% de su extensión, soporta una navegación mayor y permanente, principalmente en el Río Magdalena, seguido por el Río Cauca. Una extensión de 4.210km, equivalente al 23% de su extensión, permite una navegación temporal de embarcaciones más grandes en el este, centro y norte del país en los Ríos Orinoco, Magdalena, León y Atrato. Leticia, con el Río Amazonas y en el sur del país, es un importante puerto fluvial que tiene conexiones con Perú, Brasil y el Océano Atlántico. Los 6.500km de ríos restantes en el país, casi el 36%, no son navegables (DNP, 2005, pp. 179-180). En Antioquia, los ríos más importantes son el Atrato, que separa Antioquia del Chocó; el Cauca, que cruza el centro de Antioquia y separa la Cordillera Occidental de la Cordillera Central; y el Magdalena, que separa a Antioquia de Santander en el extremo este de la región (Gobernación de Antioquia, s. f. a).

4.5.3. Transporte ferroviario

En los primeros quince años del siglo XXI, las líneas ferroviarias en Colombia tenían una extensión total de 3.304km. Su cobertura está en el centro del país y en algunos municipios del norte y el oeste (Mintransporte, s. f. b). Los planes para expandir las redes ferroviarias en Antioquia se han desarrollado desde 2016 para comunicar Medellín con diferentes municipios, lo que aumentará el transporte de elementos de construcción a través de nuevas líneas ferroviarias.

4.5.3.1. Pesos y longitudes permitidos

Los elementos de concreto prefabricado se pueden transportar en góndolas, plataformas planas o plataformas convencionales, que son vagones abiertos donde el material que no necesita ser protegido de la lluvia o sol pueden ser transportados.

Estos vagones están diseñados para facilitar la carga y descarga con grúas (Mintransporte, s. f.). Las góndolas tienen 12,72m de largo, 2,91m de ancho y 2,8m de alto. Pueden transportar un volumen interno de 83 m³ con una carga de 70 toneladas.

Los de plataforma plana y las plataformas convencionales tienen 13,40m de largo y 2,87m de ancho. Pueden transportar elementos con una altura de hasta 3,00m y una carga volumétrica de hasta 115,30 m³. La capacidad máxima de las plataformas planas es de 73 toneladas, mientras que la de las plataformas convencionales es de 72 toneladas (Mintransporte, s. f.). Las dimensiones y los volúmenes de la carga para el transporte ferroviario se indican en la Tabla 15.

4.5.3.2. Características y clasificaciones del sistema ferroviario

El sistema ferroviario en Colombia está compuesto por las redes ferroviarias del Atlántico y el Pacífico y se clasifica por sus anchos libres, que determinan la capacidad de carga de los trenes y el volumen de transporte. La red de ferrocarriles del Atlántico se extiende desde Bogotá hasta Santa Marta (desde el centro del país hacia el norte, en el mar Caribe) y pasa por los departamentos de Antioquia, Cesar, Magdalena, Santander, Boyacá, Cundinamarca y Caldas. La línea que conecta la mina de carbón Cerrejón con Puerto Bolívar, en el Océano Atlántico, tiene un ancho estándar de 1.435mm. Las otras líneas tienen un ancho estándar de 914mm (DNP, 2008, p. 2). La Red de Ferrocarriles del Pacífico, con un ancho de 914mm, se extiende desde el centro al oeste del país y une los departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda y Valle del Cauca con el Océano Pacífico (DNP, 2008, p. 2).

4.6. Sistemas estructurales

Las estructuras para el concreto prefabricado se clasifican en tres grupos, según la forma de los elementos y el recorrido de las cargas hacia las fundaciones y el terreno: esqueletales, muros de carga y células espaciales. En la construcción con concreto prefabricado, se pueden combinar dos de estos grupos, que pueden formar una estructura mixta.

4.6.1. Esqueletales

Las estructuras esqueletales están conformadas por columnas, vigas y losas (Figura 40). La unión entre estos elementos conforma marcos o diafragmas con diferentes luces y soportes tipificados (Araújo, 1997, p. 5). Existen varios casos en los que las uniones entre columnas, vigas y losas se resuelven con una estabilización independiente (Araújo, 1997, p. 5). Las piezas de concreto prefabricado que forman parte de los sistemas esqueletales pueden controlar su calidad, generar otros tipos de juntas y desarrollar nuevas funciones. Los sistemas esqueletales prefabricados pretensados pueden tener piezas con longitudes mayores que las construidas con concreto vaciado *in situ*. El diseño de cada elemento que conforma los sistemas esqueletales prefabricados puede incorporar otros aspectos funcionales y modificar la estética de prefabricación convencional de la vivienda colectiva (Araújo, 1997, p. 8).

4.6.1.1. Elementos

Los elementos que conforman las estructuras prefabricadas esqueletales se clasifican por su ubicación en el proyecto y su geometría. Las formas y proporciones de los elementos estructurales y no estructurales de la prefabricación pueden variar en cada proyecto de acuerdo con los diseños arquitectónicos y estructurales. Los siguientes ejemplos corresponden a una clasificación realizada por la Asociación Profesional Alemana de Concreto Prefabricado (*Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau* e.V., FDB).

4.6.1.1.1. Fundaciones

La relación entre peso del edificio, perfiles topográficos y resistencia del suelo se resuelve con la construcción de fundaciones aisladas que pueden ser prefabricadas o vaciadas *in situ*, y reciben las cargas transmitidas por las columnas, vigas o losas (Gráfico 40). Estos cimientos se rigidizan mediante la construcción de vigas de amarre (Böttger, 1974, p. 125). Las fundaciones prefabricadas deben tener ensambles rígidos para garantizar la estabilidad del sistema.

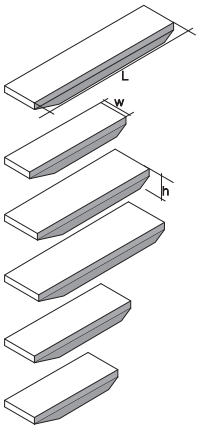
	Tipo de Transporte	Largo (metros)	Ancho (metros)	Altura (metros)	Capacidad (Toneladas)
	Barcazas tipo *Mississippi Hopper*	40.00	10.00	3 a 9	197.91
	Barcazas multiusos	25.00	7.00	3 a 9	86.59
	Barcazas de tanque	30.00	15.00	3 a 9	222.65
	Barcazas planas	35.00	15.00	3 a 9	259.76
	Semi-convoyes	30.00	12.00	3 a 9	178.12
	Barcazas	22.00	10.00	3 a 9	108.85

Tabla 14
Dimensiones y pesos medios del transporte fluvial en Antioquia.

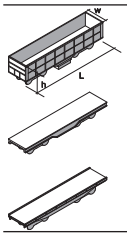
	Tipo de Transporte	Largo (metros)	Ancho (metros)	Altura (metros)	Capacidad (Toneladas)
	Góndolas	12.72	2.91	2.81	70.00
	Plataformas planas	13.40	2.87	3.00	73.00
	Plataformas convencionales	13.40	2.87	3.00	72.00

Tabla 15
Dimensiones y volúmenes de carga permitidos para el transporte ferroviario con góndolas, plataformas planas y plataformas convencionales.

4.6.1.1.2. Columnas

Si bien el diseño de las columnas prefabricadas puede ser tan versátil como los diseños arquitectónicos para los cuales se especifican, el FDB ha clasificado la geometría básica de las columnas en dos grupos: cuadrado y redondo. Todas las dimensiones de estos elementos se proponen para cumplir con los requisitos de resistencia al fuego Clase F90-A según la norma DIN 4102 (*Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau*, FDB, s. f.).

Columnas cuadradas: La base (b) y la altura (h[9]) de estos elementos son variables, de acuerdo con las características del edificio y la resistencia deseada para la mezcla de concreto (Gráfico 41). El FDB sugiere construir biselados de un centímetro en cada esquina del elemento.

Columnas redondas: Estas dimensiones pueden tener diferentes proporciones en su diámetro (d), según las cargas que deben soportar, la capacidad de carga del terreno y su altura (h), según las características del edificio (Gráfico 41).

4.6.1.1.3. Vigas y viguetas

De acuerdo con su geometría, las vigas y viguetas pueden clasificarse como vigas de esquina recta, vigas de consola, vigas trapezoidales, vigas con forma de "I", "C" o "T", vigas huecas y vigas de caja. Al igual que las columnas, las dimensiones y formas de estos elementos pueden ser

9 Por su abreviatura en inglés.

Figura 40
Construcción de un edificio con una estructura esqueletal prefabricada. Los montajes entre vigas, columnas y losas deben garantizar la continuidad de la estructura. Foto: *Montagebau Konstruktiver Entwurf.*

diferentes en cada proyecto, de acuerdo con los diseños arquitectónicos y estructurales propuestos. En todos los elementos, las longitudes son variables de acuerdo con las características del edificio y la resistencia de la mezcla de concreto. El FDB recomienda la construcción de biselados de un centímetro para cada esquina (FDB, s. f.).

Vigas de esquina recta: Estas vigas tienen una geometría formada por ángulos rectos. Las dimensiones de la base (b) y la altura (h) son variables según las características del edificio y la capacidad de carga del terreno (Gráfico 42) (FDB, s. f.).

Vigas de consola: La FDB propone cuatro geometrías diferentes para estos elementos. En forma de "T", en "L", en cruz y en "T" girada a 90°. La geometría se define por la ubicación de los soportes en el elemento estructural. Para cada uno de los elementos, las dimensiones de la base (b), la altura (h) y la proporción de los soportes pueden tener secciones variables (Gráfico 42) (FDB, s. f.).

Vigas trapezoidales: Estas vigas presentan una diferencia entre la base inferior y la base superior. La diferencia entre la base inferior (b) y la base superior (bo) varía entre el 12% para elementos menores y el 15% para elementos mayores (Gráfico 43) (FDB, s. f.).

Vigas "I": Están formadas por elementos verticales que tienen dos pestañas horizontales en la parte superior e inferior. Sus componentes son: una base (b), (bu) o (bo) y una altura (h) con dimensiones variables (Gráfico 43) (FDB, s. f.).

Vigas "C": Están formadas por un elemento vertical y dos pestañas horizontales que sostienen el eje y ocupan sólo uno de sus lados. Sus componentes son: una base (b) y una altura (h) con dimensiones variables (Gráfico 43) (FDB, s. f.).

Vigas "T": En este elemento, la pestaña está ubicada sólo en uno de los dos lados de la viga vertical. Sus componentes son: una base (b) y (bo), y una altura (h) con dimensiones variables (Gráfico 44) (FDB, s. f.).

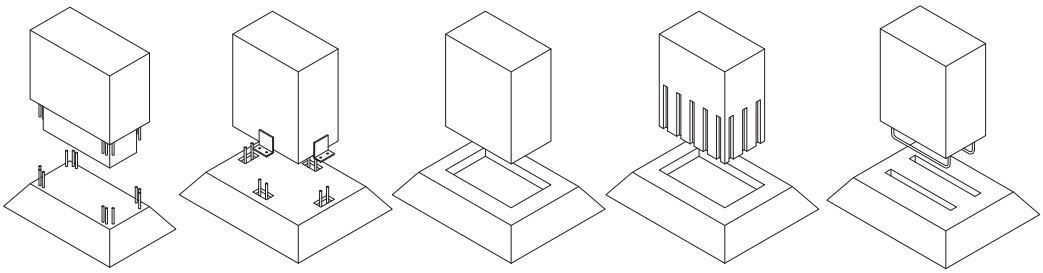


Gráfico 40
Uniones en las fundaciones de concreto prefabricado para estructuras esqueletales. Gráficos tomados de Böttger, Dietrich. Montagebau. Berlín: VEB *Verlag für Bauwesen*, 1974, p. 125.

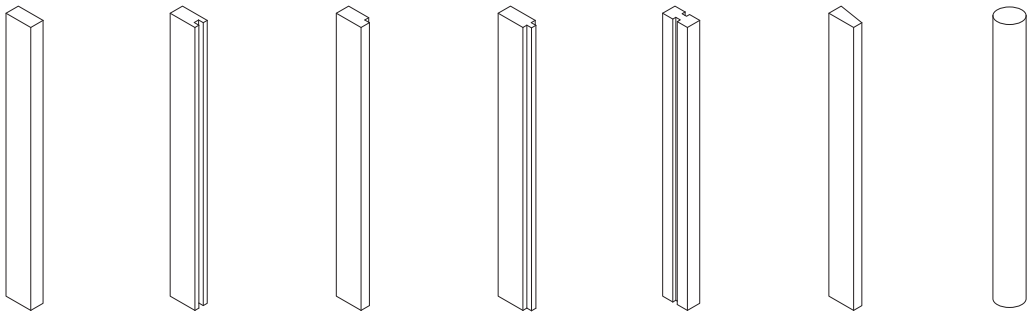


Gráfico 41
Columnas de concreto prefabricadas de sección rectangular y circular. FDB Alemania, 2013.

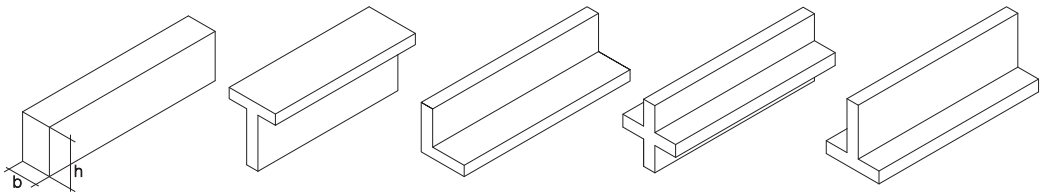


Gráfico 42
Vigas de concreto prefabricadas con sección rectangular y consolas. FDB Alemania, 2013.

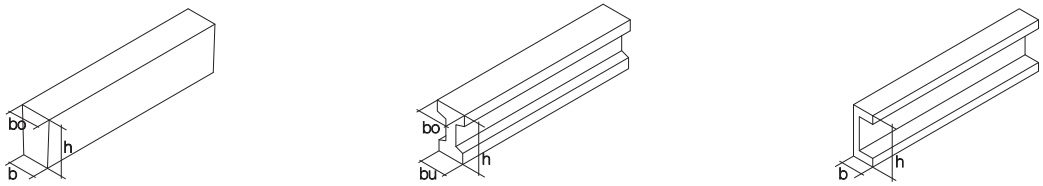


Gráfico 43
Vigas de concreto prefabricadas con sección rectangular y consolas. FDB Alemania, 2013.

Vigas huecas: Estas vigas concentran el concreto en el perímetro, dejando el interior vacío. Generalmente se producen pretensadas y se instalan mediante procesos de post-tensado. La tensión del núcleo en las vigas huecas es el resultado de las fuerzas en el centro de gravedad. Esta solución reduce el peso de las vigas y al pretensarlo, reduce las secciones de concreto que se requieren convencionalmente (Gráfico 44).

Vigas cajón: Este tipo de viga tiene una sección abierta y tres lados, formando una "U". Se pueden usar como vigas estructurales para apoyar el piso o losas del techo, donde también sirven como canales de recolección de agua de lluvia (Gráfico 44).

4.6.1.1.4. Consolas

La unión de vigas y columnas generalmente se ha resuelto mediante un cambio de sección en las columnas, con un elemento que forma parte de ellas. Estos soportes se diseñan estructuralmente para atender los esfuerzos de cortante producidos por el peso de las vigas (Gráfico 45) (Mañà et al., 2001, p. 24).

4.6.1.1.5. Losas

Las placas se apoyan sobre terrenos mejorados, vigas o columnas. De acuerdo con su geometría, el FDB las clasifica como: simples, alveolares, sólidas y en doble "T" (FDB, s. f.).

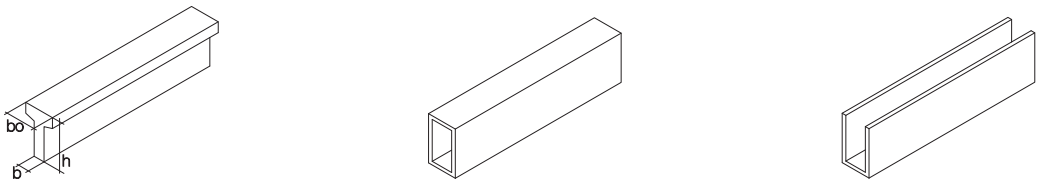


Gráfico 44
Vigas prefabricadas de concreto en "T", vigas huecas y vigas cajón.

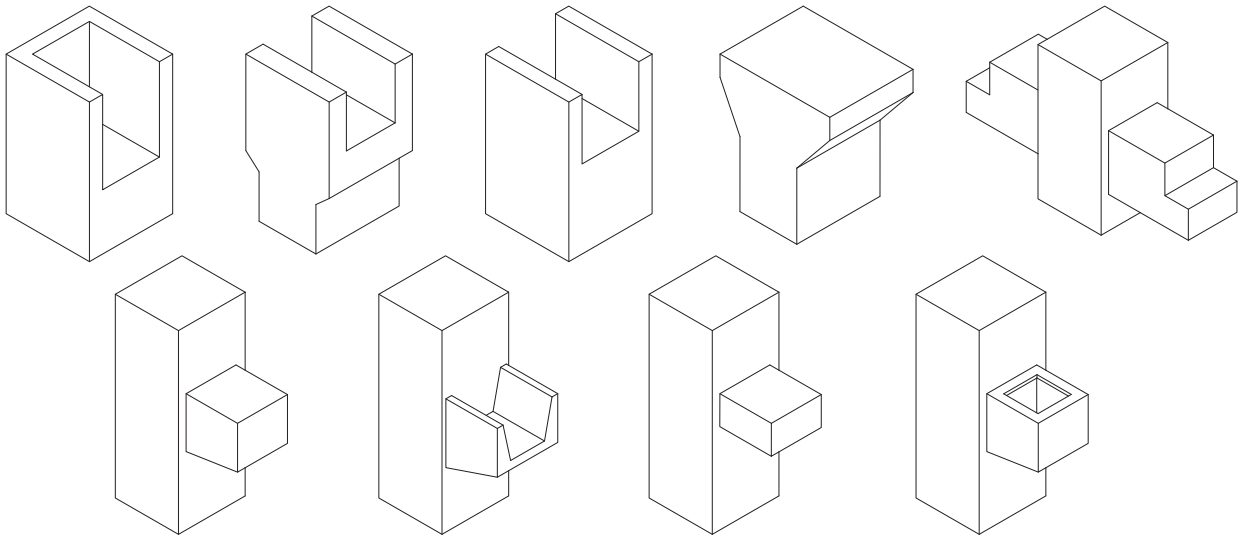


Gráfico 45
Tipos de consolas prefabricadas en concreto. FDB, Alemania, 2013.

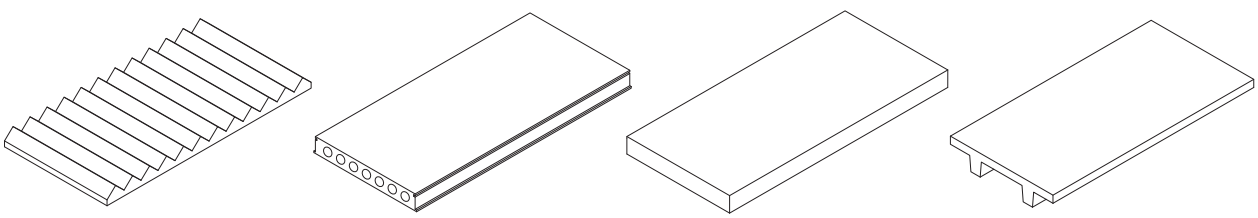


Gráfico 46
Tipos de losas prefabricadas en concreto. FDB, Alemania, 2013.

Simples: De acuerdo con el FDB, estas placas tienen una altura mínima de 5cm y un ancho que varía de 120cm a 300cm. Estos elementos pueden producirse en concreto pretensado en longitudes que pueden superar los 250m y que luego se cortan de acuerdo con la medida requerida. Después de su instalación, se complementan con una capa de concreto vaciado de entre 5cm y 10cm para nivelar la superficie, instalar materiales de acabado o permitir el paso de instalaciones técnicas entre la superficie de la losa y el piso acabado (Gráfico 46) (FDB, s. f.).

Alveolares: Estas placas generalmente se aligeran con perforaciones circulares o poligonales que se separan en promedio 2,5cm de la superficie. La distancia entre los alvéolos también tiene un promedio de 2,5cm. Según el FDB, su altura (h) tiene un rango entre 16cm y 32cm, y un ancho (b) entre 120cm y 300cm (Gráfico 46) (FDB, s. f.). Las losas alveolares son generalmente pretensadas y tienen una altura menor que las placas convencionales, debido a que su resistencia aumenta en el proceso de producción (FDB, s. f.).

Sólidas: De acuerdo con el FDB, las placas sólidas tienen un rango de altura entre 10cm y 32cm. Su ancho tiene dimensiones entre 120cm y 300cm y se pueden producir en concreto pretensado (Gráfico 46) (FDB, s. f.).

En doble "T": Estas losas tienen la geometría de piezas horizontales sólidas con elementos verticales para aumentar la inercia y reducir el espesor en contraste con otros tipos de placas. El ancho de la placa superior (b) tiene un rango dimensional entre 150cm y 300cm. Las alturas (h), (ho), (hu) de estos elementos oscilan entre 6cm y 25cm. Los dos elementos verticales que terminan de conformar el sistema deben estar separados 100cm entre sus dos superficies internas y tener alturas entre 60cm y 80cm, con anchos (bo), (bu), entre 19cm y 27cm (Gráfico 46) (FDB, s. f.).

4.6.1.2. Juntas

Una característica del concreto prefabricado es su discontinuidad inicial, situación dada por la cantidad de elementos que conforman un proyecto. Konrad Wachsmann sugirió que el principio de construcción con elementos prefabricados es su conexión. Además de evidenciar la naturaleza del sistema y cumplir con las funciones técnicas, las juntas o dilataciones pueden complementar el lenguaje de los proyectos. Las conexiones y juntas muestran el material y el método, el principio de construcción, la estandarización y el orden de construcción (Wachsmann, 1959, p. 44). El diseño de las juntas se realiza para garantizar la continuidad estructural del edificio y la estabilidad de los elementos no estructurales. Además de las conexiones, es necesario considerar los diseños del refuerzo para el izaje de las piezas en el proceso de instalación (Wachsmann, 1959, p. 40).

De acuerdo con la NSR-10 y los textos Conexiones para Elementos Prefabricados de Concreto (*Knotenverbindungen für Betonfertigteile*) (Tillmann, 2011, pp. 9-53) y Alternativas a la Construcción Convencional de Viviendas (Mañà et al., 2001, p. 17), se pueden clasificar las uniones entre los elementos prefabricados en cinco tipos: soporte simple, concreto vaciado, elementos metálicos internos, elementos metálicos externos y sistemas postensados.

Soporte simple: Este tipo de junta se ha resuelto mediante fuerzas de fricción entre los elementos transmitidas por su propio peso. La junta de soporte simple conforma una estructura multi-articulada que confía su estabilidad al ensamble por geometría y al roce o fricción entre las piezas (Gráfico 47).

Concreto vaciado: En las estructuras esqueletales, las juntas pueden resolverse vaciando concreto en las cavidades donde se exponen los refuerzos metálicos de columnas, vigas y losas. Este tipo de articulación aumenta la resistencia a la flexión. Se utilizan con frecuencia debido a su rigidez (Gráfico 48).

Elementos metálicos internos: En este tipo de conexión, las piezas metálicas embedidas en el concreto forman la junta entre los elementos prefabricados. Estos conectores son generalmente varillas metálicas, tornillos o pernos que pueden generar juntas más limpias y rígidas. También es posible especificar juntas soldadas entre las placas de metal embedidas en las columnas, vigas o losas, que generan resistencias adecuadas a los momentos de flexión sin necesidad de hormigonado (Gráfico 49).

Elementos metálicos externos: Estas juntas se realizan a través de conexiones metálicas exteriores, que se instalan durante el proceso de montaje. Los conectores pueden ser placas o pasadores de metal, como varillas, pernos o tornillos. Las perforaciones para estos conectores metálicos generalmente se construyen en la planta industrial donde se producen los elementos prefabricados (Gráfico 50).

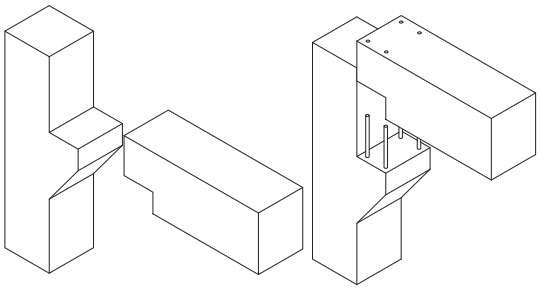


Gráfico 47
Juntas por fricción entre sus componentes.

Gráfico 48
Conexiones a través de la continuidad entre los refuerzos y un vaciado final de concreto para aumentar su rigidez.

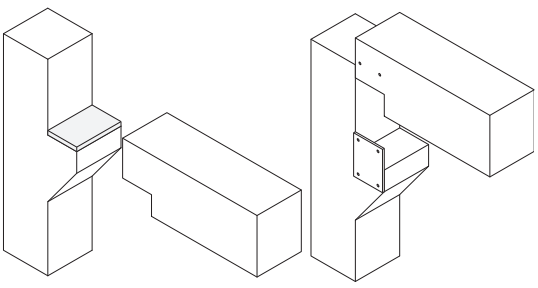


Gráfico 49
Juntas entre elementos metálicos embedidos en el concreto, que se unen a través de pasadores metálicos o mediante soldadura.

Gráfico 50
Elementos metálicos instalados durante el proceso de montaje que endurecen la unión entre elementos prefabricados.

Uniones postensadas: Este sistema utiliza cables o tendones metálicos dentro de los elementos estructurales (Gráfico 51). Generalmente se utilizan para unir vigas con columnas, losas o secciones de vigas. La naturaleza de estas juntas permite tener vigas o losas conformadas por un número específico de elementos, lo cual facilita el proceso de transporte y montaje, pues para su instalación se requieren equipos mecánicos con menores especificaciones. En el proceso de postensado, estos elementos se unen y pueden lograr mayores distancias entre los soportes con respecto a los elementos prefabricados convencionales debido a que tienen un refuerzo interior continuo. Para la fijación de los elementos estructurales, se utilizan anclajes en sus extremos, donde el equipo mecánico sujeta los cables o tendones tensados hasta que se logra la resistencia necesaria.

El equipo de tensión se especifica de acuerdo con las características de los elementos prefabricados, sus pesos, distancias entre soportes y geometrías. Estos mecanismos garantizan la continuidad del comportamiento de los refuerzos y permiten unir un conjunto de elementos prefabricados con dimensiones menores, lo cual permite considerar otros equipos en el proceso de transporte e instalación.

4.6.2. Muros

Debido a sus condiciones físicas (masa, peso y resistencia a las fuerzas de compresión), el concreto prefabricado responde adecuadamente a la idea de construir con muros estructurales. La estabilidad del sistema se puede obtener a través del cambio en la dirección de las muros, lo que ayuda a resolver el problema de las juntas. El sistema de construcción con muros estructurales se ha caracterizado por tener algunas limitaciones en los diseños del espacio interior y en la distancia que debe existir entre sus soportes. En general, se han propuesto soluciones en las que los muros interiores y las fachadas son estructurales, lo que reduce la flexibilidad de los espacios interiores y el lenguaje de los edificios.

4.6.2.1. Elementos

4.6.2.1.1. Fundaciones

Para los muros estructurales, las fundaciones son generalmente un conjunto de vigas que forman un diafragma. Las losas continuas también se consideran como fundaciones de este sistema. Los cimientos para el sistema de muros estructurales se construyen generalmente en concreto vaciado. En algunos casos, de acuerdo con las características del terreno o las especificaciones estructurales, se construyen en concreto prefabricado (Gráfico 52).

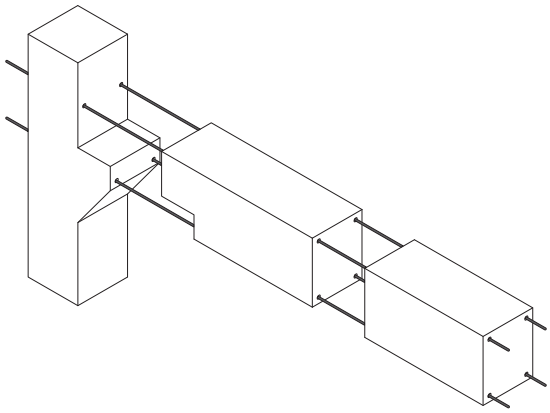


Gráfico 51
Juntas postensadas que se rigidizan después de la instalación de elementos prefabricados.

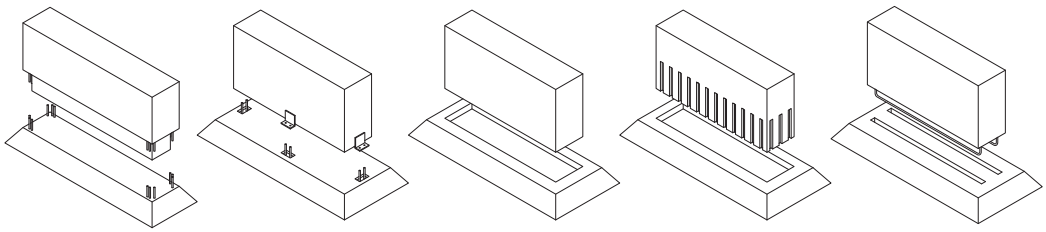


Gráfico 52
Tipos de uniones en las fundaciones de concreto prefabricado: juntas por geometrías o superpuestas entre sus refuerzos metálicos más un vaciado de concreto posterior. Gráficos tomados de Böttger, Dietrich. Montagebau. Berlín: VEB *Verlag für Bauwesen*, 1974, p. 125.

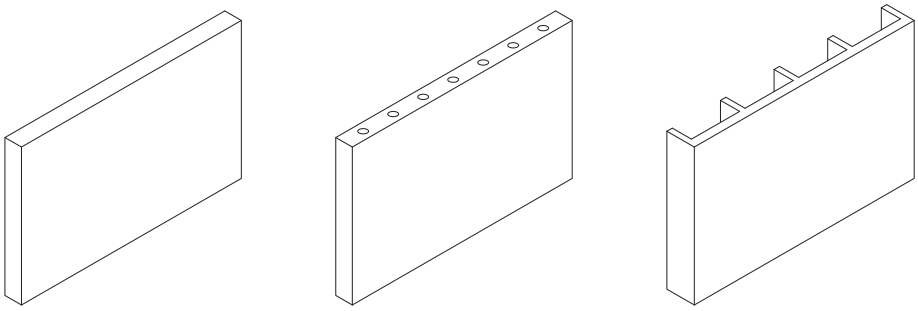


Gráfico 53
Muros en concreto prefabricado. FDB, Alemania, 2013.

4.6.2.1.2. Muros

Los muros estructurales reciben las cargas del techo, losas y vigas. Pueden tener variaciones debido a la instalación de aislamientos térmicos y acústicos, y pueden producirse con diferentes geometrías y dimensiones, de acuerdo con los requisitos arquitectónicos y estructurales de cada proyecto. Pueden ser sólidos, alveolares o laminados (Gráfico 53) (Böttger, 1974, p. 124).

4.6.2.1.3. Vigas y viguetas

Las vigas y viguetas en los sistemas de muros estructurales se clasifican según su geometría: vigas de esquina recta, vigas de consola, vigas trapezoidales, vigas con forma de "I", "C" o "T", vigas huecas y vigas cajón. Se instalan sobre los muros a través de diferentes mecanismos o sobre consolas que pueden utilizarse como soportes para vigas y losas (Gráfico 54).

4.6.2.1.4. Consolas

Este elemento se utiliza para unir vigas o losas con muros estructurales. En general, las consolas forman una parte integral de las muros y deben resistir al esfuerzo de cortante. Al igual que en las estructuras esqueletales, la unión de estos elementos se puede resolver con fricción entre las piezas; con el reforzamiento de juntas en concreto vaciado; a través de juntas mecánicas como tornillos, pernos y soldadura; o por medio de juntas postensadas (Gráfico 55) (Mañà et al., 2001, p. 24).

4.6.2.1.5. Losas

En los sistemas de muros de carga, las losas se unen a las paredes a través de soportes o vigas. También se pueden utilizar como losas de fundación apoyadas en el suelo, placas de entrepiso o en los techos (Gráfico 56). Al igual que en los sistemas esqueletales, las losas se clasifican según su geometría como: simples, alveolares, sólidas y en doble "T" (FDB, s. f.).

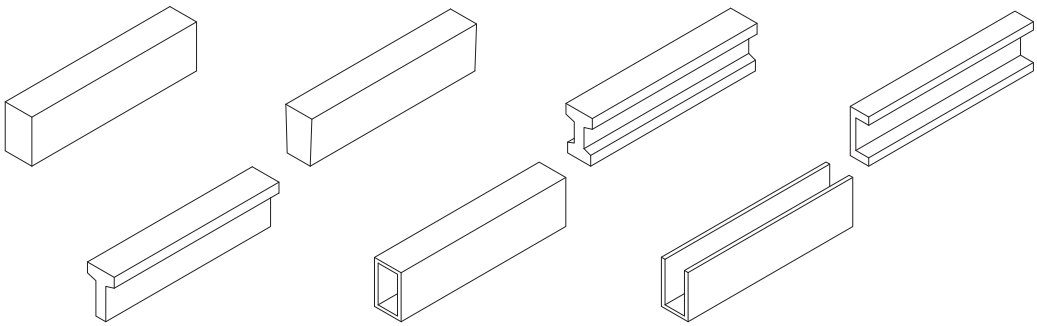


Gráfico 54
Tipos de vigas y viguetas para el sistema de muros estructurales en concreto prefabricado.

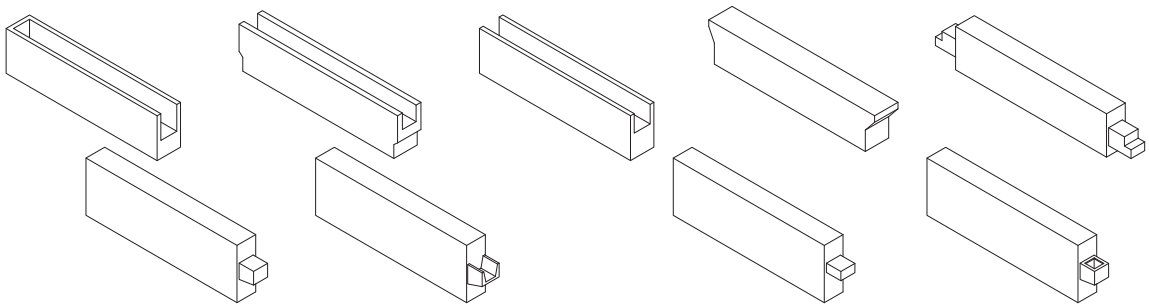


Gráfico 55
Tipos de consolas prefabricadas en concreto. FDB, Alemania, 2013.

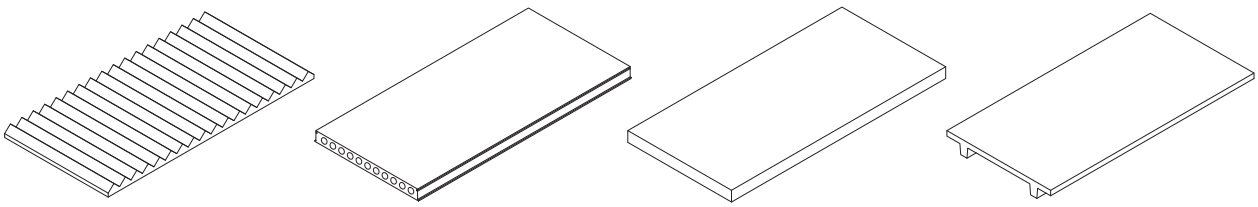


Gráfico 56
Losas de concreto prefabricado. FDB, Alemania, 2013.

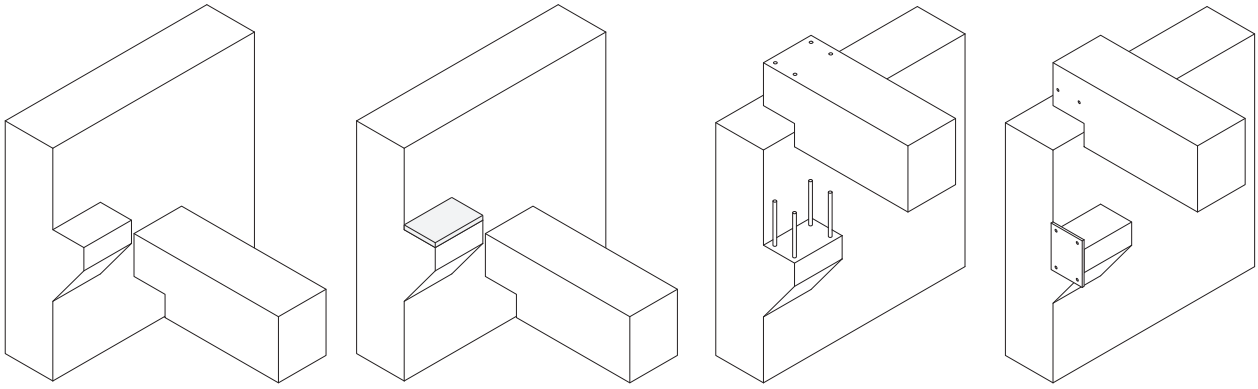


Gráfico 57
Juntas con soporte por fricción entre sus componentes.

Gráfico 58
Conexiones a través de la continuidad entre refuerzos y un vaciado final de concreto para aumentar la rigidez.

Gráfico 59
Uniones entre elementos metálicos embedidos en el concreto, que se unen a través de pasadores metálicos o mediante soldadura.

Gráfico 60
Elementos metálicos externos para unir dos o más elementos prefabricados.

4.6.2.2. Juntas

En estructuras de muros de carga, las conexiones deben cumplir con las disposiciones del Capítulo C.16 de la NSR-10. Las juntas generalmente se hacen entre las losas y los muros, entre vigas y muros y entre vigas y losas. Ocasionalmente, las losas se apoyan sobre las vigas o en las ménsulas. En los sistemas de muros estructurales, las juntas pueden ser:

Soporte simple: Se utilizan para unir muros, vigas y losas en áreas de bajo riesgo sísmico. En juntas de apoyo simple o ensambles geométricos, también se utilizan materiales aislantes blandos como el neopreno (Gráfico 57).

Concreto vaciado: En este tipo de juntas, la unión de muros, vigas y losas se realiza con morteros de alta adherencia. A veces se usan varillas metálicas y en las cavidades donde se instalan los refuerzos metálicos, se vierte concreto de alta resistencia para impedir el movimiento de los refuerzos y garantizar la estabilidad de la estructura (Gráfico 58).

Elementos metálicos internos: Estas juntas están formadas por componentes metálicos que se pueden unir entre sí mediante soldaduras, barras, tornillos o pernos que se instalan en el interior de los elementos estructurales prefabricados para garantizar su estabilidad (Gráfico 59).

Elementos metálicos externos: Estos elementos se instalan en las superficies de dos o más elementos prefabricados para garantizar la estabilidad de su unión, que puede ser a través de soldaduras o un tercer elemento metálico, como pasadores, pernos o tornillos. En su unión con los elementos de concreto prefabricado, estas placas pueden complementarse con el uso de varillas, tornillos o pernos de metal que restringen los movimientos y aseguran la estabilidad de su fijación a los elementos estructurales (Gráfico 60).

Juntas postensadas: Este sistema se utiliza para unir horizontalmente los muros de carga a losas o vigas. Los anclajes ubicados en la parte exterior de los elementos prefabricados son los encargados de soportar los cables metálicos que se tensan mediante el uso de equipos mecánicos. El postensado no se realiza verticalmente debido a que están sometidos a fuerzas de compresión (Gráfico 61).

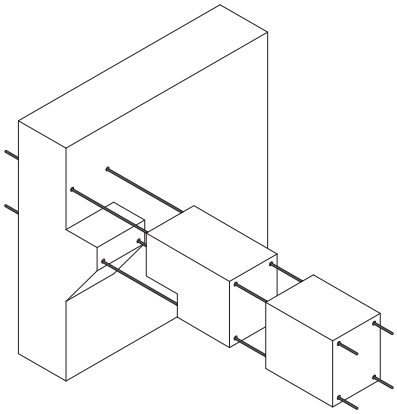
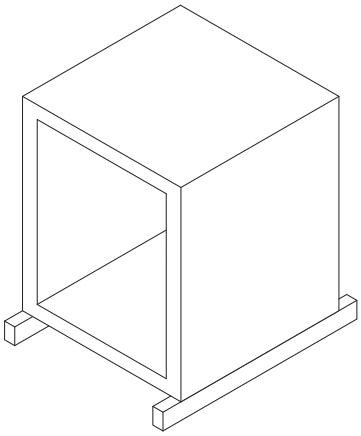


Gráfico 61
Juntas postensadas que se rigidizan después de la instalación de los elementos prefabricados.

4.6.3. Células espaciales

Este sistema está compuesto por módulos prefabricados de losas y muros integrados que forman un espacio habitable delimitado por estos elementos estructurales. Pueden producirse en serie con un alto grado de industrialización y con todas las instalaciones técnicas integradas en el espacio habitable. Se pueden construir en concreto convencional o con concretos livianos. En este sistema, todas los muros y losas tienen una función estructural. Su producción debe realizarse en moldes diseñados para contener los empujes laterales del concreto, pues el vaciado se hace verticalmente con los refuerzos dispuestos previamente (Staib et al., 2008b, pp. 160-163). A través del proceso de producción, es posible controlar la calidad de la superficie de los muros y pisos en ambos lados. Para construcciones con dos o más pisos de altura, el comportamiento estructural de este sistema implica la continuidad de los muros en toda la altura del edificio. En su transporte e instalación, es necesario que las medidas y los pesos de cada elemento estén dentro de los límites permitidos (Staib et al., 2008b, pp. 160-163). De acuerdo con los estándares que regulan la instalación de estos elementos, en el proceso de montaje es necesario contar con equipos de elevación especializados y con capacidades de carga que excedan hasta cinco veces el peso de las células espaciales prefabricadas.



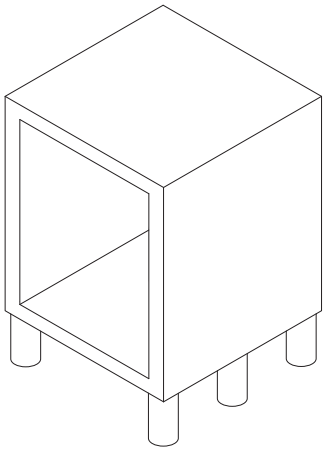


Gráfico 62
Fundaciones para celdas espaciales prefabricadas.

4.6.3.1. Elementos

4.6.3.1.1. Fundaciones

Los cimientos de las células espaciales prefabricadas son generalmente vigas continuas, pilotes de concreto prefabricado o losas de fundación. Estas vigas, pilotes o losas se apoyan sobre un terreno que debe mejorar su proctor de confinamiento de acuerdo con los estudios geotécnicos realizados antes de la construcción del proyecto (Gráfico 62).

4.6.3.1.2. Células

Estos elementos monolíticos, conformados por muros y losas, tienen refuerzos estructurales configurados como una malla de varillas metálicas, que tienen espesores y pesos definidos en los diseños estructurales. La unión de muros y losas delimita los espacios habitables. Se producen, transportan e instalan como una sola unidad (Gráfico 63). Las células espaciales presentan altas condiciones de estabilidad estructural debido a su configuración geométrica y a los procesos técnicos utilizados en su fabricación.

4.6.3.2. Juntas

El diseño de conexiones para células espaciales utiliza mecanismos similares a los de las juntas para estructuras esqueletales y muros de carga, y está regulado en el Capítulo C.16 de la NSR-10. También se clasifican como soporte simple, concreto vaciado, elementos metálicos internos, elementos metálicos externos y juntas postensadas.

Soporte simple: Estas uniones se especifican para células espaciales que forman edificios de una o dos plantas de altura. Las células pueden apoyarse entre sí sin necesidad de otro elemento que las articule, utilizando la estabilidad y la fricción generadas por su propio peso. En este tipo de soporte es importante tener en cuenta la capacidad de carga del terreno y las características de la zona sísmica. Se pueden utilizar juntas o ensambles geométricos, materiales aislantes como neopreno, poliestireno de alta densidad o aislamientos en materiales flexibles como sellos impermeables (Gráfico 64).

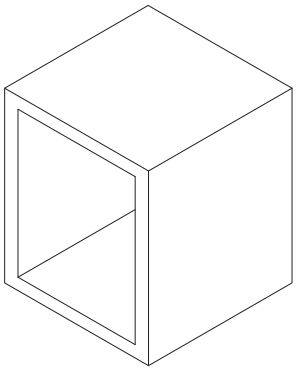


Gráfico 63
Los muros y losas se comportan de forma monolítica.

Concreto vaciado: Para reforzar la unión entre las células en las cavidades donde se instalan los refuerzos metálicos, se vierte el concreto de alta resistencia para rigidizar el movimiento de las estructuras. El número de varillas por celda se determina de acuerdo con el diseño estructural, en relación con la altura del edificio, su geometría, la zona sísmica y la capacidad de carga del terreno (Gráfico 65).

Elementos metálicos internos: En este tipo de unión, los conectores metálicos interiores pueden unir dos o más células espaciales. Estos conectores son generalmente placas metálicas unidas por soldadura, varillas metálicas, tornillos o pernos (Gráfico 66). Las uniones metálicas internas se pueden instalar en el proceso de producción o durante el montaje. Para esto, las cavidades especificadas para la instalación de conectores estructurales deben definirse desde el proceso de fabricación.

Elementos metálicos externos: Las células espaciales también se pueden unir a través de elementos metálicos que pueden fijarse al concreto desde el proceso de fabricación. Estas placas exteriores restringen los movimientos de los elementos prefabricados y generan juntas visibles. Otros conectores pueden ser varillas, pernos o tornillos, que se instalan generalmente en el sitio de producción (Gráfico 67).

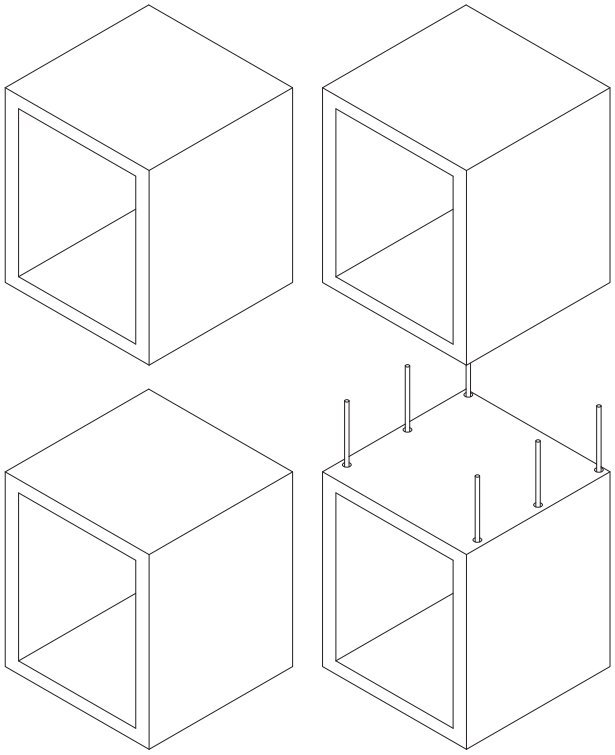


Gráfico 64
Juntas con soporte por fricción.

Gráfico 65
Conexiones entre los refuerzos y vaciado de concreto.

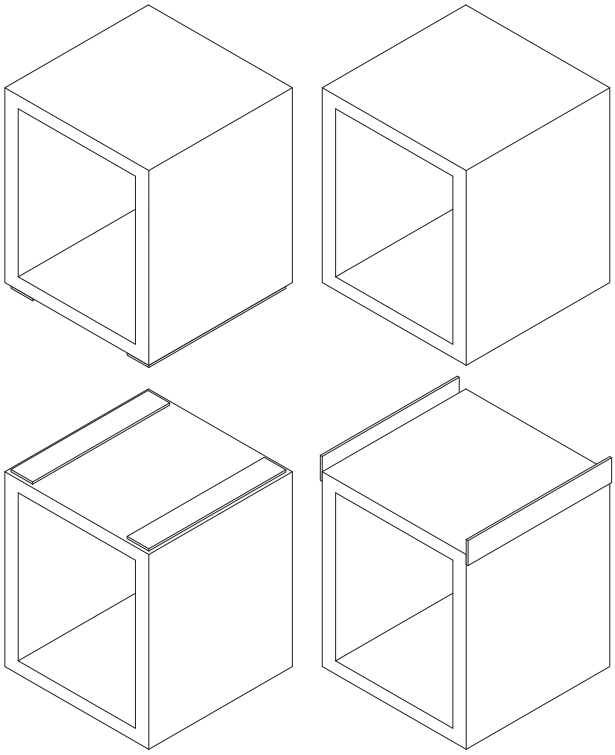


Gráfico 66
Juntas entre elementos metálicos embedidos en el concreto, que se unen a través de pasadores metálicos o mediante soldadura.

Gráfico 67
Elementos metálicos exteriores instalados durante el proceso de montaje.

Uniones postensadas: Este sistema se utiliza para unir las losas o muros de dos o más células. Se usan principalmente como refuerzos horizontales pues los esfuerzos de compresión en los muros generalmente se atienden con la masa de concreto que las conforma y con refuerzos metálicos convencionales. Los sistemas postensados aseguran la continuidad del refuerzo interior en elementos, generando diferentes posibilidades estéticas y técnicas en los sistemas de prefabricación (Gráfico 68). Las juntas postensadas mantienen la continuidad de los refuerzos en todas las piezas y pueden reducir los volúmenes y pesos al permitir la instalación de elementos de menor tamaño.

4.7. Regulaciones NSR-10 para las juntas de elementos prefabricados

Las uniones definen la continuidad de las piezas que conforman los sistemas estructurales de prefabricación (esqueletales, muros de carga, células espaciales o la combinación de ellos). La unión entre estos elementos se realiza a través de diferentes mecanismos de soporte, ensamble o fijación. El Capítulo C.16 de la NSR-10 (que regula la construcción con concreto prefabricado), propone las especificaciones técnicas que deben seguirse en el diseño de las juntas entre estos elementos.

El numeral C.16.3 considera la distribución de tensiones entre los elementos, un aspecto en el que las conexiones desarrollan un trabajo esencial para asegurar la continuidad estructural. En la sección C.16.3.2.1, la trayectoria de

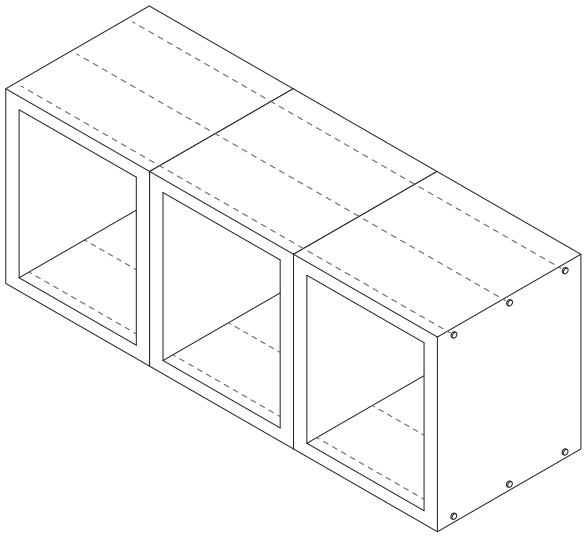


Gráfico 68
Uniones postensadas entre células espaciales prefabricadas.

los esfuerzos debe ser continua en los elementos y en las conexiones ubicadas entre ellos. Cuando se producen esfuerzos de tensión, se debe proporcionar una trayectoria continua del acero reforzado mediante el uso de empalmes de traslapo, empalmes soldados o mecánicos o conexiones mecánicas. Las conexiones metálicas pueden absorber las tensiones y el concreto absorbe la cizalladura y la compresión. Una trayectoria continua de acero a través de una conexión

puede incluir pernos, placas soldadas, conectores de cortante o algunos otros elementos especificados en el diseño estructural. Los esfuerzos de tensión en las conexiones deben transmitirse al refuerzo principal de los elementos. Los detalles de la conexión deben tener en cuenta las tensiones y deformaciones debidas a la retracción y los efectos térmicos (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, pp. C-300-C-301).

La sección C.16.5.1.2. explica que cuando los elementos prefabricados de piso o techo forman diafragmas, las conexiones entre el diafragma y los elementos soportados lateralmente deben tener una resistencia nominal a la tracción de no menos de 4.4 kN por metro lineal. En diseños estructurales, los diafragmas generalmente se consideran parte del sistema de resistencia a la carga lateral. La tensión en el amarre es equivalente al valor de la carga de servicio de 3 kN/m (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, p. C-302).

El Reglamento NSR-10 explica cada una de las conexiones que pueden usarse para elementos prefabricados. Se describen en las Secciones C.16.6.1.1. y C.16.6.1.2.

El numeral C.16.6.1.1 considera que la efectividad de las conexiones para transmitir tensiones entre los elementos debe determinarse mediante análisis y pruebas. Cuando la cizalladura es la carga primaria de la estructura, se pueden usar las disposiciones explicadas en el punto C.11.6. Estas especificaciones deben aplicarse cuando sea apropiado considerar la transmisión de la cizalladura a través de un plano o elemento estructural, una superficie de contacto entre los diferentes materiales o una superficie de contacto entre dos elementos de concreto instalados en diferentes momentos (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, p. C-302).

El punto C.16.6.1.2 indica que una conexión diseñada con materiales con diferentes propiedades estructurales, su rigidez relativa, resistencias y capacidades dúctiles, deben considerarse en el diseño estructural. Los diferentes componentes de una conexión (pernos, piezas soldadas, placas o insertos) tienen diferentes propiedades que pueden afectar el comportamiento general (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, p. C-302).

La sección C.16.6.2 explica los soportes de elementos prefabricados del techo o piso en soportes simples, que deben responder a lo que se indica en los puntos C.16.6.2.1 y C.16.6.2.2.

El punto C.16.6.2.1 regula la tensión de aplastamiento admisible en la superficie de contacto entre el elemento de soporte y el elemento soportado, y la mitad de cualquier elemento de soporte intermedio no puede exceder la resistencia al aplastamiento de ninguna de las superficies o el elemento de soporte (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, p. C-302).

El punto C.16.6.2.2 propone que, a menos que se muestre mediante análisis o pruebas, el comportamiento de los elementos y sus conexiones no se vea afectado, se deben cumplir los dos requisitos siguientes del Reglamento NSR-10:

- Después de considerar las tolerancias, cada elemento y su sistema de soporte deben tener dimensiones de diseño para que la distancia desde el borde del soporte hasta el extremo del elemento prefabricado en la dirección de la luz sea al menos $l_n/180$. El término l_n expresado en el Reglamento NSR-10 significa luz libre medida en milímetros entre las caras de los soportes. Estas distancias no pueden ser inferiores a 50mm para losas macizas o alveolares (núcleo hueco), ni inferiores a 75mm para vigas o elementos en forma de T.
- Los soportes ubicados en los bordes no reforzados de los elementos prefabricados deben moverse hacia el interior del elemento a un mínimo de 13mm desde la cara de soporte, o al menos la dimensión del bisel en los bordes que tienen estas características. Este punto diferencia la longitud del soporte y la longitud del extremo del elemento prefabricado ubicado en el soporte. Las almohadillas de soporte distribuyen las cargas y las reacciones se concentran en el área de contacto y permiten movimientos horizontales y de rotación limitados para disminuir la magnitud de las tensiones en los elementos estructurales (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, p. C-302). Para evitar la descamación de los elementos de concreto bajo áreas de contacto muy cargadas, las almohadillas de soporte no deben extenderse hasta el borde del soporte si no se ha reforzado. Los bordes pueden ser reforzados con placas o ángulos de acero. Las tolerancias deben considerarse para evitar el soporte en concreto simple, donde no hay continuidad del refuerzo (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, p. C-17).

La sección C.16.7.1 indica que después de la aprobación del diseñador estructural, es posible que elementos como los espigos o inserciones que sobresalgan del concreto, o que están expuestos, se introduzcan en el elemento prefabricado mientras el concreto está en un estado plástico, de acuerdo con el cumplimiento de las siguientes disposiciones:

- Cuando no se requiere que los elementos embebidos estén enganchados o amarrados al refuerzo dentro del concreto (numeral C.16.7.1.1).
- Cuando los elementos embedidos se mantienen en la posición correcta mientras que el concreto es plástico.
- Cuando el concreto se compacta adecuadamente alrededor de los elementos embedidos (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, p. C-305).

Antes del proceso de montaje, la Sección C.16.8 del Reglamento NSR-10 especifica la necesidad de colocar marcas de identificación en los elementos prefabricados para indicar su ubicación, orientación en la estructura y fecha de fabricación. Las marcas de identificación deben corresponder a los planos de montaje. Los códigos de identificación corresponden a cada empresa de prefabricación y pueden variar de un proyecto a otro (Comisión Sismorresistente y Minambiente, 2010, p. C-305).

En la Tabla 16, se indican las especificaciones técnicas que deben cumplirse para las uniones entre elementos de concreto prefabricado.

Reglamento	Contenido
C.16.3.	Distribución de las tensiones entre los elementos.
C.16.5.1.2.	Conexiones entre el diafragma y los elementos soportados lateralmente.
C.16.6.1.1.	Conexiones para transmitir tensiones entre los elementos.
C.16.6.1.2.	Soportes de los elementos prefabricados del techo o suelo.
C.16.6.2.1.	Tensión admisible en la superficie de contacto entre el soporte y el elemento de suporte.
C.16.6.2.2.	Comportamiento de los elementos y sus conexiones.
C.16.7.1	Espigos o insertos en el elemento prefabricado mientras el concreto está en estado plástico

Tabla 16
Especificaciones técnicas para uniones entre elementos prefabricados de concreto, según NSR-10.

4.8. Nuevos desarrollos: Perspectiva

La investigación académica y la industria del concreto prefabricado han producido nuevas ideas para mejorar su calidad técnica, diversificar sus geometrías, aumentar los acabados superficiales y desarrollar nuevos elementos estructurales y no estructurales. Los desarrollos complementarios han mejorado la resistencia del material, exploraron la posibilidad de usar otros agregados y generaron nuevas formas mediante el uso de encofrados flexibles. Estos desarrollos se encuentran en la incorporación de otros materiales a la mezcla, para aumentar su resistencia y reducir los volúmenes de concreto en los refuerzos de elementos estructurales y en el desarrollo de nuevos encofrados.

4.8.1. BioConcreto

Esta investigación, desarrollada por la Universidad Tecnológica de Delft en Holanda, entre 2006 y 2015, combina los microorganismos de la naturaleza y los materiales de construcción. Este tipo de concreto tiene la propiedad de la auto-reparación debido a la adición de bacterias que producen esporas que pueden sobrevivir hasta cinco décadas sin alimentos ni oxígeno y que pueden reparar progresivamente algunas grietas y agujeros (Figura 41). Como el valor de pH del concreto es muy alto, sólo las llamadas bacterias alcalifílicas pueden sobrevivir. Esto evita el paso del agua y, por lo tanto, evita la corrosión del acero de refuerzo. Para realizar la reparación, las bacterias del bacilo se almacenan dentro del concreto en cápsulas hechas de plástico biodegradable, que se abren al contacto con el agua una vez la mezcla se ha solidificado. Las bacterias almacenan el lactato de calcio y luego producen caliza, un material que repara el concreto. El uso de este concreto puede, en teoría, llevar a ahorros sustanciales, especialmente en concreto reforzado con acero. También significará que los problemas de durabilidad se pueden abordar de una manera nueva y más económica. Este concreto es ideal para construir retenedores subterráneos para desechos peligrosos, ya que ningún humano tendría que acercarse a él para reparar las grietas que se producen. Para los edificios residenciales, sin embargo, parece que la reparación tradicional de grietas seguirá siendo la solución económicamente más atractiva por el momento. El equipo de investigadores ha probado las diferentes capacidades de las bacterias para responder a ataques de sulfato u oscilaciones térmicas, y con este material esperan comenzar una nueva era de edificios biológicos. Este proyecto orma parte del programa de Investigación de Materiales Autocurativos en el Centro de Materiales de Delft

Figura 41
BioConcreto (concreto autocurativo. Investigación desarrollada por el Programa de Investigación de Materiales Autocurativos de la UT de Delft en el Centro de Materiales de Delft (DCMat).

(DCMat[10]) de la Universidad Tecnológica (UT) de Delft (UT Delft, s. f.).

4.8.2. Concreto reforzado con fibras naturales

Una investigación llevada a cabo por la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) en Medellín, Colombia, desde 2008, ha propuesto el desarrollo de elementos prefabricados de concreto reforzado con fibras de plátano y banano obtenidas de procesos de reciclaje en cultivos que alcanzan una extensión de más de 360.000 hectáreas (Figura 42). Estos elementos se evaluaron mecánicamente utilizando una máquina de prueba universal marca Instron 5582 y siguiendo las pautas de la Norma Técnica ASTMD 1037-99 con piezas de prueba de 150mm x 150mm x 4mm. La relación L/d utilizada en las piezas de ensayo fue 16. La resistencia mecánica corresponde a una mezcla reforzada con un 25% de fibra tratada, que permitió la elaboración de elementos no estructurales con rendimientos mecánicos capaces de soportar procesos de anclaje o uniones mecánicas, aprobados por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10. Las fibras utilizadas como elementos de refuerzo se obtuvieron mediante una extracción mecánica de las venas centrales de las hojas y el raquis (o seudo tallo) de las plantas de plátano y banano, todas con diferentes porcentajes de fibras lignocelulósicas constituidas por celulosa, hemicelulosa y lignina. Para controlar la humedad de las fibras, se han utilizado tratamientos técnico-mecánicos en refuerzos que se basan en tratamientos de vapor a una temperatura de 200ºC con un tiempo de entre cuatro y ocho minutos. El proceso se realizó

10 Por su sigla en inglés.

con un reactor piloto equipado con un tanque de expansión. Luego se lavaron los manojos fibrosos con agua corriente y se secaron hasta alcanzar una humedad de equilibrio de casi el 7%, para bio-mineralizarlos y generar resistencia a la alcalinidad de la mezcla de concreto. Después de realizar la evaluación térmica, la resistencia a la alcalinidad y la tendencia de absorción de humedad de las muestras de fibra de plátano tratadas con vapor, se observó que la estabilidad del sistema aumenta al reducir la absorción de humedad y la resistencia a la alcalinidad, lo que hace posible utilizar estos materiales de manera más cómoda como base de refuerzo para la producción de elementos prefabricados de concreto. Las pruebas se realizaron utilizando el equipo de análisis termogravimétrico (TGA[11]), marca TA Instruments 1600 DTA bajo una atmósfera inerte de nitrógeno a una velocidad de calentamiento de 10ºC/minuto. De acuerdo con estos resultados, el tratamiento con vapor mejora el rendimiento mecánico de los materiales desarrollados, que se incrementa gracias a la presencia de la mezcla de concreto, lo que mejora la transferencia de carga. De acuerdo con la experiencia adquirida en la etapa de desarrollo, es posible indicar que los elementos no estructurales prefabricados pueden especificarse en concreto reforzado con fibras naturales obtenidas de los residuos fibrosos de la agroindustria del plátano y banano, útil para la producción de paneles no estructurales de fachadas y muros interiores, contribuyendo así a la solución de problemas sociales y medioambientales. Este sistema propone la generación de nuevas fuentes de empleo y desarrollo social y utiliza recursos naturales que se renuevan en períodos de 12 meses (Corona, 2009, pp. 46-49).

4.8.3. Concreto reforzado con nanopartículas

Las nanopartículas comprenden otro grupo de materiales que pueden agregarse a la mezcla de concreto para aumentar sus resistencias y reducir el volumen de material requerido para la construcción de elementos prefabricados. Los nanotubos de carbono se clasifican en:

- Nanotubos de carbono de pared simple (SWCNT[12]), compuestos de átomos de carbono dispuestos en una red hexagonal cilíndrica, de modo que su estructura es la misma que la obtenida si se enrolla una hoja de grafito (Figura 43).
- Nanotubos de carbono de múltiples paredes (MWCNT[13]) que tienen una estructura similar a varios SWCNT concéntricos con diferentes diámetros (Figura 44) (Rivas, Ganzer & Cosme, s. f., p. 13).

En ambos casos, su característica principal es una relación longitud/diámetro muy alta: su diámetro es del orden de nanómetros y su longitud puede variar desde unos pocos micrones a milímetros, o incluso centímetros. Las propiedades mecánicas de cada tipo de concreto, reforzado con nanotubos de carbono, dependen de sus dimensiones (diámetros y longitud) y de los defectos presentes en el nanotubo (como las aperturas o impurezas que pueden ocupar el lugar de un átomo de carbono o algunas deformaciones o inclinaciones). Este tipo de concreto puede generar mayores resistencias mecánicas en la mezcla y, por lo tanto, el volumen que se usará sería menor, lo que generaría mayores rendimientos de los materiales (Rivas et al., s. f., p. 50).

11 Por su sigla en inglés.
12 Por su sigla en inglés.
13 Por su sigla en inglés.

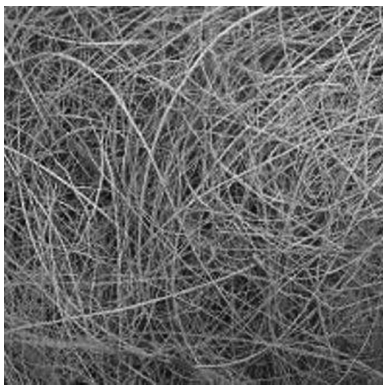


Figura 42
Concreto reforzado con fibras naturales. Investigación desarrollada por la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) en Medellín, Colombia.

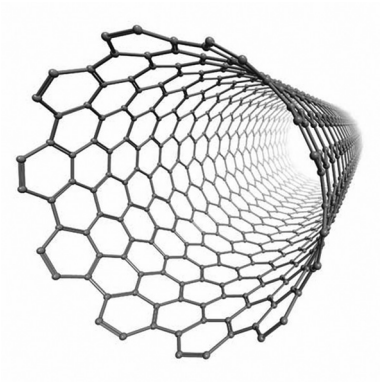


Figura 43
Nanotubos de carbono de pared simple (SWCNT[14]) y nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT[15]). Accedido el 11 de diciembre de 2015; disponible en: http://www.mdpi.com/sensors/sensors-15-01564/article_deploy/html/images/sensors-15-01564f3-1024.png.

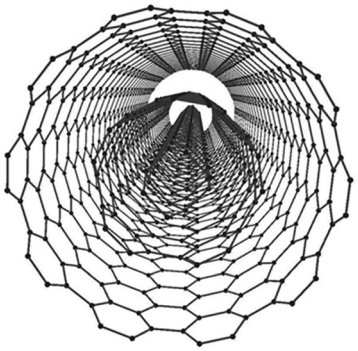


Figura 44
Nanotubos de carbono de pared simple (SWCNT[16]) y nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT[17]). Accedido el 11 de diciembre de 2015; disponible en: http://www.mdpi.com/sensors/sensors-15-01564/article_deploy/html/images/sensors-15-01564f3-1024.png.

14 Por su sigla en inglés.
15 Por su sigla en inglés.
16 Por su sigla en inglés.
17 Por su sigla en inglés.

4.8.4. Concreto transformable (postformable, de corte o gráfico)

Este tipo de concreto se puede doblar, cortar o modificar en su superficie. El concreto curvo es un material micromecánico que tiene mayores esfuerzos de tensión y deflexión y es más liviano que el concreto tradicional (Figura 45). En lugar de usar agregados pétreos, se incorporan a la mezcla fibras recubiertas de polivinilo y arena de sílice con diámetros de hasta 0,2mm. Al reducir la necesidad de refuerzos metálicos tradicionales, se mejora la capacidad de postformar los elementos prefabricados (que pueden tener hasta 1cm de sección en paneles que miden 120cm x 240cm). Algunos tipos de este concreto curvo son:

- Concreto curvo de baja densidad, que incorpora burbujas de aire, vidrio micronizado, esferas de polímero y agregados ligeros que permiten lograr una mayor ductilidad que otros concretos ligeros.
- Concreto autocompactante, que utiliza su propio peso para aumentar su densidad sin usar vibraciones para asegurar la distribución correcta de la mezcla.
- Concreto pulverizado, que se aplica a través de rociadores con aire para hacer reparaciones en elementos producidos previamente (Li, 2012, p. 24).

El concreto de corte puede transformarse mediante procedimientos manuales o mecánicos similares a los utilizados en los procesos de corte de paneles aglomerados o elementos en madera seca dimensionada (Figura 46). Estos elementos desarrollan una alta resistencia a la compresión con bajas densidades, propiedades que mantienen su estabilidad mecánica y permiten el corte de acuerdo con las formas deseadas. Se utilizan principalmente en paneles exteriores de fachadas o en muros interiores no estructurales.

El concreto gráfico combina serigrafías y técnicas de grabado fotográfico en la superficie de concreto vaciado *in situ* o elementos prefabricados de concreto (Figura 47). Este tipo de concreto tiene una patente de invención que pertenece al arquitecto finlandés Samuli Naamanka desde 2002. Sus desarrollos futuros podrían formar una serie de innovaciones destinadas a mejorar algunas condiciones ambientales. Las texturas que se pueden diseñar en las superficies de los elementos de concreto generan micro sombras que reducen la temperatura obtenida por la radiación y disminuyen la conducción calórica hacia los espacios interiores. Se aplica un retardador de fraguado a la superficie del molde que contiene las imágenes grabadas y mantiene el concreto en contacto con estas superficies hasta que se endurezca. Después del proceso de vaciado, una manguera presurizada elimina el concreto del área ocupada por la imagen o por la textura deseada, que está grabada en relieve en la superficie del elemento de concreto vaciado o prefabricado (Petricone, 2012, p. 110).

4.8.5. Encofrados textiles

Los moldes textiles para la construcción de elementos prefabricados de concreto, comprenden una tecnología con la capacidad de transformar el concreto arquitectónico en estructuras de concreto reforzado. Este tipo de molde se adapta a la forma resultante del peso de la mezcla y las

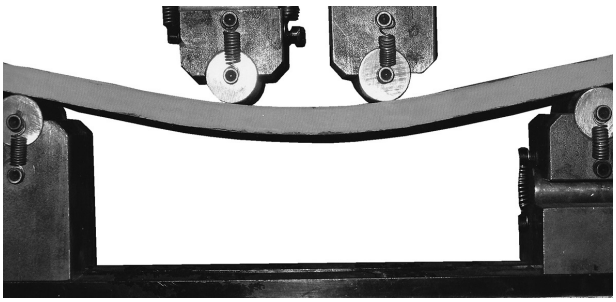


Figura 45
Concreto curvo, un material micromecánico con resistencias a los esfuerzos de tensión y deflexión es más liviano que el concreto tradicional.

Figura 46
Concreto de corte, material que puede transformarse mediante procedimientos manuales o mecánicos.

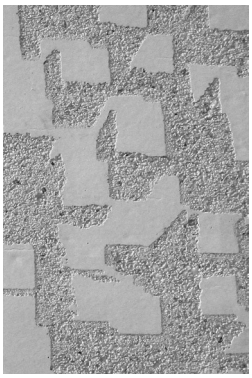


Figura 47
Concreto gráfico, material que combina serigrafías y técnicas de grabado fotográfico en la superficie. Foto: Graphic Concrete Ltda. Ideas Concretas. Editado por Pina Petricone. Thames & Hudson.

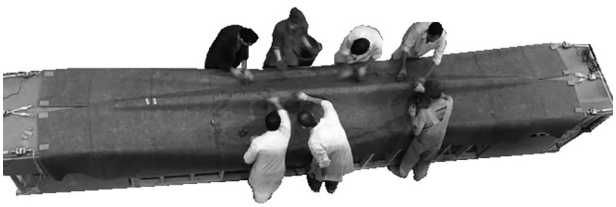


Figura 48
Elementos estructurales obtenidos del uso de encofrados textiles. Foto: Folleto CAST. Accedido el 11 de diciembre de 2015; disponible en: http://umanitoba.ca/cast_building/.

deformaciones del material. En la Universidad de Manitoba, el Centro de Estructuras y Tecnología de Arquitectura (CAST[18]), el profesor Mark West y su equipo de trabajo han explorado diferentes posibilidades para producir elementos prefabricados estructurales y no estructurales utilizando moldes textiles. Las tensiones naturales de las geometrías de las membranas textiles generan encofrados ligeros y económicos, que utilizan una menor cantidad de materiales en contraste con los encofrados convencionales. Estos moldes, que siguen las formas de un polígono funicular, pueden reducir el consumo innecesario de concreto en la producción de elementos estructurales y no estructurales (West, s. f.). A través de las tensiones aplicadas a los textiles, el vaciado de concreto puede generar diferentes geometrías (Figura 48). Los costos de estos textiles en los mercados locales hacen de este tipo de encofrado una opción para elementos estructurales y no estructurales prefabricados en concreto.

18 Por su sigla en inglés.

Resumen

El sistema estructural y el espacio habitable

Continuidad

Los elementos prefabricados de concreto para la construcción de viviendas sociales deben garantizar la continuidad estructural, espacial y constructiva del proyecto. En la continuidad estructural, las uniones o juntas entre los elementos prefabricados deben ser las mínimas necesarias para mantener la estabilidad del sistema y definir un comportamiento uniforme entre las partes que lo componen. La continuidad espacial define la estructura de soporte según el perímetro de las viviendas (muros de carga y losas de piso o techo) de modo que el espacio habitable tenga la menor cantidad de elementos estructurales en su interior, pueda leerse integralmente y usarse de diferentes maneras. La continuidad constructiva permite el uso de otros materiales en fachadas o muros interiores desde la prefabricación en concreto de la estructura de soporte, lo que permite la articulación armoniosa entre materiales y procesos en diferentes momentos y con diferentes características.

Flexibilidad

Las viviendas sociales prefabricadas de concreto deben considerar la flexibilidad en cuatro escalas: urbana, en el edificio, en la vivienda y con otros subsistemas constructivos. A la escala urbana, las propuestas deben adaptarse a topografías planas o inclinadas y dar forma al espacio público de diferentes maneras con patios, calles, residencias o miradores. A la escala del edificio, los elementos prefabricados pueden formar diferentes tipos de agrupaciones de uno a cinco pisos de altura, en terrenos con diferentes capacidades de carga y con diferentes lenguajes urbanos y arquitectónicos. En la escala de la vivienda, los espacios interiores deben permitir diferentes áreas habitables, configuraciones espaciales y variaciones tipológicas que permitan la individualización de las viviendas de acuerdo con las necesidades, deseos y número de integrantes de los grupos familiares. En la escala de otros subsistemas constructivos, las viviendas industrializadas con marcos de concreto prefabricado deben permitir el uso de otros materiales, con diferentes formas, texturas y proporciones, para resolver los elementos no estructurales, como muros interiores y fachadas. Esta condición permite aumentar la versatilidad de la vivienda al encontrar diversas soluciones formales y funcionales del propio sistema constructivo.

Sistemas de prefabricación

Los elementos estructurales deben proponer un sistema de *industrialización parcia*l, en el cual la estructura de soporte puede ser prefabricada en concreto, con los más altos estándares de calidad. Los elementos no estructurales pueden usar otros elementos o sistemas constructivos tradicionalmente utilizados en el contexto local, como la mampostería de ladrillos o bloques de concreto, lo que permite la incorporación de otras industrias o la fuerza laboral local en el proceso. Otros sistemas y materiales que no se utilizan comúnmente en entornos urbanos, pero que pueden especificarse en los diseños de estas casas, son paneles de madera, muros de tierra, muros de piedra, muros con elementos reciclados, entre otros. Esta condición nos permite pensar en un sistema parcialmente prefabricado, que industrializa sólo la estructura de soporte, pero permite la combinación de este elemento con otros materiales, sistemas técnicos y mano de obra local.

Componentes prefabricados de concreto para la producción de elementos estructurales

La conformación del concreto para la prefabricación de la estructura de soporte debe considerar los materiales disponibles en el contexto local, a fin de reducir los costos y garantizar la existencia de la materia prima necesaria para la producción de los marcos. Estos elementos están especificados con cemento local, agregados pétreos de acero o mallas metálicas) y aditivos de fraguado acelerado para formar una mezcla con componentes disponibles en el mercado local. Las resistencias mínimas de los marcos de concreto prefabricado serán determinadas por los diseños estructurales para cada proyecto, con base en los estándares establecidos del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, que define 17 Mpa como la resistencia mínima a la compresión para estructuras en hormigón. Esta tecnología debería permitir desarrollos técnicos e industriales posteriores, mediante el uso de otros componentes para obtener concretos más livianos (con agregados expandidos, partículas de madera o aire para obtener concreto celular) o con procesos de reciclaje para mejorar las condiciones ambientales (cenizas volantes o residuos obtenidos de procesos de construcción). Otros desarrollos, como los refuerzos textiles, los refuerzos de fibra de acero o de fibra de vidrio y la producción de concreto de ultra alto rendimiento (UHPC) también pueden usarse para la producción de elementos estructurales. Otros refuerzos que el sistema permite son elementos pretensados y cables postensados para la unión entre las piezas que componen el sistema. Los encofrados para la producción de los elementos prefabricados pueden ser en metal, madera, poliéster, fibra de vidrio o materiales que permitan procesos de reutilización, para deducir los costos en la etapa de producción.

Producción

La producción de los elementos estructurales prefabricados se puede realizar en plantas industriales o en fábricas de campo (en el sitio de la obra), según diferentes factores, como la distancia desde la planta al sitio del proyecto, la accesibilidad al lote, los costos y el tiempo. Si hay espacio obra para la producción de los elementos estructurales y si la distancia de la planta al lote supera los 150km, es posible prefabricar en el sitio de trabajo mismo o en plantas satélites que pueden producir simultáneamente elementos estructurales para diferentes proyectos.

Transporte

Según el Ministerio de Transporte de la República de Colombia, el transporte terrestre en Antioquia (que se utiliza para transportar el 99% de los productos en sus diferentes zonas) está condicionado por el tamaño de las carreteras y los vehículos utilizados. Esto, a su vez, condiciona los tamaños y pesos de los elementos estructurales de concreto prefabricado, que pueden tener hasta 18,50m de longitud

(o tamaños modulares para transportar varios elementos simultáneamente), hasta 2,60m de ancho y hasta 4,40m de altura. El peso máximo permitido para el transporte de estos elementos, para que puedan alcanzar las vías internas de cada municipio, es de 52 toneladas. Para garantizar procesos eficientes y mantener los costos deseados, se puede realizar el transporte desde las plantas de producción (la mayoría de ellas ubicadas en el Área Metropolitana de Medellín y sus municipios circundantes) hasta municipios a 150km de distancia. El factor transporte es un elemento decisivo en la implementación del sistema de industrialización de la estructura de apoyo de la vivienda; por lo tanto, determina las geometrías, tamaños, pesos y ubicaciones de los proyectos. Si las distancias entre la planta de producción y los sitios del proyecto son mayores de 150km, o si las vías de acceso a los lotes son estrechas y no permiten el movimiento de vehículos de carga, la posibilidad de tener fábricas de campo en los lotes del proyecto o plantas de prefabricación satélites, que pueden abastecer simultáneamente a varios municipios lejos del área de cobertura de las zonas industriales, se debe estudiar.

Sistemas estructurales

La industrialización de la estructura de soporte de las viviendas debe realizarse a través de la prefabricación del concreto, material resistente en términos estructurales y culturalmente aceptado por las comunidades que habitan los territorios urbanos. Estos elementos prefabricados deben diseñarse como unidades estructurales con el menor número posible de juntas, que estandarizan su producción industrial de modo que una de sus tipologías se pueda usar de diferentes maneras, generando un sistema de alojamiento flexible y versátil que mantenga la estabilidad estructural necesaria en edificios de uno a cinco pisos de altura. El sistema estructural que cumple estos requisitos es el de células espaciales, que están formadas por la unión entre una losa y un muro (que genera una forma de L), por una losa y dos muros (que generan formas de U), o por dos losas y dos muros (generando un marco cerrado, con la estructura en el perímetro del espacio habitable). La industrialización de estas células espaciales como elementos estructurales permite resolver las juntas estructurales desde la planta industrial con todas las condiciones técnicas requeridas por las regulaciones; reduce el número de las juntas en obra (mejorando la eficiencia del sistema) y rigidiza las uniones entre las losas y los muros, generando elementos hiperestáticos y autoportantes que reducen los procesos en el sitio, las juntas entre los elementos estructurales y permiten diferentes diseños en planta y en fachada mediante el uso de elementos no estructurales.

Regulaciones del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10 para elementos prefabricados

En el Título C (Concreto), Capítulo C.16 (Concreto Prefabricado), el reglamento define todos los detalles técnicos para el diseño, producción, transporte e instalación de elementos de concreto prefabricado en edificios. Todos los diseños estructurales para la construcción de proyectos de viviendas sociales con este sistema deben cumplir con las regulaciones existentes para la definición de dosis mixtas, refuerzos, geometrías, juntas y otras aplicaciones técnicas que deben estar presentes en los diseños estructurales.

5

Casos de Estudio

Sistemas y Proyectos 1948 – 2010

Los programas oficiales y las iniciativas privadas en diferentes contextos recurrieron a la industrialización, desde las primeras décadas del siglo XX, para construir viviendas sociales de manera rápida, económica y con estándares de calidad. Con el concreto prefabricado, se racionalizaron los diseños arquitectónicos y se estandarizaron los componentes de la vivienda, lo que permitió reducir el déficit en períodos de tiempo más cortos y con costos más bajos que los utilizados por los sistemas de construcción tradicionales como el concreto vaciado *in situ* o la mampostería estructural. Aunque la reducción en el tiempo y los costos se demostraron mediante procesos de prefabricación del concreto, aspectos como la calidad de vida, la repetitividad de las soluciones arquitectónicas y la reducción de las expresiones de individualidad, generaron diferentes reacciones. Algunos de ellos asociaron el concreto prefabricado con una visión política totalitaria y con una condición de vivienda que carecía de variantes funcionales y formales. Cuando los edificios de concreto prefabricado obedecían a una condición política, mostraban una visión utópica de igualdad universal al establecerla en sus hogares (Groys, 2014, p. 40). Algunos de los principios de la vivienda lo entendieron como una combinación abierta y potencialmente variable de elementos estandarizados, donde algunos sistemas industriales se tomaron como modelos para el diseño y la construcción de edificios. En lugar de casas tradicionales, se concibieron apartamentos que podrían agruparse en proyectos de vivienda (Groys, 2014, p. 41).

En *Edificios de paneles: Estaciones en el camino a la utopía*, Boris Groys sostiene que las viviendas prefabricadas de hormigón en Europa del Este, Europa Occidental, Asia y América se inspiraron en la vanguardia rusa y la *Bauhaus* alemana. Sus arquitectos planearon proyectos de vivienda para trabajadores (*Arbeitersiedlungen*) que eran económicos, funcionales, libres de cualquier pretensión arquitectónica y que permitieron una construcción rápida. La industrialización en la construcción de edificios residenciales fue uno de los objetivos principales en ese momento. Así, en 1924, Mies Van der Rohe escribió: "Si logramos esta industrialización, entonces los problemas sociales, económicos y artísticos podrían resolverse fácilmente" (Richter, 2006, como se cita en Groys, 2014, p. 43).

En otros contextos, la vivienda se diseñó y construyó simultáneamente con concreto vaciado *in situ*, perfiles metálicos y mampostería estructural. Estos edificios, concebidos desde diferentes perspectivas, urbanas, políticas y técnicas, expresaron otras ideas para abordar el problema de la vivienda. La técnica de construcción no fue sólo un mecanismo para la realización de proyectos; se asoció con la concepción funcional del edificio, la lectura del espacio urbano, la relación con el contexto físico, la expresión ideológica de la unidad o la diversidad y la relación del espacio habitable con sus habitantes. Boris Groys sostiene que, en el diseño de viviendas masivas para trabajadores, una actitud estética estaba conectada con la política. Después de la reunificación de Alemania, la crítica especializada de la antigua Alemania Occidental consideraba los edificios de la República Democrática Alemana (RDA) como "manifestaciones inhumanas de maltrato totalitario de la población, condenados a vivir en apartamentos idénticos". El *Plattenbau* fue considerado un acto de la RDA contra la belleza de la arquitectura tradicional alemana. En la antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) y en los países de Europa del Este que formaron la Cortina de Hierro después de la caída del Muro de Berlín, la arquitectura racionalista estuvo sujeta a una crítica muy similar. La estandarización de los elementos de construcción en la prefabricación obedeció al deseo de proporcionar la mayor cantidad posible de viviendas para la población trabajadora, un aspecto que luego se replicó por razones técnicas, económicas, sociales y políticas en varios países de Europa del Este, Europa Occidental, Asia y América. (Groys, 2014, pp. 44-45).

Los debates arquitectónicos entre la vivienda socialista y la arquitectura de la vivienda en Europa Occidental y América del Norte mostraron que las nociones humanistas estaban asociadas con contextos políticos e ideológicos. El discurso de la racionalización y la estandarización enfrentó al de la diversidad y la individualidad.

Con el concreto prefabricado, se diseñaron y construyeron nuevas tipologías de viviendas; los componentes de construcción se industrializaron, se desarrollaron nuevos procedimientos para instalarlos y el hábitat se concibió como una expresión política y social de equidad y eficiencia para proporcionar a la población la mayor cantidad de viviendas en el menor tiempo posible. El valor estético de la arquitectura prefabricada de concreto tuvo diferentes interpretaciones, desde aspectos políticos y sociales. No se trataba sólo de interpretaciones estéticas o gustos individuales.

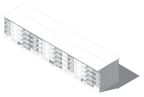
Contrariamente a la estandarización, el discurso de la diversidad correspondió a un gusto estético por la heterogeneidad, por la diferencia y por la convergencia. La expresión y el deseo de individualidad en la vivienda parecían separarse de cualquier cosa uniforme, repetitiva o reduccionista. La sensibilidad estética de los usuarios de las casas se alejó de la apariencia monótona y masiva de los edificios de concreto prefabricado. Boris Groys sostiene que el discurso y las políticas de diversidad y diferencias culturales no deben verse ni interpretarse sin relacionarlos con las prácticas de diversificación impulsadas por el mercado y la diferenciación cultural de la segunda mitad del siglo XX. La estética comunista, que relacionaba el contexto político con los edificios de viviendas colectivas, no era lo suficientemente diversa y enfrentaba el gusto pluralista o una parte de la sociedad (Groys, 2014, pp. 45-46). Se construyeron viviendas de concreto prefabricado – a partir de los procesos de diseño, producción e instalación de sus elementos – con una serie de procedimientos industriales, desarrollos técnicos, tipologías de vivienda y condiciones estéticas que influyeron en las formas de vida.

En la línea histórica de la vivienda colectiva, la arquitectura de la estandarización y la arquitectura de la diversidad han compartido espacios y han caracterizado su tiempo. Han sido medios para expresar las condiciones políticas, sociales, técnicas, económicas y de vida del contexto donde se ubicaron. Bajo diferentes puntos de vista y conceptos, ambos han entendido la vivienda colectiva como una manifestación de la vida en comunidad, de la tecnología como una expresión del progreso industrial y de las condiciones políticas.

Se estudiaron diferentes construcciones de viviendas en Europa del Este, Europa Occidental, América del Norte y América Latina, construidas entre 1948 y 2010 con estructuras y cerramientos prefabricados en concreto, para comprender la relación entre cada uno de los elementos que conforman la estructura de soporte, el espacio habitable y el lenguaje, expresados a través de sus formas. En cada serie de prefabricación o en cada proyecto, se ilustran el sistema estructural y sus componentes, el proceso de ensamble y los resultados espaciales y volumétricos.

Concreto prefabricado

Andrew Melville Hall
Saint Andrews, Escocia, 1964
James Stirling



Sistema IMS - América Latina
Principalmente usado en Cuba, 1960
CTVU (Centro Técnico de la Vivienda y el Urbanismo)

Proyecto Experimental de Vivienda PREVI
Lima, Perú, 1966
E. Montagne, C. Morales

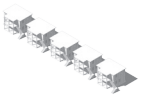
Sistema 1-335
Principalmente usado en la antigua Unión Soviética, 1959
Vitaly Lagutenko y el Sistema Soviético DSC

Sistema Gran Panel IV
Usado principalmente en Cuba, 1959
Sistema Soviético DSC

Proyecto Experimental de Vivienda PREVI
Lima, Perú, 1966
Atelier 5

Sistema K-7
Principalmente usado en la antigua Unión Soviética, 1958
Vitaly Lagutenko y el Sistema Soviético DSC

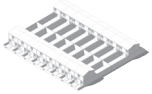
Gran Panel Soviético
Principalmente usado en Cuba, 1965
Hugo D'Acosta



Sistema Novoa-Sandino
Patentado y usado principalmente en Cuba, 1950
José María Novoa

Sistema IMS - Europa
Principalmente usado en la antigua Yugoslavia, 1957
Institute for the Testing of Materials (IMS)

Sistema VAM
Principalmente usado en los Países Bajos, 1961
Private Dutch Company



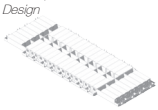
Barrio Muzú
Bogotá, Colombia, 1949
J. Gaitán, Á. Ortega, G. González, Instituto de Crédito Territorial ICT.

Sistema 1-510
Principalmente usado en la antigua Unión Soviética, 1957
SAKB Specialized Architectural and Design

Sistema G-57
Principalmente usado en la antigua Checoslovaquia, 1957
Bata: Bohumil Kula & Hynek Adamec

Sistema Larsen & Nielsen
Principalmente usado en Dinamarca, 1960
R. A. Larsen, A. Nielsen

Sistema Camus
Patentado y usado principalmente en Francia, 1948
Raymund Camus

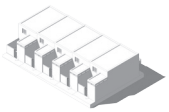


Barrio Quiroga
Bogotá, Colombia, 1951
G. Solano, Á. Ortega, G. González

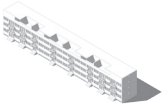
Sistema 1-464
Principalmente usado en la antigua Unión Soviética, 1960
Sistema Soviético DSC

20-30

Immeuble Villas
Proyecto, 1922
Le Corbusier

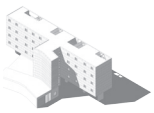


Weißenhofsiedlung
Reihenhäuser, Stuttgart, Alemania, 1927
Pankokweg 1, 3, 5, 7, 9
J. J. P. Oud

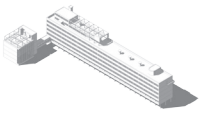


Weißenhofsiedlung
Wohnblock, Stuttgart, Alemania 1927
Am Weißenhof 14-20
Mies van der Rohe

30-40



Pabellón Suizo
Paris, Francia, 1931
Le Corbusier



Narkomfin
Moscow, antigua Unión Soviética, 1932
Moisei Ginzburg, Ignaty Milinis

Cité de la Muette
Drancy, Francia 1932
Eugène Beaudouin, Marcel Lods, Vladimir Bodiansky, Jean Prouvé

40-50

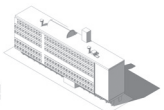
El silencio
Caracas, Venezuela, 1945
Carlos Raúl Villanueva

Prefeito Mendes de Moraes (Pedregulho)
Rio de Janeiro, Brasil, 1947
Affonso Eduardo Reidy, Francisco Bolonha

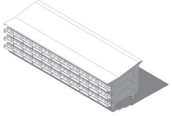
Presidente Alemán
Mexico City, Mexico, 1949
Mario Pani

50-60

Edificio Copan
São Paulo, Brasil, 1951
Oscar Niemeyer

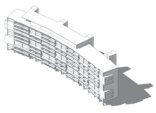


Unité d'Habitation
Marsella, Francia, 1952
Le Corbusier



Barrio Tuscolano III
Roma, Italia, 1954
Adalberto Libera

60-70



Edificio de Vivienda multifamiliar en Hansa Viertel
Händelallee 1–9, Berlín, Alemania, 1960
Walter Gropius

Edificio de Vivienda multifamiliar en Hansa Viertel
Altonaer Straße 4-14, Berlín, Alemania, 1960
Oscar Niemeyer

Barrio Exequiel González Cortés
Santiago de Chile, Chile, 1964
Hegedus, Carballo, Bravo / Grupo TAU

Concreto vaciado *in situ*, mampostería y otros sistemas constructivos

Hábitat 67
Montreal, Canadá, 1967
Moshe Safdie

Southgate Estate Residential Complex
Runcorn New Town, Cheshire, Inglaterra, 1977
James Stirling

Martinsviertel
Colonia, Alemania, 1977
Schürmann Architekten

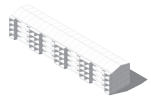
Proyecto Experimental de Vivienda PREVI
Lima, Perú, 1966
James Stirling

Viviendas Económicas Prefabricadas VEP
Principalmente usado en Chile, 1970-1980
Gobierno de Chile

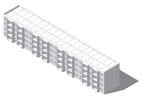
Proyecto Experimental de Vivienda PREVI
Lima, Perú, 1966
E. Llanos - M. Mazzarri

Edificio Residencial
Monza, Italia, 1972
Angelo Mangiarotti

Genter Straße Residential Complex
Munich, Alemania, 1971
O. Steidle, R. Thut, D. Thut

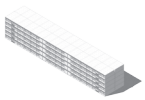


Sistema Skarne S66
Principalmente usado en Suecia, 1966
Ohlsson & Skarne



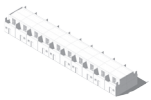
Sistema Soviético KPD *(Krupnopanelnoye Domostroyenie)*
Principalmente usado en Chile, 1972
Vitaly Lagutenko

Complejo Residencial Niza
Pereira, Colombia, 1980
Sistema diseñado por Pablo Cortina

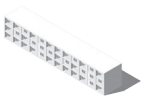


Sistema Jugomont 61
Principalmente usado en la antigua Yugoslavia, 1961
B. Budimirov, Ž. Solar, D. Stilinović

Residencias Masculinas en la Villa Olímpica
Munich, Alemania, 1971
G. Eckert, and W. Wirsing

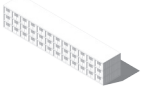


Residencias Femeninas en la Villa Olímpica
Munich, Alemania, 1971
Heinle, Wischer and Associates



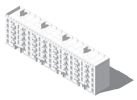
Ciudad Bachué III
Bogotá, Colombia, 1980
P. Samper, L. Tapias, C. Moreno y G. Marín

Sistema WBS-70
Principalmente utilizado en la antigua República Democrática Alemana RDA, 1970
Deutschen Bauakademie, TU Dresden



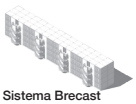
Ciudad Bachué II
Bogotá, Colombia, 1980
P. Samper, L. Tapias, C. Moreno y G. Marín

Edificio residencial y comercial
Rathenow, Alemania, 1997
K. Sill, J. Keim

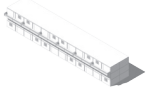


Sistema Ital-Camus
Adaptación italiana del original Sistema Camus, 1960
Idea original de Raymond Camus

Gran Panel 70
Principalmente utilizado en Cuba, 1970
Osmundo Machado, Grupo Nacional de Viviendas



Sistema Brecast
Principalmente usado en el Reino Unido, 1970
Building Research Establishment (BRE)

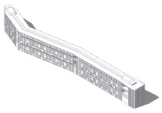


Ciudad Bachué I
Bogotá, Colombia, 1980
P. Samper, L. Tapias, C. Moreno y G. Marín

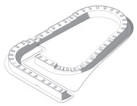
Viviendas de Protección Oficial
Alcobendas, España, 1995
Manuel de las Casas

Elemental - Milan Prototipo de Vivienda
Milán, Italia, 2008
Elemental – Chile

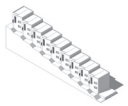
70-80 | 80-90 | 90-00 | 00-10



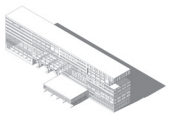
Robin Hood Gardens
Londres, Inglaterra, 1972
Alison & Peter Smithson



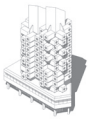
El Ruedo M-30
Madrid, España, 1986
Francisco Javier Sáenz de Oiza



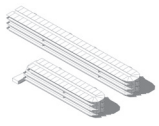
Atlántida 1
Medellín, Colombia, 1994
Ana Elvira Vélez



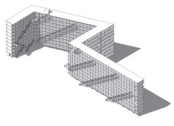
Silodam
Amsterdam, Países Bajos, 2002
MBM (Martorell, Bohigas, Mackay) y MVRDV (Maas, van Rijs, de Vries)



Nagakin Capsule Tower
Tokio, Japón, 1972
Kisho Kurokawa

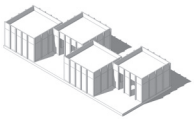


Nemausus
Nimes, Francia, 1987
Jean Nouvel



Gifu Kitagata
Motosu, Japón, 1998
Kazuyo Sejima

Quinta Monroy
Iquique, Chile, 2003
Elemental - Chile



Proyecto Experimental de Vivienda PREVI
Lima, Perú, 1978
Knud Svenssons

Gráfico 69
Vivienda colectiva vista desde su historia y desde la técnica de la construcción, como respuesta a las condiciones políticas, sociales, técnicas, económicas y habitacionales de sus contextos.

5.1. Años 40 y 50

5.1.1. Sistema Camus. Francia, 1948

Gráfico 70
Vista exterior

Sistema Camus. Francia, 1948	
Tipo de estructura	Muros estructurales
Tipo de prefabricación	Cerrada
Arquitecto inventor o diseñador	Raymond Camus
Áreas promedio por vivienda (en metros cuadrados)	35, 45, 70
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	20
Altura media de los edificios (en número de pisos)	5
Número de tipos de elementos prefabricados	87
Cimientos prefabricados para columnas	0
Vigas de cimentación prefabricadas para muros o vigas de amarre	0
Losas de cimentación prefabricadas	0
Columnas	1
Vigas	1
Paneles de fachada	19
Muros interiores	19
Losas de contrapiso y entrepiso	29
Losas para techos	11
Elementos especiales (buitrones, juntas, áreas comunes, toldos)	5
Escalera	2
Células espaciales estructurales	0
Tipos de juntas	Barras de acero y concreto vaciado *in situ*

Tabla 17
Sistema Camus, Francia, 1948. Información tomada de: Alonso y Palmarola, 2014, pp. 216-217, 257, 306-309.

Sistema y construcción

Patentado en 1948 por Raymond Camus, este sistema de muros estructurales se utilizó en Francia y más tarde en otros países de Europa, Asia y América. En los años 50 y 60, se incorporaron nuevos desarrollos para usarlo en la construcción de edificios residenciales de cinco pisos para la clase obrera en la URSS y en algunos países de Europa del Este. Las juntas se resolvieron con barras de acero y se reforzaron con concreto vaciado *in situ* para producir una unidad rígida y homogénea (Alonso y Palmarola, 2014, p. 217). En Europa Occidental, su uso se destacó en Italia, donde se adaptó mediante algunas modificaciones que luego originaron en el sistema estructural Ital-Camus. Años más tarde, también se adaptó en Cuba como el Gran Sistema de Paneles Soviéticos y en Chile como el Gran Sistema de Paneles Estructurales (KPD[20]), que tuvo la influencia de la tecnología soviética en el diseño y construcción de edificios de viviendas sociales (Alonso y Palmarola, 2014 , pp. 216-217).

El Sistema Camus fue considerado como un proceso de "prefabricación pesada", que denota que el sistema de industrialización de algunos edificios comprendía muros de carga y losas de concreto estructural, producidos en serie en un tipo de prefabricación cerrada que no permitía su combinación con otros sistemas técnicos, materiales o estructurales. El sistema resolvió todos los elementos y componentes necesarios para crear un edificio cerrado completo. Completo porque desarrolló todos los componentes necesarios para la construcción de un edificio; cerrado porque la configuración geométrica de los elementos y los detalles de sus conexiones se crearon específicamente para este edificio, incompatibles con otros sistemas. A través de estos sistemas, fue posible ensamblar diferentes números de piezas, con pocos tipos y modificaciones entre ellas para estandarizar sus componentes. En compensación por estas limitaciones, el sistema Camus ofrecía ventajas económicas y logísticas. La economía en la instalación del sistema fue una de las principales ventajas de estos sistemas de prefabricación pesada. Además, el tiempo de instalación fue menor mediante el uso de una cantidad reducida de mano de obra especializada, lo que aumentó los beneficios financieros del proceso. Los procesos de diseño y construcción debían adaptarse al sistema, de modo que los elementos que formaban el edificio pudieran adaptarse a las características de los elementos. La flexibilidad reducida de este sistema y el requisito de un número mínimo de unidades de vivienda fueron dos determinantes importantes en su uso.

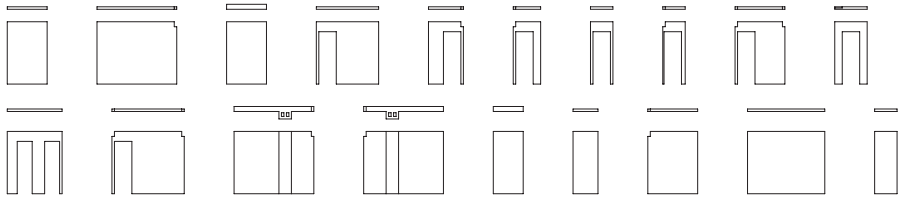
El Sistema Camus fue aprobado como patente en 1949 por el Centro Científico y Técnico Francés para la Construcción (*Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*, CSTB). Aplicado masivamente, sirvió para que el Gobierno francés lograra su objetivo de construir cerca de 20.000 casas por mes a principios de los años cincuenta. El Sistema Camus se convirtió en un símbolo de prefabricación pesada en Europa Occidental. A mediados de 1969, tenía seis fábricas en Francia y 16 fábricas en otros países, incluyendo el Reino Unido, Alemania, Italia, Rusia y Argelia[21].

20 Krupnopanelnoye Domostroyenie, por su sigla en ruso.

21 Sistema Pesada de Prefabricación. Sistema Camus. Accedido el 29 de mayo de 2017; disponible en http://postwarbuildingmaterials.be/material/heavy-prefab-systems/.

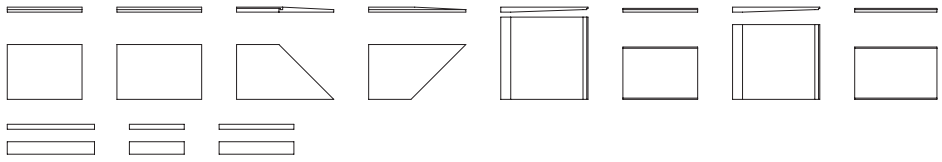
Muros de fachada

Muros interiores



Losas de entrepiso

Losas de cubierta



Otros elementos

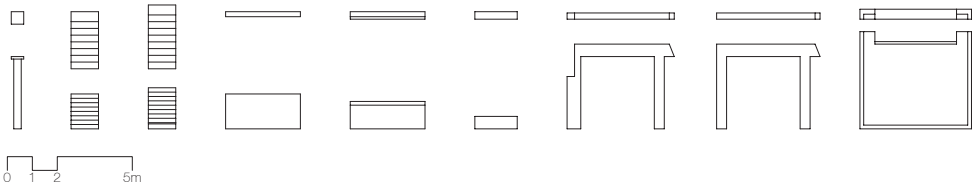
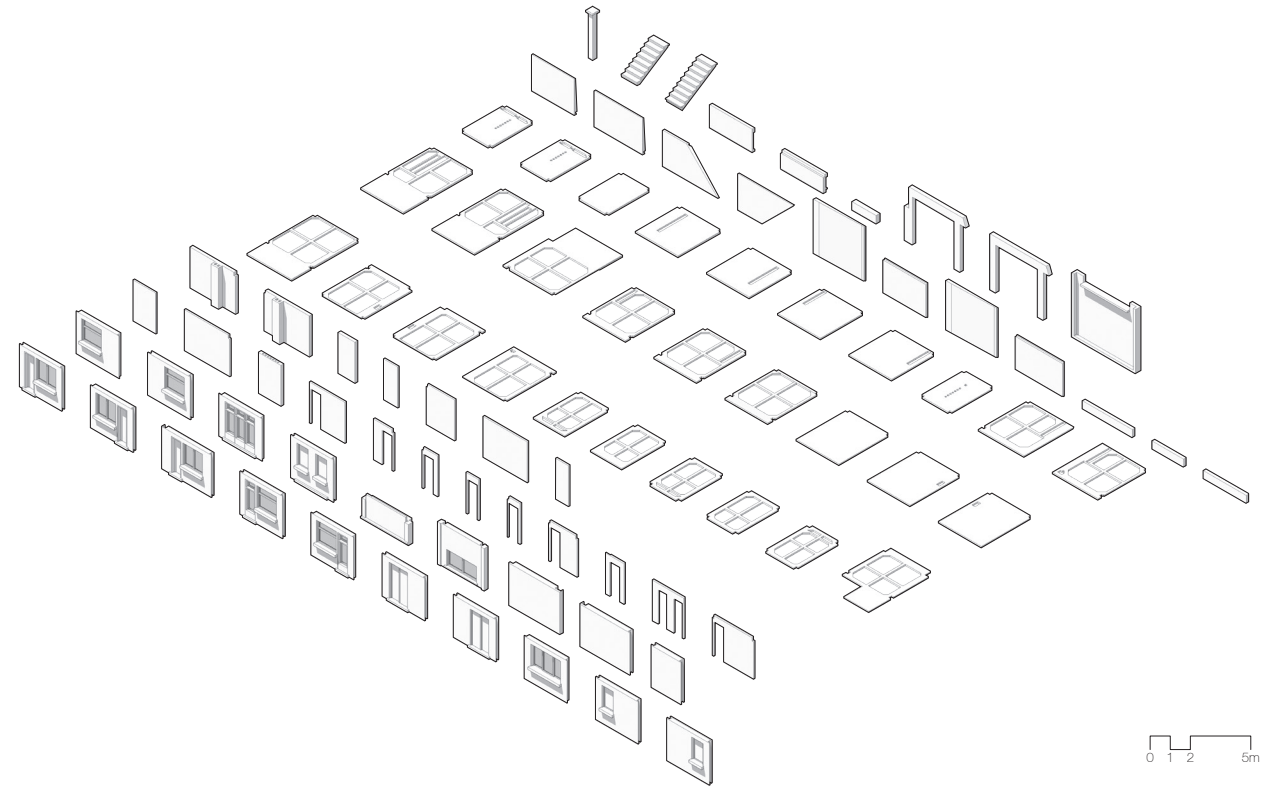


Gráfico 71
Componentes: Planta y fachada



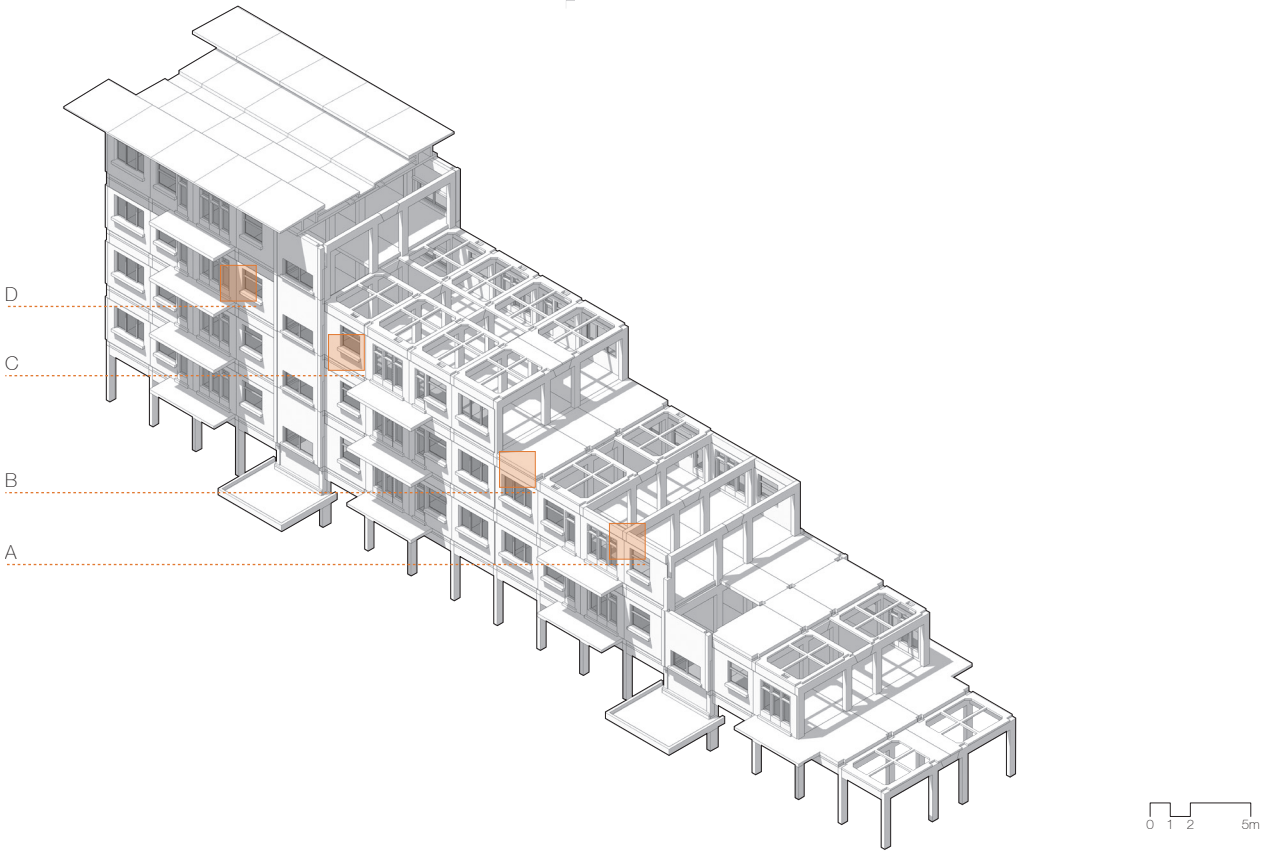


Gráfico 72
Componentes: Axonometría

Gráfico 73
Proceso de construcción

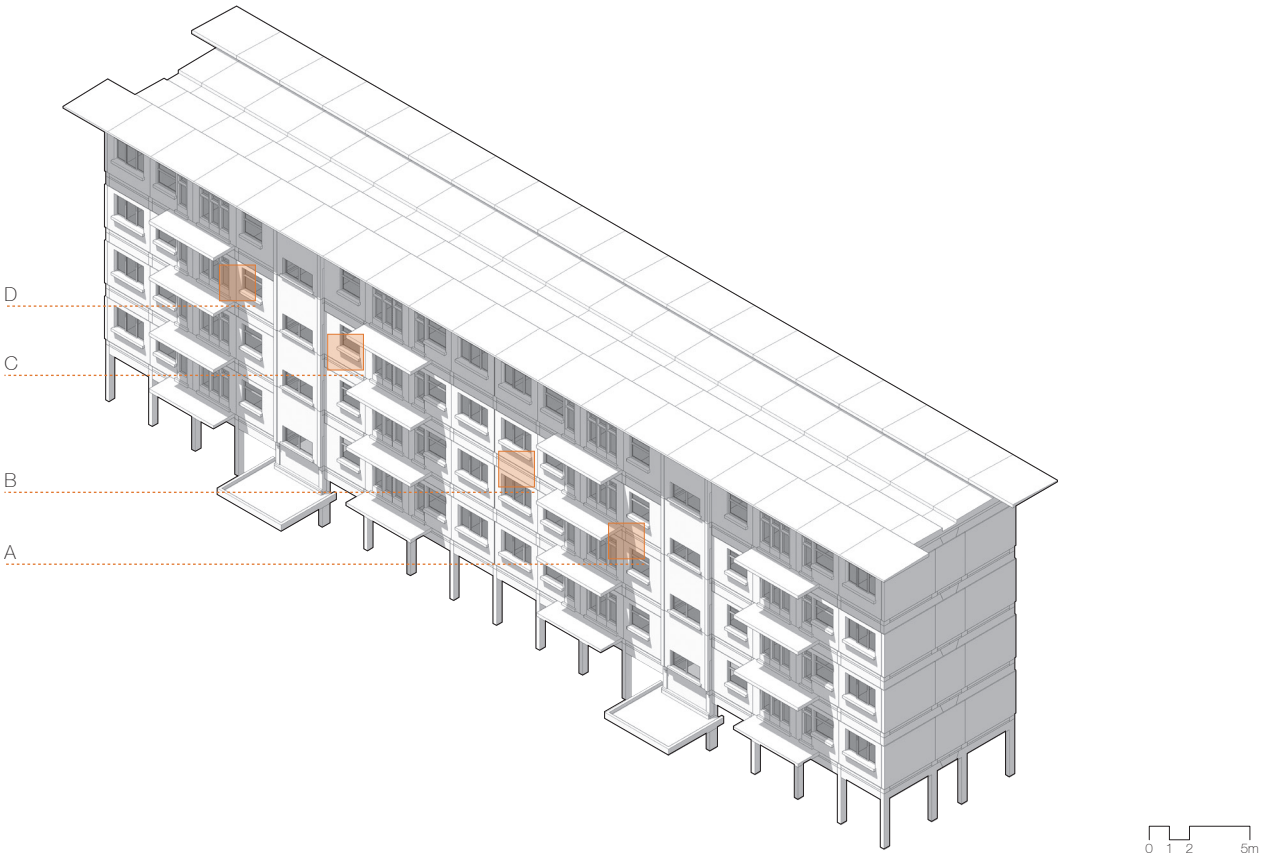


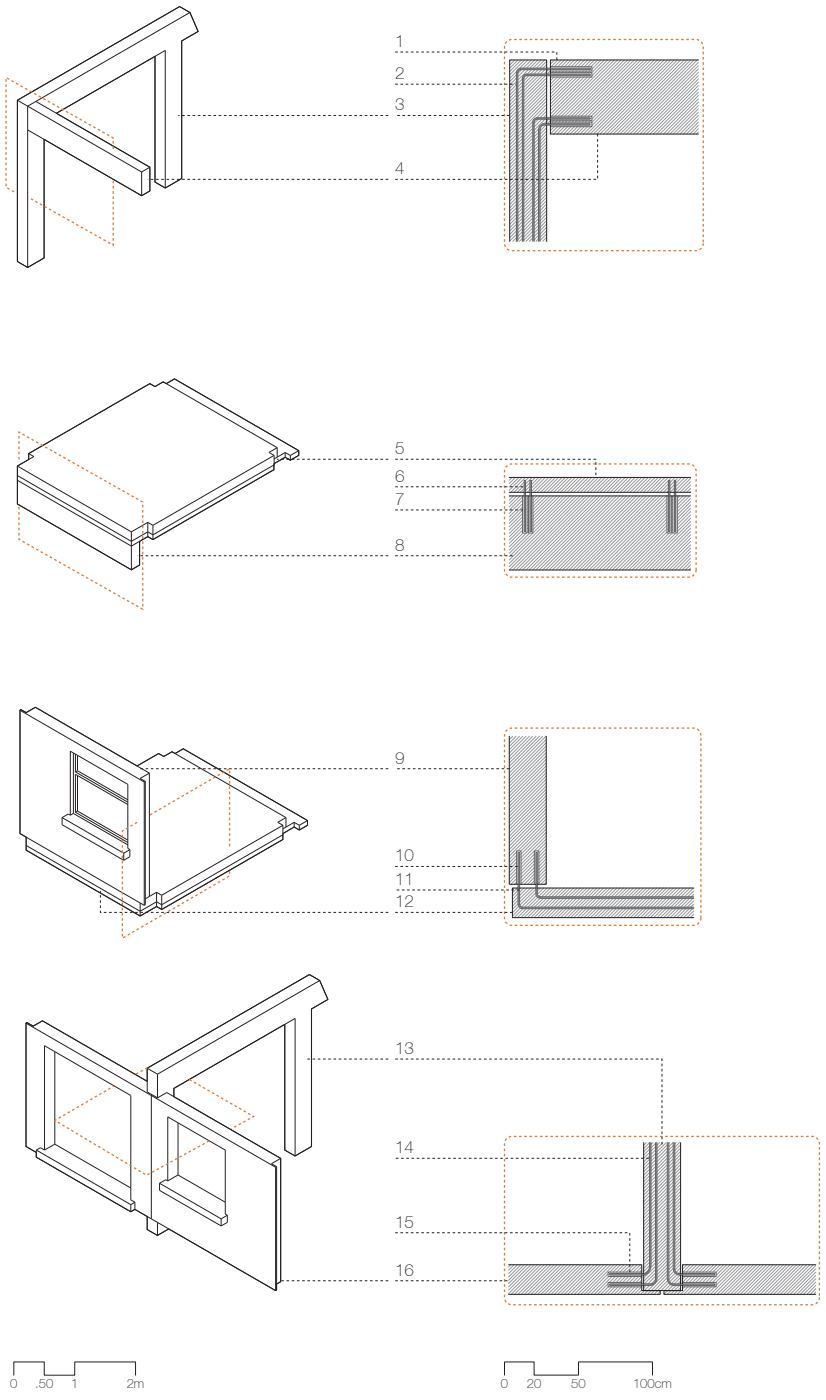
Gráfico 74
El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico

Ventajas

- El sistema propuso desarrollos modulares con dimensiones entre los elementos estructurales que permiten diferentes combinaciones para las unidades de vivienda.
- Se podrían hacer diferentes edificios en cortos períodos de tiempo y con control de costos en diferentes contextos, debido a la coordinación dimensional entre sus piezas. Esta condición permitió la construcción de 20.000 unidades de vivienda por mes en Francia, otros países de Europa, África y América.
- Las proporciones de los elementos permiten su transporte desde las plantas de producción hasta el sitio del proyecto.
- La versatilidad del sistema en sus geometrías y en sus principios de coordinación dimensional le permitió adaptarse a diferentes contextos culturales y geográficos.
- Las juntas y las geometrías de los elementos permitieron su replicabilidad en cortos períodos de tiempo.
- El sistema genera diferentes tipos de viviendas y usos cómodos del espacio interior. Los diseños arquitectónicos deben considerar la ventilación cruzada y las orientaciones para responder al contexto geográfico.

Desventajas

- Es necesario que el sistema tenga ascensores o sistemas de rampa para permitir el acceso a cada uno de sus niveles. Las dimensiones de las puertas, los corredores interiores y los espacios libres en las áreas comunes no permiten un acceso cómodo para personas con diferentes discapacidades.
- Los sistemas de fundaciones, tales como las vigas de carga para recibir los muros estructurales, podrían requerir profundidades similares o mayores que los sistemas convencionales.
- Los elementos que componen el sistema pertenecen a un tipo de prefabricación cerrada, en la que no se pueden utilizar otros tipos de elementos o materiales en el proceso de construcción. Algunos de los elementos estructurales forman parte del espacio interior, lo que no permite un diseño arquitectónico diferente en el mismo espacio habitable. La ubicación de los elementos estructurales dentro del espacio condiciona su uso y su transformación a lo largo del tiempo.
- Teniendo los paneles de fachada definidos previamente, se restringe la posibilidad de incorporar tradiciones culturales o individualizar el lenguaje en cada proyecto. Por lo tanto, es un sistema que considera pocas variaciones en su aspecto estético y no genera variaciones en su lenguaje de acuerdo con las comunidades que lo habitan y de acuerdo con las tradiciones culturales. Al tener muros estructurales en sus fachadas y espacios interiores, los sistemas restringen la incrementalidad en el tiempo o la transformación de los espacios de vida de acuerdo con los requisitos de las familias.



1. Concreto vaciado *in-situ*
2. Barras de acero
3. Columna prefabricada en concreto
4. Viga prefabricada en concreto
5. Losa prefabricada en concreto
6. Barras de acero
7. Concreto vaciado *in-situ*
8. Viga prefabricada en concreto
9. Muro de fachada prefabricado en concreto
10. Concreto vaciado *in-situ*
11. Barras de acero
12. Losa prefabricada en concreto
13. Columna prefabricada en concreto
14. Barras de acero
15. Concreto vaciado *in-situ*
16. Muro de fachada prefabricado en concreto

Gráfico 75
Detalles constructivos

5.1.2. Sistema Novoa – Sandino, Cuba, 1950

Gráfico 76
Vista exterior

Sistema Novoa – Sandino. Cuba, 1950	
Tipo de estructura	Mixto: Muros esqueletales y estructurales
Tipo de prefabricación	Abierta
Arquitecto inventor o diseñador	José María Novoa
Áreas promedio por vivienda (en metros cuadrados)	44, 60, 75
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	1 (viviendas individuales)
Altura media de los edificios (en número de pisos)	2
Número de tipos de elementos prefabricados	14
Cimientos prefabricados para columnas	1
Vigas de cimentación prefabricadas para muros o vigas de amarre	1
Losas de cimentación prefabricadas	0
Columnas	2
Vigas	2
Paneles de fachada	2
Muros interiores	2
Losas de contrapiso y entrepiso	2
Losas para techos	2
Elementos especiales (buitrones, juntas, áreas comunes, toldos)	0
Escalera	0
Células espaciales estructurales	0
Tipos de juntas	Montajes, barras de acero, concreto vaciado

Información tomada de: Cabrera, 2011. También tomada de: Segre, 2005, p. 172.

Tabla 18
Sistema Novoa – Sandino, Cuba, 1950

Sistema y construcción

El sistema fue creado por el arquitecto José María Novoa en 1950. Inicialmente fue reconocido como el Sistema Novoa y se usó ampliamente en Cuba entre los años cincuenta y setenta para construir viviendas sociales rápidamente y con bajos costos. Más tarde, fue conocido como el Sistema Sandino. Es un sistema estructural mixto que combina elementos pertenecientes a sistemas esqueletales y muros estructurales. Las columnas de concreto prefabricado fueron diseñadas para ser ensambladas a los cimientos, unidas a los refuerzos metálicos y rigidizadas mediante concreto vaciado *in situ*. Estas columnas (con una sección "H") también se diseñaron como guías para la instalación de los cinco paneles de concreto prefabricados que conformaban la altura de la casa, unidos entre sí por simples soportes. Cada uno de los paneles pesaba 65 kilogramos, lo que permitía que fueran instalados por dos personas y sin la necesidad de equipos especiales. Los paneles de fachada se unieron mediante un simple soporte a las losas del contrapiso y entrepiso a través de la superposición y el amarre de sus refuerzos metálicos. Al final del proceso, la unión entre estos elementos modulados se reforzó cada 0,94m mediante concreto vaciado *in situ* en los nudos. Su uso permitió la construcción de residencias de uno y dos pisos, con un área promedio de 60 m² en entornos rurales en períodos de cuatro semanas (Segre, 2005, p. 172).

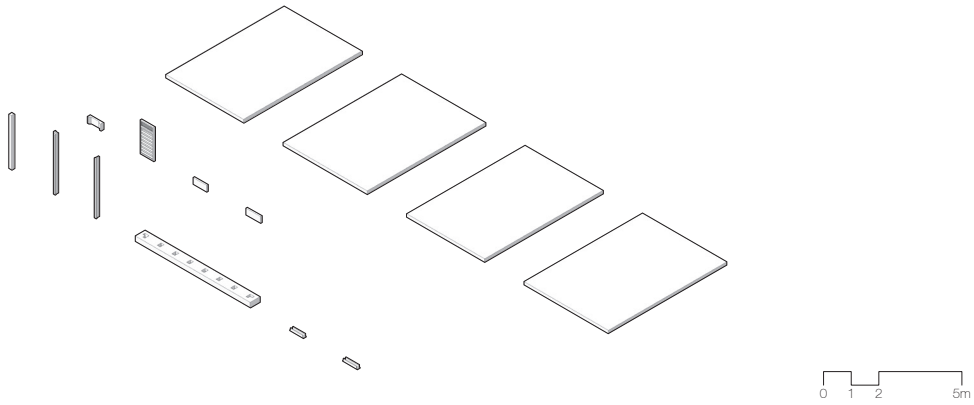
Este sistema fue ampliamente utilizado en áreas rurales debido a la simplicidad de los elementos y los ensambles entre ellos, lo que se pudo hacer con la participación de mano de obra no calificada de los mismos sectores en los que se construyeron los complejos de viviendas. Estos elementos podrían prefabricarse en el sitio del proyecto, ya que la planta que produce los elementos estructurales era móvil y podía trasladarse a diferentes lugares. La simplicidad de manejo y los componentes técnicos de la planta de prefabricación móvil, el fácil manejo de las partes estructurales y los paneles de cerramiento de concreto reforzado que podrían ser instalados por uno o dos hombres, su facilidad de adaptación a diferentes esquemas de planta variable debido al reducido tamaño del módulo estructural básico de 94cm permite que este sistema se use ampliamente en viviendas de uno y dos pisos. Los grupos de viviendas construidas con el sistema tenían al menos 20 a 25 casas. La *Ciudad Sandino*, construida en los años 60, tenía 3.000 viviendas y estaba destinado a albergar a 15.000 habitantes.

Las urbanizaciones asumieron diferentes configuraciones de esquemas lineales, casas pareadas a lo largo de calles arboladas que convergían en áreas sociales donde se concentraban los servicios comunitarios. Este sistema facilitó los procesos de autoconstrucción en los que se fomentaron las relaciones entre la población rural para promover progresivamente el abandono de viviendas aisladas. Aunque la experimentación a esta escala fue restringida, la compactación de los bloques de viviendas y la solución de apartamentos en dos pisos (algunas unidades en *Ciudad Sandino* tenían hasta cuatro pisos de altura), el vínculo intermedio entre la vivienda rural tradicional y las comunidades urbanas surgió después de 1968[22]. La flexibilidad del sistema y su adaptabilidad a diferentes enfoques urbanos permitieron el diseño de viviendas dispersas (por ejemplo, la Comunidad Las Terrazas en Pinar del Río) y estructuras compactas de viviendas urbanas (como la Comunidad de Managua, en el provincia de la Habana). En algunos de ellos, se propusieron planes de cultivo para terrazas; en otros, las casas se adaptaron a las geometrías y pendientes del terreno, formando un todo armonioso con el paisaje[23].

22 Amneris Vergani, "Ciudad Sandino" in: *Arquitectura / Cuba*, No. 334, Havana, 1965, p. 1.

23 Segre, Roberto. Tres décadas de reflexiones sobre el Hábitat Latinoamericano. National University of Colombia, 2005, 171 p.

Gráfico 77
Componentes: Planta y fachada



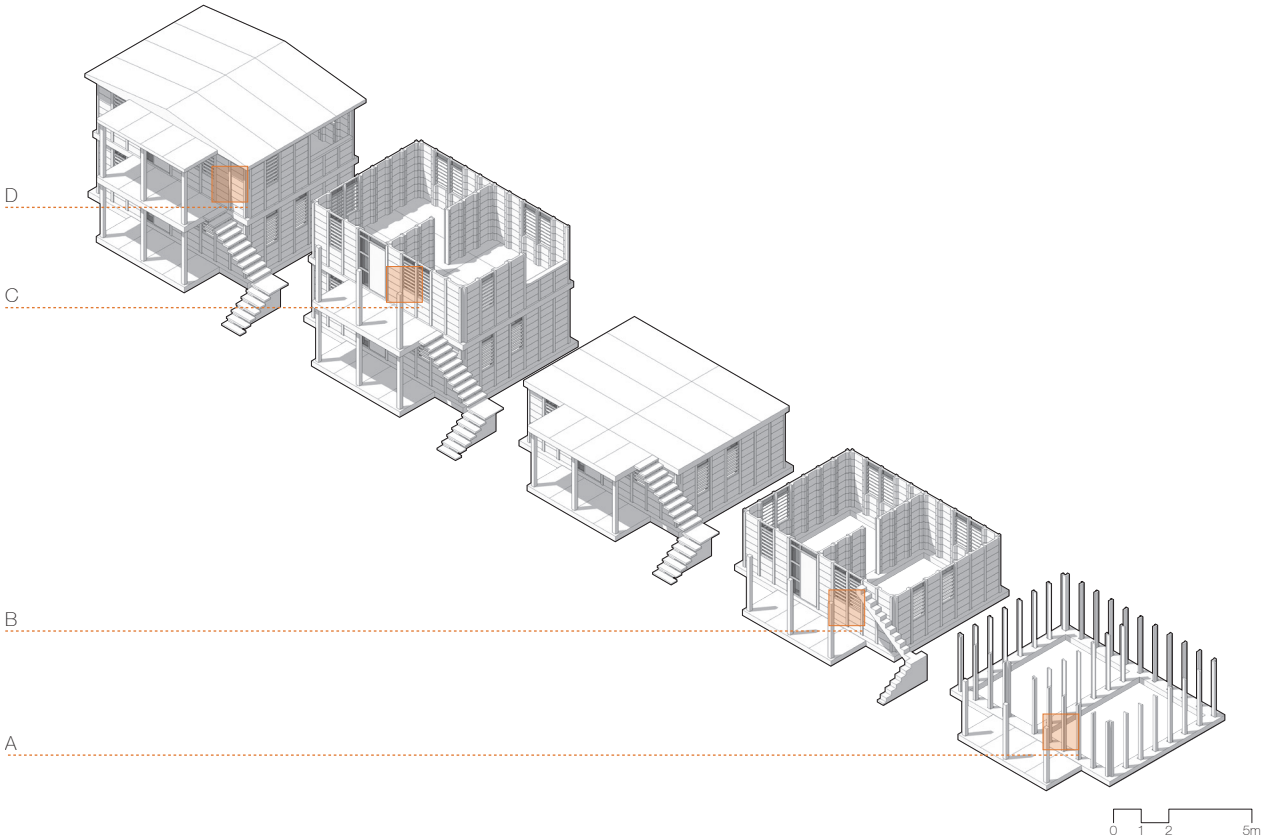


Gráfico 78
Componentes: Axonometría

Gráfico 79
Proceso de construcción

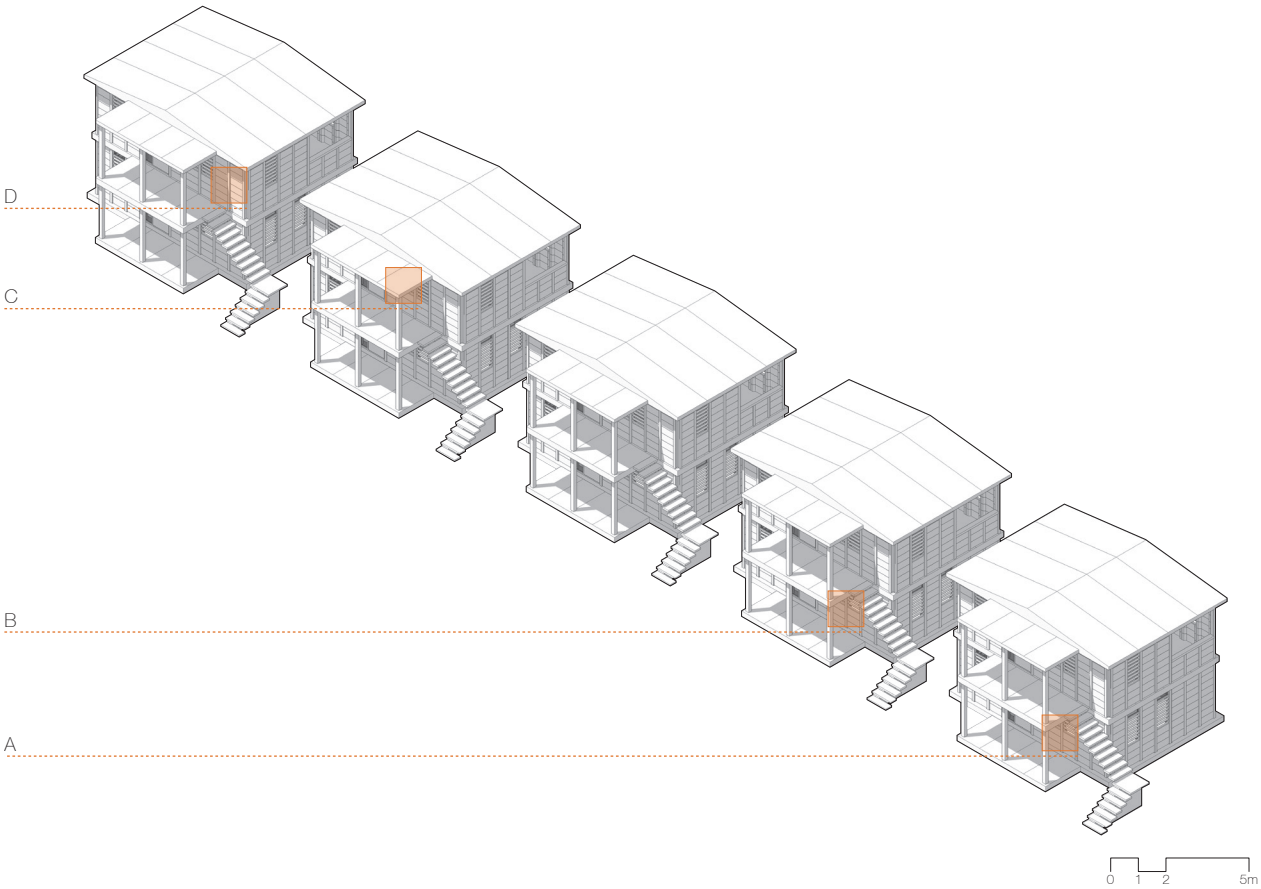


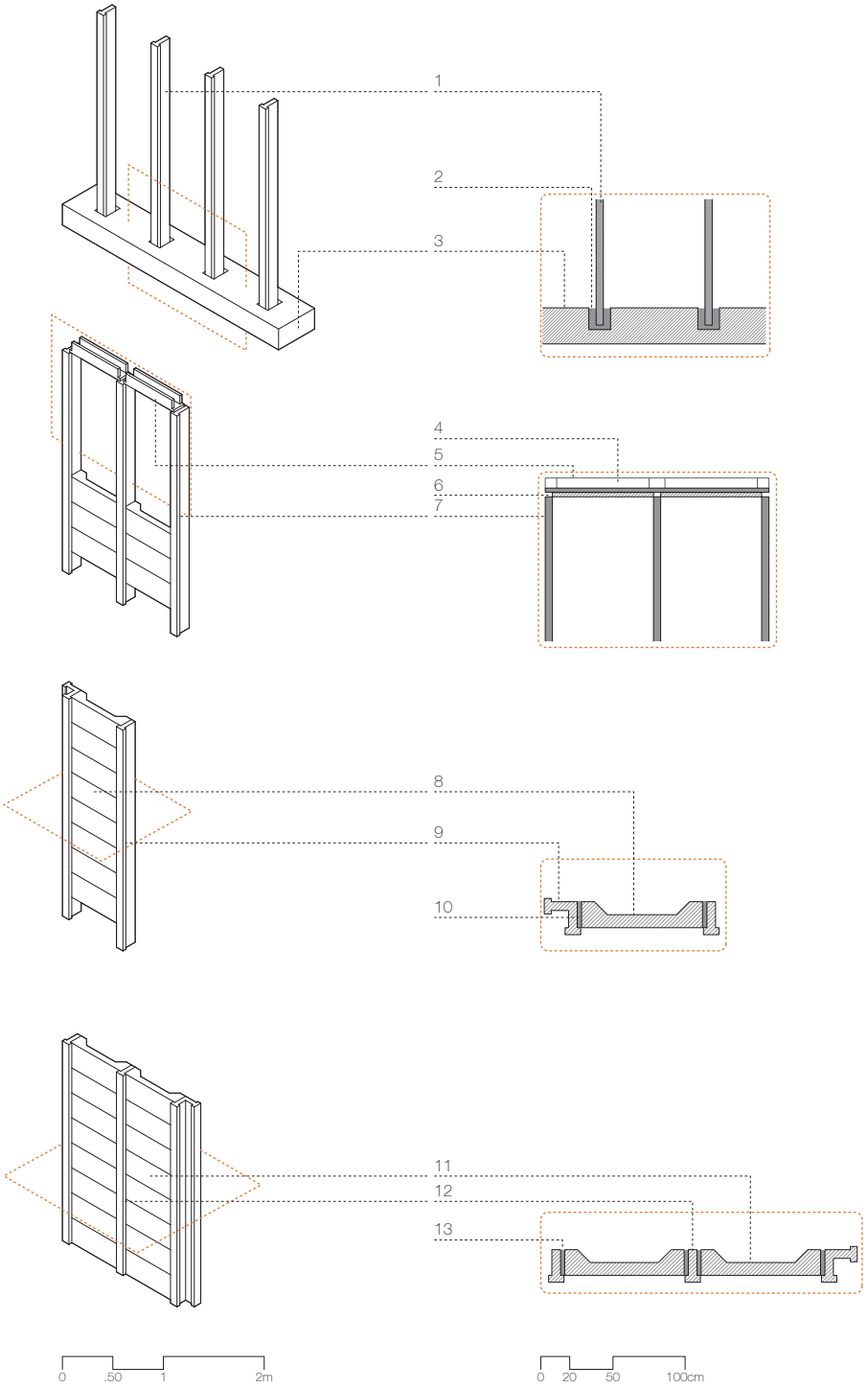
Gráfico 80
El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico

Ventajas

- Las proporciones de los elementos, su geometría y sus juntas permiten que este sistema se adapte a espacios modulares, y que se puedan transportar y utilizar en terrenos planos e inclinados, para configurar viviendas aisladas o colectivas.
- El sistema se puede utilizar en diferentes zonas climáticas (según el uso de paneles abiertos o cerrados) y para diferentes contextos culturales y sociales, ya que parte del proceso de construcción involucró a las comunidades que luego ocuparían los hogares.
- Un número reducido de elementos estructurales permite diferentes diseños arquitectónicos y ocupaciones del territorio. Estos elementos tienen proporciones que permiten su manejo sin herramientas especializadas: se fijan mediante ensambles geométricos entre los módulos del muro y columnas, o con juntas estructurales entre cimientos y columnas con varillas metálicas y vaciados de concreto. El sistema resuelve las juntas con el uso de materiales y herramientas convencionales, con el uso de mano de obra local.
- La ubicación de las columnas y paneles de muro se puede modificar de acuerdo con las características de la topografía, proponiendo diferentes tipos de viviendas y respondiendo al contexto con diferentes lenguajes.
- La ubicación de los módulos de muros estructurales permite la ventilación cruzada en espacios interiores. La coordinación modular permite diferentes proporciones en el espacio habitable con diferentes diseños según las condiciones del contexto o el número de integrantes de la familia.
- Las soluciones de fachada pueden estar relacionadas con las condiciones climáticas o culturales del contexto, de acuerdo con los deseos o gustos de sus habitantes.
- A través de la ubicación de elementos no estructurales, el espacio interior puede ser modificado de acuerdo con las necesidades de sus habitantes. Los módulos de pared pueden ser manipulados por una o dos personas sin la necesidad de herramientas especializadas.

Desventajas

- Este tipo de solución puede perder eficiencia en proyectos masivos que requieren mayores velocidades de construcción. Los elementos estructurales deben considerar otros tamaños, que permiten que el sistema se utilice en entornos urbanos y resuelva un mayor número de viviendas en menos tiempo.
- La configuración de este sistema condiciona la instalación de ascensores y rampas y funcionó mejor en viviendas de uno y dos pisos que en soluciones masivas de gran altura.



1. Columna prefabricada en concreto
2. Concreto vaciado *in-situ*
3. Losa de fundación prefabricada en concreto
4. Concreto vaciado *in-situ*
5. Viga prefabricada en concreto
6. Barras de acero
7. Columna prefabricada en concreto
8. Muro de fachada prefabricado en concreto
9. Columna prefabricada en concreto
10. Concreto vaciado *in-situ*
11. Muro de fachada prefabricado en concreto
12. Columna prefabricada en concreto
13. Concreto vaciado *in-situ*

Gráfico 81
Detalles constructivos

5.1.3. G-57, Antigua Checoslovaquia, 1957

Gráfico 82
Vista exterior

G-57. Antigua Checoslovaquia, 1957.	
Tipo de estructura	Muros estructurales
Tipo de prefabricación	Cerrada
Arquitecto inventor o diseñador	Bata: Bohumil Kula y Hynek Adamec
Áreas promedio por vivienda (en metros cuadrados)	35, 50, 65
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	40
Altura media de los edificios (en número de pisos)	5
Número de tipos de elementos prefabricados	33
Cimientos prefabricados para columnas	0
Vigas de cimentación prefabricadas para muros o vigas de amarre	0
Losas de cimentación prefabricadas	0
Columnas	0
Vigas	0
Paneles de fachada	20
Muros interiores	5
Losas de contrapiso y entrepiso	8
Losas para techos	0
Elementos especiales (buitrones, juntas, áreas comunes, toldos)	0
Escalera	0
Células espaciales estructurales	142
Tipos de juntas	Ganchos metálicos soldados

Información tomada de: Alonso y Palmarola, 2014. pp. 240-241, 269, 334-335. También tomado de: Panelové Domy, s. f.

Tabla 19
G-57, Antigua Checoslovaquia, 1957

Sistema y construcción

En 1957, los arquitectos Bohumil Kula y Hynek Adamec, de la compañía Bata, desarrollaron esta serie, conformada por muros estructurales que se especificaron para el diseño y la construcción de edificios residenciales con alturas promedio de cinco pisos. El diseño más repetido fue el que dispuso los grupos de escaleras entre dos unidades de vivienda, reduciendo así las áreas comunes y la circulación (Panelové, s. f.). Diferentes acabados podrían cubrir la superficie exterior de los paneles estructurales instalados en las fachadas. Se trataba de una monocapa de cerámica o de pintura aplicada sobre el concreto, permitiendo diferentes apariencias en los edificios. Las juntas entre sus componentes se especificaron mediante ganchos metálicos soldados, lo que permitió la producción de paneles de concreto prefabricado sin refuerzos interiores. Dada la eficiencia en el consumo de acero y la versatilidad en los acabados de la fachada, esta fue la serie de prefabricación con el mayor número de unidades construidas en Checoslovaquia donde se diseñó el sistema (Alonso y Palmarola, 2014, pp. 240-241).

La evolución de la tecnología de paneles estructurales fue diferente a la de la antigua Unión Soviética, ya que estos elementos alcanzaron otros desarrollos en dimensiones, juntas y acabados. En la antigua Unión Soviética, se propuso que la tipificación y la estandarización de los elementos estructurales fuera ampliada. Esta serie propuso el uso de dos ejes estructurales en los edificios de viviendas, ubicados en el área social con un área de servicio integrada a un baño sin iluminación o ventilación natural y una cocina orientada hacia la fachada exterior.

Los edificios, con alturas promedio entre cuatro y cinco pisos, con espacios con dimensiones similares entre ellos, redujeron el número de tipos de paneles necesarios para su construcción. Los diseños de las fachadas se realizaron bajo el principio de una orientación universal hacia los frentes principales, lo que permitió que las torres de viviendas se ubicaran en diferentes contextos, con fachadas abiertas hacia cualquiera de sus lados más largos, que se conocía como "orientación universal hacia el frente". Los muros interiores concebidos como elementos no estructurales en otros materiales o en concreto prefabricado fueron considerados para la subdivisión de los espacios interiores. La evolución del sistema hacia las series G-58 y G-59 permitió el uso de paneles estructurales y no estructurales más livianos, prefabricados en concreto con cemento y mezclas de plástico o con residuos de procesos industriales. Las columnas interiores de acero también se incorporaron en estas dos series, para crear una mayor flexibilidad en el espacio interior. La evolución del sistema también experimentó con la expresión exterior de los edificios, incluyendo paneles con diferentes colores y acabados, y ventanas con diseños circulares[24].

En 1961, en su libro *Nuevas Técnicas y Arquitectura en Checoslovaquia*, Karel Storch describió la tecnología del Sistema G-57 como una estructura de paneles que consta de cuatro elementos: paneles de carga interior, paneles de carga exterior, particiones entre espacios y losas de piso. Los paneles de carga formaban un sistema rígido transversal y longitudinal. La rigidez y la estabilidad de los elementos se resolvieron con soldaduras entre los paneles y un vaciado de concreto en estos puntos. Los paneles del piso se unieron mediante soldadura y morteros en sus juntas longitudinales, formando una losa monolítica que rigidiza la estructura[25].

24 Zarecor, Kimberly Elman. *Manufacturing a Socialist Modernity: Housing in Czechoslovakia, 1945-1960*. University of Pittsburgh Press. 2011, 480 p

25 Storch, Karel. *Nuevas Técnicas y Arquitectura en Checoslovaquia*. Union of Architects of Czechoslovakia. 1961. 154 p.

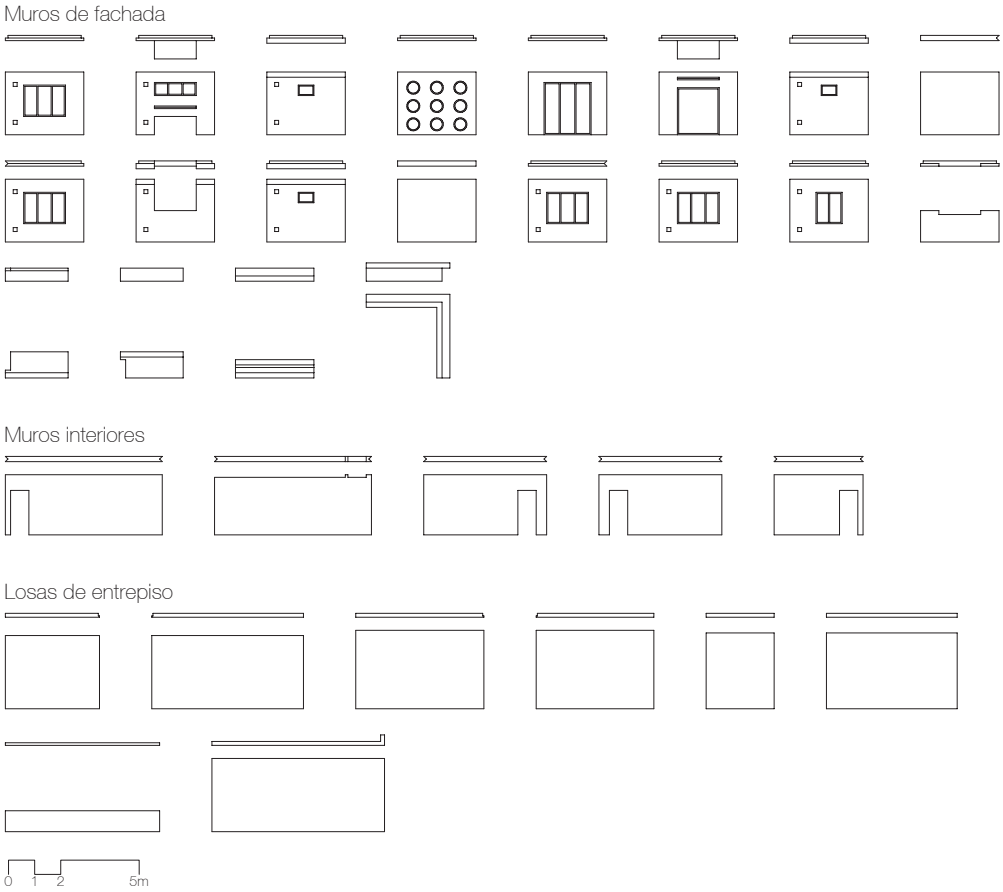
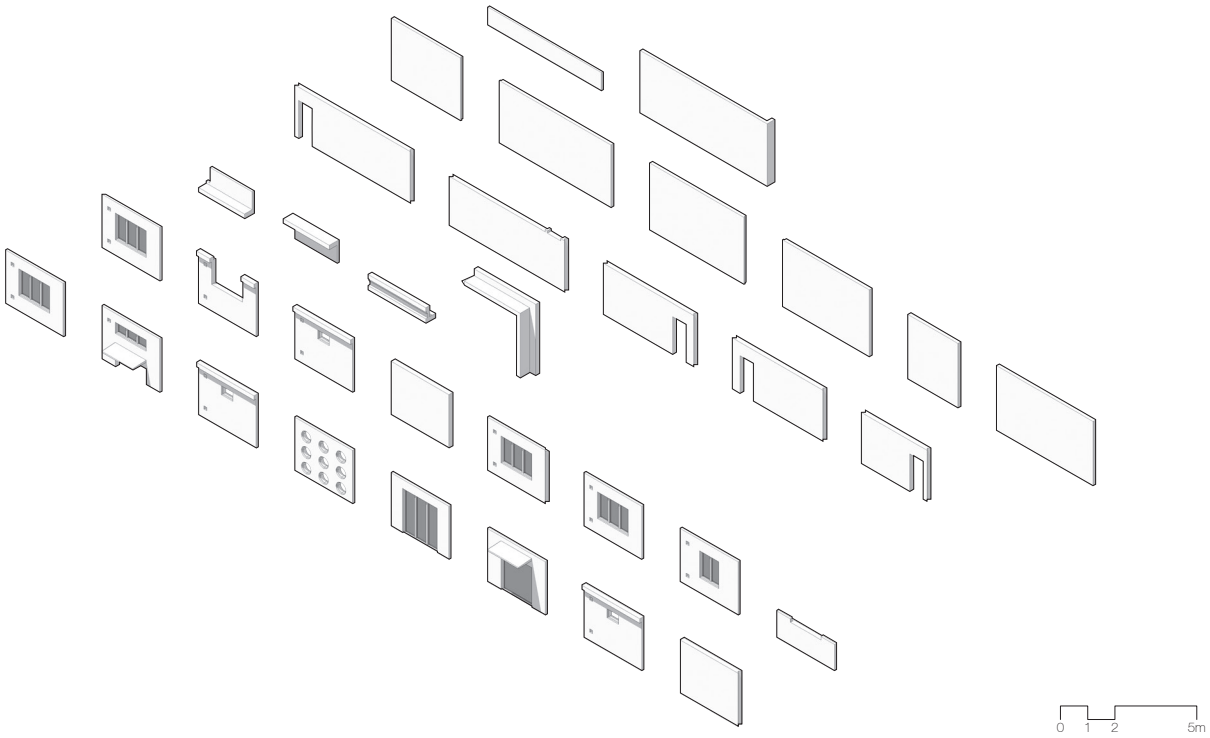


Gráfico 83
Componentes: Planta y fachada



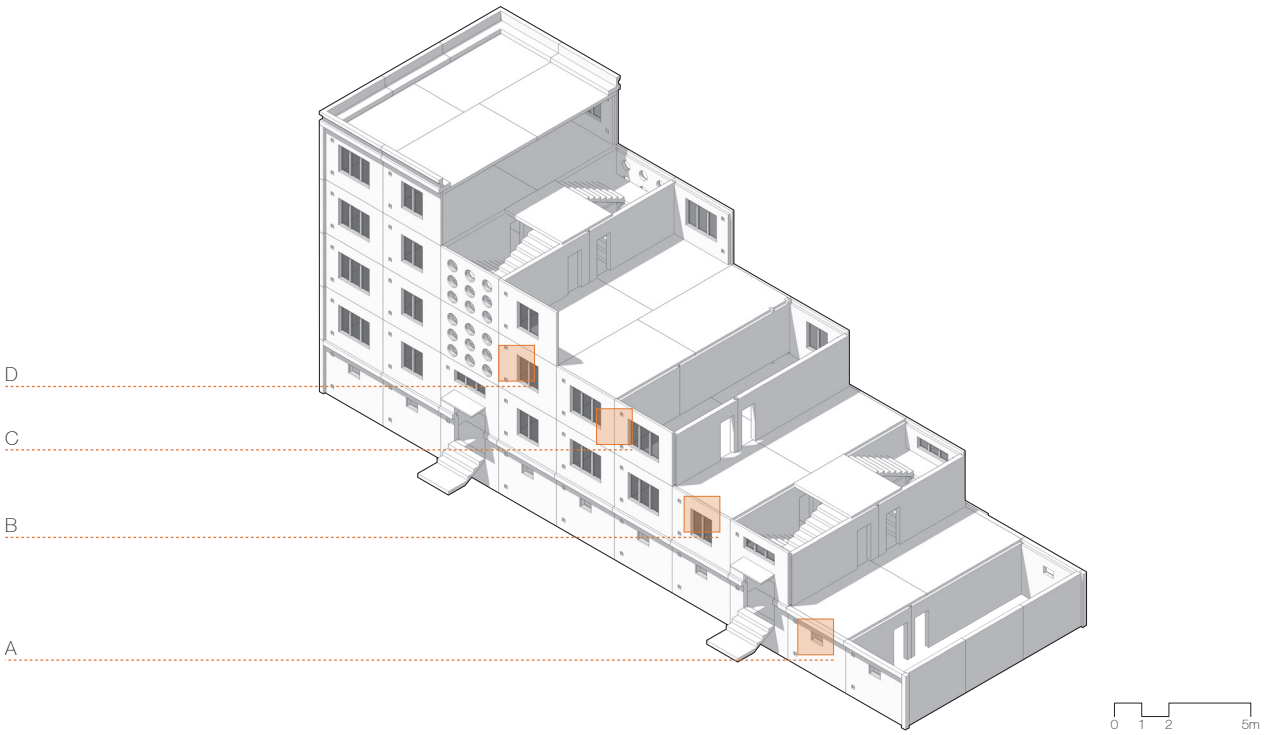


Gráfico 84
Componentes: Axonometría

Gráfico 85
Proceso de construcción

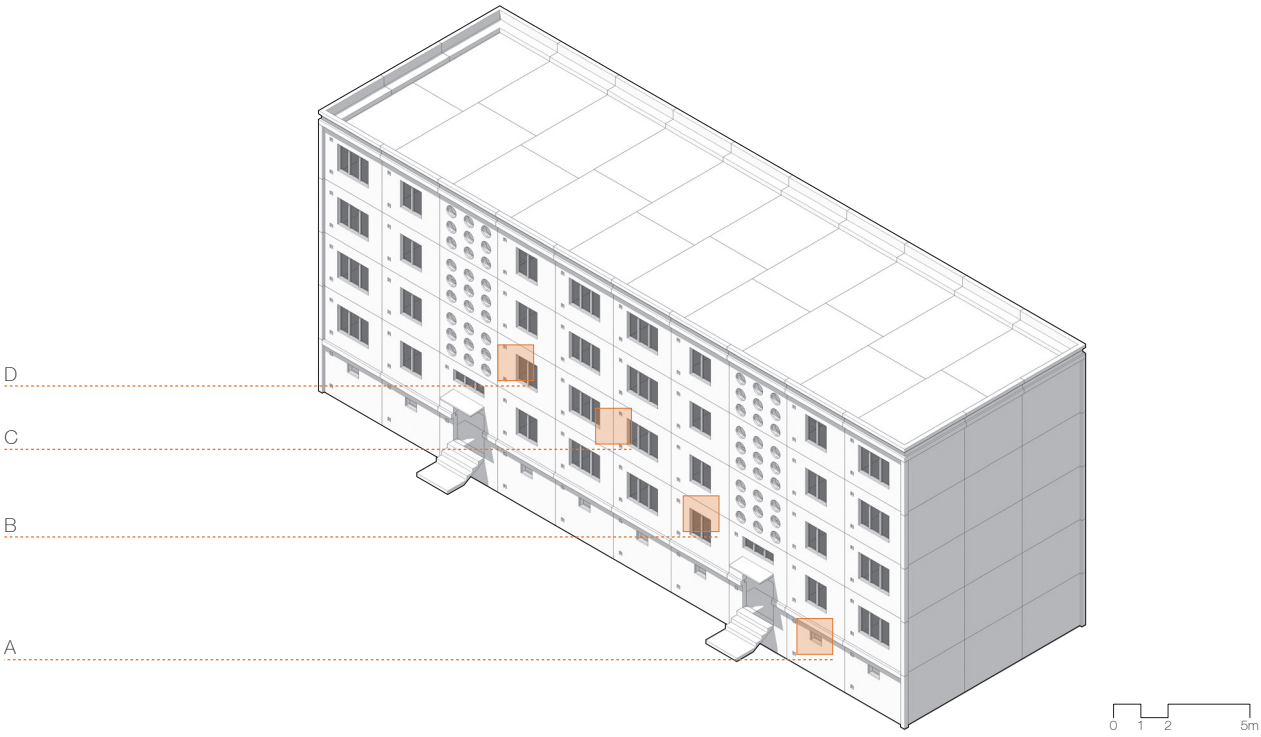


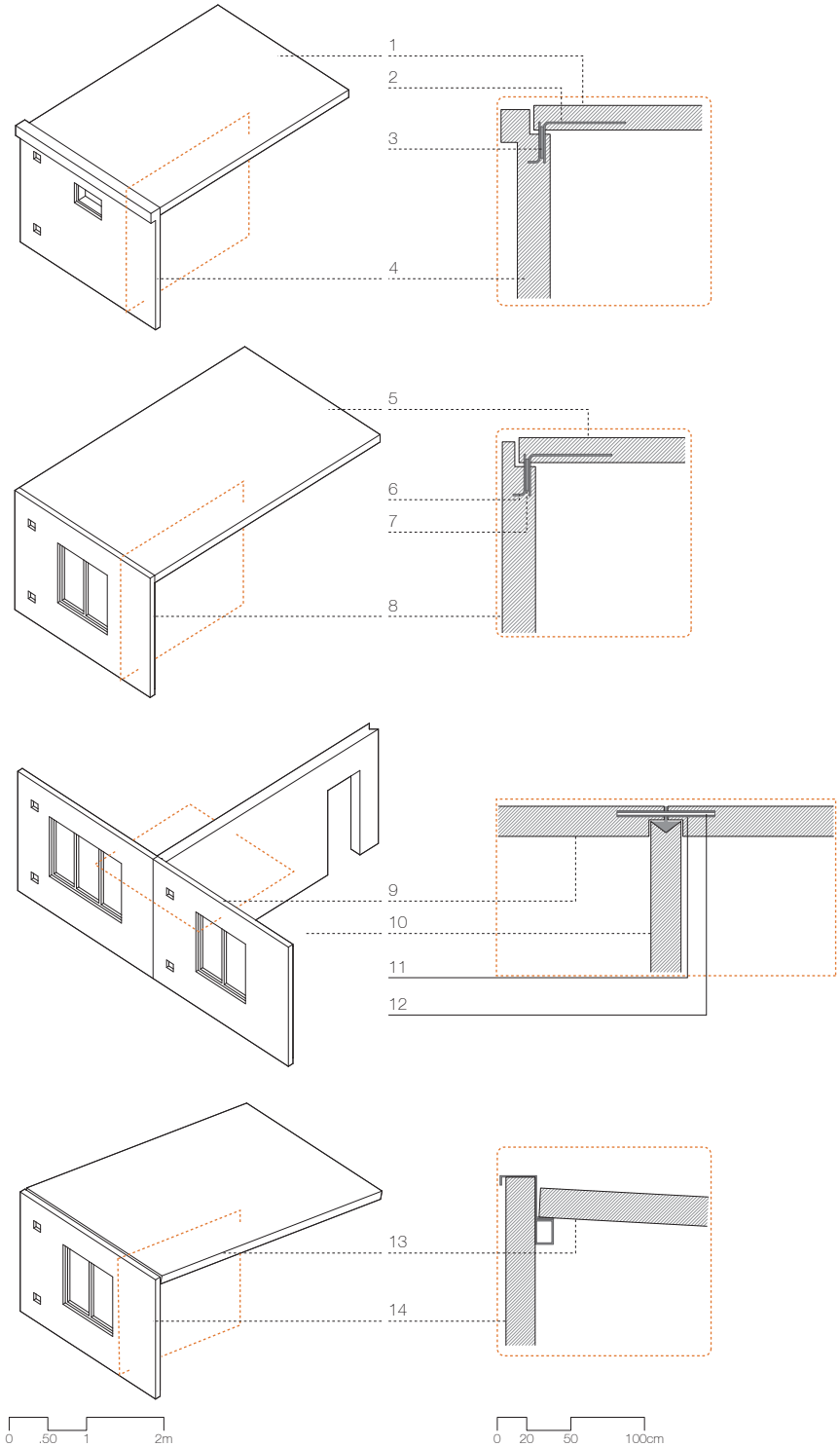
Gráfico 86
El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico

Ventajas

- Un número definido de paneles de fachada, paneles interiores y losas conforman un sistema coordinado modularmente que permite diferentes diseños.
- Los tipos de paneles y los sistemas de montaje permiten la construcción masiva y rápida de edificios de viviendas.
- Las dimensiones de los paneles les permiten ser transportados desde las plantas de producción al edificio. Estos paneles también pueden ser producidos en el sitio del proyecto.
- Los diseños arquitectónicos, basados en las geometrías de los paneles interiores y exteriores, hacen que la configuración del edificio tenga fachadas abiertas hacia sus lados más largos, lo que permite ubicar el proyecto con las condiciones visuales más favorables en diferentes contextos.
- El sistema propone divisiones no estructurales que permiten modificar o adaptar el espacio interior a las necesidades de sus habitantes.

Desventajas

- Los primeros pisos, a los que se accede por escaleras, hacen que los hogares sean inaccesibles para personas con discapacidades.
- El sistema consta de losas y paneles individuales que deben unirse entre sí en el proceso de construcción del edificio. Para mejorar la eficiencia en el proceso de instalación, el mayor número posible de juntas debe resolverse en la planta de producción y disminuir su cantidad para reducir el tiempo y los procesos en el sitio de ensamblaje.
- El sistema propone la posibilidad de considerar diferentes tipologías de paneles de fachada. Sin embargo, debido a que estos son paneles estructurales, las modificaciones que se pueden realizar son limitadas. El edificio, que condiciona su estructura para que forme parte de las fachadas, pierde posibilidades de expresión.
- La configuración del espacio interior presenta una unidad de baño sin iluminación ni ventilación natural, con una cocina orientada hacia la fachada, pero sin relación con el área social.
- La estética del edificio puede modificarse según los acabados de sus paneles de fachada, pero como son elementos estructurales, no se puede modificar su geometría ni su ubicación en las fachadas, lo que limita su lenguaje y sus posibilidades de expresión.



1. Losa prefabricada en concreto
2. Ganchos metálicos
3. Soldadura
4. Muro de fachada prefabricado en concreto
5. Losa prefabricada en concreto
6. Ganchos metálicos
7. Soldadura
8. Muro de fachada prefabricado en concreto
9. Muro de fachada prefabricado en concreto
10. Muro interior prefabricado en concreto
11. Ganchos metálicos
12. Soldadura
13. Losa prefabricada en concreto
14. Muro de fachada prefabricado en concreto

Gráfico 87
Detalles constructivos

5.1.4. Sistema IMS, Antigua Yugoslavia, 1957

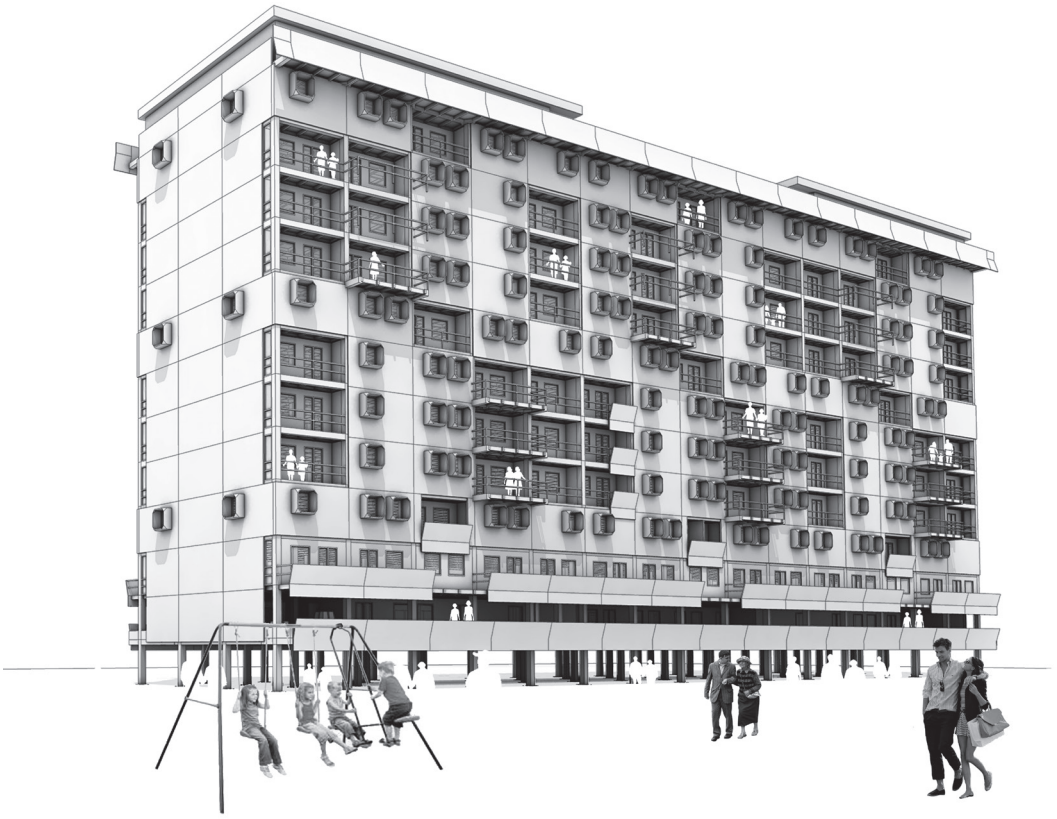


Gráfico 88
Vista exterior

Sistema IMS. Antigua Yugoslavia, 1957.	
Tipo de estructura	Muros esqueléticos o estructurales
Tipo de prefabricación	Abierta
Arquitecto inventor o diseñador	Instituto para el Ensayo de Materiales (IMS)
Áreas promedio por vivienda (en metros cuadrados)	De 38 a 95
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	De 12 a 120
Altura media de los edificios (en número de pisos)	De 3 a 25
Número de tipos de elementos prefabricados	34
Cimientos prefabricados para columnas	2
Vigas de cimentación prefabricadas para muros o vigas de amarre	2
Losas de cimentación prefabricadas	0
Columnas	2
Vigas	2
Paneles de fachada	7
Muros interiores	5
Losas de contrapiso y entrepiso	8
Losas para techos	0
Elementos especiales (buitrones, juntas, áreas comunes, toldos)	4
Escalera	2
Células espaciales estructurales	0
Tipos de juntas	Juntas postensadas

Información tomada de: Petrovic, 2000, p. 5. También tomado de: Dimitrijevic y Gavrilovic, 2000, pp. 3-12.

Tabla 20
Sistema IMS, Antigua Yugoslavia, 1957

Sistema y construcción

Desarrollado en 1957 por los Profesores de Ingeniería Branko Zezelj y Bosko Petrovic en el Instituto para el Ensayo de Materiales (IMS[26]) de Belgrado en la antigua Yugoslavia, este sistema esqueletal también utilizó algunas muros estructurales. Sus diseños especificaron columnas, vigas, losas y paneles de fachada o muros interiores prefabricados y pretensados, lo que aumentó su resistencia antes del proceso de instalación. Cuando se completan los cimientos del edificio, las columnas prefabricadas se anclan a ellos y se fijan con la ayuda de abrazaderas. Las juntas postensadas en dos direcciones, entre las columnas y las losas del piso o entre las columnas y las vigas de los bordes, se especificaron con rellenos de concreto vaciado *in situ* para aumentar la rigidez de las juntas. Una vez hecho esto, se aflojaron las abrazaderas que sujetaban las columnas. Posteriormente, las capiteles de apoyo se trasladaron al piso superior y se repitió la operación. Con la serie de prefabricación IMS, se construyeron edificios de hasta 25 pisos utilizando elementos estructurales y no estructurales de otras técnicas de construcción, lo que enfatizó su carácter abierto (Petrovic, 2000, pp. 4-8).

Entre 1960 y 1975, el Sistema IMS se utilizó para la construcción anual de un promedio de 7.000 apartamentos en la antigua Yugoslavia (Jovanovic, Grbic & Petrovic, 2004, pp. 179-183). Desde entonces, ha tenido nuevos desarrollos técnicos, que le han permitido mejorar la eficiencia en la producción de los elementos prefabricados y en su proceso de instalación. En Europa del Este, Europa Occidental y algunos países africanos, el Sistema IMS se ha replicado con éxito para viviendas de gran altura (Dimitrijevic, 1994, pp. 4-12).

En América Latina, este sistema también se usó para la construcción modular, rápida y económica de viviendas sociales. En los años 70 y 80 en Cuba, se usó a partir de una estructura de columnas separadas, cada una de 4,2m. Se utilizaron columnas prefabricadas de hasta tres pisos de altura y losas aligeradas en concreto prefabricado que se unieron mediante procesos de postensado.

Las losas del piso se terminaron con vigas de borde o losas en voladizo. Los elementos primarios del sistema (columnas, vigas y placas prefabricadas) eran compatibles con otros elementos secundarios (unidades de baño y cocina, muros divisorias, enchapes y otros acabados), que podrían construirse con diferentes materiales o pertenecer a otros sistemas de construcción.

La evolución del sistema permitió el diseño de nuevos elementos estructurales y de fachada, manteniendo entre ellos las juntas postensadas. Los elementos podrían ser construidos *in situ* o en plantas de producción de materiales. La versatilidad del sistema permitió el diseño de diferentes tipologías de vivienda a partir de los mismos elementos estructurales, lo que marcó una diferencia con los diferentes sistemas utilizados en Europa después de la II Guerra Mundial, que, a partir del mismo patrón de diseños, repitió las unidades de vivienda en diferentes contextos[27].

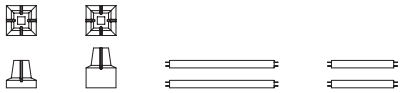
En el Sistema IMS, los elementos estructurales se ordenaron de acuerdo con los requisitos arquitectónicos. Desde el punto de vista constructivo, era deseable tener doble simetría en el diseño, especialmente en las zonas sísmicas, aunque el sistema permitía la distribución asimétrica de los muros divisorios de las escaleras. El Instituto IMS en Belgrado declaró que, con este sistema, se habían construido viviendas de diferentes costos y alturas en Europa y en países en desarrollo, así como edificios comerciales, públicos o industriales. La versatilidad del sistema permitió su uso en diferentes contextos y con diferentes usos[28].

26 Por su sigla en inglés

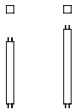
27 Dimitrijevic, Radovan. *Prestressing technology in housing – Yugoslav experience*, XII FIP Congress, IMS Institute Proceedings, 2 (Vol. XXI, 1994), Belgrade.

28 Dimitrijevic, Radovan and Gavrilovic, Branka. *Precast prestressed concrete skeleton in contemporary building - IMS System*. Belgrade: IMS Institute, 2000.

Fundaciones

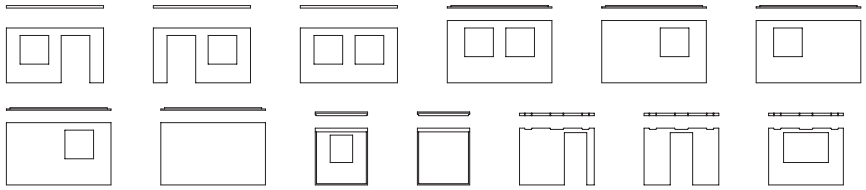


Columnas

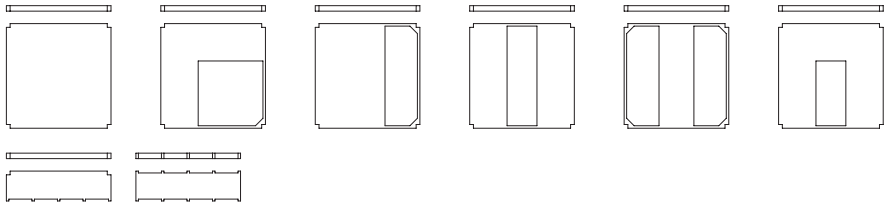


Vigas

Paneles de fachada



Losas de entrepiso



Otros elementos

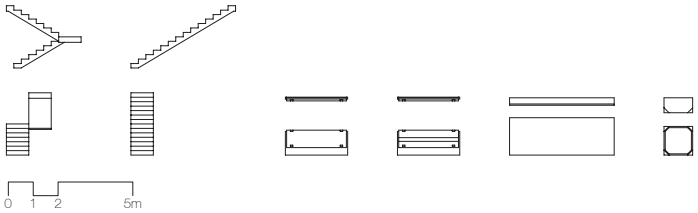
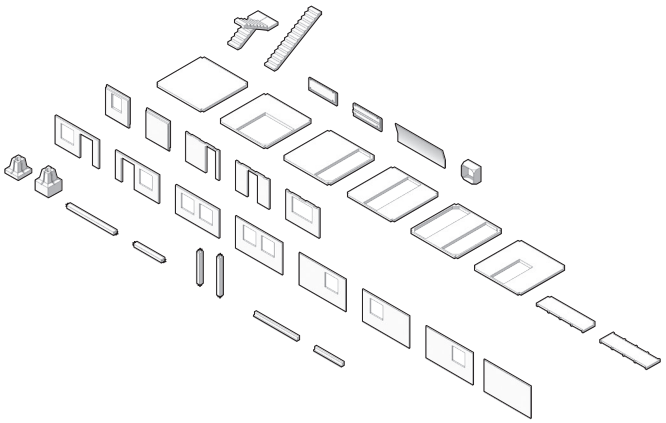
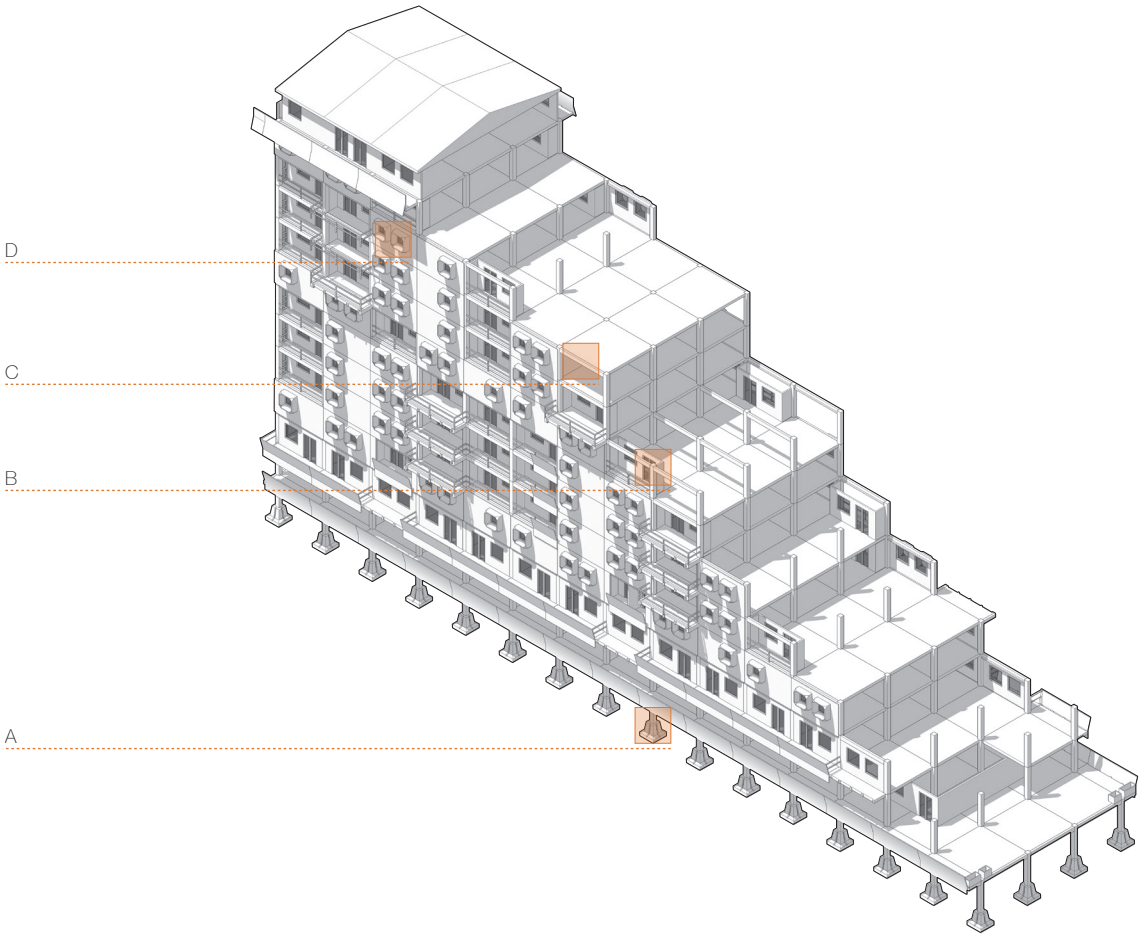


Gráfico 89
Componentes: Planta y fachada



0 1 2 5m



0 1 2 5m

Gráfico 90
Componentes: Axonometría

Gráfico 91
Proceso de construcción

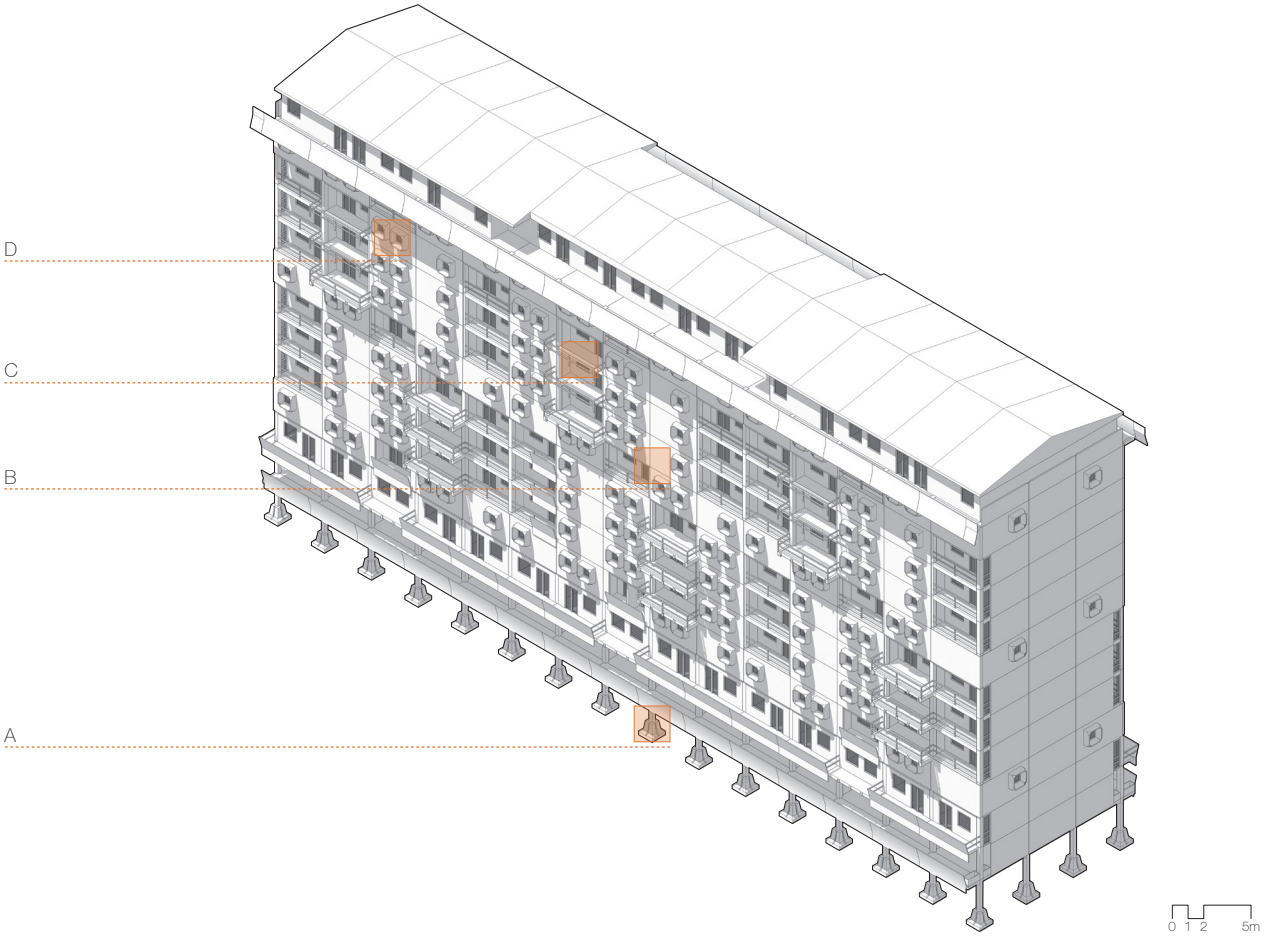


Gráfico 92
El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico

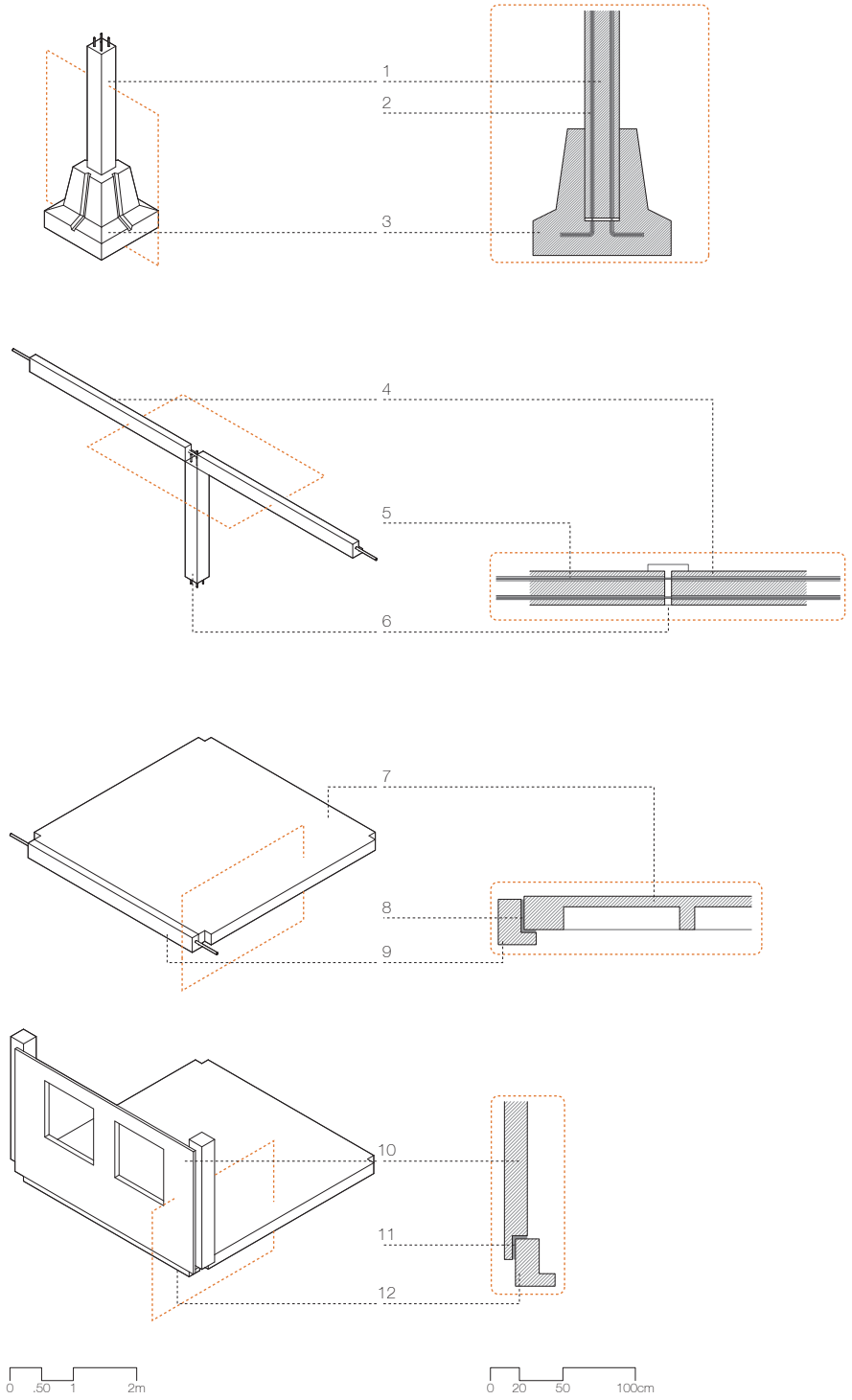
Ventajas

- El sistema opera con criterios de coordinación modular en sus elementos estructurales primarios (columnas, vigas, losas, muros y escaleras). Los elementos secundarios como los paneles de fachada o muros divisorios se pueden especificar en otros materiales.
- Debido a los pesos de los elementos, la versatilidad de su uso, la adaptabilidad a diferentes contextos y costos, se han construido viviendas en Europa, África y América.
- Según el catálogo IMS[29], el peso máximo de los elementos prefabricados es de siete toneladas. Esta condición permite el acceso a entornos urbanos y rurales en vehículos de carga con capacidades y proporciones ajustables a diferentes contextos. De acuerdo con sus características de geometría, peso y tamaño, estos elementos también pueden producirse en obra.
- La geometría de la estructura de soporte y la configuración de varios edificios con los mismos elementos estructurales, permite que el sistema se adapte a diferentes contextos geográficos, culturales y climáticos.
- Los diseños de los elementos estructurales controlan el número de variantes. Se unen mediante cables de postensado, que son refuerzos continuos que rigidizan integralmente la estructura. Estos cables se instalan con herramientas que aseguran una fijación eficiente entre elementos estructurales. Los refuerzos del postensado reducen la necesidad de vaciados en las juntas, soldaduras o amarres adicionales.
- El sistema permite la composición de sus fachadas con el uso de otros materiales. La estética del proyecto puede conformarse desde tradiciones técnicas, sociales y culturales, y no es la consecuencia de condicionantes o estándares constructivos. El sistema permite variaciones tipológicas en su espacio interior que se ajustan a las necesidades de sus habitantes.
- La ubicación de elementos no estructurales en la fachada y en los espacios interiores permite la modificación del espacio habitable en el proceso de ocupación.

Desventajas

- La cimentación de las columnas concentra las cargas y generalmente requiere el uso de elementos profundos, que aumentan los costos y el tiempo, y reducen la eficiencia en el proceso constructivo. La capacidad de carga de los terrenos disponibles en el departamento de Antioquia no es alta y los suelos disponibles son los menos resistentes.

29 IMS RD Institute Belgrade. *IMS Building Technology: Precast Prestressed Concrete Skeleton in Contemporary Building.* Belgrade. Accedido el 31 de mayo de 2017; disponible en www.institutims.co.yu.



1. Columna prefabricada en concreto
2. Cable postensado
3. Fundación prefabricada en concreto
4. Viga prefabricada en concreto
5. Cable postensado
6. Columna prefabricada en concreto
7. Losa prefabricada en concreto
8. Unión entre elementos prefabricados
9. Viga prefabricada en concreto
10. Muro de fachada prefabricado en concreto
11. Unión entre elementos prefabricados
12. Viga prefabricada en concreto

Gráfico 93
Detalles constructivos

5.1.5. 1-335, Antigua Unión Soviética, 1959

Gráfico 94
Vista exterior

1-335. Antigua Unión Soviética, 1959.	
Tipo de estructura	Mixta: Muros estructurales y sistema esqueletal
Tipo de prefabricación	Cerrada
Arquitecto inventor o diseñador	Vitaly Lagutenko y el Sistema Soviética DSC
Áreas promedio por vivienda (en metros cuadrados)	30, 45, 60, 75
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	40
Altura media de los edificios (en número de pisos)	5
Número de tipos de elementos prefabricados	42
Cimientos prefabricados para columnas	2
Vigas de cimentación prefabricadas para muros o vigas de amarre	4
Losas de cimentación prefabricadas	4
Columnas	3
Vigas	4
Paneles de fachada	7
Muros interiores	4
Losas de contrapiso y entrepiso	7
Losas para techos	8
Elementos especiales (buitrones, juntas, áreas comunes, toldos)	0
Escalera	2
Células espaciales estructurales	0
Tipos de juntas	Ensamblajes

Información tomada de: Alonso y Palmarola, 2014. pp. 198-199, 248, 286-287

Tabla 21
1-335, Antigua Unión Soviética, 1959

Sistema y construcción

Concebido en la antigua Unión Soviética, en 1959, el sistema estructural mixto 1-335 combinaba elementos de concreto prefabricado del sistema de muros estructurales con elementos pertenecientes al sistema de estructuras esqueletales. Con esta serie, se construyeron edificios residenciales de un promedio de cinco pisos de altura entre 1959 y 1966. El ensamblaje de los paneles con vigas y columnas explica la complejidad de este sistema mixto, articulado a través de ganchos de metal unidos por soldadura y concreto vaciado *in situ*. Debido al problema del aislamiento térmico entre los elementos de construcción, fue reconocido como el más desafortunado de todas las series de prefabricación de edificios residenciales desarrollados bajo el gobierno de Nikita Khrushchev. Posteriormente, las series 1-335K, 1-335A, 1-335AK y 1-335D se produjeron hasta finales de los años ochenta. Hubo al menos 26 variaciones, pero ninguna de ellas incluyó ascensores o ductos de basura, lo que generó condiciones adversas en la ocupación de las casas (Alonso y Palmarola, 2014, pp. 198-199).

Habiendo analizado las ventajas y desventajas del sistema, la prefabricación soviética continuó produciendo grandes paneles y apuntó a continuar la búsqueda de una arquitectura que lograría una mayor eficiencia, mostrando una cierta falta de interés en las tradiciones artísticas nacionales y los estilos históricos de la vivienda rusa. El objetivo principal fue establecer soluciones a los problemas de diseño a través de nuevos avances tecnológicos en la producción de elementos prefabricados a gran escala, como paneles de fachada y losas de piso, que se combinaron con elementos pertenecientes a sistemas esqueletales, como columnas y vigas de concreto prefabricado. La repetitividad de los elementos estructurales, que formaron fachadas y espacios interiores, sirvió para formar barrios completos que se construyeron con este sistema que con el tiempo fueron modificados parcialmente por sus habitantes con intervenciones en sus fachadas o en los elementos no estructurales del espacio interior. En este sistema y sus desarrollos posteriores, se evidenciaron tres principios asociados con la eficiencia que se quería transmitir a partir de los diseños y los procesos de construcción: un aumento de la productividad, la promoción de la igualdad entre la clase trabajadora y la satisfacción del deseo de los trabajadores de tener una casa. En este contexto, donde se unieron la especulación artística y el debate político, la diversificación del lenguaje y la riqueza tipológica de estas casas fue un campo relativamente inexplorado en sus desarrollos posteriores[30]. El mayor número de edificios construidos con esta serie de prefabricación se encuentra en San Petersburgo debido a que sus condiciones climáticas no son tan extremas como las de Moscú. Existe un programa de rehabilitación estructural para algunos de estos edificios y otros han sido demolidos.

30 Alonso, Pedro. *De Abstracto a Concreto*. ARQ 82: Manufacturing and Constructing. Diciembre 2012. Accedido el 31 de mayo de 2017; disponible en: http://www.edicionesarq.cl/2014/de-abstracto-a-concreto/.

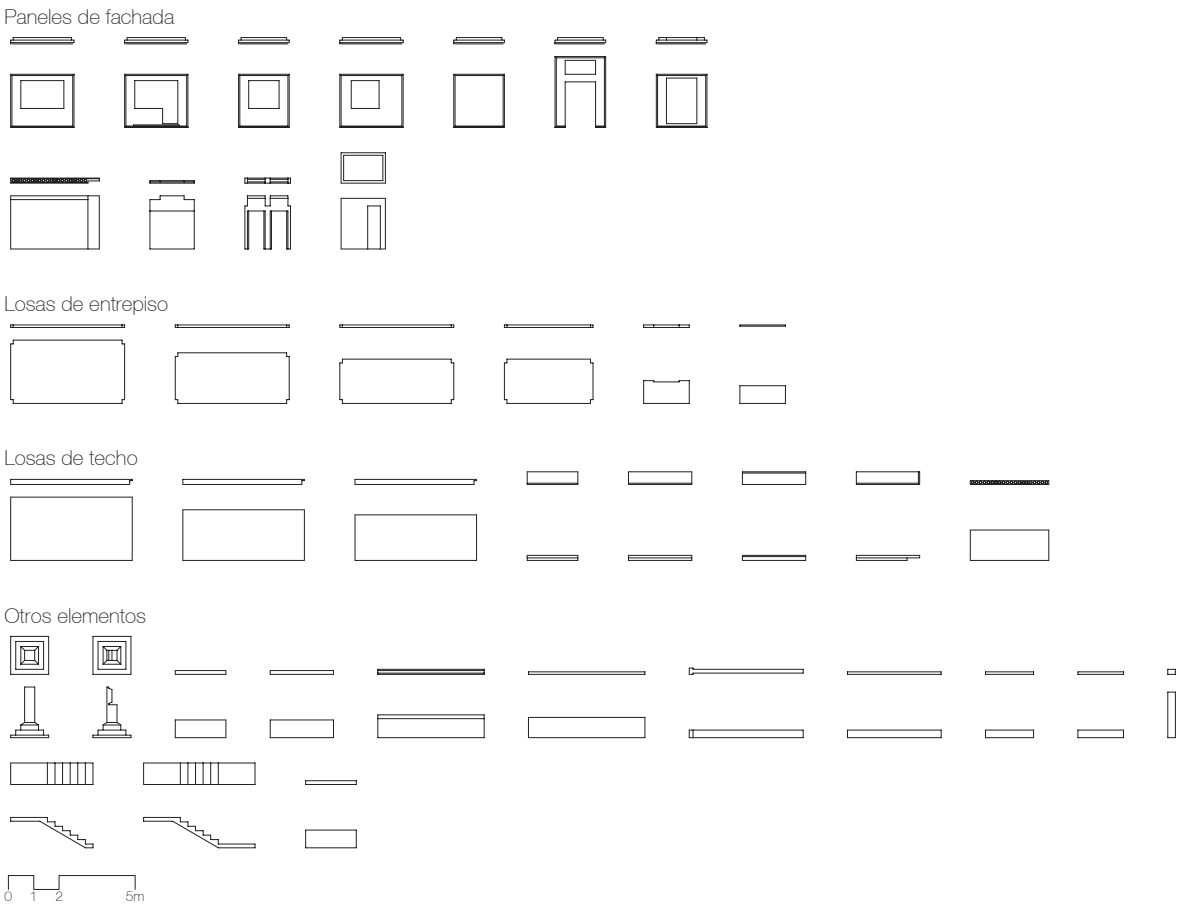
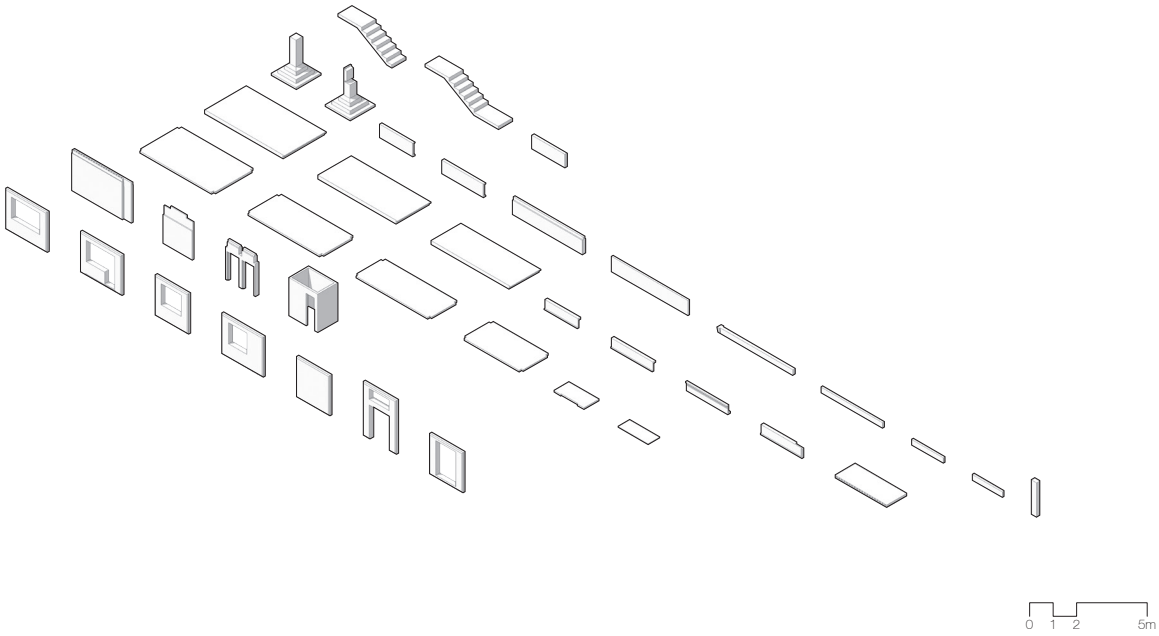


Gráfico 95
Componentes: Planta y fachada



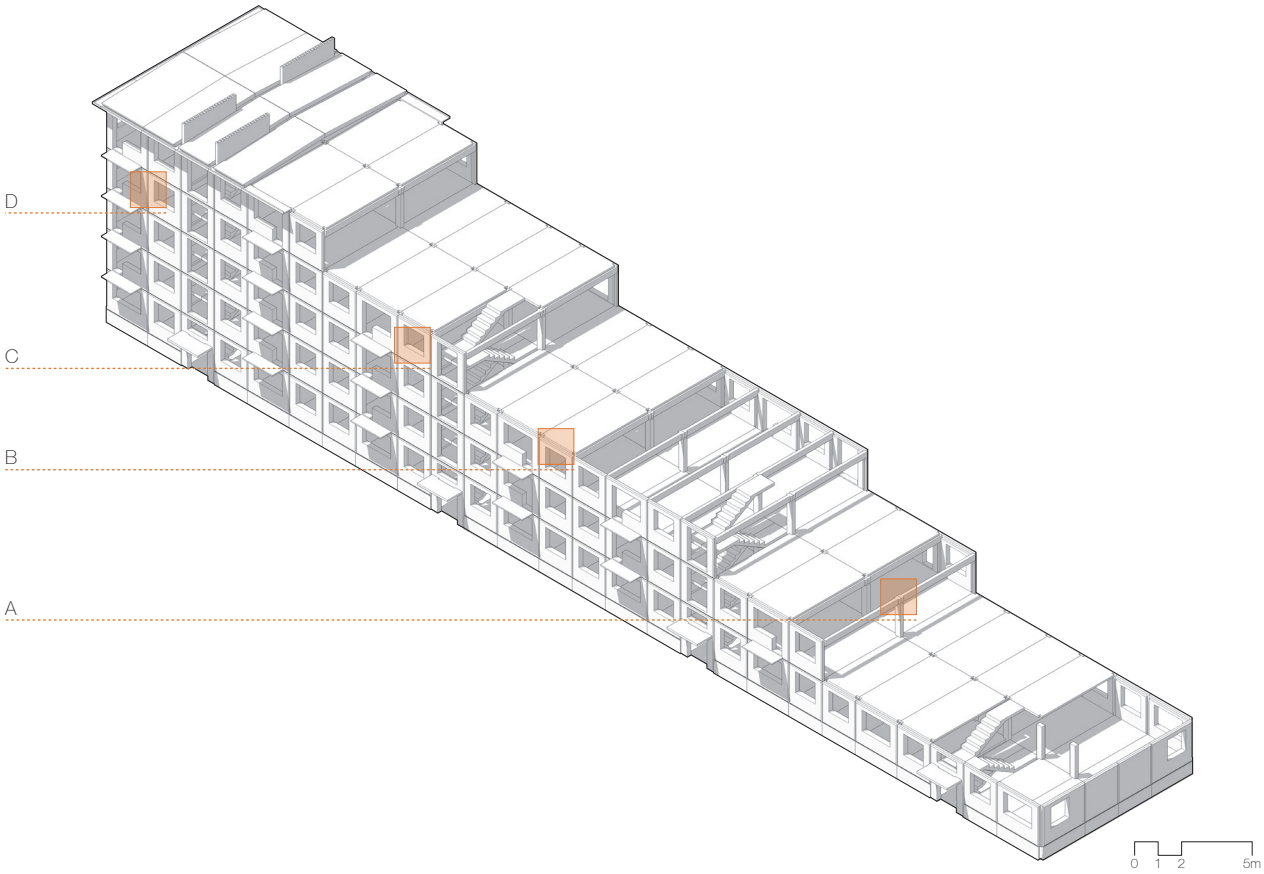


Gráfico 96
Componentes: Axonometría

Gráfico 97
Proceso de construcción

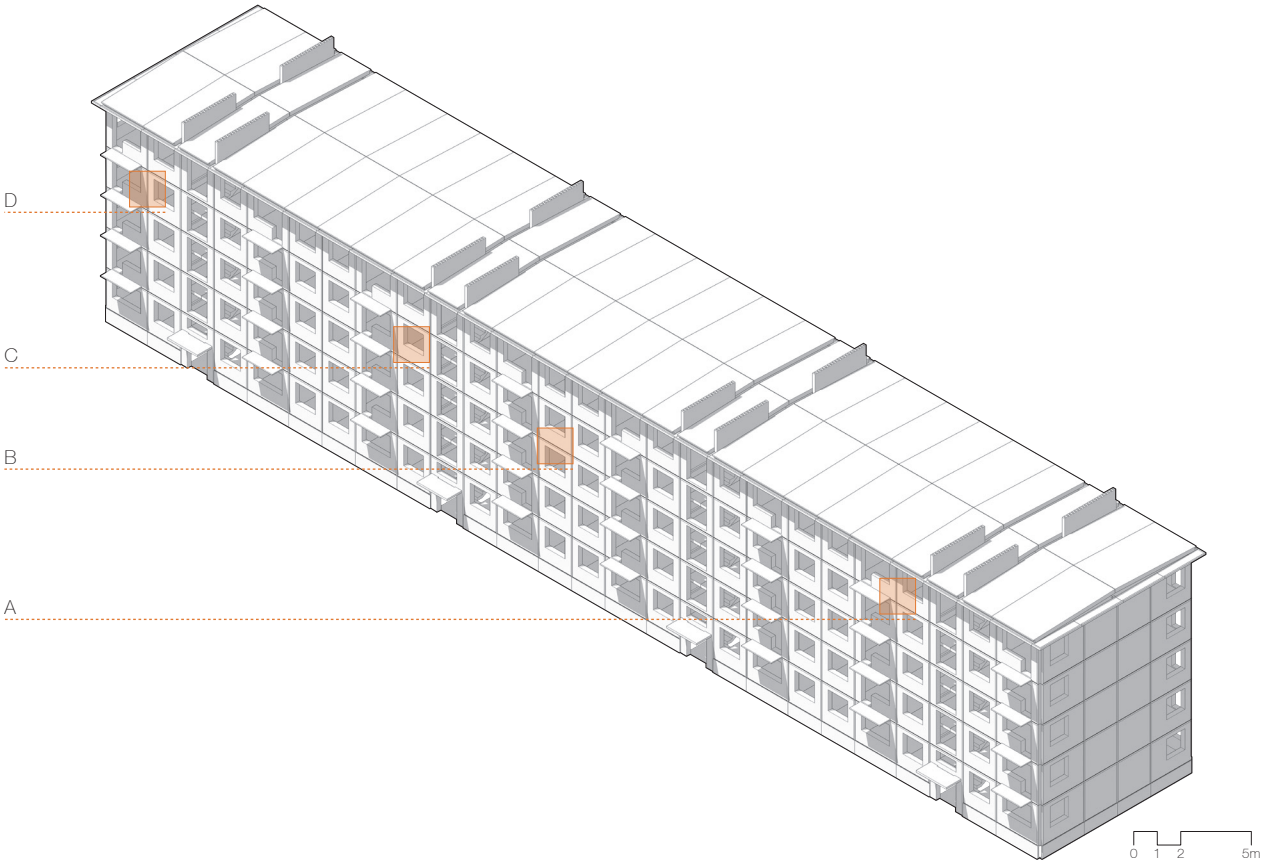


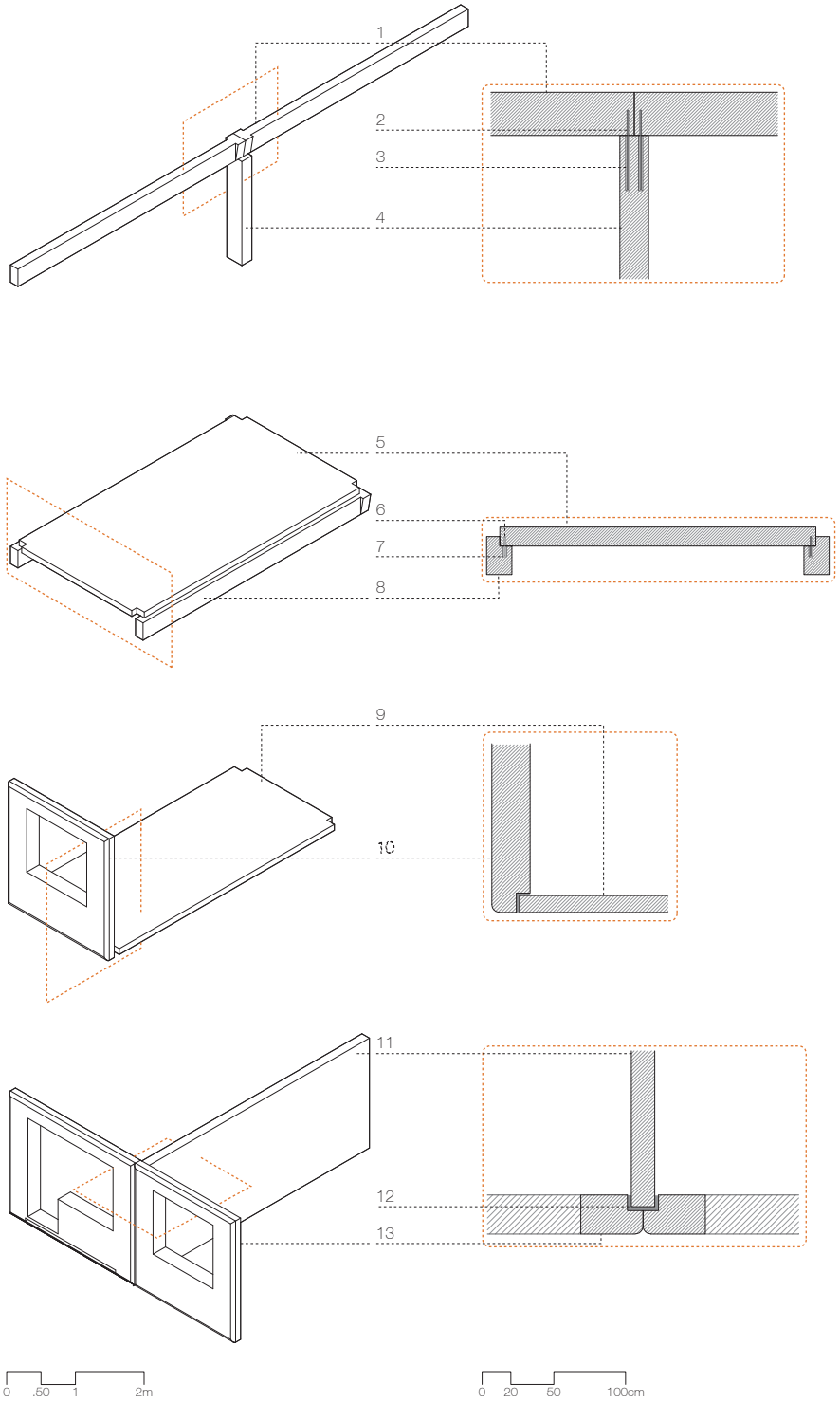
Gráfico 98
El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico

Ventajas

- Cada uno de los elementos tiene dimensiones y proporciones compatibles entre sí, lo que generó una coordinación dimensional entre losas, paneles de fachada, muros interiores, columnas y vigas.
- Las dimensiones de los paneles, losas, vigas y columnas permitieron su transporte desde la planta hasta el lugar de trabajo y la construcción de algunos de estos elementos *in situ*.
- Las juntas fueron hechas a través de ensambles geométricos y vaciados en concreto que sirvieron para rigidizarlas. Esto permitió la combinación de sistemas, lo que redujo sus costos en comparación con otros sistemas de prefabricación utilizados anteriormente. Las velocidades de instalación también fueron más eficientes debido a la simplicidad de sus juntas, lo que permitió la construcción masiva de edificios con un adecuado control de los costos y el tiempo.
- Algunas partes de los espacios interiores podrían ser modificadas por los usuarios una vez ocupadas las viviendas. Todas los muros interiores no fueron concebidos como elementos estructurales, lo que permitió la variación en el programa, de acuerdo con las necesidades de los usuarios.
- La incrementalidad en el área de las viviendas no fue posible debido a su configuración, pero el espacio interior se modificó reemplazando, modificando o eliminando algunas de sus divisiones interiores, originalmente concebidas como elementos no estructurales.

Desventajas

- Las características técnicas permitieron que el sistema se construyera en otros contextos, pero sin adaptarse completamente a sus condiciones climáticas o las características urbanas del entorno.
- En diferentes contextos, el sistema no tuvo la misma respuesta en términos ambientales o bioclimáticos debido a las uniones entre sus muros y las características de sus aislamientos.
- Estos edificios fueron concebidos fundamentalmente en grupos de hasta cinco pisos, en los cuales no se instalaron ascensores, lo que restringió la posibilidad de que algunas personas accedan a cada uno de sus niveles.
- El sistema fue concebido para contextos en los que las temperaturas no eran muy extremas. Los aislamientos interiores y las fugas de aire en sus empalmes hicieron que la mayoría de las casas se construyeran en San Petersburgo, donde las condiciones climáticas no eran tan extremas como en Moscú.
- Los paneles estructurales de la fachada tenían pocas variaciones entre ellos, lo que generó lenguajes similares para el sistema en diferentes contextos.



1. Viga prefabricada en concreto
2. Barras de acero
3. Concreto vaciado *in-situ*
4. Columna prefabricada en concreto
5. Losa prefabricada en concreto
6. Barras de acero
7. Concreto vaciado *in-situ*
8. Viga prefabricada en concreto
9. Losa prefabricada en concreto
10. Muro de fachada prefabricado en concreto
11. Muro interior prefabricado en concreto
12. Concreto vaciado *in-situ*
13. Muro de fachada prefabricado en concreto

Gráfico 99
Detalles constructivos

5.1.6. Otros proyectos

5.1.6.1. Unidad Vecinal Muzú. Bogotá, Colombia, 1949

La Unidad Vecinal Muzú, diseñada con el sistema de muros estructurales por el arquitecto Jorge Gaitán Cortés y el equipo de arquitectos del Instituto de Crédito Territorial (ICT), contaba con el asesoramiento técnico de Álvaro Ortega y el ingeniero Guillermo González Zuleta. Desde 1946, el arquitecto e inventor Álvaro Ortega había adaptado la patente de "concreto al vacío" al contexto local, lo que aumentó la resistencia de este material y redujo el consumo de cemento (Piñeiro, 1953, citado en Escovar, 2006, p. 89). El sistema consistía en aplicar un vacío a la mezcla de concreto a través de una bomba de aire (Escovar, 2006, p. 89). Con este principio, se diseñaron y produjeron elementos prefabricados para la construcción de algunas viviendas sociales en Colombia (Villazón, 2001, citado en Escovar, 2006, p. 89). Este complejo residencial estaba compuesto por 1.216 casas de dos pisos. La propuesta urbana consideró módulos con cuatro, seis y ocho casas agrupadas en patios, con jardines y áreas verdes exteriores, lo que redujo la densidad de ocupación inicial. Para mejorar y optimizar los recursos de construcción de viviendas sociales, el proyecto experimentó con la combinación de concreto prefabricado con diferentes materiales, como piezas de cerámica para aumentar su resistencia y reducir los espesores en muros, altillos y techos. Los elementos prefabricados se unieron con barras de metal y concreto vaciado *in situ*. El ICT propuso el uso progresivo de elementos estructurales y no estructurales prefabricados de concreto para sus unidades vecinales desde ese momento.

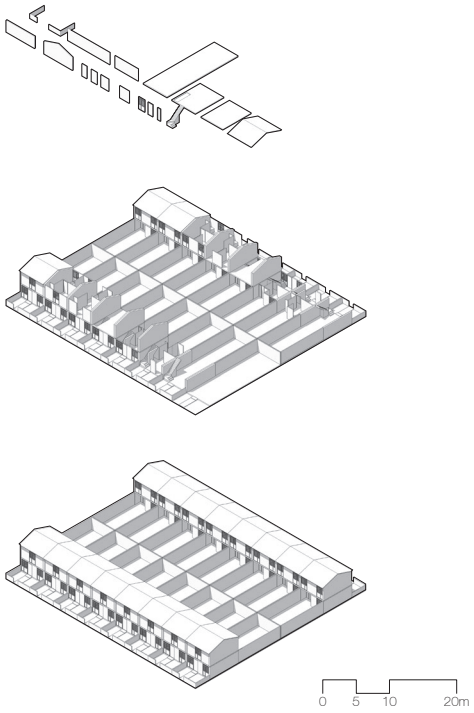


Gráfico 100
Unidad Vecinal Muzú. Bogotá, Colombia, 1949. Proceso de construcción

5.1.6.2. 1-510, Antigua Unión Soviética, 1957

Desarrollada por SAKB, el Instituto especializado de arquitectura y diseño, esta serie formada por muros estructurales se produjo y utilizó en la antigua URSS entre 1957 y 1968 para la construcción de edificios residenciales con alturas promedio de cinco pisos. Fue utilizado para viviendas de trabajadores en Moscú con tipologías de una, dos y tres habitaciones, y con áreas entre 32 y 55 m². Cada uno tenía un balcón que comenzaba en el segundo piso.

Los muros interiores no eran estructurales y, por lo tanto, se podían quitar, mover o modificar. Los paneles de fachada se especificaron con lana mineral en su interior para aislamiento térmico. La unión entre los elementos prefabricados se diseñó con conectores metálicos reforzados con concreto vaciado *in situ* entre las juntas. En un período de once años, se construyeron aproximadamente 3,7 millones de m² para residencias de la clase trabajadora en la antigua URSS y algunos países de Europa del Este (Alonso y Palmarola, 2014, pp. 194-195).

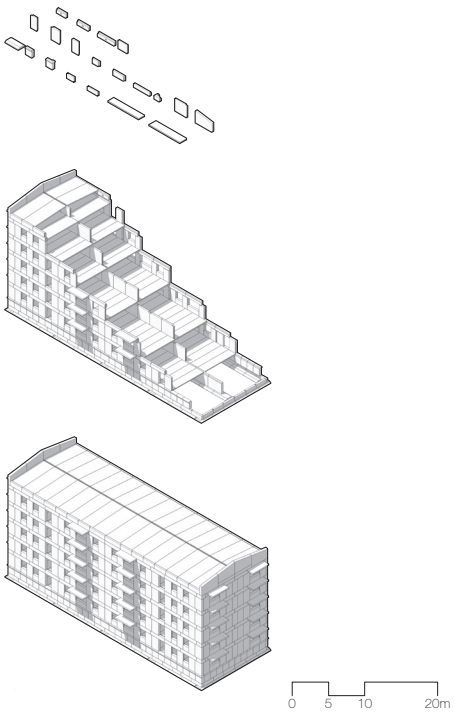


Gráfico 101
1-510, Antigua Unión Soviética, 1957. Proceso de construcción

5.1.6.3. K-7, Antigua Unión Soviética, 1958

Después de cuatro años de experimentación, el ingeniero Vitaly Lagutenko, planificador jefe de Moscú desde 1956, diseñó – junto con el grupo técnico soviético DSC (ДСК) – el proceso de construcción industrializada a gran escala K-7. Esta serie, formada por muros estructurales, se caracterizó por su construcción laminar, priorizando la colaboración estructural entre los elementos planos y más ligeros que los utilizados por las series anteriores de prefabricación, para distribuir las cargas en la menor cantidad posible de material. Las uniones entre los elementos se hicieron a través de barras de metal soldadas que se hormigonaron para rigidizar las uniones.

Casi todos los edificios construidos con este sistema tenían cinco pisos de altura porque las regulaciones soviéticas de salud y seguridad lo establecían cuando las unidades de vivienda no tenían ascensor. Los apartamentos típicos de la serie K-7 fueron concebidos con un área total de 30 m² (una habitación), 44 m² (dos habitaciones) y 60 m² (tres habitaciones). Los baños y las cocinas se fabricaron en plantas industriales y luego se conectaron a las instalaciones dispuestas en la construcción (Condo Madness, s. f.). También conocido como Khrushchyovka, este tipo de edificio de apartamentos se replicó unas 70.000 veces en la antigua URSS y en algunos países de Europa del Este (Alonso y Palmarola, 2014, pp. 192-193).

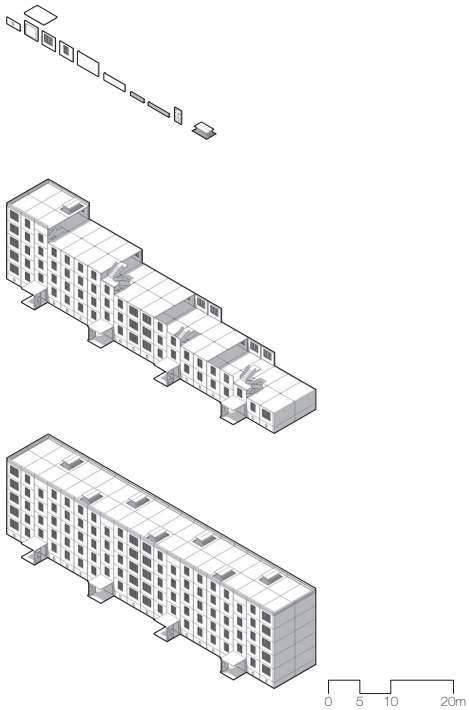


Gráfico 102
K-7. Antigua Unión Soviética, 1958. Proceso de construcción

5.1.6.4. Gran Panel IV. Cuba, 1959

Desde 1959 hasta 1969, el Gobierno de Cuba comenzó a experimentar y desarrollar paneles de concreto prefabricado con la asistencia de técnicos soviéticos. El Gran Panel IV fue el primer sistema industrializado concebido y producido en Cuba. Estaba formado por muros estructurales y se usaba para construir edificios residenciales de cuatro y cinco pisos. Para adaptarlo al contexto cubano, el grosor original de los paneles de fachada tuvo que reducirse a 12cm, casi un tercio del grosor original de los paneles producidos en la URSS. La distribución arquitectónica más repetida fue la que organizó el volumen de las escaleras en medio de dos unidades de vivienda, reduciendo las áreas comunes y permitiendo llegar directamente a cada uno de los apartamentos. En el interior, las áreas de servicio (cocinas y baños) estaban ubicadas junto a las áreas comunes para hacer más eficientes las rutas de las instalaciones eléctricas e hidrosanitarias. La unión entre los elementos prefabricados estructurales se realizó mediante conectores metálicos y vaciados de concreto para rigidizar las uniones. El punto más alto se alcanzó en 1970, cuando 22 fábricas produjeron cerca de 10.750 hogares. Sin embargo, los edificios construidos con el Gran Panel IV fueron ampliamente criticados por la calidad de su construcción, por el lenguaje repetitivo de sus fachadas y por la falta de continuidad estructural entre los paneles exteriores e interiores con las losas de entrepiso (Alonso y Palmarola, 2014 , pp. 206-207).

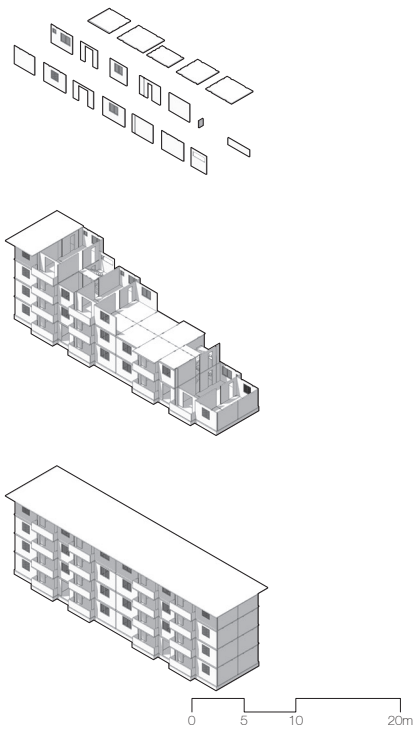


Gráfico 103
Gran Panel IV. Cuba, 1959. Proceso de construcción

5.2. Años 60

5.2.1. VAM, Países Bajos, 1961

Gráfico 104
Vista exterior

VAM. Países Bajos, 1961.	
Tipo de estructura	Muros estructurales
Tipo de prefabricación	Abierta
Arquitecto inventor o diseñador	Una empresa holandesa privada
Áreas promedio por vivienda (en metros cuadrados)	45, 70, 90
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	24
Altura media de los edificios (en número de pisos)	4
Número de tipos de elementos prefabricados	24
Cimientos prefabricados para columnas	0
Vigas de cimentación prefabricadas para muros o vigas de amarre	0
Losas de cimentación prefabricadas	0
Columnas	0
Vigas	0
Paneles de fachada	8
Muros interiores	5
Losas de contrapiso y entrepiso	5
Losas para techos	0
Elementos especiales (buitrones, juntas, áreas comunes, toldos)	5
Escalera	1
Células espaciales estructurales	0
Tipos de juntas	Ensamblajes, barras metálicas soldadas, concreto

Información tomada de: Alonso y Palmarola, 2014, pp. 212-213, 255, 302-303.

Tabla 22
VAM, Países Bajos, 1961.

Sistema y construcción

Esta serie fue concebida en Holanda y Alemania Occidental en 1961. Es un sistema de muros estructurales en el que se construyeron edificios con una altura promedio de cuatro pisos, apoyados en estructuras de hormigón vaciado o mampostería estructural en el primer piso. Los usos públicos del primer piso complementaron las unidades de vivienda construidas. Los paneles de fachada se especificaron con una capa exterior de concreto pretensado, generalmente enlucido con otros materiales de acabado (piedras, ladrillo o grava), una capa intermedia de aislamiento térmico compuesto de lana mineral y una pared interior de concreto liviano. Las juntas fueron hechas por ensamblajes o por nudos entre las barras metálicas, que se rigidizaron con concreto vaciado *in situ*. Las losas de entrepiso se produjeron con rebajes y ensambles para sujetar los muros interiores o los paneles de fachada. Estos paneles se produjeron con cuidado para dar la apariencia de una construcción tradicional de muros acabados, dando a los hogares un lenguaje diferente al de la prefabricación (Alonso y Palmarola, 2014, pp. 212-213).

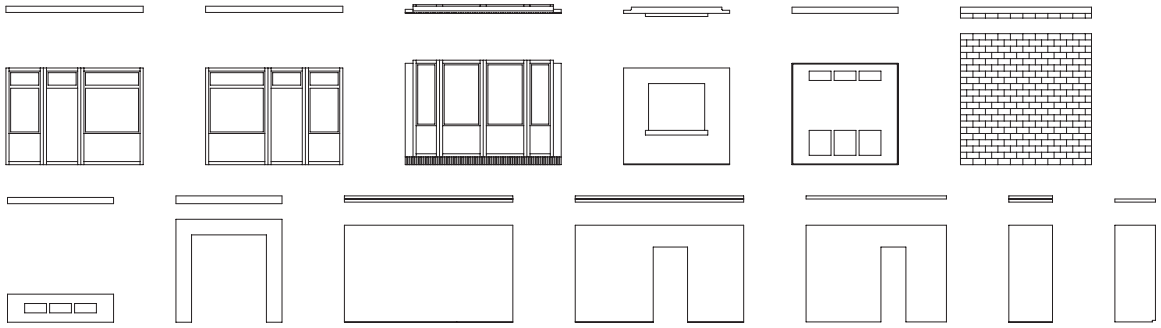
Dadas las características del sistema, se usó para la construcción de viviendas que no estaban necesariamente dirigidas a la clase obrera europea. Los primeros pisos plantearon una relación con el espacio público para que las unidades de vivienda se ubicaran en los pisos superiores. Las especificaciones técnicas, que revistieron y decoraron los paneles de fachada con diferentes apariencias, permitieron modificar los lenguajes de los proyectos de vivienda a través del mismo sistema de prefabricación.

Este sistema no se usó de forma masiva como las series que se emplearon para construir viviendas en la antigua Unión Soviética, sino que generó otras condiciones estéticas a la prefabricación en búsqueda de una individualidad soñada por diferentes clases sociales. El diseño de su estructura de soporte permitió tener diferentes configuraciones arquitectónicas, ya que los elementos estructurales estaban ubicados en las fachadas (paneles diseñados con diferentes tipos de aberturas) y sólo en algunos puntos del espacio interior, donde las familias podían redistribuir sus necesidades de acuerdo con las áreas disponibles.

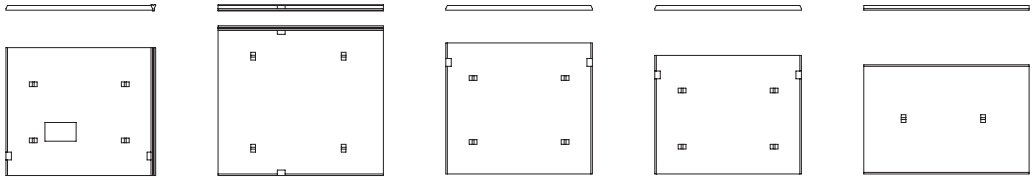
Las casas construidas con esta serie han servido para formar barrios con densidades más bajas que los sistemas de prefabricación masiva de viviendas, en los que los espacios públicos han complementado la habitación colectiva de las familias.

Este sistema abierto de prefabricación también permitió el uso de otros materiales o sistemas en la construcción de fachadas o en los espacios interiores de las unidades de vivienda, una situación que aumentó su versatilidad en el diseño del espacio interior y en la apariencia de los proyectos, asociados más a las técnicas de construcción tradicionales que a los sistemas de prefabricación convencionales con fachadas masivas y sin variaciones en su apariencia superficial.

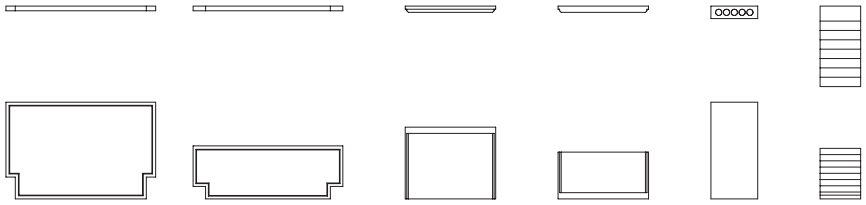
Paneles de fachada



Losas de entrepiso



Otros elementos



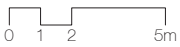
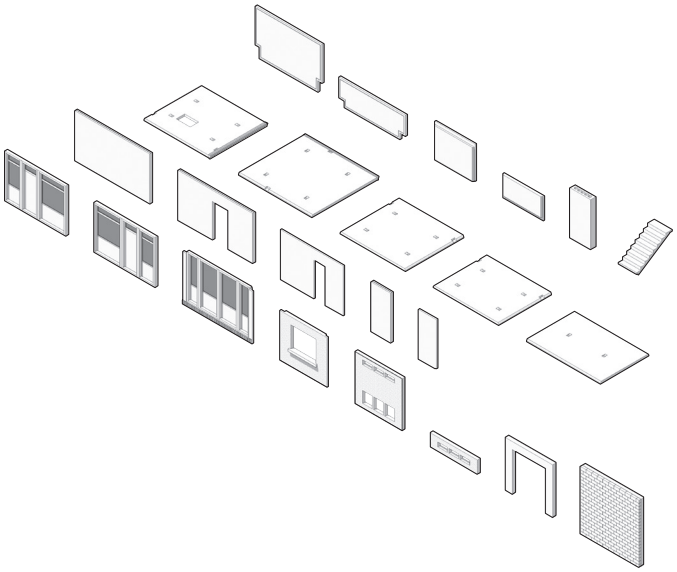
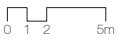


Gráfico 105
Componentes: Planta y fachada





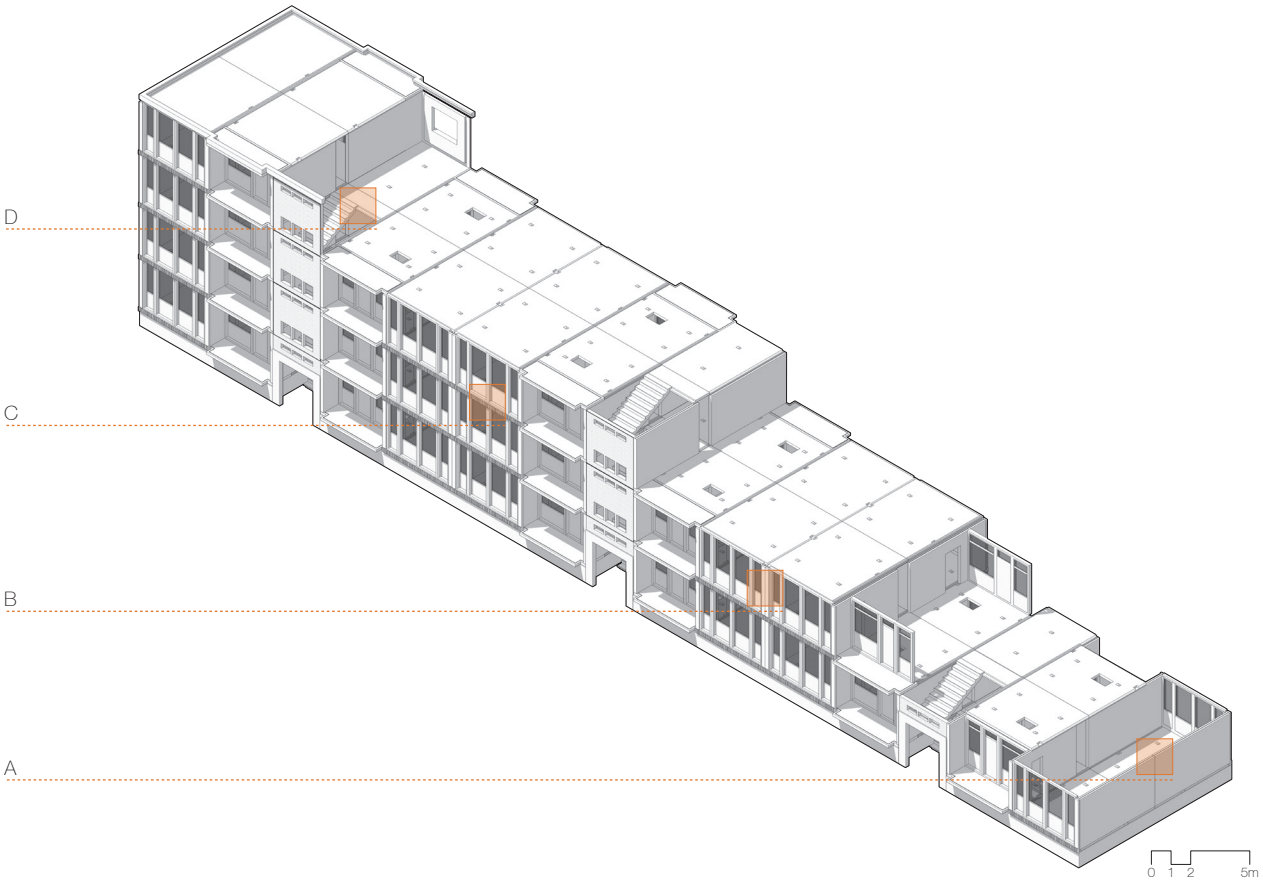


Gráfico 106
Componentes: Axonometría

Gráfico 107
Proceso de construcción

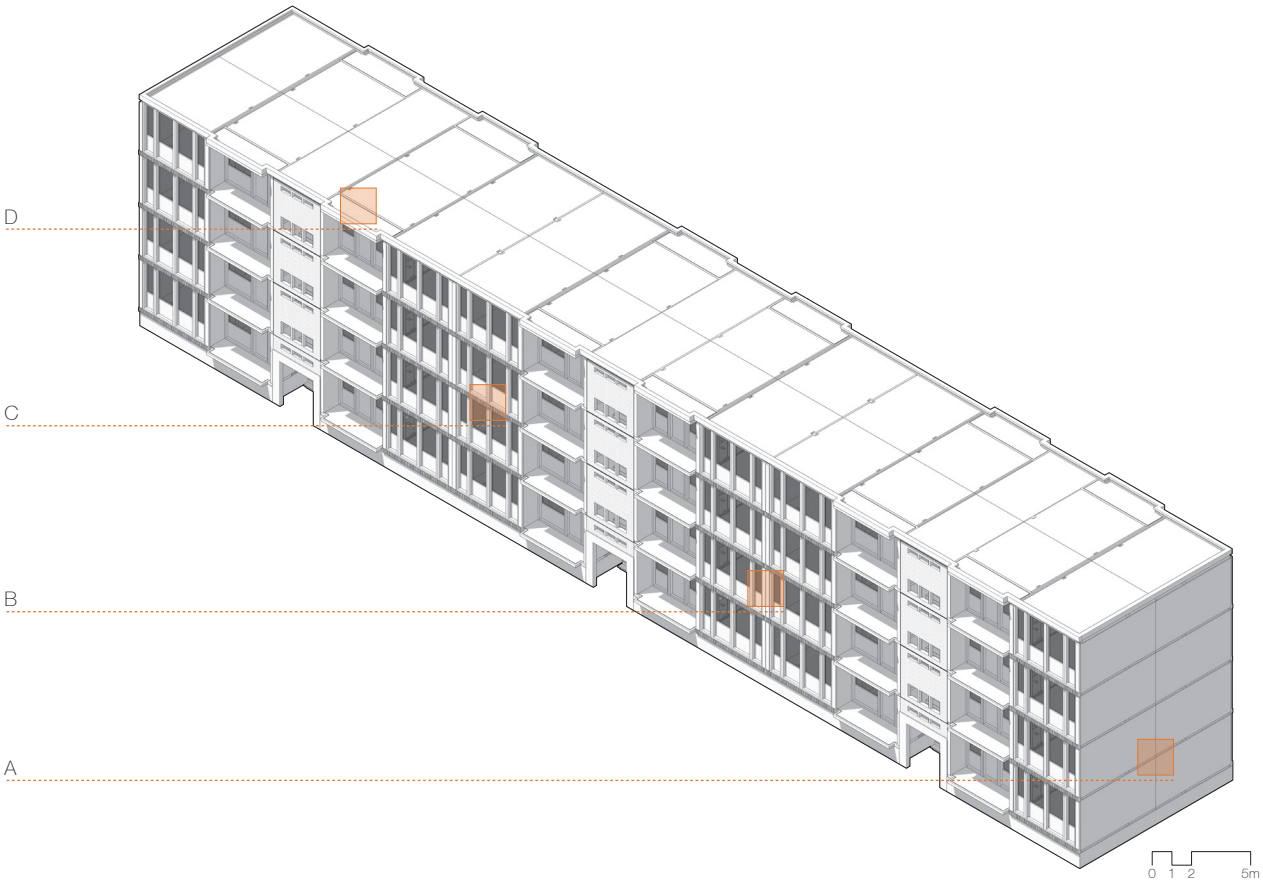


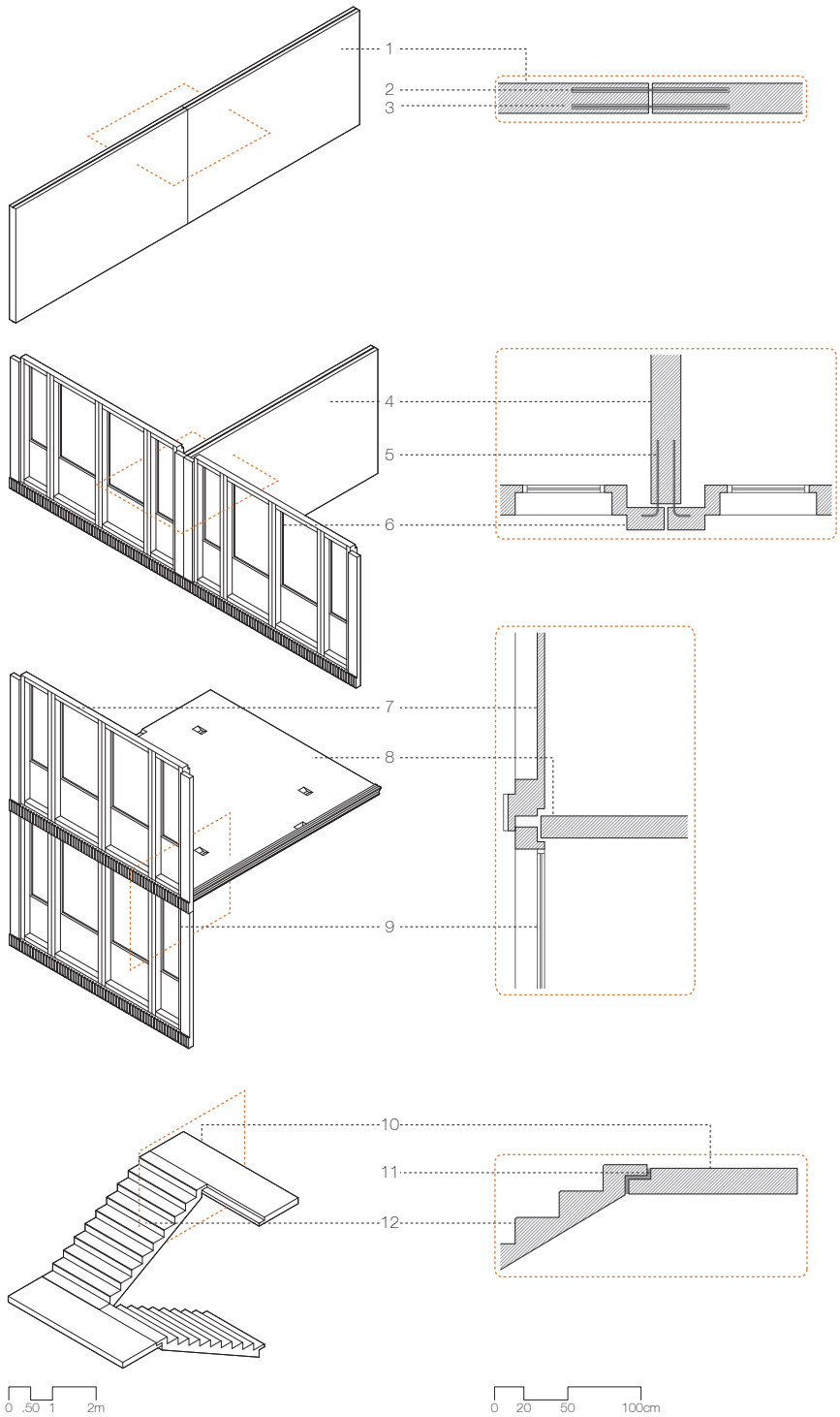
Gráfico 108
El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico

Ventajas

- Un número reducido de paneles prefabricados en la fachada y losas de piso conforman este sistema. La combinación de estos elementos puede generar diferentes tipos o arquitectura.
- La reducida cantidad de elementos estructurales y la variación de su apariencia estética pueden haber permitido el uso del sistema en proyectos arquitectónicos concebidos para diferentes clases sociales.
- El tamaño y el peso de los elementos (ninguno excede los 5m de longitud o 7 toneladas) permite el transporte desde la planta de producción al sitio del proyecto y su manipulación en el lugar con instrumentos mecánicos no requiere altas especificaciones.
- Los muros de carga permiten su construcción con diferentes geometrías.
- Los pisos inferiores, generalmente concebidos como extensiones de los espacios públicos, generan espacios para actividades complementarias al uso de la vivienda. La mayoría de los proyectos construidos con el sistema tenían cuatro pisos de altura, con dimensiones interiores y espacios colectivos que permitían la movilidad de los discapacitados.
- Desde el diseño de las fachadas (que, con los mismos elementos prefabricados, permiten el uso de diferentes acabados), los espacios interiores (que pueden diseñarse de diferentes maneras o transformarse por los habitantes), el sistema puede replicarse manteniendo sus condiciones básicas, pero modificando las áreas habitables, el lenguaje de las fachadas y las geometrías de los volúmenes. Esto generó variaciones tipológicas a través del uso de los mismos elementos.
- La configuración del espacio habitable con los elementos que conforman el sistema permite tener diferentes usos y responder a las diferentes condiciones ambientales del contexto. Las fachadas abiertas y cerradas, sumadas a la configuración del espacio habitable, permiten tener una relación con el entorno que favorece el bienestar del espacio habitacional.
- La versatilidad en el lenguaje de los paneles de fachada a través de los acabados en las superficies de concreto permite tener diferentes respuestas estéticas según el contexto social, el contexto cultural, el clima y los aspectos deseados para el proyecto. La posibilidad que ofrecen los paneles para ser revestidos con otras texturas o apariencias de diferentes materiales diversifica la condición estética del proyecto.
- La presencia de elementos no estructurales en el espacio interior permite modificar su uso de acuerdo a las necesidades de los grupos familiares.

Desventajas

- Aunque los sistemas de fijación entre los elementos estructurales utilizan elementos metálicos convencionales y concreto vaciado las uniones entre los elementos metálicos requieren soldaduras para rigidizar sus uniones, lo que complica el sistema de ensamblaje.



1. Muro de fachada prefabricado en concreto
2. Barras metálicas
3. Soldadura
4. Muro interior prefabricado en concreto
5. Barras metálicas
6. Muro de fachada prefabricado en concreto
7. Muro de fachada prefabricado en concreto
8. Losa prefabricada en concreto
9. Muro de fachada prefabricado en concreto
10. Losa prefabricada en concreto
11. Ensamble entre elementos prefabricados
12. Escalera prefabricada en concreto

Gráfico 109
Detalles constructivos

5.2.2. Dormitorio de Saint Andrews (*Saint Andrews Dormitory*), Escocia, 1964

Gráfico 110
Vista exterior

Dormitorio de Saint Andrews. Escocia, 1964	
Tipo de estructura	Muros estructurales
Tipo de prefabricación	Abierta
Arquitecto inventor o diseñador	James Stirling
Áreas promedio por vivienda (en metros cuadrados)	20
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	126 y 198
Altura media de los edificios (en número de pisos)	6
Número de tipos de elementos prefabricados	46
Cimientos prefabricados para columnas	0
Vigas de cimentación prefabricadas para muros o vigas de amarre	0
Losas de cimentación prefabricadas	0
Columnas	0
Vigas	0
Paneles de fachada	24
Muros interiores	3
Losas de contrapiso y entrepiso	8
Losas para techos	0
Elementos especiales (buitrones, juntas, áreas comunes, toldos)	10
Escalera	1
Células espaciales estructurales	0
Tipos de juntas	Barras metálicas y concreto vaciado *in situ*

Información tomada de: Alonso y Palmarola, 2014, pp. 228-229, 263, 322-323.

Tabla 23
Dormitorio de Saint Andrews, Escocia, 1964

Sistema y construcción

También conocido como *Andrew Melville Hall*, este edificio de pared estructural fue diseñado por el arquitecto James Stirling en 1964 en Saint Andrews, Escocia.

El proyecto fue diseñado con un núcleo central con la mayoría de las áreas comunes, con dos bloques escalonados adyacentes en seis pisos de altura. Una escalera central resuelve el acceso a los dos edificios, cada uno de los cuales tiene 32 habitaciones por piso, con vista a la costa escocesa, con una circulación central. El tercer piso tiene sólo 16 habitaciones, porque las áreas comunes se orientan hacia la fachada del patio ubicado entre los dos edificios. Los elementos prefabricados de concreto fueron concebidos con diferentes geometrías, una situación que generó diversas texturas en las fachadas desde la orientación de las habitaciones con vista a las costas.

Los ensambles entre los elementos prefabricados se realizaron a través de conectores metálicos rígidos con soldaduras y concreto vaciado *in situ*. El proyecto completo fue concebido en cuatro etapas, pero sólo una fue construida (Alonso y Palmarola, 2014, pp. 222-223).

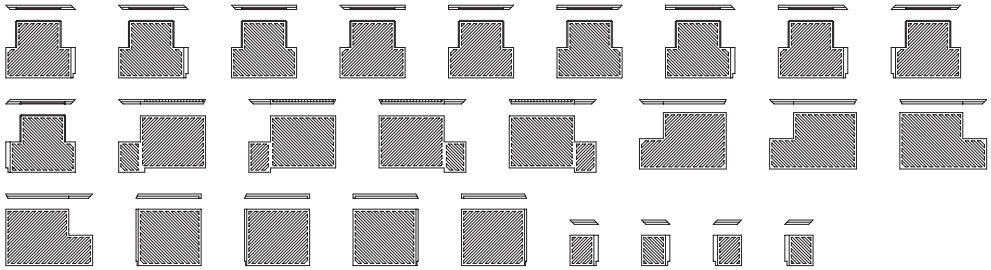
Este edificio, que ofrece habitaciones individuales para estudiantes, se configuró con una geometría que, al girar los módulos sobre el eje de circulación, puede verse el espacio de las habitaciones. El complejo, originalmente diseñado con usos residenciales, se construyó finalmente en dos bloques con una capacidad de 270 personas. Cabe destacar que, en sus diferentes niveles, las actividades complementarias a la vivienda configuran la vida en comunidad.

La prefabricación y el diseño de los elementos de la fachada generaron un estilo conocido como "Nuevo Brutalismo", en el que la textura de las piezas y la configuración del volumen fueron las características principales de su lenguaje. La articulación entre los paneles de fachada requirió grandes precisiones en sus bordes, ya que los ángulos diseñados para las fachadas de los edificios no fueron concebidos en su totalidad a 90°. La disposición en ángulo de las habitaciones hacia el paisaje es uno de los elementos de la fachada del proyecto en su relación con el entorno. El diseño de estos elementos de fachada definió criterios y principios estructurales para el soporte del edificio[31].

El proyecto se ubica en un terreno ligeramente inclinado, y sus paneles estructurales permiten escalar el volumen y separar la vida privada de la vida social alrededor de las circulaciones y el patio que articula los dos bloques residenciales.

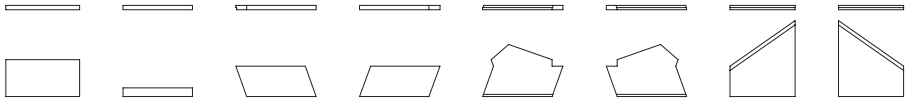
31 Stirling, James, Michael Wilford and Associates. James Stirling, Buildings and Projects. p. 107

Paneles de fachada



Muros interiores

Losas de entrepiso



Otros elementos

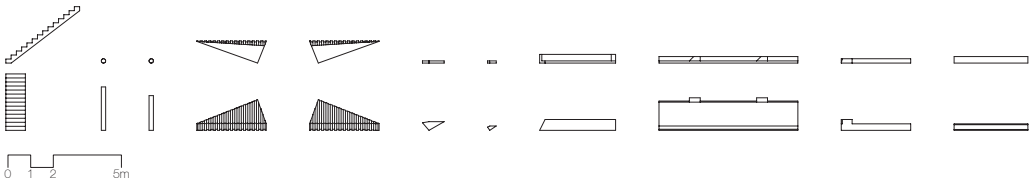
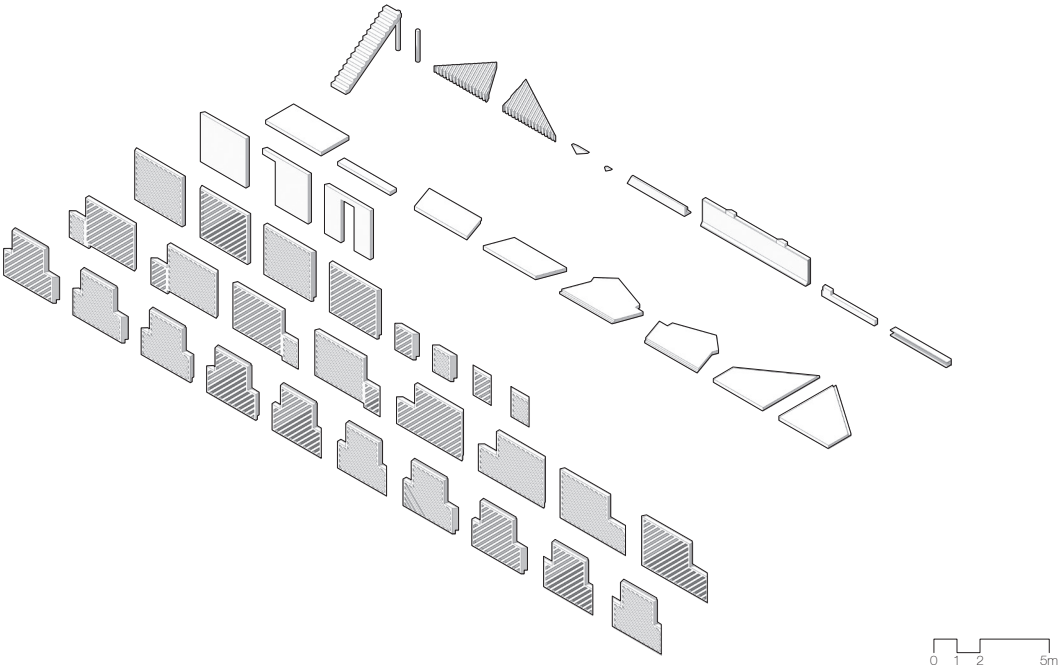


Gráfico 111
Componentes: Planta y fachada



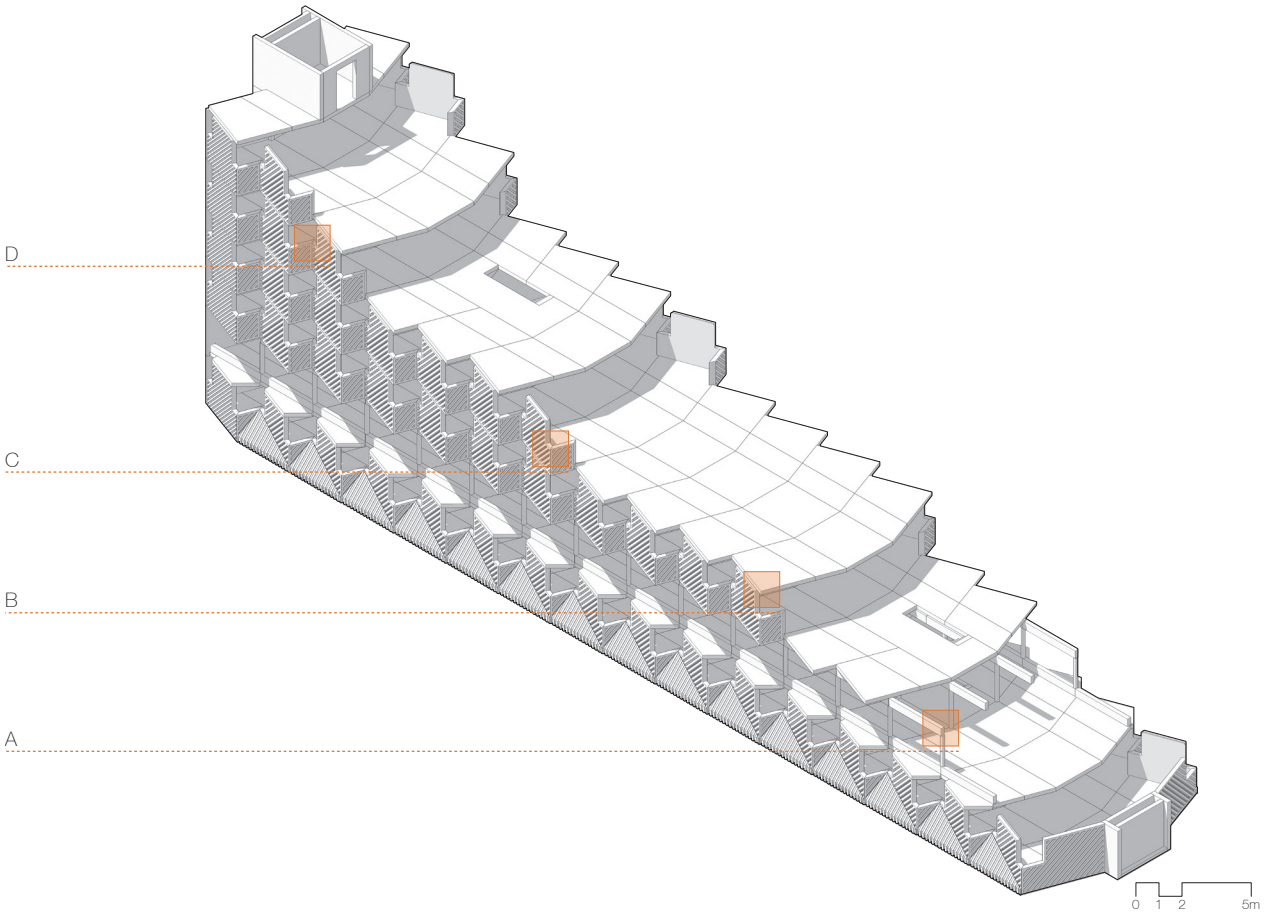


Gráfico 112
Componentes: Axonometría

Gráfico 113
Proceso de construcción

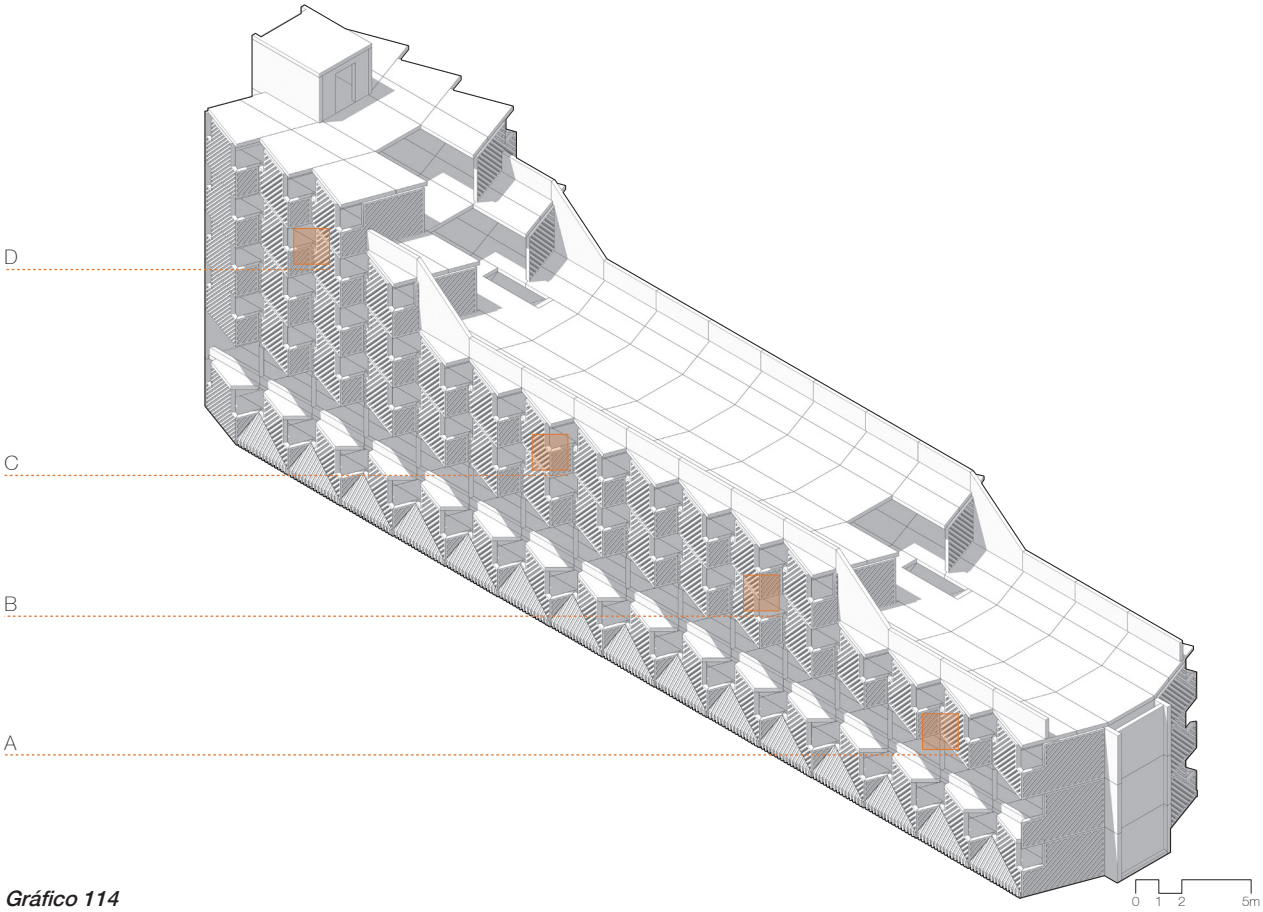


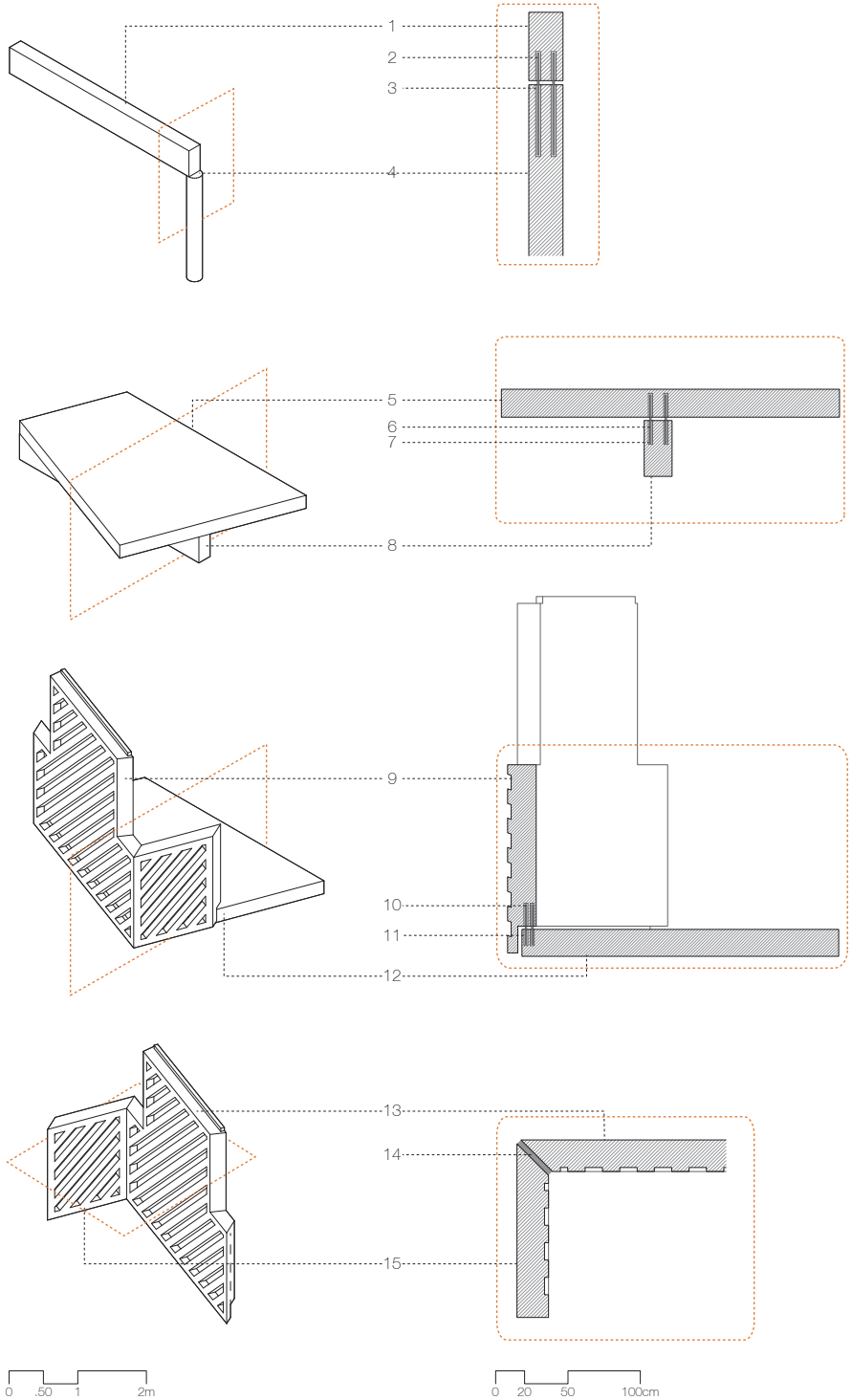
Gráfico 114
El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico

Ventajas

- El tamaño de los paneles prefabricados permite transportarlos hasta el sitio del proyecto.
- La configuración del edificio en paneles estructurales permitió que el volumen se adaptara a la topografía existente, generando un escalonamiento modulado según la pendiente y las proporciones de los elementos prefabricados.
- Un sistema de rampas exteriores permite el acceso a algunos de los pisos.
- La relación con el entorno, las ventanas orientadas a las mejores vistas y la posibilidad de recibir radiación directa en las estaciones más frías o la protección contra el sol en los meses de verano dan lugar a condiciones de bienestar en el espacio interior.

Desventajas

- Aunque las dimensiones de los elementos están coordinadas entre sí, el número de tipos de elementos prefabricados (46 en total) hace que la estandarización del edificio no sea óptima.
- El edificio, originalmente diseñado para ser construido en más bloques, finalmente fue construido en dos. No se construyeron otros edificios a partir de los diseños de estas unidades de vivienda para estudiantes y, por lo tanto, el modelo no se replicó.
- La cantidad y variedad de paneles de fachada no permite una estandarización más eficiente en la producción de las piezas. Aunque el edificio no fue diseñado para ser producido en forma masiva, la complejidad en la geometría del espacio habitable y los paneles estructurales irían en contra de la industrialización eficiente de viviendas populares.
- Debido a la especificidad del diseño y la tipología de los paneles y las áreas de las habitaciones, el espacio interior no tiene muchas variantes en su ocupació. Las áreas propuestas y la disposición geométrica de los paneles no permiten una serie de variantes en el uso del espacio interior.
- El estilo brutalista no es una corriente identificada con la construcción masiva de viviendas. Por lo tanto, la geometría y la textura de los paneles, la invariabilidad de sus fachadas y el acabado monocromático, lo alejan de las condiciones de alojamiento deseadas en las regiones tropicales.
- La especificidad de los paneles de fachada, la ubicación de cada uno en el proyecto de vivienda y las áreas de las habitaciones hacen que estas unidades no permitan modificaciones después de su ocupación, una situación que debe contemplarse en el contexto local, ya que las familias tienen la tradición de apropiarse del espacio habitable según sus necesidades y deseos.



1. Viga prefabricada en concreto
2. Barras metálicas
3. Concreto vaciado *in-situ*
4. Columna prefabricada en concreto
5. Losa prefabricada en concreto
6. Barras metálicas
7. Concreto vaciado *in-situ*
8. Viga prefabricada en concreto
9. Muro de fachada prefabricado en concreto
10. Barras metálicas
11. Concreto vaciado *in-situ*
12. Losa prefabricada en concreto
13. Muro de fachada prefabricado en concreto
14. Unión entre elementos prefabricados
15. Muro de fachada prefabricado en concreto

Gráfico 115
Detalles constructivos

5.2.3. Gran Panel Soviético, Cuba, 1965

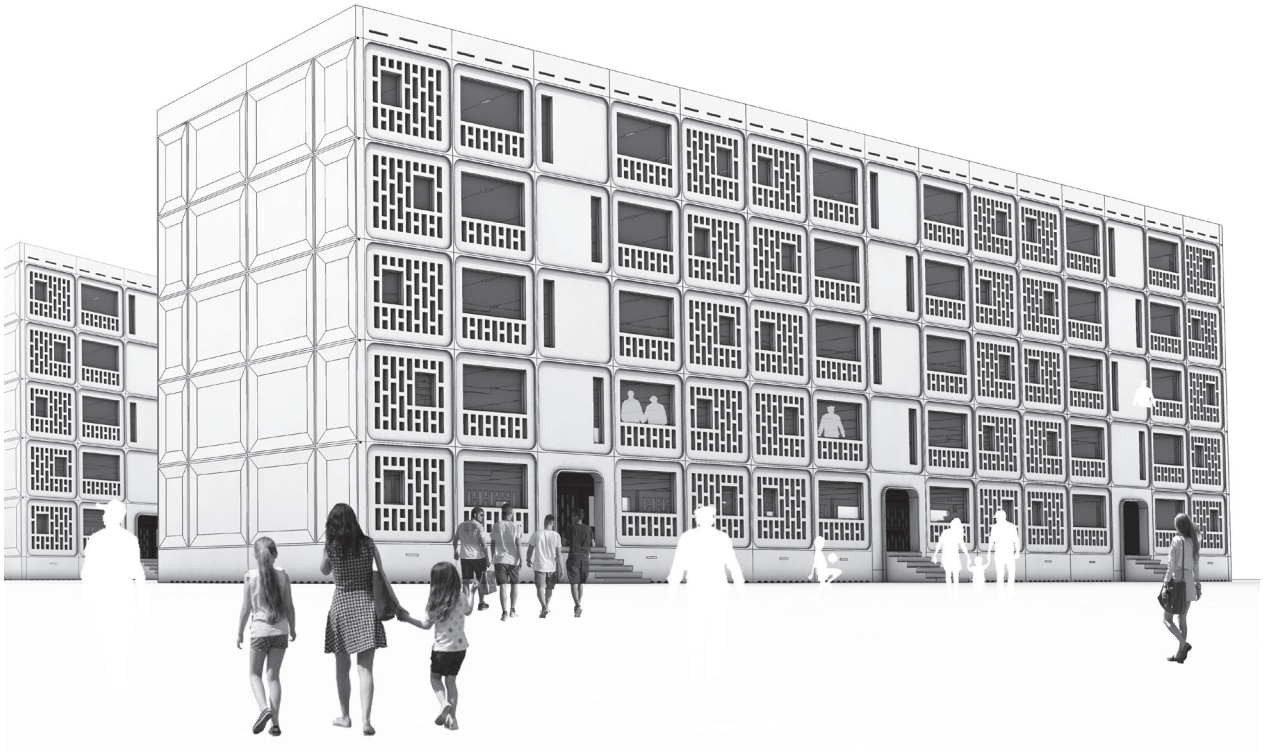


Gráfico 116
Vista exterior

Gran Panel Soviético. Cuba, 1965	
Tipo de estructura	Muros estructurales
Tipo de prefabricación	Cerrada
Arquitecto inventor o diseñador	Hugo D'Acosta
Áreas promedio por vivienda (en metros cuadrados)	45, 60, 75
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	40
Altura media de los edificios (en número de pisos)	5
Número de tipos de elementos prefabricados	23
Cimientos prefabricados para columnas	0
Vigas de cimentación prefabricadas para muros o vigas de amarre	0
Losas de cimentación prefabricadas	0
Columnas	0
Vigas	0
Paneles de fachada	9
Muros interiores	10
Losas de contrapiso y entrepiso	2
Losas para techos	0
Elementos especiales (buitrones, juntas, áreas comunes, toldos)	0
Escalera	2
Células espaciales estructurales	0
Tipos de juntas	Barras de acero y concreto vaciado *in situ*

Información tomada de: Alonso y Palmarola, 2014, pp. 204-205, 251, 294-295.

Tabla 24
Gran Panel Soviético, Cuba, 1965

Sistema y construcción

En octubre de 1963, el huracán Flora dejó más de 1.200 muertos y destruyó varios hogares en Cuba. Movido por la magnitud de la tragedia, Nikita Khrushchev, Presidente del Consejo de Ministros de la Unión Soviética, decidió donar una fábrica para la producción a gran escala de paneles de concreto, que se instaló en 1965. La planta podría producir elementos para la construcción de 1.700 viviendas por año (Alonso y Palmarola, 2012, p. 299).

Este sistema de muros estructurales fue una adaptación al contexto cubano de la serie de prefabricación soviética 1-464. Las uniones de los elementos prefabricados se diseñaron con refuerzos de metal expuestos, que se hormigonaron en las cavidades dejadas para rigidizar los nudos. La apropiación del concepto soviético original y su adaptación al contexto cubano fue responsabilidad del arquitecto local Hugo D'Acosta, quien generó una tipología de vivienda de edificios con una altura promedio de cinco pisos, con lenguajes locales que usaban principios ambientales para controlar el paso de la luz natural y permitir el paso del aire, lo que mejoró las condiciones bioclimáticas (González, 2009, pp. 69-92). Esta modificación logró ahorros significativos en el uso del concreto y creó una impresión menos monótona con respecto a los elementos utilizados en la arquitectura de la vivienda colectiva en la antigua Unión Soviética (Alonso y Palmarola, 2014, pp. 204-205).

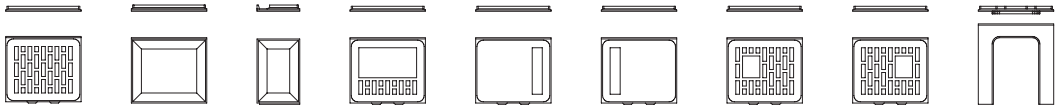
La planta de prefabricación de grandes paneles donada por la Unión Soviética al gobierno cubano provocó varios cambios en la construcción tradicional de las viviendas. A partir de ese momento fue necesario construir masivamente edificios estandarizados con aspectos similares para ser habitados por diversos grupos familiares. La primera experiencia en la aplicación de estos sistemas fue en el Microdistrito José Martí en Santiago de Cuba, donde los moldes para los elementos de pared se adaptaron a las condiciones de Cuba, tanto climáticas como económicas[32].

Los edificios construidos con esta serie de prefabricación siguen siendo habitados en Cuba, donde su producción se masificó a partir de la apropiación de esta tecnología, desarrollada originalmente en la antigua Unión Soviética. Las losas del piso, planas, sólidas y de 9cm de altura, se instalaron simplemente apoyadas en los paneles de carga que tenían secciones de 10cm. La solución de los cimientos se realizó con zapatas o vigas. Para la construcción de las zapatas, se utilizó concreto vaciado *in situ* y para las vigas de fundación se utilizaron elementos prefabricados. De acuerdo con la capacidad de carga del terreno y la altura del edificio, la profundidad de la cimentación podría variar. Con esta tecnología, 1.700 casas fueron construidas anualmente en Cuba. Los desarrollos posteriores llevaron a la tecnología del Gran Panel Soviético a considerar la posibilidad de dar paso a una prefabricación abierta, en busca de una mayor variedad en la expresión de los edificios y aumentar la altura a nueve pisos[33].

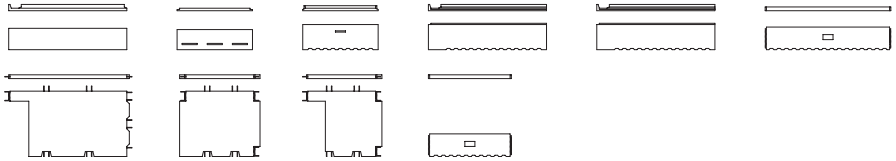
32 González Couret, Dania. *Revista Invi*, No. 67/November 2009/ Volume No. 24. Havana, Cuba, pp. 69-92.

33 *Centro Técnico de la Construcción y los Materiales. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Revista Informes de la Construcción*. Madrid. pp. 13, 14. Accedido el 2 de junio de 2017; disponible en http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es.

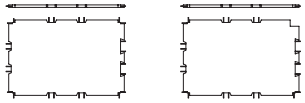
Paneles de fachada



Muros interiores



Losas de entrepiso



Escaleras

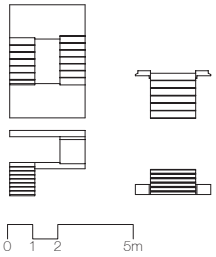
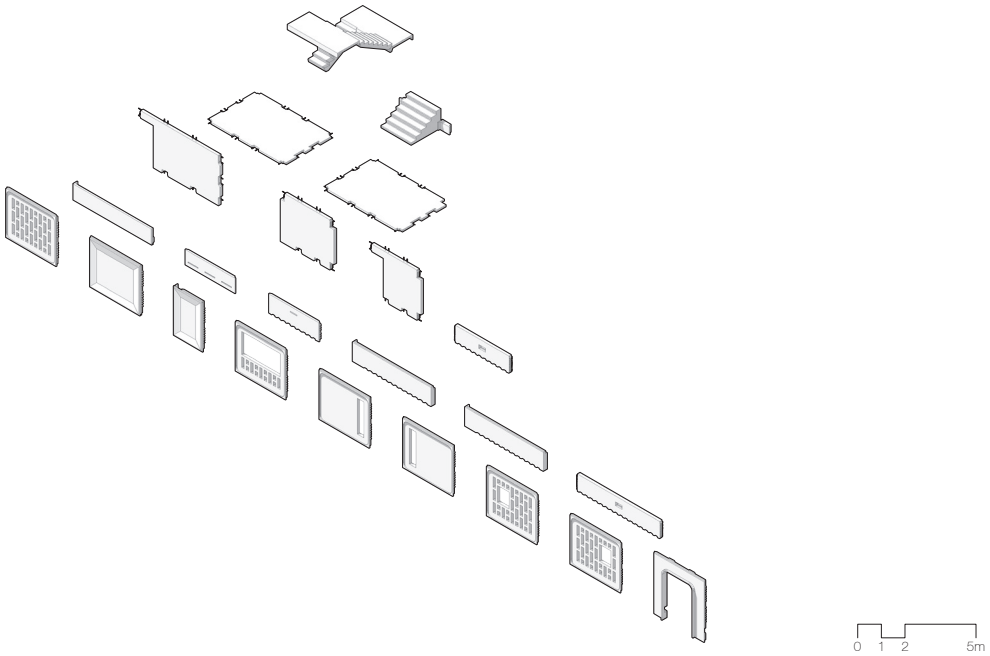


Gráfico 117
Componentes: Planta y fachada



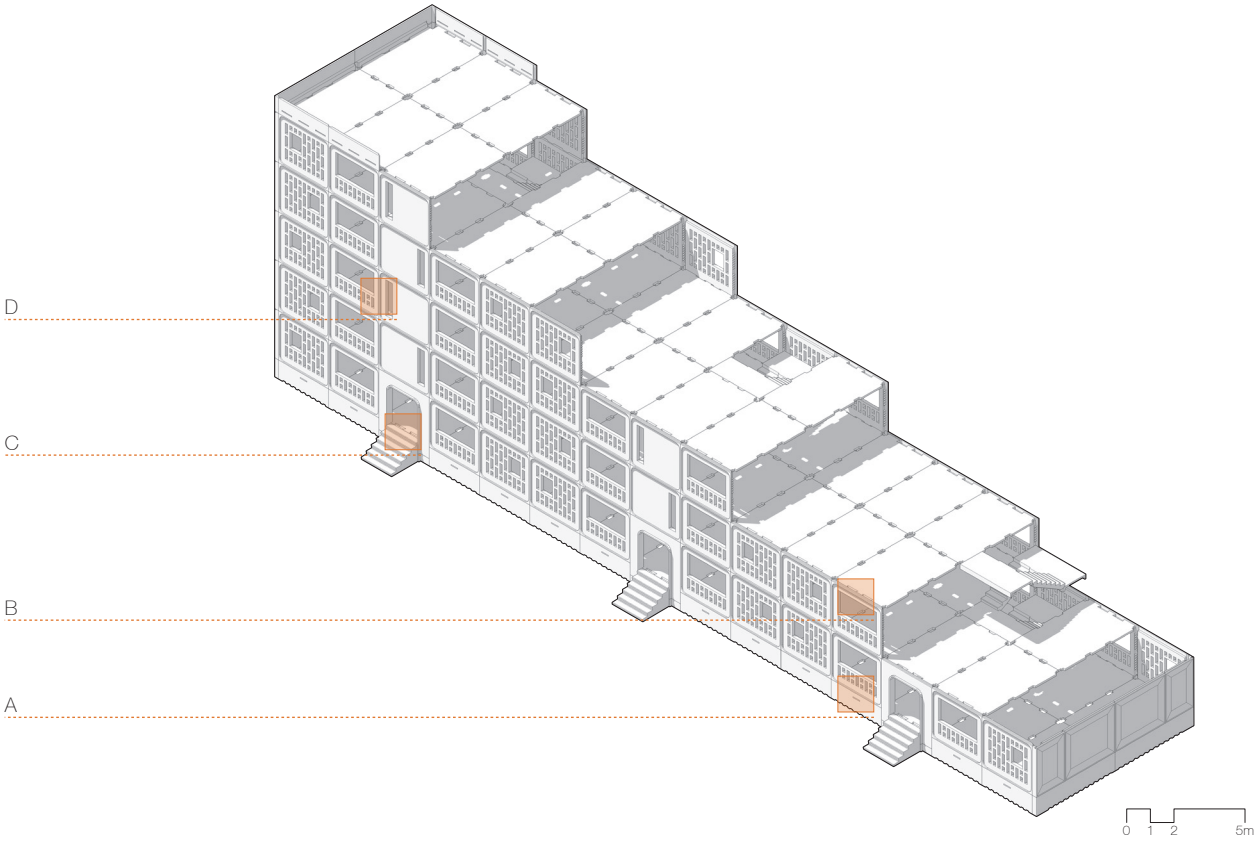


Gráfico 118
Componentes: Axonometría

Gráfico 119
Proceso de construcción

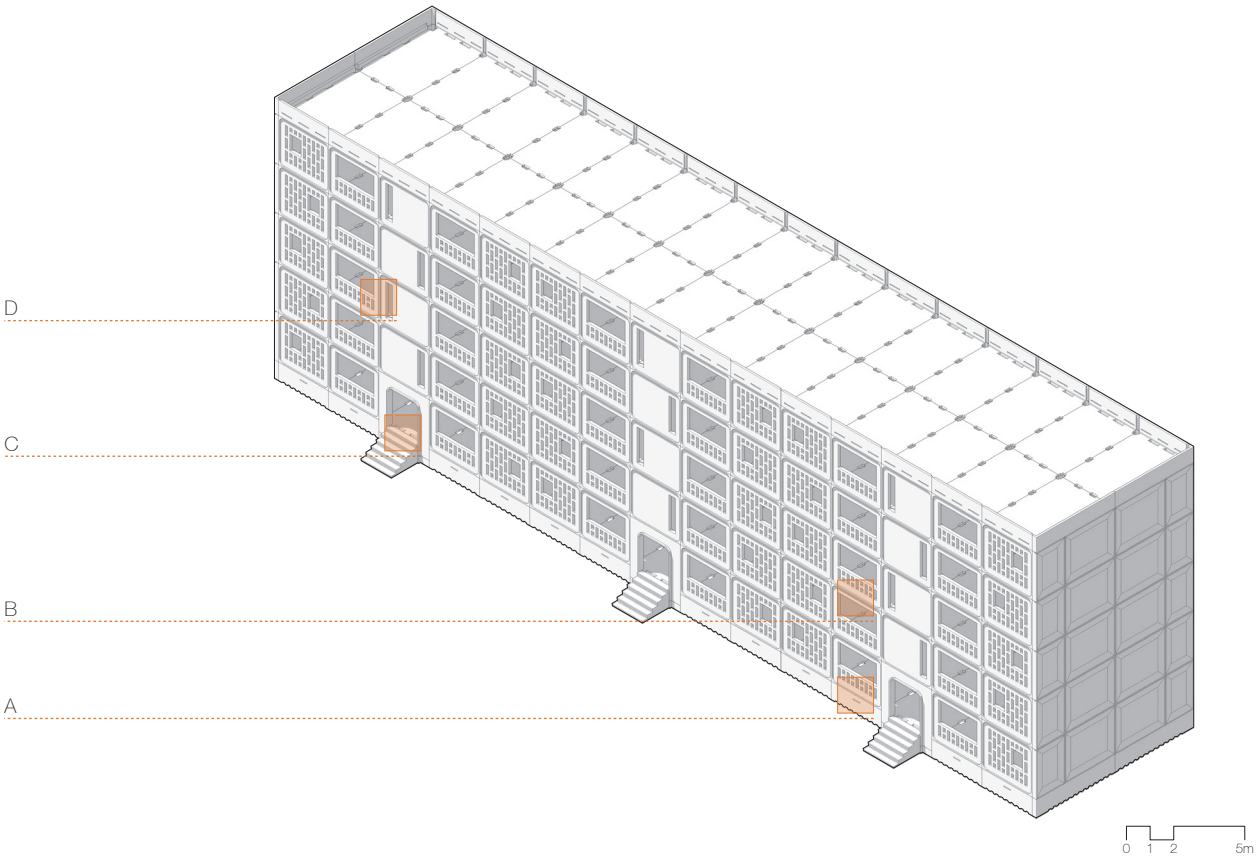


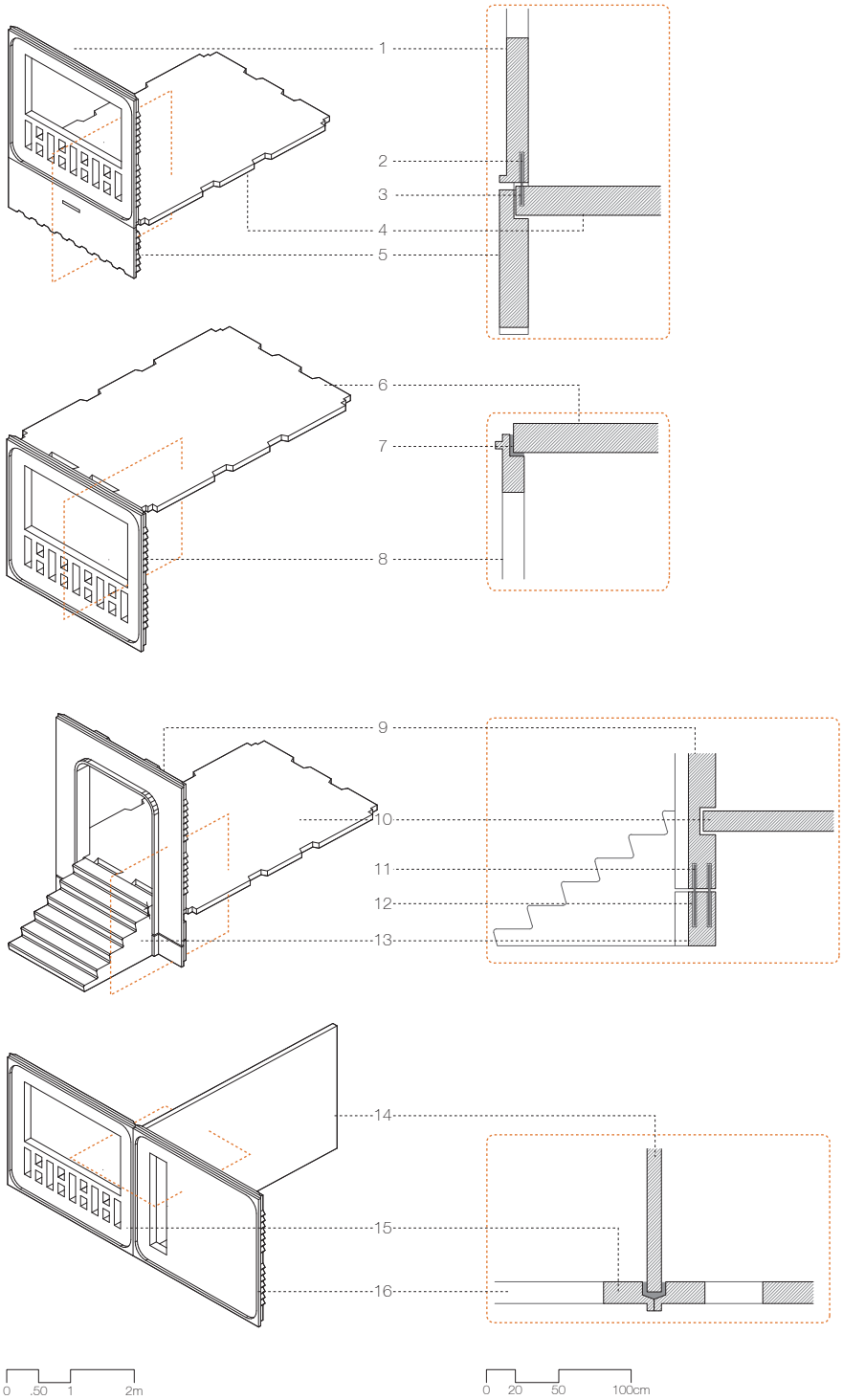
Gráfico 120
El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico

Ventajas

- Los paneles de fachada y los muros de carga interiores estandarizaron sus medidas, que se asociaron con las proporciones de las losas de piso, las escaleras y otros componentes del edificio.
- Debido a la geometría de sus componentes, el número de piezas y las características de sus ensamblajes, el sistema podría replicarse en varias ciudades, con condiciones similares en diferentes contextos.
- El tamaño de los elementos permitió su transporte desde las plantas de producción a los sitios de trabajo, y se habilitaron plantas móviles para la producción de los elementos prefabricados.
- La tecnología soviética se adaptó a las condiciones sociales y climáticas de Cuba para la producción de paneles más abiertos y livianos, que permitieron la ventilación cruzada y el control de la iluminación en el espacio interior. El sistema de construcción fue replicado en diferentes contextos, una situación deseable en la industrialización de la vivienda. El grosor del panel se redujo de 30cm a 10cm y las superficies de algunos de estos paneles se perforaron.
- Se puede acceder a los primeros pisos de los edificios desde el espacio urbano. Los espacios interiores de las viviendas permitieron desplazamientos y accesibilidad.
- Las uniones entre los elementos estructurales (varillas de acero de concreto vaciado expuestas) permitieron que el sistema se replicara en diferentes contextos. En algunos casos, las losas se fijaron mediante un simple soporte en los paneles estructurales. La simplicidad del proceso de fijación entre los elementos estructurales permitió la masificación del sistema, controlando los costos y el tiempo de ejecución.
- La conformación original de los paneles fue modificada por elementos más livianos, delgados y perforados para permitir la ventilación cruzada y mejorar las condiciones bioclimáticas del espacio interior.

Desventajas

- La presencia de elementos no estructurales en el espacio interior permitió diferentes diseños arquitectónicos, sin modificaciones sustanciales entre ellos. La geometría de los paneles y su volumen de concreto se adaptaron a las características climáticas cubanas, sin generar diferencias estéticas entre ellos.
- La repetitividad del lenguaje del edificio generó edificios monótonos y monocromáticos aislados de las tradiciones sociales y culturales cubanas.
- Los espacios interiores y el lenguaje de las viviendas no se transformaron después de que las familias los ocuparan, debido a la presencia de elementos estructurales en las fachadas y el espacio interior.



1. Muro de fachada prefabricado en concreto
2. Barras metálicas
3. Concreto vaciado *in-situ*
4. Losa prefabricada en concreto
5. Muro de fachada prefabricado en concreto
6. Losa prefabricada en concreto
7. In-situ cast concrete
8. Muro de fachada prefabricado en concreto
9. Muro de fachada prefabricado en concreto
10. Losa prefabricada en concreto
11. Barras metálicas
12. Concreto vaciado *in-situ*
13. Escaleras prefabricadas en concreto
14. Muro interior prefabricado en concreto
15. Muro de fachada prefabricado en concreto
16. Muro de fachada prefabricado en concreto

Gráfico 121
Detalles constructivos

5.2.4. Skarne S66, Suecia, 1966

Gráfico 122
Vista exterior

Skarne 66. Suecia, 1966	
Tipo de estructura	Muros estructurales
Tipo de prefabricación	Abierta
Arquitecto inventor o diseñador	Ohlsson & Skarne
Áreas promedio por vivienda (en metros cuadrados)	42, 60, 78
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	16
Altura media de los edificios (en número de pisos)	4
Número de tipos de elementos prefabricados	24
Cimientos prefabricados para columnas	0
Vigas de cimentación prefabricadas para muros o vigas de amarre	0
Losas de cimentación prefabricadas	0
Columnas	0
Vigas	0
Paneles de fachada	13
Muros interiores	5
Losas de contrapiso y entrepiso	2
Losas para techos	3
Elementos especiales (buitrones, juntas, áreas comunes, toldos)	0
Escalera	1
Células espaciales estructurales	0
Tipos de juntas	Barras de, soldadura y concreto vaciado

Información extraída de: Alonso y Palmarola, 2014. pp. 232-233, 265, 326-327.

Tabla 25
Skarne S66, Suecia, 1966

Sistema y construcción

Esta serie, desarrollada por la empresa Ohisson & Skarne en Suecia en la década de 1960, se utilizó principalmente para la construcción de edificios residenciales. Es un sistema de muros estructurales en fachada que redujo el número de muros interiores y aumentó la flexibilidad en los espacios interiores. Como consecuencia, esta condición permitió la oferta de diferentes tipologías de viviendas en las mismas áreas construidas en edificios de cuatro y cinco pisos.

Las uniones entre los elementos prefabricados se realizaron con barras metálicas soldadas entre sí y con piezas de concreto vaciado *in situ* en los nudos. Con otras series – como el Sistema Pesado Skarne (con muros de carga) – desarrollado por la misma compañía, se construyeron edificios con una altura promedio de cuatro pisos; se construyeron edificios con el Sistema Liviano Skarne (que combinaba muros de carga y columnas) y edificios de hasta quince pisos de altura (Alonso y Palmarola, 2014, pp. 232-233).

Esta variante combinaba paneles de fachada prefabricados y muros interiores (estructurales y no estructurales, producidos en fábricas temporales en el sitio de construcción) con losas prefabricadas de concreto o concreto vaciado *in situ*. El módulo estandarizado de losas y paneles estructurales de fachada fue de 2,7m, y en algunos proyectos, se combinaron con un marco de columnas en el espacio interior. Las instalaciones hidrosanitarias y eléctricas se agruparon en un ducto técnico para que el espacio interior tuviera diferentes posibilidades de uso.

Los edificios construidos con este sistema se apoyaron en cimientos de concreto vaciado *in situ*. Las vigas y pedestales ubicados en los cimientos fueron diseñados para soportar las losas de concreto del piso de acceso. Así, se construyó un piso técnico para albergar todas las instalaciones, a las que se podía acceder fácilmente. Cada uno de los pisos contenía losas de concreto prefabricado que no contenían ningún tipo de instalaciones técnicas. Los vaciados de cada elemento, su transporte e instalación se realizaron de forma vertical.

Dadas las condiciones climáticas, los paneles de fachada tenían dos capas exteriores de concreto prefabricado y aislamiento interior. Las ventanas y puertas, completamente pintadas y listas, se instalaron entre los paneles en el proceso de prefabricación. Posteriormente, la compañía pasó a llamarse *Skarne Group* y su misión principal ha sido la mejora continua del sistema y su proyección en el mercado internacional[34]. Esta firma se convirtió en una de las principales empresas de construcción de viviendas en Suecia y Europa a partir de los años 70 y formó parte del grupo de sistemas estructurales "*Million Program Era*"[35].

34 Stenberg, Erik (Editor). *Structural Systems of the Million Program Era*. KTH School of Architecture, 2013. Impreso por Elanders. pp. 31-33. Accedido el 4 de junio de 2017; disponible en https://issuu.com/kth-arkitekturskolan/docs/structuralsystems.

35 Stenberg, Erik (Editor). *Structural Systems of the Million Program Era*. KTH School of Architecture, 2013. Impreso por Elanders. pp. 14, 15. Accedido el 4 de junio de 2017; disponible en https://issuu.com/kth-arkitekturskolan/docs/structuralsystems.

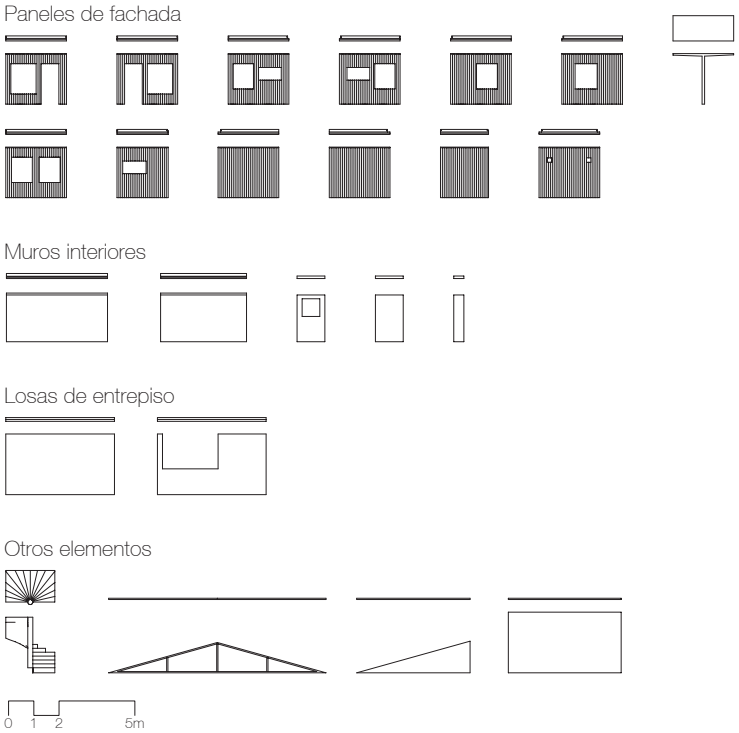
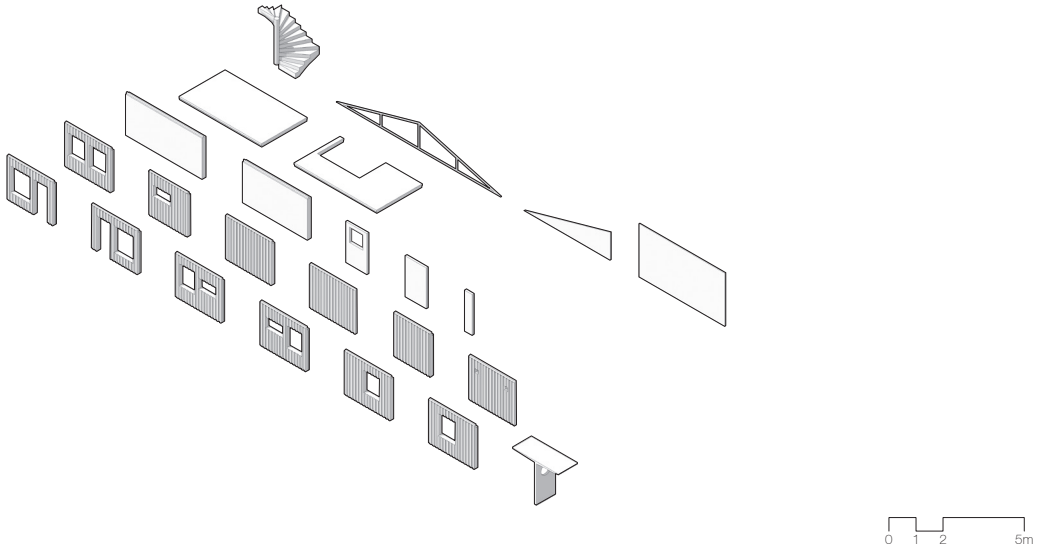


Gráfico 123
Componentes: Planta y fachada



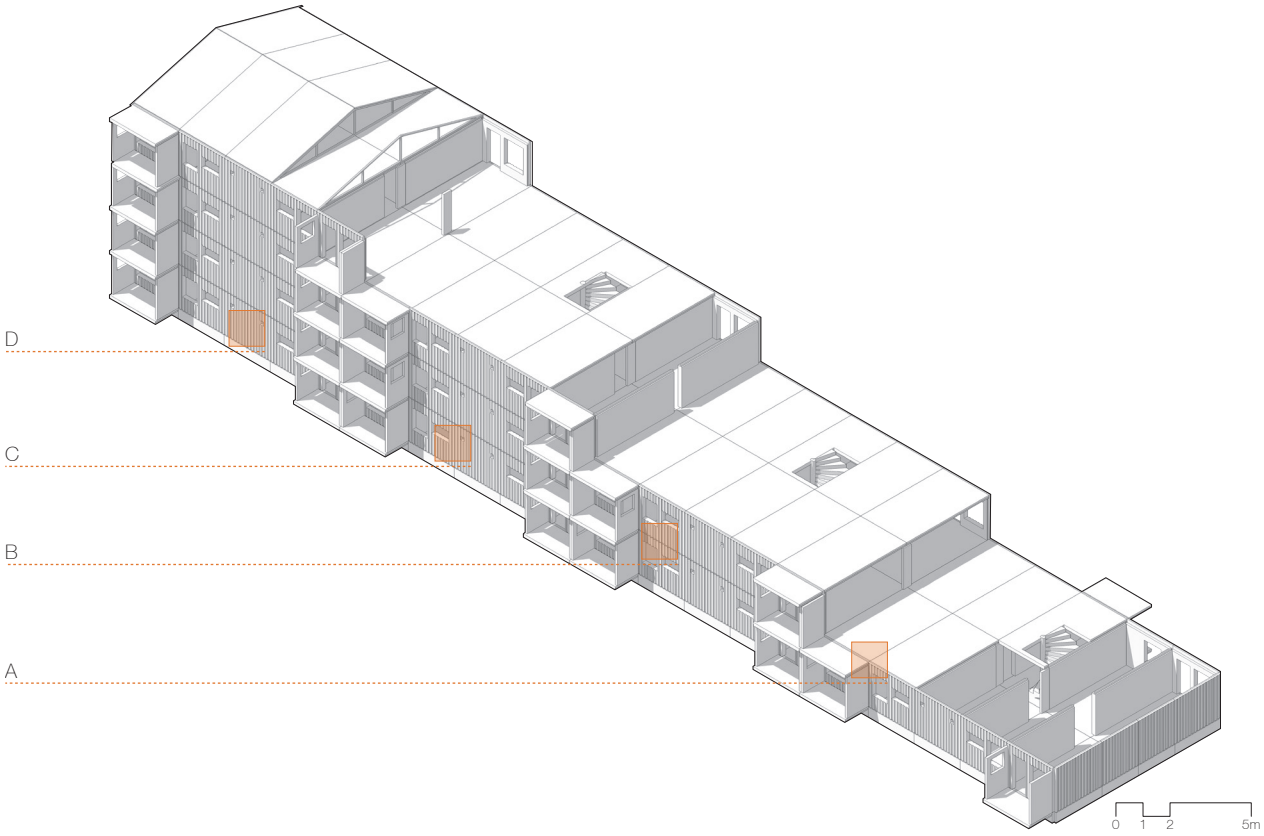


Gráfico 124
Componentes: Axonometría

Gráfico 125
Proceso de construcción

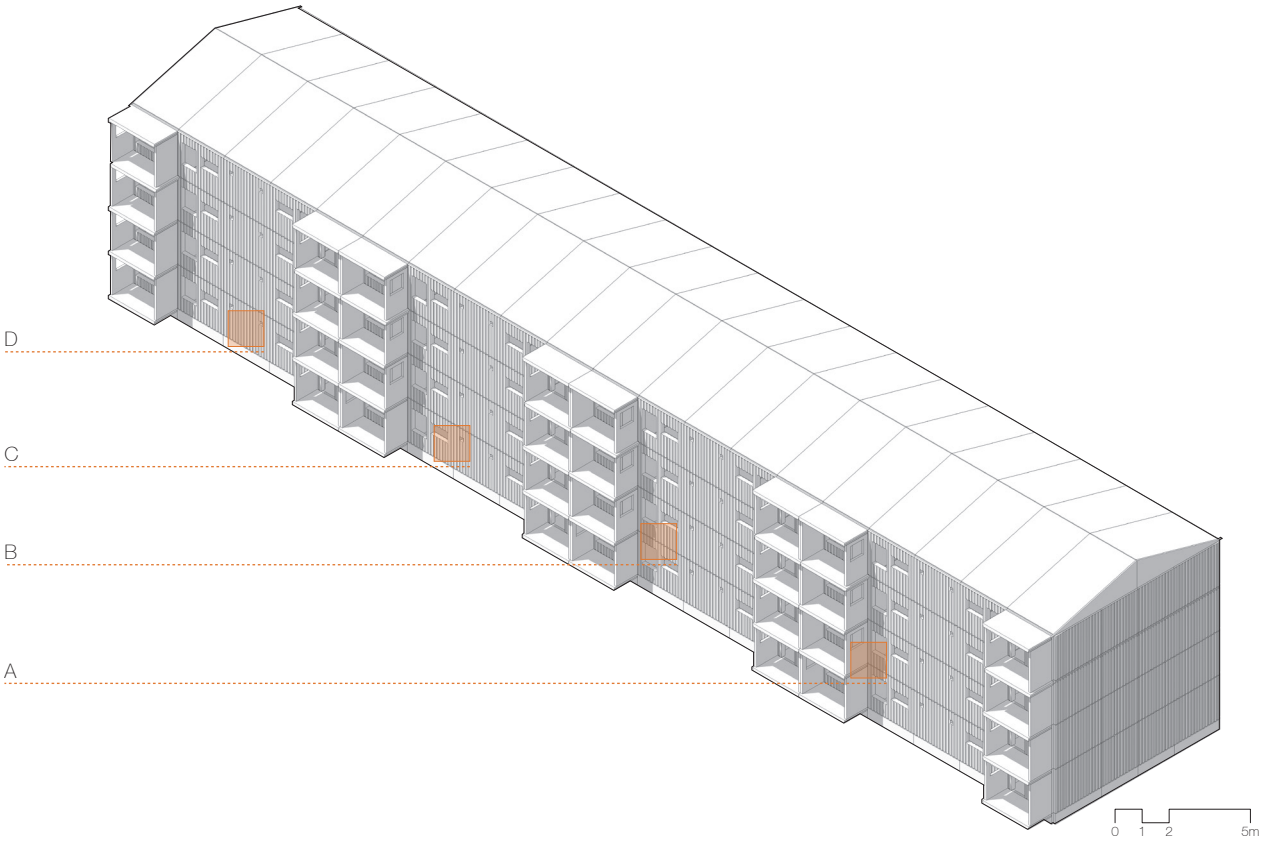


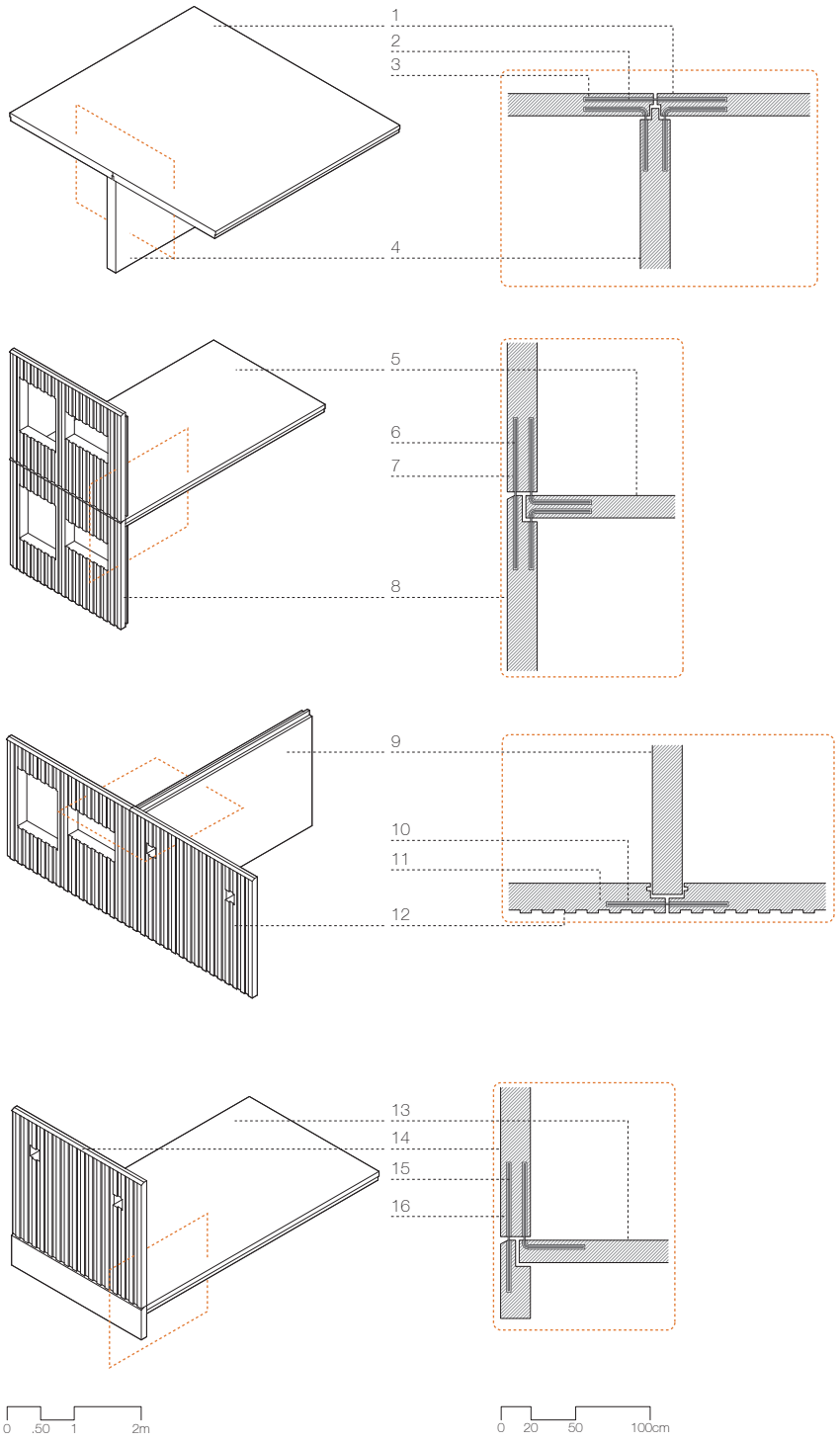
Gráfico 126
El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico

Ventajas

- A partir de un módulo fijo de 2,70m, se conciben losas de piso, paneles de fachada estructural, muros interiores y columnas.
- La geometría de los elementos, la construcción de los paneles de fachada y los muros interiores con ventanas y puertas terminadas, las fijaciones entre elementos estructurales con varillas metálicas y la modularidad del sistema permiten su construcción en diferentes contextos geográficos, climáticos y culturales.
- Las dimensiones de las piezas permiten transportarlas e instalarlas verticalmente. En algunos proyectos, los paneles prefabricados se producen en el sitio de construcción para reducir los costos de transporte.
- A través de las dimensiones y la coordinación modular entre sus paneles, el sistema se adapta a diferentes perfiles topográficos.
- Las dimensiones de los módulos estructurales permite configurar diferentes espacios con el sistema. El aislamiento térmico de los paneles de fachada se adapta a las condiciones climáticas europeas. En el contexto local, el aislamiento térmico no es necesario mientras las condiciones de ventilación cruzada y el control de la incursión solar acompañen los diseños de los edificios.
- La ubicación de un ducto que agrupa las instalaciones técnicas permite modificar el espacio interior según las necesidades de los usuarios.

Desventajas

- Las juntas metálicas y soldaduras rigidizadas con vaciados de concreto son una solución estandarizada y típica para fijar los elementos que conforman el sistema. El número de elementos y la producción separada entre losas, fachadas, muros y columnas aumentan el número de juntas y procesos en la obra.
- La ubicación de los muros de carga en las fachadas hace que estos tengan pocas variaciones en el mismo proyecto.
- Con este sistema, la belleza de los edificios se limita a las características de los paneles de fachada y a las variantes que se proponen desde los diseños arquitectónicos.



1. Losa prefabricada en concreto
2. Barras metálicas
3. Concreto vaciado *in-situ*
4. Pared interior prefabricada en concreto
5. Losa prefabricada en concreto
6. Barras metálicas
7. Concreto vaciado *in-situ*
8. Muro de fachada prefabricado en concreto
9. Muro interior prefabricado en concreto
10. Barras metálicas
11. Concreto vaciado *in-situ*
12. Muro de fachada prefabricado en concreto
13. Losa prefabricada en concreto
14. Muro de fachada prefabricado en concreto
15. Barras metálicas
16. Concreto vaciado *in-situ*

Gráfico 127
Detalles constructivos

5.2.5. Habitat 67. Montreal, Canadá, 1967

Gráfico 128
Vista exterior

Habitat 67. Montreal, Canadá, 1967	
Tipo de estructura	Células espaciales
Tipo de prefabricación	Abierta
Arquitecto inventor o diseñador	Moshe Safdie
Áreas promedio por vivienda (en metros cuadrados)	Desde 60 hasta 460
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	354 módulos, 146 viviendas
Altura media de los edificios (en número de pisos)	12
Número de tipos de elementos prefabricados	15
Cimientos prefabricados para columnas	0
Vigas de cimentación prefabricadas para muros o vigas de amarre	0
Losas de cimentación prefabricadas	0
Columnas	0
Vigas	0
Paneles de fachada	0
Muros interiores	0
Losas de contrapiso y entrepiso	3
Losas para techos	2
Elementos especiales (buitrones, juntas, áreas comunes, toldos)	2
Escalera	3
Células espaciales estructurales	5
Tipos de juntas	Barras de acero y concreto vaciado *in situ*

Información tomada de: Bergdoll y Christensen, 2008. pp. 124-127. También tomado de: Staib, Dörrhöfer y Rosenthal, s. f., p. 163.

Tabla 26
Hábitat 67. Montreal, Canadá, 1967

Sistema y construcción

Este edificio fue concebido como un complejo de viviendas modulares a través del sistema estructural de células espaciales, compuesto por muros y losas integradas desde el proceso de producción, lo que redujo el número de juntas de construcción y sus uniones se hicieron a través de conectores metálicos, juntas de concreto y soportes simples. (Staib, et al., 2008b, p. 163). El proyecto se desarrolló para la Exposición Internacional *Expo 67*. Propuso la construcción a través de los principios de la industrialización y la combinación de módulos para generar diferentes tipos de viviendas en contextos densos. Este proyecto fue originalmente una tesis de maestría, desarrollada en 1961 en la Facultad de Arquitectura de la Universidad McGill, en Canadá, por Moshe Safdie, quien, a partir de algunos principios del movimiento Metabolista, propuso una suma de módulos con un patrón de instalación estructural para la agrupación de este edificio residencial (Bergdoll & Christensen, 2008, pp. 124-127).

El proyecto fue diseñado para integrar los beneficios de la vivienda suburbana (como jardines, aire fresco, privacidad y terrazas) con los factores económicos y la densidad de un edificio de apartamentos. Este edificio incluyó 354 módulos de concreto prefabricado con dimensiones de 11.80m x 5.30m x 3.50m, que se ubicaron en 12 pisos a través de un orden espacial y estructural. La unión de estos módulos generó 146 unidades de vivienda con diferentes tamaños y configuraciones, que van desde un único módulo prefabricado típico hasta ocho módulos para componer 15 tipos de viviendas con áreas de 60 a 460m² (Habitat 67, s. f.). Cada unidad se conectó al menos con una terraza privada con áreas variables desde 20m² hasta 90m², ubicada en los techos de los módulos inferiores. En el grupo de elementos que formaban parte de los muros de carga, se especificó el núcleo de escaleras y ascensores. Los módulos no estaban cubiertos, ya que el piso del módulo superior funcionaba como el techo del módulo inferior. Los módulos superiores tenían secciones de pared más estrechas para reducir el peso de la estructura, que se conformó con la presencia de núcleos de circulación vertical (Fox, 1997, p. J1).

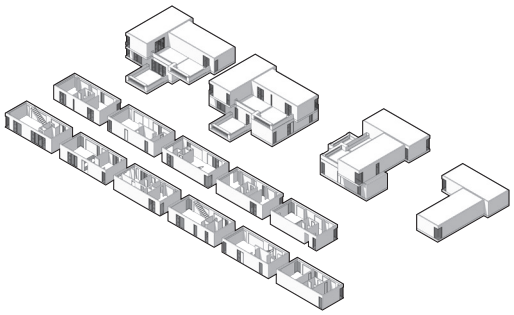
Debido a sus características arquitectónicas, los procesos técnicos con los que se ejecutó y la validez de los principios en el curso de su ocupación, Hábitat 67 se considera un hito arquitectónico. El proyecto fue diseñado para integrar los beneficios de las casas suburbanas y propuso un sistema de jardines, aire fresco y privacidad en altura, con los beneficios económicos y la densidad de un edificio de apartamentos urbano moderno[36]. El complejo de viviendas fue concebido como una referencia para el nuevo estilo de vida de las personas en ciudades cada vez más pobladas de todo el mundo. El costo de las unidades de vivienda fue más alto de lo que se pensaba originalmente. Hábitat 67 es considerado como un experimento que redefinió algunas condiciones de la vida urbana. Sin embargo, la construcción de viviendas económicas o el inicio de una ola de proyectos modulares prefabricados, como Safdie ha imaginado, no se logró. Este proyecto le permitió a él y a otros arquitectos re-imaginar viviendas de alta densidad a través de la industrialización y mejorar la integración social a través de la arquitectura[37].

36 Fox, Matthew (Enero 4 de 1997). «*At home in Habitat*». Toronto Star. p. J1.

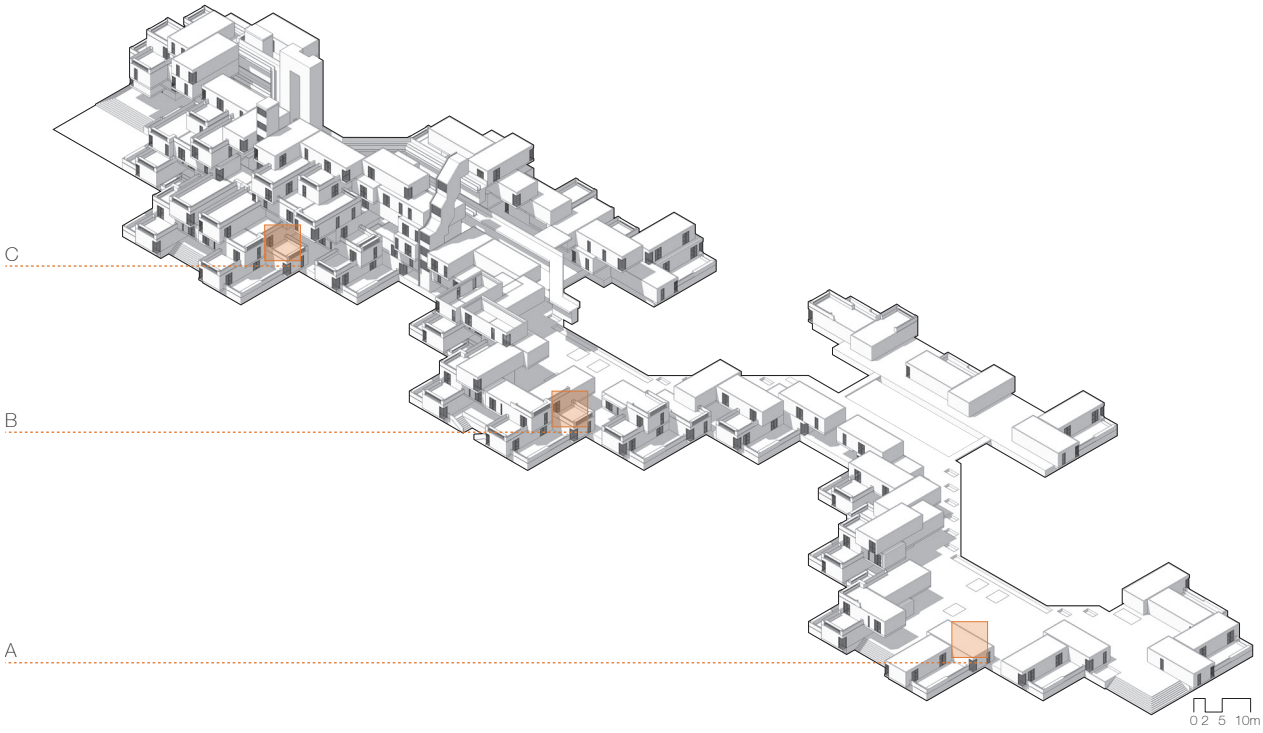
37 Rémillard, Francois. *Montreal architecture: A Guide to Styles and Buildings*. Montreal: Meridian Press, 1990.

Células espaciales

Gráfico 129
Componentes: Planta y fachada



0 2 5 10m



0 2 5 10m

Gráfico 130
Componentes: Axonometría

Gráfico 131
Proceso de construcción

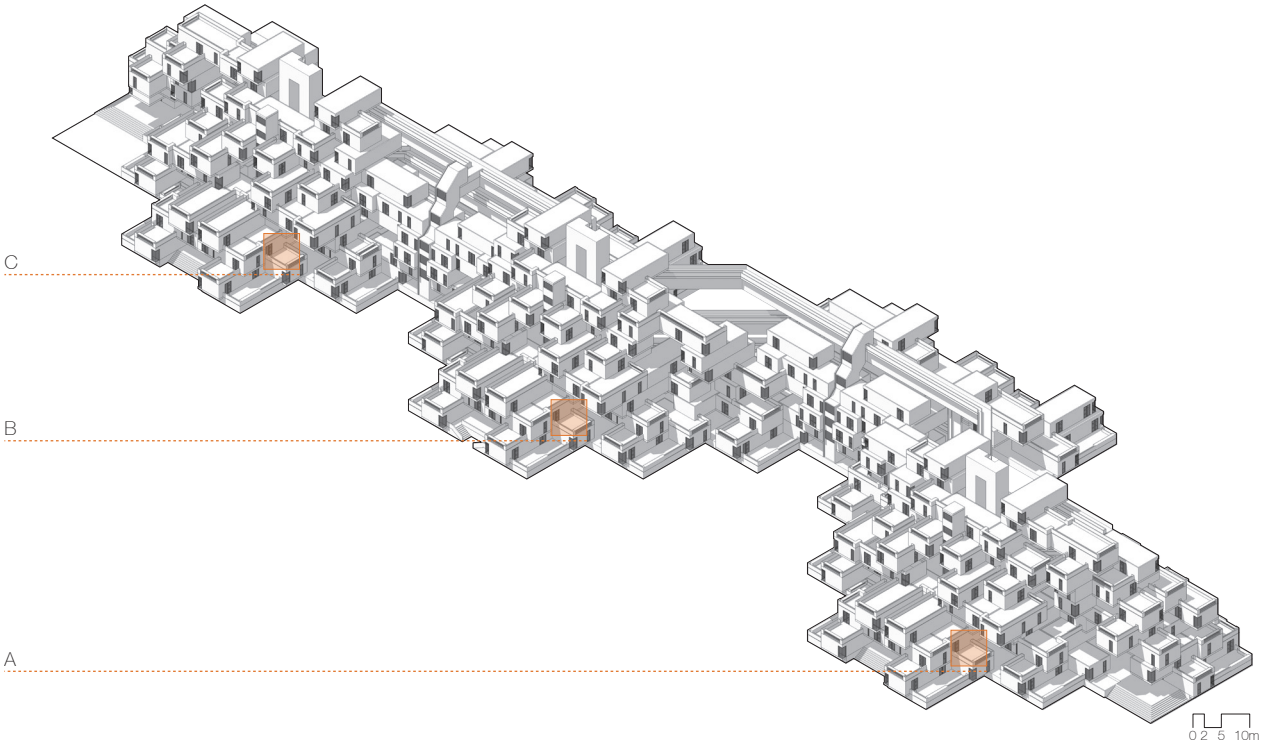


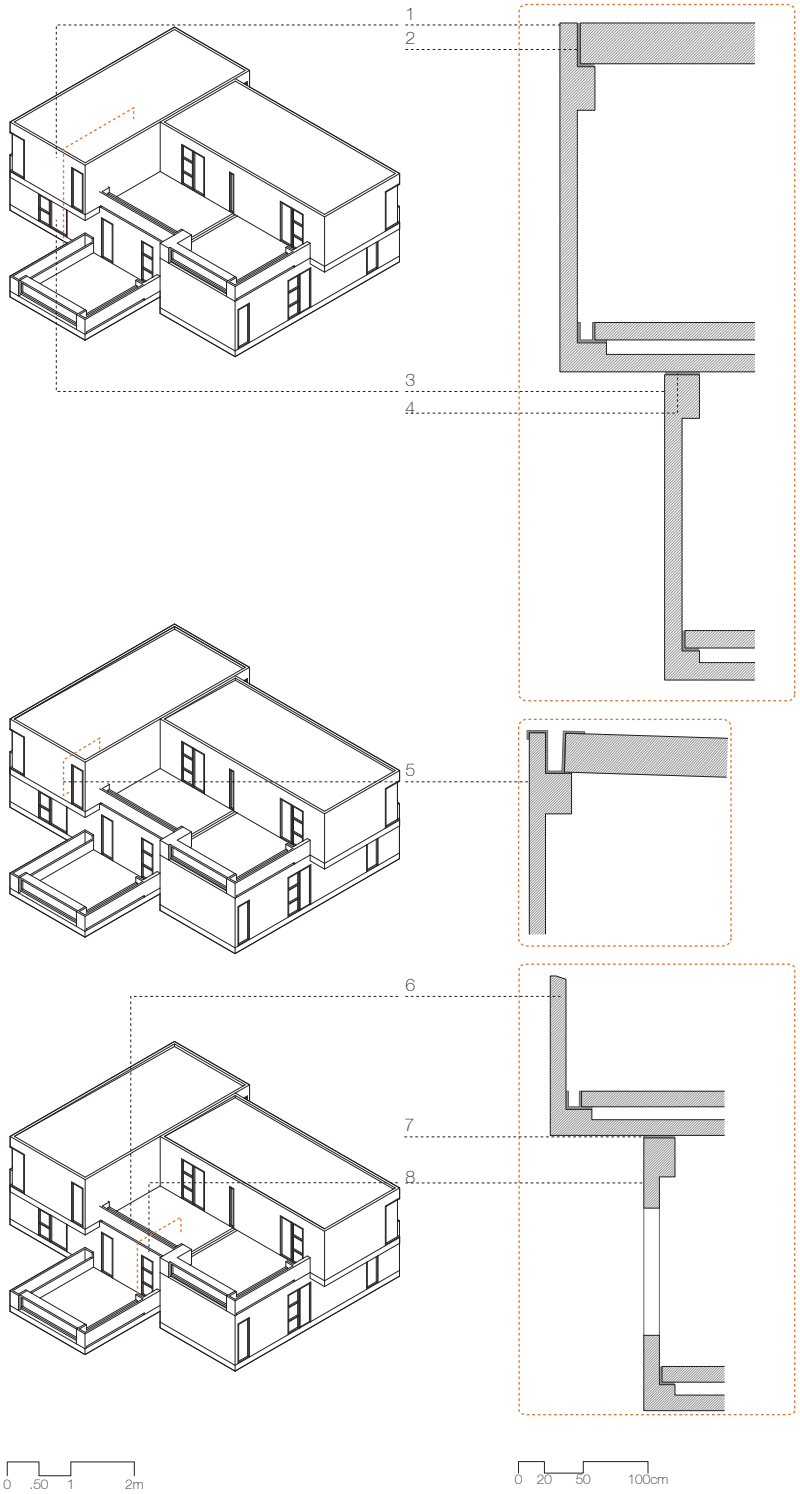
Gráfico 132
El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico

Ventajas

- Un grupo de módulos prefabricados, estandarizados, con las mismas características y algunas variaciones en la ubicación de ventanas o puertas, permite la construcción masiva de viviendas que pueden adaptar sus áreas a diferentes tipologías.
- Un sistema modular de células estructurales autoportantes permite la adaptación individual o grupal a diferentes topografías y tipos de suelo. Las losas de piso distribuyen las cargas al suelo por unidad de área, lo cual hace que los cimientos tengan una profundidad reducida.
- Al resolver las fijaciones entre losas y muros de carga en las plantas de prefabricación, la reducción en el número de juntas en el sitio reduce el tiempo de montaje. En algunos casos, la unión entre células espaciales se puede hacer con un soporte simple o con un número de fijaciones más pequeñas que las requeridas para fijar muros y losas individualmente. La configuración geométrica y la distribución superficial de las cargas al suelo reducen la profundidad de los cimientos del sistema.
- La disposición de los módulos permite controlar la incursión solar, genera ventilación cruzada y configura espacios exteriores como terrazas o jardines en altura, evocando la vida de una casa en un conjunto de viviendas.
- Al reducir el número de elementos estructurales en el interior, el espacio habitable puede adaptarse a las necesidades de uso de sus ocupantes.

Desventajas

- La disposición de los módulos en el edificio hace que algunos de ellos dupliquen los muros divisorias estructurales o las losas de piso entre las viviendas, lo cual aumenta los costos y el tiempo de construcción.
- Las dimensiones de los módulos completos de vivienda implican que el proceso de transporte e instalación requiera grandes vehículos y grúas, lo que hace que el sistema sea inaccesible a diferentes contextos o configuraciones geográficas.
- La prefabricación de las fachadas de los módulos habitables hace que se reduzca el número de variantes en el mismo proyecto. Aunque permite la participación de otros materiales y sistemas de construcción, este sistema de prefabricación reduce la posibilidad de generar otros lenguajes en las fachadas, a partir del uso de técnicas de construcción locales.
- La estética del sistema está relacionada con la disposición de los módulos en el edificio y con los diseños de las células de concreto prefabricado. A pesar de la versatilidad del sistema, esta condición no permite que otros materiales, técnicas de construcción o mano de obra local participen activamente en la construcción del proyecto. El lenguaje, definido por el sistema de prefabricación, reduce la participación de la comunidad en el diseño arquitectónico.



1. Célula espacial
2. Concreto vaciado *in-situ*
3. Célula espacial
4. Concreto vaciado *in-situ*
5. Célula espacial
6. Célula espacial
7. Concreto vaciado *in-situ*
8. Concreto vaciado *in-situ*

Gráfico 133
Detalles constructivos

5.2.6. Otros proyectos

5.2.6.1. Proyecto de Vivienda Experimental PREVI. Lima, Perú, 1966

Invitado por el Gobierno peruano, el Banco de la Vivienda del Perú y las Naciones Unidas (ONU), a principios de la década de 1960, el arquitecto británico Peter Land comenzó su trabajo como consultor en futuros programas de vivienda social en este país (Land, 2008, pp. 10-11). En su forma inicial, el PREVI consistió en cuatro proyectos piloto. El primero (PP1) propuso un nuevo vecindario de casas de bajo costo con nuevos métodos de diseño y construcción, basado en los resultados de una competencia internacional. En total, cuatro de los 26 tipos de viviendas utilizaron sistemas estructurales de concreto prefabricado.

5.2.6.1.1. Casas prefabricadas diseñadas por James Stirling. Lima, Perú, 1966

James Stirling diseñó estas casas con un sistema mixto compuesto de muros estructurales en las fachadas y cuatro columnas en el espacio interior. Las conexiones entre los elementos estructurales prefabricados se realizaron con barras metálicas soldadas entre sí. En los nudos, se utilizó concreto vaciado *in situ* para aumentar la rigidez y garantizar la estabilidad del conjunto (García-Huidobro, Torres & Tugas, 2008). Los diseños arquitectónicos originalmente propusieron que la sala y los dormitorios se ubicaran alrededor del patio central. La cocina, el baño y el área de ropas se distribuirían alrededor de un segundo patio, que era más pequeño que el patio central. Estas condiciones permitieron transformaciones de la arquitectura original para desarrollar espacios destinados al comercio de vecindario y ampliaciones de la vivienda en áreas libres del piso de acceso, o mediante la construcción de un segundo piso (Lucas, Salas & Barrionuevo, 2012, pp. 56- 59).

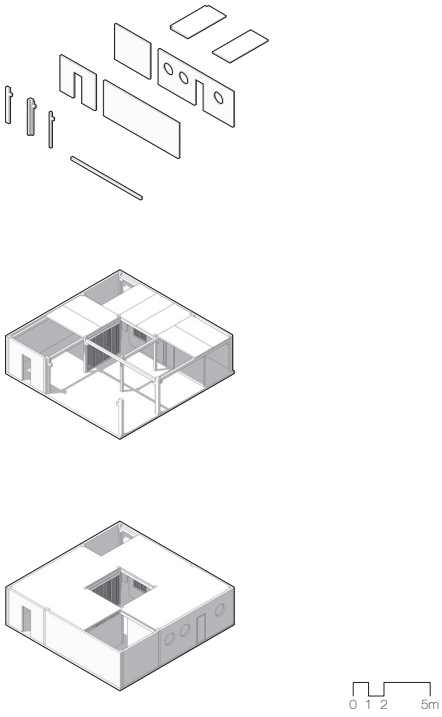


Gráfico 134
Viviendas prefabricadas, diseñadas por James Stirling. Lima, Perú, 1966. Proceso de construcción

5.2.6.1.2. Casas prefabricadas diseñadas por Llanos y Mazzarri

Estas viviendas fueron diseñadas y construidas con muros estructurales modulares en concreto prefabricado que se unieron a las losas mediante conectores metálicos rigidizados a través de concreto vaciado *in situ*. Para cada vivienda, se hizo un patio trasero de servicios y un patio de acceso principal. El centro de la casa contenía la cocina, el baño y las escaleras. A través de los patios, se resolvieron diferentes grados de privacidad entre la sala, el comedor y las habitaciones. En estas viviendas de dos pisos, la rigidez de las fachadas prefabricadas condicionó las intervenciones futuras porque todas eran estructurales. Por lo tanto, las viviendas tenían que ser ampliadas en las áreas del patio ubicadas en los lados. Estos no estaban completamente ocupados para mantener la entrada de aire y luz natural a los espacios interiores (García-Huidobro et al., 2008, pp. 110-113).

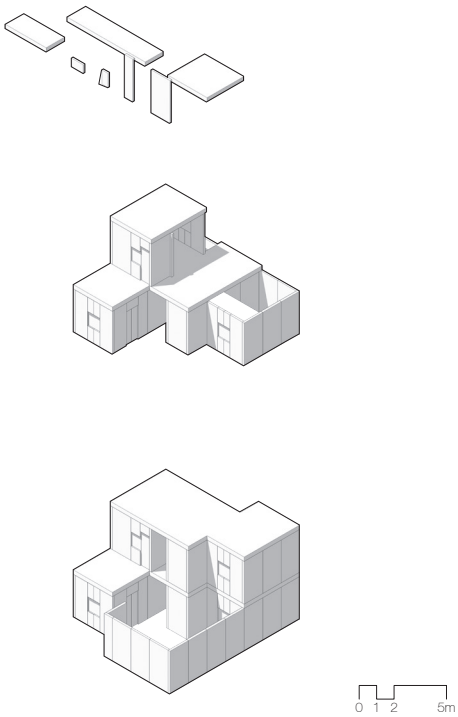


Gráfico 135
Viviendas prefabricadas, diseñadas por Llanos y Mazzarri. Proceso de construcción

5.2.6.1.3. Casas prefabricadas diseñadas por ATELIER 5

Estas casas fueron diseñadas con un sistema mixto de muros estructurales y elementos pertenecientes al sistema esqueletal, como columnas y vigas de concreto prefabricado. En la construcción del proyecto, se utilizó un sistema de muros y losas prefabricadas, que se unieron a las vigas y columnas soldando el refuerzo estructural y luego vaciando concreto sobre sus nudos. En estas viviendas de dos pisos, el acceso se resolvía a través de un patio construido a un nivel de altura media. El acceso se conformó reutilizando el terreno del proceso de excavación para construir los cimientos. La vivienda original propuso el programa en dos niveles: la planta baja tenía los dormitorios y el piso superior tenía la sala, la cocina, el baño y las terrazas. El proceso de ampliación comenzó construyendo sobre las terrazas originales, aprovechando los muros interiores para construir el techo. Los patios fueron diseñados para iluminar los espacios interiores, y los procesos de reforma de las viviendas no los han eliminado, de acuerdo con la necesidad de incorporar aire y luz natural en el espacio interior. (García-Huidobro et al., 2008, pp. 78-85).

5.2.6.1.4. Casas prefabricadas diseñadas por Montagne y Morales

En estas casas, los muros estructurales de concreto prefabricado reforzado funcionaron como encofrado perdido. Las casas, originalmente concebidas de un piso y proyectadas de modo que su crecimiento alcanzara dos pisos, se estructuraron alrededor de un patio interior de 4,40m. De esta manera, se unieron lateralmente a través de muros divisorios estructurales y hacia la parte posterior con un muro que separaba los patios interiores. Los elementos prefabricados se unieron mediante conectores metálicos soldados entre sí, con concreto vaciado *in situ* sobre los nudos. Todos los espacios de las casas fueron diseñados para ser iluminados y ventilados hacia las fachadas principales y hacia el patio interior, separados por paneles estructurales prefabricados. Por un lado, estaban los espacios sociales, como la sala, el comedor y la cocina. Al otro lado estaban los dormitorios y un baño. Las viviendas se agruparon de a 10 unidades, generando patios urbanos para iluminar y ventilar naturalmente las fachadas principales (García-Huidobro et al., 2008, pp. 114-116).

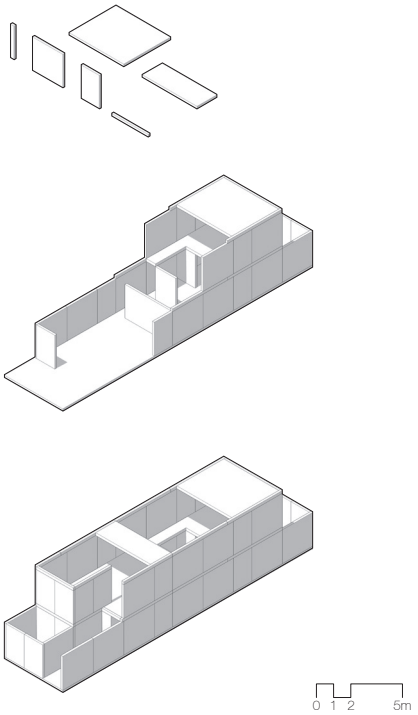


Gráfico 136
Casas prefabricadas diseñadas por ATELIER 5. Proceso de construcción

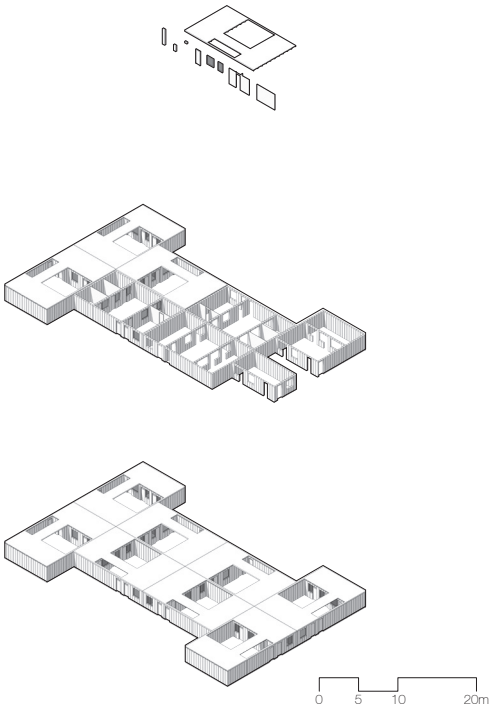


Gráfico 137
Casas prefabricadas diseñadas por Montagne y Morales. Proceso de construcción

5.2.6.2. Larsen y Nielsen, Dinamarca, 1960

Este sistema de muros estructurales, diseñado y desarrollado en Dinamarca en 1960, se extendió ampliamente en África, Asia y América. El grado de detalle alcanzado en los diseños, la versatilidad de las piezas y sus proporciones redujeron el tiempo de construcción. Con esta serie, se construyeron edificios hasta de 12 pisos de altura. Las juntas se resolvieron mediante ensambles, barras metálicas y vaciados de concreto *in situ*. Para hacer factibles los proyectos, los diseños arquitectónicos se racionalizaron en las plantas de producción para mejorar la estandarización y la eficiencia del proceso. La tecnología de prefabricación de Larsen & Nielsen se adaptó a diferentes diseños arquitectónicos, lo que permitió que cada proyecto tuviera un conjunto de componentes estructurales con diferentes rangos de medidas. Los detalles de construcción con los que se diseñaron y produjeron los elementos prefabricados ampliaron las posibilidades de uso y permitieron su adaptación a varios contextos (Alonso y Palmarola, 2014, pp. 224-225).

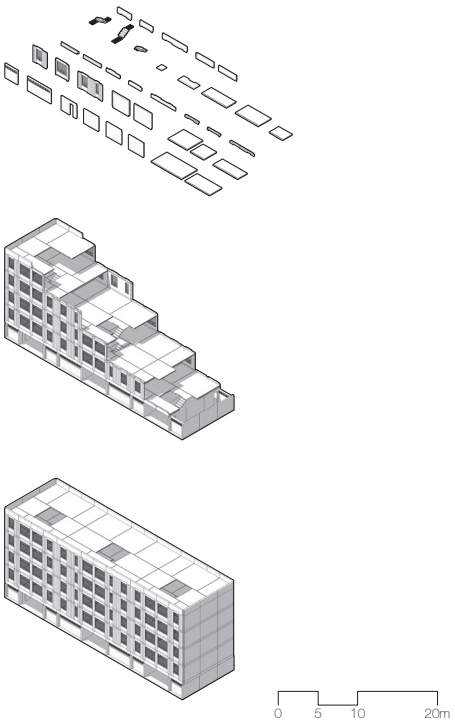


Gráfico 138
Larsen y Nielsen, Dinamarca, 1960. Proceso de construcción

5.2.6.3. 1-464, antigua Unión Soviética, 1960

La serie de prefabricación 1-464 se inspiró en el sistema estructural Camus para sus desarrollos técnicos. Compuesto por muros estructurales, fue diseñado para lograr la mayor área de construcción con el menor consumo de concreto; fue la segunda vivienda más barata en la antigua URSS y una de las más extensamente construidas en Europa del Este entre 1960 y 1980. Con estos elementos prefabricados, se construyeron edificios residenciales hasta de cinco pisos de altura. Las alturas interiores libres de las viviendas alcanzaron hasta 2,55m y los apartamentos tenían uno o dos dormitorios. Las losas de entrepiso se produjeron con una prefabricación parcial y los acabados se instalaron en el sitio. Las juntas se diseñaron con barras de acero entre los paneles prefabricados y se rigidizaron con un vaciado de concreto *in situ*. El nivel de confort en estas casas fue ampliamente cuestionado, ya que las áreas de la vivienda eran estrechas, el aislamiento acústico de los muros y losas no funcionaba adecuadamente y los edificios carecían de ascensores. Las viviendas de la serie 1-464 se produjeron hasta mediados de la década de 1990 (Alonso y Palmarola, 2014, pp. 200-201).

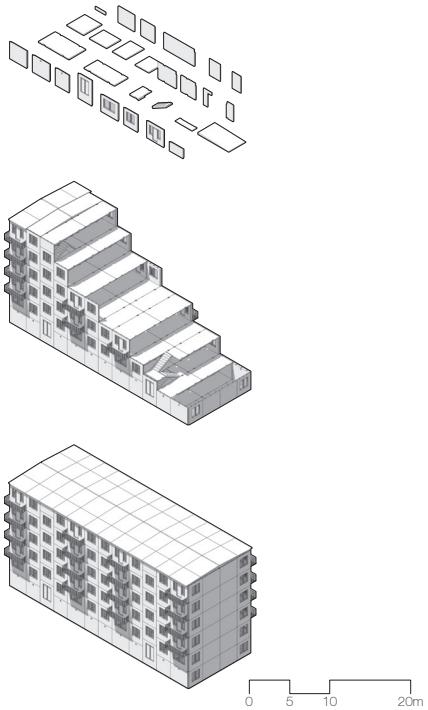


Gráfico 139
1-464, Antigua Unión Soviética, 1960. Proceso de construcción

5.2.6.4. Jugomont 61, antigua Yugoslavia, 1961

Este sistema de muros estructurales, se utilizó en la construcción de proyectos de vivienda en la antigua Yugoslavia en los años sesenta y setenta. Se agregaron otros elementos prefabricados livianos y removibles – como los paneles de aluminio y madera, generalmente especificados para las fachadas – a los paneles de concreto prefabricado reforzado. Esta condición permitió el reemplazo de componentes obsoletos o desgastados y la renovación de los edificios. En *Neues Bauen in der Welt* (1965), Udo Kulterman escribió que esta serie prefabricada fue la que más abordó el concepto de "máquinas para la vida", propuesto por la arquitectura moderna (Kulterman, 1965). La estructura estaba ubicada dentro de los edificios, en los espacios habitables, dejando las fachadas libres para ser resueltas con elementos prefabricados no estructurales. Las uniones entre sus componentes se realizaron con conectores metálicos y vaciados de concreto. Con esta serie se construyeron aproximadamente 30.000 unidades de vivienda, con una altura promedio de seis pisos, durante un período de 20 años. Tenía 10 tipos de elementos prefabricados y logró una amplia posibilidad de combinaciones constructivas con diferentes respuestas técnicas y estéticas (Alonso y Palmarola, 2014, pp. 222-223).

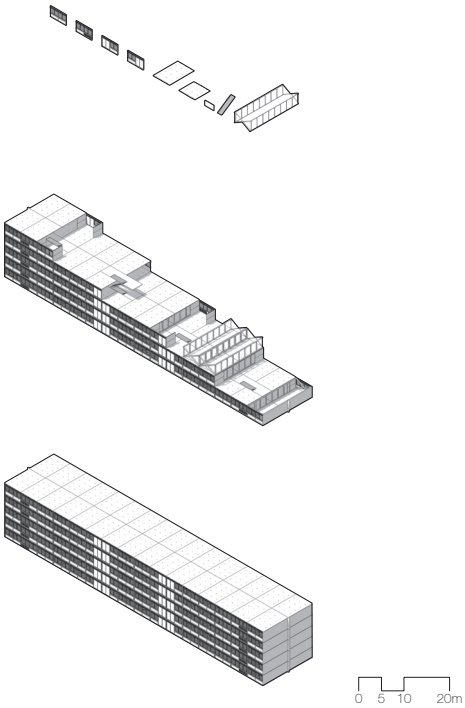


Gráfico 140
Jugomont 61, Antigua Yugoslavia, 1961. Proceso de construcción.

5.2.6.5. Ital-Camus, Italia, 1960

Este sistema, basado en muros estructurales, fue la adaptación italiana de la patente de prefabricación francesa Camus, que comenzó en 1960. Para este nuevo desarrollo, se realizaron algunas modificaciones en términos técnicos, funcionales y estéticos. El perímetro interior de las viviendas estaba formado por paneles estructurales. Los muros de la fachada alcanzaron hasta 24cm de sección y se especificaron con capas interiores y exteriores de concreto prefabricado, separadas por lana mineral que sirvió como aislamiento térmico y acústico. La diferencia fundamental con la versión francesa fue la reducción de juntas y ensambles con barras metálicas y elementos entre los paneles, lo que simplificó el proceso en comparación con el sistema original. La mayor producción de viviendas con la serie Ital-Camus ocurrió entre 1960 y 1975, principalmente en edificios de cinco pisos (Alonso y Palmarola, 2014, pp. 230-231).

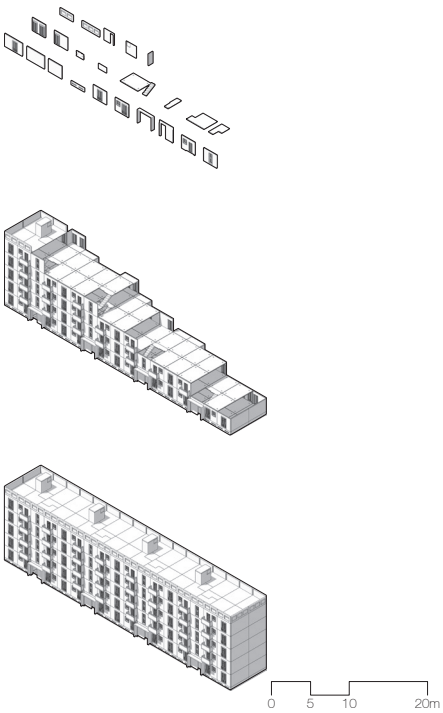


Gráfico 141
Ital-Camus, Italia, 1960. Proceso de construcción.

5.3. Años 70

5.3.1. Gran Panel 70. Cuba, 1970

Gráfico 142
Vista exterior

Gran Panel 70. Cuba, 1970	
Tipo de estructura	Muros estructurales
Tipo de prefabricación	Abierta
Arquitecto inventor o diseñador	Osmundo Machado, Grupo Nacional de Viviendas
Áreas promedio por vivienda (en metros cuadrados)	60
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	20
Altura media de los edificios (en número de pisos)	5
Número de tipos de elementos prefabricados	16
Cimientos prefabricados para columnas	0
Vigas de cimentación prefabricadas para muros o vigas de amarre	0
Losas de cimentación prefabricadas	0
Columnas	0
Vigas	0
Paneles de fachada	5
Muros interiores	6
Losas de contrapiso y entrepiso	4
Losas para techos	0
Elementos especiales (buitrones, juntas, áreas comunes, toldos)	0
Escalera	1
Células espaciales estructurales	0
Tipos de juntas	Barras de acero y concreto vaciado *in situ*

Información tomada de: Alonso y Palmarola, 2014, pp. 208-209, 253, 298-299

Tabla 27
Gran Panel 70. Cuba, 1970

Sistema y construcción

Después de las experiencias en Cuba con el Gran Panel Soviético y con el Gran Panel IV, el Arquitecto Osmundo Machado y la Dirección del Grupo Nacional de Vivienda propusieron dos objetivos fundamentales para desarrollar nuevas unidades residenciales con mayor calidad, menor tiempo y menores costos. El primero fue consolidar la base tecnológica necesaria para la prefabricación de viviendas; el segundo fue consolidar un sistema general abierto de prefabricación basado en un reglamento técnico y una gama de dimensiones para estandarizar los elementos prefabricados producidos en Cuba. El Gran Panel 70 fue el primer paso en esta búsqueda, debido a su versatilidad en planta y en fachada, lo que permitió el uso de elementos pertenecientes a otros sistemas de construcción.

Esta serie, basada en muros estructurales, fue concebida y desarrollada siguiendo el modelo holandés de Larsen & Nielsen para proporcionar un método de prefabricación más abierto, permitiendo el uso de otros componentes industrializados y otros materiales, aumentando su adaptabilidad a diferentes contextos. Las uniones entre las piezas se hicieron con barras metálicas y concreto vaciado *in situ* en los nudos. Los edificios residenciales fueron construidos con una altura promedio de cinco pisos. La crisis económica de la década de 1990, después de la caída del Muro de Berlín, redujo el comercio entre Cuba y los países de Europa del Este, lo que llevó al abandono de la industrialización pesada mientras se buscaban otros tipos de soluciones para la vivienda social (Alonso y Palmarola, 2014, pp . 208-209).

Este sistema permitió el desarrollo de nuevas variantes de prefabricación de viviendas en Cuba. Utilizó moldes deslizantes metálicos para la prefabricación de elementos estructurales, con los cuales se construyó un edificio residencial de 17 pisos en La Habana a mediados de los años 70. También permitió la inserción de un módulo de baño y cocina prefabricado, producido en una planta industrial e instalado en el espacio libre de la vivienda[38]. Estas soluciones técnicas, derivadas de la mejora del sistema, permitieron aumentar la eficiencia y la productividad en la construcción de viviendas sociales y el mejoramiento de los estándares funcionales, productivos y de diseño[39].

Una evolución del sistema fue el diseño y la producción de la losa aligerada *Spiroll*, que redujo los componentes del edificio y alcanzó longitudes de entre 8 y 12 metros. Las unidades de vivienda que utilizaron los paneles estructurales prefabricados y este tipo de losas fueron concebidas como un solo espacio subdividido por paneles livianos y muebles, lo que hizo el sistema más flexible, permitió la variación en la altura de los bloques y los servicios integrados en el espacio habitable[40].

38 Sistemas de construcción para vivienda social y edificios en la Revolución Cubana. Ministerio de Construcción. La Habana, 1984, p. 45; Salvador Gomila, Experiencias en el desarrollo tecnológico de vivienda. Centro de Información de la Construcción, La Habana, 1984, p. 24.

39 Estévez, Reynaldo. Los poderes populares y el plan de vivienda: Maneras de ampliar los recursos para aumentar la construcción de viviendas. In: VII Seminario de Vivienda y Urbanismo. Volumen 2. Desa, Ceditec. La Habana, 1977, p. 69.

40 Segre, Roberto. Tres décadas de reflexiones sobre el Hábitat Latinoamericano. National University of Colombia, 2005, 171 p.

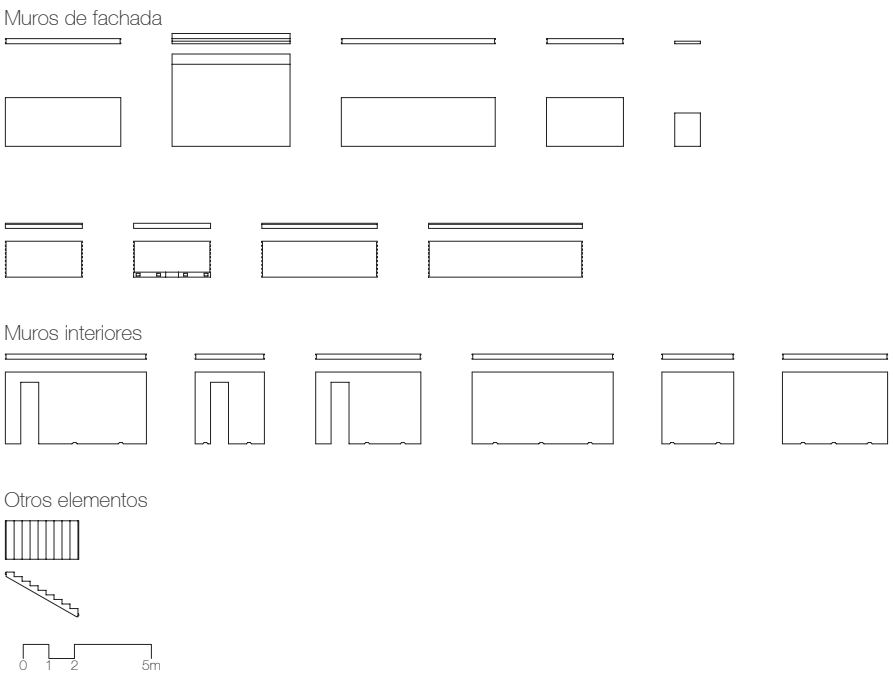
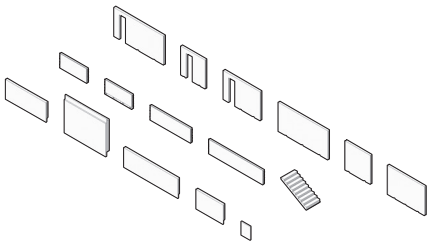


Gráfico 143
Componentes: Planta y fachada



0 1 2 5m

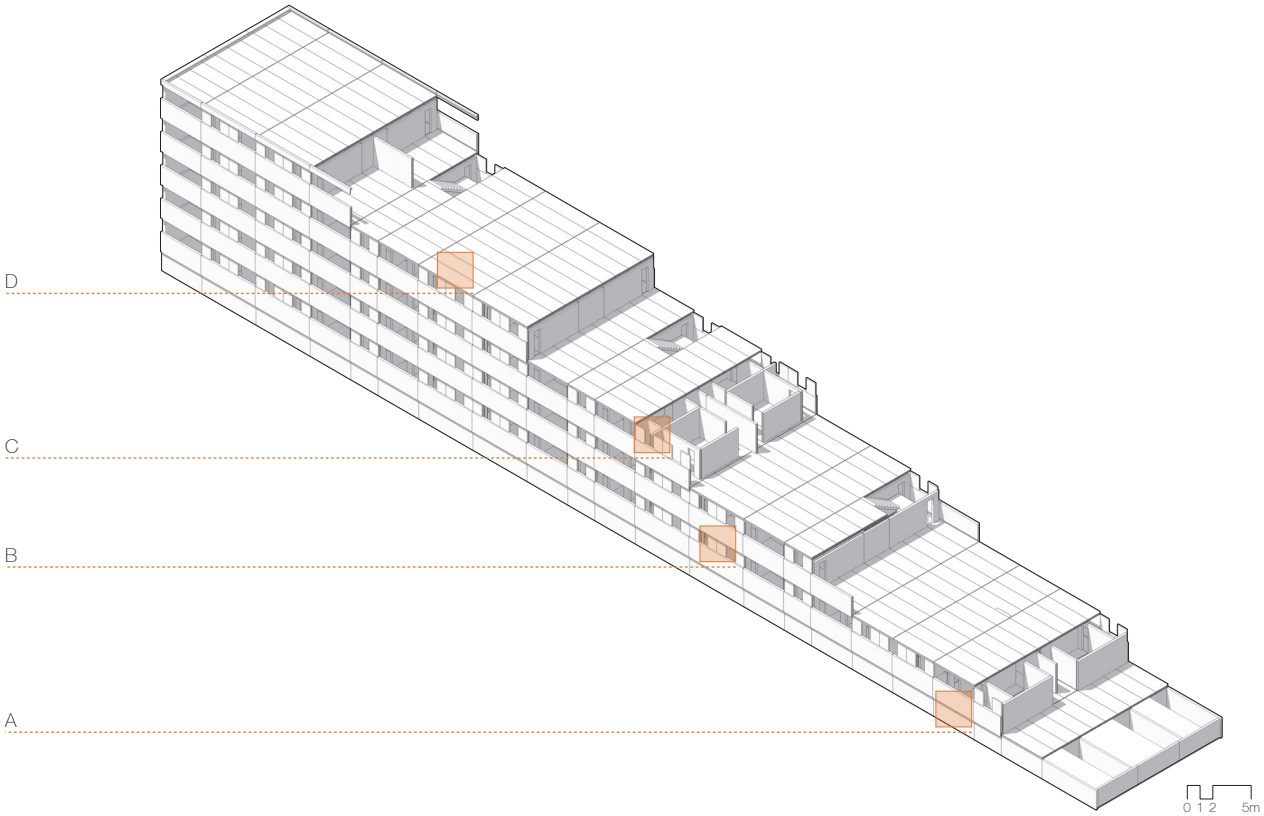


Gráfico 144
Componentes: Axonometría

Gráfico 145
Proceso de construcción

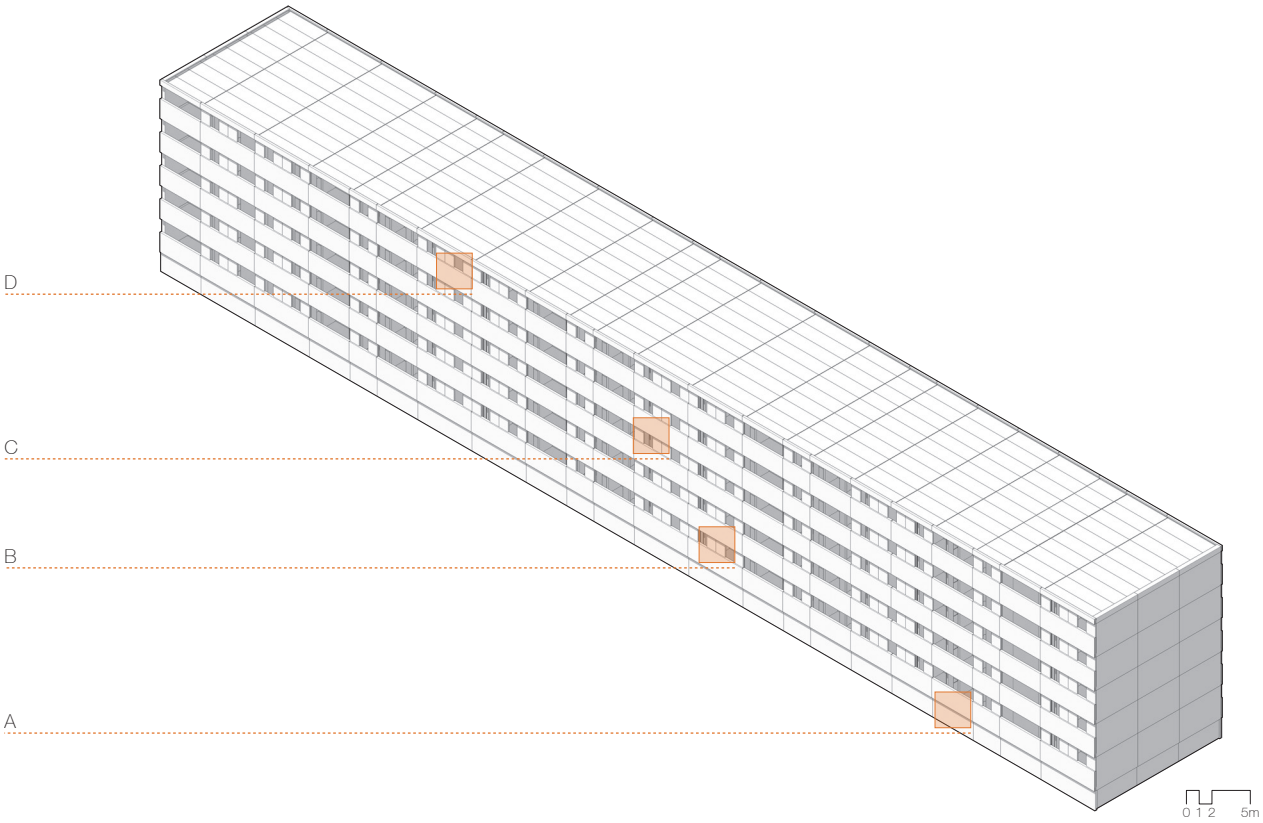


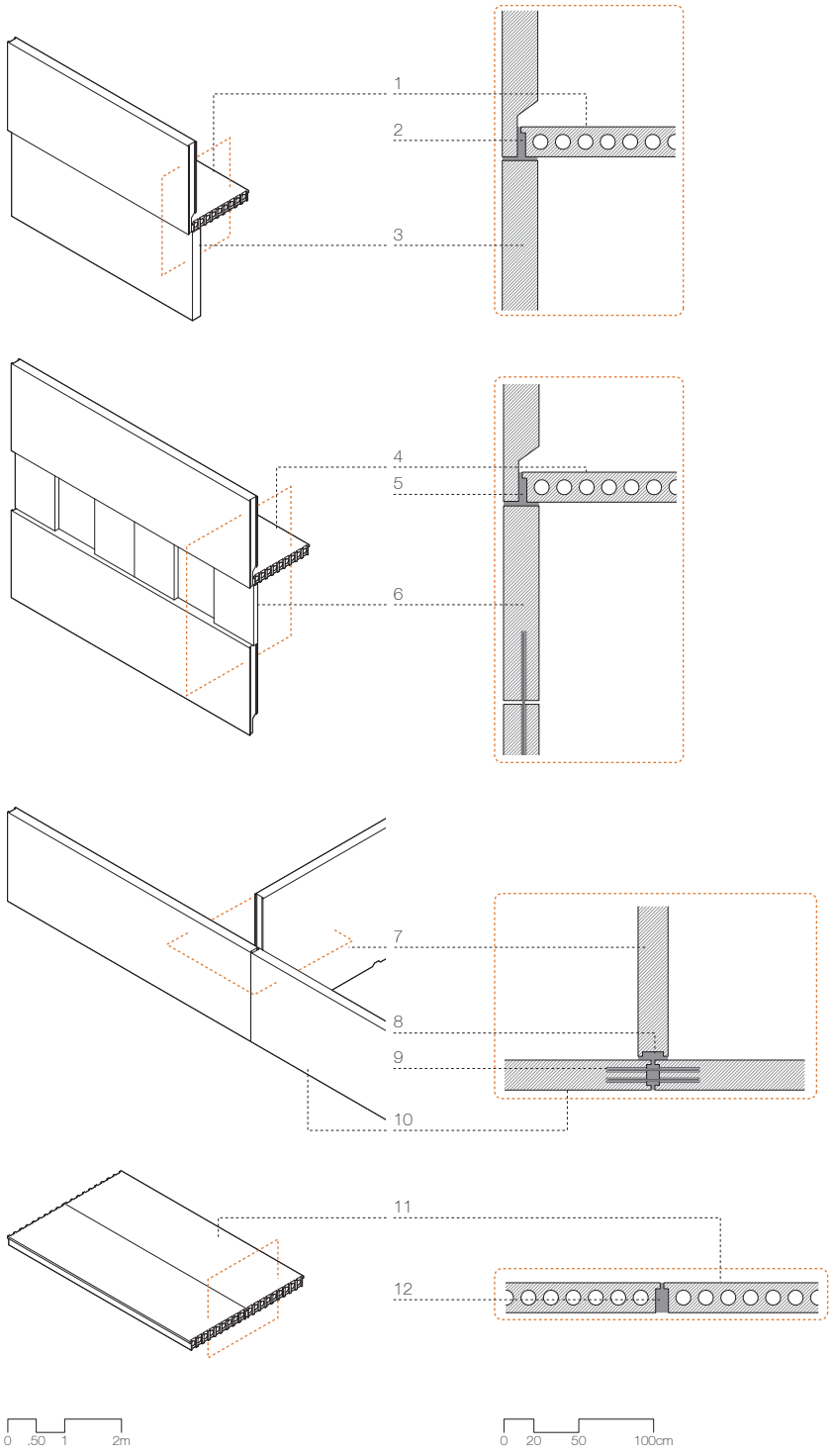
Gráfico 146
El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico

Ventajas

- Además de estandarizar un rango de dimensiones para la producción de elementos prefabricados, el sistema permite la inclusión de otros materiales y elementos coordinados dimensionalmente entre sí, para ampliar las posibilidades de industrialización.
- Con diferentes configuraciones en el espacio habitable y en el volumen, debido a las proporciones de los elementos y los diseños de sus uniones metálicas hormigonadas, esta serie puede repetirse en diferentes contextos a partir de la combinación entre sus elementos prefabricados y otros materiales o sistemas. Este sistema de prefabricación abierta permite el uso de otros materiales y la presencia de mano de obra local en los procesos de construcción.
- Las dimensiones de los paneles prefabricados permiten su transporte y acceso a diferentes contextos urbanos o rurales, o la producción de los elementos que lo conforman en el sitio del proyecto.
- Esta serie permite la adaptación de otros materiales y sistemas de construcción industrializados o locales, lo que permite ampliar las posibilidades técnicas, estéticas y de construcción.
- La combinación con otros elementos o sistemas de construcción con el mismo módulo dimensional permite que esta serie tenga diferentes lenguajes, espacios interiores, tipologías de vivienda y usos por parte de las comunidades.
- La presencia de otros materiales y sistemas permite establecer principios de ventilación cruzada, control de incursión solar y bienestar en el diseño del espacio interior.
- La combinación con otros sistemas y materiales amplía las posibilidades del lenguaje del sistema, de acuerdo con los materiales utilizados en los contextos locales y con las tradiciones culturales de sus habitantes.
- Los elementos no estructurales dentro del espacio habitable permiten la modificación de las viviendas por parte de las familias que las ocupan, según sus necesidades.

Desventajas

- Cada elemento de la losa, fachada y muro debe ser ensamblado individualmente en el proceso de montaje. Aunque los diseños de las uniones (en barras metálicas rigidizadas con vaciados de concreto) permiten estandarizar el proceso de izaje y las uniones entre las piezas, la cantidad de ensambles en el sitio reduce la eficiencia del proceso.



1. Losa prefabricada en concreto
2. Concreto vaciado *in-situ*
3. Muro de fachada prefabricado en concreto
4. Losa prefabricada en concreto
5. Concreto vaciado *in-situ*
6. Muro de fachada prefabricado en concreto
7. Muro interior prefabricado en concreto
8. Concreto vaciado *in-situ*
9. Barras metálicas
10. Muro de fachada prefabricado en concreto
11. Losa prefabricada en concreto
12. Concreto vaciado *in-situ*

Gráfico 147
El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico

5.3.2. WBS 70 (*Wohnhungsbauserie* 70). Antigua República Democrática Alemana, 1970

Gráfico 148
Vista exterior

WBS 70 (*Wohnhungsbauserie* 70), Antigua República Democrática Alemana, 1970	
Tipo de estructura	Muros estructurales
Tipo de prefabricación	Abierta
Arquitecto inventor o diseñador	*Deutschen Bauakademie*, TU Dresden
Áreas promedio por vivienda (en metros cuadrados)	32, 45, 67, 78, 90
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	28
Altura media de los edificios (en número de pisos)	7
Número de tipos de elementos prefabricados	68
Cimientos prefabricados para columnas	0
Vigas de cimentación prefabricadas para muros o vigas de amarre	6
Losas de cimentación prefabricadas	0
Columnas	0
Vigas	0
Paneles de fachada	24
Muros interiores	8
Losas de contrapiso y entrepiso	16
Losas para techos	0
Elementos especiales (buitrones, juntas, áreas comunes, toldos)	12
Escalera	2
Células espaciales estructurales	0
Tipos de juntas	Barras metálicas, soldadura y concreto vaciado

Información tomada de: Alonso y Palmarola, 2014, pp. 202-203, 250, 290-291

Tabla 28
WBS 70 (*Wohnhungsbauserie* 70). Antigua República Democrática Alemana, 1970

Sistema y construcción

Este sistema de muros estructurales fue desarrollado por la Academia Alemana de Construcción (*Deutsche Bauakademie*) y por la Universidad Técnica de Dresden (*Technische Universität Dresden*) en 1970. Desde el comienzo del principio radical de la República Democrática Alemana de "una vivienda para cada persona", empezó la concepción y desarrollo de cinco tipos de viviendas, con un área de entre 32 y 90m², que utilizaban paneles estructurales de concreto. El proceso de ensamble se realizó con barras metálicas y soldaduras y con vaciados de concreto *in situ* que rigidizaron los nudos. Esta serie fue desarrollada para adaptarse a diferentes condiciones topográficas variando las proporciones de sus elementos. Las circulaciones colectivas se redujeron de modo que las áreas privadas de las casas fueran más grandes. La variabilidad en los tamaños de las viviendas, la densidad de ocupación y la altura de los edificios (generalmente entre cinco y siete pisos) se definieron a partir de las proporciones de los módulos prefabricados con los que fueron diseñados (Wikiwand, s. f.). El trabajo de diseño detallado y las texturas – incluyendo acabados de piedra, chapas de cerámica o pinturas – se incorporaron a las superficies de los paneles para diversificar su lenguaje y generar otras condiciones estéticas (Alonso y Palmarola, 2014, pp. 202-203).

Para el desarrollo de este sistema, se implementó un número reducido de elementos estructurales, lo que permitió diferentes combinaciones en los procesos de diseño y construcción de las viviendas. La producción de los primeros elementos de esta serie comenzó en octubre de 1972; en abril de 1973, el ensamblaje comenzó en el primer edificio de apartamentos de cinco pisos en la parte occidental de la ciudad de Neubrandenburg, Alemania. De los 1,5 millones de hogares construidos en los *Plattenbau* (paneles estructurales) entre 1973 y 1991, 644.900 pertenecen a este sistema, casi el 42% del número total. Esta serie se usó principalmente porque la flexibilidad que permitía el diseño de la vivienda era mayor que la de otros sistemas utilizados[41]. Los muros de carga se ubicaron a una distancia de 6m.

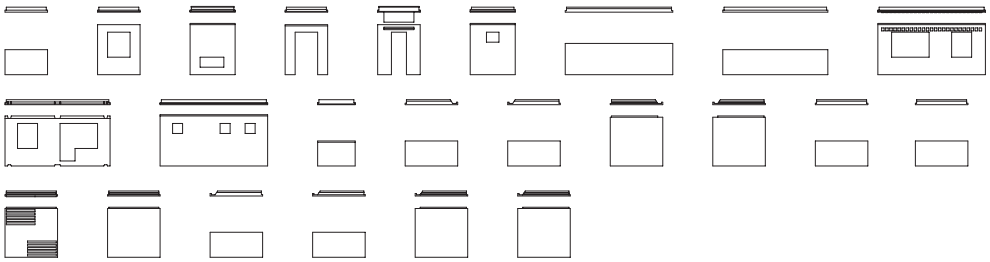
El concepto de diseño del espacio interior se propuso con una unidad de servicio que asociaba la cocina y el baño (este último sin luz natural o ventilación) para dejar el área social y las habitaciones como espacios libres. Este sistema fue desarrollado con módulos de pared de 6,00m x 2,80m, las losas de entrepiso de 6,00m x 3,00m en concreto pretensado y de 3,60m x 3,00m en concreto reforzado[42]. Su concepción arquitectónica redujo las áreas de circulación al máximo, de modo que las áreas habitables eran mayores[43].

41 WBS 70, *die Einheistplatte*. En: Jeder m2 Du: *das Plattenportal*. Accedido el 4 de junio de 2017; disponible en https://www.jeder-qm-du.de/ueber-die-platte/detail/wbs-70/.

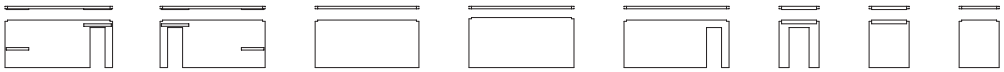
42 Bauakademie der DDR: *Wohnungsbauserie* 70. *Ersteinführung im VEB* (B) *Wohnungsbaukombinat Neubrandenburg*, 1. Ausgabe 1974.

43 WBS 70, *die Einheistplatte*. En: Jeder m2 Du: *das Plattenportal*. Accedido el 4 de junio de 2017; disponible en https://www.jeder-qm-du.de/ueber-die-platte/detail/wbs-70/.

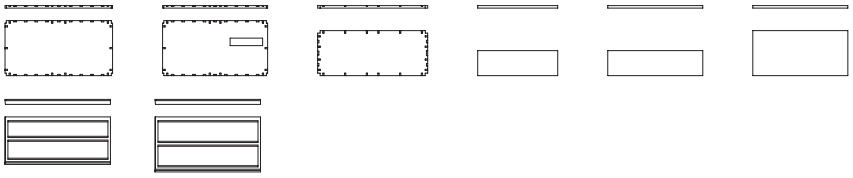
Muros de fachada



Muros interiores



Losas de entrepiso



Otros elementos

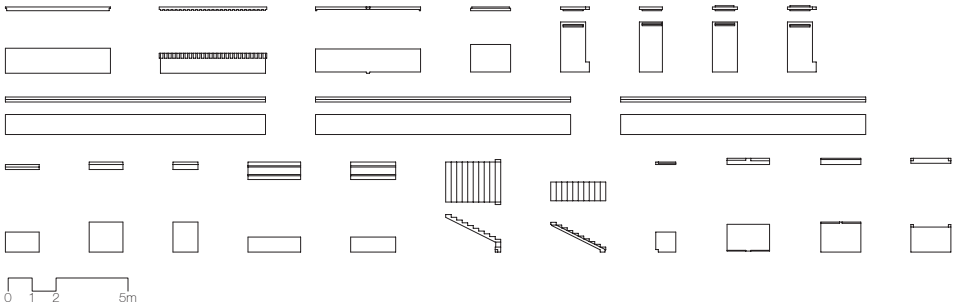
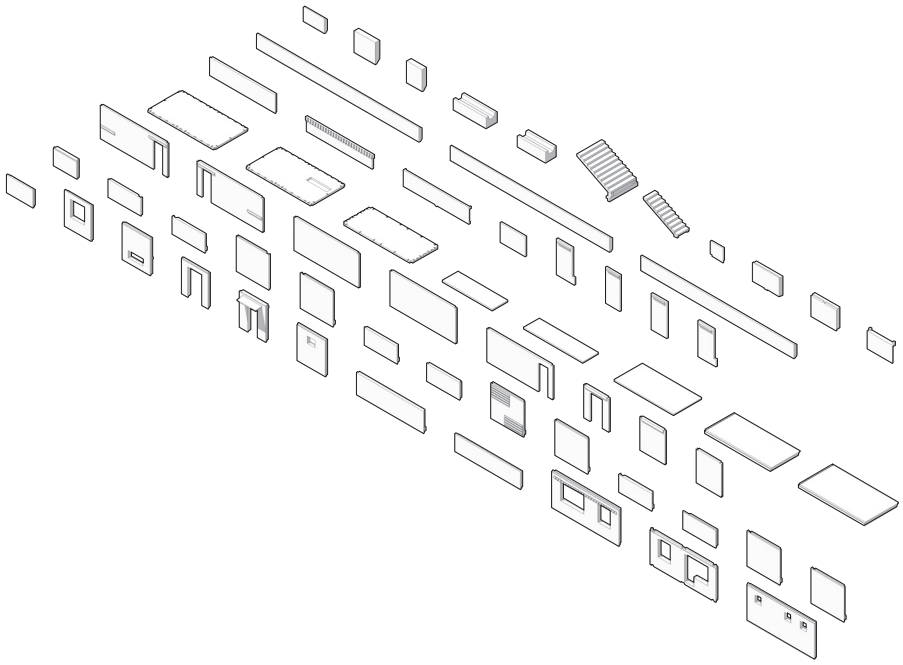


Gráfico 149
Componentes: Planta y fachada



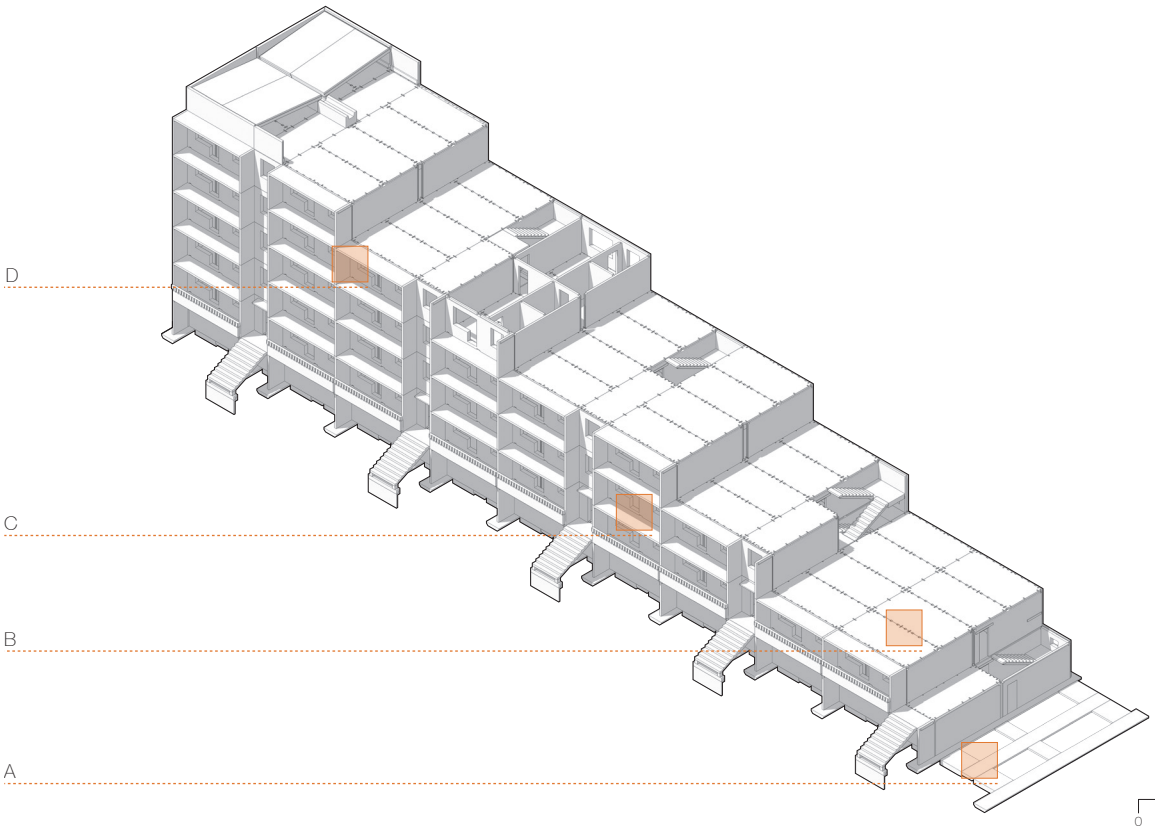


Gráfico 150
Componentes: Axonometría

Gráfico 151
Proceso de construcción

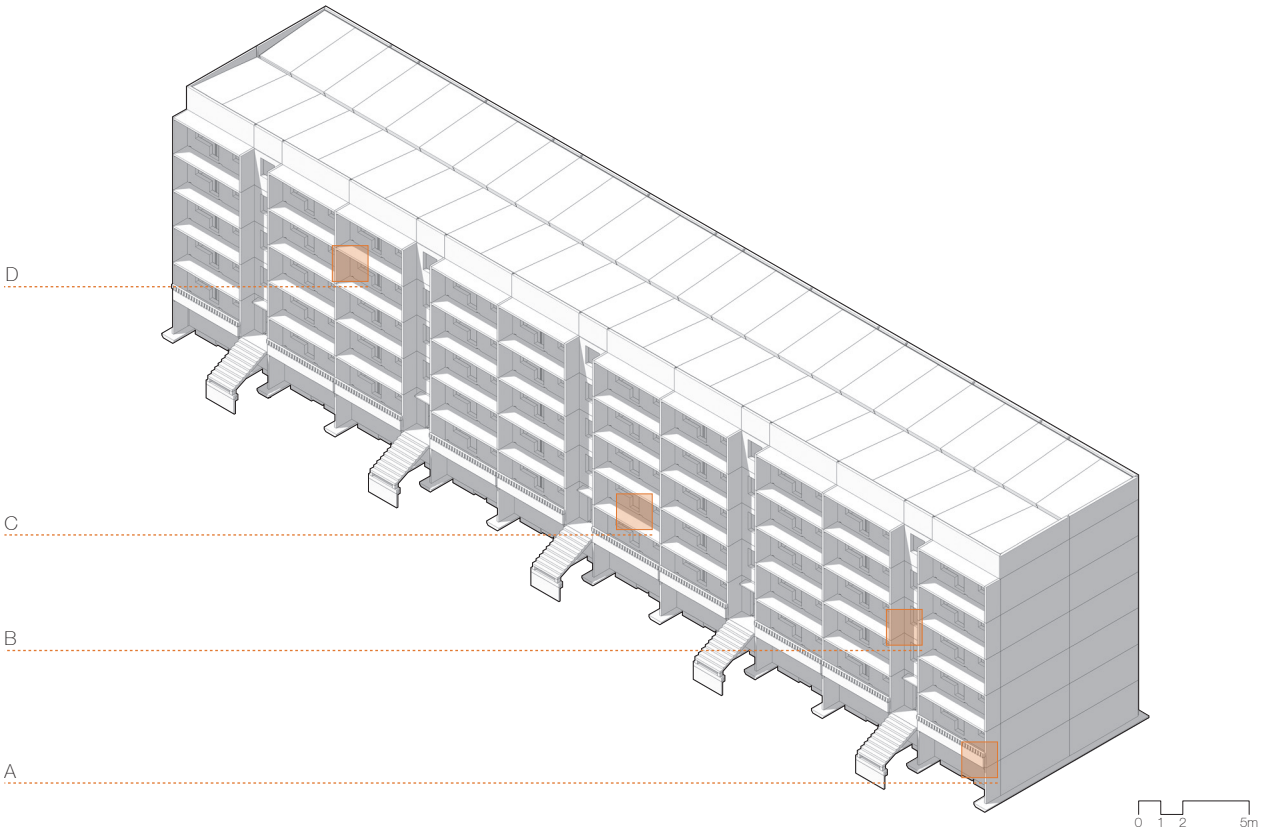


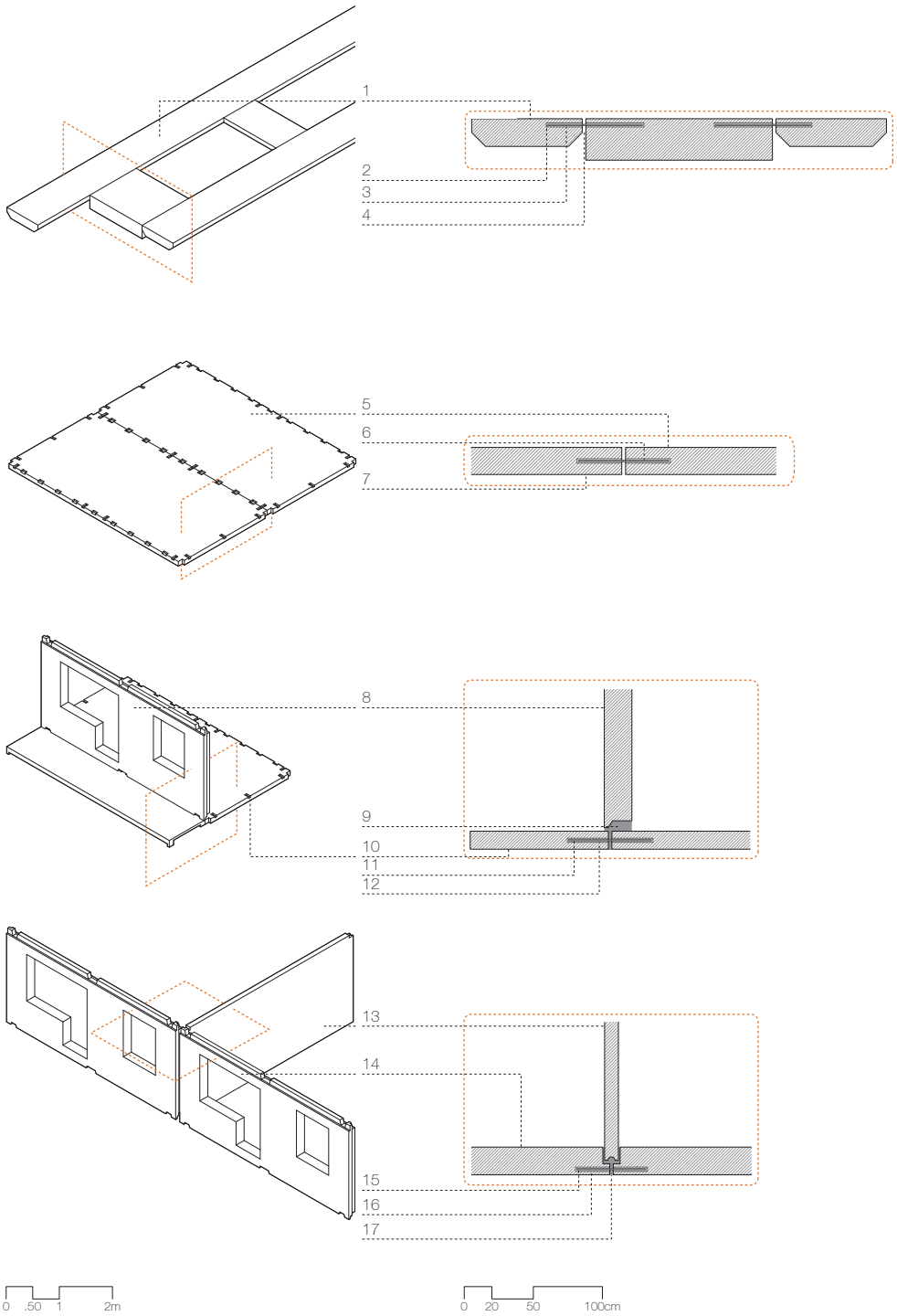
Gráfico 152
El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico

Ventajas

- La serie está diseñada a partir de la coordinación modular entre losas, fachadas y muros interiores. Todos los elementos se definen a partir de una modulación base de 1,20m x 1,20m, que permite que otros materiales o componentes formen parte de los diseños.
- La disposición de los paneles para formar la estructura de soporte, los diseños de las juntas y la versatilidad del sistema permitieron la construcción de 644.900 unidades de vivienda desde 1973 hasta 1991, un promedio de 33.942 hogares por año.
- Las dimensiones de los paneles (incluso los de 6,00m de longitud, que eran los más largos del sistema) permiten el transporte de elementos prefabricados desde las plantas industriales hasta los sitios de construcción. Los volúmenes de concreto de estos elementos también permiten que se produzcan en plantas temporales ubicadas en el sitio de la obra.
- La flexibilidad del sistema y la modularidad de estas piezas permite diseñar casas con diferentes áreas utilizando los mismos elementos estructurales, lo cual genera la posibilidad de considerar un mercado más amplio con diferentes tipos de familias y en diferentes contextos geográficos.
- La ubicación de elementos estructurales a una distancia de 6.00m permite la variabilidad de los tamaños de los apartamentos con diferentes tipologías, que van desde 32,31m² (con un dormitorio) hasta 102,48m² (con cinco dormitorios).
- Para responder a las condiciones bioclimáticas, los muros exteriores están formadas por tres capas con un núcleo central para aislamiento térmico. En el contexto local, un solo muro, sin aislamiento térmico y con un espesor correspondiente a los diseños estructurales, es suficiente para formar parte del sistema.
- La ubicación de muros estructurales cada 6m permite intervenir en el espacio habitado según las condiciones que cada familia requiera en el proceso de habitar la vivienda. De acuerdo con la versatilidad en los diseños, la ocupación del espacio interior podría modificar elementos no estructurales de acuerdo con las necesidades de las familias.

Desventajas

- Cuando se conciben como elementos individuales, las juntas de los paneles de fachada, losas y muros interiores en el proceso de ensamble aumentan el número de fijaciones y, por lo tanto, el tiempo en el proceso de construcción.
- Las texturas en las superficies de los paneles de fachada y los diferentes tamaños de ventanas o puertas definen el lenguaje del proyecto. La construcción de fachadas con elementos estructurales reduce las posibilidades del lenguaje del proyecto y, por lo tanto, la posibilidad de establecer diseños participativos con las comunidades o modificar la apariencia del proyecto en el proceso de ocupación.



1. Fundaciones prefabricadas en concreto
2. Barras metálicas
3. Concreto vaciado *in-situ*
4. Soldadura
5. Losa prefabricada en concreto
6. Barras metálicas
7. Concreto vaciado *in-situ*
8. Muro de fachada prefabricado en concreto
9. Soldadura
10. Losa prefabricada en concreto
11. Barras metálicas
12. Concreto vaciado *in-situ*
13. Muro interior prefabricado en concreto
14. Muro de fachada prefabricado en concreto
15. Barras metálicas
16. Concreto vaciado *in-situ*
17. Soldadura

Gráfico 153
El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico

5.3.3. Complejo Residencial *Genter Straße*. Munich (Fase 1), Alemania, 1972

Gráfico 154
Vista exterior

Complejo Residencial *Genter Straße*, Munich (Fase 1), Alemania, 1972	
Tipo de estructura	Esqueletal
Tipo de prefabricación	Abierta
Arquitecto inventor o diseñador	O. Steidle, R. Thut, D. Thut
Áreas promedio por vivienda (en metros cuadrados)	56, 97, 106
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	7
Altura media de los edificios (en número de pisos)	7
Número de tipos de elementos prefabricados	6
Cimientos prefabricados para columnas	0
Vigas de cimentación prefabricadas para muros o vigas de amarre	0
Losas de cimentación prefabricadas	0
Columnas	2
Vigas	2
Paneles de fachada	0
Muros interiores	0
Losas de contrapiso y entrepiso	2
Losas para techos	0
Elementos especiales (buitrones, juntas, áreas comunes, toldos)	0
Escalera	0
Células espaciales estructurales	0
Tipos de juntas	Barras metálicas y fijaciones

Información extraída de: Pawlitschko, 2011.

Tabla 29
Complejo Residencial *Genter Straße*. Munich (Fase 1), Alemania, 1972.

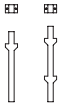
Sistema y construcción

Las tres fases de este complejo de viviendas, diseñado por Otto Steidle, Raph Thut y Doris Thut en 1972, se componen de cuatro conjuntos de edificios entre las calles Genter, Peter-Paul Althaus y Osterwald. El proyecto fue concebido a través de un sistema estructural esqueletal, que consiste en columnas espaciadas regularmente con ménsulas a intervalos de medio piso, vigas longitudinales y transversales, y losas de piso. Los conectores metálicos, como las barras y los pernos, aseguraron la estabilidad necesaria (Fernández, 2009). La intención arquitectónica era crear un marco típico en concreto prefabricado, lo que permitiría la instalación de módulos de vivienda con espacios interiores flexibles adaptados a las necesidades de sus residentes (Pawlitschko, 2011). La configuración del edificio se realizó a través de unidades de tres pisos de altura, que tenían una escalera central en cada casa para integrar sus diferentes usos hasta llegar a una terraza en la parte superior.

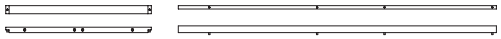
La disposición de los elementos estructurales en el proyecto permitió futuras ampliaciones de las viviendas. Los elementos no estructurales, como perfiles de metal, paneles de yeso y revestimientos de aluminio, también se produjeron industrialmente con otros materiales, dando paso al sistema de prefabricado abierto (Musso, 2016, p. 103). Steidle describió su enfoque como "prefabricación inacabada", por lo que "es posible tener diferentes calidades de diseño y elegir diferentes niveles de precios a través de estructuras primarias idénticas. Funcionalidad simple de perfeccionamiento costoso" (Steidle, 1974, citado en Musso, 2016, p. 104). En este proyecto, la estructura primaria en concreto armado prefabricado generó un precedente. Teóricamente, los usuarios podrían ampliar sus hogares en el futuro y usarlos de acuerdo con el tamaño de la familia o según su economía. En este proyecto, la racionalidad del sistema estructural se combinó con la flexibilidad de los elementos no estructurales. La prefabricación parcial ayudó a lograr una diversidad en el lenguaje a partir de una estructura predeterminada con un orden específico (Krippner, 2001, pp. 606-607).

Los elementos prefabricados en este edificio transmiten una clara diferencia entre la estructura de soporte esqueletal y sus sistemas complementarios. El uso de sistemas industrializados se complementó con los materiales que terminaron configurando el proyecto y el entorno que lo rodea. Con la vocación residencial del edificio, algunas de sus áreas también fueron utilizadas como oficinas. La masificación de un sistema estructural con un número limitado de elementos que lo conforman y que permiten diferentes tipologías de vivienda centró la reflexión de Steidle en la consideración de los habitantes del proyecto y no sólo en su estandarización. Después de su construcción, este complejo residencial mantuvo su apariencia y funciones originales. Además de permitir la flexibilidad en la división de las viviendas y sus áreas, los marcos estructurales creados por las columnas y vigas de concreto prefabricado generaron diversidad en términos de tamaño y ocupación de las viviendas.

Columnas



Vigas



Losas de entrepiso

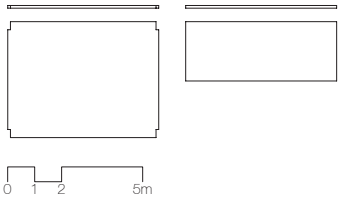
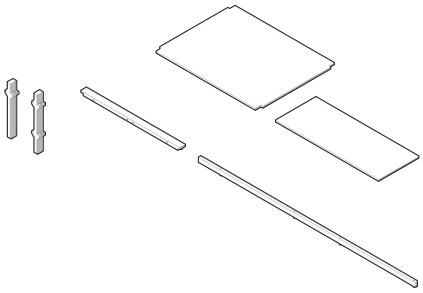


Gráfico 155
Componentes: Planta y fachada



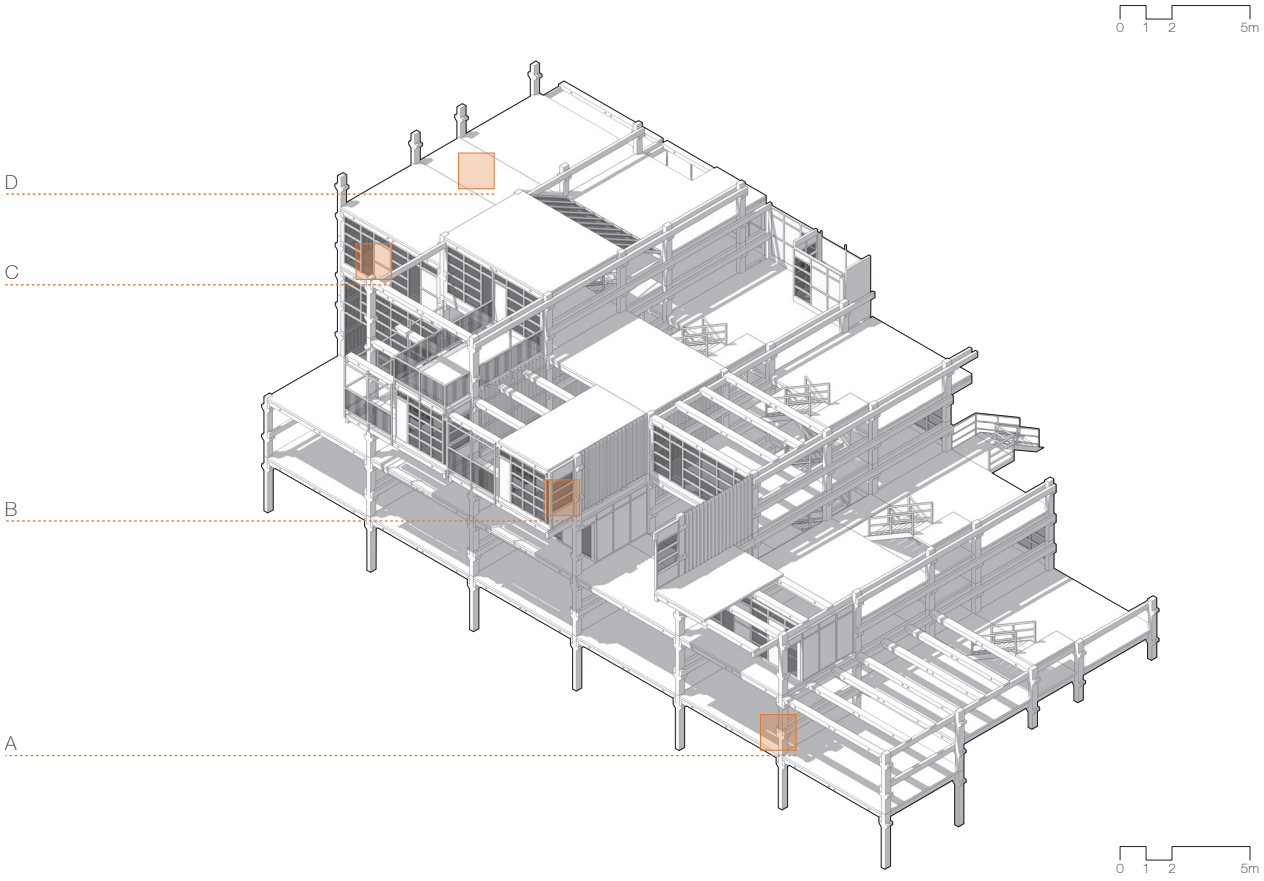


Gráfico 156
Componentes: Axonometría

Gráfico 157
Proceso de construcción

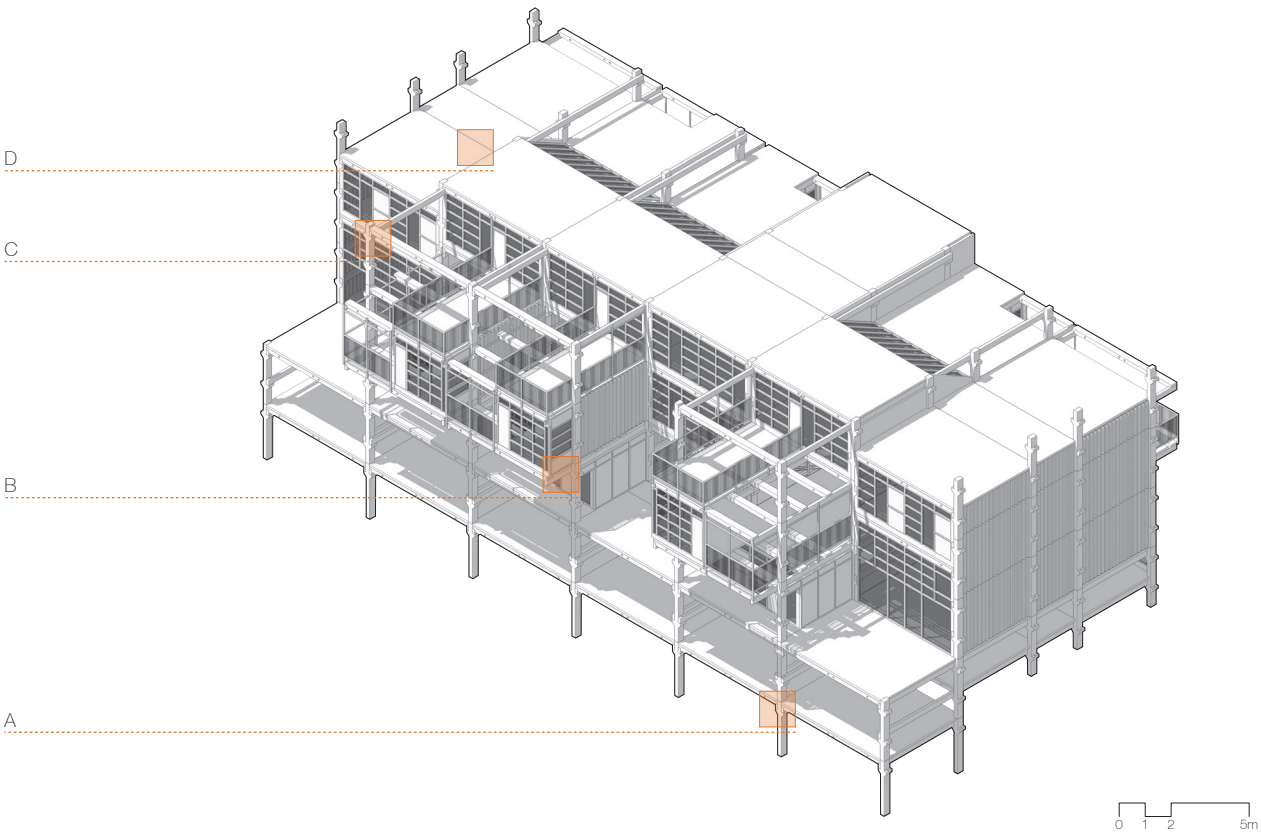


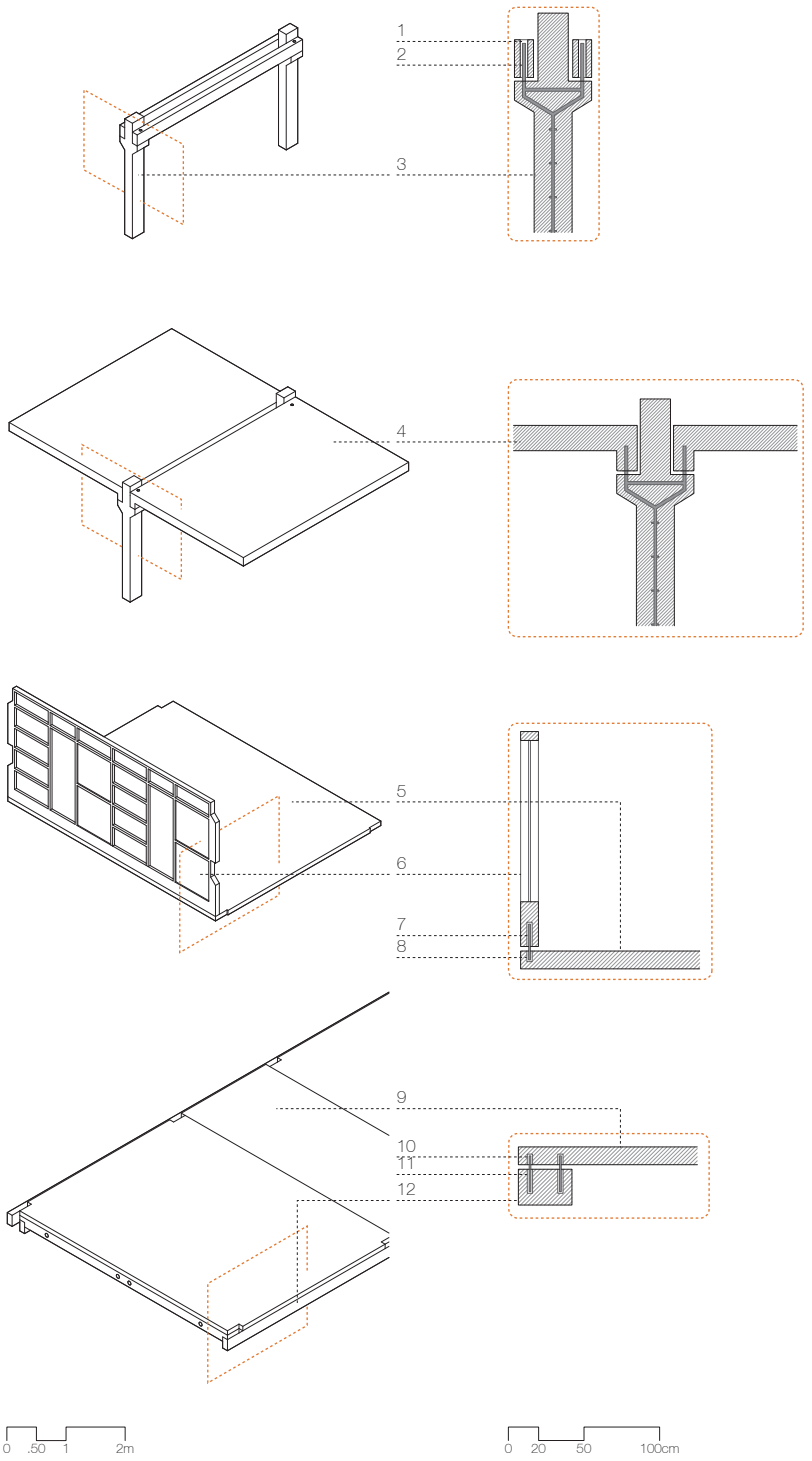
Gráfico 158
El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico

Ventajas

- Un número reducido de variantes en las tipologías de los elementos estructurales se coordinan dimensionalmente con otros elementos o sistemas de construcción que pueden formar parte del proyecto.
- Un sistema de vigas de concreto prefabricado, columnas y losas permite utilizar estos elementos en diferentes diseños arquitectónicos. Esta prefabricación abierta y parcial resuelve lo que las comunidades no podían hacer por sí mismas: la estructura de soporte y las unidades de baño y cocina (prefabricadas en otros sistemas) y permite el uso de materiales locales, otros sistemas industrializados y mano de obra local para la construcción de elementos no estructurales, como las fachadas y muros interiores.
- El volumen y las dimensiones de los elementos estructurales permiten el transporte en vehículos con diferentes capacidades, lo que aumenta el número de unidades transportadas.
- Los elementos permiten adaptar su geometría y la de sus diseños a las características del sitio, a las condiciones de la topografía y a las dimensiones de los edificios.
- La configuración del edificio a partir de los elementos estructurales esqueletales permite habilitar viviendas en los niveles de acceso y tener actividades complementarias al uso residencial. Las distancias entre columnas permiten que los sistemas de accesibilidad, como rampas o ascensores, se puedan implementar. Los elementos no estructurales pueden definir anchos y espacios de circulación para que sean accesibles.
- El montaje de la estructura de soporte se realiza mediante soportes simples entre vigas y columnas o mediante uniones soldadas entre estos elementos. Las vigas se soportan en ménsulas previamente dispuestas en las columnas, lo que simplifica el proceso de instalación de la estructura del proyecto.
- La disposición de las vigas y columnas permite ubicar las viviendas en diferentes posiciones y con diferentes áreas.
- La libertad en el diseño de las fachadas sin elementos estructurales permite adaptarse bioclimáticamente a diferentes contextos.
- La flexibilidad del sistema permite contrastar la racionalidad de la estructura de soporte con los diseños de fachada con otros sistemas de industrialización. Los sistemas estructurales no condicionan la estética ni el lenguaje del edificio.

Desventajas

- La cimentación para elementos estructurales esqueletales (vigas y columnas) requiere profundidades de acuerdo con la capacidad de carga del terreno, las cargas del edificio y el área sísmica. En el contexto local, los territorios disponibles para la construcción de viviendas sociales están generalmente en las laderas, en áreas sísmicas intermedias o altas y con baja capacidad de carga, lo que hace que el costo de los cimientos sea tan alto como los utilizados en los sistemas de construcción convencional.



1. Fijación entre elementos estructurales
2. Barras metálicas
3. Columna prefabricada en concreto
4. Losa prefabricada en concreto
5. Losa prefabricada en concreto
6. Elemento de fachada prefabricado en concreto
7. Barras metálicas
8. Fijación entre elementos estructurales
9. Losa prefabricada en concreto
10. Barras metálicas
11. Fijación entre elementos estructurales
12. Viga prefabricada en concreto

Gráfico 159
Detalles constructivos

5.3.4. Sistema KPD soviético (*Krupnopanelnoye Domostroyenie*). Chile, 1972

Gráfico 160
Vista exterior

Sistema KPD soviético (*Krupnopanelnoye Domostroyenie*), Chile, 1972	
Tipo de estructura	Muros estructurales
Tipo de prefabricación	Cerrada
Arquitecto inventor o diseñador	Vitaly Lagutenko
Áreas promedio por vivienda (en metros cuadrados)	60
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	20
Altura media de los edificios (en número de pisos)	4 a 5
Número de tipos de elementos prefabricados	27
Cimientos prefabricados para columnas	0
Vigas de cimentación prefabricadas para muros o vigas de amarre	0
Losas de cimentación prefabricadas	0
Columnas	0
Vigas	5
Paneles de fachada	11
Muros interiores	5
Losas de contrapiso y entrepiso	3
Losas para techos	0
Elementos especiales (buitrones, juntas, áreas comunes, toldos)	2
Escalera	1
Células espaciales estructurales	0
Tipos de juntas	Barras metálicas y concreto vaciado *in situ*

Información extraída de: Alonso y Palmarola, 2014, pp. 186-187, 242, 270-271.

Tabla 30
Sistema KPD soviético (*Krupnopanelnoye Domostroyenie*). Chile, 1972.

Sistema y construcción

El nombre *Krupnopanelnoye Domostroyenie* es de donde proviene la sigla soviética KPD (КПД), que significa "construcción de paneles grandes". El desarrollo de esta serie corresponde a las adaptaciones sucesivas del sistema Camus (patentado en 1948), transformado en la URSS a la serie 1-464 (desarrollado desde 1956) y posteriormente en Cuba, utilizando el Gran Panel Soviético en 1965. El KPD compartió los muros estructurales con estos sistemas y los mismos principios técnicos. Después del terremoto de Los Vilos en Chile el 8 de julio de 1971, con una magnitud de 7.75 en la escala de Richter, el Gobierno chileno recibió la donación de una planta para producir paneles de concreto prefabricado de la URSS. Esta planta estaba ubicada en el área industrial de *El Belloto* en la ciudad de Quilpué, al noroeste de Santiago (Alonso y Palmarola, 2014, pp. 186-187).

En julio de 1973, los primeros 48 apartamentos fueron construidos en Quilpué, y tenían cuatro pisos de altura. La planta chilena de KPD generó elementos de concreto prefabricado para la construcción de 140.000 m² que se dividirían en 1.600 apartamentos por año, ubicados en 153 bloques de viviendas en las ciudades de Quilpué, Valparaíso, Viña del Mar y Santiago. Cada bloque tenía 16 apartamentos con dos concepciones diferentes: el primero con seis apartamentos, cada uno con tres dormitorios y un área de 84 m²; el segundo con diez apartamentos, cada uno con dos dormitorios y un área de 67m². Las uniones entre los elementos estructurales se diseñaron con barras de acero y concreto vaciado *in situ* (Alonso y Palmarola, 2014, pp. 186-187). Una condición política del concreto prefabricado se presentó como un "esfuerzo unificado" entre Chile y la antigua Unión Soviética, que permitiría la construcción de "edificios más altos con apartamentos saludables, limpios y asequibles" (Alonso y Palmarola, 2012, pp. 305) 306). El lema "De la pala al botón" se usó para mostrar los avances tecnológicos ofrecidos por la construcción prefabricada (Alonso y Palmarola, 2012, pp. 305-306). Incluso después del golpe militar de 1973 y el derrocamiento del gobierno de Salvador Allende, la planta permaneció abierta con la maquinaria soviética y las técnicas de producción, pero tuvo una operación inestable. En 1979, la planta cerró su producción y, a principios de la década de 1980, fue desmantelada (Alonso y Palmarola, 2012, pp. 306-307).

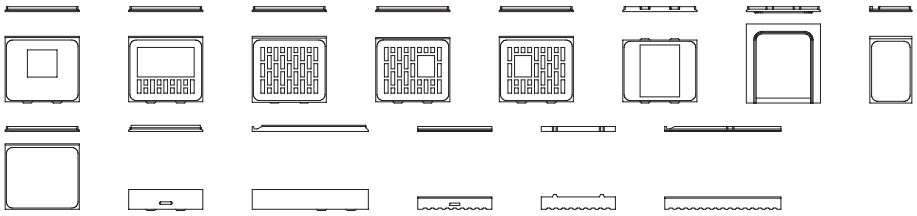
Además de esta fábrica extinta, hay 153 edificios y más de 3.500 unidades de vivienda en Chile que se construyeron a partir de los principios técnicos propuestos por este sistema estructural. De los 153 edificios, sólo 30 fueron construidos bajo la administración chileno-soviética. El resto se construyeron con la fábrica KPD, transformada desde el golpe militar de 1973, bajo el nombre de Vivienda Económica Prefabricada (VEP). A partir de ese momento, los asesores rusos fueron expulsados de Chile y algunos de los trabajadores de la planta fueron detenidos. La planta fue diseñada para producir 1.600 unidades de vivienda al año, cada una con 84 m² de área. Estos edificios han resistido todos los terremotos que han ocurrido en Chile desde 1973[44].

Hasta la fecha, ningún otro sistema de industrialización ha superado el volumen de producción, el costo, la eficiencia y las áreas construidas para las viviendas del sistema KPD[45].

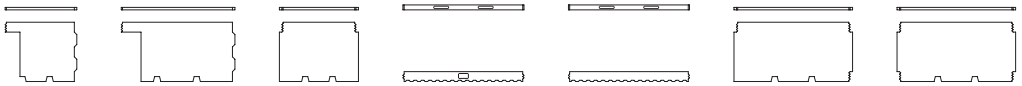
44 Pérez, María Elizabeth. La vivienda social olvidada que la URSS dejó en Chile. En: *La Tercera*. Noviembre 11 de 2012. Sección *País*, p. 34.

45 Brignardello Valdivia, Andrés. KPD, el sueño de vivienda decente de Salvador Allende. Septiembre 11 de 2015. En: *La Región Hoy*, Chile. Accedido el 2 de abril de 2017; disponible en http://www.laregionhoy.cl/2015/09/11/kpd-el-sueno-de-la-vivienda-digna-de-salvador-allende/.

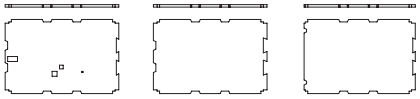
Muros de fachada



Muros interiores



Losas de entrepiso



Otros elementos

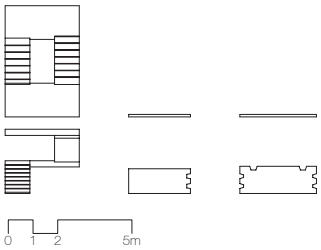
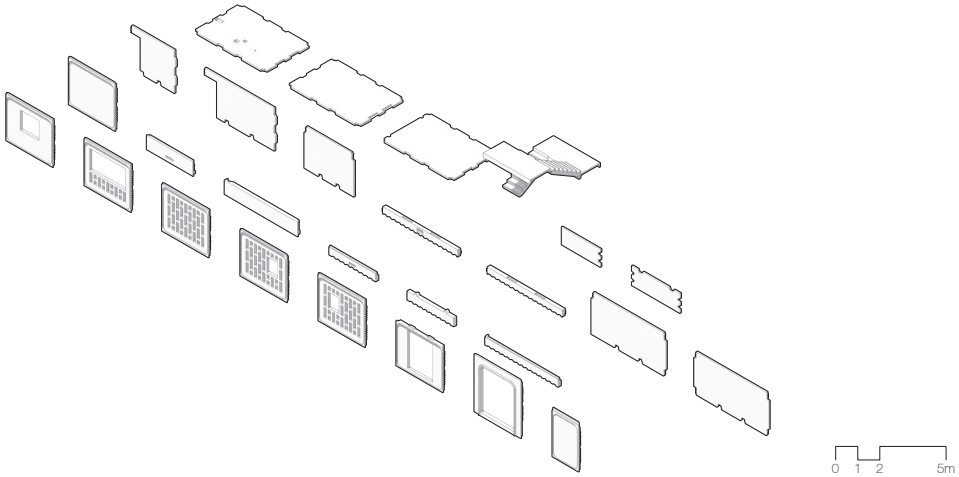


Gráfico 161
Componentes: Planta y fachada



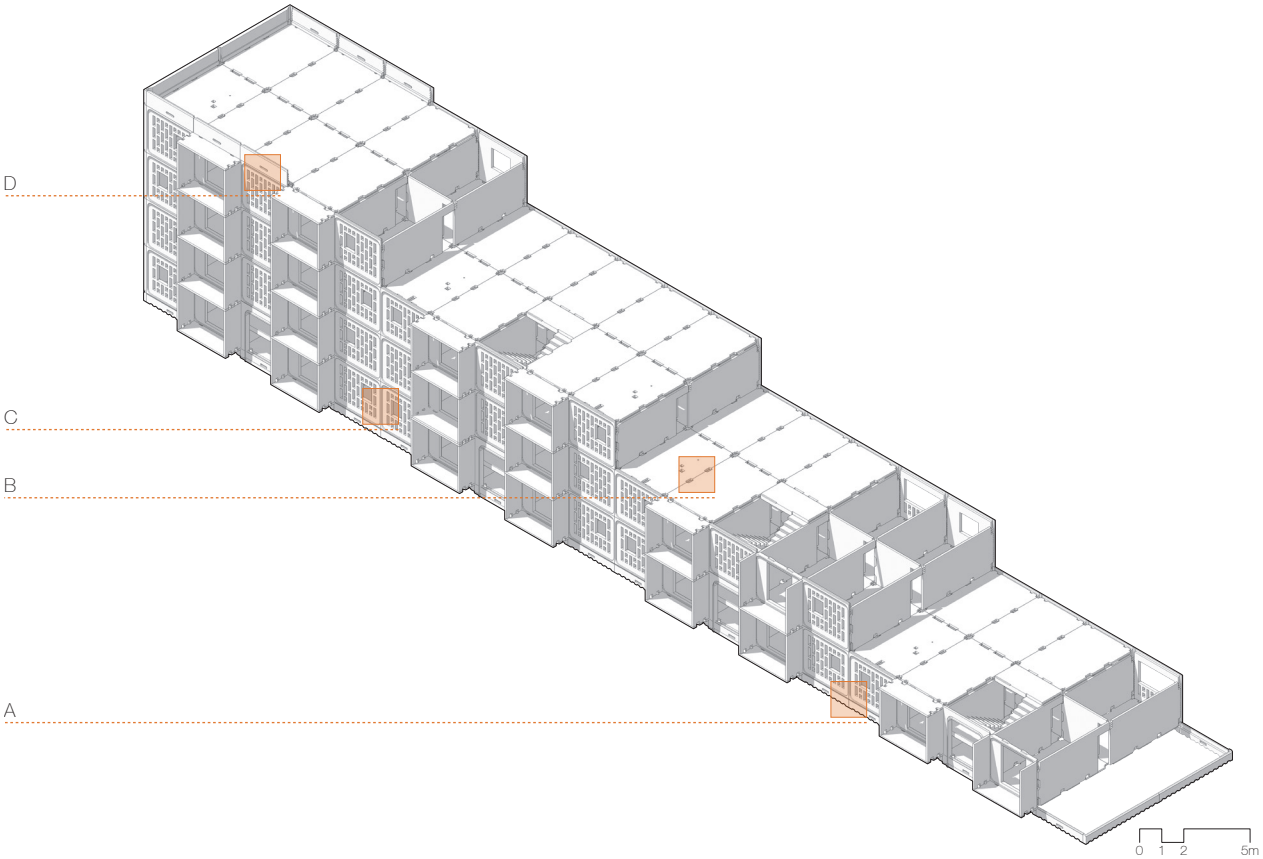


Gráfico 162
Componentes: Axonometría

Gráfico 163
Proceso de construcción

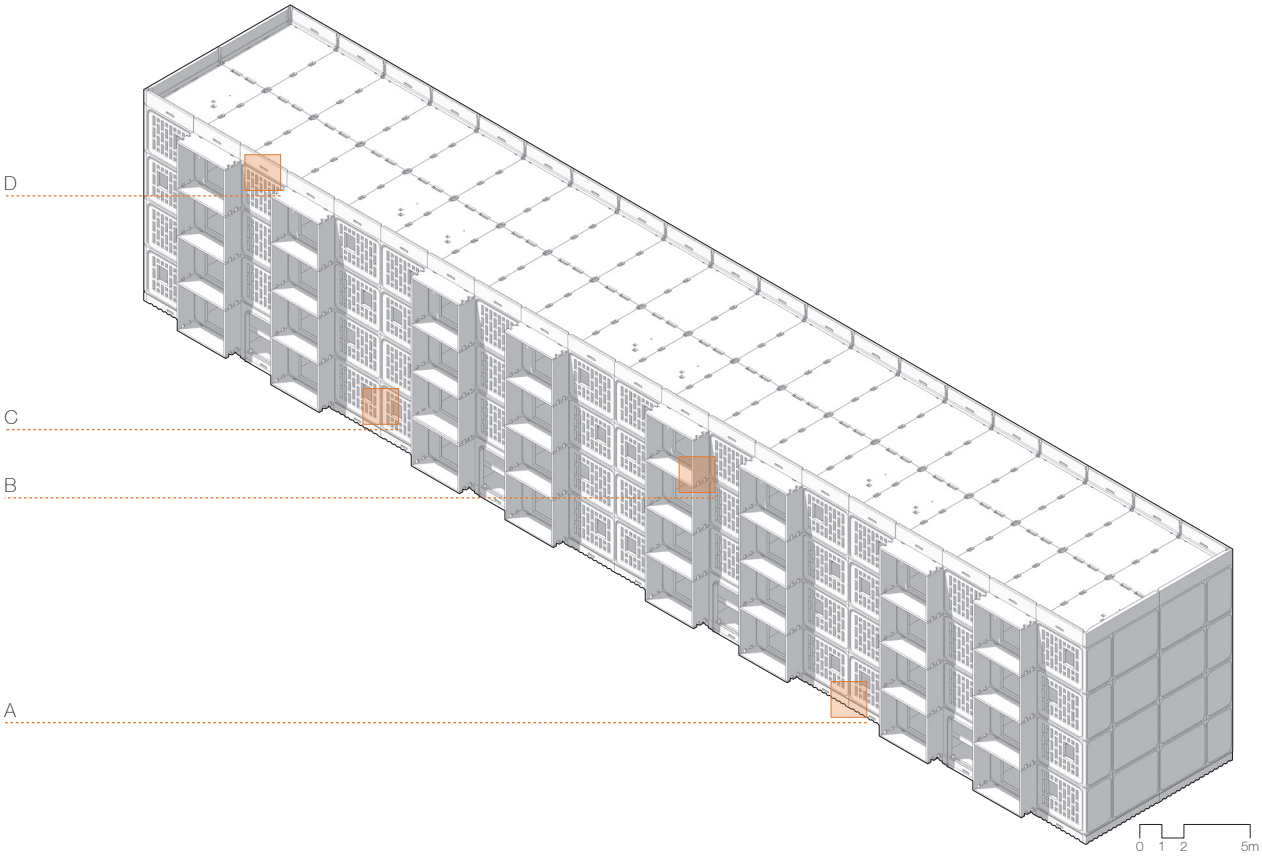


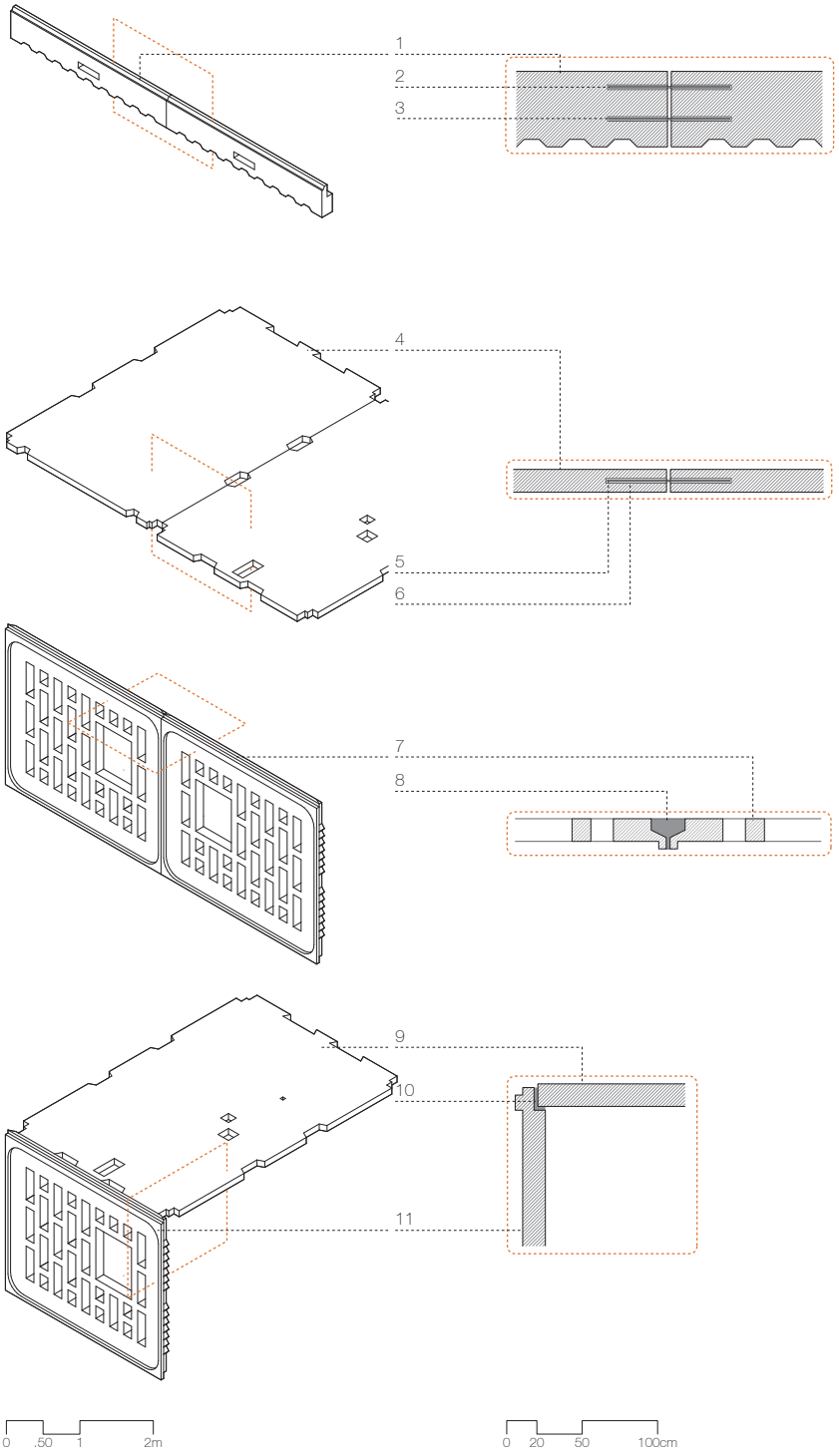
Gráfico 164
El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico

Ventajas

- Los paneles de fachada prefabricados, los muros interiores y las losas de piso corresponden al mismo módulo, lo que permite coordinar los diseños a partir de las dimensiones de los elementos que conforman el sistema.
- Un número reducido de variantes en las tipologías de los elementos prefabricados, su resistencia sísmica, los diseños de sus uniones y la modularidad permiten replicarlo en diferentes contextos.
- Las proporciones y el peso de los paneles les permiten ser transportados a la obra en vehículos de carga que pueden acceder a diferentes lotes e instalarlos con grúas convencionales para elementos hasta de 10 toneladas.
- Las dimensiones de los paneles y la configuración estructural permiten que el sistema se adapte a diferentes perfiles topográficos. Los diseños de las fachadas, concebidas como elementos estructurales, permiten controlar la incursión solar y la ventilación en el espacio interior a través de sus aberturas.
- Con este tipo de paneles, se pueden diseñar viviendas relacionadas con el nivel de acceso. Para los pisos superiores, la configuración arquitectónica a través de los paneles estructurales restringe la instalación de ascensores y rampas.
- La unión entre los paneles se realiza mediante elementos metálicos rigidizados con soldaduras o vaciados de concreto. El sistema define elementos individuales, que deben unirse en el proceso de ensamblaje, lo que retrasa el tiempo y aumenta las actividades en el sitio.

Desventajas

- El sistema de prefabricación cerrado no permite la adaptación de otros diseños arquitectónicos a los espacios habitados previamente concebidos. Los muros de fachada y los muros estructurales interiores definen la ocupación y el lenguaje del proyecto.
- Con este sistema, las dimensiones de los espacios interiores responden a las proporciones de los paneles. El bienestar del espacio habitable debe generarse a través de la disposición de los elementos de fachada y sus aberturas, para responder a las condiciones de radiación solar y ventilación en cada contexto.
- El lenguaje del edificio debe estar compuesto por los paneles existentes y las aberturas que se producen en ellos a partir del proceso de industrialización, que cierra las posibilidades de flexibilidad en las fachadas, a los procesos de diseño participativo y al uso de materiales locales en elementos no estructurales.
- La presencia de elementos estructurales en el espacio interior y en la fachada no permite su transformación durante el proceso de ocupación. Por lo tanto, la variación en la composición de las familias o en los usos de la vivienda presenta limitaciones en el espacio y en el lenguaje.



1. Panel de fachada prefabricado en concreto
2. Barras metálicas
3. Concreto vaciado *in-situ*
4. Losa prefabricada en concreto
5. Barras metálicas
6. Concreto vaciado *in-situ*
7. Muro de fachada prefabricado en concreto
8. Concreto vaciado *in-situ*
9. Losa prefabricada en concreto
10. Concreto vaciado *in-situ*
11. Muro de fachada prefabricado en concreto

Gráfico 165
Detalles constructivos

5.3.5. *Martinsviertel*. Colonia, Alemania, 1977

Gráfico 166
Vista exterior

Martinsviertel. Colonia, Alemania, 1977	
Tipo de estructura	Mixta: Muros esqueletales y estructurales
Tipo de prefabricación	Abierta
Arquitecto inventor o diseñador	Schürmann Architekten - Köln
Áreas promedio por vivienda (en metros cuadrados)	45, 65, 90, 105
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	90
Altura media de los edificios (en número de pisos)	7
Número de tipos de elementos prefabricados	30
Cimientos prefabricados para columnas	0
Vigas de cimentación prefabricadas para muros o vigas de amarre	0
Losas de cimentación prefabricadas	0
Columnas	4
Vigas	5
Paneles de fachada	6
Muros interiores	4
Losas de contrapiso y entrepiso	2
Losas para techos	2
Elementos especiales (buitrones, juntas, áreas comunes, toldos)	5
Escalera	2
Células espaciales estructurales	0
Tipos de juntas	Barras metálicas y concreto vaciado *in situ*

Información extraída de: Martinsviertel, 1969-1977.

Tabla 31
Martinsviertel. Colonia, Alemania, 1977

Sistema y construcción

Este barrio de Colonia, Alemania, fue destruido durante la Segunda Guerra Mundial. A través de un concurso de arquitectura, organizado por la ciudad en 1969, la oficina del arquitecto Joachim Schürmann fue seleccionada para diseñar espacios urbanos, plazas, edificios de oficinas, espacios comerciales y residenciales que conformaron este desarrollo. Estos edificios se construyeron utilizando una estructura esqueletal de columnas y vigas combinadas con muros estructurales resueltos con paneles de concreto prefabricado. Las uniones se especificaron con refuerzos metálicos rigidizados con concreto vaciado *in situ* (Martinsviertel, s. f.). Los edificios fueron diseñados con una altura de siete pisos. Los primeros pisos fueron concebidos para espacios comerciales y servicios complementarios. Los pisos superiores fueron diseñados para residencias con áreas y programas similares, diferenciados por el número de habitaciones y por la tipología que ocupaban los pisos superiores, con tres niveles habitables y una terraza (J. Schürmann, comunicación personal, 4 de julio de 2014) .

Estas proporciones pretendían adaptar el perfil de los edificios a la escala del entorno y se agruparon en patios urbanos donde se ubicó el acceso a las áreas públicas y a los apartamentos. El conjunto de viviendas no necesitaba los espacios habituales reservados para los niños, ya que esta actividad estaba permitida en cualquier lugar[46].

Los techos inclinados del complejo de viviendas asumen la geometría del entorno histórico que lo rodea, generando un perfil urbano que muestra la unión entre un conjunto moderno de viviendas y la arquitectura tradicional de la ciudad. El proyecto propone una vida de vecindario en el centro geográfico e histórico de Colonia alrededor de un patio, un espacio donde 14 edificios, agrupados en forma de U, se destacan al lado de la iglesia *Groß Saint Martin*.

Estas casas están formadas en su estructura y fachadas por elementos de concreto prefabricado, coordinados dimensionalmente con las proporciones de las ventanas y las puertas hacia los balcones. Los colores de la iglesia determinan los tonos de las fachadas de concreto prefabricado en el conjunto de viviendas, definidas por los colores minerales blancos y amarillos. La materialidad del proyecto es una respuesta a los aspectos funcionales de un edificio residencial que se conecta con la iglesia y con los espacios públicos complementarios compuestos por senderos peatonales, lugares para que el vecindario se reúna, aceras protegidas por la sombra que ofrecen los edificios y los patios arbolados[47].

46 Información técnica encontrada en los planos arquitectónicos y constructivos del Proyecto *Martinsviertel*, proporcionado por la oficina de *Schürmann Architekten* para realizar esta investigación. Colonia, Alemania. Octubre 16 de 2013.

47 Schürmann, Joachim. Ed: Ingeborg Flagge. *Schürmann: Entwürfe und Bauten. Ernst Wasmuth Verlag, Tubingen* – Berlin. 1997, pp. 80, 81.

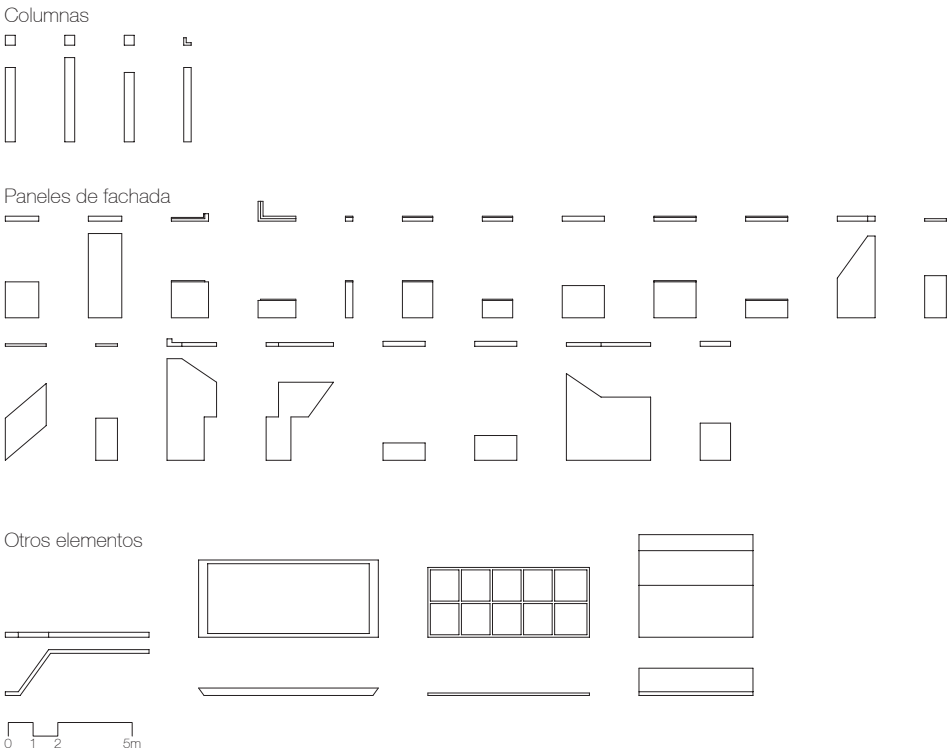
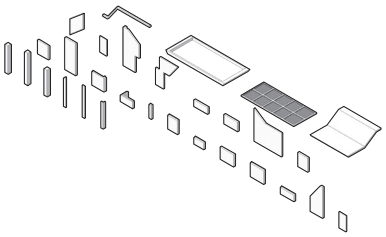
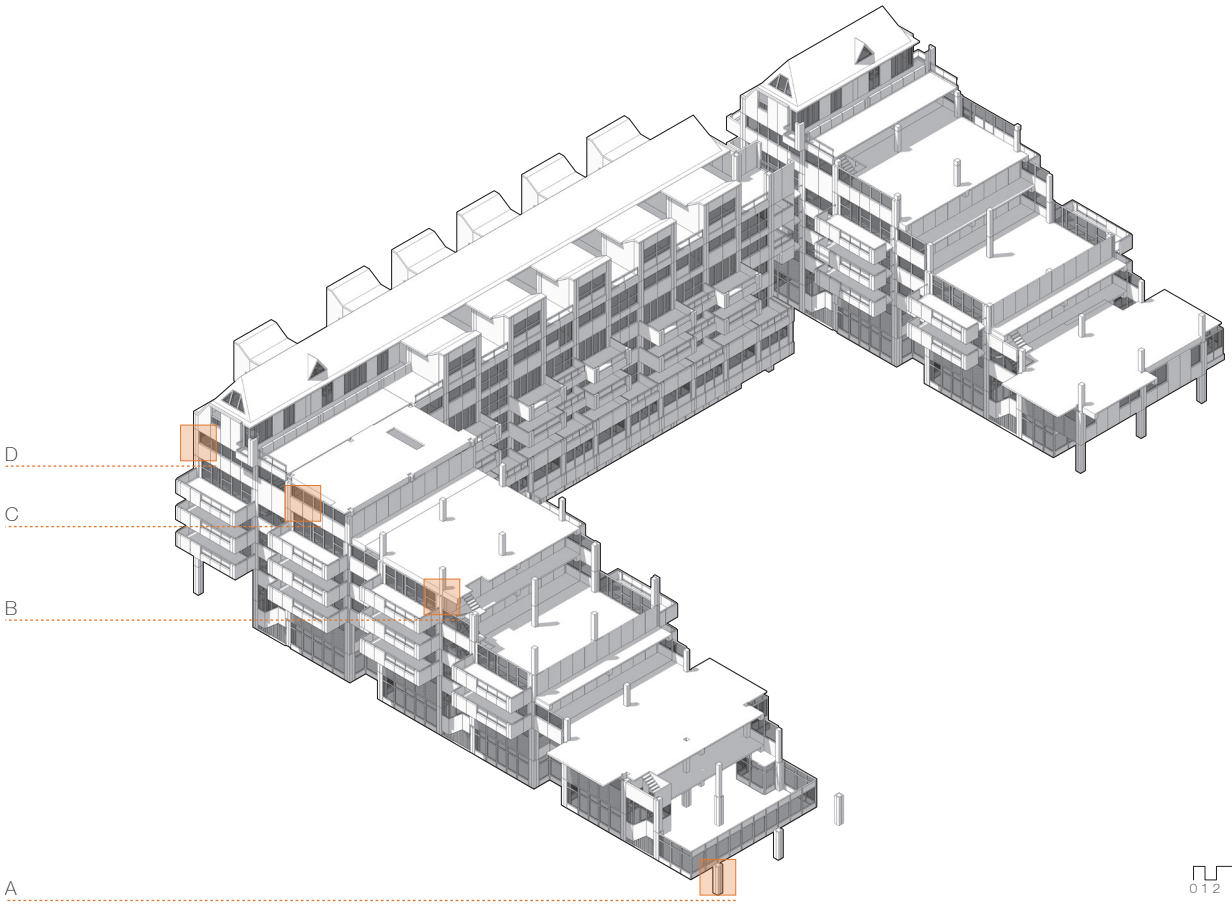


Gráfico 167
Componentes: Planta y fachada



0 1 2 5m



0 1 2 5m

Gráfico 168
Componentes: Axonometría

Gráfico 169
Proceso de construcción

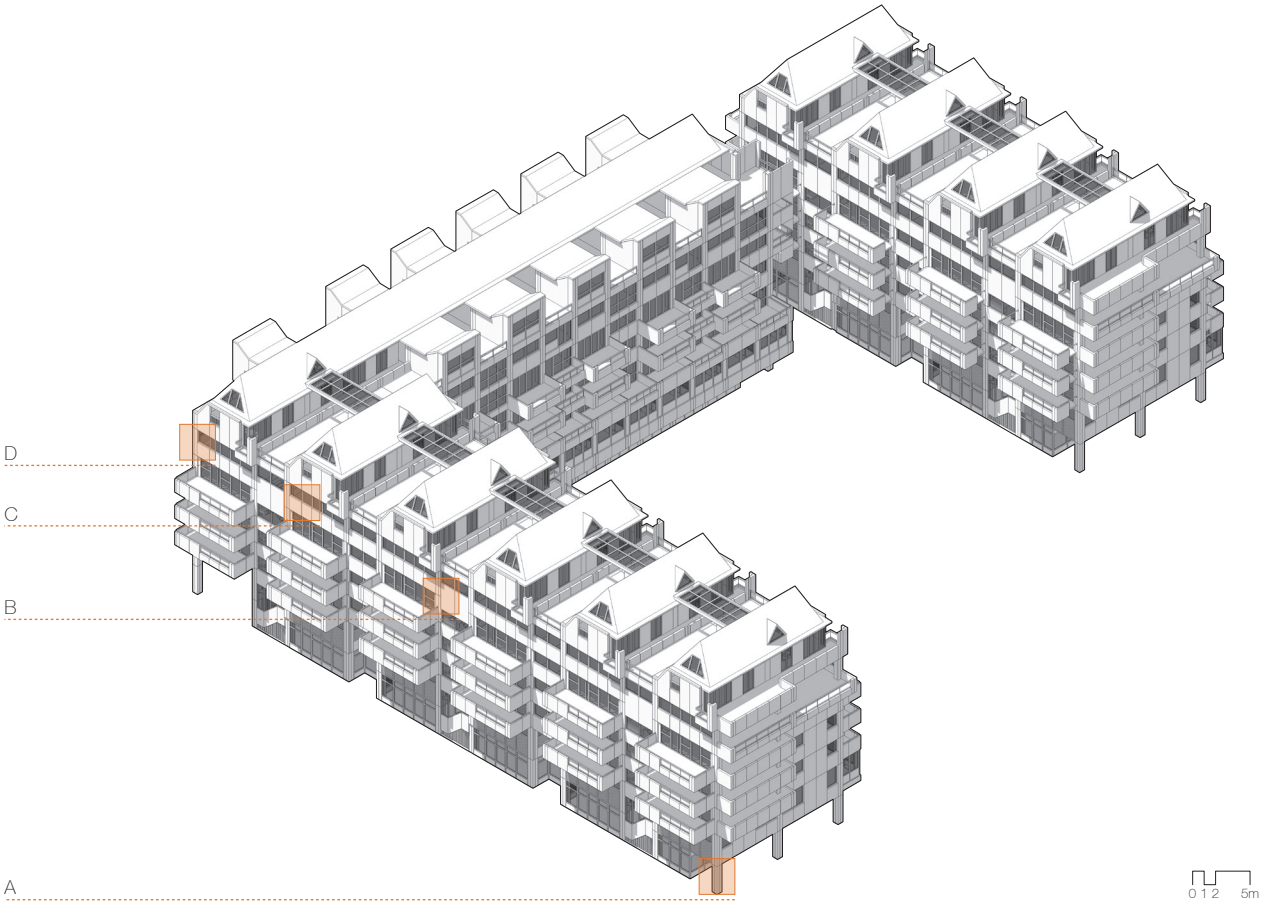


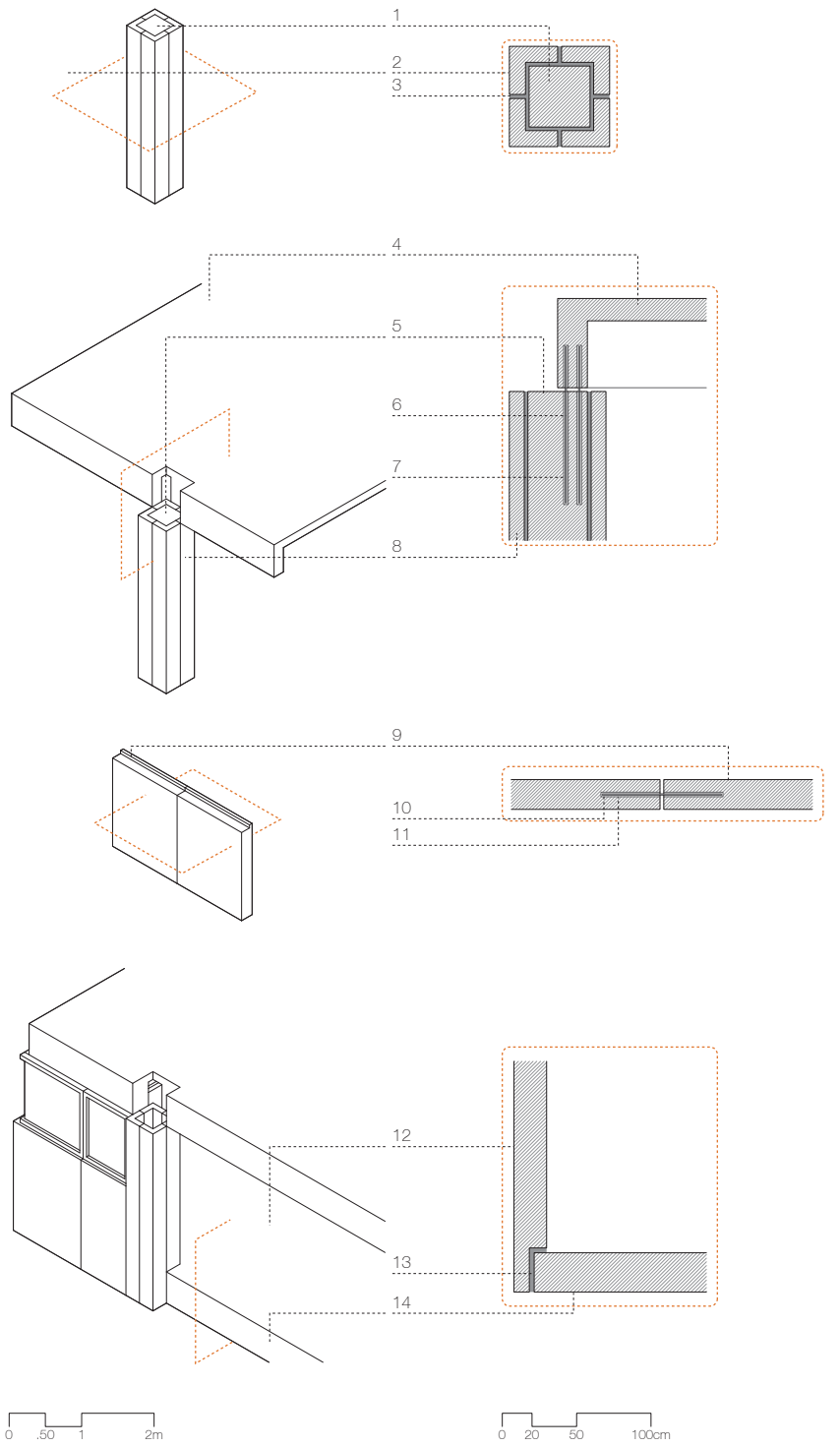
Gráfico 170
El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico

Ventajas

- El sistema de prefabricación abierto permite la composición del lenguaje y los espacios interiores con otros materiales o sistemas.
- La replicabilidad del sistema generó un mayor número de unidades de vivienda con diferentes configuraciones de acuerdo con el contexto y las características del sitio.
- El tamaño de los elementos prefabricados permite su transporte e instalación en espacios donde se restringe el paso de un vehículo de carga o grúa. La configuración de este proyecto permite elevar los elementos a una altura aproximada de 20m.
- La geometría del edificio se adapta a las condiciones del terreno y a las construcciones existentes, formando un espacio urbano alrededor de la iglesia.
- El sistema estructural de columnas y paneles permite la circulación perimetral cubierta por el piso de acceso. La configuración del edificio, con un sistema de soporte esqueletal al interior, permite la instalación de ascensores desde el primero hasta el último piso. La presencia de columnas en el espacio interior hace posible que las dimensiones de los corredores y los espacios se definan desde el diseño arquitectónico y no desde las limitaciones de los elementos estructurales.
- Las columnas en el espacio interior permiten modificar el espacio habitable, generar otras posibilidades de ocupación y las unidades de vivienda tienen diferentes proporciones. Las fachadas, compuestas de paneles no estructurales, pueden diseñarse a partir de las condiciones arquitectónicas, urbanas, ambientales o sociales requeridas.
- Como las fachadas de concreto prefabricado no tienen un compromiso estructural, las condiciones bioclimáticas se pueden adaptar a diferentes configuraciones, de acuerdo con las aberturas, controles solares y las ventilaciones deseadas.
- Las fachadas pueden responder a diferentes condiciones ambientales, culturales o al resultado de diseños participativos con la comunidad. La no intervención de la estructura en la fachada hace que el lenguaje del proyecto sea flexible y le permita resolver la relación visual y ambiental con el entorno de diferentes maneras.
- Las fachadas no estructurales y el espacio interior con un sistema de soporte esqueletal se pueden adaptar a los requisitos de las comunidades, las características ambientales de los diferentes entornos o las necesidades de las familias en su proceso de ocupación.

Desventajas

- Un sistema de columnas, vigas y paneles estructurales interiores producidos de forma independiente aumenta el número y los tipos de conexiones entre los elementos, lo que hace que su proceso de instalación en el sitio sea más complejo. Los sistemas de cimientos de las columnas generalmente requieren profundidades que aumentan según la capacidad de carga del terreno y la altura del edificio.



1. Columna prefabricada en concreto
2. Panel de fachada prefabricado en concreto
3. Concreto vaciado *in-situ*
4. Losa prefabricada en concreto
5. Columna prefabricada en concreto
6. Barras metálicas
7. Concreto vaciado *in-situ*
8. Panel de fachada prefabricado en concreto
9. Muro de fachada prefabricado en concreto
10. Barras metálicas
11. Concreto vaciado *in-situ*
12. Muro de fachada prefabricado en concreto
13. Losa prefabricada en concreto
14. Concreto vaciado *in-situ*

Gráfico 171
Detalles constructivos

5.3.6. Otros proyectos

5.3.6.1. Complejo Residencial de Southgate Estate, Inglaterra, 1977

Southgate Estate es un proyecto que consta de 1.500 casas públicas, habitadas por casi 6.000 personas. Fue diseñado por James Stirling con un sistema de muros estructurales. En este complejo, con edificios de hasta cinco pisos de altura, las viviendas estaban dispuestas alrededor de patios ajardinados, que estaban conectados entre sí a través de una red de pasillos elevados. Las fachadas se resolvieron con diferentes materiales mediante la prefabricación abierta: paneles de poliestireno reforzado con vidrio, plástico corrugado y superficies de vidrio (Araújo, 1997, pp. 6-7). Los bloques se formaron con tres tipos de residencias: en los niveles de planta baja y primer piso, con viviendas familiares dúplex de 3 a 5 habitaciones; en los niveles del segundo y tercer piso, con viviendas familiares dúplex más pequeñas ubicadas frente a las plataformas elevadas de acceso peatonal; y en el cuarto piso, con apartamentos (*flats*) de un solo piso. Los frentes de los bloques incluían garajes de estacionamiento junto con una serie de torres de escaleras para acceder a los pisos superiores. Las uniones entre sus componentes se especificaron con barras metálicas y concreto vaciado *in situ*. El funcionamiento del proyecto fue particularmente problemático. Las condiciones de acceso y el uso repetitivo de las torres de las escaleras (que eran oscuras y casi no se utilizaban), ocasionaron actividades criminales. Los ocupantes se quejaron de la inseguridad, los costos de calefacción, los accesos por puentes, la incapacidad de personalizar el exterior de sus hogares, la ausencia de espacios de jardín, la lejanía del transporte público y la contaminación ambiental. Muchas familias abandonaron el proyecto, dejando sus viviendas vacías. El espacio se deterioró a lo largo de la década de 1980 y fue demolido en 1992 (Morton, 1994).

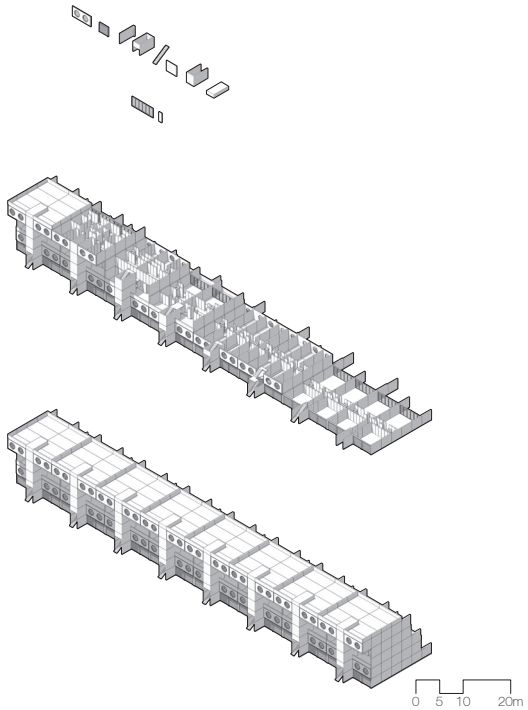


Gráfico 172
Complejo Residencial de Southgate Estate, Inglaterra 1977. Proceso de construcción

5.3.6.2. Viviendas Económicas Prefabricadas (VEP). Chile, 1975

La serie de prefabricación VEP, derivada del Gran Sistema de Paneles Estructurales KPD en Chile, se propuso como un sistema de muros estructurales que se combinó con la carpintería y la albañilería tradicionales. Esta condición generó un proceso híbrido que combinó la prefabricación a gran escala con el trabajo de construcción que empleó mano de obra convencional. Fue desarrollado en Chile después del derrocamiento del gobierno de Salvador Allende. Esta serie fue concebida y desarrollada para adaptarse al nuevo modelo económico neoliberal que se implementó con la llegada del gobierno militar de Augusto Pinochet. Las uniones se especificaron con barras de acero y vaciado de concreto entre los paneles, que tenían geometrías irregulares para mejorar la rigidez del ensamblaje. Se diferenció de la serie KPD en la longitud del bloque residencial: mientras que, con el KPD, se podrían construir seis unidades de vivienda de cinco pisos, con el VEP se podrían construir dos residencias por piso en la misma altura de cinco pisos. Fue un reemplazo consciente de la tipología del bloque masivo de viviendas para edificios con un espacio de balcón más grande y una configuración de planta menos densa (Alonso y Palmarola, 2014, pp. 188-189).

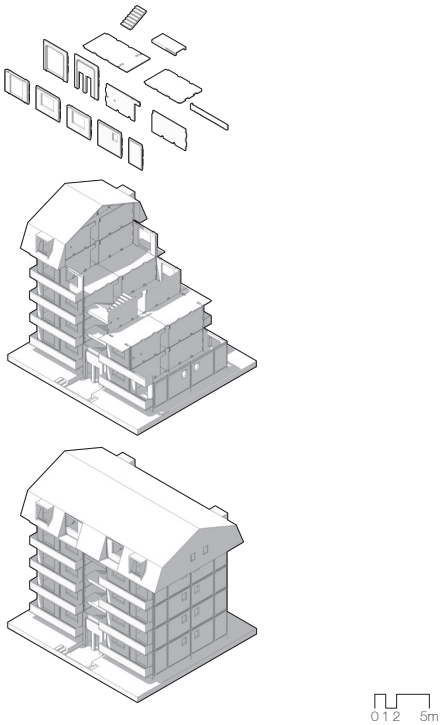


Gráfico 173
Viviendas Económicas Prefabricadas (VEP). Chile, 1975. Proceso de construcción

5.3.6.3. Edificio residencial. Monza, Italia, 1972

Este edificio residencial se diseñó con paneles de fachada prefabricados de concreto no estructural y con una estructura esqueletal de columnas y vigas vaciadas *in situ* por razones económicas. El edificio fue diseñado con una altura de ocho pisos y con un acceso a través de un semi-sótano. El proyecto fue concebido a través de una rejilla modular de 32cm en los elementos estructurales y en los espacios habitables. La ubicación de las columnas hizo que el espacio interior de las viviendas fuera flexible en términos de distribución de habitaciones y áreas sociales. El concepto utilizado en estos desarrollos se basó en la combinación de formas económicas de construcción con un alto grado de flexibilidad en el uso. Los elementos prefabricados de concreto en la fachada (muros, losas y bordes de losas) se diseñaron para que pudieran modificarse y cumplir con los requisitos de los usuarios en el futuro. Estos se unieron a las losas de entrepiso a través de barras metálicas y concreto vaciado. Las superficies fueron texturizadas con un acabado de piedra fina granular extraída en la ciudad de Vicenza. Con una estructura reticular como soporte del edificio, fue posible lograr un conjunto de fachadas prefabricadas articuladas con el espacio interior (Herzog, 1998, pp. 67-69).

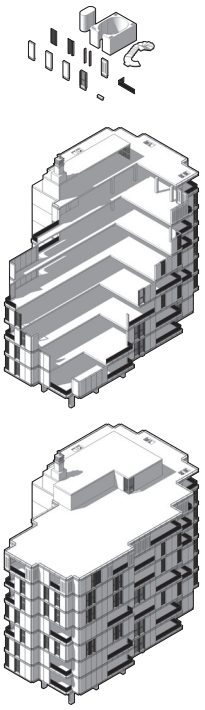


Gráfico 174
Edificio residencial. Monza, Italia, 1972. Proceso de construcción

5.3.6.4. Brecast, Reino Unido, 1970

Este sistema de muros estructurales fue concebido y desarrollado por la agencia *British Building Research Establishment* (BRE), bajo la dirección de Nares Craig. Las juntas se realizaron a través de conjuntos de barras metálicas rigidizadas con vaciados de concreto. Estos elementos y la serie de prefabricación se exportaron principalmente a países en desarrollo, donde los edificios se construyeron con una altura promedio de cinco pisos. Fue diseñado para aumentar la flexibilidad en tipologías de vivienda, con una distribución interna de acuerdo con las preferencias de los usuarios. Brecast tenía moldes verticales para producir paneles prefabricados en las plantas industriales o en el sitio, sin la necesidad de equipos especializados y con la misma calidad estructural y de superficie ofrecida por otros desarrollos industriales (Alonso y Palmarola, 2014, pp. 226-227).

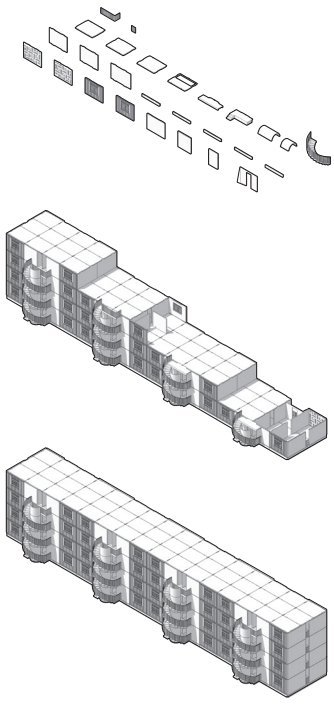


Gráfico 175
Brecast, Reino Unido, 1970. Proceso de construcción

5.3.6.5. Residencias en la Villa Olímpica. Munich, Alemania, 1971

Este proyecto de vivienda fue diseñado y construido entre 1968 y 1971 para recibir a 12.000 personas, incluidos los atletas y el personal de los equipos participantes de los Juegos Olímpicos de 1972. Para los estudios de caso, se seleccionaron dos tipos de edificios en concreto prefabricado: las residencias para hombres (edificios escalonados con alturas entre 7 y 14 pisos) y las residencias de mujeres (*bungalows* de dos pisos de concreto prefabricado).

Para llevar a cabo la planificación urbana y los conceptos arquitectónicos, los planificadores decidieron aplicar el "proceso de optimización", un método que se utiliza con frecuencia en ingeniería para encontrar la mejor solución posible para una tarea determinada. El concepto final se enfrentó a la crítica de los asesores expertos en lo que respecta a la calidad de vida, la disposición de las viviendas, la luz natural, la higiene, el acondicionamiento acústico y la relación con las condiciones sociológicas, los códigos de construcción, la ecología, las zonas verdes, los patrones de tráfico, la planificación urbana y las consideraciones generales de paisajismo. Una de las dificultades en la asignación de los distintos apartamentos fue la diversidad en el tamaño de los diferentes equipos que competían.

Tres tramos de edificios escalonados de siete a catorce pisos cada uno (para atletas masculinos) se extienden hacia el sur. Delante de éstos hay bloques escalonados de tres a cinco pisos de altura y casas de uno a tres pisos. Al sur, esta agrupación de viviendas termina en filas de *bungalows* de dos pisos para atletas femeninas. El tráfico peatonal y vehicular está separado en dos niveles. Las zonas verdes se extienden desde el Parque Olímpico a través del área libre hacia las residencias. (*Amateur Athletic Foundation* de Los Ángeles, 2003, pp. 100).

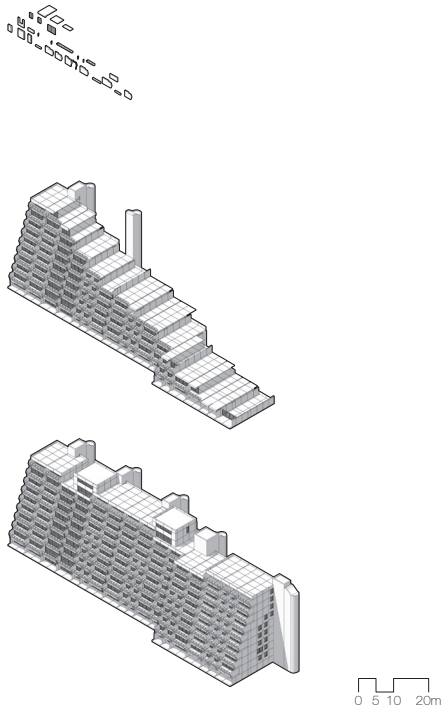


Gráfico 176
Residencias de hombres en la Villa Olímpica. Munich, Alemania, 1971
Proceso de construcción

5.3.6.5.1. Residencias de hombres

Tres tramos de edificios escalonados, con alturas entre siete y 14 pisos, sirvieron como la Villa Olímpica Masculina. Estos edificios fueron concebidos con un sistema de muros estructurales.

Las fachadas este y oeste se concibieron con el principio de "Muro Apilado", conectado con muros y vigas de concreto prefabricadas que se extienden desde la fachada norte hasta la fachada sur. El escalonamiento de las fachadas a través de elementos prefabricados generó un lenguaje de balcones y muros de carga con áreas sociales frente a espacios públicos. Las áreas de cocina y baños se ubicaron adyacentes a circulaciones colectivas. El balcón prefabricado con las jardineras especificadas para cada apartamento fue ensamblado con los muros estructurales ubicados entre las casas. Las uniones de estos paneles estructurales con las losas del piso se hicieron soldando los refuerzos sobresalientes y concreto vaciado *in situ* en los nudos para asegurar su continuidad estructural (*Amateur Athletic Foundation* de Los Ángeles, 2003, pp. 102-103). El edificio fue construido para ser utilizado durante y después de los Juegos Olímpicos y, por lo tanto, las viviendas tenían diferentes áreas: apartamentos de 24m² con un dormitorio y apartamentos de 240m² con seis dormitorios. Para espacios interiores, se utilizaron muros prefabricados no estructurales, que podrían modificarse o eliminarse en los procesos de reforma; esto facilitó la concepción de nuevas tipologías de vivienda después de los Juegos (Amateur Athletic Foundation de Los Ángeles, 2003, pp. 102-103).

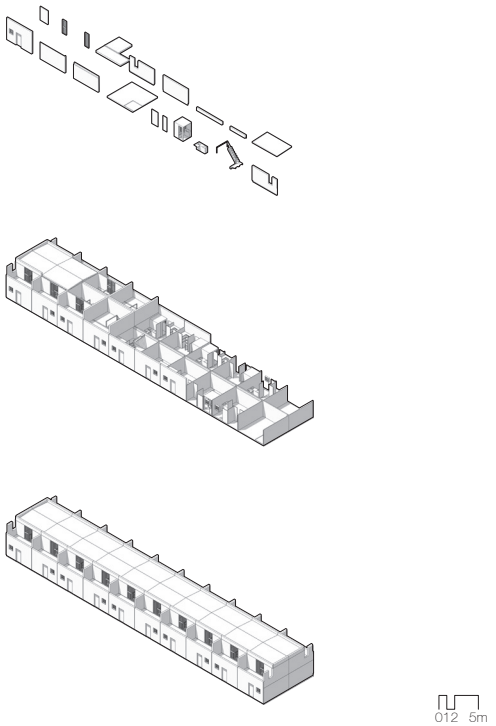


Gráfico 177
Residencias de mujeres en la Villa Olímpica. Munich, Alemania, 1971
Proceso de construcción

5.3.6.5.2. Residencias de mujeres

Estas 800 viviendas prefabricadas de dos pisos (conocidas en la Villa Olímpica como *bungalows*) fueron diseñadas con un sistema de muros estructurales. Cada vivienda tenía un área de 24m² distribuidos en dos pisos cubiertos y un balcón descubierto. Estas unidades fueron proyectadas con una fachada de 3.2m de frente y una profundidad de 4.40m. Las unidades de baño se produjeron en fábricas y se conectaron a las viviendas en el proceso de construcción. Las uniones entre los muros estructurales con las losas de piso se hicieron soldando los refuerzos metálicos que quedaron expuestos. A esta soldadura se le agregó concreto vaciado *in situ* para rigidizar los nudos y asegurar la continuidad estructural de las viviendas. Los elementos del techo se apoyaron en los muros prefabricadas y se unieron a ellos con barras metálicas y una viga perimetral de concreto prefabricado. Las losas prefabricadas para los techos se cubrieron con grava (*Amateur Athletic Foundation* de Los Ángeles, 2003, pp. 102-110).

5.4. Años 80, 90 y 2000

5.4.1. Ciudad Bachué III. Bogotá, Colombia, 1980

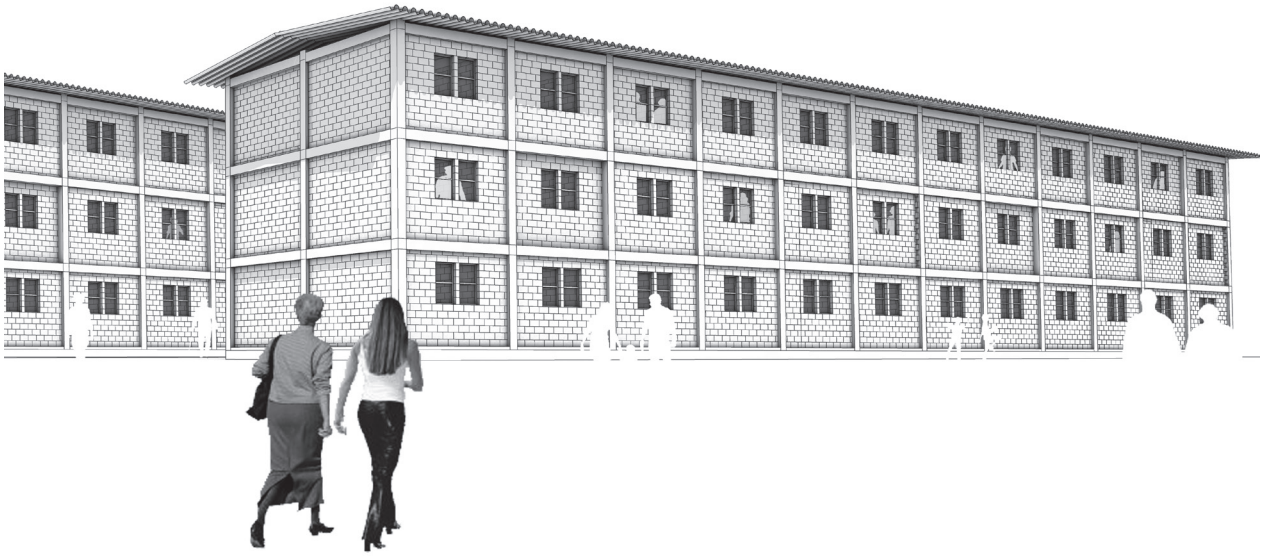


Gráfico 178
Vista exterior

Ciudad Bachué III. Bogotá, Colombia, 1980	
Tipo de estructura	Esqueletal (cerramientos de mampostería
Tipo de prefabricación	Abierta
Arquitecto inventor o diseñador	P. Samper, L. Tapias, C. Moreno and G. Marín
Áreas promedio por vivienda (en metros cuadrados)	45, 60
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	1480
Altura media de los edificios (en número de pisos)	2 to 5
Número de tipos de elementos prefabricados	18
Cimientos prefabricados para columnas	0
Vigas de cimentación prefabricadas para muros o vigas de amarre	0
Losas de cimentación prefabricadas	0
Columnas	2
Vigas	2
Paneles de fachada	0
Muros interiores	4
Losas de contrapiso y entrepiso	2
Losas para techos	2
Elementos especiales (buitrones, juntas, áreas comunes, toldos)	4
Escalera	2
Células espaciales estructurales	0
Tipos de juntas	Barras metálicas y concreto vaciado

Información tomada de: Aguilera, s. f., pp. 25-26.

Tabla 32
Ciudad Bachué III. Colombia, 1980

Sistema y construcción

Ubicado en el oeste de Bogotá, este proyecto contemplaba la construcción de más de 15.000 viviendas para familias de bajos ingresos en tres etapas. Este programa se desarrolló en la política de "Ciudades dentro de la Ciudad" con las siguientes características de diseño: desarrollos verticales en terrazas y cubiertas por expansiones reguladas, diseños flexibles y diferentes tamaños en esquemas unifamiliares y multifamiliares.

Para construir este proyecto, se utilizaron tres sistemas de prefabricación diferentes a través de licitaciones abiertas que vincularon a la empresa privada con desarrollos urbanos oficiales: muros estructurales, estructuras esqueletales con cerramientos de paneles de concreto prefabricado y estructuras esqueletales con cerramientos de mampostería. Las obras fueron asignadas a las propuestas menos costosas. Los contratos adjudicados en ese momento se firmaron con sumas de dinero inferiores al costo de los sistemas de construcción tradicionales, como las estructuras de concreto vaciado reforzado *in situ* y la mampostería de ladrillos. Desde 1977, el Instituto Colombiano de Crédito Territorial (ICT) modificó el concepto de construcción masiva de viviendas mediante la realización de desarrollos urbanos (Aguilera, s. f. pp. 23-26).

En esta etapa del proyecto, la estructura de soporte también se construyó con el sistema esqueletal de vigas y columnas de concreto prefabricado. Las fachadas y los muros interiores se especificaron en ladrillo. El grupo de arquitectos de esta etapa también fue dirigido por Patricio Samper, quien diseñó 1.480 unidades de vivienda con un área promedio de aproximadamente 45m² a 60m² en edificios de dos a cinco pisos de altura. Por razones de costo, las viviendas se entregaron sin acabados, lo cual se dejó al criterio de cada usuario. El sistema fue el resultado de la investigación de nuevos métodos en vista de la falta de mano de obra calificada y el volumen de construcción que se ofreció. En este método de construcción, surgió la idea de combinar un sistema industrializado (una estructura de soporte con vigas, columnas y losas prefabricadas) con un sistema tradicional (muros de fachada construidos en mampostería de ladrillos). Esta estrategia trajo las ventajas de la velocidad de ejecución y mayores rendimientos para el proyecto, debido a una organización eficiente. Los contratistas en ese momento consideraron que la organización de las actividades representaba el 60% del rendimiento del sistema para ellos (Aguilera, s. f., p. 25). La combinación de estos dos sistemas permitió el trabajo simultáneo y programado en dos frentes: la prefabricación en la estructura de soporte y la instalación de elementos de mampostería no estructurales. Las vigas y las columnas se unieron soldando sus refuerzos y vaciando concreto en sus nudos para aumentar la rigidez de las conexiones. Se instalaron losas de concreto prefabricado en estos elementos, unidas a las vigas con barras metálicas y concreto vaciado *in situ*. Las fachadas de ladrillo y los muros interiores se instalaron con pasta de mortero, lo que permitió la organización de diferentes actividades secuenciales en la construcción del proyecto (Aguilera, s. f., p. 26).

Este programa de vivienda, planeado por el ICT desde 1978, consideró la posibilidad de tener un crecimiento posterior en sus terrazas, una actividad realizada por los usuarios después de haber ocupado el proyecto. Las viviendas fueron construidas y reguladas para expandir su área original a través de procesos de autoconstrucción. En este proyecto, originalmente propuesto para 15.000 viviendas, se adjudicaron tres contratos, cada uno con diferentes sistemas de construcción. El primero se especificó con paneles estructurales de fachada y muros interiores de concreto prefabricado.

La segunda etapa se construyó con un sistema de vigas y columnas estructurales de concreto prefabricado y paneles no estructurales también en concreto prefabricado. Ciudad Bachué III fue construida con un sistema esqueletal de concreto prefabricado (vigas y columnas), con fachadas y muros interiores en sistemas de mampostería no estructural. Una vez finalizada la tercera etapa, los contratistas del proyecto de construcción propusieron que podría haber otras innovaciones en los procesos de producción y en las conexiones de los elementos estructurales, ya que la mayoría de ellos se resolvieron en el sitio con procedimientos que no controlaron completamente la calidad de los componentes (Aguilera, s. f., p. 26).

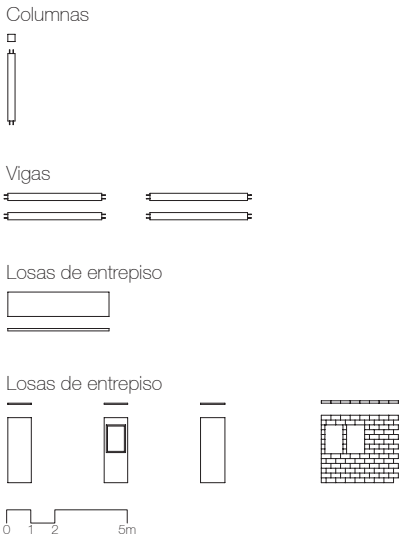
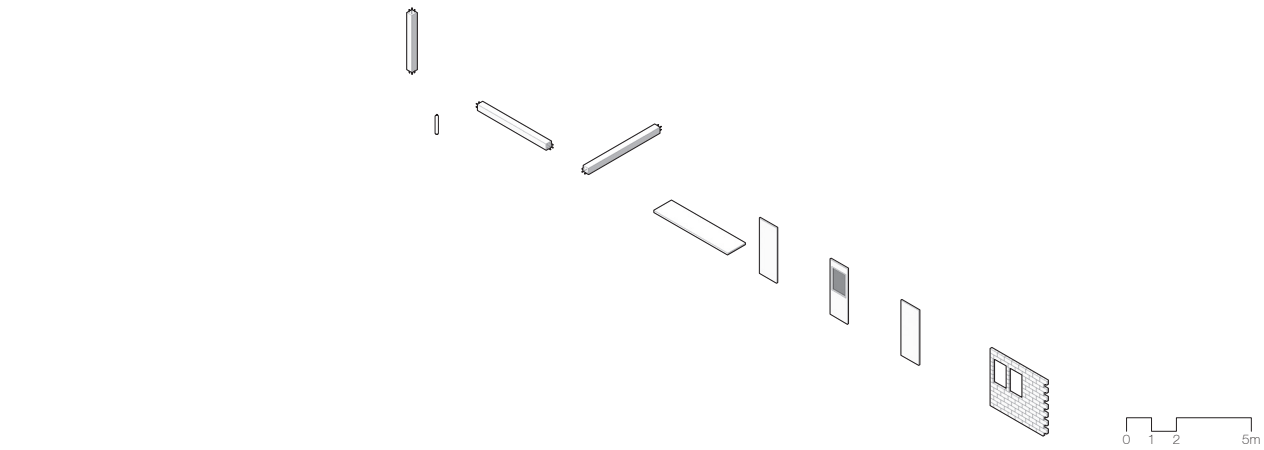


Gráfico 179
Componentes: Planta y fachada



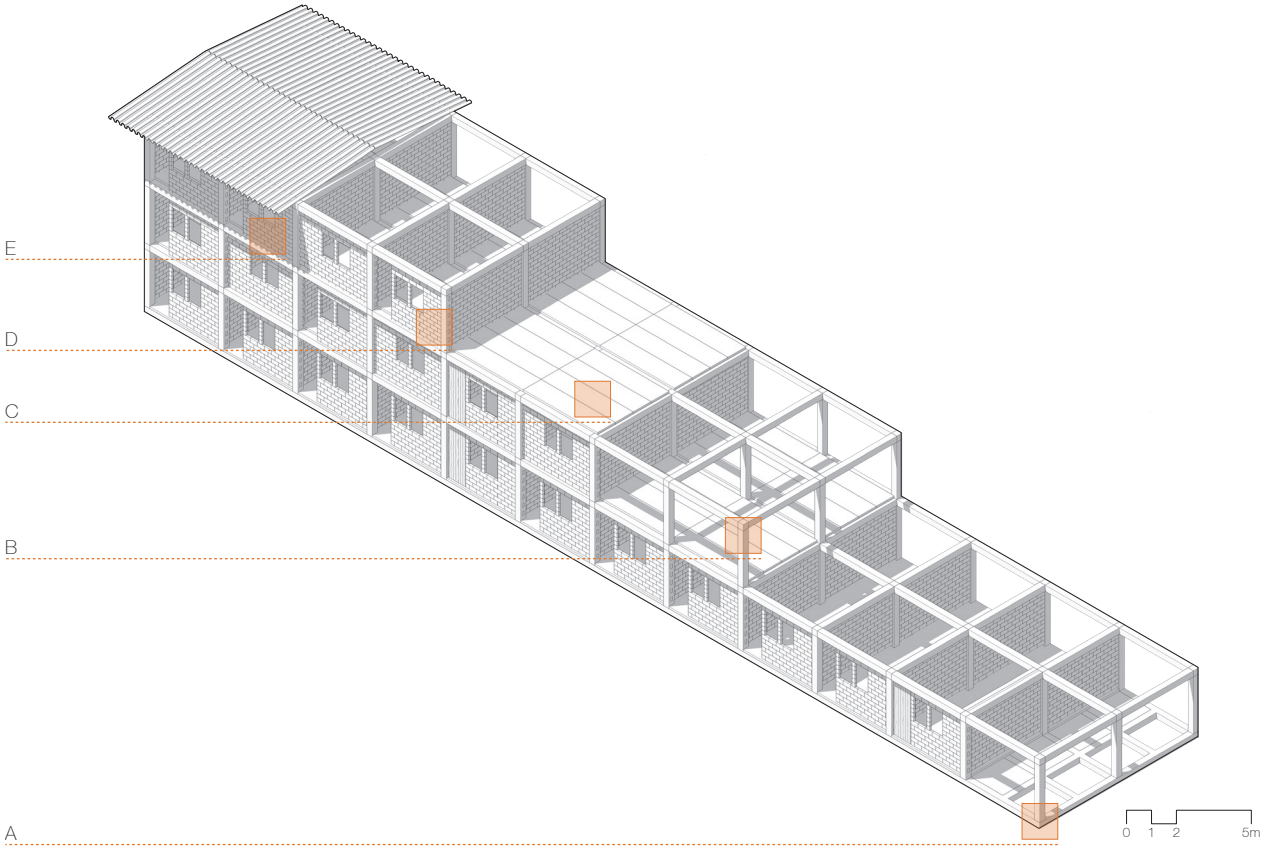


Gráfico 180
Componentes: Axonometría

Gráfico 181
Proceso de construcción

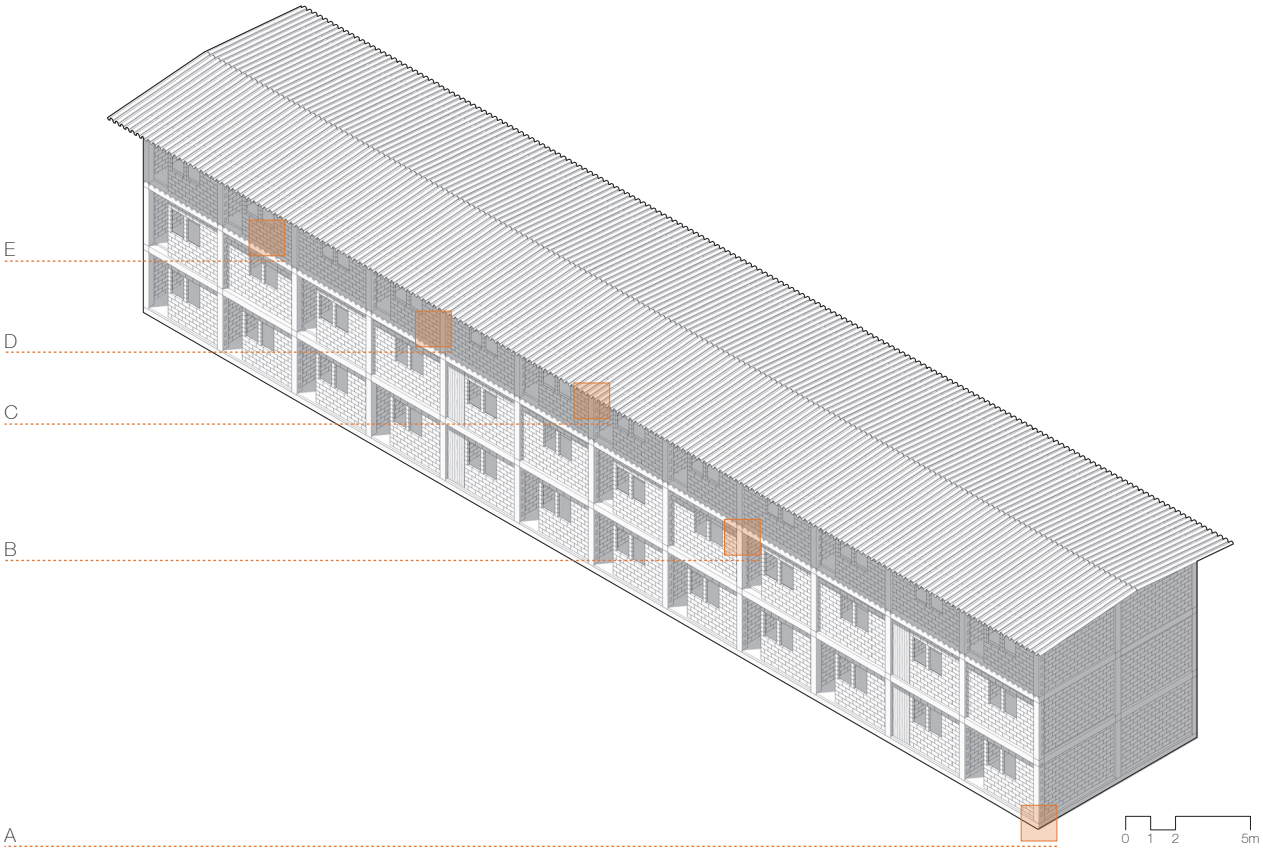


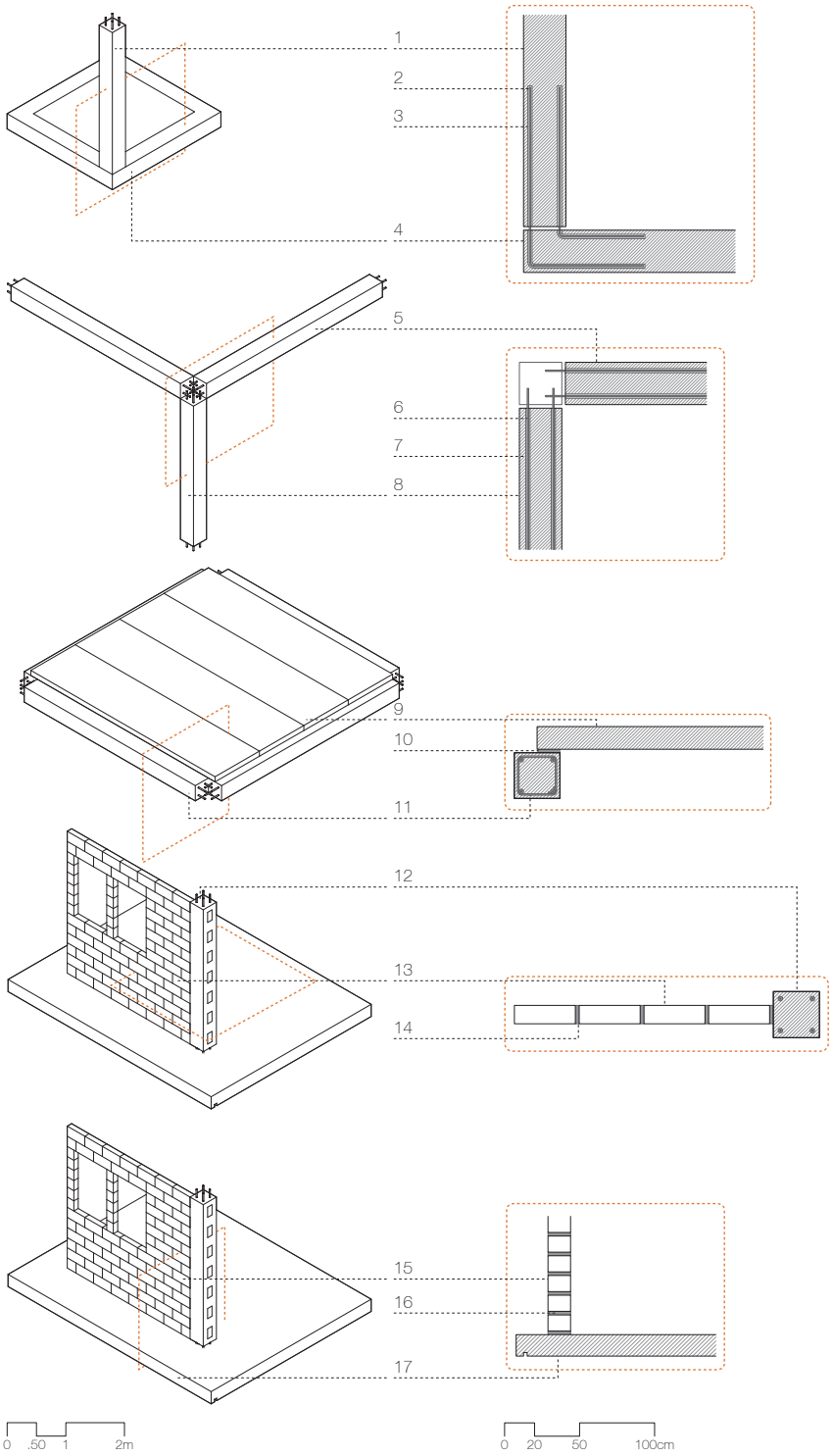
Gráfico 182
El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico

Ventajas

- El proyecto se diseñó a través de un módulo estructural de 3,20 x 3,20, que permitió un sistema de prefabricación parcial y abierto con marcos estructurales de concreto prefabricado, coordinados dimensionalmente con muros de fachada e interiores de mampostería no estructural.
- La industrialización de la estructura de soporte, con mecanismos simples de unión entre los elementos estructurales y su combinación con los sistemas de construcción tradicionales, permitió la intervención de mano de obra tradicional y el uso de materiales locales.
- El volumen y el peso de los elementos constructivos permiten su transporte a diferentes contextos. La producción de los elementos de construcción también se puede hacer en el sitio del proyecto.
- El sistema de marcos permite la adaptación del sistema a diferentes topografías. La prefabricación parcial de la estructura de soporte y el uso de materiales locales en los elementos no estructurales se adaptan a diferentes contextos sociales, económicos y técnicos.
- La combinación de los marcos estructurales con elementos de mampostería no estructurales permite que los espacios interiores y las áreas comunes del edificio se dimensionen para su accesibilidad.
- El número de variantes en las tipologías de los elementos prefabricados, los diseños de las conexiones, el peso y el volumen de cada uno de ellos facilitan los procesos constructivos.
- Los elementos estructurales prefabricados permiten que los muros divisorios y los muros de fachada se construyan en un sistema de mampostería no estructural. Los diseños de las fachadas y el espacio interior se pueden ajustar a diferentes áreas, tipologías de vivienda y a las necesidades de las familias.
- Los elementos de mampostería no estructurales que conforman las fachadas permiten diseños según el contexto bioclimático y según las condiciones ambientales deseadas. En el interior, las proporciones de los espacios pueden ser determinadas por los propios habitantes.
- A través de diferentes materiales o sistemas constructivos no estructurales, el lenguaje del edificio puede responder al contexto social, a las tradiciones culturales o a diferentes criterios de composición arquitectónica.
- El sistema de construcción del proyecto permite ampliar el área de la vivienda a través de los elementos no estructurales, que se modifican con el tiempo y tienen diferentes lenguajes.

Desventajas

- Cada columna y viga deben unirse individualmente en el sitio, lo que aumenta el número de conexiones en el proceso de construcción y, por lo tanto, las actividades en el sitio, los costos y el tiempo de construcción.
- La estructura, que propone terrazas estructurales en las viviendas, permite su crecimiento en altura, pero no controla el número de pisos que se pueden construir, lo cual genera un riesgo estructural en los edificios.



1. Columna prefabricada en concreto
2. Barras metálicas
3. Concreto vaciado *in-situ*
4. Viga prefabricada en concreto
5. Viga prefabricada en concreto
6. Barras metálicas
7. Concreto vaciado *in-situ*
8. Columna prefabricada en concreto
9. Losa prefabricada en concreto
10. Concreto vaciado *in-situ*
11. Viga prefabricada en concreto
12. Columna prefabricada en concreto
13. Muro de fachada prefabricado en concreto
14. Concreto vaciado *in-situ*
15. Muro de fachada prefabricado en concreto
16. Concreto vaciado *in-situ*

Gráfico 183
Detalles constructivos

5.4.2. Urbanización Niza. Pereira, Colombia, 1980

Gráfico 184
Vista exterior

Urbanización Niza. Pereira, Colombia, 1980	
Tipo de estructura	Muros estructurales (Sistema Cortina)
Tipo de prefabricación	Cerrada
Arquitecto inventor o diseñador	Pablo Cortina
Áreas promedio por vivienda (en metros cuadrados)	93
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	450
Altura media de los edificios (en número de pisos)	5
Número de tipos de elementos prefabricados	15
Cimientos prefabricados para columnas	0
Vigas de cimentación prefabricadas para muros o vigas de amarre	0
Losas de cimentación prefabricadas	0
Columnas	0
Vigas	0
Paneles de fachada	5
Muros interiores	3
Losas de contrapiso y entrepiso	2
Losas para techos	2
Elementos especiales (buitrones, juntas, áreas comunes, toldos)	3
Escalera	2
Células espaciales estructurales	0
Tipos de juntas	Conectores metálicos y concreto vaciado *in situ*

Información tomada de: Aguilera, s. f., pp. 27-28

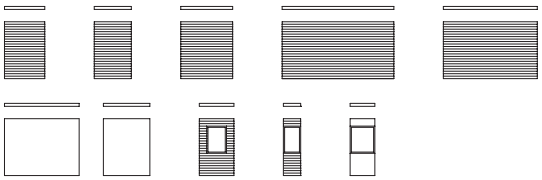
Tabla 33
Urbanización Niza. Pereira, Colombia, 1980

Sistema y construcción

Desde la década de 1970, este sistema de muros estructurales, patentado por el ingeniero mexicano Pablo Cortina, se usó para la construcción de viviendas en Colombia. Es un sistema de muros y losas portantes apiladas unidas por bisagras o pasadores de metal, que – cuando se despliegan por gravedad – conforman el edificio (Aguilera, s. f., p. 27). Los cimientos del edificio son una placa sólida de 60cm de espesor en concreto reforzado y vaciado *in situ*. Se construyó otra placa sólida de concreto vaciado *in situ* para la instalación del equipo que levantaría los elementos prefabricados. El equipo de elevación son principalmente gatos hidráulico-mecánicos. La unión de estos elementos a las estructuras previamente levantadas se realizó a través de conectores metálicos soldados, rigidizados con concreto. Una vez que se instaló el conjunto de muros y losas en cada piso, los gatos se elevaron al siguiente piso y se repitió la operación. El sistema fue diseñado para construir edificios de hasta 10 pisos de altura. Cuando los muros y losas se vaciaron en los moldes, se usó un agente de liberación entre ellos para mantenerlos separados y evitar que se golpearan al levantarse. Este complejo de viviendas tiene 450 apartamentos y fue construido en tres etapas. Cada etapa consistió en 15 bloques con 10 apartamentos, distribuidos en cinco pisos en un terreno empinado, sin posibilidad de ampliación. El área de cada apartamento es de 93m^2, más grande que el área promedio de otras unidades de vivienda social. El tiempo de elevación de la estructura de cada edificio con 10 apartamentos fue de tres semanas (Aguilera, s. f., pp. 27-28).

Este sistema logró costos iguales, pero redujo un tercio del tiempo, en comparación con los sistemas de construcción tradicionales. La prefabricación de losas y muros estructurales se realizó en el sitio, en el mismo lugar en el que estos elementos se levantaron hasta ubicarlos en su posición final en el edificio. Los muros fueron diseñados con un grosor de 12cm y dimensiones desde 6,10m x 2,50m hasta 0,70m x 2,30m. Las losas, con un grosor de 20cm, pueden ser aligeradas o sólidas e incluyen sus acabados en el proceso de vaciado, lo que redujo la cantidad de actividades en el sitio. Los muros fueron diseñados para ser articulados a las placas para que cayeran por gravedad en el momento de la elevación hasta el punto exacto de su ubicación en el proyecto. Antes de la prefabricación de cada elemento, debían instalarse todos los accesorios, tuberías eléctricas e hidrosanitarias, refuerzos y aligeramientos incluida la bisagra de muros y placas. El Sistema Cortina requería una planificación y control extremadamente estrictos y detallados en el proceso de elevación, ya que había varios elementos que debían instalarse simultáneamente para construir cada uno de los niveles del edificio. En este sistema, podría haber tantos frentes de trabajo como equipos de elevación disponibles (Aguilera, s. f., p. 28).

Muros de fachada



Otros elementos

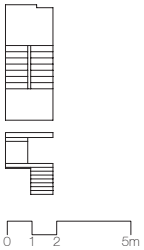
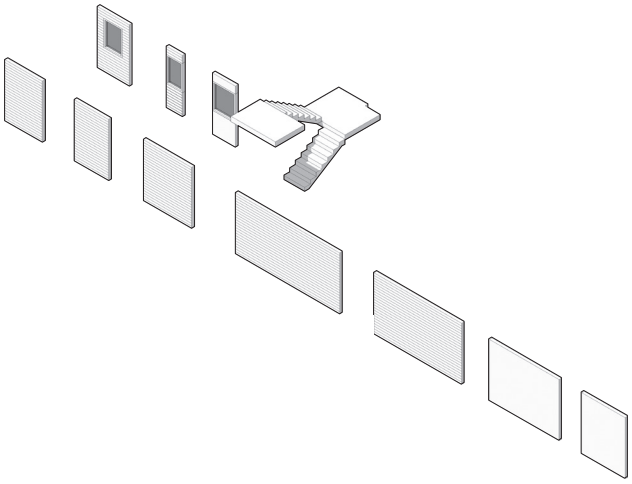


Gráfico 185
Componentes: Planta y fachada



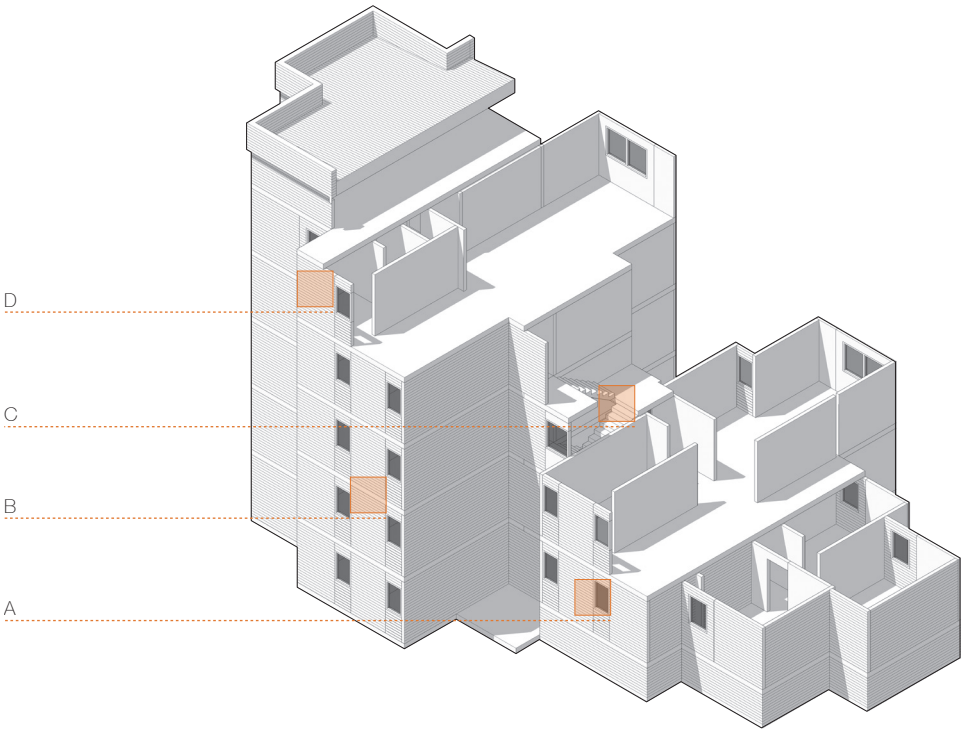


Gráfico 186
Componentes: Axonometría

Gráfico 187
Proceso de construcción

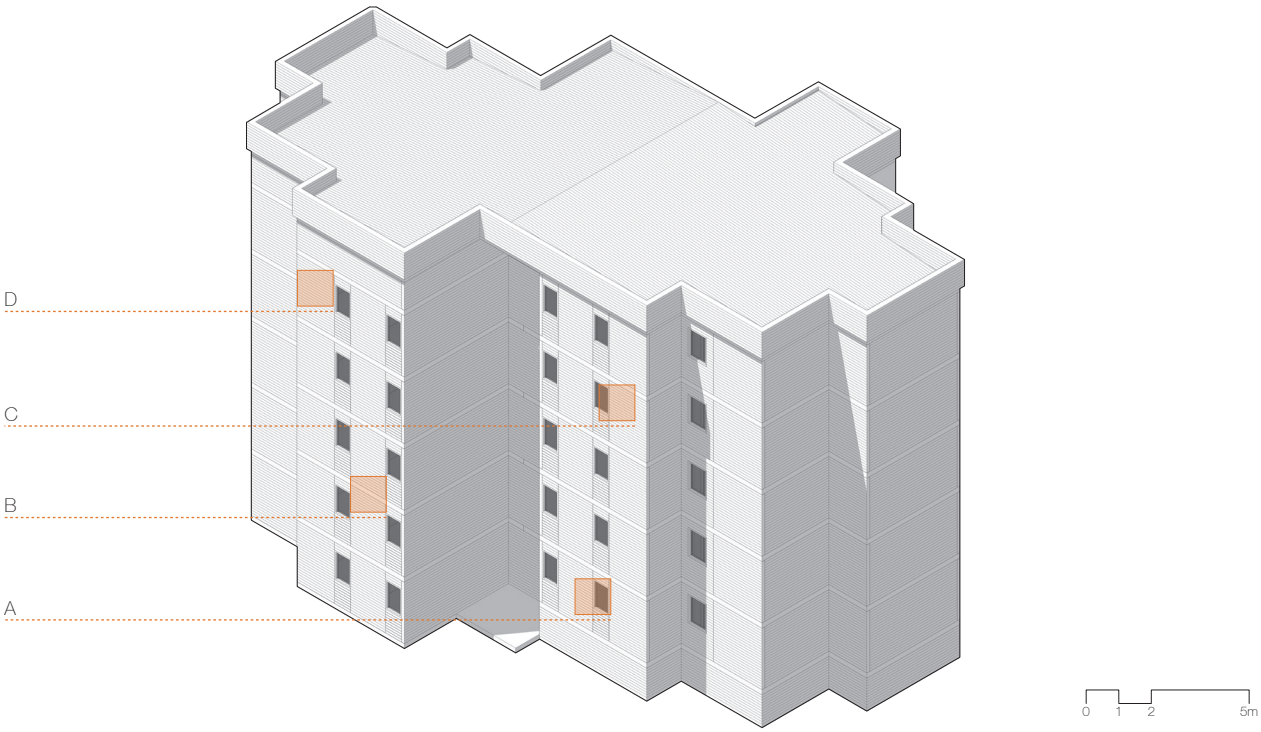


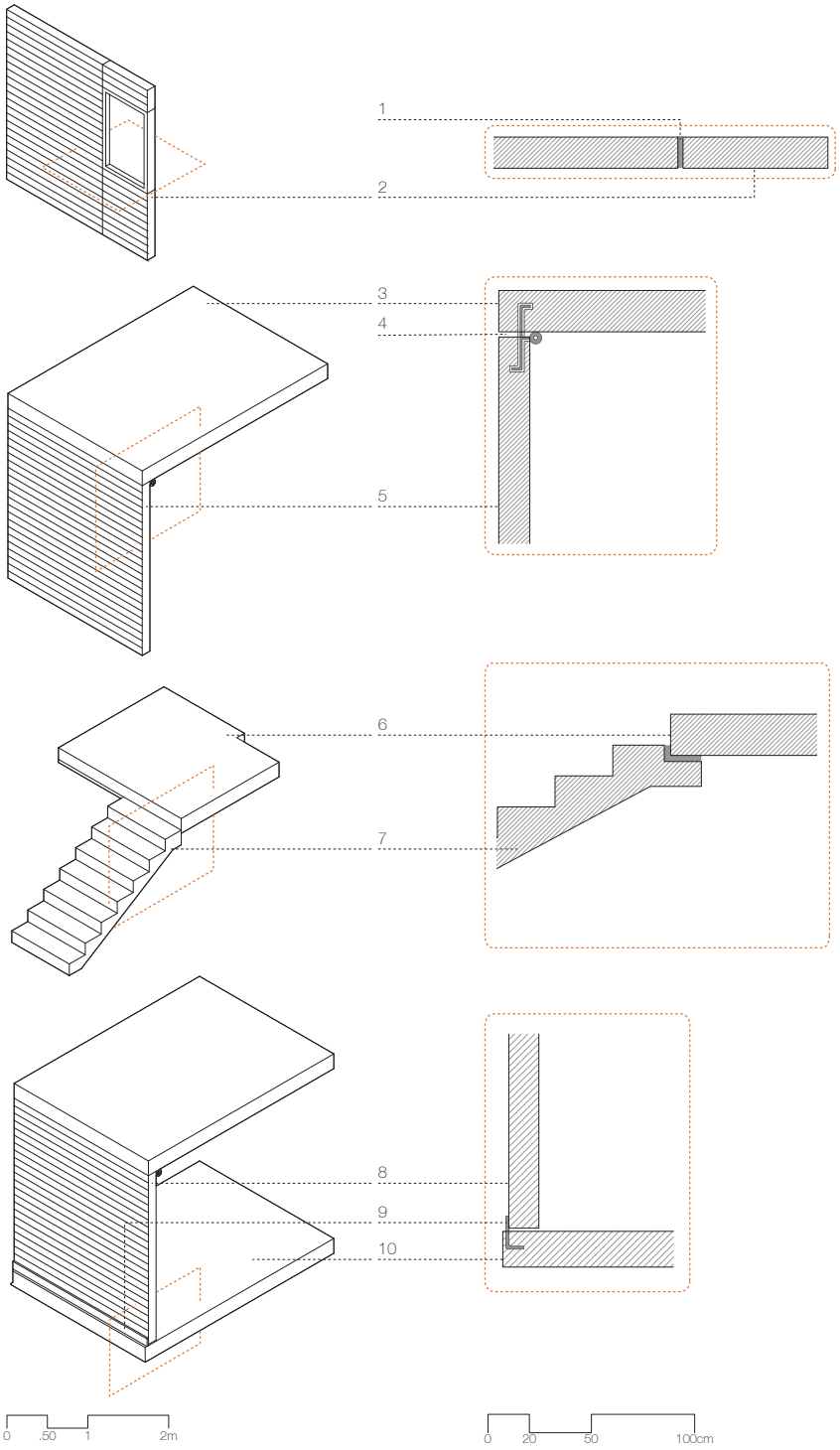
Gráfico 188
El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico

Ventajas

- Los muros y losas del sistema están diseñados como un módulo integrado, que se instala en conjunto desde las dimensiones de las viviendas y se puede coordinar dimensionalmente con las proporciones de sus acabados, que se pueden incorporar a estos elementos desde el proceso de vaciado.
- Con los mismos principios estructurales y arquitectónicos, el sistema se puede replicar en lugares que permiten el uso de grúas de elevación. Los vaciados de cada elemento estructural se realizan en el suelo, en el mismo lugar donde las grúas las elevan a cada nivel del edificio. La velocidad alcanzada en el proceso de prefabricación e instalación reduce el tiempo de ensamble hasta un tercio en comparación con los sistemas de construcción tradicionales y permite la construcción de un mayor número de unidades de vivienda.
- Los elementos prefabricados se producen en el mismo sitio del proyecto, lo que permite llegar a territorios con diferentes tipos de acceso. Las grúas de elevación, que están formadas por columnas y cerchas metálicas, se ensamblan en secciones, lo que facilita su transporte al lugar de trabajo.
- El equipo de elevación puede ajustarse a las topografías existentes en diferentes contextos, de acuerdo con la configuración del edificio. Otros materiales utilizados como acabados de pisos y muros pueden fusionarse a partir del proceso de prefabricación, adaptando las técnicas de producción a las dimensiones de los materiales que complementan el sistema.

Desventajas

- Si bien el sistema reduce el tiempo de construcción e integra los elementos prefabricados, el proceso de construcción utiliza equipos de elevación complejos y requiere una planificación y coordinación modular estricta para instalar simultáneamente las losas y muros que, cuando están articuladas a las placas, caen por gravedad hasta que se apoyan en la placa inferior.
- Cada placa y muro del sistema forma parte de la estructura de soporte; por lo tanto, las viviendas no tienen la posibilidad de modificar su tipología, eliminando algunas muros interiores o expandiéndose con el tiempo de acuerdo con las necesidades de los usuarios.
- Las proporciones interiores, la orientación de las viviendas, las circulaciones cruzadas de aire y el control de la incursión solar están condicionados por las dimensiones y ubicaciones de los muros y losas estructurales de las viviendas.
- El lenguaje del edificio construido con este sistema responde a los diseños de los muros de fachada prefabricados, que no permiten modificaciones en el tiempo y reducen las posibilidades de individualización o personalización de las viviendas.
- Los muros interiores y exteriores, que tienen especificaciones estructurales, no permiten la transformación de las viviendas en el tiempo, ni su crecimiento, ni su adaptación a las necesidades de sus habitantes.



1. Concreto vaciado *in-situ*
2. Muro de fachada prefabricado en concreto
3. Losa prefabricada en concreto
4. Concreto vaciado *in-situ*
5. Muro de fachada prefabricado en concreto
6. Losa prefabricada en concreto
7. Escaleras prefabricadas en concreto
8. Muro de fachada prefabricado en concreto
9. Ángulo metálico
10. Losa prefabricada en concreto

Gráfico 189
Detalles constructivos

5.4.3. Viviendas de Protección Oficial. Alcobendas, España, 1995

Gráfico 190
Vista exterior

Viviendas de Protección Oficial. Alcobendas, España, 1995	
Tipo de estructura	Muros estructurales
Tipo de prefabricación	Abierta
Arquitecto inventor o diseñador	Manuel de las Casas
Áreas promedio por vivienda (en metros cuadrados)	43, 65, 92
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	198
Altura media de los edificios (en número de pisos)	5
Número de tipos de elementos prefabricados	23
Cimientos prefabricados para columnas	0
Vigas de cimentación prefabricadas para muros o vigas de amarre	0
Losas de cimentación prefabricadas	0
Columnas	0
Vigas	0
Paneles de fachada	6
Muros interiores	4
Losas de contrapiso y entrepiso	4
Losas para techos	3
Elementos especiales (buitrones, juntas, áreas comunes, toldos)	4
Escalera	2
Células espaciales estructurales	0
Tipos de juntas	Anclajes, soldadura y concreto vaciado *in situ*

Información tomada de: Bravo, 1997, p. 28

Tabla 34
Viviendas de Protección Oficial. Alcobendas, España, 1995

Sistema y construcción

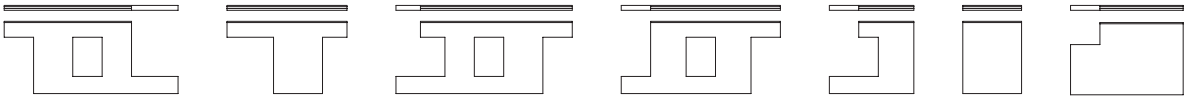
Este conjunto de 198 viviendas fue concebido en ocho bloques de cinco pisos de altura. Su diseño configura un espacio urbano articulado a través de pasajes que cruzan los edificios del primer piso. Las bases para la convocatoria del concurso público, ganadas por la oficina del arquitecto Manuel de las Casas, enfatizaron la racionalización de la construcción, la competitividad de los costos y el tiempo de ejecución con una forma arquitectónica adaptada a las demandas residenciales. El edificio estaba formado por un sistema abierto de muros estructurales, que permitía la combinación del concreto prefabricado con otras soluciones técnicas y aumentaba las posibilidades de diseño del espacio interior.

Los paneles estructurales se pigmentaron en color arena para generar una apariencia diferente a la del concreto gris convencional. Las losas de entrepiso se especificaron como prefabricadas y pretensadas, acanaladas cada 70cm, con un ancho de 210cm y un espesor de 26cm (Bravo, 1997, p. 28). Los elementos prefabricados se combinaron con procedimientos de construcción tradicionales. En este caso, las nervaduras unidireccionales de las losas de entrepiso prefabricadas se diseñaron para apoyarse en los paneles estructurales internos, generando un ensamble por geometría, reforzado con conectores metálicos que se incorporaron desde el proceso de fabricación. Estas uniones se hormigonaron posteriormente para rigidizar el sistema. Otras uniones entre las piezas prefabricadas se hicieron a través de anclajes soldados o atornillados para aumentar la velocidad del ensamblaje (Bravo, 1997, pp. 26-33).

En el diseño interior del edificio, dos muros estructurales de concreto prefabricado reforzados, separados 2m entre sí y paralelos a las fachadas más largas, dividen el interior en dos corredores que miden aproximadamente 5m. La losa acanalada prefabricada se apoya en ellos. Entre estos dos muros de carga, un volumen de servicios, ocupado por los baños y las áreas de almacenamiento, se ubica de tal manera que, además de ser un elemento necesario para la estabilidad del edificio, se convierte en un espacio de servicio que ordena el funcionamiento del complejo. Esta distribución favorece la agrupación de las instalaciones técnicas, que se ubican en este espacio central y en las escaleras.

La secuencia del ensamble comienza con los paneles estructurales exteriores e interiores de concreto prefabricado. Luego, se instalan sobre ellos las losas de concreto prefabricado – cuyas nervaduras se adhieren a los paneles – y luego se rigidizan con vaciados de concreto perimetral. Las divisiones interiores de cada vivienda se realizan en paneles de cartón-yeso, de acuerdo con los diseños arquitectónicos originales. Posteriormente, estos pueden ser transformados de acuerdo con las necesidades o preferencias de los usuarios.

Muros de fachada



Losas de entrepiso

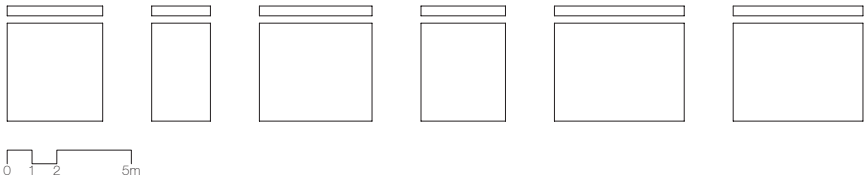
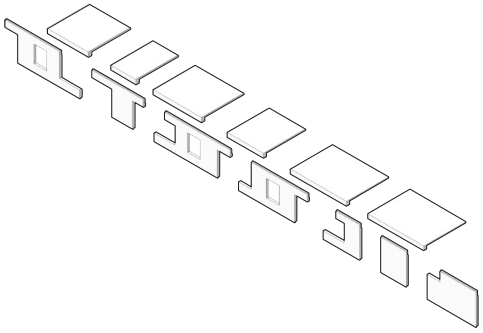


Gráfico 191
Componentes: Planta y fachada



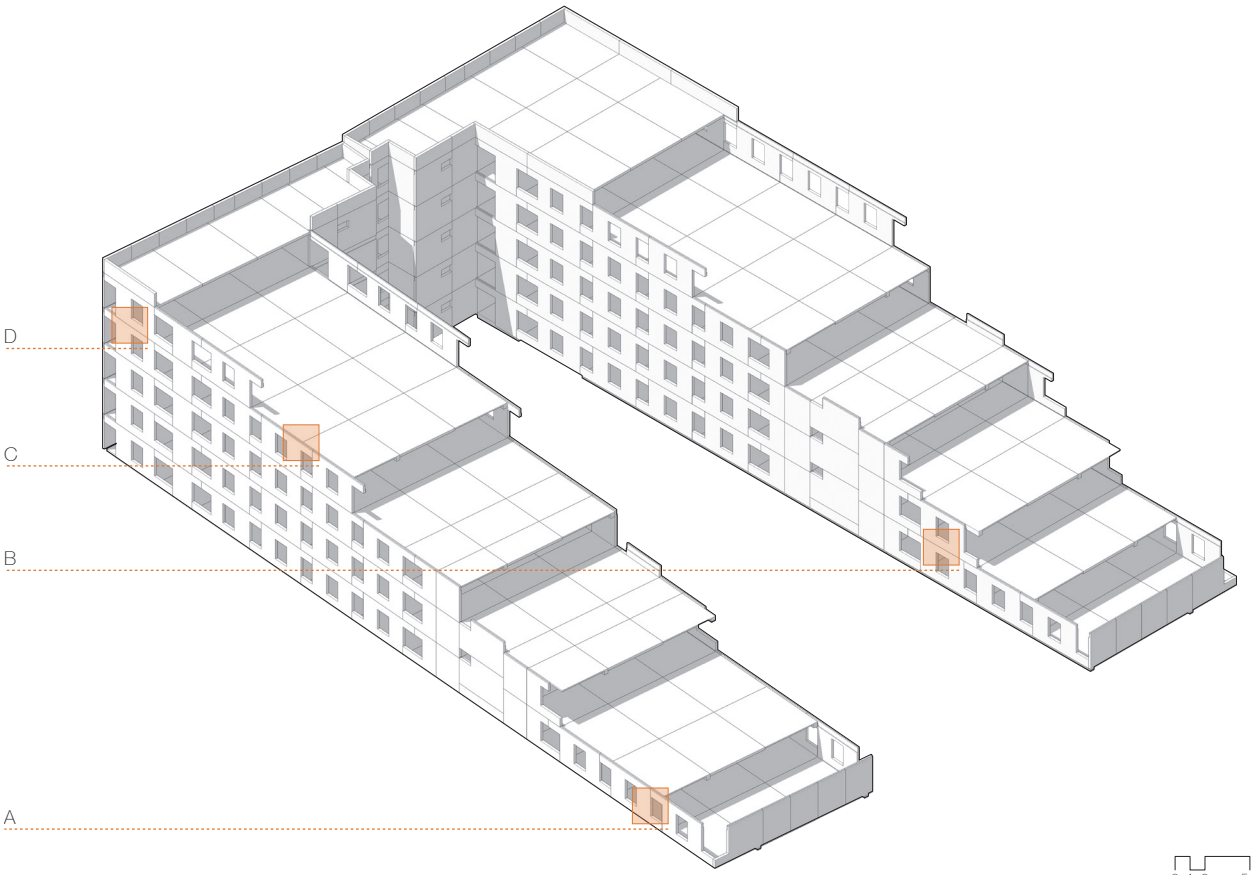


Gráfico 192
Componentes: Axonometría

Gráfico 193
Proceso de construcción

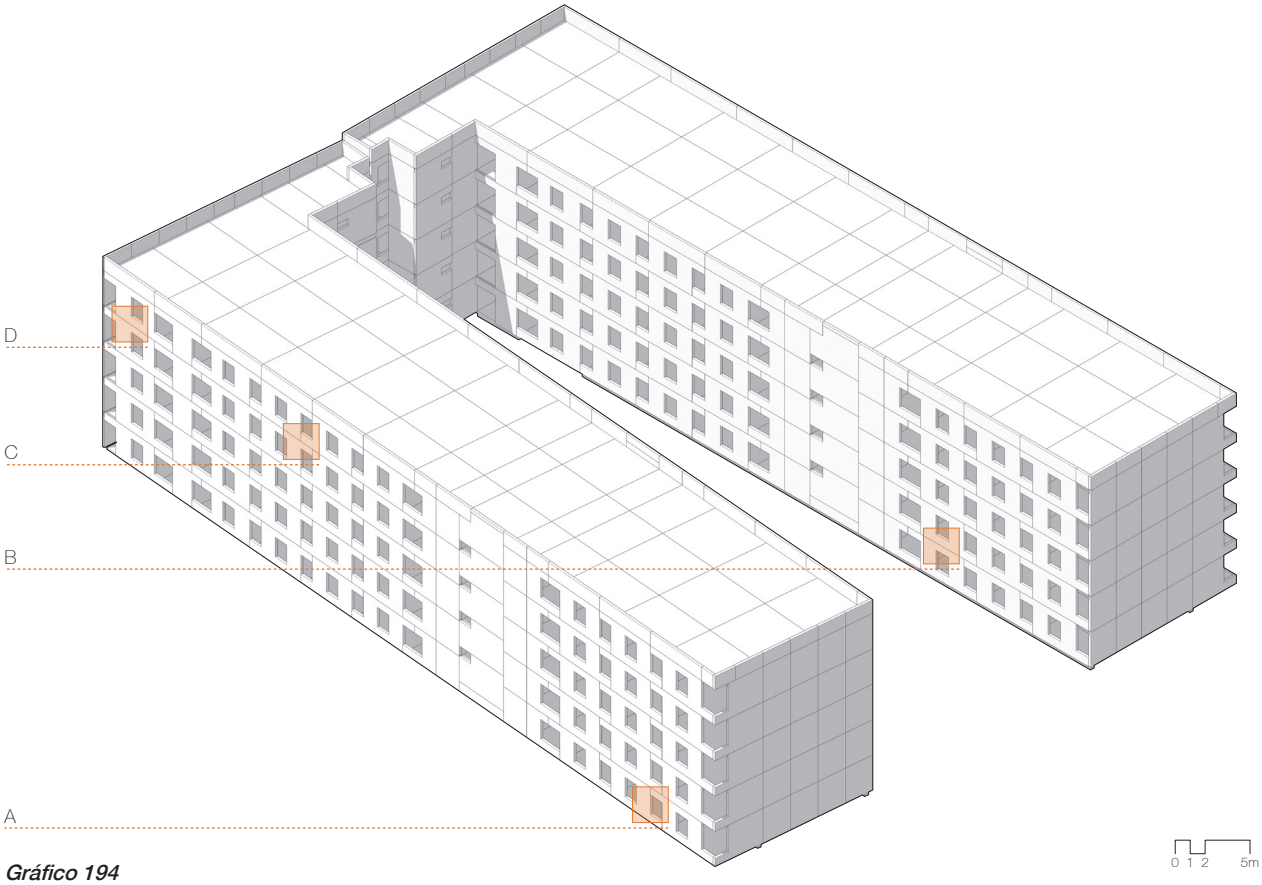


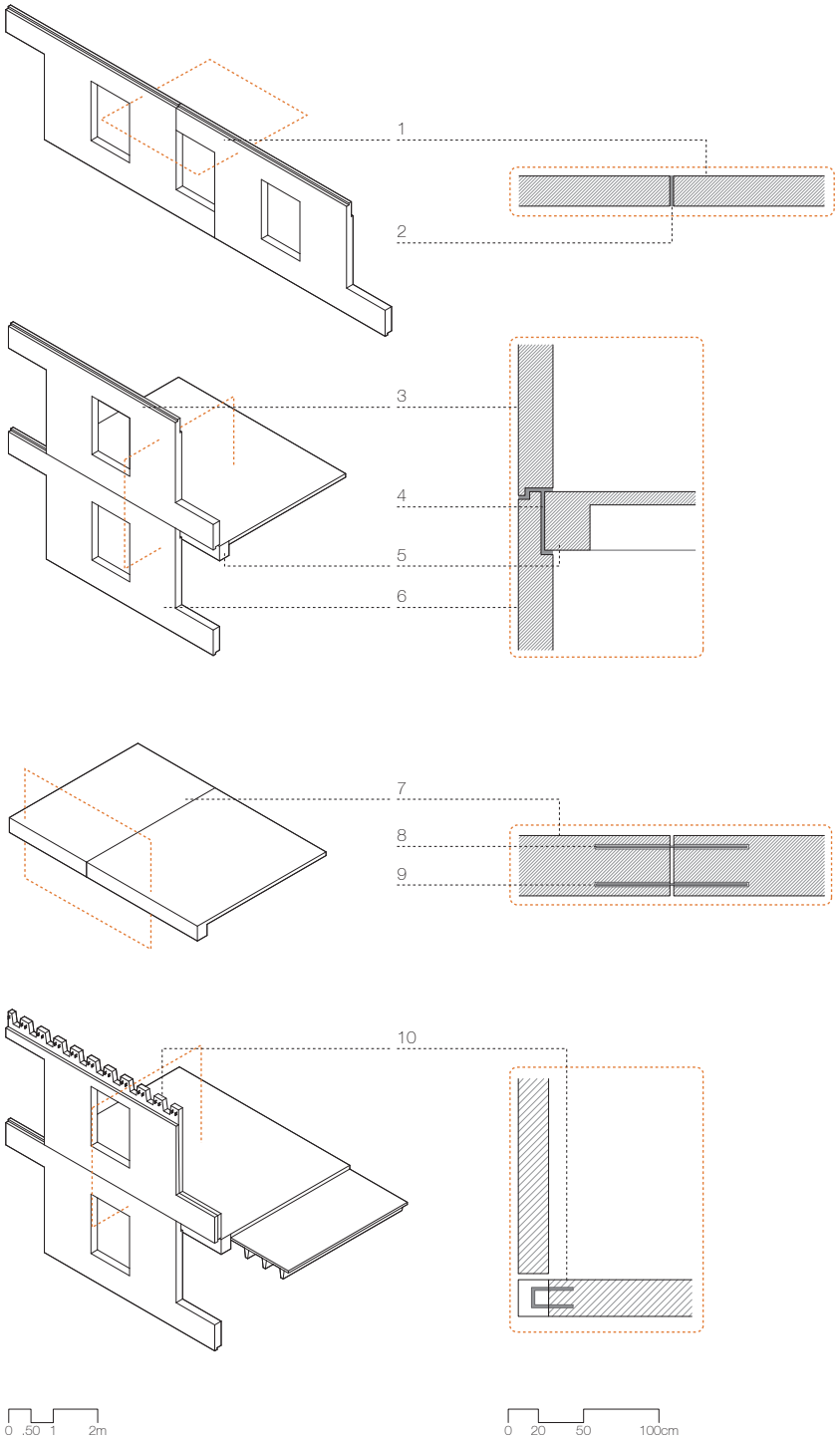
Gráfico 194
El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico

Ventajas

- Los paneles de fachada y las losas de concreto están coordinadas dimensionalmente para formar la estructura de soporte. La reducción en las tipologías de los elementos estructurales y en las variantes dimensionales y geométricas en las ventanas permitió construir el proyecto con un número reducido de elementos, que pueden coordinarse con otros sistemas.
- Con el sistema de paneles estructurales y losas, es posible construir un alto número de viviendas, dada la repetitividad de los elementos que lo componen. La tipología estructural y las tipologías de vivienda pueden replicarse y modificarse de acuerdo con la disposición de las divisiones interiores no estructurales.
- El tamaño de los paneles y losas (que alcanzan una superficie de 10m x 2,90m), condiciona el transporte al proyecto y el proceso de ensamblaje.
- El sistema de paneles y losas de carga prefabricados puede adaptarse a diferentes topografías, según las dimensiones previstas para los edificios. En diferentes contextos ambientales, las características del asoleamiento y la ventilación condicionan los espacios interiores y las aberturas de los elementos de fachada para que los edificios se adapten a su contexto.
- Las dimensiones se pueden ajustar utilizando elementos no estructurales, como paneles de cartón-yeso u otros sistemas constructivos, para permitir la movilidad dentro de las viviendas. Para acceder a los pisos superiores, además de sus escaleras, estas tipologías deben tener ascensores y rampas.
- El sistema abierto permite combinar elementos de concreto prefabricado con otros materiales. La ubicación de los servicios como elementos fijos hace que el diseño y el uso del resto del espacio interior sea más flexible. Las divisiones no estructurales dentro de las viviendas con paneles de cartón-yeso permiten diferentes tipologías de habitaciones.
- Los diseños y proporciones de los espacios interiores de las viviendas pueden modificarse según la disposición de las divisiones no estructurales. La incursión solar y la ventilación natural deben abordarse a través de los diseños de los paneles estructurales de las fachadas.
- El sistema de prefabricación abierta permite la construcción de espacios interiores con elementos no estructurales y, por lo tanto, la modificación de los espacios según las necesidades de sus habitantes.

Desventajas

- La instalación de los paneles y losas estructurales por separado y con longitudes hasta de 10m complica el sistema de juntas entre estos elementos, aumentando la cantidad de actividades en el proceso de construcción y, por lo tanto, el tiempo.
- El diseño de los paneles estructurales condiciona el lenguaje del edificio. En este proyecto, la repetitividad de las geometrías y proporciones de las ventanas en las fachadas genera una apariencia monotemática en el edificio, situación que se aleja de los deseos de los usuarios en proyectos de hábitat popular en el contexto local.



1. Muro de fachada prefabricado en concreto
2. Concreto vaciado *in-situ*
3. Muro de fachada prefabricado en concreto
4. Concreto vaciado *in-situ*
5. Losa prefabricada en concreto
6. Muro de fachada prefabricado en concreto
7. Losa prefabricada en concreto
8. Barras de acero
9. Concreto vaciado *in-situ*
10. Concreto vaciado *in-situ*

Gráfico 195
Detalles constructivos

5.4.4. Edificación residencial y comercial, Rathenow, Alemania, 1997

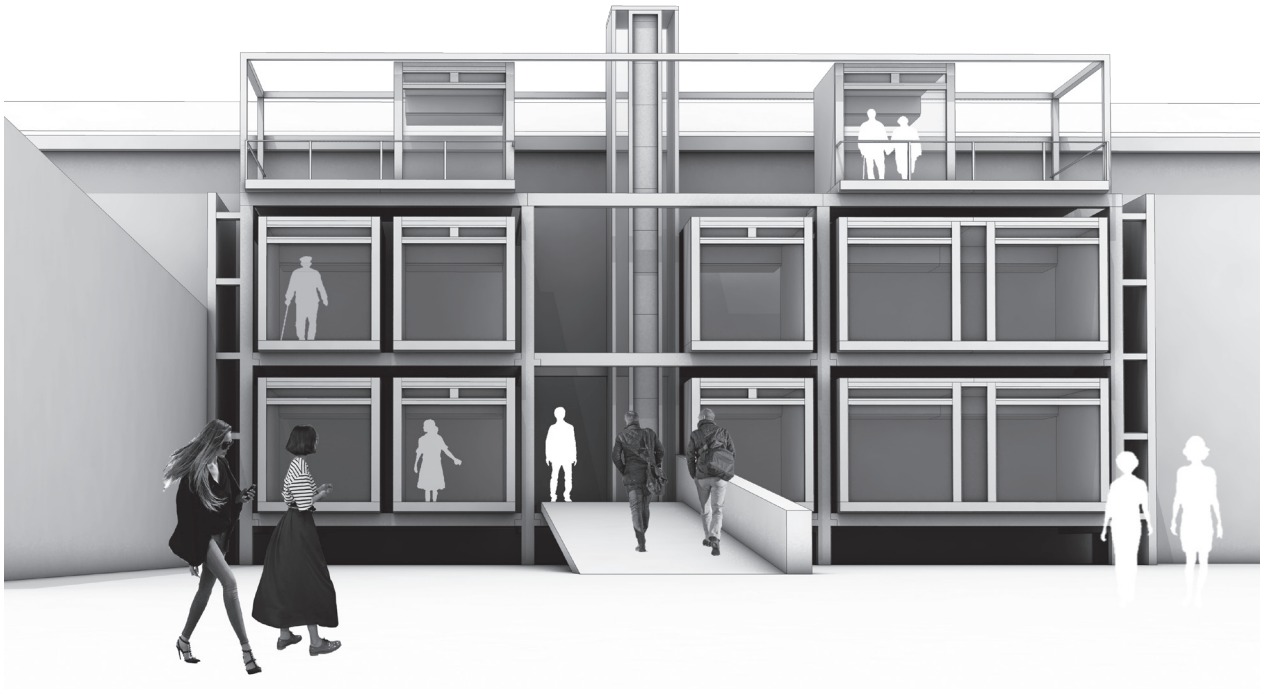


Gráfico 196
Vista exterior

Edificación residencial y comercial. Rathenow, Alemania, 1997	
Tipo de estructura	Esqueletal
Tipo de prefabricación	Abierta
Arquitecto inventor o diseñador	K. Sill, J. Keim
Áreas promedio por vivienda (en metros cuadrados)	45, 90
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	5
Altura media de los edificios (en número de pisos)	3
Número de tipos de elementos prefabricados	9
Cimientos prefabricados para columnas	2
Vigas de cimentación prefabricadas para muros o vigas de amarre	2
Losas de cimentación prefabricadas	0
Columnas	2
Vigas	2
Paneles de fachada	0
Muros interiores	0
Losas de contrapiso y entrepiso	1
Losas para techos	0
Elementos especiales (buitrones, juntas, áreas comunes, toldos)	0
Escalera	0
Células espaciales estructurales	0
Tipos de juntas	Anclajes metálicos

Información tomada de: Staib, et al. 2008, pp. 168-171.

Tabla 35
Edificación residencial y comercial. Rathenow, Alemania, 1997

Sistema y construcción

Este proyecto es una adición a un edificio existente construido en el siglo XIX. Esta adición fue diseñada por los arquitectos Klaus Sill y Jochen Keim en 1997. Hacia la calle, el edificio existente fue remodelado, conservando sus características originales. Hacia el patio, el nuevo edificio fue diseñado con columnas y vigas prefabricadas en concreto con una sección rectangular que formó un sistema de soporte esqueletal para la posterior inserción de contenedores construidos con estructuras metálicas, fachadas de vidrio y aluminio con aislamiento térmico. La adición consideró módulos de oficinas y viviendas de tres pisos de altura (Staib, et al., 2008c, p. 168). Las vigas se ensamblaron a través de apoyos sobre las ménsulas de las columnas, con varillas de metal que rigidizaron la unión entre estos elementos. Los doce contenedores tenían un ancho de 233cm y una altura de 355cm; se instalaron sobre las losas de concreto prefabricadas de 11cm de espesor que sirvieron como soporte adicional y protección contra incendios. Las proporciones de los elementos prefabricados de concreto se definieron a partir de la dimensión existente de los contenedores (Prochiner, Walczyk & Hartmann, 2001, p. 706).

El proyecto utiliza las características tradicionales del vecindario donde se ubica, e integra la mezcla de vivir y trabajar en la expansión de un edificio existente. En los dos primeros niveles (destinados a oficinas) se propusieron también tres apartamentos dúplex entre 60m² y 90m². La estructura de concreto que soporta los 12 contenedores funciona independientemente del resto del edificio. El sitio de prefabricación de los contenedores está ubicado a 500km del proyecto y estas unidades debieron cumplir con las dimensiones y condiciones del transporte terrestre. En estos módulos, se previeron los ductos para las instalaciones técnicas y parte de sus acabados, lo que aceleró el proceso de construcción.

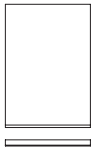
Las oficinas y viviendas existentes se complementaron con estos módulos, aspecto que permitió la posibilidad de tener diferentes tipologías de vivienda. Las columnas fueron prefabricadas con sus dimensiones finales (dos pisos de altura) y los contenedores se apoyaron sobre las vigas. El nivel superior tiene una viga de amarre entre las columnas y dos módulos que dejan espacios libres para las terrazas que sirven a las viviendas que se encuentran en la parte alta del edificio. La separación entre el edificio existente y el nuevo proyecto está conformada por las circulaciones a los espacios de oficinas y viviendas. La estructura aporticada de concreto prefabricado reforzado también cumple con las condiciones de aislamiento y protección contra incendios de las unidades de vivienda modulares[48].

48 *Bürohaus Rathenow. Architekten* Prof. Klaus Sill + *Assoziierte GbmH.* Accedido el 10 de junio de 2017; disponible en https://architektenprofsill.de/portfolio/rathenow.

Columnas

Vigas

Losas de entrepiso



Otros elementos

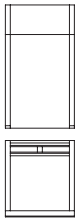
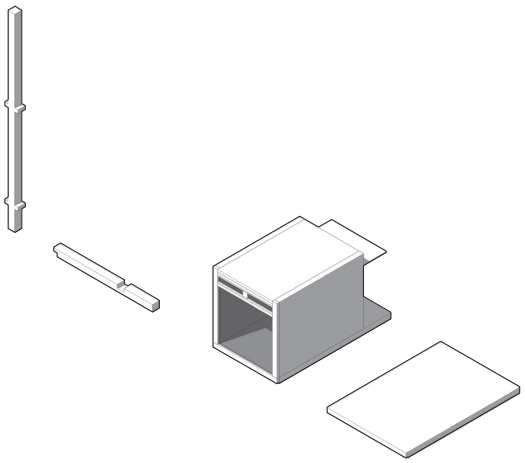


Gráfico 197
Componentes: Planta y fachada



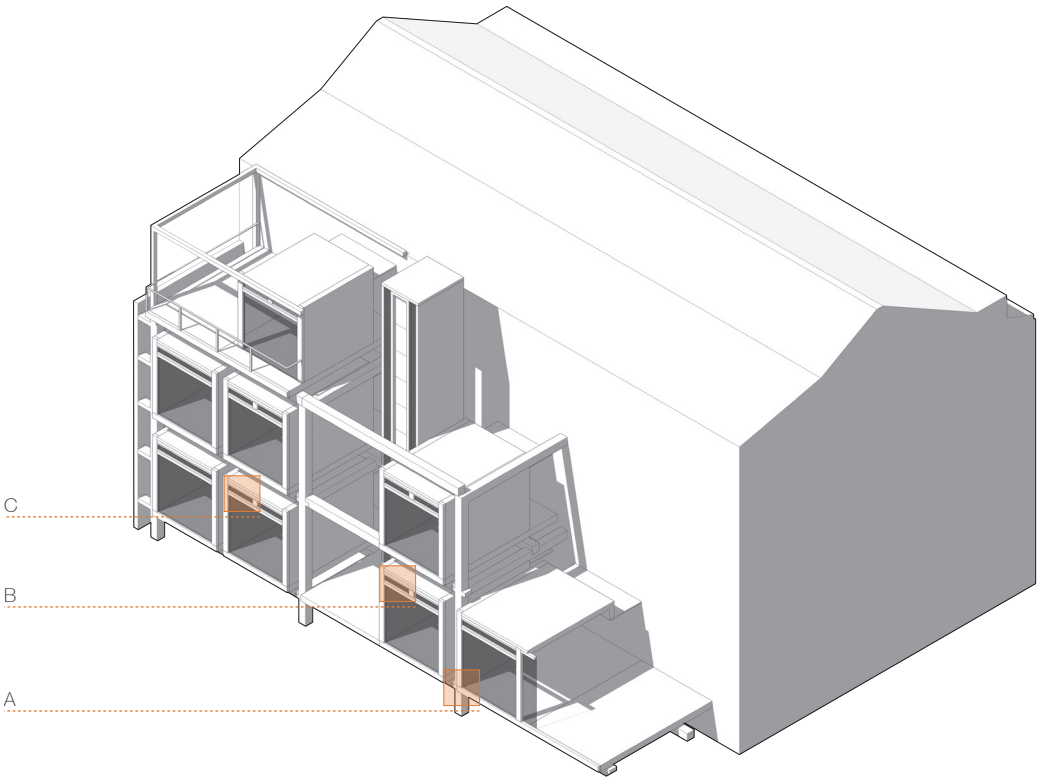


Gráfico 198
Componentes: Axonometría

Gráfico 199
Proceso de construcción

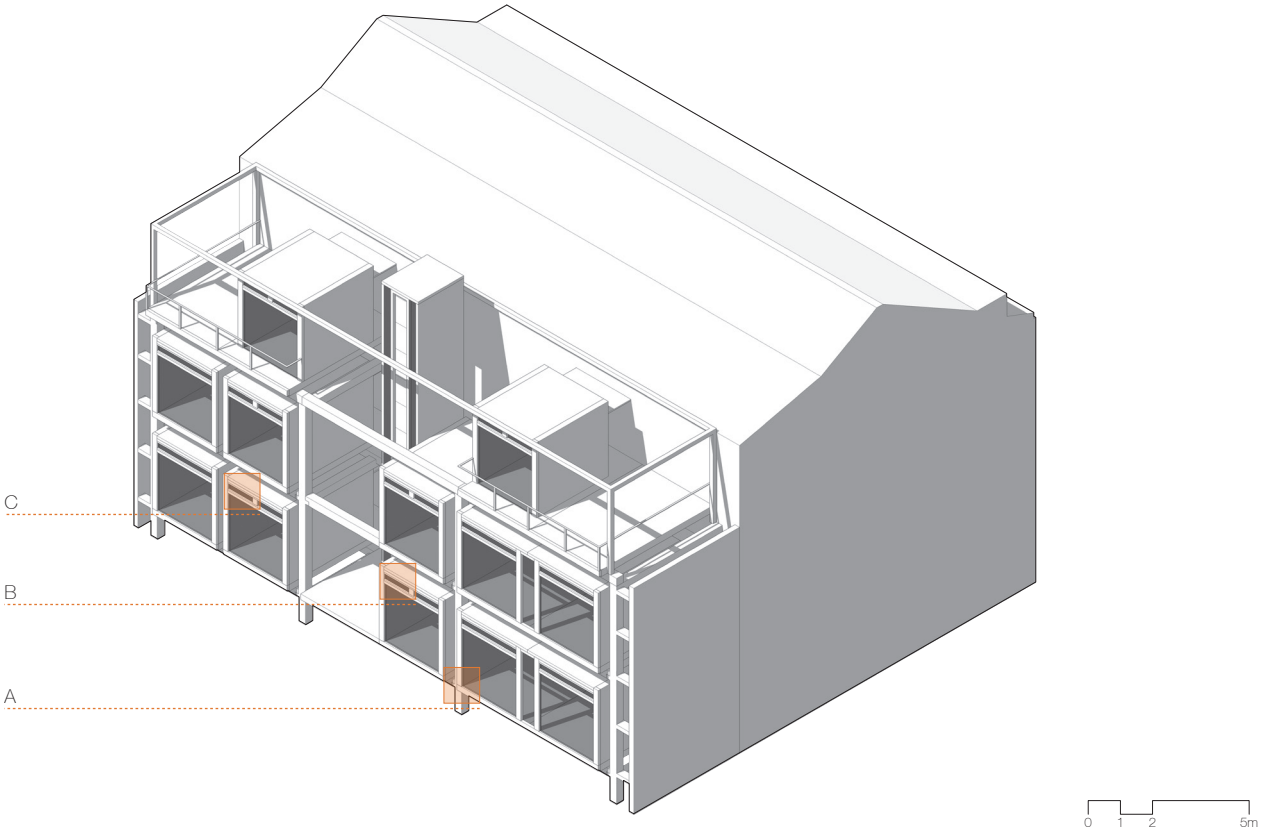


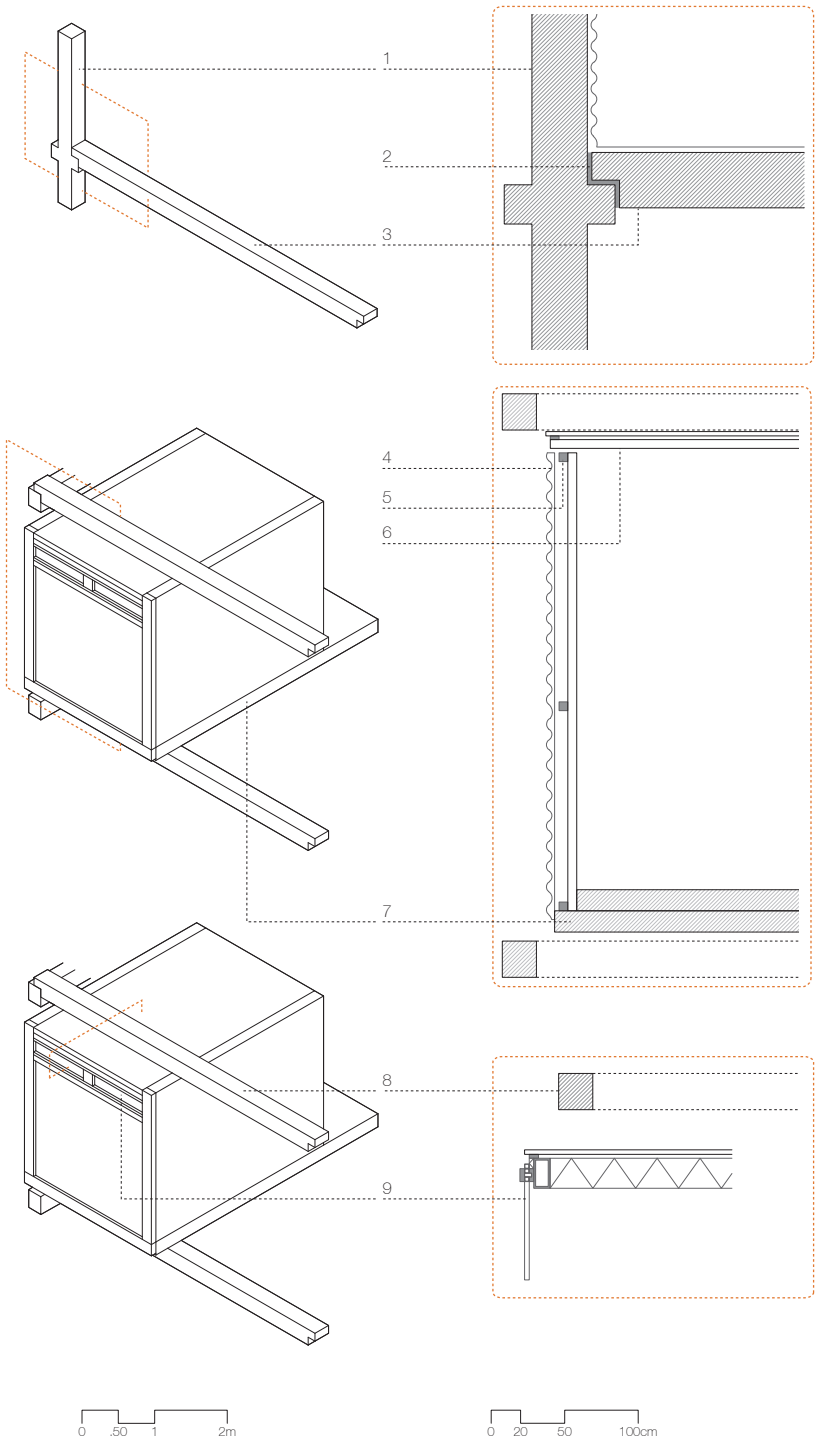
Gráfico 200
El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico

Ventajas

- Las dimensiones de la estructura de soporte en concreto prefabricado se diseñaron a partir de las proporciones de los contenedores metálicos prefabricados que complementan el sistema. La coordinación modular permitió la prefabricación total de este edificio con dos sistemas industrializados complementarios.
- En el contexto local, si la longitud de una estructura de concreto prefabricado es inferior a 12m, no se requieren vehículos de carga especializados.
- Las estructuras aporticadas se adaptan mejor a diferentes topografías. La ubicación de los elementos no estructurales en las fachadas y en los muros interiores permite adaptar el espacio habitable a diferentes contextos, utilizando múltiples elementos para responder a las condiciones deseables de asoleamiento y ventilación, o adaptar el lenguaje a las condiciones culturales y sociales del entorno.
- La prefabricación abierta permite utilizar otros materiales o sistemas en la fachada o en el espacio interior. Esta condición aumenta las posibilidades de diseñar otras tipologías de vivienda, permitiendo que el lenguaje del edificio se asocie con las tradiciones locales y tenga diferentes respuestas arquitectónicas bajo el mismo sistema estructural.
- Las proporciones del espacio interior y las respuestas al asoleamiento y la ventilación pueden resolverse a partir de elementos no estructurales en la fachada y el espacio interior (industrializados o construidos con las tradiciones locales), que complementan el sistema estructural prefabricado.
- Con la estructura de concreto prefabricado, el proyecto puede utilizar elementos no estructurales en la superficie de las fachadas. Esta condición puede generar respuestas a diferentes contextos sociales, culturales, ambientales y económicos. Este sistema de prefabricación abierta y parcial permite el uso de materiales tradicionales, la participación de mano de obra local y la consideración de la estética a partir de los diseños arquitectónicos propuestos por grupos profesionales con la participación de la comunidad.
- La estructura de concreto prefabricado permite variar las proporciones y usos de los espacios interiores mediante la disposición de los elementos no estructurales. Según la configuración del edificio, las viviendas pueden crecer, transformar su espacio interior, variar sus funciones o modificar sus lenguajes de acuerdo con las condiciones del proyecto o con los deseos de sus habitantes.

Desventajas

- Aunque la unión entre los elementos estructurales se simplifica por medio de soportes entre las vigas y las ménsulas de las columnas rigidizados con pasadores metálicos, los cimientos de los sistemas aporticados requieren profundidades similares a las utilizadas por los sistemas de construcción convencionales. Esta condición excluye la posibilidad de usar algunos sitios debido a su capacidad de carga, el costo de la construcción de los cimientos y el tiempo requerido para las excavaciones.



1. Columna prefabricada en concreto
2. Concreto vaciado *in-situ*
3. Viga prefabricada en concreto
4. Aluminio exterior corrugado
5. Dilatación en madera
6. Paneles de aluminio
7. Losa prefabricada en concreto
8. Viga prefabricada en concreto
9. Marco en aluminio

Gráfico 201
Detalles constructivos

5.4.5. *Elemental* - Prototipo de Casa de Milán. Italia, 2008.

Gráfico 202
Vista exterior

***Elemental* - Prototipo de Casa de Milán.** Italia 2008	
Tipo de estructura	Muros estructurales
Tipo de prefabricación	Abierta
Arquitecto inventor o diseñador	Elemental – Chile
Áreas promedio por vivienda (en metros cuadrados)	18.6 a 62.8 (casa) y 26.3 a 71.8 (dúplex)
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	2
Altura media de los edificios (en número de pisos)	3
Número de tipos de elementos prefabricados	10
Cimientos prefabricados para columnas	0
Vigas de cimentación prefabricadas para muros o vigas de amarre	0
Losas de cimentación prefabricadas	0
Columnas	0
Vigas	0
Paneles de fachada	8
Muros interiores	0
Losas de contrapiso y entrepiso	1
Losas para techos	1
Elementos especiales (buitrones, juntas, áreas comunes, toldos)	0
Escalera	0
Células espaciales estructurales	0
Tipos de juntas	Barras metálicas y juntas soldadas

Información tomada de: Aravena e Iacobelli, 2012, pp. 476-479

Tabla 36
Elemental - Prototipo de Casa de Milán. Italia, 2008

Sistema y construcción

Este prototipo explica la prefabricación en concreto de un módulo de vivienda social. Elemental, un *do-tank* arquitectónico (como lo definen sus creadores), con sede en Santiago de Chile, ha abordado temas sobre el diseño y la construcción de proyectos de vivienda social con diseños participativos e incrementales que inicialmente propusieron la construcción de "media casa" (la estructura de soporte, instalaciones técnicas, fachadas y techo).

El área original podría incrementarse en el tiempo requerido a través de los procesos de autoconstrucción, de acuerdo con las necesidades del grupo familiar. A principios de 2008, *Elemental* fue invitado por la Trienal de Milán para participar en la exposición *Case per Tutti* (Casa para Todos), que abordó el tema de viviendas de emergencia y viviendas de bajo costo. El prototipo fue construido para dos viviendas: la primera en la planta baja, con posibilidades de crecer lateralmente; el segundo, en la parte superior, a doble altura, con posibilidades de agruparse hacia arriba, en el espacio delimitado entre la planta y el techo. El proyecto se concibió con muros estructurales, lo que permitió la eliminación de columnas y vigas y aumentó el módulo estructural original de 3m a 6m. Las muros y losas estructurales se unieron a los paneles a través de conectores metálicos exteriores e interiores. La construcción fue dirigida por *MC Prefabbricati*, una empresa italiana que realizó el montaje en 24 horas de trabajo (Iacobelli y Aravena, 2012, p. 476).

Esta empresa de prefabricación tomó la tipología ya construida en el proyecto *Lo Espejo* en Chile (hecha con mampostería estructural y losas de concreto vaciado *in situ*) y la adaptó a un sistema de construcción de paneles estructurales de concreto prefabricado. Los espesores seleccionados fueron 20cm para las muros y 25cm para las losas de piso.

En la construcción de esta vivienda, *Elemental* propuso aumentar la calidad de las tipologías en *Lo Espejo* a partir de la prefabricación del módulo de vivienda en concreto. Iacobelli y Aravena argumentan que, en la construcción de viviendas sociales, más de dos tercios de su costo directo puede atribuirse a la estructura de apoyo. Por lo tanto, la vivienda social y el prototipo de la *Casa Milán* es una estructura habitable, en la que los procesos de diseño arquitectónico, estructural y constructivo se abordan de manera estratégica, precisa y eficiente para reducir las fechas límites y los costos, lo cual aumenta la calidad (Iacobelli y Aravena, 2012, p. 466).

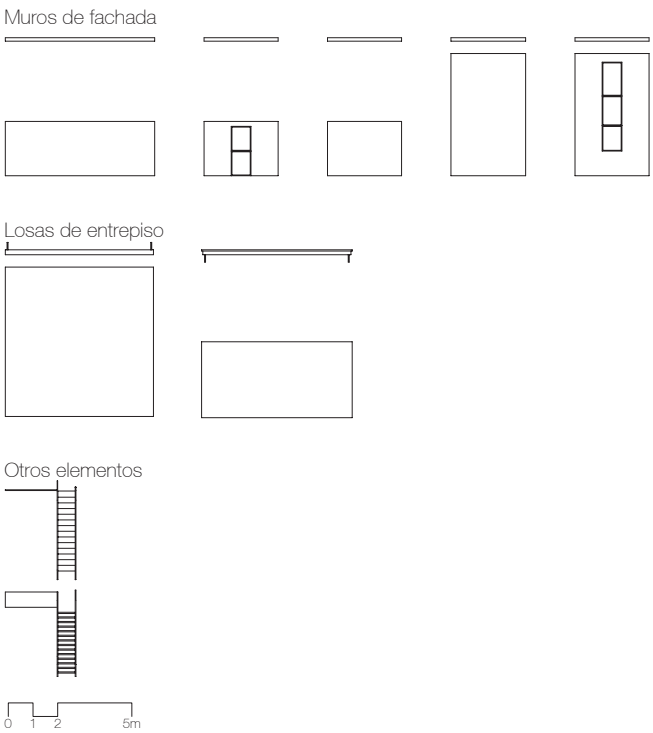
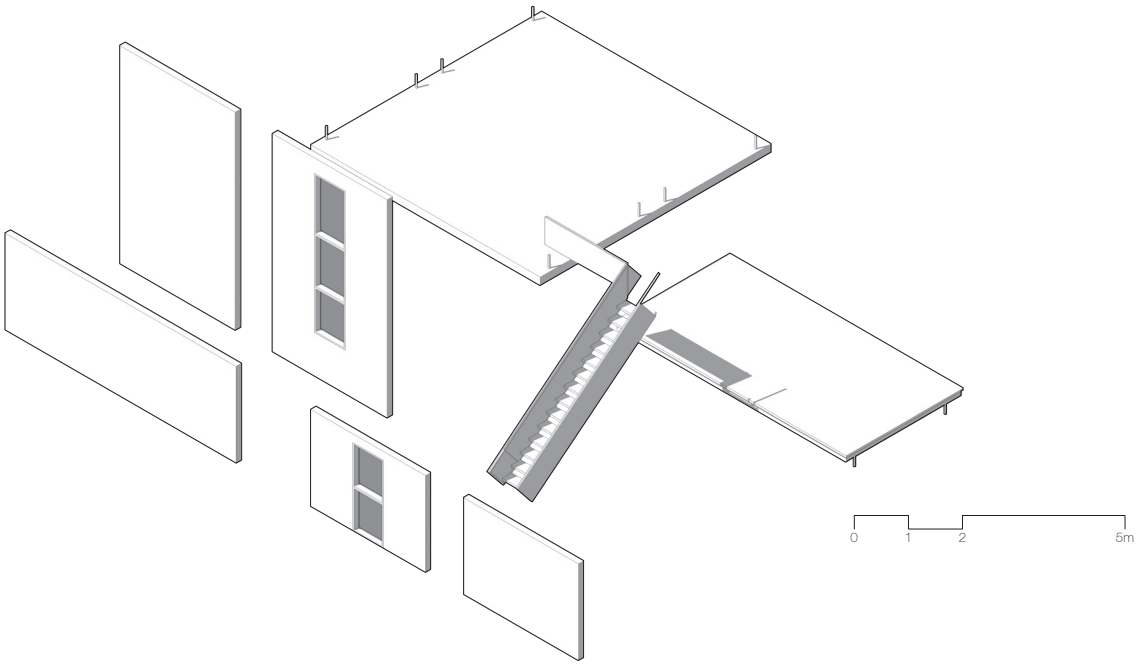


Gráfico 203
Componentes: Planta y fachada



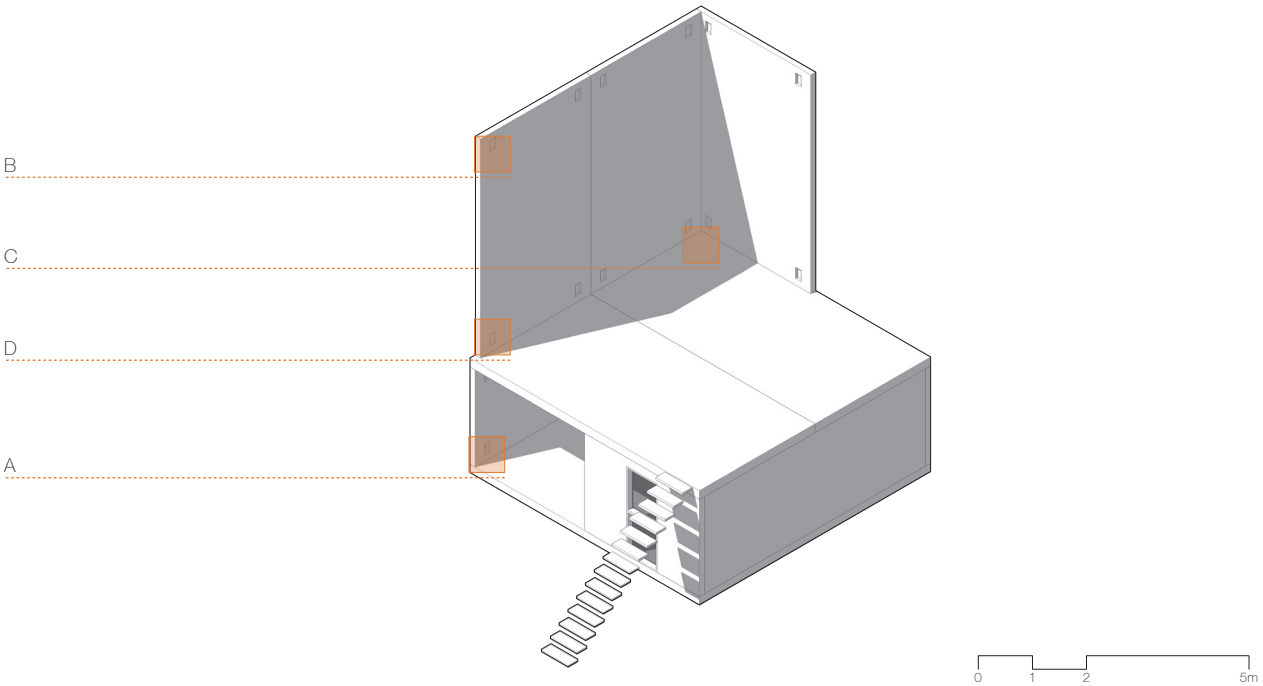


Gráfico 204
Componentes: Axonometría

Gráfico 205
Proceso de construcción

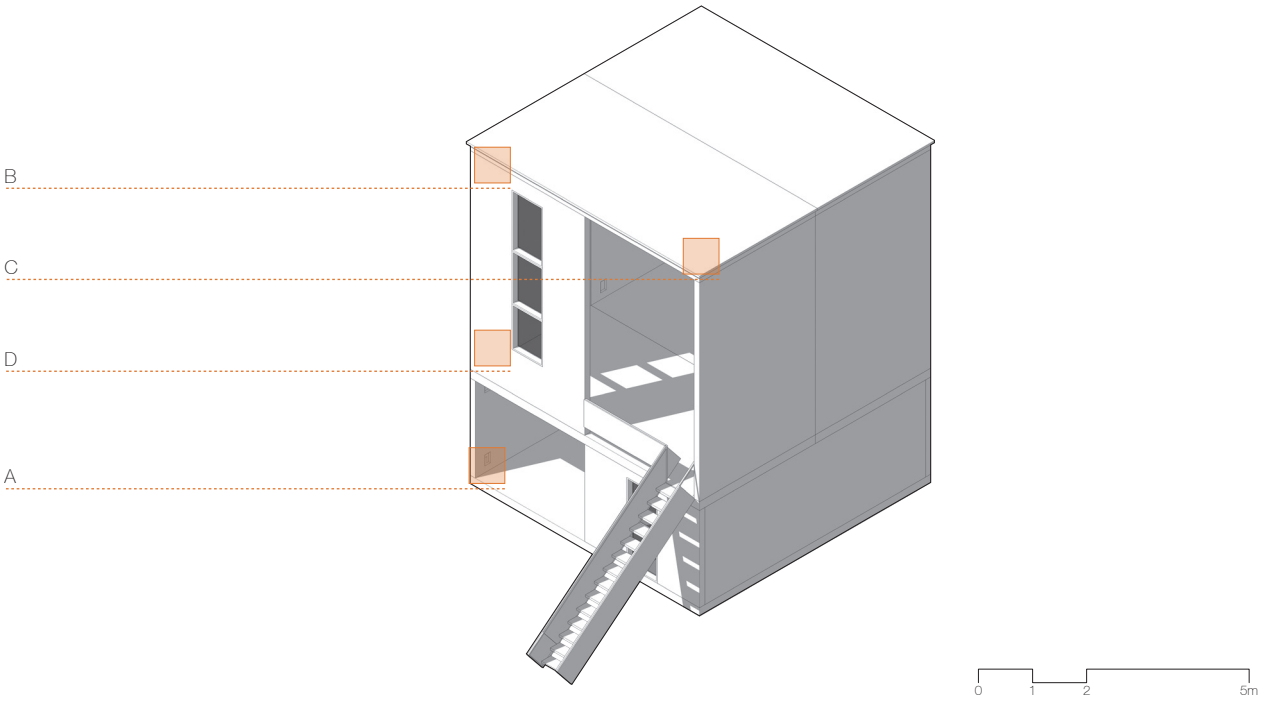


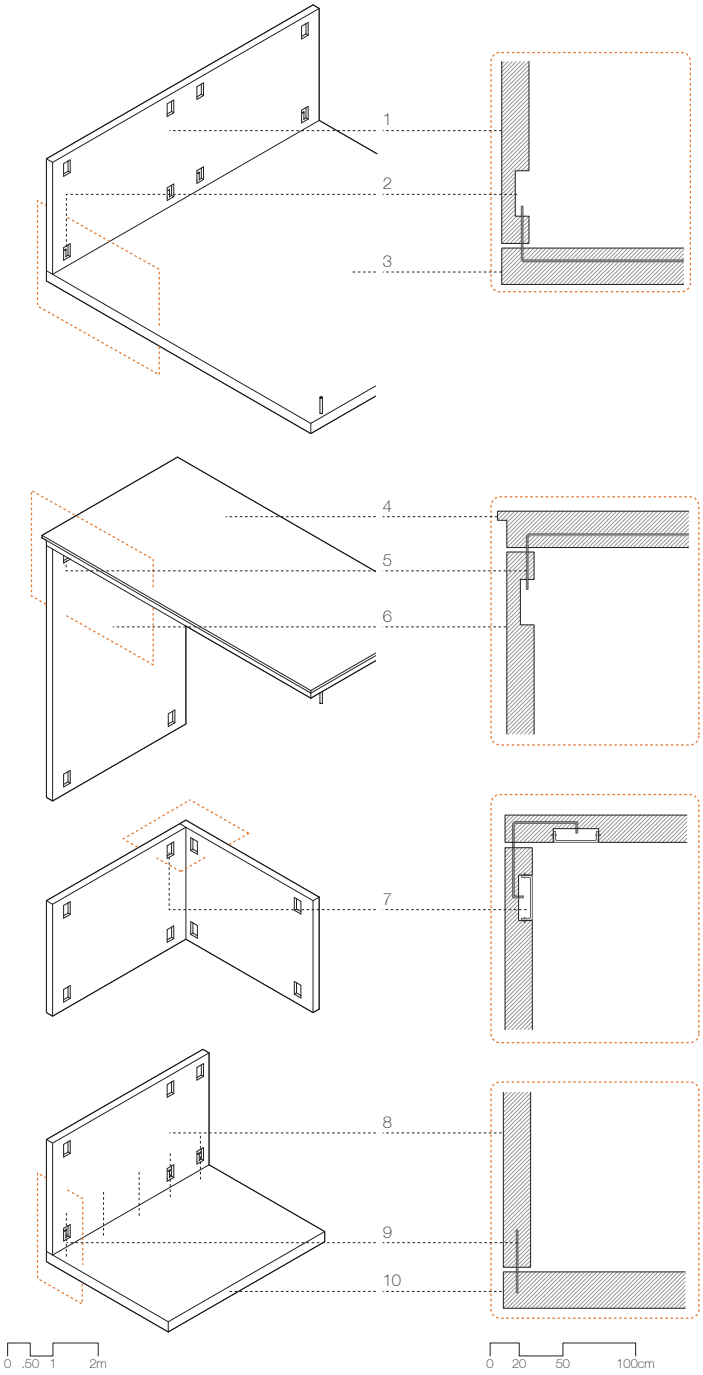
Gráfico 206
El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico

Ventajas

- Los elementos del sistema están diseñados mediante la coordinación de las dimensiones establecidas para sus muros estructurales, losas y techos, eliminando los desperdicios y asegurando la unidad modular entre ellos.
- Los sistemas de paneles y losas estructurales se pueden replicar en la construcción masiva de viviendas sociales. Esta condición permite una reducción en el tiempo y estandariza los procesos de trabajo, lo que es deseable para aumentar la cantidad de casas construidas con el mismo sistema.
- Las dimensiones de los elementos estructurales permiten su transporte desde la fábrica hasta la construcción o su producción en el sitio del proyecto.
- En diferentes topografías y contextos sociales, culturales y ambientales, los sistemas de paneles estructurales utilizados en este proyecto sirven para construir viviendas sociales relacionadas con el entorno y con las comunidades.
- En la instalación de elementos no estructurales en su espacio interior y en las fachadas, la mitad de la casa que queda libre puede encontrar la flexibilidad que se busca para la vivienda social. La casa construida con paneles estructurales ocupa una amplia superficie de la fachada y, por lo tanto, el lenguaje del proyecto debe considerar estos elementos constructivos. El espacio interior de la casa inicial debe estar libre de elementos estructurales internos para proponer una vivienda versátil, capaz de responder a los deseos de los usuarios.
- La posibilidad de aumentar las áreas ofrecidas por el sistema permite, en la segunda mitad de la casa, ampliar los espacios según las necesidades de los habitantes. La respuesta al asoleamiento y las condiciones de ventilación se resuelven en la primera mitad de la casa con los elementos prefabricados, y en la segunda mitad, con los diseños de fachada o las adaptaciones de las casas a las condiciones ambientales del entorno.
- La repetitividad de los elementos estructurales en la fachada del proyecto en combinación con los espacios vacíos dejados en la primera intervención permite a los usuarios determinar la materialidad y el lenguaje del proyecto en la expansión de las viviendas a través de procesos de diseño participativo y autoconstrucción, lo cual retoma actividades tradicionales con las que se han construido los barrios populares de Antioquia, Colombia y gran parte de América Latina.
- La ocupación de los espacioos vacíos dejados entre las viviendas prefabricadas genera condiciones para crecimientos futuros. Estas transformaciones se realizan con los recursos, las posibilidades y el tiempo de las comunidades, quienes – mediante procesos de autoconstrucción – utilizan los materiales tradicionales y la mano de obra local para adaptar las viviendas a sus necesidades, su expresión individual y sus deseos.

Desventajas

- Según las dimensiones interiores de la vivienda, las divisiones no estructurales definen las proporciones de las circulaciones, los espacios y las puertas. El acceso a la vivienda del segundo piso no es posible, dado que la escalera es la única forma de subir.
- El levantamiento e instalación de cada elemento hace que los procesos de trabajo aumenten en comparación con otros sistemas que integran sus componentes. Los cimientos de un sistema de paneles pueden ser vigas continuas, que concentran las cargas y profundizan las excavaciones hasta que se encuentra un terreno estable y resistente.



1. Muro de fachada prefabricado en concreto
2. Barras metálicas
3. Losa prefabricada en concreto
4. Losa prefabricada en concreto
5. Barras metálicas
6. Muro de fachada prefabricado en concreto
7. Barras metálicas
8. Muro de fachada prefabricado en concreto
9. Barras metálicas
10. Losa en concreto prefabricado

Gráfico 207
Detalles constructivos

5.4.6. Otros proyectos

5.4.6.1. Ciudad Bachué I. Bogotá, Colombia, 1980

El proyecto fue diseñado por los arquitectos Patricio Samper, Luis Tapias, César Moreno y Gregorio Marín y se construyó con un sistema de muros estructurales de concreto prefabricado. El complejo de viviendas definió parcialmente una estructura urbana que permitió a sus habitantes ampliar sus hogares a través de un desarrollo progresivo de autoconstrucción (Forero, 2008, p. 128). La vivienda productiva se desarrolló en fases con un sentido de habitabilidad dinámica, que transformó el lenguaje original del proyecto. Se estipularon diferentes áreas para la construcción de las viviendas con este sistema estructural. Estas tipologías tenían áreas habitables que van desde los 28m² a los 98m². Los paneles de fachada y las muros interiores fueron concebidos como elementos sólidos con espesores entre 8cm y 10cm. Las losas del altillo fueron concebidas como una placa acanalada liviana Tipo T-T de 25cm de espesor. La misma losa del piso, que fue impermeabilizada, se utilizó para construir el techo, con pendientes del 8%. Los desagües se colocaron en una losa de piso especial con orificios para el paso de las instalaciones. Las instalaciones de abastecimiento de agua estaban ubicadas en las juntas entre los paneles. Las instalaciones eléctricas se colocaron en las juntas de la pared y las placas de losa (Aguilera, s. f., pp. 23-24). Algunas particiones de pared fueron construidas en mampostería. Los acabados que cada usuario quería instalar eran opcionales e influyeron en el costo final de la vivienda. Los elementos se fijaron juntos soldando los refuerzos que se habían dejado expuestos. Las uniones se rigidizaron con concreto vaciado en los nudos (Aguilera, s. f., p. 24).

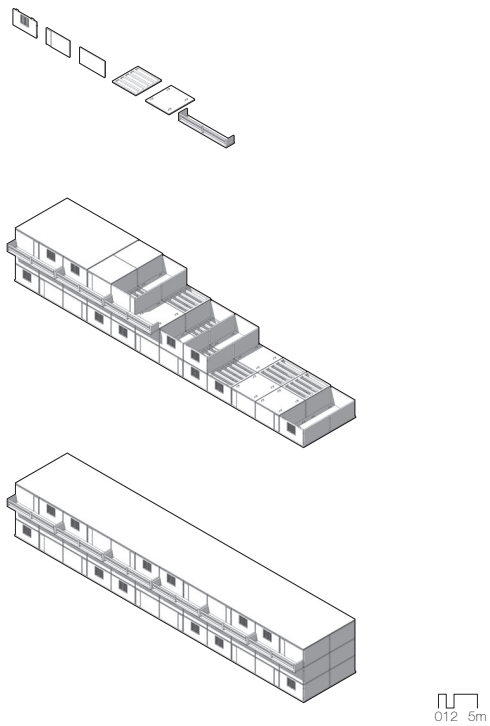


Gráfico 208
Ciudad Bachué I. Bogotá, Colombia, 1980. Proceso de construcción

5.4.6.2. Ciudad Bachué II. Bogotá, Colombia, 1980

El grupo de diseño arquitectónico de la Etapa II también fue dirigido por Patricio Samper. Utilizó un sistema esquelético de vigas y columnas en concreto prefabricado, completado por paneles no estructurales, también producidos en el mismo material. En esta etapa se construyeron 2.888 viviendas con áreas entre 32 y 54m². Para mantener los costos bajos, no se dieron acabados, un aspecto que se dejó para que el usuario termine. La construcción de la fábrica de campo redujo los costos de transporte e hizo más eficiente el tiempo de producción e instalación, con una baja inversión en la adaptación del espacio (Aguilera, s. f., pp. 24-25). La cimentación se construyó sobre una losa de concreto vaciada *in situ* reforzada en la que las columnas del primer piso estaban embedidos. El proyecto fue diseñado para soportar un edificio de cinco pisos, aunque inicialmente se construyó un edificio de un piso. Las uniones entre los elementos estructurales se hicieron soldando sus refuerzos y la posterior vaciado de mortero en las juntas. Esta operación se realizó independientemente de la instalación de las placas de losa de piso, debido al hecho de que estas losas se apoyaron directamente en las vigas. Las muros de fachada de concreto prefabricado de alta resistencia de 4cm de espesor se unieron a la estructura de concreto prefabricado con puntos de soldadura previamente determinados. Las uniones entre los puntos de soldadura también se rellenaron con mortero. Más tarde, los edificios fueron ampliados por la comunidad (Aguilera, s. f., pp. 24-25).

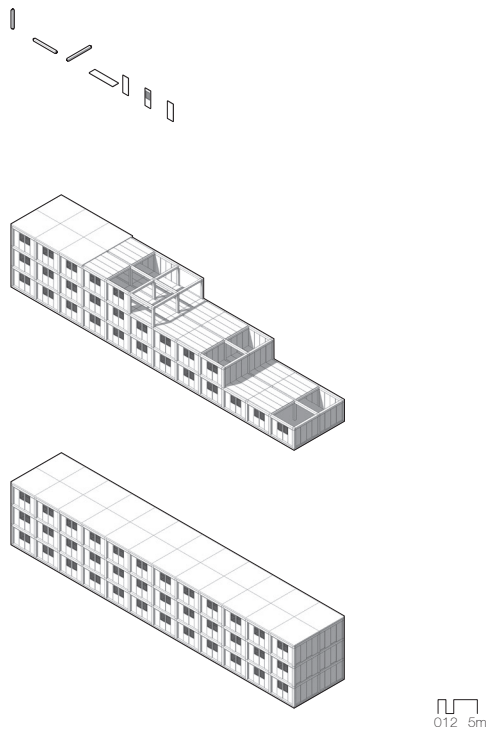


Gráfico 209
Ciudad Bachué II. Bogotá, Colombia, 1980. Proceso de construcción

Resumen

Sistema estructural, lenguaje y espacio habitable

Una estrategia para reducir el déficit acumulado de viviendas desde los primeros años del siglo XX fue la industrialización de la construcción[49]. Después de las guerras mundiales I y II, Europa comenzó un proceso de reconstrucción de las casas que habían sido destruidas[50]. Las autoridades nacionales propusieron seleccionar sistemas técnicos con un cierto grado de industrialización, entre los cuales el concreto prefabricado fue uno de los más utilizados[51]. Esta respuesta al déficit habitacional tuvo diferentes matices políticos, sociales, económicos y técnicos. La prefabricación de la vivienda social en concreto reforzado se realizó con tres objetivos fundamentales: reducir costos, reducir tiempos y mejorar la calidad de los espacios habitable. A través de estas condiciones, la industrialización de la vivienda se ha replicado para construir nuevas soluciones de forma masiva y estandarizada.

Algunas de estas soluciones han aumentado el número de viviendas y reducido el tiempo, pero han descuidado las condiciones de calidad de la vivienda; no han considerado las tradiciones culturales, han repetido el lenguaje de los edificios (asociados más con criterios técnicos que criterios de vivienda) o se han distanciado de los deseos de sus habitantes. Con el objetivo de aumentar la eficiencia, otros sistemas han desarrollado procesos sofisticados de producción, montaje e instalación para las piezas prefabricadas en el edificio, lo que genera una distancia tecnológica y económica con el contexto local y sus posibilidades técnicas y económicas.

Del estudio de casos analizados, estas experiencias muestran aspectos positivos y algunos problemas a considerar en el diseño y construcción de viviendas sociales en el contexto local.

Modularidad

Algunos proyectos no tienen una unidad dimensional modular, lo que reduce la posibilidad de combinar sus elementos prefabricados con otros materiales y con otros sistemas en el proceso de diseño y construcción. Aquellos que proponen criterios abiertos de coordinación modular entre el sistema de concreto prefabricado y otros sistemas han obtenido resultados más versátiles en las tipologías de vida y en los lenguajes del edificio.

Replicabilidad

El ochenta por ciento (80%) de los sistemas analizados están compuestos por más de diez variantes tipológicas en los elementos prefabricados, lo que reduce los principios de estandarización y, por lo tanto, la eficiencia en la producción. Cuantas menos variantes existan en los elementos estructurales prefabricados y mayores sean las posibilidades de combinación entre ellos para diversificar los diseños de las viviendas, mayor será la eficiencia en la producción industrial de sus componentes.

Transportabilidad

Las dimensiones de los elementos prefabricados se han considerado de acuerdo con las características de las carreteras en cada contexto. La ubicación de los proyectos es uno de los factores que hace viable su propia prefabricación, ya que deben considerarse las distancias a las plantas de producción y deben evaluarse las características de las carreteras existentes para llegar a los proyectos. En algunos casos, las distancias de las plantas industriales a los proyectos hicieron necesario construir fábricas de campo, lo que eliminó los costos de transporte, pero aumentó los costos de producción industrial.

Adaptabilidad

Los sistemas analizados se ajustan a diferentes topografías. La ubicación de los paneles estructurales en las fachadas reduce las posibilidades de adaptar los proyectos a las condiciones ambientales, sociales, económicas y culturales en diferentes entornos.

Accesibilidad

Las dimensiones propuestas para los espacios interiores en las tipologías de vivienda analizadas permiten el desplazamiento de sus habitantes con diferentes condiciones de movilidad. Sólo el 30% de los proyectos tienen ascensores o rampas, que permiten llegar a cada uno de los pisos.

Sencillez

Los diseños de las uniones entre los elementos estructurales requieren una acumulación de procesos técnicos, como amarres entre los refuerzos metálicos, de concreto o soldados para reforzar las uniones. Los cimientos de los sistemas analizados son complejos y caros. La mayoría se fabrican en concreto vaciado *in situ* y requieren profundidades similares a las necesarias para la construcción de viviendas con sistemas convencionales. La reducción de la complejidad de las juntas, el mantenimiento de su estabilidad estructural y la definición de un sistema de cimentación que distribuye las cargas de manera uniforme y superficial al terreno son criterios que se requieren para mejorar la eficiencia del proceso de construcción.

Versatilidad

Los paneles estructurales en fachadas y muros interiores reducen la flexibilidad en los espacios de vida y en el lenguaje de los proyectos. Los sistemas de marcos hacen que las tipologías de espacios interiores y las variantes formales y técnicas de las fachadas sean flexibles. Si bien permite la versatilidad en el espacio interior, el sistema de celdas de vivienda, que considera muros estructurales en las fachadas, reduce las posibilidades de intervención en el lenguaje del proyecto.

49 *Fédération Internationale du Béton fib*, Task Group 6.7, *Affordable Housing. Prefabrication for affordable housing*. Ostfildern: Document Competence Center Siegmar Kästl, 2011. p. 3.

50 Musso, Florian, op. cit. Nota de pie de página 310, p. 57.

51 Graf, Franz y Yvan Delemontey. *Understanding and Conserving Industrialised and Prefabricated Architecture*. Lausanne: *Presses polytechniques et universitaires romandes*, 2012. Pp. 40–41.

Comodidad

Los proyectos que no utilizan paneles estructurales en las fachadas y en los espacios interiores tienen una mayor diversidad en las proporciones del espacio habitable y en una mejor relación con el entorno ambiental, ya que los diseños responden a las condiciones de diseño y no sólo a los requisitos técnicos. Las respuestas a las condiciones de iluminación y ventilación natural provienen de la coexistencia de la estructura de soporte prefabricada con elementos no estructurales en las fachadas y las divisiones interiores. En algunos casos, los espacios de servicio se fijan en el piso, lo que determina la ubicación de las instalaciones técnicas y permite considerar otras tipologías de habitación en el resto del espacio arquitectónico.

Belleza

Proyectos de belleza que establecen la posibilidad de complementar la estructura de soporte con otros elementos no estructurales en sus fachadas generan una relación más estrecha con las condiciones ambientales, sociales y culturales del contexto y permiten exploraciones formales con otros materiales y sistemas. Esta estética, relacionada con las condiciones del entorno y las necesidades o gustos de las comunidades, ha acompañado la construcción de viviendas sociales en el contexto local. Los proyectos con fachadas en paneles estructurales de concreto prefabricado establecen una repetitividad en el lenguaje que reduce las posibilidades de exploraciones formales en la fachada asociada a criterios de individualización de la vivienda colectiva.

Transformabilidad

Los proyectos con paneles prefabricados interiores y de fachada reducen las posibilidades de transformar la vivienda en su proceso de ocupación. En los casos en que los paneles estructurales dejan un espacio vacío entre las viviendas, el crecimiento es posible. Los sistemas esqueléticos otorgan mayores facilidades para transformar los espacios interiores, las áreas y el lenguaje del proyecto.

La prefabricación en concreto se utilizó como una expresión de racionalización, estandarización y eficiencia para reducir el tiempo y los costos en la construcción de viviendas sociales. También se usó como un medio de expresión política y social en la búsqueda de equidad, bienestar y consolidación industrial a través de desarrollos tecnológicos. El concreto prefabricado transcendió de una condición instrumental como sistema constructivo a una condición ideológica a partir de la cual se plantearon discusiones sobre la unidad o la diversidad en la vivienda y en la ciudad. En los proyectos analizados, la técnica de concreto prefabricado ha tenido tres roles: ha sido un instrumento para la materialización eficiente de la arquitectura, una ideología vinculada al totalitarismo y un punto de partida para facilitar la diversidad en la técnica constructiva y en el lenguaje arquitectónico.

La construcción de la mayor cantidad de viviendas en el menor tiempo y con los costos más bajos posibles – mientras se mantiene la calidad – ha sido una condición esencial de la prefabricación. En el análisis de estos proyectos, se han considerado dos aspectos adicionales para mejorar la eficiencia al reducir el tiempo y los costos: el primero corresponde al enfoque totalitario y unitario de prefabricación en concreto en términos políticos, sociales y estéticos; el segundo corresponde a la diversidad y la pluralidad, donde esta prefabricación se ha articulado con otras técnicas constructivas, ampliando el alcance de su lenguaje y siendo un medio para lograr el bienestar en el espacio habitable.

Totalitarismo

En la antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) y algunos países de Europa del Este, la prefabricación en concreto se concibió como una respuesta técnica y también como una expresión política. Más tarde, esta técnica sería adoptada por otros países con influencias políticas del gobierno socialista de la Unión Soviética. Habiendo explicado la necesidad de construir el mayor número de viviendas con el menor costo y en el menor tiempo posible, esta condición agregó otro factor: consolidar la estandarización de las partes a través de un sistema industrial, generar un lenguaje repetitivo y asociar estas condiciones con un sistema arquitectónica eficiente y equitativa. La prefabricación cerrada generó restricciones de tiempo y costos, y generó una arquitectura limitada en sus exploraciones formales y estéticas. Uno de los efectos más tangibles fue en la construcción masiva de viviendas, en la que el tamaño de los proyectos dio prioridad a la estandarización sobre la individualidad. Esta condición generó un lenguaje repetitivo con variaciones formales mínimas en las fachadas y espacios interiores para minimizar el número de tipos de elementos[52].

Se instalaron plantas de producción para masificar la construcción de bajo costo y promover la imagen de una arquitectura masiva, eficiente y unitaria, alineada con las condiciones políticas y sociales[53]. En estas técnicas de prefabricación masiva, este mismo lenguaje migró a los asentamientos rurales para mejorar las condiciones de vida de los agricultores. Las ideas de modernidad se asociaron con la construcción multifamiliar en concreto prefabricado reforzado, mientras que la vivienda rural tradicional, construida con materiales naturales disponibles localmente que tenían comportamientos bioclimáticos adecuados, se asoció con atraso y pobreza. La falta de una contextualización más rigurosa de las soluciones arquitectónicas no cumplió con los requisitos climáticos, culturales o urbanos, ya que su inserción en espacios urbanos generó un alto contraste y ruptura con la ciudad tradicional[54].

Diversidad

En algunos países de Europa Occidental, Asia y América, la prefabricación en concreto también se concibió como una respuesta industrial para racionalizar costos y tiempo, generando otros desarrollos técnicos y resolviendo de manera eficiente y diferente la construcción de viviendas para poblaciones trabajadoras o de bajos ingresos. En

52 *Fédération Internationale du Béton fib*, Task Group 6.7, *Affordable Housing*, op. cit., nota de pie de página 311, p. 4.

53 Alonso, Pedro Ignacio y Hugo Palmarola Sagredo. *The Soviet KPD Building in Cuba and Chile*, 1963-1973. In: Delemontey, Iván and Franz Graf (eds.). *Understanding and Conserving Industrialised and Prefabricated Architecture*. Lausanne, *Presses polytechniques et universitaires romandes*, 2012. Pp. 299-300.

54 Idem.

uno y otro caso, la orientación hacia la construcción de edificios residenciales a bajo costo y en poco tiempo determinó soluciones de vivienda que posteriormente se replicaron en otros contextos. La diversidad en el lenguaje de la prefabricación comenzó con el objetivo de aumentar la flexibilidad y ofrecer algunas variaciones en el lenguaje de las fachadas y en el uso del espacio interior. La calidad era el aspecto principal. Algunas compañías que inicialmente producían paneles estructurales de gran formato ofrecían variedad y respuestas rápidas a pequeñas demandas. Otros combinaron sus elementos prefabricados de concreto con elementos prefabricados en otros materiales a través de la modalidad de prefabricación abierta[55]. Se adoptaron otros conceptos, como la "prefabricación sutil", en la que prácticamente desaparecieron los grandes componentes de la prefabricación. También se implementaron conceptos de prefabricación parcial, donde los elementos no estructurales se especificaron en mampostería de ladrillos o bloques de concreto. Otros proyectos consideraron la prefabricación en concreto como un instrumento para la construcción eficiente y diversa de viviendas sociales a través de desarrollos urbanos con viviendas de bajo costo, con un concepto de baja altura y alta densidad, con modelos para futuras expansiones urbanas.

Reconociendo la naturaleza repetitiva, masiva y unitaria en el lenguaje de los edificios, las teorías sobre la necesidad de la producción masiva industrializada y la economía de la vivienda, también cuestionaron la falta de variedad, flexibilidad y adaptación al contexto[56]. Las ideas se orientaron a construir módulos estructurales abiertos y flexibles para transformar el espacio interior. Esto permitió pasar de un lenguaje unitario y totalitario al lenguaje del individuo y lo diverso. La vivienda estaba subdividida con elementos livianos, con sus equipos y cierres prefabricados modulares, lo que permitiría una variedad en el lenguaje del proyecto en oposición a las soluciones monótonas que se cuestionaban en general y que estaban lejos del gusto de las familias[57].

La industrialización de la vivienda social contemporánea en el contexto local

La lectura de los estudios de caso plantea tres consideraciones para el concreto prefabricado: como lenguaje de construcción, como límite del espacio habitable y como concepto de unidad o diversidad. En la arquitectura de vivienda social contemporánea, se pueden tomar dos condiciones en el aumento de la eficiencia del proyecto y en la mejora de la calidad de la vivienda: estandarización y personalización. Lo primero reduce los costos, aumenta los rendimientos y mejora las condiciones de producción e instalación. Este último considera la diversidad del contexto social, cultural y técnico. La racionalidad y diversidad en diseños arquitectónicos y los procesos técnicos de vivienda social son factores que aumentan la eficiencia y el bienestar.

55 Ibid., p. 42

56 González Couret, Dania, op. cit., *nota de pie de página* 392, pp. 32–35

57 Vejar, Carlos. *Y el perro ladra y la luna enfría*. Fernando Salinas: *Diseño, Ambiente y Esperanza*. 1a. ed. La Habana, *Ediciones Unió*n. 1994. 312 páginas. Quoted by: González Couret, Dania. "*Medio Siglo de Vivienda Social en Cuba*". Revista INVI. Volume 24, number 67 (2009): pp. 69–92.

Eficiencia

Condiciones para mejorar la cantidad y calidad de la vivienda social

Los costos y el tiempo empleado en la construcción, el incumplimiento de los requisitos mínimos para la vivienda social y los procesos informales de planificación y construcción han sido las causas del aumento del déficit cuantitativo y cualitativo de vivienda registrado en Colombia y en Antioquia desde 1993. Para aumentar la eficiencia en los diseños y en los procesos de construcción, es necesario construir un mayor número de unidades de vivienda con criterios de calidad, optimizando los costos y el tiempo.

La palabra eficiencia proviene del latín *efficientia*. El Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua (RAE[58]) lo define como la capacidad de alguien o algo para obtener un cierto efecto (RAE, s. f., A). En latín, el término *efficientia* significa la capacidad de ejecutar o producir (De Col, 2007). Algunas otras definiciones, de acuerdo con el contexto en el que se usa, y que también relacionan la calidad de los productos deseados con los recursos utilizados, son:

En la administración, según Idalberto Chiavenato, eficiencia significa "el uso adecuado de los recursos disponibles" (2004, p. 52). Para Koontz y Weihrich, la eficiencia es "el logro de objetivos con la menor cantidad de recursos" (2004, p. 14). Robbins y Coulter definen la eficiencia como "obtener la mayor cantidad de resultados con la menor inversión" (2005, p. 7) Para Reinaldo Oliveira Da Silva, eficiencia significa "operar para que los recursos se usen de manera más apropiada" (2002, p. 20).

En economía, según Samuelson y Nordhaus, la eficiencia significa "el mejor uso de los recursos de la sociedad para satisfacer sus deseos o necesidades" (2002, p. 4). Para Gregory Mankiw, la eficiencia es la "propiedad según la cual la sociedad aprovecha sus escasos recursos de la mejor manera posible" (2004, p. 4). Simón Andrade define la eficiencia como "el término utilizado para medir la capacidad o la calidad del desempeño de un sistema o un sujeto económico para lograr el cumplimiento de ciertos objetivos, minimizando el uso de recursos" (2005, p. 253).

Según el *Dictionary of Marketing*, la eficiencia es el "nivel de logro en la realización de objetivos con el menor costo de recursos financieros, humanos y de tiempo". También se define como "el logro máximo de objetivos en un período de tiempo específico con una cantidad establecida de recursos humanos y financieros" (Stanton, Etzel y Bruce, 1999, p. 106).

En el diseño y construcción de viviendas sociales, *la eficiencia se define como la obtención de la cantidad deseada de productos con un criterio definido de calidad, a través del uso óptimo de los recursos disponibles*. La *cantidad* se refiere al conjunto de productos requeridos y a los recursos necesarios para obtenerlos. Los *productos* son viviendas y sus áreas construidas. Los *recursos* son los costos y el tiempo. Los productos y recursos están relacionados con las causas del déficit cuantitativo de vivienda analizado en el Capítulo 1. La calidad se evalúa a través de criterios objetivos y subjetivos. Los criterios objetivos para resolver el incumplimiento de los requisitos mínimos de vivienda social son: modularidad, replicabilidad, transportabilidad, adaptabilidad y accesibilidad. Los criterios subjetivos son estrategias para superar los procesos informales de planificación y construcción de viviendas sociales: simplicidad, flexibilidad, comodidad, belleza y transformabilidad[59].

Si consideramos una operación matemática en la que sus factores pueden modificarse para aumentar la eficiencia (*e*), esto puede medirse como la relación que existe entre la cantidad de productos esperada (*qn*) y la calidad deseada (*ql*), en relación con la cantidad de recursos (r) utilizados para obtenerlos.

$$e = \frac{(qn \times ql)}{(r)}$$

Aumentar la cantidad (*qn*) y la calidad (*ql*) de las unidades de vivienda social, manteniendo o reduciendo los recursos necesarios para su construcción (*r*) permitirá calcular el aumento de la eficiencia.

Los términos *eficiencia* y *eficacia* tienen diferentes significados. La *eficiencia* se define como la cantidad y calidad de los productos obtenidos en relación con la cantidad de recursos utilizados. La *eficacia* mide solo el alcance de los objetivos. Si bien la eficiencia evalúa el uso óptimo de los recursos, la eficacia se refiere a la capacidad para lograr un objetivo, aunque no se haya obtenido mediante el uso racional de los recursos disponibles (RAE, s. f., B). En la reducción del déficit acumulado de vivienda en el contexto local, la relación entre la cantidad y la calidad de los productos, obtenida de acuerdo con la cantidad de recursos utilizados, evalúa y cuantifica el aumento de la eficiencia.

6.1. Cantidad *(qn)*

Según el Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua, la cantidad se refiere a una parte o a un número de unidades que forman parte de un conjunto (RAE, s. f., C). En viviendas sociales, la cantidad está relacionada con los productos (el número de viviendas y sus respectivas áreas) y con los recursos (la magnitud de los costos y el tiempo de construcción). Los costos y el tiempo utilizados por los sistemas tradicionales para la construcción de viviendas sociales han sido identificados en el Capítulo 1 como componentes de las causas del déficit cuantitativo.

Según el déficit de vivienda en términos cuantitativos, para aumentar la eficiencia en el diseño y construcción de viviendas sociales, es necesario aumentar el número de productos (viviendas y áreas construidas) y optimizar el uso de los recursos necesarios para su construcción (costos y tiempo). Para adaptar los presupuestos disponibles a los proyectos en desarrollo, el número de unidades de vivienda requeridas no se ha construido en el tiempo previsto o con los estándares de calidad deseados. Se ha propuesto, en el análisis del problema, que la cantidad de casas construidas con los presupuestos disponibles y el tiempo de construcción utilizado con los sistemas tradicionales no ha superado la velocidad del crecimiento del déficit.

58 Por su sigla en español.

59 Capítulo 1, numerales 1.2.1 El déficit cuantitativo y 1.2.2 El déficit cualitativo.

Problema	Respuesta
Falta total de vivienda	Una vivienda por familia
Cohabitación: dos hogares en una sola casa	Una vivienda por familia
El hacinamiento inmitigable:	
Viviendas de cinco o más personas por habitación	Vivienda con un máximo de tres personas por habitación
Viviendas en las que cada persona tiene menos de 4 m²	Espacio promedio para cada persona, 6 m²
Viviendas construidas con materiales temporales o precarios	Construcciones con materiales aprobados por la NSR-10
Grupos familiares de cualquier tamaño que comparten el hogar con otros	Una vivienda por familia
Viviendas ubicadas en zonas de alto riesgo y con condiciones de deterioro	Proyectos en zonas geológicas estables y sin deterioro

Tabla 37
Estrategias para reducir el déficit cuantitativo, tomados se los indicadores utilizados por el DANE.

Con el fin de establecer una estrategia sostenible para reducir estos números y estabilizar la construcción de nuevas viviendas, se debe considerar la cantidad de familias que se forman cada año y sumarle el número de hogares en déficit. Un sistema industrializado de elementos estructurales, producido en serie, es ideal para reducir el tiempo y los costos de construcción. Sobre la base de los indicadores utilizados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Colombia (DANE) para medir el déficit cuantitativo de la vivienda, la Tabla 37 presenta las siguientes respuestas para mejorar la eficiencia en los diseños y su construcción:

6.1.1. Productos *(p)*

Los productos son el número de viviendas y sus áreas construidas. Incrementarlas para reducir o eliminar el déficit cuantitativo significa aumentar la construcción anual de viviendas en el contexto local, para equilibrarlas con el número de familias.

6.1.1.1. Viviendas

De acuerdo con lo explicado en el Capítulo 1, la vivienda social se compone de dos tipos, clasificados según su precio de venta: Vivienda de Interés Social Prioritario (VIP) y Vivienda de Interés Social (VIS). La Vivienda VIP tiene un costo de venta máximo de 70 salarios mensuales mínimos y un área mínima promedio de 45 m² [60]. La Vivienda VIS tiene un costo máximo de 135 SMMLV y un área mínima promedio de 50 m². Comercialmente, el VIS ha alcanzado áreas de hasta 80 m² en promedio[61]. Aumentar la eficiencia en términos de cantidad significa aumentar el número de VIP y VIS para reducir el déficit acumulado y cubrir la demanda de nuevas viviendas requeridas. Para reducir gradualmente el déficit hasta que se elimine, esta cifra debe ajustarse de acuerdo con la cantidad de viviendas que faltan y la necesidad anual de nuevas viviendas. Según la Cámara de Colombiana de la Construcción (CAMACOL), desde 1993 se requiere la construcción de 84.000 unidades VIP y VIS anualmente (Loaiza, 2016).

6.1.1.2. Área

Se deben concebir dos tipos de áreas con diferentes escalas: las áreas de espacios públicos donde los proyectos se ubican en el contexto urbano y las áreas interiores.

Las áreas del espacio urbano desempeñan un papel decisivo en la generación de nuevas dinámicas en la ciudad, a través de la construcción de proyectos de vivienda social. El potencial de desarrollo y la dinámica que generan los nuevos proyectos de vivienda hacen que la selección del sitio tenga algunas características especiales. Una es la generación de actividades urbanas, la inclusión de comunidades en la estructura de la ciudad y la mejora de la inversión estatal y familiar a lo largo del tiempo. Al comprar una casa, cada familia espera que aumente su valor con el tiempo. Así, la vivienda en cualquier tipo de estrato socioeconómico, es siempre y por definición una inversión, un producto que genera rentabilidad en el tiempo. La valoración económica de la vivienda es un aspecto deseable. Al ubicar las viviendas en espacios con acceso a infraestructuras urbanas y redes de servicio público, estas aumentan su valor con el tiempo.

La crítica histórica sobre la vivienda social dice que, debido a la tendencia natural a repetirlas y producirlas en serie para reducir costos, los diseños no pueden adaptarse a la diversidad de economías, gustos o sensibilidades de sus habitantes. La prefabricación en concreto de las viviendas sociales resuelve la instalación de la estructura y genera patrones repetitivos que se complementan con elementos no estructurales que las fachadas terminan de resolver, según las características ambientales, culturales y sociales del contexto. Como lo menciona Otto Steidle en su proyecto ubicado en *Genterstrasse* en Munich, en estas prefabricaciones inacabadas "la monotonía y la repetición de la estructura pueden generar un escenario de futuras expansiones con diferentes estéticas y cualidades propuestas a partir de los diseños arquitectónicos, o ser transformadas por sus habitantes a través de procesos de autoconstrucción "(Steidle, 1974, citado en Musso, 2016, p. 104).

60 Ley 1753 de 2015. Artículo 90: Vivienda de interés social y vivienda de interés prioritario. Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018: Todos por un nuevo país: Congreso de la República de Colombia.

61 Ley 1753 de 2015. Artículo 90: Vivienda de interés social y vivienda de interés prioritario. Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018: Todos por un nuevo país: Congreso de la República de Colombia.

Según Alejandro Aravena y Andrés Iacobelli:

> *La autoconstrucción dejaría de entenderse como una amenaza de deterioro y se convertiría en una alternativa para personalizar el espacio urbano, el edificio y la propia vivienda; los procesos de industrialización pueden utilizarse como elementos que, a través de la neutralidad y la monotonía, son el punto de partida para una transformación, crecimiento o adaptación diversa y regulada a las condiciones del medio ambiente / entorno, que son clave para la valoración de la inversión. (2012, pp. 492-493).*

Las áreas habitables de las viviendas sociales han sido adaptadas a las posibilidades de las técnicas constructuvas de acuerdo con los alcances y los recursos disponibles (costos y tiempo). Las viviendas VIP, con un promedio mínimo de áreas de 45 m², han sido diseñadas y construidas tradicionalmente con los siguientes espacios: una cocina, un área de ropas, un baño, un área social (generalmente compuesta por una sala y un comedor), y uno o dos dormitorios. Estas casas generalmente no se entregan completas a sus propietarios, quienes deben terminarlas por su cuenta. En los elementos que forman parte de la entrega inicial se encuentran una puerta principal y una puerta para el baño, e instalaciones para agua, electricidad y teléfono. Las casas no cuentan con pisos o paredes terminadas, excepto en el área de baño, cocina y ropas (Loaiza, 2016). La Vivienda VIS, con áreas de construcción promedio entre 45 m² y 80 m², ofrece comercialmente una cocina, un área de ropas, uno o dos baños, un área social (generalmente compuesta por una sala, un comedor y, a veces, un estudio y un balcón) y uno, dos o tres dormitorios. Se entregan a sus propietarios con una puerta principal, una puerta en cada baño, una puerta en cada habitación, instalaciones para agua, electricidad y teléfono, y acabados en el baño, la cocina y el área de ropas. Según la oferta comercial, algunas casas se entregan con pisos y paredes terminadas (Loaiza, 2016). Para aumentar el número de viviendas y sus áreas habitables, es necesario proyectarlas con proporciones interiores adecuadas, permitiendo la interacción correcta de las actividades domésticas diarias y entendiendo la vivienda social como un espacio en el que cada familia puede habitar de manera diferente. Para aumentar la eficiencia en los diseños de viviendas sociales, es conveniente que las áreas diseñadas superen los estándares mínimos establecidos, lo que mejoraría la calidad de las condiciones de vida.

6.1.2. Recursos *(r)*

Los recursos son los elementos cuantificables y medibles que se requieren para construir viviendas sociales. Se miden en valores económicos (costos) y en la duración del proceso de construcción (tiempo). El uso ineficiente de estos recursos se ha relacionado con las causas del déficit cuantitativo de la vivienda. Para aumentar la eficiencia en el diseño y la construcción de viviendas sociales, estos recursos deben utilizarse de manera óptima y, de manera ideal, deben reducirse en relación con los costos y el tiempo utilizados por las técnicas tradicionales.

6.1.2.1. Costo

Los costos se definen como los gastos realizados para obtener o adquirir una cosa o un servicio, como la cantidad entregada o pagada por algo (RAE, s. f., D). Para tomar decisiones en los procesos de construcción, es necesario conocer el valor que tiene el dinero a lo largo del tiempo. En los procesos de construcción que buscan la eficiencia, la identificación del comportamiento de cada uno de los tipos de costos permite el uso óptimo de los recursos necesarios para la construcción de los proyectos.

En los procesos de producción, transporte e instalación de elementos prefabricados de concreto para la construcción de viviendas sociales, los costos se clasifican de la siguiente manera:

6.1.2.1.1. Según la función

Estos se componen de los costos de producción y distribución:

- Los costos de producción se generan en el proceso de transformación de materias primas en elementos prefabricados (García & Gutiérrez, 2008, pp. 12-14). Los costos de las materias primas se componen de los materiales que componen la mezcla y forman parte de los elementos finales: cemento, agregados, refuerzos, aditivos, adiciones y agua. Los costos laborales están directamente involucrados en la transformación del producto, como el salario de los trabajadores en la planta, el transporte y el ensamblaje. Los costos indirectos de manufactura son aquellos relacionados con la transformación de productos, excepto las materias primas y la mano de obra directa, tales como los salarios de supervisores, costos de energía o depreciación (Ramírez, 2000, pp. 27-33).
- Los costos de distribución o venta son los generados desde la fábrica hasta el sitio del proyecto (Ramírez, 2000, p. 33).

6.1.2.1.2. Según su identificación con una actividad

Consisten en los costos directos e indirectos en los procesos de producción, transporte e instalación de elementos de concreto prefabricado:

- Los costos directos son aquellos que pueden ser identificados o cuantificados con los productos terminados. Materiales, herramientas, transporte y mano de obra forman parte de este grupo.
- Los costos indirectos son aquellos que no se pueden identificar o cuantificar completamente con los productos terminados. Estos costos se asignan a criterios generales que dependen del tipo de producción. En la industrialización de elementos prefabricados de concreto, la electricidad, el almacenamiento y el espacio físico son costos indirectos (García & Gutiérrez, 2008, p. 16).

6.1.2.1.3. Según el momento en que se hayan calculado

Estos se componen de costos históricos o costos predeterminados:

- Los costos históricos son aquellos que se calculan después de que el elemento haya sido producido y que sean parte de un bien o servicio en un tiempo determinado.
- Los costos predeterminados se calculan antes o durante la prefabricación de un elemento. Se clasifican en costos estimados o costos estándar. Los costos estimados son aquellos que se calculan sobre una base empírica, presupuestando el costo aproximado de los elementos que lo componen antes de producir el elemento o durante su transformación. El costo estándar es el cálculo realizado en cada uno de los elementos que componen el producto, para determinar cuánto debería costar (Funes, 1994, pp. 14-22).

6.1.2.1.4. Tipos de costos según su comportamiento

Estos son costos fijos, variables y mixtos:

- Los costos fijos son aquellos necesarios para apoyar el funcionamiento de la industria. Hay dos categorías: Los costos fijos discrecionales son susceptibles de ser modificados, por ejemplo: salarios y arriendo del edificio. Los costos fijos comprometidos son aquellos que no aceptan modificaciones, por ejemplo: la depreciación de la maquinaria.
- Los costos variables son aquellos que cambian en proporción directa al volumen de operaciones realizadas. Esta actividad puede referirse a producción o ventas.
- Los costos mixtos tienen las características de ser fijos y variables, en diferentes rangos de operación (Funes, 1994, pp. 14-22).

6.1.2.1.5. Tipos de costos según el tiempo o los períodos de construcción

Estos se componen de los siguientes tipos: financieros, administrativos e ingresos anticipados por ventas:

- Los costos financieros son aquellos originados con los recursos externos que la compañía necesita para su desarrollo, y están directamente relacionados con el valor del dinero a lo largo del tiempo. Juan García Colin sostiene que estos costos surgen de la obtención de recursos externos que el sector o la compañía de construcción específica necesitan para operar (García y Gutiérrez, 2008, pp. 12-14).
- Los costos administrativos son aquellos que se relacionan con la dirección y administración de las operaciones generales de la construcción. Están comprendidos por los sueldos del personal administrativo y de los trabajadores, por el pago de los servicios públicos, el alquiler de oficinas y otros gastos que deben hacerse a lo largo del tiempo que dure la construcción del proyecto (García & Gutiérrez, 2008, pp. 12-14). Los costos administrativos están directamente relacionados con el tiempo de construcción y con los períodos de trabajo del personal.
- Los ingresos anticipados de las ventas en proyectos comerciales para viviendas sociales pueden ocurrir antes de comenzar la construcción, en la fase de construcción del proyecto o cuando el edificio esté terminado. La recaudación anticipada de fondos para la finalización del contrato (cuando es un proyecto oficial) o mediante la venta de las unidades de vivienda (cuando es un proyecto comercial) genera beneficios económicos con diferentes proporciones para el proyecto y sus inversionistas.

6.1.2.2. Tiempo

La palabra tiempo proviene del latín tempus (Del Col, 2007, p. 1250). Es la duración de los procesos de las cosas; es la magnitud física que ordena la secuencia de eventos (RAE, s. f., E).

En el análisis del problema, se ha sugerido que la velocidad de crecimiento del déficit de vivienda en el contexto local ha sido mayor que la velocidad con la que se construyeron los proyectos de vivienda con técnicas de construcción convencionales. Por lo tanto, si se desea reducir los costos y la velocidad de crecimiento del déficit de vivienda social, también es necesario reducir el tiempo en el proceso de construcción.

Desde el punto de vista social y económico, es deseable que la reubicación de comunidades en nuevas viviendas se realice en el menor tiempo posible, lo que reduce los períodos de alquiler y evita el desplazamiento a otras áreas del entorno urbano, donde los asentamientos no planificados aumentan el déficit de viviendas, los riesgos y los desarrollos informales, con todos los problemas que ello conlleva.

Para aumentar su eficiencia, la vivienda social debe construirse a través de procesos estandarizados y la producción en serie de los elementos que la conforman. Se ha explicado que las técnicas tradicionales, seleccionadas para construir viviendas sociales, han ocasionado que los períodos de tiempo en los procesos de construcción sean inciertos.

Ahorrar tiempo significa ahorrar costos financieros (el valor del dinero a lo largo del tiempo), costos administrativos (costos fijos que se requieren para la operación del trabajo durante el período de construcción) y aumentar la liquidez a través de ventas anticipadas.

Aunque los períodos de gestión se amplían y el tiempo de trabajo en la fábrica debe tomarse en consideración, la producción industrial debe permitir controlar los períodos de cada fase de construcción y la reducción del tiempo de construcción. El control de tiempo también permite mantener la calidad arquitectónica y técnica del proyecto, lo cual aumenta la productividad del proceso de construcción (Zamora et al., 2004, pp. 10-12).

6.1.3. Cantidades mínimas requeridas

Cantidad *(qn)* Requisitos mínimos para el diseño arquitectónico	*VIP* existente	*VIP* propuesta	*VIS* existente	*VIS* propuesta
Productos (p)				
Viviendas	*VIP* tradicional	*VIP* industrializada	*VIS* tradicional	*VIS* industrializada
Área: área mínimo construido (m²)	42	48 (+ 5%)	50	55 (+ 10%)
Espacios				
Cocina	1	1	1	1
Área de ropas	1	1	1	1
Baño	1	1 ó 2	1 ó 2	2
Sala	1	1	1	1
Comedor	1	1	1	1
Estudio	0	0 ó 1	0 ó 1	0 ó 1
Balcón	0 ó 1	0 ó 1	0 ó 1	1
Alcobas	1 ó 2	2	2 ó 3	3
Ascensor	No	No	No	No
Estacionamientos	No	No	No	No
Recursos (*r*)				
Costo: Precios máximos de venta en salarios mensuales	70	68 (- 2.5%)	135	128 (- 5%)
Tiempo (en semanas para un proyecto de 25 viviendas)	40	8	40	12

Tabla 38
Requisitos cuantitativos mínimos para la construcción de viviendas sociales prefabricadas de concreto en el departamento de Antioquia

6.2. Calidad *(ql)*

Según RAE, la calidad es el conjunto de propiedades que permite juzgar las características y el valor de un producto o un proceso (s. f., F). En el diseño y construcción de viviendas sociales, la calidad se compone de criterios objetivos y subjetivos. Los criterios objetivos del déficit cualitativo indican el incumplimiento de los requisitos mínimos de vivienda social en el contexto local. Para resolverlo, se proponen las siguientes condiciones: modularidad, replicabilidad, transportabilidad, adaptabilidad y accesibilidad. Los criterios subjetivos del déficit cualitativo han sido originados por los procesos informales de planificación y construcción. Las condiciones propuestas para resolverlo son: simplicidad, flexibilidad, confort, belleza y transformabilidad. El incremento del número de viviendas y la reducción de costos y tiempo es deseable si se mantienen los criterios de calidad.

La prefabricación no es comparable con otros tipos de sistemas de construcción si se excluye la calidad.

Para reducir el déficit cualitativo, las casas deben tener pisos, paredes y techos. En términos ambientales, deben contar con ventilación adecuada e iluminación natural para garantizar las condiciones de salud y comodidad necesarias. Es necesario que exista una cocina en cada hogar y que tenga servicios públicos como agua y electricidad. Ninguna de las casas debe presentar hacinamiento y sus habitaciones deben estar ocupadas por un máximo de tres personas (Freire et al., 2009, p. 15). Los procesos de autoconstrucción deben ser dirigidos y programados. Las nuevas viviendas deben ser diseñadas y construidas con las condiciones de confort y seguridad establecidas en las regulaciones existentes. Sobre la base de los indicadores utilizados por el DANE, la Tabla 39 presenta el problema y las respuestas para reducir el déficit cualitativo de viviendas:

Problema	Respuesta
Deterioro en los pisos, paredes y techos	Construcción con materiales aprobados por la NSR-10
Hacinamiento mitigable: hogares que tienen cuatro personas por habitación	Viviendas con un máximo de tres personas por habitación
Ausencia de una cocina o deficiencias en este espacio	Cocinas que cumplan con especificaciones técnicas
Viviendas sin servicios públicos	Viviendas con luz y agua
Viviendas que necesitan ser mejoradas o aumentr su área	Área mínima construida de 45 m²
Deficiencias en iluminación y ventilación	Todos los espacios con luz y ventilación natural

Tabla 39
Estrategias para reducir el déficit cualitativo, con base en los indicadores utilizados por el DANE.

Estas respuestas deben incorporarse a los principios de diseño urbano, arquitectónico y técnico para resolver el déficit en términos cuantitativos y cualitativos, ofreciendo las mejores condiciones de bienestar a los habitantes de estos proyectos.

6.2.1. Criterios objetivos

Los criterios objetivos para mejorar la calidad de la vivienda social y aumentar la eficiencia en sus diseños y construcción, están relacionados con estas cualidades: modularidad, replicabilidad, transportabilidad, adaptabilidad y accesibilidad.

6.2.1.1. Modularidad

Este es el conjunto de proporciones relacionadas con un patrón de medición. Es un modelo que se repite de manera sistemática y coordinada en el edificio para que sea más fácil y más económico (RAE, s. f., G). Con estas medidas o proporciones, que se agrupan en coordinación dimensional o modular, se diseñan y construyen el espacio urbano, el edificio y su espacio interior. El problema que ha indicado deterioro en la calidad del espacio habitable, sobrecostos y aumentos en los períodos de tiempo del proceso de construcción, está relacionado con la ausencia de modularidad y de coordinación dimensional entre los elementos estructurales y no estructurales que conforman el proyecto.

A través de la coordinación modular de las piezas prefabricadas de concreto prefabricado, es posible estandarizar los elementos estructurales y no estructurales, eliminar reprocesos, reducir el volumen de residuos, optimizar el tiempo, coordinar los procesos técnicos e industrializar la construcción de viviendas sociales. En proyectos urbanos, la modularidad plantea la ocupación adecuada del territorio en función de la relación entre las dimensiones del edificio, el espacio urbano y las proporciones de los módulos de construcción.

En los proyectos arquitectónicos, la coordinación modular definió un patrón dimensional para articular elementos estructurales y no estructurales con diversas técnicas o materiales que conforman los espacios habitables. En el proyecto estructural, la prefabricación cerrada, abierta o parcialmente industrializada trabaja con los principios de coordinación modular para asegurar la unión armónica entre los componentes del edificio. Este es el primer requisito del concreto prefabricado para lograr los estándares de calidad deseados con el uso óptimo de los recursos disponibles.

Mejorar de la eficiencia en la vivienda social debe comenzar con un módulo que permita diferentes combinaciones y esté orientado a un uso óptimo sin desperdiciar ninguna parte del proyecto. La modularidad es un acuerdo geométrico entre todos los elementos que se utilizan en el proceso de diseño y construcción (Zamora et al., 2004, p. 8).

Una construcción prefabricada es, esencialmente, una construcción modular, coordinada desde la proporción de los componentes estructurales y no estructurales para utilizar de manera óptima los recursos necesarios.

6.2.1.2. Replicabilidad

La repetición implica hacer lo que se ha hecho (RAE, s. f., H). En la prefabricación de viviendas sociales, replicar significa construir en diferentes contextos con los principios técnicos del sistema. Cada proyecto tiene diferentes condiciones ambientales, culturales, sociales o económicas que deben conocerse y adaptarse. Ante una estrategia urbana de vivienda y técnica, la replicación generó respuestas similares, adaptables y modificables, pero no iguales. La condición de la replicabilidad es eliminar las respuestas repetitivas. Esta es la capacidad del proyecto para adaptarse a otros entornos, manteniendo sus principios urbanos, arquitectónicos y estructurales. Con este criterio, las viviendas sociales prefabricadas pueden construirse en diferentes áreas y modificarse en aspectos específicos de acuerdo con la topografía, el clima, la cultura y la capacidad de carga del terreno. Entendida de esta manera, la replicabilidad impulsa la estandarización de los procesos y aumenta la eficiencia en el diseño y la construcción.

Replicar los componentes esenciales del sistema permite modificar los elementos complementarios para adaptarlos a diferentes entornos. Replicar los criterios de ubicación de los edificios en el terreno mantiene las condiciones deseadas para el espacio urbano. En el diseño arquitectónico, la replicabilidad considera aspectos de la vivienda para implementar diferentes programas o usos en áreas similares. En el diseño estructural, la replicabilidad implica ajustar los procesos de producción, transporte, instalación y montaje de los elementos prefabricados a las condiciones del contexto. Se deben cumplir los criterios de seguridad, resistencia y durabilidad para garantizar la replicabilidad de la estructura de soporte. El diseño de las juntas, entre los elementos estructurales y no estructurales, debe ser replicable en condiciones similares y garantizar la continuidad estructural del edificio.

6.2.1.3. Transportabilidad

Transportar es llevar los elementos prefabricados de un lugar a otro (RAE, s. f., I). Por lo tanto, los contextos urbanos de los proyectos deben ser accesibles y ofrecer condiciones que permitan la entrada y salida de los vehículos de carga y el equipo para el ensamblaje. En la arquitectura de la vivienda social, el déficit cualitativo generalmente se asocia con territorios desarrollados informalmente, en la medida en que es difícil llevar elementos constructivos, o en lugares donde aún no se han instalado servicios públicos urbanos como el agua y la electricidad. Estas condiciones dificultan el transporte de materiales a los proyectos y generan procesos de construcción informales en áreas inestables con altos riesgos geológicos.

Es necesario que, en cada ubicación, los conjuntos de viviendas tengan una ubicación en la que se garantice el suministro de material en diferentes formatos o donde se puedan traer materias primas para transformarlas en elementos de construcción. La arquitectura de la vivienda social debe consistir en piezas coordinadas con los formatos permitidos para su transporte desde la planta hasta el sitio. En el contexto local, el tamaño máximo de transporte es de 18,50m de largo, 2,60m de ancho y 4,40m de alto.

Este volumen no debe exceder las 52 toneladas de peso entre todos los elementos que se transportan. Los elementos de concreto prefabricado también deben calcularse para soportar las cargas y tensiones que surgen de la manipulación en la planta, en el transporte y en la instalación en el sitio. Una condición de la prefabricación en concreto es que sus piezas deben producirse en plantas y luego se pueden transportar al sitio donde serán instaladas. La producción de estos elementos en plantas industriales, bajo los estándares de calidad requeridos, y su transporte cuando están listos, elimina las actividades intermedias, lo que reduce el reprocesos y optimiza el tiempo de construcción.

6.2.1.4. Adaptabilidad

La propiedad de acomodar o ajustar los elementos que conforman un sistema de construcción a otras condiciones urbanas, ambientales y técnicas aumenta las cualidades del modelo estructural. La adaptabilidad es la propiedad que permite que un objeto o mecanismo realice funciones diferentes a aquellas para las cuales se construyó (RAE, s. f., J). En viviendas sociales, los sistemas de construcción industrializados se han propuesto para que – con las mínimas variaciones posibles – puedan adaptarse a diferentes contextos. Debido a las deficiencias en la adaptación de diferentes tipologías urbanas y arquitectónicas a las condiciones topográficas, ambientales o culturales, la arquitectura de la vivienda social ha perdido la posibilidad de ser replicada y adaptada a diferentes contextos. Los sistemas estructurales y los elementos no estructurales deben adaptarse de la misma manera a las diferentes condiciones geotécnicas que ofrece el terreno.

En términos urbanos, los grupos de vivienda deben responder a las diferentes condiciones planteadas por sus emplazamientos. En terrenos planos o inclinados, el edificio debe mantener sus principios de habitabilidad, adaptando las posibilidades técnicas a las condiciones urbanas deseadas. Los diseños arquitectónicos, desarrollados simultáneamente con los elementos prefabricados del sistema, deben adaptarse a las condiciones técnicas y espaciales que se logran mediante la unión y la combinación de las piezas o los materiales que las componen.

La adaptabilidad de la prefabricación en concreto al diseño de viviendas sociales permite la producción coordinada de sus elementos, con las formas y dimensiones diseñadas, para garantizar la precisión de las juntas y permitir la instalación de otros materiales o piezas que complementen el proceso de construcción. Adaptar los elementos estructurales a otros sistemas técnicos y a otros materiales es crucial para ampliar las posibilidades arquitectónicas y constructivas, y el lenguaje de las construcciones de vivienda.

6.2.1.5. Accesibilidad

Diseñar viviendas sociales accesibles implica definir las condiciones para ingresar o pasar por todos sus espacios (RAE, s. f., K). La accesibilidad implica un diseño urbano y arquitectónico para personas con diversas capacidades físicas o de movilidad. Las dimensiones en los espacios urbanos, en las áreas comunes de los edificios y en las viviendas, deben considerar la presencia de personas en sillas de ruedas o que deben ser asistidas para despazarse.

La vivienda social y su espacio urbano deben adaptarse y considerar las condiciones físicas de quienes la habitan. En el contexto local, algunas condiciones topográficas, urbanas o arquitectónicas han restringido la posibilidad de acceso a espacios públicos o viviendas.

Los diseños urbanos deben considerarse en áreas donde sus topografías permitan el acceso al transporte público y privado, y donde todas las personas puedan utilizar el espacio exterior y las vías de acceso. La presencia de rampas o ascensores debe evaluarse de acuerdo con las posibilidades económicas del proyecto. Como mínimo, se debe considerar un primer piso, accesible para todas las personas. En los espacios interiores, las dimensiones de pasillos, puertas, baños, cocinas, áreas de ropas, áreas sociales o habitaciones deben permitir la circulación de personas con diferentes capacidades físicas. Los diseños estructurales deben considerar dimensiones que armonicen con los espacios arquitectónicos y que mantengan las proporciones de circulaciones y áreas de habitación especificadas en los diseños arquitectónicos.

6.2.2. Criterios subjetivos

Las causas del déficit cualitativo de viviendas están relacionadas con los procesos informales de planificación y construcción. Estas prácticas han provocado un deterioro físico en las casas construidas y han generado condiciones adversas en la calidad de vida de sus ocupantes. Los criterios subjetivos para mejorar la calidad y aumentar la eficiencia en el diseño y la construcción de viviendas sociales consideran aspectos asociados con la prefabricación en concreto, como la simplicidad, flexibilidad, confort, belleza y transformabilidad.

6.2.2.1. Simplicidad

La calidad de la simplicidad se refiere a estar constituido por uno o pocos elementos (RAE, s. f., L). Expresa lo alcanzable y lo replicable, lo que elimina las complejidades para concentrarse en la precisión de los objetivos. Los diseños arquitectónicos, materializados con procesos y sistemas constructivos complejos – sin una adaptación a las condiciones económicas, técnicas y de vivienda – han aumentado el valor de los presupuestos y el tiempo de ejecución. Para cumplir con los costos y plazos establecidos, la calidad técnica y las especificaciones de suministro se han reducido y algunos proyectos se han quedado sin terminar.

Las viviendas sociales deben diseñarse con la menor cantidad de elementos posibles. Los elementos prefabricados deben tener un número reducido de variantes para estandarizar su producción y resolver sus conexiones en la planta. La estructura de soporte debe estar conformada por elementos modulares que permiten diferentes configuraciones cuando se unen. Construir lo esencial implica resolver el problema de sus componentes fundamentales y permitir la individualización y modificación de la vivienda a lo largo del tiempo. La simplicidad induce diseños con criterios de modularidad y adaptabilidad, con áreas cómodas que pueden transformarse en el tiempo de acuerdo con el gusto y las necesidades de sus habitantes. La arquitectura de lo esencial elimina lo innecesario y se basa en la expresión estética de sus componentes estructurales. Esta condición genera un lenguaje que muestra la relación entre lo racional

y lo emocional, entre estructura y espacio. En términos estructurales, la simplicidad implica trabajar con la menor cantidad de elementos y eliminar variantes en las formas y sus uniones. El sistema de cimentación debe distribuir superficialmente las cargas al terreno y sus componentes no deben diferir de las geometrías de los elementos estructurales. Los diseños arquitectónicos deben apropiarse de la expresión estética de sus elementos estructurales y deben complementarse con elementos no estructurales. El proceso de instalación debe ser lo más ágil y simple posible para reducir procesos, tiempo y costos.

6.2.2.2. Flexibilidad

Todo lo que no está sujeto a reglas estrictas, que tienen la posibilidad de cambiar de acuerdo a las circunstancias o necesidades, adquiere la condición de flexibilidad (RAE, s. f., M). Esto implica tener un punto de partida y un comienzo en el que las variaciones adapten la casa a su entorno. Las viviendas industrializadas deben adaptarse a diferentes circunstancias habitacionales, técnicas, estéticas o ambientales. Algunos sistemas o tipologías constructivas, en el contexto local, han utilizado elementos estructurales que no han permitido la transformación del lenguaje del edificio o los usos de sus espacios interiores. La vivienda debe adaptarse a los cambios en el tiempo, como el crecimiento del grupo familiar, la implementación de espacios de trabajo, usos comerciales hacia las fachadas o aumentos en las áreas de vivienda. La ubicación de los elementos estructurales debe permitir que la condición de replicabilidad en las fachadas se complemente con la individualidad de otros materiales no estructurales.

Hacer el diseño más flexible significa pensar en la casa con nuevas posibilidades de uso, expresión y relación con sus habitantes. El sistema estructural debe permitir variaciones en el uso del espacio interior; por lo tanto, debe estar ubicado en el perímetro de la casa. La flexibilidad del sistema debe permitir su adaptabilidad y variabilidad en diferentes entornos. Si la vivienda se puede conformar con elementos estructurales, también se pueden formar espacios comerciales en los primeros pisos de los edificios. La agrupación de los elementos estructurales define un orden a través del cual se plantean las condiciones de uso, el lenguaje y la relación del edificio con los espacios públicos. Con la flexibilidad, el diseño arquitectónico propone espacios interiores libres, modificables o transformables. Esta condición implica la concentración de las áreas de servicio de la casa (cocinas, ropas y baños) de modo que el resto de los espacios de vivienda tengan áreas libres y diferentes programas, usos o configuraciones. La manera de agrupar los elementos estructurales puede generar diferentes configuraciones arquitectónicas en el edificio y sus respuestas al entorno. La presencia de elementos no estructurales conforma un lenguaje diverso, no condicionado por una posición única de los módulos estructurales. Si bien la prefabricación en concreto de vivienda social está orientada a la estandarización de elementos y procesos, la flexibilidad permite la individualización del lenguaje y la transformación de sus espacios.

6.2.2.3. Confort

El confort es la calidad del hábitat asociado con el bienestar (RAE, s. f., N). Es la condición que genera calidad ambiental a través del uso de recursos naturales en los espacios habitables. Con estrategias bioclimáticas pasivas, como el control de la incursión solar y la ventilación natural, se puede eliminar el uso de equipos de calefacción o refrigeración mecánica. Estos componentes naturales establecen una relación entre el hábitat y las condiciones del entorno. Algunas viviendas sociales han demostrado la ausencia de calidad ambiental y confort en los espacios habitables, debido a las orientaciones de los edificios, los diseños arquitectónicos que no tienen en cuenta aspectos de iluminación o ventilación natural y los materiales o sistemas constructivos utilizados.

El diseño de los edificios, su orientación y la manera en que se agrupan las casas deben generar sombras y ventilación natural en espacios colectivos y privados. En este caso, la agrupación de las viviendas define condiciones de confort, seguridad y calidad ambiental. En el diseño arquitectónico, los elementos que conforman el edificio están concebidos para controlar la entrada de luz natural, generar corrientes de ventilación cruzada a través de las aberturas en las fachadas y definir rangos de temperaturas interiores. En el diseño de la vivienda, deben alcanzarse temperaturas interiores confortables. Además de cumplir con los requisitos de estabilidad y seguridad, los elementos de la estructura de soporte pueden concebirse como filtros ambientales que permiten el paso controlado de la luz solar y aire hacia el espacio interior. Con la estructura de soporte, se pueden generar elementos de protección solar, balcones o elementos que definen el lenguaje del edificio en armonía con el contexto ambiental.

6.2.2.4. Belleza

En la vivienda social, la calidad de la belleza (RAE, s. f., O) vincula la condición estética del lenguaje con las condiciones culturales, sociales y ambientales del contexto. Adaptar las tradiciones o los deseos de la comunidad a través de diseños participativos acerca la condición humana a los componentes técnicos y estéticos. En 1967, Carlos Raúl Villanueva argumentó que – como reflejo de la vida misma – la arquitectura está vinculada a problemas económicos y sociales, y no sólo a estándares estéticos (Villanueva & Macía, 2000, p. 87). La discusión entre unidad o diversidad en el contexto local está orientada para que la unidad, en términos de lenguaje, genere respuestas a la belleza estética deseada por sus ocupantes, quienes durante décadas han decorado sus vecindarios y alrededores con colores y expresiones individuales.

En la arquitectura de la industrialización de viviendas sociales con prefabricados de concreto, las condiciones de modularidad y replicabilidad generan dos condiciones complementarias: homogeneidad y versatilidad. Si bien las condiciones de homogeneidad de una estructura de soporte racional y repetitiva implican su estandarización para reducir costos, la versatilidad de la casa se identifica con las tradiciones culturales de la comunidad. En el proyecto urbano y arquitectónico, la homogeneidad y la repetitividad de la estructura de soporte se combinan con la versatilidad e

individualidad de los elementos no estructurales. La monotonía de la estructura debe entenderse como un punto de partida para componer el lenguaje del edificio con elementos no estructurales asociados con las condiciones ambientales, culturales y económicas. La estructura de soporte es un marco que ordena una suma de variantes que provienen del diseño arquitectónico realizado por profesionales o de los deseos de las comunidades (Iacobelli y Aravena, 2012, p. 468). La belleza en la vivienda social está determinada por las condiciones de variabilidad y adaptabilidad al contexto ambiental y cultural, a las posibilidades que ofrece a sus habitantes como un instrumento de su expresión. La relación entre la estructura de apoyo y los elementos no estructurales es el factor que define la belleza de la vivienda social, que se mide por su relación armoniosa con el entorno y por su adaptabilidad a diferentes condiciones humanas y ambientales.

6.2.2.5. Transformabilidad

Esta condición implica cambiar la forma o el espacio, para modificar el ya existente (RAE, s. f., P). La transformación de la vivienda social es el conjunto de variantes – como expandir sus áreas o cambiar su lenguaje – que sus habitantes pueden hacer en el espacio construido. Esta práctica informal es habitual en la arquitectura de la vivienda social tradicional y es una manifestación de la identidad de las comunidades: los habitantes transforman sus hogares en los espacios con los que sueñan, adaptándolos a sus necesidades y gustos. Estas modificaciones se deben a los cambios de uso a lo largo del tiempo, al deseo de individualizar el lenguaje en el centro del grupo de viviendas o al crecimiento de los espacios interiores. La vivienda social es una agrupación de viviendas ocupadas por diversas familias. Al identificar las causas del déficit cualitativo, las condiciones de hacinamiento o los usos indeseables del espacio interior se produjeron porque los diseños arquitectónicos o las técnicas de construcción no establecieron una relación entre la estructura de soporte y el espacio habitable. Esta práctica restringe las posibilidades de transformación del espacio interior una vez ocupado. La transformación implica modificar los elementos que delimitan los espacios interiores o inducen el crecimiento programado de las casas, que debe realizarse a través de criterios propuestos en los diseños arquitectónicos.

Transformar la vivienda permite adaptar las áreas y condiciones del proyecto a las necesidades de cada familia. En un proyecto urbano, la transformación del espacio exterior se realiza de acuerdo con los hábitos o necesidades de las comunidades. Uno de los casos más recurrentes es la modificación del uso de las viviendas en los primeros pisos, lugares donde generalmente se adaptan espacios comerciales complementarios. En el proyecto arquitectónico, la transformación de espacios interiores por medio de la modificación de las distribuciones en planta o por el crecimiento del área construida es una práctica que ocurre cuando las familias aumentan su número de integrantes. En viviendas sociales, el crecimiento en altura o hacia las áreas desocupadas de la tierra es frecuente. Estos crecimientos han servido para ubicar a otros miembros del grupo familiar, para ofrecer una solución de vivienda a nuevas familias, para construir espacios de alquiler o para agregar espacios que no se construyeron inicialmente en las viviendas existentes. La estructura de la vivienda prefabricada de concreto industrializado debe calcularse para recibir las modificaciones de sus espacios interiores y para el crecimiento de las áreas construidas. Debe diseñarse considerando la ocupación final y las áreas completas de las viviendas después de sus procesos de expansión. La transformabilidad planteada en la vivienda social induce que los procesos de industrialización de la construcción son un soporte racional a las modificaciones planteadas y realizadas a lo largo del tiempo.

6.2.3. Cualidades mínimas requeridas

Calidad *(ql)* Requisitos mínimos	Causas problemáticas del déficit cualitativo	Principios Rectores
Criterios objetivos	Falta de coordinación dimensional	Modularidad
	Falta de modelos técnicos. Autoconstrucción no planificada	Replicabilidad
	Terrenos sin vías de acceso, zonas con riesgos geológicos	Transportabilidad
	Proyectos sin una contextualización urbana o arquitectónica	Adaptabilidad
	Espacio público y edificios con barreras de accesibilidad	Accesibilidad
Criterios subjetivos	Complejidad de elementos y sistemas constructivos tradicionales	Simplicidad
	Edificios sin variantes urbanas o arquitectónicas	Flexibilidad
	Falta de calidad ambiental en el espacio urbano y en la vivienda	Confort
	Lenguajes arquitectónicos sin participación comunitaria	Belleza
	La estructura restringe las modificaciones del espacio interior	Transformabilidad

Tabla 40
Requisitos cualitativos mínimos para la construcción de viviendas sociales prefabricadas de concreto en el departamento de Antioquia

Resumen

Condiciones para mejorar la cantidad y calidad de la vivienda social

Mejorar la eficiencia en el diseño y la construcción de viviendas sociales significa aumentar su cantidad con criterios de calidad. El aumento de los *productos* (entendido como el número de viviendas y sus áreas construidas) considera criterios objetivos y subjetivos de *calidad*, optimizando los *recursos* necesarios (costos y tiempo). Por lo tanto, la eficiencia (*e*) es la relación que existe entre la *cantidad* de productos esperada (*qn*) con los criterios de calidad (*ql*) con respecto a la cantidad de recursos (*r*) utilizados o necesarios para obtenerlos.

$$e = \frac{(qn \times ql)}{(r)}$$

Hablar de cantidad y calidad implica reducir el déficit cuantitativo y cualitativo de la vivienda a través del aumento de la eficiencia. El déficit cuantitativo es el número de viviendas faltantes, causado por los costos de las técnicas constructivas tradicionales y por los períodos de tiempo utilizados, que superan los presupuestos y los períodos esperados[62]. El déficit cualitativo es el conjunto de hogares que no cumplen con los estándares mínimos de calidad y no proporcionan espacios habitables adecuados para sus habitantes. Han provocado condiciones que han deteriorado la calidad de vida de las comunidades, el incumplimiento de los requisitos mínimos de vivienda social y los procesos informales de planificación y construcción[63].

En términos físicos, la vivienda social es la suma de los elementos estructurales y no estructurales que conforman un espacio habitable. El primer componente técnico es la estructura de soporte, que asume la seguridad y la estabilidad requeridas por el proyecto. En edificios con presupuestos limitados, la estructura aborda varias condiciones a la vez: recibe las cargas y forma el mayor número de elementos del edificio: fachadas, muros interiores, paredes divisorias, losas de pisos y, finalmente, los techos. En la vivienda social, la estructura desarrolla una doble condición: apoyo y división. Por lo tanto, puede representar del 50% al 70% de los costos directos[64]. El segundo componente son los elementos no estructurales (ventanas, puertas, muros de fachada, muros interiores, balcones, acabados, muebles de cocina y sanitarios). Cuando los presupuestos destinados a la construcción de viviendas sociales no son suficientes, los elementos no estructurales reducen la calidad de las especificaciones o se eliminan. Si algunos elementos no estructurales de la vivienda social ya provienen de la industria (ventanas, puertas y muebles de cocina o sanitarios), la estructura de soporte debe producirse industrialmente. Este componente, que representa los costos directos más altos y que debe garantizar la seguridad de los edificios, debe producirse en fábricas con un control riguroso de su calidad, tiempo y costos.

Por lo tanto, la industrialización de la estructura es una condición deseable para garantizar el cumplimiento de la calidad a través del control presupuestal con plazos definidos. Los elementos no estructurales se pueden instalar en cualquier momento utilizando técnicas tradicionales o mediante procesos de autoconstrucción. La industrialización de los elementos estructurales en concreto prefabricado debe cumplir con ciertas condiciones básicas para mejorar la eficiencia y aumentar la cantidad de productos con el uso óptimo de los recursos. Mejorar la cantidad y la calidad de la vivienda social plantea una relación entre los aspectos cuantitativos y cualitativos y define las condiciones básicas que deben cumplirse en los diseños urbanos, arquitectónicos y estructurales de la vivienda social en el contexto local.

En términos *cuantitativos*, las condiciones básicas que deben implementarse para mejorar la eficiencia en el diseño y la construcción de viviendas sociales son:

Cantidad de productos

- *Vivienda:* Aumentar la eficiencia implica aumentar el número de unidades de vivienda, considerando los estándares de calidad como respuesta al déficit cuantitativo y a la necesidad de vivienda para los nuevos hogares.
- *Áreas:* Las áreas de la vivienda deben mantenerse o aumentar con respecto a las ofrecidas por las condiciones reglamentarias o comerciales en la Vivienda de Interés Social Prioritario (VIP) y en la Vivienda de Interés Social (VIS).

Cantidad de recursos

- *Costos:* Para hacer factible cualquier proyecto, es esencial optimizar y reducir los costos de la vivienda, manteniendo o aumentando el número de unidades y controlando los criterios de calidad.
- *Tiempo:* La industrialización de la producción, transporte y ensamblaje de los elementos estructurales reduce los períodos de tiempo en comparación con los sistemas de construcción tradicionales. Esta condición acelera la reducción del déficit y disminuye los costos financieros y administrativos, un aspecto deseable para aumentar la eficiencia en la construcción de viviendas sociales.

En términos *cualitativos*, las condiciones básicas que deben implementarse para mejorar la eficiencia en el diseño y construcción de viviendas sociales son:

Criterios de calidad objetiva

- *Modularidad:* La vivienda prefabricada es, en esencia, una construcción modular basada en un patrón dimensional y geométrico con el que se establecen las proporciones de elementos estructurales y no estructurales. Cuando se repite sistemáticamente, el módulo define las proporciones y formas de los componentes del proyecto. La unidad modular debe ser compatible con otros materiales y sistemas de construcción locales, habilitar esquemas de industrialización parcial y configurar el menor número de variantes en los elementos prefabricados, para aumentar

62 Freire, Eduardo et al. Metodología del déficit de vivienda. p. 15. Citado en el Capítulo 1.

63 Freire, Eduardo et al. Metodología del déficit de vivienda. pp. 15-16. Citado en el Capítulo 1.

64 Conversación con Iván Asuad. Gerente de Vivienda de la Caja de Compensación Familiar (COMFAMA). Medellín, junio de 2016

la eficiencia en el proceso de producción.

- *Replicabilidad:* En la prefabricación de viviendas sociales, replicar es utilizar los componentes esenciales del sistema en diferentes contextos. Esta es la capacidad del proyecto para adaptarse a otros entornos, manteniendo sus principios urbanos, arquitectónicos y estructurales. Con este criterio, las viviendas industrializadas en concreto prefabricado se pueden construir en diferentes áreas y algunas de sus condiciones se pueden modificar de acuerdo con la topografía, el clima, la cultura y la capacidad de carga del terreno. El número máximo de combinaciones urbanas y arquitectónicas se debe lograr con el número mínimo de variantes del módulo estructural prefabricado. El mismo elemento industrializado debe ser concebido para adaptarse a diferentes topografías y contextos sociales, culturales y ambientales. La respuesta estructural y constructiva debe usarse en otros contextos sin alterar sustancialmente los principios del diseño urbano, arquitectónico y técnico.
- *Transportabilidad:* Los contextos urbanos de los edificios deben ser accesibles y ofrecer condiciones que permitan la entrada y salida de vehículos de carga y maquinaria de ensamblaje. Los elementos prefabricados de concreto deben calcularse para soportar las cargas y las tensiones cuando se manipulan o transportan. Para que el proceso de transporte sea eficiente, los elementos prefabricados deben responder a las dimensiones máximas permitidas para que los vehículos de carga lleguen a los entornos urbanos: 18,50m de largo, 2,60m de ancho y 4,40m de alto. Este volumen no debe exceder las 52 toneladas de peso entre todos los elementos que se transportan. Los proyectos deben ubicarse en entornos donde las carreteras permitan el transporte, descarga y ensamblaje de los elementos prefabricados. De acuerdo con las características de las carreteras en el contexto local, los proyectos no deben estar a más de 150km del lugar de producción. Si se supera esta distancia, se debe considerar la construcción de plantas satélites (que sirven a diferentes municipios) o fábricas de campo, en el sitio del proyecto, que deben considerar los patios de maniobra, el almacenamiento de los elementos prefabricados y el espacio para la localización de las grúas de elevación.
- *Adaptabilidad:* Con las mínimas variaciones posibles, las viviendas sociales industrializadas deben adaptarse a las diferentes características de otros sistemas técnicos. La adaptabilidad del concreto prefabricado a diferentes tipologías de viviendas o sistemas de construcción amplía las posibilidades de su lenguaje, sus variantes arquitectónicas y su relación con otras técnicas. El sistema de prefabricación debe ser abierto, permitir el uso de diferentes materiales y la participación de la mano de obra local en el proceso de construcción, como una actividad que mejora las condiciones económicas y califica a la población en términos laborales. Los proyectos deben adaptarse a diferentes contextos sociales, culturales, económicos y ambientales con variaciones mínimas en el sistema estructural y adaptarse a diferentes topografías, en terrenos planos o inclinados y con suelos que tienen diferentes capacidades de carga.
- *Accesibilidad:* Las dimensiones de las áreas comunes, los espacios interiores de las viviendas y los elementos que las componen deben permitir la circulación de personas con diferentes condiciones físicas. El espacio público y las viviendas deben proponerse como completamente accesibles, sin la presencia de escaleras ni barreras urbanas en cada uno de sus niveles. Las configuraciones urbanas y arquitectónicas deben permitir recorridos a través del espacio público y el espacio privado, con anchos universalmente utilizados en pasillos, puertas y muebles.

Criterios de calidad subjetiva

- *Simplicidad:* La vivienda social debe diseñarse con la menor cantidad de elementos posible. Los elementos prefabricados deben tener un número reducido de variantes para estandarizar su producción y resolver sus conexiones en la planta industrial. La estructura de soporte debe estar formada por elementos modulares típicos con muros y losas de piso unidas en la fábrica para evitar cualquier otro tipo de proceso, con espacios interiores libres que permiten diferentes configuraciones en planta y altura, como el sistema de células espaciales. El sistema de cimentación debe distribuir las cargas al terreno de manera superficial y sus componentes no deben diferir de las geometrías de los elementos estructurales. Deben evitarse los cimientos profundos, ya que pueden aumentar los costos del proyecto y hacerlo inviable. Los diseños arquitectónicos deben apropiarse de la expresión estética de sus elementos estructurales y complementarse con elementos no estructurales. El proceso de instalación debe ser lo más ágil y simple posible para reducir procesos, tiempo y costos. La geometría de los elementos estructurales de concreto prefabricado debe ser simple y especificar uniones mediante soportes simples o continuos, mediante postensados, con la menor cantidad de especificaciones técnicas adicionales para garantizar la estabilidad del sistema. Los procesos en el sitio deben minimizarse y resolverse tanto como sea posible en la planta. La unión de losas y muros en plantas industriales genera marcos estructurales, que deben tener el menor número de variantes para estandarizar su producción en la fábrica. En el proceso de trabajo, la combinación con elementos no estructurales y materiales tradicionalmente utilizados en otros sistemas constructivos, debe permitir la participación de la mano de obra local y considerar las tradiciones del contexto donde se está construyendo el edificio. Las geometrías y conexiones entre las piezas de concreto prefabricado deben ser seguras y simples, para reducir los costos y agilizar los procesos de construcción.
- *Flexibilidad:* Esta es la capacidad del proyecto para adaptarse a diferentes condiciones, de acuerdo con las necesidades o deseos de sus habitantes. El sistema estructural debe estar conformado por elementos modulares típicos, como células espaciales, con muros y losas unidos desde la planta industrial, localizados en el perímetro de las viviendas para permitir variaciones en los usos y la generación de áreas libres, modificables o transformables. Esta condición implica concentrar las áreas de servicio (cocina, baños, ropas) para que el resto de los espacios habitables tengan diferentes programas, usos o configuraciones. Con la menor cantidad de variaciones en

las formas y dimensiones de los elementos estructurales, se debe obtener una mayor cantidad de tipologías de vivienda. El lenguaje de los edificios residenciales debe basarse en procesos de prefabricación abiertos, en los que la combinación de elementos estructurales y no estructurales definen diferentes tipologías de fachada. Por lo tanto, la estructura y las unidades de servicio serán los elementos fijos, de modo que el resto de las áreas serán una planta libre. Los muros interiores y las fachadas son elementos no estructurales flexibles que pueden especificarse con diferentes materiales y sistemas de construcción, y responden a diferentes contextos culturales y sociales, condiciones climáticas y económicas o procesos de diseño participativo con las comunidades.

- *Confort:* Las viviendas sociales industrializadas deben diseñarse con criterios de calidad ambiental mediante el uso de estrategias bioclimáticas pasivas, como el control de la incursión solar y la ventilación natural. Los proyectos establecen una relación permanente entre la vivienda y el entorno. El diseño de los edificios debe generar iluminación y ventilación natural controlada en los espacios colectivos y privados para lograr las temperaturas deseadas sin necesidad de equipos mecánicos. La disposición de los elementos estructurales (muros y losas que separan una casa de otra) en el perímetro de las viviendas permite especificar las divisiones interiores y las fachadas con elementos no estructurales, con materiales locales y diseños de acuerdo con el contexto ambiental, la incidencia solar deseada en el espacio interior y las condiciones de ventilación. Por lo tanto, las aberturas de las fachadas y la distribución del espacio interior responden a condiciones de bienestar y no sólo a condiciones estructurales. A pesar de tener una estructura definida, invariable y rígida, los elementos no estructurales permiten adaptar el espacio habitable a las condiciones de confort deseadas a través de diferentes materiales y aberturas en las fachadas. En su relación con los elementos no estructurales, los sistemas estructurales deben permitir la adaptabilidad del espacio interior a diferentes climas, dimensiones, extensiones y apropiaciones por parte de los usuarios.
- *Belleza:* La belleza de la vivienda social está determinada por la diversidad de las condiciones ambientales, culturales y sociales de su entorno. La estructura prefabricada es un conjunto de elementos modulares repetidos que ordenan los elementos no estructurales, conformados a partir de las tradiciones y los deseos de las comunidades, con diseños participativos. El lenguaje de los edificios residenciales es la combinación de la estructura de soporte y las fachadas conformadas por elementos no estructurales en respuesta a diferentes condiciones ambientales, sociales y culturales. Los diseños participativos agregan la precisión y seguridad de la estructura de soporte a la estética de los elementos no estructurales, asociados a las tradiciones y deseos de la comunidad. Con un sistema de prefabricación abierto, donde las fachadas puede resolverse con elementos no estructurales, las condiciones de belleza están vinculadas al contexto, las tradiciones sociales, el clima, la economía y la dinámica de la vivienda. De acuerdo con el grado de participación de la comunidad, este sistema privilegia la individualidad sobre la generalidad con los sistemas de prefabricación que resuelven lo esencial y permiten la individualización del espacio y su lenguaje. La belleza de los edificios será el resultado de la industrialización parcial, la individualización de los diseños de interiores y el lenguaje según el contexto, los sueños y las necesidades de las comunidades. En un proyecto de vivienda colectivo, individualizar o diferenciar las fachadas para que la replicabilidad del sistema pueda tener variantes es necesario en un contexto en el que cada familia puede tener su propia identidad.
- *Transformabilidad:* Una vez ocupadas las viviendas, las familias pueden modificar el espacio construido, ampliar sus áreas o cambiar el lenguaje arquitectónico. Esta práctica es habitual en la arquitectura de la vivienda social tradicional y es una manifestación de la identidad de las comunidades. Estas modificaciones se deben a cambios en el uso a lo largo del tiempo, al deseo de individualizar el lenguaje o al crecimiento del espacio interior. Transformar la vivienda permite adaptar las áreas y condiciones del proyecto a las necesidades de cada familia. La estructura de concreto prefabricado debe calcularse para recibir las modificaciones de sus espacios interiores y para el crecimiento de las áreas construidas. Los procesos de transformación muestran las necesidades de las familias, su progreso, una arquitectura flexible, y límites interiores y exteriores que pueden generar diferentes respuestas a las necesidades y deseos de las comunidades. Para esta condición, los sistemas estructurales deben permitir diferentes diseños interiores, presentar diferentes posibilidades de ocupación del espacio habitable, facilitar el crecimiento de las viviendas (acciones que ocurren con frecuencia en el hábitat popular) y – a través del lenguaje de las fachadas – expresar diferentes respuestas basadas en las condiciones climáticas, las tradiciones sociales o los deseos de las comunidades.

Industrialización de la estructura de soporte (proceso de producción): prefabricación en las plantas industriales.

Individualización del espacio interior y del lenguaje como respuesta al contexto (proceso de diseño): acuerdos participativos entre profesionales y la comunidad.

Transformación de la arquitectura (proceso de ocupación): realizada por la comunidad durante la habitación de la vivienda.

Para lograr estos principios de diseño, la prefabricación debe ser parcial. Esta industrialización de la estructura de soporte permite garantizar la seguridad de las viviendas y, en el primer momento, entregar a las comunidades los elementos necesarios para el hábitat: techo, espacio e instalaciones de luz y agua.

Lo *esencial es industrializado* en procesos altamente calificados y tecnificados. Esto permite que las paredes interiores no estructurales o las fachadas se construyan con materiales que tradicionalmente se han utilizado en el contexto local y con participación de mano de obra local, un aspecto deseable en los procesos de construcción.

Lo *necesario es individualizado*: las fachadas, el lenguaje y el uso del espacio interior. Esto facilita las actividades de diseño participativo y acerca las comunidades al proceso de construcción. La presencia de elementos no estructurales en las fachadas y en las divisiones interiores permite transformar el espacio una vez que está habitado por las familias.

Lo *ideal es transformado*: Las comunidades pueden realizar los procesos de transformación de los espacios interiores, incrementar el área de las viviendas, o modificar las fachadas para establecer espacios comerciales o diferentes lenguajes una vez que hayan ocupado sus viviendas.

Los sistemas ideales para la prefabricación de los elementos estructurales son aquellos que reducen al mínimo las uniones, distribuyen superficialmente las cargas al terreno, localizan la estructura de soporte (muros y losas de piso) en el perímetro del espacio habitable sin ocupar las superficies de las fachadas y el espacio interior, para permitir su modificación a lo largo del tiempo, según las necesidades del grupo familiar.

Este sistema estructural es el células espaciales, que resuelven la estructura de soporte localizándola en el perímetro del espacio habitable, permiten el uso de los elementos no estructurales en la configuración de tipologías habitacionales y en el lenguaje del proyecto y distribuyen las cargas superficialmente al terreno, evitando cimentaciones profundas y adaptándose a diferentes contextos geográficos, sociales, culturales y económicos.

Conclusión

¿Cómo mejorar la eficiencia en el diseño y construcción de la vivienda social?

En el diseño y la construcción de la vivienda social, la eficiencia se ha definido como la obtención de la cantidad deseada o requerida de productos, con criterios de calidad definidos en relación con el volumen de los recursos utilizados. El volumen de los productos requeridos y de los recursos necesarios para obtenerlos se mide en términos cuantitativos. Los criterios objetivos y subjetivos que determinan las características de estos productos se miden en términos cualitativos.

Los productos requeridos son las viviendas y sus áreas construidas. Los recursos que se deben utilizar para obtenerlos son costos y tiempo. La calidad se caracteriza por criterios objetivos (que permiten proyectar la vivienda en términos de modularidad, replicabilidad, transportabilidad, adaptabilidad y accesibilidad) y en términos subjetivos (que definen el proyecto en términos de simplicidad, flexibilidad, confort, belleza y transformabilidad).

De acuerdo con las condiciones anteriores, el aumento de la eficiencia (*e*) se mide mediante una operación matemática en la que se pueden modificar los factores que la conforman: la cantidad de productos requeridos (*qn*) y los criterios de calidad establecidos (*ql*) en relación con el volumen de los recursos (*r*) utilizados para obtenerlos.

$$e = \frac{(qn \times ql)}{(r)}$$

Idealmente, los más altos estándares de eficiencia se obtienen al aumentar la cantidad de casas y su calidad, reduciendo los costos y el tiempo necesario para su producción. Habiendo analizado estas características del contexto en el Capítulo 2 y sus condiciones técnicas en el Capítulo 4, el concreto prefabricado se propone como el sistema para aumentar la eficiencia en el diseño y la construcción de viviendas sociales. Una de sus características principales es el control de la calidad de los elementos estructurales y la reducción del tiempo de construcción ya que – al ser producidos industrialmente – los componentes están listos para ser ensamblados en el sitio. Habiendo definido estas condiciones, aún deben considerarse dos factores: el primero es la construcción del mayor número de viviendas; el segundo es producir, transportar e instalar la estructura de soporte con el menor costo y tiempo posible. En consecuencia, el aumento de la eficiencia se puede medir modificando estos factores en las siguientes operaciones:

7.1. Aumentar la cantidad y la calidad

La estrategia ideal para aumentar la eficiencia en el diseño y la construcción de viviendas sociales es aumentar el número, aumentar calidad y reducir los costos y el tiempo de construcción en comparación con los sistemas tradicionales no industrializados.

Más cantidad x más calidad / menos recursos:

$$e = \frac{(+qn \times +ql)}{-(r)}$$

También es posible incrementar la eficiencia al aumentar la cantidad de viviendas construidas, mejorando sus estándares de calidad y manteniendo los costos y el tiempo utilizado en comparación con los sistemas constructivos convencionales.

Más cantidad x más calidad / mismos recursos:

$$e = \frac{(+qn \times +ql)}{(r)}$$

7.2. Aumentar la cantidad, mantener la calidad

Otra posibilidad para mejorar la eficiencia consiste en aumentar el número de viviendas construidas y mantener los estándares de calidad en comparación con los sistemas no industrializados. La condición ideal en este caso es reducir los costos y el tiempo del proceso de construcción.

Más cantidad x misma calidad / menos recursos

$$e = \frac{(+qn \times ql)}{-(r)}$$

Si se incrementa la cantidad de viviendas construidas, mientras se mantienen sus estándares de calidad, también es posible aumentar la eficiencia manteniendo los costos y el tiempo de ejecución en comparación con los sistemas de construcción no industrializados.

Más cantidad x misma calidad / mismos recursos

$$e = \frac{(+qn \times ql)}{(r)}$$

7.3. Mantener la cantidad, aumentar la calidad

Es posible incrementar la eficiencia si se construye el mismo número de viviendas, pero sus estándares de calidad aumentan en comparación con los sistemas convencionales. La operación ideal en este caso es reducir los costos y el tiempo de construcción.

$$e = \frac{(qn \times +ql)}{-(r)}$$

Misma cantidad x más calidad / menos recursos

Construir la misma cantidad de casas y aumentar la calidad de sus componentes también permite incrementar la eficiencia, si los costos y el tiempo se mantienen en comparación con los procesos de construcción convencionales.

Misma cantidad x más calidad / mismos recursos

$$e = \frac{(qn \times +ql)}{(r)}$$

7.4. Mantener la cantidad y la calidad

Otra operación para aumentar la eficiencia es construir el mismo número de viviendas con los mismos estándares de calidad, pero con costos más bajos y en períodos de tiempo más cortos que con sistemas no industrializados.

Misma cantidad x misma calidad / menos recursos

$$e = \frac{(qn \times +ql)}{-(r)}$$

En la arquitectura de la vivienda social, debido a las condiciones presupuestales, la estructura cumple dos requisitos simultáneamente: soporte y división. Dada la condición técnica y espacial que se cumple, su industrialización controlaría la calidad del proyecto; reduciría los periodos y optimizaría los costos.

La industrialización de la estructura de soporte implica prefabricar parcialmente la vivienda social. Esta operación debe controlar la calidad, optimizar costos y reducir los períodos de construcción del proyecto. Al plantear una industrialización inacabada, los elementos no estructurales complementan la estructura de soporte y pueden proponerse con técnicas de construcción convencionales, utilizando mano de obra tradicional. Por lo tanto, los diseños arquitectónicos se pueden adaptar a diferentes contextos ambientales y, según las tradiciones sociales y culturales, pueden generar diferentes lenguajes en los edificios y aproximar la respuesta arquitectónica al rigor constructivo y los sueños de las comunidades a partir de los criterios de calidad especificados. El concreto prefabricado utiliza mano de obra calificada en las plantas de producción, lo cual garantiza la calidad de los elementos y su tiempo de ejecución. Simultáneamente, mantener o aumentar los empleos directos e indirectos para las comunidades que han aprendido y trabajado en técnicas tradicionales es una condición deseable que complementa la industrialización de la vivienda social con los procesos constructivos tradicionales.

7.5. Industrialización, personalización, transformación

Tres momentos conforman el proceso de diseño y construcción de la vivienda social prefabricada en concreto. Comienza con la producción sistemática y estandarizada de los elementos de construcción (industrialización). Se complementa con los diseños urbanos y arquitectónicos como respuesta a las condiciones ambientales, sociales y culturales del contexto (personalización), y continúa con la adaptación del espacio y el lenguaje a las necesidades de sus habitantes en el proceso de ocupación (transformación).

7.5.1. Industrialización

La industrialización de los elementos estructurales controla la calidad, reduce el tiempo y optimiza los costos de producción. Habiendo obtenido estas condiciones, es posible mejorar la eficiencia del proceso de acuerdo con el volumen de elementos producidos. Esto se hace en empresas de prefabricados de concreto mediante procesos técnicos y mano de obra calificada. La industrialización de la estructura de soporte aumenta las condiciones de seguridad, la precisión de las juntas y la durabilidad de los edificios. Es deseable que se pueda construir con la más alta calidad, en el menor tiempo y con los costos más bajos posibles, ya que este componente resuelve una proporción importante del edificio. Esta condición implica el diseño y producción de elementos modulares, coordinados dimensionalmente con otros componentes de los proyectos. Son replicables, transportables, adaptables a otros sistemas técnicos, simples y tienen criterios estéticos definidos desde los diseños arquitectónicos y estructurales.

7.5.2. Personalización

Después de ndustrializar la estructura de soporte, el siguiente paso es complementarla desde el diseño urbano y arquitectónico con elementos no estructurales para responder a las variantes contextuales y habitacionales. Esta es la respuesta a las características ambientales del entorno, las condiciones sociales, las tradiciones culturales, las posibilidades económicas y las necesidades de las familias. La personalización es la estrategia para diversificar el lenguaje de la vivienda y adaptar los espacios interiores a diferentes usos o programas. En el Capítulo 5, se ha analizado cómo se ha concebido la arquitectura de la vivienda social prefabricada en concreto, entre criterios de unidad o diversidad. La estructura de soporte es el componente racional; la personalización del lenguaje o los espacios interiores son componentes relativos, variables y ajustables. La racionalidad de la industrialización y la diversidad de la personalización son condiciones para diseñar y construir proyectos con criterios de calidad que incorporan condiciones de accesibilidad, flexibilidad, confort, calidad ambiental, tradiciones culturales y deseos de la comunidad. Estos componentes técnicos y estéticos de la vivienda diversifican su lenguaje y las características del espacio interior.

7.5.3. Transformación

Después de la industrialización y la personalización, el siguiente paso es habitar, y con ello, la transformación que pueden realizar sus habitantes al modificar los usos, expandir las áreas o individualizar el lenguaje de las viviendas. La adaptación de los espacios comerciales en los primeros pisos es una transformación frecuente en el contexto local. Si bien el proceso de personalización genera variabilidad en los procesos arquitectónicos y de diseño como una respuesta estética y funcional del proyecto a su entorno, la transformación o la contribución personal de las familias que viven en las viviendas adaptarán estos espacios a sus necesidades o preferencias. Estas modificaciones, hechas en el proceso habitacional sin la presencia de mano de obra calificada, son una adaptación de las estructuras y espacios a las necesidades y preferencias de cada familia, en la búsqueda de mejorar su calidad de vida a través de condiciones de adaptabilidad, accesibilidad, flexibilidad, confort, belleza y transformabilidad.

Operación	Componente	Actividad	Condición
Industrializar	Estructura de soporte	Producción comercial	Esencial
Personalizar	Elementos no estructurales	Diseño arquitectónico	Necesario
Transformar	Lenguaje y espacio interior	Habitación	Deseado

Tabla 41
Industrializar, personalizar y transformar: componentes, actores y condiciones.

7.6. Industrialización de lo esencial, personalización de lo necesario, transformación de lo ideal

En esencia, la vivienda social es estructura, espacio y vida. A través de la industrialización, se produce la estructura de soporte. Con la personalización, los diseños arquitectónicos responden a las condiciones ambientales, culturales, sociales y económicas del contexto. A través de la transformación, las comunidades modifican las casas de acuerdo con sus necesidades.

La estructura se industrializa. Es el componente esencial. Resuelve condiciones de estabilidad y seguridad; ordena el espacio físico y es el primer paso en la construcción del proyecto. Diseñada con condiciones técnicas y racionales, puede estandarizarse garantizando condiciones de calidad, lo cual permite controlar los costos y el tiempo. Se produce en empresas prefabricadoras de concreto con las especificaciones definidas a través de la arquitectura y la ingeniería civil: modularidad, replicabilidad, transportabilidad, adaptabilidad y simplicidad.

El diseño arquitectónico se personaliza. Es el componente que se adapta al orden estructural e interviene lo necesario. Es la respuesta diversa y relativa a las condiciones ambientales, culturales, sociales y económicas. Asume la diversidad de contextos y comunidades y – a través de sus elementos no estructurales – define el lenguaje del edificio y las condiciones iniciales de habitabilidad. Adaptar los diseños arquitectónicos a las condiciones del entorno define los criterios de accesibilidad, flexibilidad, confort, belleza y transformabilidad.

El uso diario transforma el proyecto urbano y los espacios interiores. Es el componente idealizado y soñado por las comunidades. Adapta el lenguaje y las áreas del hogar a los usos y hábitos de las personas, que modifican el espacio según sus necesidades y gustos con criterios de adaptabilidad, accesibilidad, flexibilidad, estética y transformabilidad.

La Tabla 41 indica las operaciones en el proceso de la industrialización de la estructura de soporte, la personalización de los diseños arquitectónicos y la transformación del espacio.

7.7. Racionalidad e identidad

La estandarización de la vivienda social, deseable para responder de manera rápida y económica a una escasez de vivienda, ha sido criticada históricamente por su incapacidad para adaptarse a la diversidad de los usuarios. Su uniformidad ha sacrificado la individualidad a través de la eficiencia medida desde aspectos cuantitativos (Harlander, 1999).

La propuesta de esta investigación para aumentar la eficiencia y promover diferentes respuestas en el lenguaje arquitectónico de la vivienda social es *racionalizar* los diseños, la producción, la instalación de la estructura de soporte (que idealmente debe ocupar el perímetro del espacio habitable) y las unidades de servicio con sus Instalaciones técnicas (baños, cocinas y ropas). Una vez ubicadas la estructura y los servicios, los muros de las fachadas y los muros divisorios de los espacios interiores se conciben como elementos no estructurales, adaptables al contexto en el que se ubican las viviendas y que pueden transformarse en el tiempo para establecer condiciones de individualidad e identidad en soluciones masivas basadas en las características del contexto, las condiciones económicas y las tradiciones culturales.

Para lograr esta condición, la industrialización inacabada o parcial es el punto de partida para la personalización de los diseños que adaptan la vivienda social a diferentes contextos. Una vez habitadas, las transformaciones son realizadas por las propias familias. Basados en la *racionalidad* estructural, la arquitectura de la vivienda social debe responder a diferentes variables, como el control de los costos y la calidad técnica, y ofrecer condiciones de bienestar a las comunidades que, en función de sus tradiciones, esperanzas e *identidad*, plantean sus propias formas de habitar.

Resumen

Eficiencia en el diseño y construcción de la vivienda social

El aumento de la eficiencia se puede medir a través de una operación matemática en la que todos sus factores pueden modificarse, de acuerdo con las condiciones del diseño urbano, arquitectónico y técnico. Esta operación es la relación entre la *cantidad de productos* (viviendas) y su *calidad*, en relación con la *cantidad de recursos* (costos y tiempo) utilizados. La *cantidad de productos* y los *recursos* para la construcción de viviendas sociales se puede medir en términos *cuantitativos*. La *calidad* de estos *productos* se mide en términos *cualitativos* con criterios *objetivos* (modularidad, replicabilidad, transportabilidad, adaptabilidad y accesibilidad) y con criterios *subjetivos* (simplicidad, flexibilidad, confort, belleza y transformabilidad).

El aumento de la eficiencia a través de la prefabricación en concreto se realiza a través del cumplimiento de las siguientes condiciones, en comparación con los sistemas tradicionales (como las estructuras de concreto vaciado *in situ* o la mampostería estructural) utilizadas para la construcción de viviendas sociales en el contexto local:

Aumentar el número de viviendas y su calidad, reduciendo los recursos necesarios (costos y tiempo) para la construcción del proyecto.

$$e = \frac{(+qn \times +ql)}{-(r)}$$

Aumentar la cantidad de viviendas y su calidad, logrando los mismos costos y tiempo utilizados en los sistemas constructivos convencionales.

$$e = \frac{(+qn \times +ql)}{(r)}$$

Aumentar la cantidad de viviendas y mantener su calidad, reduciendo los costos y tiempo.

$$e = \frac{(+qn \times ql)}{-(r)}$$

Aumentar la cantidad de viviendas, mientras se mantiene su calidad, costos y tiempo.

$$e = \frac{(+qn \times ql)}{(r)}$$

Mantener la cantidad de viviendas y aumentar su calidad, reduciendo los costos y tiempo.

$$e = \frac{(qn \times +ql)}{-(r)}$$

Mantener la cantidad y aumentar la calidad de las viviendas, conservan los costos y el tiempo.

$$e = \frac{(qn \times +ql)}{(r)}$$

Mantener la cantidad y calidad de las viviendas, mientras se reducen sus costos y el tiempo.

$$e = \frac{(qn \times ql)}{-(r)}$$

Para aumentar la eficiencia en la construcción de viviendas sociales en el contexto local, tres momentos conforman el proceso:

Industrializar lo esencial (la estructura de soporte).

Personalizar lo necesario (muros interiores, espacios habitables y fachadas).

Transformar lo ideal (espacios habitables y lenguaje del edificio).

Industrializar lo esencial: la estructura de soporte.

La estructura de soporte debe estandarizarse e *industrializarse* para aumentar su eficiencia en la producción, controlar su calidad y reducir los costos y el tiempo en el *proceso de fabricación*. Este es el proceso técnico destinado a garantizar condiciones de seguridad y durabilidad, que comprenden entre el 50% y el 70% de los costos directos de construcción y que pueden reducirse a través de criterios industriales de prefabricación y estandarización.

Personalizar lo necesario: muros interiores, espacios habitables y fachadas.

El espacio interior y el lenguaje de las fachadas deben *personalizarse* de acuerdo con cada contexto y las características, necesidades y aspiraciones de las comunidades. Estas condiciones se pueden lograr en el *proceso de diseño urbano y arquitectónico*, idealmente con dinámicas participativas y cooperativas, para adaptar los elementos no estructurales a las necesidades sociales en la construcción de espacios de vivienda y en el lenguaje de los edificios. Las divisiones interiores y fachadas pueden construirse con materiales que tradicionalmente se han utilizado en el contexto local (mampostería en bloques de concreto, ladrillos y otros). La personalización permite la participación de la mano de obra local y propicia procesos de autoconstrucción con elementos no estructurales, una situación que genera empleo y cualifica a la población en términos de mano de obra, un aspecto deseable en los procesos de construcción de viviendas sociales.

Transformar lo ideal: espacios habitables y el lenguaje del edificio

Las viviendas pueden *transformarse* y adaptarse a las necesidades de las comunidades a través de la modificación de los elementos no estructurales que conforman los espacios interiores y las fachadas. Esta actividad se realiza en el *proceso de ocupación de las viviendas*, donde las propias comunidades pueden intervenir aumentando las áreas o modificando las características originales del espacio habitable.

Los sistemas de industrialización de la vivienda social en el contexto local deben apelar a dos condiciones: la r*acionalidad* y la *identidad*. Aunque puede aumentar las condiciones de eficiencia y generar ahorros en costos y tiempo en el proceso de prefabricación y construcción, la industrialización de todos los elementos estructurales y no estructurales del proyecto reduce las posibilidades de participación de las comunidades en el proceso de diseño y separa los resultados de estas viviendas de las condiciones de individualidad e identidad deseadas en cada contexto. La industrialización debe ser parcial y centrarse en la estructura de soporte: racionalizada, modular, replicable, transportable y adaptable con procesos de instalación simples. Esta condición genera espacios flexibles, cómodos, accesibles, individualizables y transformables, que responden a las características físicas de cada contexto, a las condiciones económicas, a las tradiciones culturales, a los sueños, la identidad y las necesidades de las comunidades.

La industrialización parcial es el punto de partida para la individualización de diseños que adaptan la vivienda social a diferentes contextos. A través de la *racionalidad* estructural, la arquitectura de la vivienda social puede complementarse con sistemas de construcción tradicionales en los elementos no estructurales para adaptarse a diversos entornos y a la *identidad* de las comunidades.

Investigación Experimental

El proyecto urbano, arquitectónico y estructural

Dadas las condiciones para aumentar la eficiencia en el diseño y la construcción de viviendas sociales en el contexto regional, esta investigación propone un sistema estructural que adapta los criterios para *industrializar* lo esencial (la estructura de soporte), *personalizar* lo necesario (muros interiores, espacios habitables y fachadas) y *transformar* lo ideal (espacios habitables y el lenguaje del edificio).

Este sistema está coformado por marcos estructurales de concreto prefabricado que se agrupan de diferentes maneras para generar respuestas urbanas y arquitectónicas según el contexto. Debido a su configuración, pueden ser soportados en suelos con características geotécnicas y topográficas particulares para distribuir sus cargas y reducir la profundidad de los cimientos. Al ser concebidos desde el inicio de la prefabricación parcial, su versatilidad se incrementa mediante el uso de elementos no estructurales en divisiones interiores y fachadas que complementan la estructura de soporte modular, racional y repetitiva, que permite la participación de diferentes profesionales y de las comunidades en el diseño y proceso de construcción.

A través de la producción industrial, las losas y muros que conforman los marcos estructurales de concreto prefabricado se conciben como un elemento único, que ocupa sólo el perímetro del espacio habitable y, a partir de esta disposición, genera plantas libres, con áreas y lenguajes según el contexto físico, las necesidades de los habitantes y las tradiciones culturales.

Los marcos en concreto prefabricado cumplen con los criterios objetivos de *racionalidad* al resolver elementos estructurales con piezas *modulares*, *replicables*, *transportables*, *adaptables* y *accesibles*. También cumplen con los criterios subjetivos de *identidad* complementando el sistema con procesos simples de producción y ensamble, con los cuales espacios *replicables*, *confortables, flexibles,* estéticamente asociados con los deseos y tradiciones de la comunidad y *transformables*, pueden ser intervenidos por sus habitantes durante el proceso de ocupación.

Este sistema estructural, concebido para aumentar la eficiencia en el diseño y construcción de viviendas sociales, ha obtenido una patente de invención nacional en la República de Colombia, registrada con el Número (11): 15096687. Esta decisión fue publicada por la Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia (SIC) el 8 de diciembre de 2017, con el título *Sistema de construcción modular industrializado*. La clasificación internacional de la patente tiene el código (51): E04B 1/00, E04B 1/04.

En este proceso experimental, se realizaron diseños estructurales, urbanos y arquitectónicos, que luego se verificaron en dos prototipos construidos en abril de 2015 en la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) en su sede (*campus*) en el municipio de Marinilla, ubicado a 45km al este de Medellín.

8.1. Concepto

Con el sistema de marcos industrializados de concreto, la estructura de soporte se industrializa; los proyectos se personalizan a través de los diseños arquitectónicos y sus espacios, y los lenguajes se transforman según las necesidades y preferencias de sus habitantes.

8.1.1. Industrialización

Los elementos estructurales son producidos industrialmente. Son marcos hiperestáticos y autoportantes, de concreto prefabricado, compuestos por muros y losas estructurales unidas monolíticamente. Su configuración define espacios interiores libres y fachadas abiertas, que permiten diferentes intervenciones en el uso y lenguaje del proyecto. Estos marcos estructurales pueden conectarse horizontal y verticalmente entre sí, y alcanzar alturas de hasta diez pisos según la capacidad de carga del terreno y las especificaciones estructurales. Sus medios de conexión son juntas rígidas interiores, como el acero reforzado, uniones por soldadura, ensambles, uniones mecánicas a través de pernos o tornillos, cables de postensado, morteros de pega y combinaciones de los mismos. Las dimensiones de estos elementos deben estar coordinadas con los sistemas de transporte.

La instalación de los marcos de concreto prefabricados en el suelo no requiere cimientos profundos, ya que el propio sistema distribuye sus cargas a través de la superficie. Al mejorar la capacidad de carga del terreno, hasta un proctor de confinamiento del 98% con material triturado de grano grueso y fino, la profundidad de las fundaciones pueden alcanzar un promedio de 60cm para viviendas de uno y dos pisos, 1,20m para edificios de hasta cinco pisos y 2,00m para edificios de hasta diez pisos[65].

Cada elemento estructural transfiere un promedio de una tonelada por metro cuadrado de carga al terreno. Por lo tanto, los lotes que originalmente fueron rechazados por sus condiciones geotécnicas con cargas de fundaciones convencionales se pueden evaluar una vez más para estudiar su capacidad de carga en relación con el sistema de marcos estructurales. Esta condición permite habilitar el 80% de los terrenos disponibles en el departamento de Antioquia para la construcción de viviendas hasta de cinco pisos de altura.

Cuando la estructura de un edificio se diseña en concreto prefabricado, las operaciones en el sitio son esencialmente de ensamble. La prefabricación mejora las características físicas – como la resistencia mecánica y el acabado de la superficie – de sus elementos en relación con las estructuras vaciadas *in situ* (Gómez-Jauregui, 2009, pp. 33-46). Los marcos estructurales deben instalarse con grúas o equipos de elevación mecánica con capacidad para elevar de 15 a 60 toneladas, que son los pesos promedio de los elementos de 6 y 12 metros de longitud. Una vez ubicados en el suelo, los marcos estructurales intermedios se pueden eliminar y mantener la rigidez del sistema al hacer coincidir sus muros en altura. El uso de los elementos estructurales necesarios y la eliminación de la construcción de componentes adicionales para los cimientos conlleva ahorros considerables en los costos directos.

La prefabricación en concreto presenta una arquitectura sin revestimientos, en la que el diseño y el lenguaje arquitectónico se encuentran en la forma y el acabado de la estructura. Tener el menor número de juntas es deseable para aumentar los rendimientos constructivos, reducir las actividades en el sitio y reducir los costos. La estandarización en la producción, la repetición masiva de los elementos estructurales y el montaje rápido permiten que la prefabricación de la estructura se convierta en una solución efectiva y segura (Araújo, 1997, pp. 5-7).

65 Estudios de suelo y cálculos estructurales hechos por Jorge Eduardo Arbeláez Rojas. Medellín, enero de 2014.

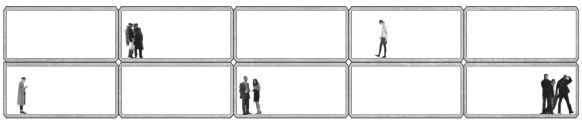


Gráfico 210
Industrialización: Para la construcción de 10 viviendas, se necesitan 10 grupos de marcos estructurales.

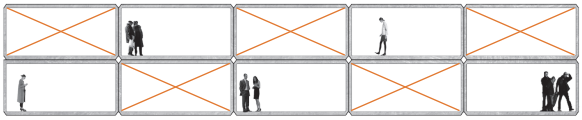


Gráfico 211
Los marcos intermedios pueden ser eliminados, utilizando sólo los elementos estructurales necesarios.

Gráfico 212
Si el sistema está configurado con cinco grupos de marcos, la continuidad de la estructura se mantiene. Los marcos superiores pueden ser cerrados o eliminar la losa de concreto superior.

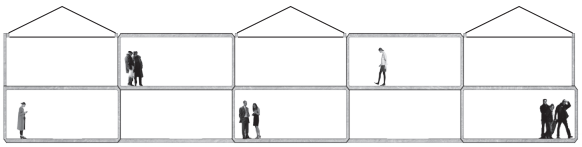


Gráfico 213
Dos losas de piso, dos muros y los techos son necesarios para pasar de cinco a 10 viviendas.

Gráfico 214
Personalización: La diversidad de las fachadas adaptan el proyecto a otros contextos ambientales, sociales y culturales.

Gráfico 215
Transformación: Identidad e individualidad después de la ocupación.

8.1.2. Personalización

Después de la industrialización de la estructura de soporte, los diseños arquitectónicos pueden responder a las condiciones ambientales, culturales, sociales y económicas del entorno con elementos no estructurales. Se pueden proponer diferentes tipologías de vivienda, con áreas de crecimiento futuro. Las fachadas pueden tener diferentes formas y materiales, de acuerdo con las características del sitio. Esta condición puede generar un lenguaje diferente en cada proyecto, lo cual es deseable dadas las características de la vivienda social en el contexto local. En los diseños arquitectónicos, las áreas de servicio (cocinas, baños y ropas) deben agruparse para generar pisos libres y diferentes tipologías de viviendas. La solución estructural se complementa con otros elementos que permiten la intervención de mano de obra local en el proceso de construcción. La arquitectura de la vivienda social en concreto prefabricado encuentra sus propias soluciones entre los elementos estructurales y no estructurales, lo que puede dar lugar a diferentes tipos de arquitectura según el contexto ambiental y las aspiraciones de sus habitantes (Araújo, 1997, pp. 4-13).

8.1.3. Transformación

Después de la industrialización y personalización de las viviendas, a través de los diseños arquitectónicos, las familias que las habitan transforman las áreas expandiéndolas o modificando la distribución de los espacios interiores, variando los usos o interviniendo en su lenguaje de acuerdo con sus necesidades o con su preferencias estéticas, en la búsqueda del bienestar y la identidad. En viviendas sociales, es común que los primeros pisos incorporen usos comerciales al espacio público después de estar habitados, modifiquen sus programas o aumenten sus áreas debido al crecimiento familiar o la búsqueda de otras posibilidades para aumentar sus ingresos económicos. La vivienda social es un espacio en permanente transformación. Debe proporcionar la dinámica que ajuste sus características a las características de las familias que las habitan.

8.2. Sistema

8.2.1. Cantidades *(qn)*

Con los elementos estructurales necesarios, el sistema permite aumentar el número de viviendas y sus áreas con un uso racionalizado de los materiales, optimizando los costos y reduciendo el tiempo de construcción.

8.2.1.1. Productos (p)

Los productos son el número de viviendas y sus áreas construidas. Incrementarlas para reducir o eliminar el déficit cuantitativo significa aumentar la construcción anual de viviendas y áreas habitables en el contexto local.

8.2.1.1.1. Viviendas

El sistema de marcos autoportantes resuelve la estructura de soporte, define los límites del espacio habitable y optimiza el uso de elementos estructurales y no estructurales. Esta optimización permite aumentar el número de viviendas y sus áreas, define estándares de calidad, controla los costos y reduce el tiempo de construcción.

8.2.1.1.2. Área

Con los marcos estructurales modulares, las áreas construidas pueden aumentarse mediante sistemas constructivos convencionales en procesos de personalización o transformación de las viviendas. Este sistema mantiene o aumenta las áreas habitables en relación con las ofrecidas en las viviendas VIP y VIS. Los diseños urbanos contribuyen a la generación de actividades colectivas, incluyen comunidades en el proceso y establecen relaciones de proximidad y continuidad con el contexto.

8.2.1.2. Recursos (r)

Costos y tiempo requeridos para construir viviendas sociales pueden optimizarse a través de la industrialización de la estructura de soporte y la especificación de elementos no estructurales con materiales tradicionales en procesos de individualización y transformación con uso de mano de obra local.

8.2.1.2.1. Costo

La producción en serie de la estructura de soporte mediante procesos industriales tiene como objetivo reducir el costo de construcción. Si los componentes estructurales delimitan el espacio habitable y distribuyen uniformemente las cargas, la estructura tendrá una doble función. Reducir costos y tiempo, manteniendo los estándares de calidad, son las condiciones planteadas en este sistema estructural y habitacional. Los presupuestos realizados para la construcción de dos prototipos indicaron que en viviendas VIP con marcos estructurales prefabricados en concreto pueden reducirse los costos de construcción entre un 8% y un 15%, en comparación con los sistemas constructivos tradicionales.

8.2.1.2.2. Tiempo

De acuerdo con los prototipos construidos, el ensamble de cada uno de los marcos estructurales puede tomar entre 15 y 30 minutos. En la misma proporción, atendiendo contingencias, pausas y procesos alternos, diez hogares pueden tener su estructura de soporte lista en cinco horas de trabajo. Esto implica una reducción estimada del 80% del tiempo, en comparación con la construcción de una estructura de soporte utilizando sistemas tradicionales.

8.2.2. Cualidades

Las características del sistema estructural, medidas en criterios objetivos y subjetivos, responden a las condiciones establecidas en las conclusiones de esta investigación, indicadas en el Capítulo 7:

8.2.2.1. Criterios objetivos

Los criterios objetivos para caracterizar el sistema están asociados con las condiciones de modularidad, replicabilidad, transportabilidad, adaptabilidad y accesibilidad.

8.2.2.1.1. Modularidad

Los marcos estructurales prefabricados en concreto se conciben con criterios de modularidad y coordinación dimensional en relación con otros elementos que conforman la edificación.

La disposición ordenada de los módulos estructurales para generar grupos de viviendas es el principio del proceso de diseño. Sus proporciones se plantean de acuerdo con las dimensiones permitidas y peso límite para el transporte en vehículos de carga.

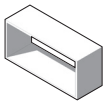


Gráfico 216
Modularidad: Geometría y coordinación dimensional.

8.2.2.1.2. Replicabilidad

Desde sus dimensiones, geometrías y sistemas de unión, los marcos de concreto prefabricado pueden replicarse en la producción industrial, en las estrategias de ocupación del espacio urbano o en los esquemas de agrupación para formar el edificio. Replicar los diseños urbanos o arquitectónicos con el sistema permite modificar sus elementos no estructurales para adaptarse a diferentes configuraciones.

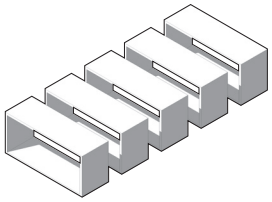


Gráfico 217
Replicabilidad: Producción industrializada.

8.2.2.1.3. Transportabilidad

De acuerdo con las dimensiones máximas permitidas para el transporte de carga, en carreteras nacionales o municipales, los módulos estructurales pueden tener hasta 18,50m de largo, 2,60m de ancho y 4,40m de alto, con los pesos máximos permitidos de hasta 52 toneladas. Para los camiones semirremolques, las dimensiones máximas pueden ser de hasta 12,20m de largo, 2,60m de ancho y 4,40m de alto y los pesos máximos permitidos entre 27 y 52 toneladas. Los contextos urbanos seleccionados para la construcción de los edificios deben ser accesibles y deben garantizar todas las condiciones que permitan la entrada y salida de vehículos de carga y maquinaria para ensamblar la estructura.

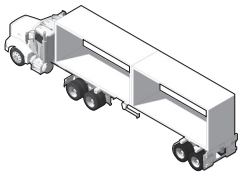


Gráfico 218
Transportabilidad: Entrega.

8.2.2.1.4. Adaptabilidad

La geometría y las proporciones de cada marco estructural permiten que el sistema se adapte a diferentes condiciones urbanas, topográficas, ambientales y técnicas con las mínimas variaciones posibles. Los suelos deben tener un reemplazo estructural en materiales de piedra fina y gruesa, con profundidades determinadas por su capacidad de carga y la altura de los edificios. Una vez adaptados a los perfiles del terreno, los marcos estructurales de concreto prefabricado permiten la instalación de elementos no estructurales en diferentes materiales. La configuración y las características del sistema le permiten adaptarse a diferentes topografías, incorporar diferentes tipologías de alojamiento a su geometría y ampliar las posibilidades de su lenguaje.

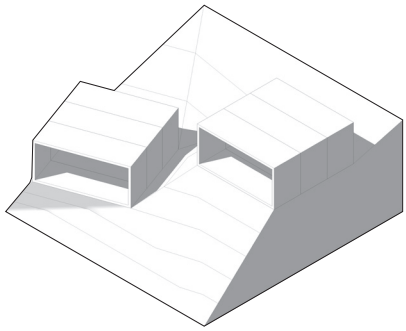


Gráfico 219
Adaptabilidad: Localización en diferentes contextos.

8.2.2.1.5. Accesibilidad

Los diseños urbanos se proponen en sectores donde la topografía y las condiciones de las carreteras permiten el acceso de vehículos de carga de transporte público y privado. Los marcos estructurales permiten tener una configuración de fachadas abiertas y accesibles en el primer piso de los edificios ya que no tienen elementos que dificulten la movilidad humana. En cada edificio, la accesibilidad al espacio urbano y el primer piso están garantizados, de acuerdo con las regulaciones actuales en el contexto local. Las dimensiones con las que se diseñan los marcos estructurales permiten a las personas con diferentes capacidades físicas moverse dentro de las casas. Las dimensiones de los pasillos, cada espacio habitable y las puertas tienen anchos mínimos de 90cm.

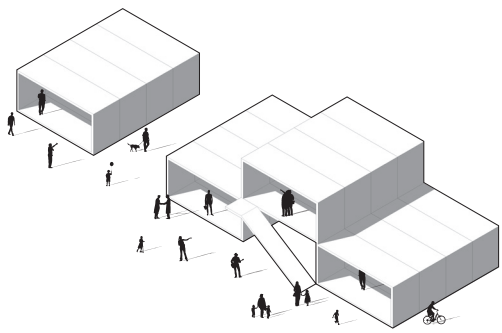


Gráfico 220
Accesibilidad: Diseño urbano.

8.2.2.2. Criterios subjetivos

Los criterios subjetivos, para caracterizar el sistema se asocian con condiciones de simplicidad, flexibilidad, confort, belleza y transformabilidad.

8.2.2.2.1 Simplicidad

La estructura de soporte se configura mediante una única tipología de marco autoportante que se repite un cierto número de veces hasta conformar la agrupación. Este sistema de construcción resuelve los cimientos del edificio, la estructura de soporte y los límites estructurales perimetrales del espacio habitable. En el terreno, el conjunto de marcos está situado con soportes simples que están rigidizados con vigas de borde en los extremos. El sistema permite la conexión horizontal o vertical entre los marcos estructurales para la construcción de edificios de uno o más pisos, de acuerdo con la calidad del terreno y con las especificaciones técnicas de los elementos que lo componen. Los marcos estructurales se pueden unir de tres formas: soporte simple, juntas externas y ensambles internos.

La unión por soporte simple se da cuando los terrenos presentan altas condiciones de estabilidad, cuando se encuentran en zonas de áreas sísmicas bajas o intermedias y cuando los edificios no tienen más de dos pisos de altura. Las juntas externas, como barras o ángulos metálicos, se dejan embedidos en el concreto desde proceso de producción para unir los marcos a través de soldaduras o fijaciones atornilladas, ubicadas de acuerdo con el cálculo estructural.

Los ensambles o conexiones internas están dados por varillas metálicas que tienen hasta una pulgada de diámetro, embedidos en el concreto con una profundidad promedia de un metro. Se deja otro metro expuesto para encajar en el marco superior.

Las uniones terminan de rigidizarse con rellenos epóxicos o con concreto de alta resistencia. Las losas horizontales inferiores de los marcos de piso difieren de las losas horizontales superiores en la disposición de su refuerzo estructural: en la parte inferior, tienen un diámetro preferido de 3/8"; en la parte superior, el diámetro de refuerzo preferido es 1/2". En las losas aéreas, la parte inferior tiene refuerzos de 1/2"; en la parte superior, los refuerzos son de 3/8".

Los muros de los marcos de piso y aéreos están reforzados por una malla doble de 1/2" de diámetro, separadas a 2,50cm de la superficie, con amarres entre 10cm y 20cm entre las varillas horizontales y verticales. Los rangos de estos diámetros van de 1/8" a 3" y varían según la capacidad de carga del terreno, el área sísmica, la altura del edificio y su diseño estructural.

Según los diseños estructurales, las conexiones entre los marcos estructurales pueden tener estas especificaciones:

- Ensambles de borde biselado o de lengüeta y ranura entre las losas verticales y horizontales, con soportes simples o morteros.
- Soportes simples entre las losas verticales y horizontales sin ensambles geométricos, que pueden reforzarse usando mortero entre las losas verticales y horizontales.
- Uniones externas con placas de metal, con dimensiones preferidas de 10cm x 10cm y 2mm (con un rango de 2cm x 2cm a 30cm x 30cm y calibres de 2mm a 10mm).
- Uniones a través de varillas metálicas con un diámetro preferido de 1/2", con rangos entre 1/4" y 2".

- Uniones a través de pernos o tornillos, con diámetros preferidos de 1/2", con rangos entre 1/4" y 2"; y longitudes preferidas de 10cm, con rangos entre 5cm y 20cm.
- Uniones externas con placas metálicas soldadas entre sí, con dimensiones preferidas de 10cm x 10cm y 2mm de calibre, con rangos de 2cm x 2cm a 30cm x 30cm y calibres entre 2mm a 10mm.
- Uniones interiores con varillas metálicas de refuerzo superpuestas en las esquinas en forma de gancho o bastón, soldadas o unidas a través de amarres estructurales con cables metálicos. La longitud preferida de la superposición es de 20cm, con un rango entre 5cm y 50cm.
- Elementos estructurales interiores flexibles, como refuerzos textiles o cables estructurales postensados.

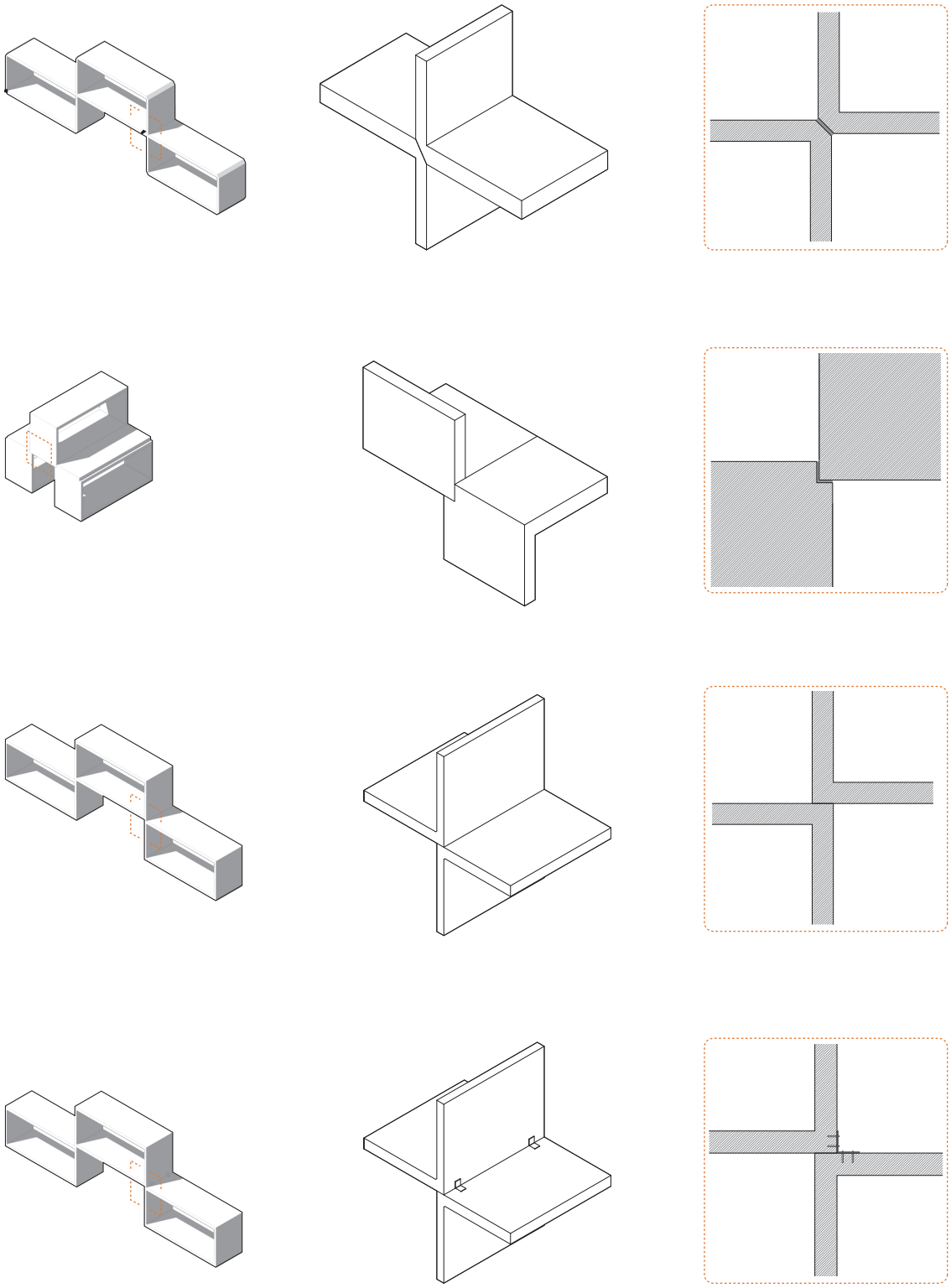


Gráfico 221
Simplicidad: Conexiones y sellado.

8.2.2.2.2. Flexibilidad

Una vez instalada la estructura de soporte, se puede disponer longitudinalmente con fachadas abiertas o transversalmente con fachadas semiabiertas, generando diferentes condiciones en el lenguaje del edificio y plantas libres en el espacio interior, que pueden diseñarse de acuerdo con los requisitos del proyecto. La flexibilidad en los diseños permite la instalación de diferentes materiales en las fachadas que complementan el lenguaje de la estructura de soporte y responden a las condiciones ambientales, culturales, sociales, técnicas o económicas de cada entorno. Se pueden dejar espacios libres entre los conjuntos de marcos estructurales que conforman los espacios habitables para formar patios o áreas para el crecimiento.

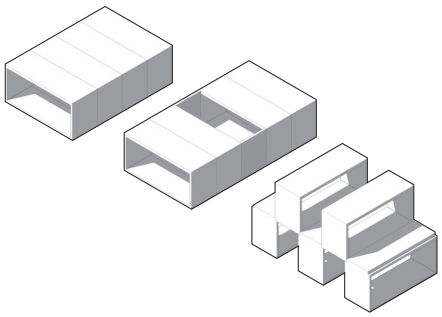


Gráfico 222
Flexibilidad: Tipologías de vivienda.

8.2.2.2.3. Confort

La presencia de elementos no estructurales, complementarios a los marcos autoportantes, permiten a las viviendas resolver su lenguaje y cualificar ambientalmente el espacio habitable, generando condiciones de bienestar mediante el control de la incursión solar y la generación de ventilación cruzada. Así, los elementos de sombra, texturas o diferentes usos de los elementos no estructurales en la fachada y en el espacio interior permiten el diseño bioclimático y la correspondencia del edificio con las condiciones de su entorno.

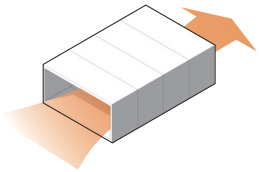


Gráfico 223
Confort: Bioclimática y sostenibilidad.

8.2.2.2.4. Belleza

En la vivienda social, la belleza es una respuesta al medio ambiente, el clima, la cultura, las formas de vida y la identidad de sus habitantes. Los diseños arquitectónicos y los procesos de personalización o transformación que complementan la expresión de los marcos de concreto prefabricado son los medios para lograr lenguajes diversos, únicos y transformables. La arquitectura de la vivienda popular es la expresión de identidad de quienes viven allí. En el contexto regional, la diversidad es una condición que se logra con los diseños y los procesos posteriores de transformación.

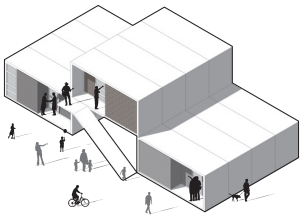


Gráfico 224
Belleza: Lenguajes arquitectónicos.

8.2.2.2.5. Transformabilidad

A través de los procesos de transformación, las familias pueden modificar el espacio construido, ampliar sus áreas o modificar su lenguaje. El sistema permite la presencia de elementos no estructurales para definir el lenguaje de la vivienda o para acondicionar el espacio interior. Cuando las viviendas están ocupadas por las comunidades, estas pueden tomar la decisión de abrir sus fachadas a espacios exteriores, generar actividades comerciales en los primeros pisos de los edificios, ampliar o modificar las áreas interiores o condicionar la arquitectura de la vivienda a sus necesidades o deseos. Transformar la vivienda permite adaptar las áreas y condiciones del proyecto a las necesidades de cada familia.

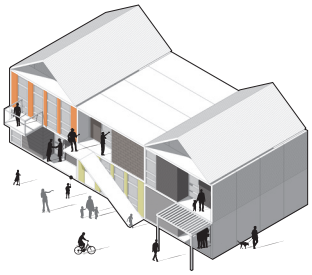


Gráfico 225
Transformabilidad: Mejoras después de la ocupación.

8.3. Tipologías

Se pueden proponer diferentes agrupaciones con cerramientos no estructurales que responden a las condiciones de los contextos ambiental, cultural, social y económico, con el mismo elemento estructural. Se proponen tres variantes, cada una de ellas con una altura entre dos y cinco pisos. La primera se compone de marcos estructurales dispuestos linealmente con fachadas abiertas. La segunda agrupa los marcos transversalmente con fachadas semiabiertas. La tercera combina la disposición lineal y transversal.

8.3.1. Vivienda Social A. Marcos lineales industrializados

En esta tipología los marcos se disponen de manera lineal, dejando sus fachadas abiertas hacia adelante y hacia atrás. Con elementos no estructurales se construyen las fachadas y los espacios interiores. Cada marco estructural tiene una medida preferente de 5,80m de frente, 2,00m de profundidad y 2,70m de altura, que puede variar según las características del proyecto arquitectónico y las dimensiones necesarias para el transporte y el montaje. Los muros y losas tienen un espesor de 12cm a 20cm, según la capacidad de carga del terreno, la zona sísmica y la altura del edificio. En altura, los marcos se unen mediante ensambles y varillas metálicas (cuando es requerido) para rigidizar las uniones entre ellos. Horizontalmente, se recomienda unir los marcos a través de cables de postensado, que aseguran la continuidad estructural del sistema. En promedio, si se usan las medidas preferentes para cada marco, el espacio interior de cada casa es de 5,50m por 7,80m de profundidad. Al contar el área promedio de los muros laterales, cada vivienda puede alcanzar un área de 45,20m² construidos y un área interior de 42,90m². La cocina, el área de ropas y el baño se agrupan para generar plantas libres donde se ubican el área social y los dormitorios. Las fachadas se componen de elementos no estructurales que permiten la circulación cruzada de aire.

8.3.1.1. Casa de dos pisos

La distribución lineal de los elementos estructurales utiliza un promedio de dos marcos de concreto prefabricado por vivienda. En el primer piso, cinco viviendas se resuelven con tres conjuntos de cuatro marcos abiertos hacia las fachadas delantera y trasera. En el segundo piso, otras cinco viviendas se resuelven con dos conjuntos de cuatro marcos, también abiertos hacia las fachadas frontal y posterior. A las viviendas del primer piso se accede a través de un jardín que comunica el área social con el espacio exterior. A las viviendas del segundo piso se accede a través de una escalera exterior. Dentro de las casas, se puede tener un patio central, o una tercera habitación prevista para construirse en el proceso de ampliación o transformación. Las divisiones interiores y la configuración espacial pueden modificarse de acuerdo con las necesidades o deseos de los usuarios.

En este tipo de viviendas, el diseño de su espacio interior está condicionado por la ubicación de la unidad de servicios, conformada por la cocina, un área de ropas y un baño. El resto del espacio es una planta libre donde el área social y privada pueden ubicarse hacia las fachadas abiertas en la parte delantera y trasera. La unión entre los marcos estructurales se puede realizar de varias maneras. La modalidad preferida en viviendas de dos pisos es a través de cables postensados que unen los marcos ubicados en el mismo nivel. El cálculo estructural determina el número y el diámetro de estos elementos. En altura, según la zona sísmica, la capacidad de carga del terreno y el número de pisos, se pueden modificar las especificaciones de las uniones entre los marcos. Las modalidades preferidas son el soporte simple, el ensamble por geometría entre piezas o la unión a través de varillas metálicas y morteros, según lo indicado en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.

Indicadores	
Tipo de estructura	Células espaciales
Tipo de prefabricación	Abierta
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	10
Altura de los edificios (en número de pisos)	2
Número de tipos de elementos prefabricados	1
Células espaciales estructurales	2 por vivienda
Frente (en metros lineales)	5,80
Profundidad (en metros lineales)	8,00
Sala – Comedor (en metros cuadrados)	15,60
Habitaciones (en metros cuadrados)	18,80
Cocina (en metros cuadrados)	3,80
Baño (en metros cuadrados)	4,80
Área de ropas (en metros cuadrados)	2,20
Patio	11,00
Área inicial	45,20
Área construida con crecimiento	50,20
Área construida por vivienda (en metros cuadrados)	45.20

Tabla 42
Áreas del proyecto de vivienda (incluyendo muros de fachada, muros divisorios, muros interiores y circulaciones)

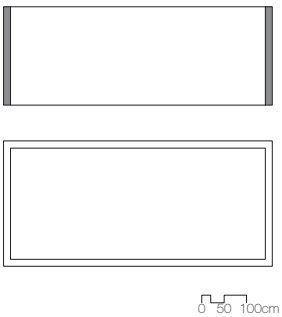


Gráfico 226
Componentes: Planta y fachada

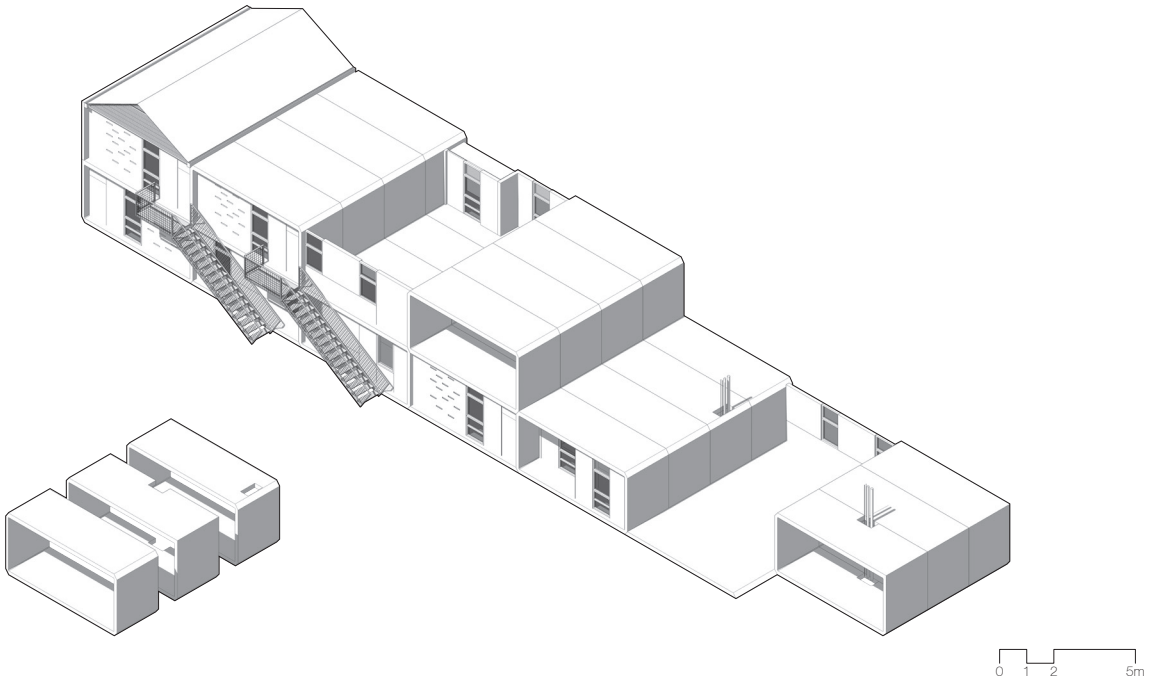


Gráfico 227
Proceso constructivo

Gráfico 228
Planos generales

Gráfico 229
Tipologías de vivienda

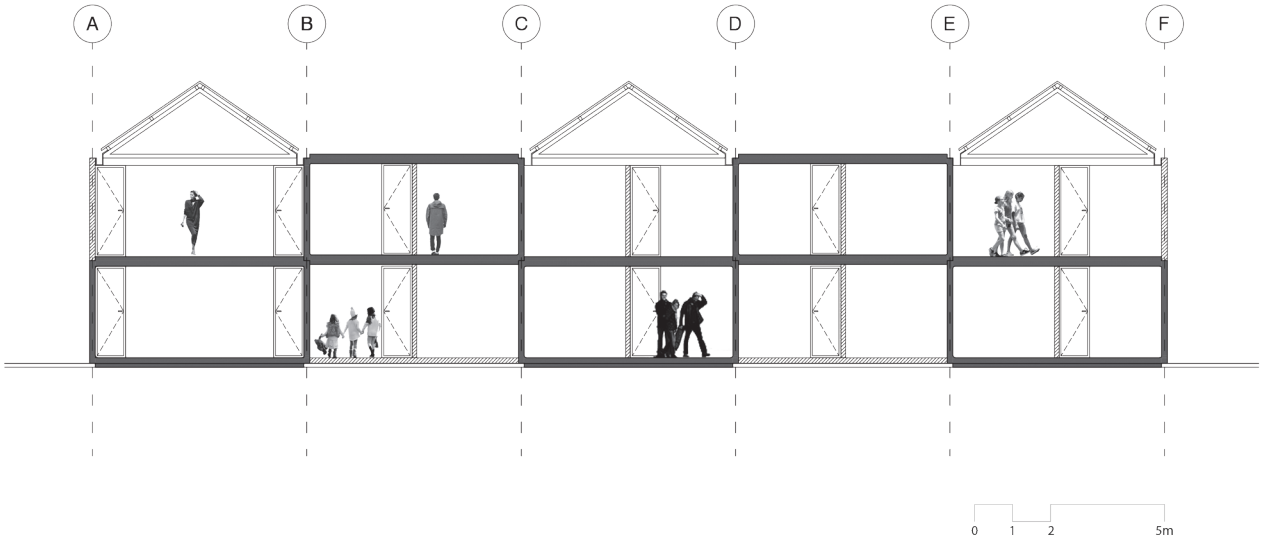


Gráfico 230
Secciones

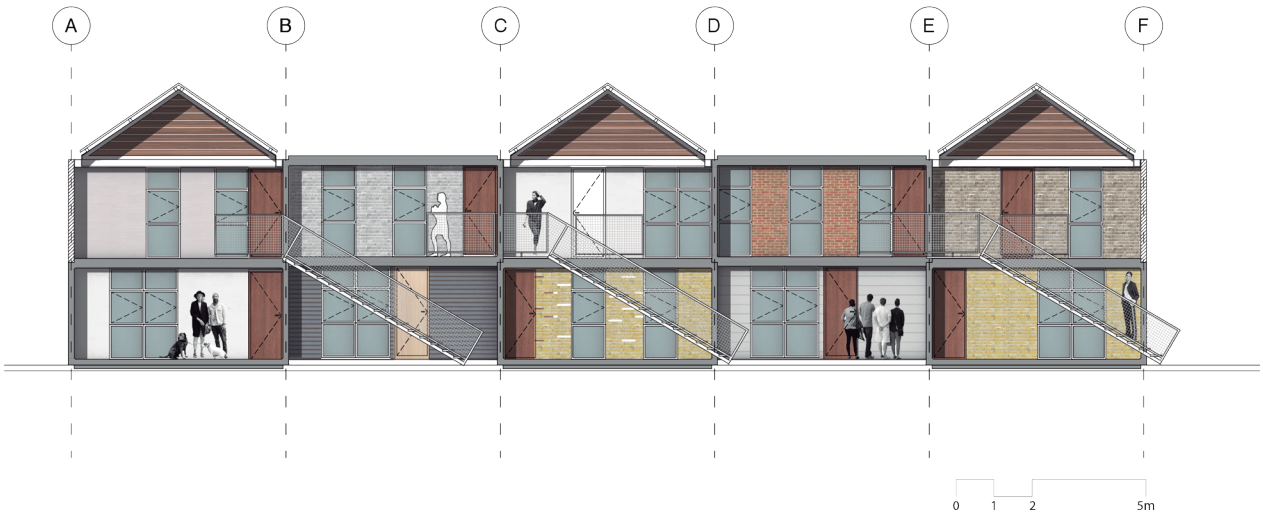


Gráfico 231
Fachadas

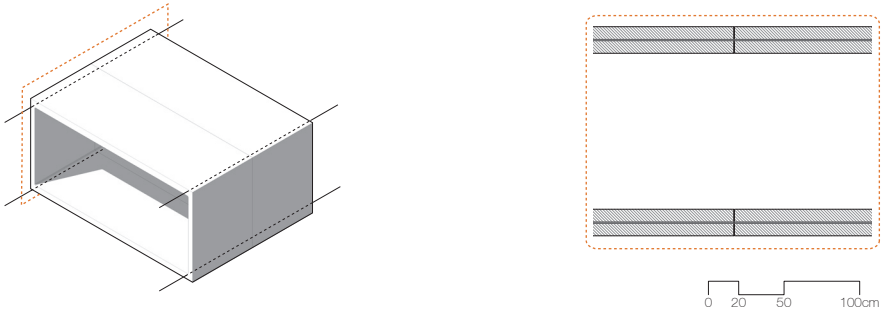


Gráfico 232
Detalles constructivos

Gráfico 233
Proceso constructivo: instalación de elementos estructurales prefabricados

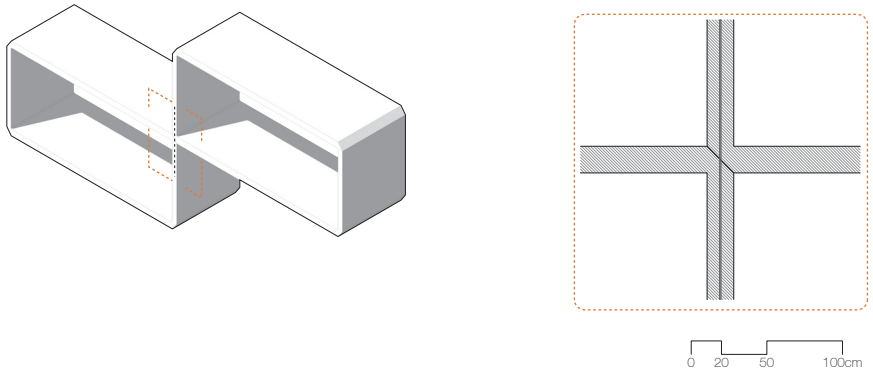


Gráfico 234
Detalles constructivos

Gráfico 235
Proceso constructivo: instalación de elementos no estructurales (muros y fachadas)

Gráfico 236 El sistema técnico, el lenguaje arquitectónico y el espacio público

8.3.1.2. Edificio de cinco pisos

Esta agrupación está compuesta por 25 casas. En los pisos primero, tercero y quinto, hay tres conjuntos de cuatro marcos estructurales de concreto prefabricado, abiertos hacia la fachada principal. En los pisos segundo y cuarto, dos conjuntos de cuatro marcos, también abiertos hacia la fachada principal, se apoyan en los marcos estructurales de los pisos primero y tercero. Los accesos a las casas se ubican junto a un corredor interior con iluminación y ventilación natural, donde hay escaleras, ascensores (si se especifica en el proyecto) y circulaciones colectivas. Según los cálculos estructurales, las fachadas pueden estar formadas por elementos no estructurales. A través de la abertura en las fachadas del primer piso, las viviendas pueden complementar el uso doméstico con actividades comerciales.

La configuración de las viviendas en altura también depende de la ubicación de la unidad de servicio, que consiste en una cocina, un área de ropas y un baño. Esta unidad de servicio se instala una vez que se completa el ensamble de la estructura de soporte que forma el edificio. Por lo tanto, a partir de su proceso de producción en los marcos estructurales, se deben prever los huecos a través de los cuales pasarán la instalación eléctrica, las redes de voz y datos y las tuberías hidrosanitarias de cada vivienda para evitar el reprocesamiento y actividades adicionales durante el período de construcción.

Una vez ubicadas las unidades de servicio, los espacios interiores de cada casa se delimitan con muros no estructurales, generando diferentes posibilidades de uso según las necesidades de cada familia. La unidad de servicio, las áreas sociales o un dormitorio pueden ubicarse hacia la fachada interior, mientras que las áreas sociales o el área privada pueden ubicarse hacia la fachada principal. Las fachadas están diseñadas con elementos no estructurales para que las condiciones ambientales de la vivienda y su lenguaje puedan adaptarse a diferentes contextos geográficos y culturales.

La unión entre los elementos estructurales se realiza de la misma manera que en las viviendas de uno y dos pisos. Las juntas de los marcos ubicados en el mismo nivel se resuelven preferiblemente a través de cables postensados, ubicados según las condiciones definidas por el cálculo estructural. También se pueden utilizar ensambles entre piezas, conectores metálicos, placas o juntas con morteros. En altura, la unión se resuelve preferiblemente con varillas de metal y morteros que conectan los marcos. De acuerdo con el cálculo estructural, el número y el diámetro de los conectores de metal pueden variar, teniendo un metro por marco como longitudes embebidas, con un diámetro de una pulgada y un mínimo de dos conectores entre los módulos.

Indicadores	
Tipo de estructura	Células espaciales
Tipo de prefabricación	Abierta
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	25
Altura de los edificios (en número de pisos)	5
Número de tipos de elementos prefabricados	1
Células espaciales estructurales	2 por vivienda
Frente (en metros lineales)	5,80
Profundidad (en metros lineales)	8,00
Sala – Comedor (en metros cuadrados)	15,60
Habitaciones (en metros cuadrados)	18,80
Cocina (en metros cuadrados)	3,80
Baño (en metros cuadrados)	4,80
Área de ropas (en metros cuadrados)	2,20
Área construida por vivienda (en metros cuadrados)	45.20

Tabla 43
Áreas del proyecto de vivienda (incluyendo muros de fachada, muros divisorias, muros interiores y circulaciones)

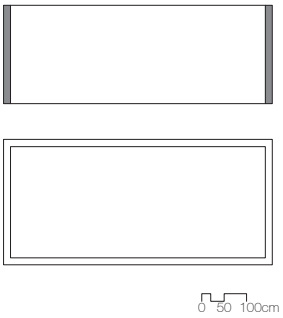


Gráfico 237
Componentes: Planta y fachada

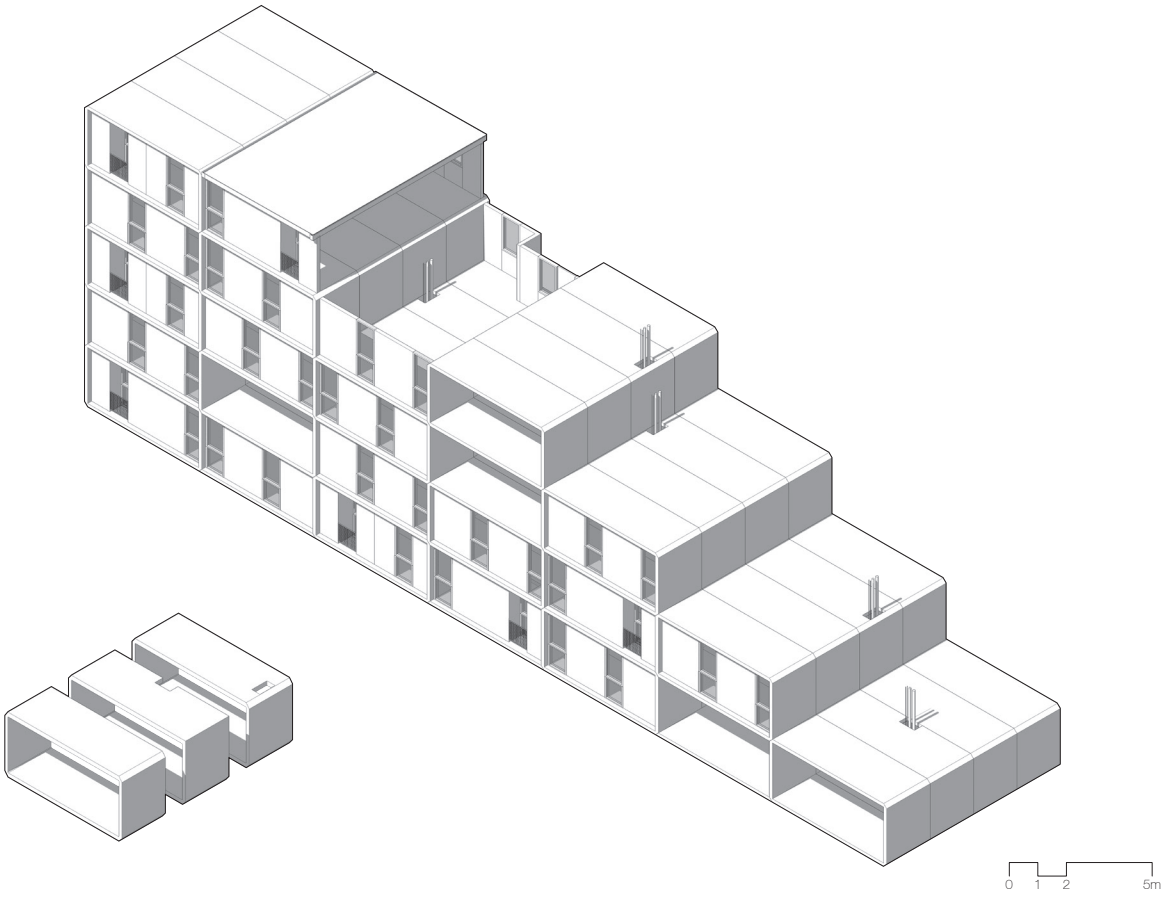


Gráfico 238
Proceso constructivo

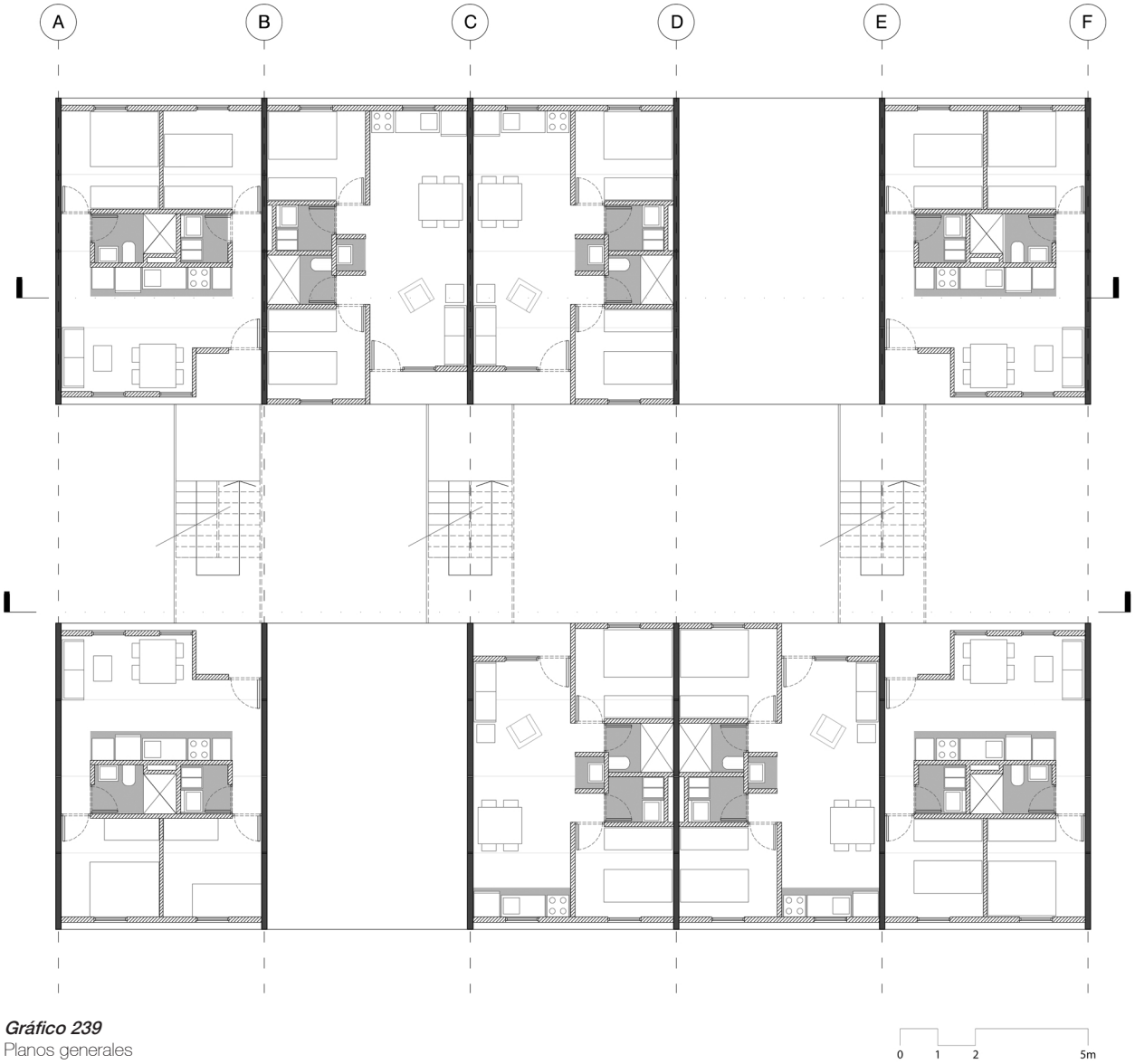


Gráfico 239
Planos generales

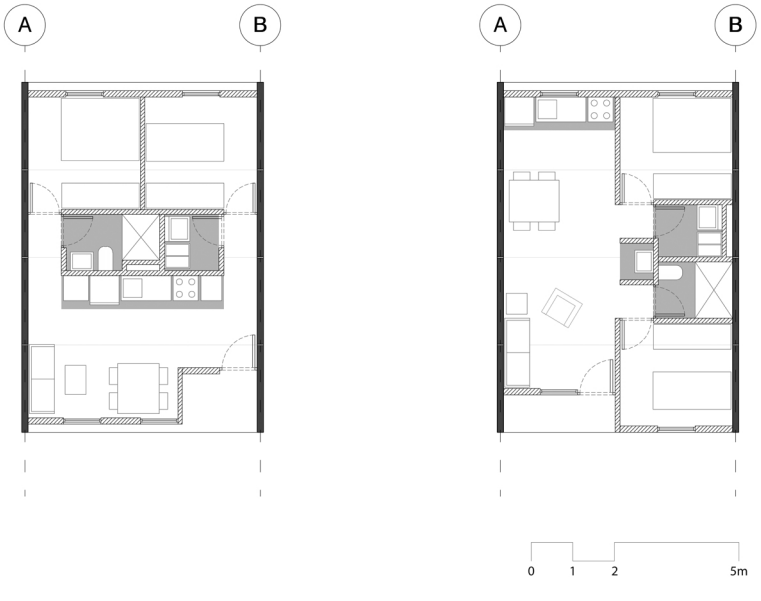


Gráfico 240
Tipologías de vivienda

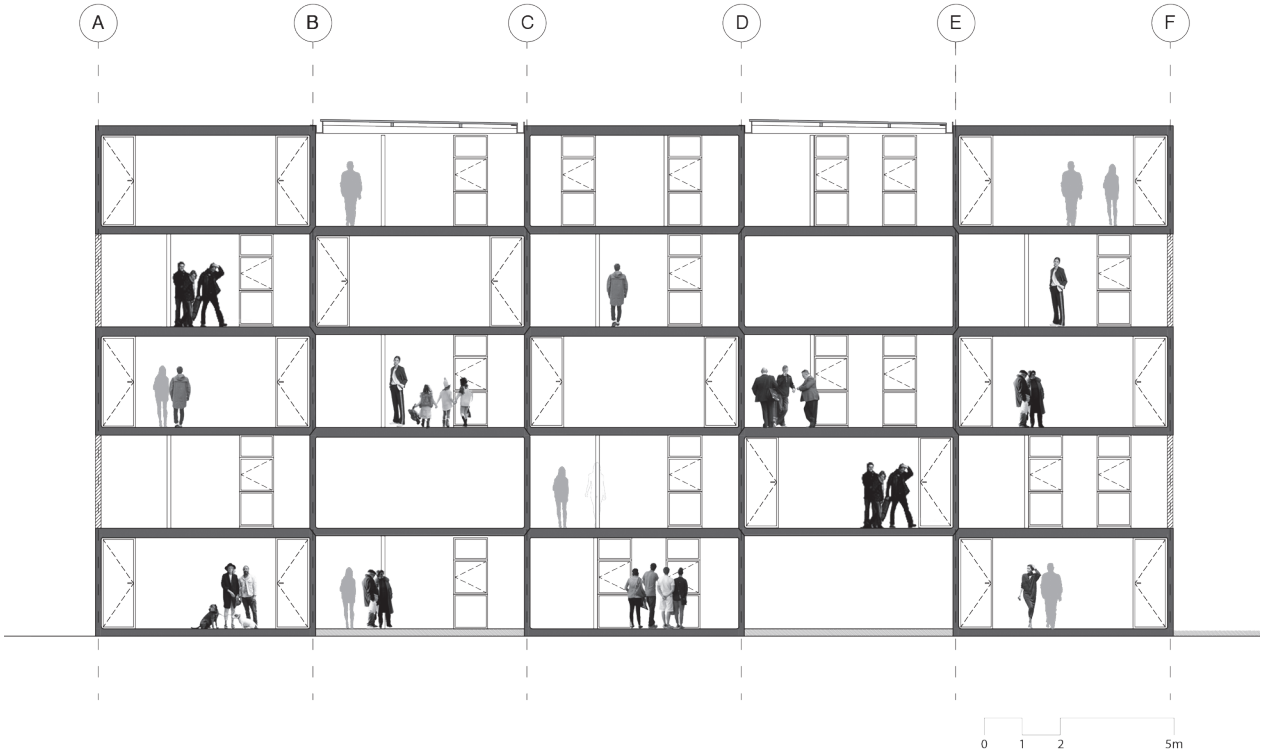


Gráfico 241
Secciones

Gráfico 242
Fachadas

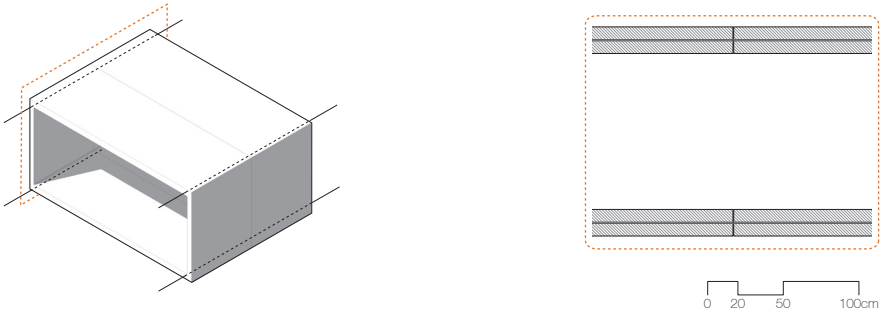


Gráfico 243
Detalles constructivos

Gráfico 244
Proceso constructivo: instalación de elementos estructurales prefabricados

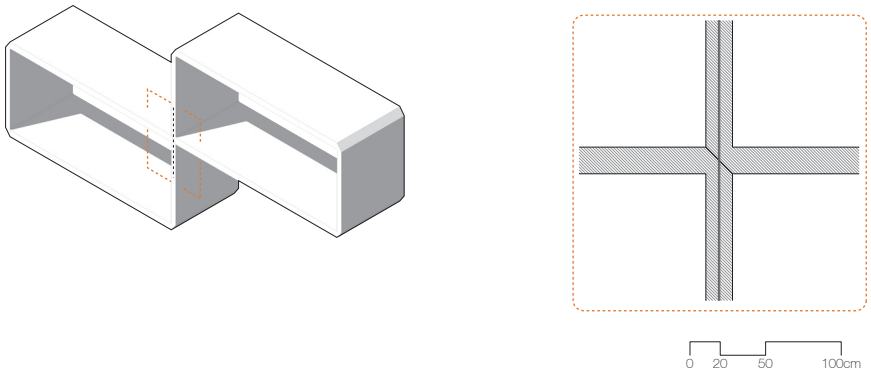


Gráfico 245
Detalles constructivos

Gráfico 246
Proceso constructivo: instalación de elementos no estructurales (muros interiores y fachadas)

Gráfico 247 El sistema técnico, el lenguaje arquitectónico y el espacio público.

8.3.2. Vivienda Social B. Marcos transversales industrializados

En esta agrupación, los marcos estructurales de concreto están dispuestos transversalmente, orientando sus muros laterales hacia la fachada principal. Entre ellos, se instalan muros o ventanas no estructurales para terminar de configurar el sistema de fachada y los espacios interiores. En esta tipología de viviendas, se proponen edificios de dos y cinco pisos. Cada marco estructural tiene una profundidad de 5,80m, 1,80m frente a las fachadas principal y posterior y 2,70m de altura. Los dos muros y las dos losas tienen un grosor entre 15cm y 20cm. En altura, los marcos se unen preferiblemente a través de varillas metálicas que rigidicen las uniones entre ellos. Cada vivienda también está formada modularmente por las dimensiones de los marcos y por los huecos entre ellos. La única fijación entre los marcos se da en altura, debido a la configuración del sistema. Las viviendas conformadas por estos marcos tienen 5,50 metros libres de profundidad por 8,10 metros libres de ancho. Al contar el área promedio de los muros laterales, cada vivienda tiene un área de 47,85m² construidos y un área interior de 44,53m². El área de servicio (cocina, ropas y baño) está agrupada en uno de los lados de la vivienda, lo que permite concentrar las instalaciones de agua, electricidad y redes de voz y datos en el mismo punto. La ubicación de las unidades de servicio hacia las fachadas delanteras y traseras garantiza la ventilación y la iluminación natural de estos espacios. Esta condición desplaza la estructura de soporte a los perímetros y genera una planta libre, que también permite la iluminación y ventilación natural permanente en todos los espacios de la vivienda, una situación deseable para los diseños bioclimáticos y para la cualificación ambiental. Las fachadas están formadas inicialmente por el orden y el ritmo establecidos por elementos estructurales, que ocupan el 50% de las fachadas delanteras y traseras. Se complementan con la presencia de elementos no estructurales, que ocupan el otro 50% de la fachada, y que garantizan la iluminación y la ventilación natural de los espacios interiores. El diseño y la materialidad de las divisiones interiores se pueden definir de acuerdo con las necesidades o deseos de los usuarios.

8.3.2.1. Casa de dos pisos

La disposición transversal de los elementos estructurales significa que cada vivienda utiliza un promedio de 2.5 marcos estructurales de concreto prefabricado. En el primer piso, se resuelven cinco viviendas con 13 marcos. La separación entre ellos genera las aberturas que luego se utilizan como accesos a la vivienda en el primer o segundo piso, o como ventanas. En el segundo piso, 12 marcos estructurales, apoyados en los del primer piso, completan la conformación del grupo de viviendas. En las casas de dos pisos, se pueden proponer áreas de crecimiento futuro entre el área social y los dormitorios.

Este tipo de vivienda ilumina cada uno de sus espacios interiores desde las fachadas frontal y posterior. La unidad de servicio (que consta de una cocina, un área de ropas y un baño) puede ubicarse en un extremo de la vivienda o en su parte central, lo que genera diferentes modelos de ocupación, según los diseños arquitectónicos o las preferencias de los habitantes. El área social y las habitaciones se pueden ubicar de diferentes maneras, ya que el espacio restante es libre que se puede dividir por elementos no estructurales.

En las viviendas de dos pisos, la unión entre los marcos estructurales que se ubican en diferentes niveles se realiza preferiblemente mediante ensambles geométricos y varillas metálicas que refuerzan la unión y restringen los movimientos de la estructura. Los elementos para la unión de los marcos se especifican a partir de los diseños estructurales, que consideran la capacidad de carga del terreno, la altura del edificio y la zona de riesgo sísmico. Horizontalmente, la disposición de los marcos no requiere una fijación adicional, ya que la unión en altura a través de los refuerzos estructurales y los ensambles geométricos garantizan la restricción de los movimientos de los elementos que conforman la estructura del edificio.

Indicadores	
Tipo de estructura	Células espaciales
Tipo de prefabricación	Abierta
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	10
Altura de los edificios (en número de pisos)	2
Número de tipos de elementos prefabricados	4
Células espaciales estructurales	2,5 por vivienda
Frente (en metros lineales)	8,40
Profundidad (en metros lineales)	5,80
Sala – Comedor (en metros cuadrados)	19,20
Habitaciones (en metros cuadrados)	17,85
Cocina (en metros cuadrados)	3,80
Baño (en metros cuadrados)	4,80
Área de ropas (en metros cuadrados)	2,20
Área construida por vivienda (en metros cuadrados)	47.85

Tabla 44
Áreas del proyecto de vivienda (incluyendo muros de fachada, muros divisorias, muros interiores y circulaciones)

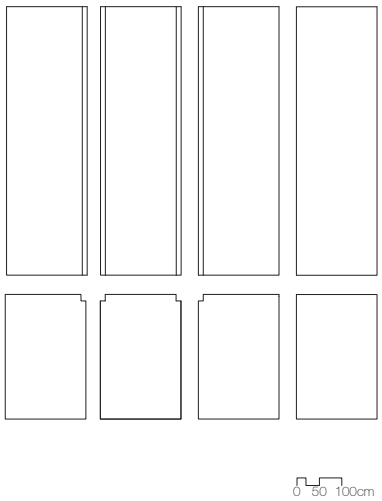


Gráfico 248
Componentes: Planta y fachada

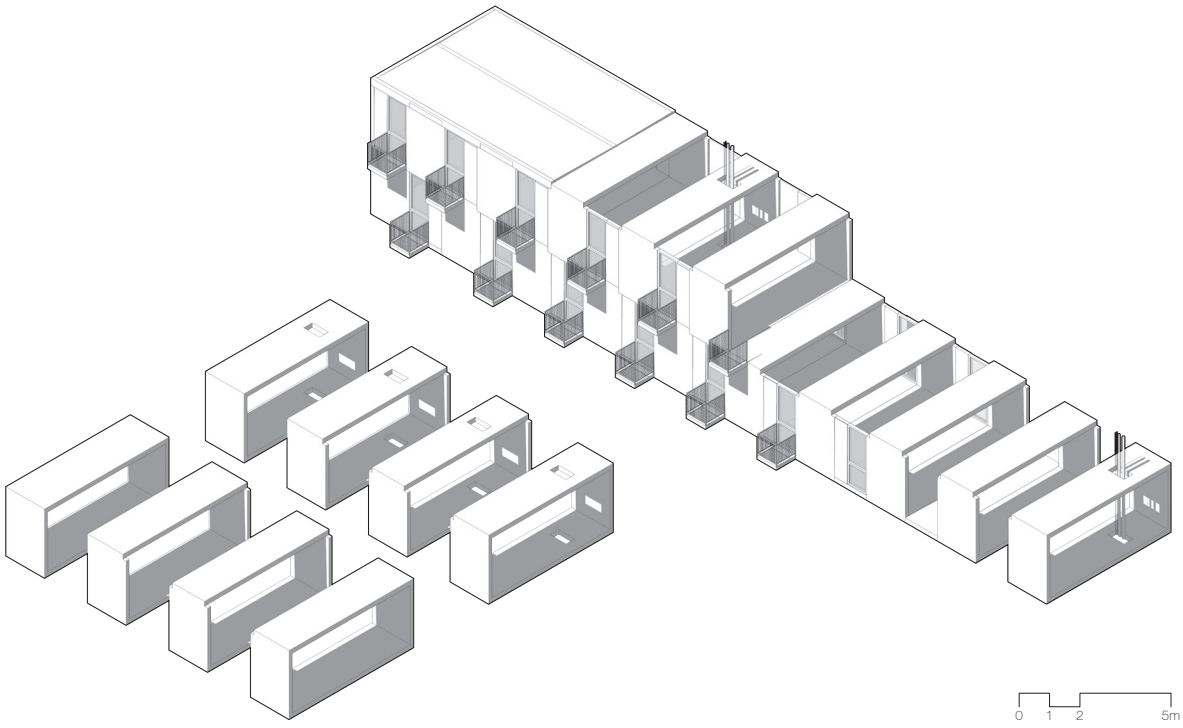


Gráfico 249
Proceso constructivo

Gráfico 250
Planos generales

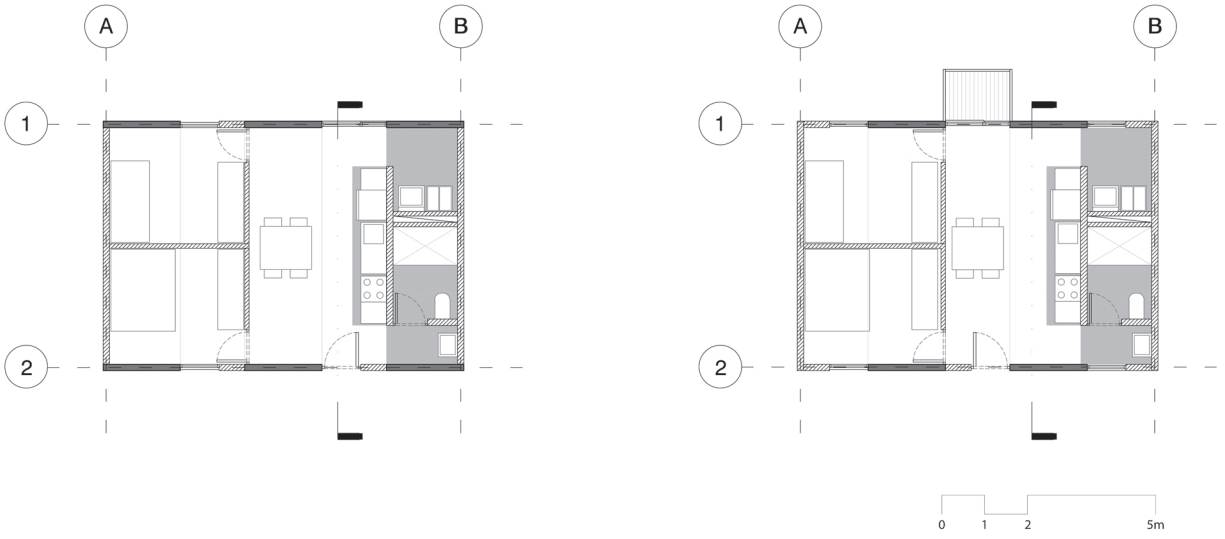


Gráfico 251
Tipologías de vivienda

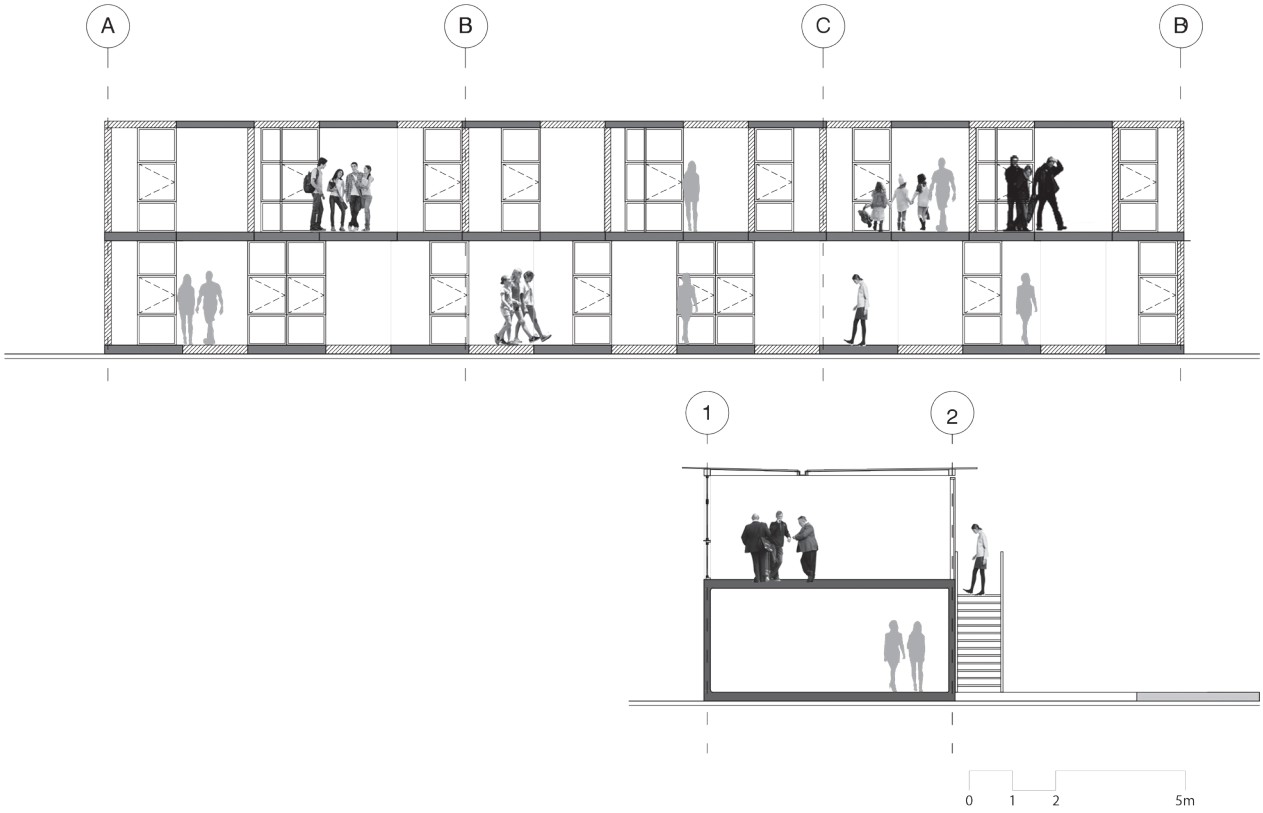


Gráfico 252
Secciones

Gráfico 253
Fachadas

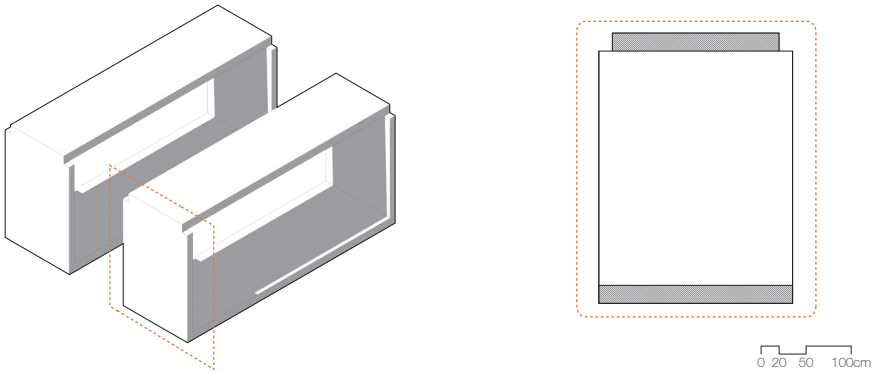


Gráfico 254
Detalles constructivos

Gráfico 255
Proceso constructivo: instalación de elementos estructurales prefabricados

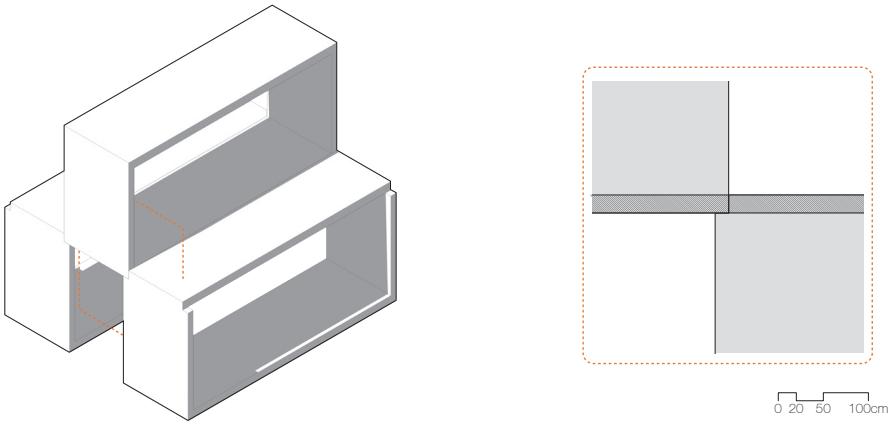


Gráfico 256
Detalles constructivos

Gráfico 257
Proceso constructivo: instalación de elementos no estructurales (muros interiores y fachadas)

Gráfico 258 El sistema técnico, el lenguaje arquitectónico y el espacio público

8.3.2.2. Edificio de cinco pisos

Para el diseño y la construcción de un edificio de cinco pisos, con cinco viviendas por piso, los marcos estructurales prefabricados se instalan con los mismos criterios de orientación utilizados para la construcción de un edificio de dos pisos. La conformación de rellenos y huecos en las fachadas genera condiciones estructurales y estéticas que, desde los diseños arquitectónicos, responden a diferentes condiciones del contexto. El acceso a las unidades de vivienda se realiza a través de las circulaciones comunes, ubicadas en la fachada posterior, donde también se encuentran las escaleras y los ascensores.

La ubicación transversal de los marcos en cinco pisos genera tipologías arquitectónicas similares a las utilizadas en los edificios de dos pisos. Las unidades de servicio (también compuestas por una cocina, un área de ropas y un baño en la vivienda típica) deben ubicarse en el mismo punto en cada uno de los pisos del edificio para garantizar el funcionamiento eficiente de las instalaciones eléctricas, de plomería y las instalaciones de redes de voz y de datos. Los marcos de concreto prefabricado deben considerar, desde su producción industrial, las perforaciones en las losas para el paso de los conductos técnicos indicados en los diseños arquitectónicos. No es recomendable perforar los elementos estructurales durante el proceso de construcción. Por lo tanto, teniendo en cuenta la estructura de soporte y la ubicación de las instalaciones técnicas definidas, el resto del piso de la vivienda es libre y permite diferentes distribuciones del área social y las habitaciones. En este tipo de edificio, las aberturas en las fachadas delantera y trasera iluminan y ventilan naturalmente cada uno de los espacios interiores.

Las uniones entre los marcos estructurales ubicados en cada uno de los pisos se especifican preferiblemente mediante ensambles geométricos, que están reforzados con pasadores o varillas de metal que unen los marcos en diferentes alturas. La unión con las varillas de metal puede reforzarse con una lechada en las perforaciones de los marcos para rigidizar sus movimientos. Las dimensiones de estas varillas metálicas se calculan de acuerdo con el número de pisos del edificio, las condiciones del terreno y las zonas de riesgo sísmico. En el mismo nivel, los marcos no requieren una unión adicional, ya que los ensambles entre ellos en diferentes alturas rigidizan el sistema estructural.

Indicadores	
Tipo de estructura	Células espaciales
Tipo de prefabricación	Abierta
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	25
Altura de los edificios (en número de pisos)	5
Número de tipos de elementos prefabricados	4
Células espaciales estructurales	2,5 por vivienda
Frente (en metros lineales)	8.40
Profundidad (en metros lineales)	5.80
Sala – Comedor (en metros cuadrados)	19.20
Habitaciones (en metros cuadrados)	17.85
Cocina (en metros cuadrados)	3.80
Baño (en metros cuadrados)	4.80
Área de ropas (en metros cuadrados)	2.20
Área construida por vivienda (en metros cuadrados)	47.85

Tabla 45
Áreas del proyecto de vivienda (incluyendo muros de fachada, muros divisorios, muros interiores y circulaciones)

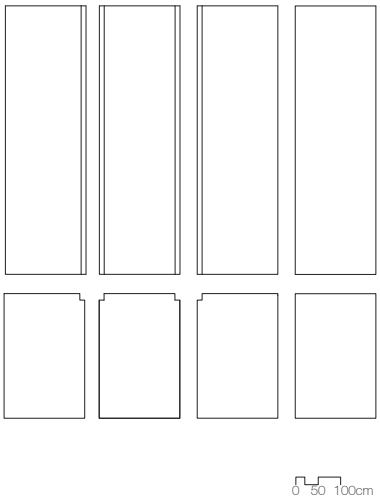


Gráfico 259
Componentes: Planta y fachada

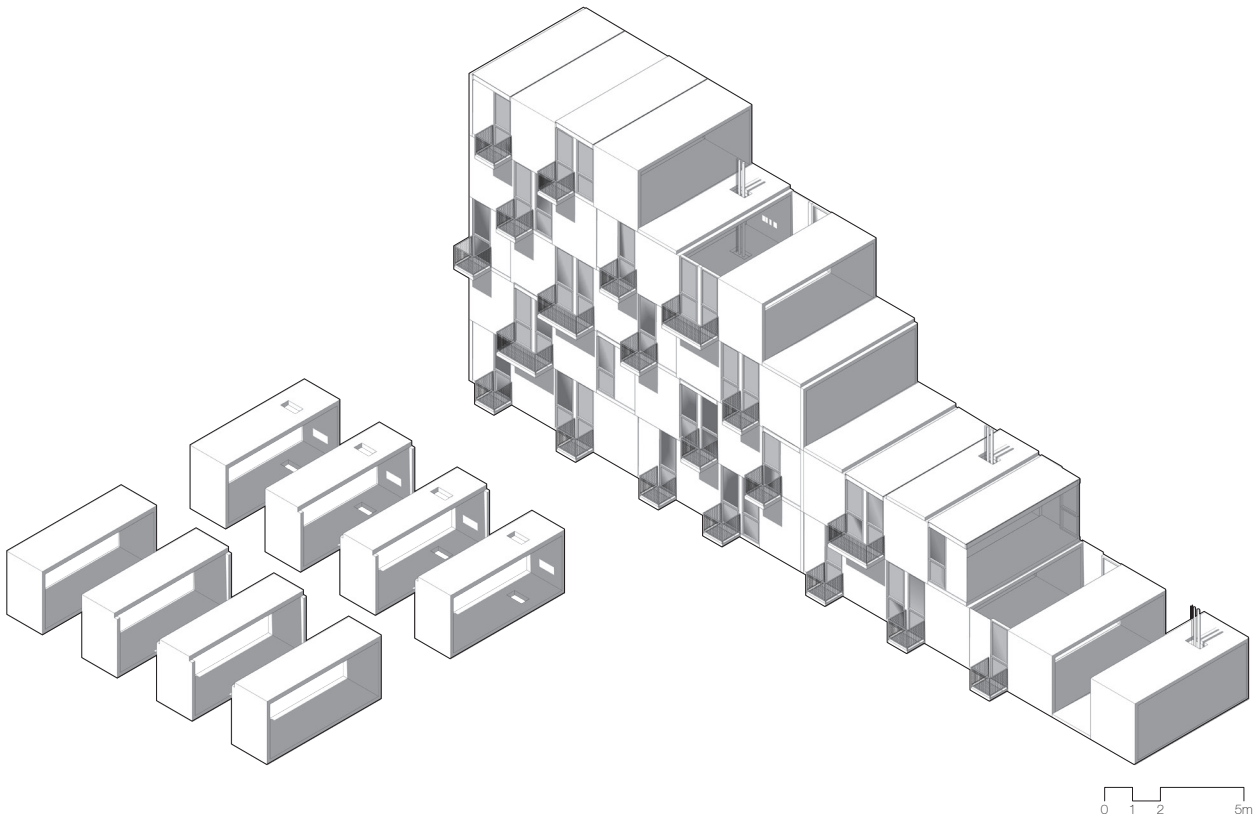


Gráfico 260
Proceso constructivo

Gráfico 261
Planos generales

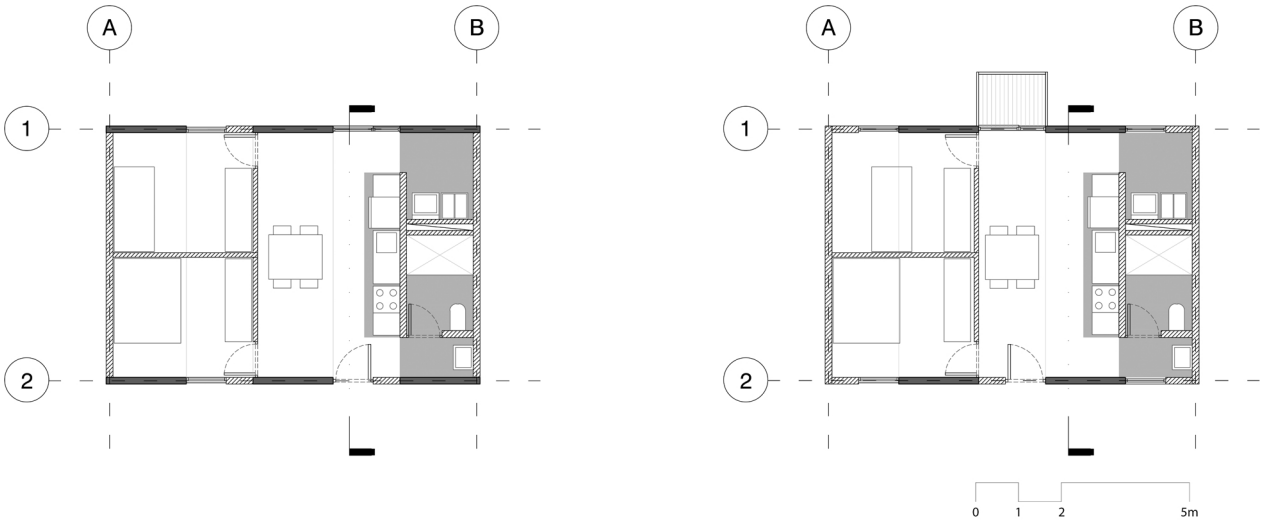


Gráfico 262
Tipologías de vivienda

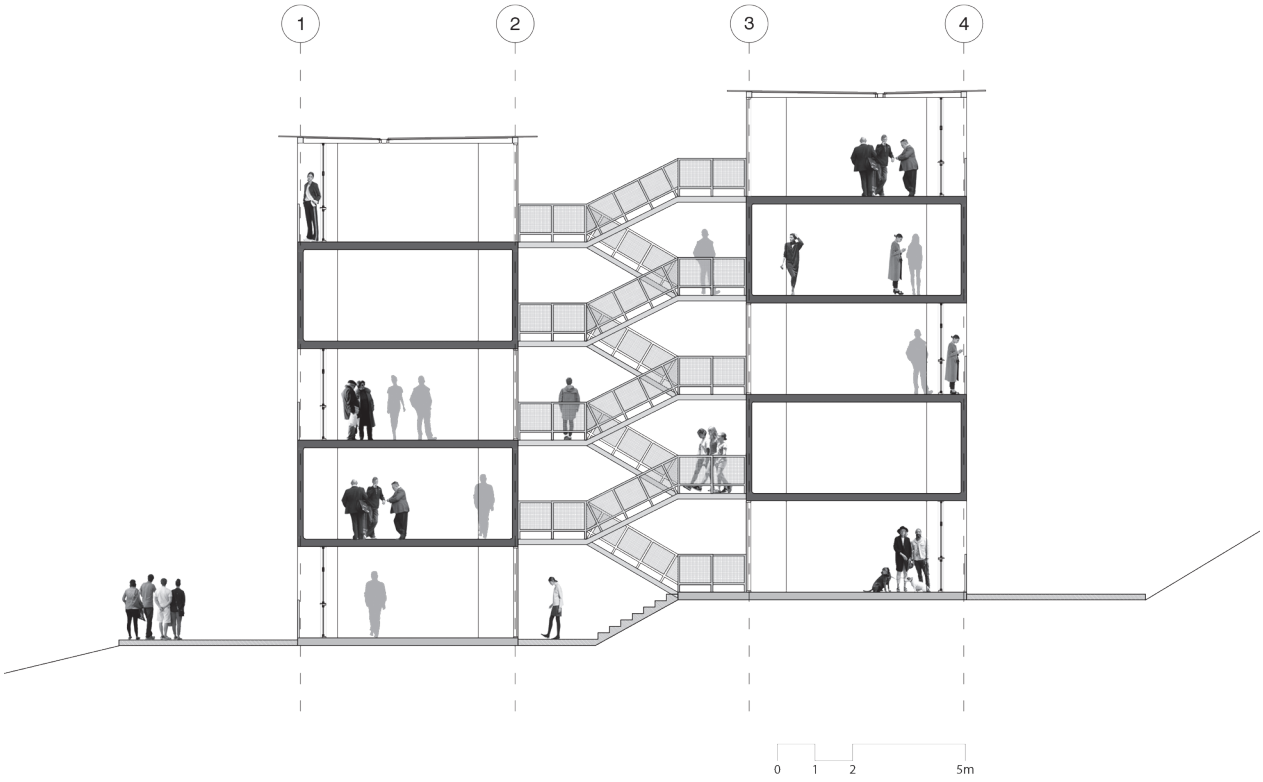


Gráfico 263
Secciones

Gráfico 264
Fachadas

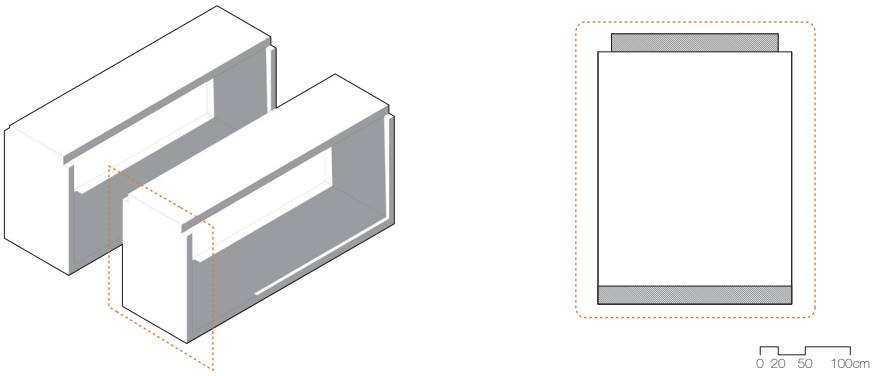


Gráfico 265
Detalles constructivos

Gráfico 266
Proceso constructivo: instalación de elementos estructurales prefabricados

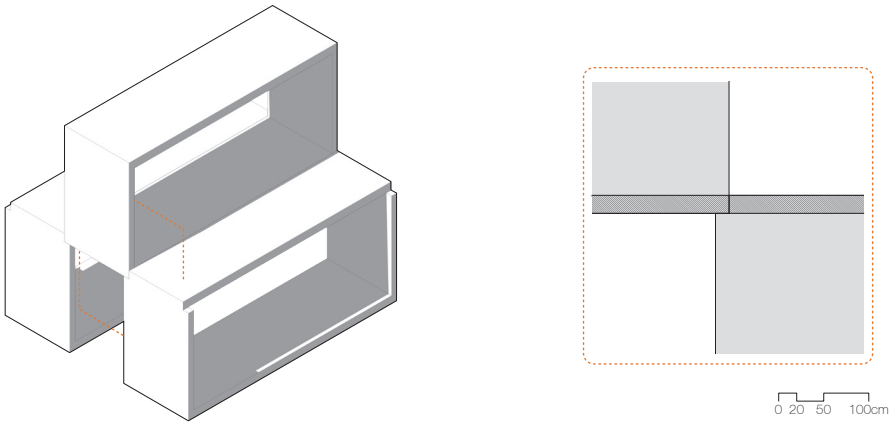


Gráfico 267
Detalles constructivos

Gráfico 268
Proceso constructivo: instalación de elementos no estructurales (muros interiores y fachadas)

Gráfico 269 El sistema técnico, el lenguaje arquitectónico y el espacio público

8.3.3. Vivienda Social C. Agrupación mixta: marcos industrializados lineales y transversales

En esta agrupación urbana, los marcos estructurales de concreto están dispuestos de manera lineal y transversal, lo que permite configurar un conjunto diverso de tipologías habitables. En este edificio se continúa el mismo principio estructural; consiste en dos marcos inferiores que soportan otro marco ubicado en el piso superior. Los espacios libres entre los marcos pueden ser ocupados por muros no estructurales o ventanas. En esta tipología, que incluye el diseño lineal y transversal de los marcos, también se proponen edificios de dos y cinco pisos; se utiliza un promedio de 2,5 marcos estructurales de concreto prefabricado por vivienda. Los espacios libres entre los marcos generan las aberturas que posteriormente se utilizan como accesos o ventanas. Cada agrupación de marcos tiene las dimensiones de los sistemas lineal y transversal. El ancho de 5,80m permanece constante; las profundidades varían entre 1,80m y 2,00m según el tipo de configuración arquitectónica y espacial que se busca. Los dos muros y las dos losas de cada marco tienen un grosor entre 15cm y 20cm, de acuerdo con los cálculos estructurales para cada edificio y entre ellos están unidos preferiblemente (entre otras opciones), por varillas metálicas en altura o con cables de postensado cuando los marcos se unen horizontalmente. Las unidades de cocina, ropas y baño están ubicadas en un lado de la vivienda para permitir el desarrollo de diferentes tipologías en el mismo piso. Esto también permite que las instalaciones eléctricas, hidrosanitarias y de redes de voz y de datos se coloquen continuamente entre los diferentes niveles del edificio, de modo que la construcción sea más eficiente y los pisos libres (como un espacio resultante de la disposición de los elementos estructurales y las unidades de servicio), pueden recibir diferentes tipos de viviendas, según las características de sus ocupantes. Las fachadas están formadas por los elementos estructurales y por los elementos no estructurales dispuestos de diferentes formas según los diseños arquitectónicos, una condición que aumenta las variantes en el lenguaje del sistema, genera otras condiciones para los techos de las casas y responde a las condiciones ambientales, culturales, técnicas y sociales. La combinación de marcos lineales y transversales en el mismo edificio genera – además del aumento de la variedad tipológica – otras posibilidades en su lenguaje de las condiciones de individualidad, adaptabilidad a diferentes contextos e incrementalidad en su proceso de ocupación.

Indicadores	
Tipo de estructura	Células espaciales
Tipo de prefabricación	Abierta
Número de unidades de vivienda (en promedio, por edificio)	25
Altura de los edificios (en número de pisos)	5
Número de tipos de elementos prefabricados	5
Células espaciales estructurales	2,05 por vivienda
Frente (en metros lineales)	5.80 / 8.40
Profundidad (en metros lineales)	8.00 / 5.80
Sala – Comedor (en metros cuadrados)	15.60 / 19.20
Habitaciones (en metros cuadrados)	18.80 / 17.85
Cocina (en metros cuadrados)	3.80 / 3.80
Baño (en metros cuadrados)	4.80 / 4.80
Área de ropas (en metros cuadrados)	2.20 / 2.20
Área construida por vivienda (en metros cuadrados)	45.20 / 47.85

Tabla 46
Áreas del proyecto de vivienda (incluyendo muros de fachada, muros divisorios, muros interiores y circulaciones)

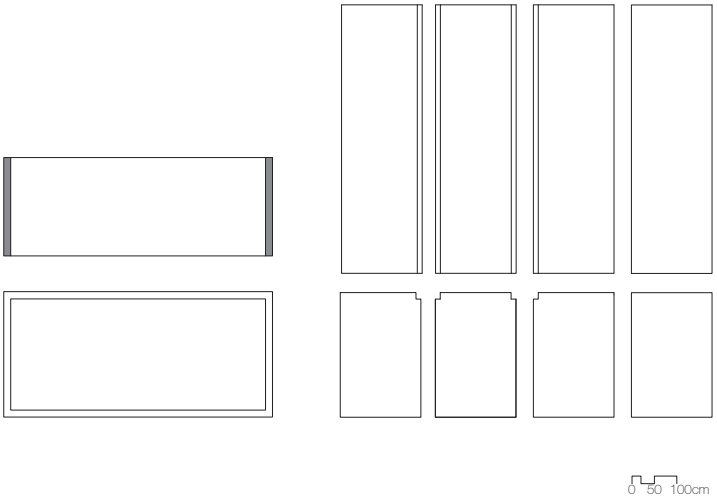


Gráfico 270
Componentes: Planta y fachada

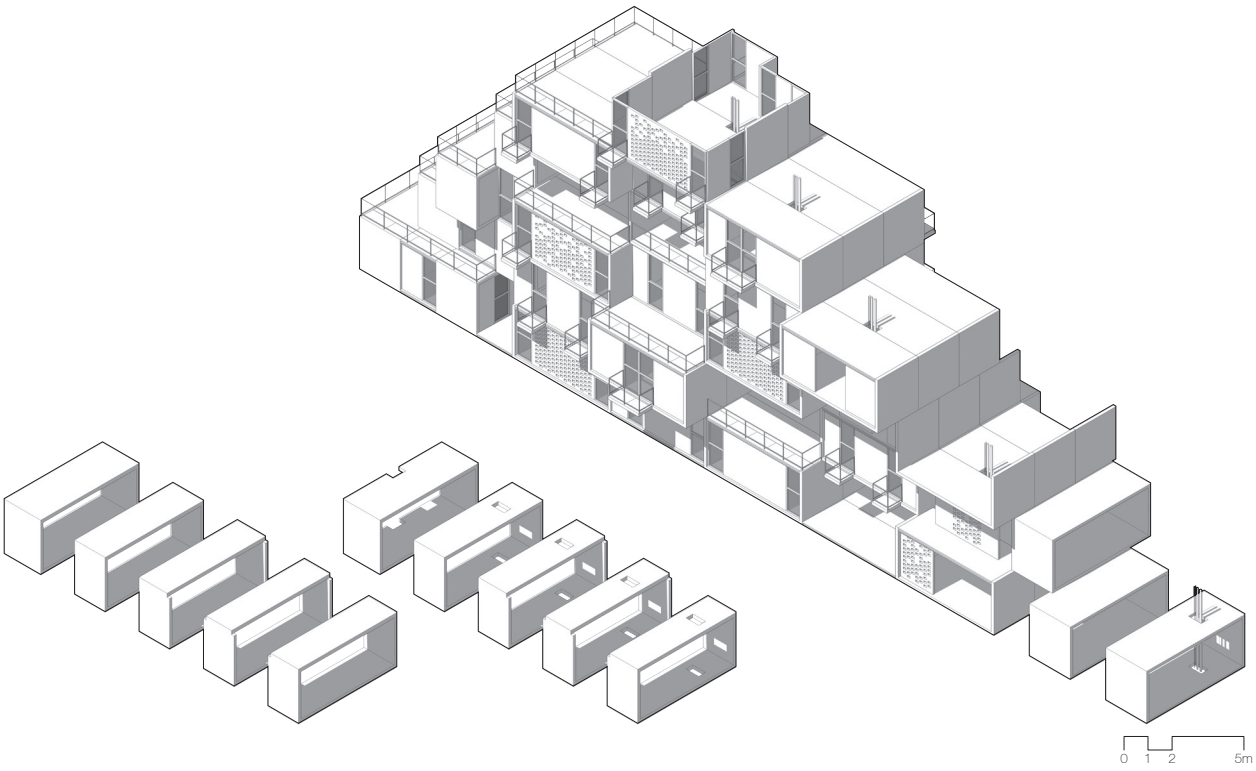


Gráfico 271
Proceso constructivo

Gráfico 272
Planos generales

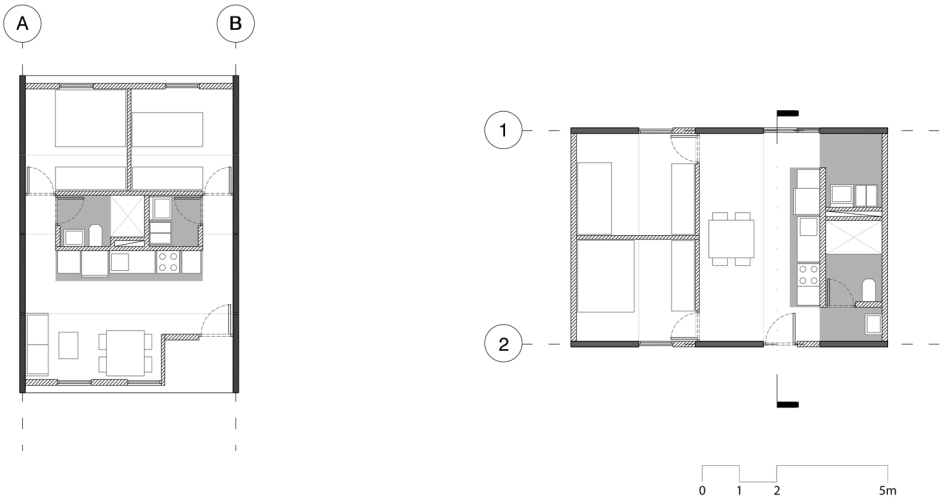


Gráfico 273
Tipologías de vivienda

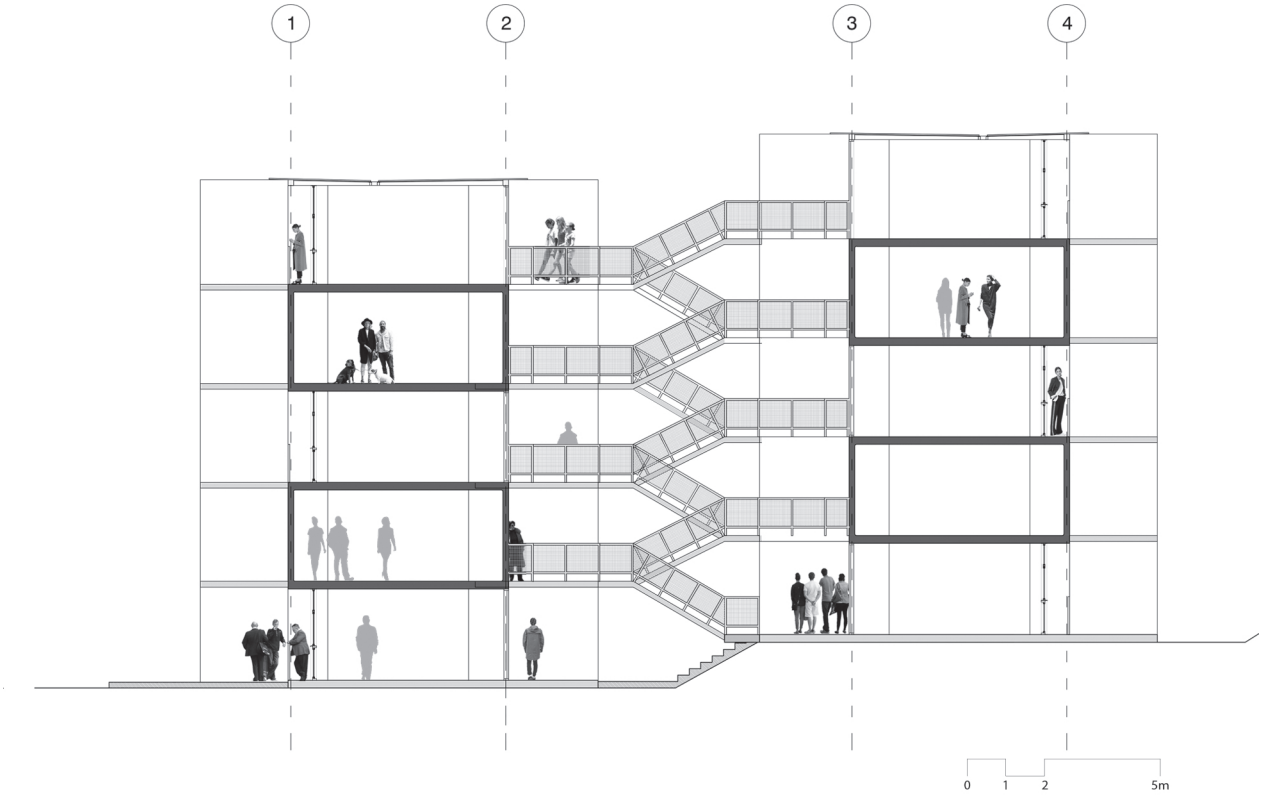


Gráfico 274
Secciones

Gráfico 275
Fachadas

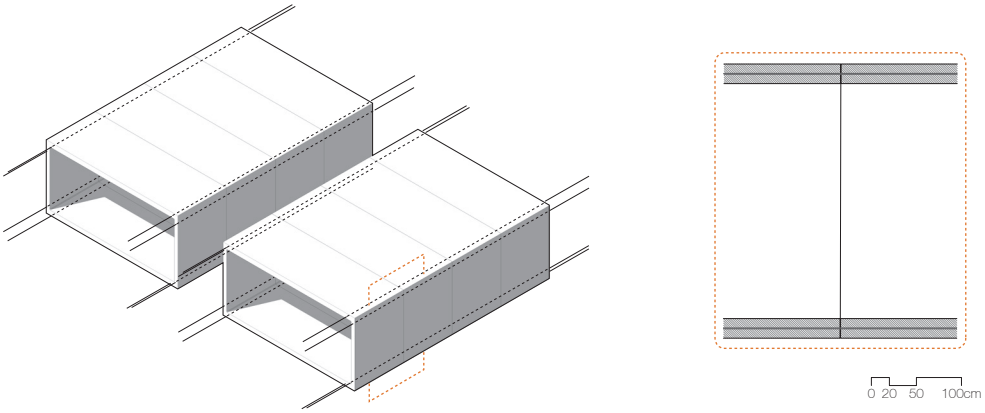


Gráfico 276
Detalles constructivos

Gráfico 277
Proceso constructivo: instalación de elementos estructurales prefabricados

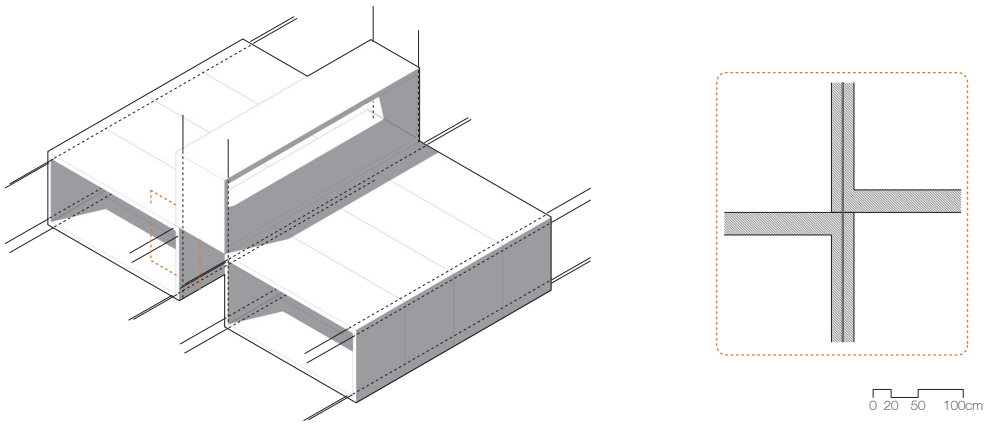


Gráfico 278
Detalles constructivos

Gráfico 279
Proceso constructivo: instalación de elementos no estructurales (muros interiores y fachadas)

Gráfico 280 El sistema técnico, el lenguaje arquitectónico y el espacio público

8.4. Prototipos

En abril de 2015, se construyeron dos prototipos de viviendas sociales en concreto prefabricado en un *campus* alternativo de la Universidad Pontificia Bolivariana en el municipio de Marinilla, a 45 km al este de Medellín. También se construyó la estructura de soporte de un tercer módulo de vivienda, de acuerdo con los principios teóricos propuestos en el desarrollo de esta investigación.

8.4.1. Prototipo A

El primero de los prototipos corresponde a la vivienda del patio central. Su frente es de 5,80m de largo y su longitud es de 10,00m, incluidos 2,00 metros lineales de patio entre la zona social y las habitaciones. Las fachadas frontal y posterior se construyeron con elementos no estructurales y, por lo tanto, las aberturas se definieron a partir del diseño arquitectónico. El área total construida es de 46,40m². El soporte estructural se construyó con cuatro marcos de concreto prefabricado con las siguientes dimensiones: 5,80m de largo en la parte delantera, 2,00m de profundidad y 2,70m de altura. Los muros fueron prefabricados con un grosor de 15cm, y las losas de piso y techo, con un grosor de 15cm. Los marcos estructurales forman los muros laterales, la losa de piso y el techo de la vivienda. Las fachadas se construyeron con bloques de concreto de 10cm x 15cm x 30cm, coordinados dimensionalmente con los muros y los elementos estructurales prefabricados. Los muros interiores se construyeron con bloques de concreto de 10cm x 20cm x 40cm, con los mismos criterios de coordinación dimensional que las fachadas. El terreno tuvo un reemplazo de 60cm por material de piedra y arenilla, para mejorar sus características de apoyo y de acuerdo con el estudio geotécnico realizado antes de la construcción.

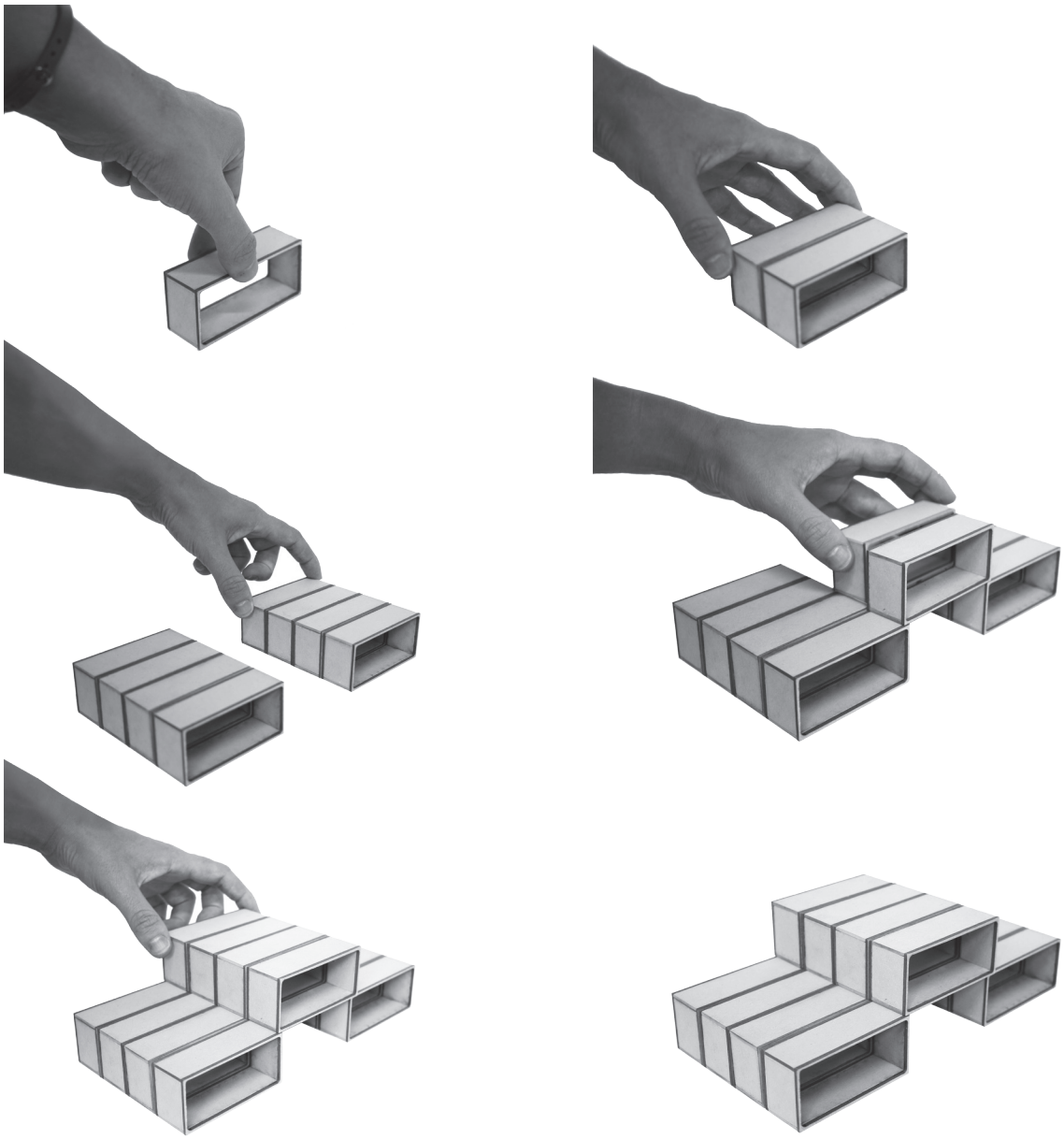


Figura 49
Prototipo A. Modelo de sistema de agrupación

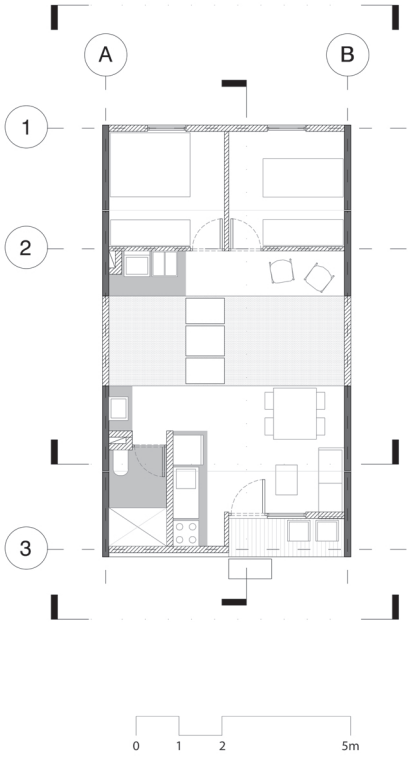


Gráfico 281
Planos arquitectónicos

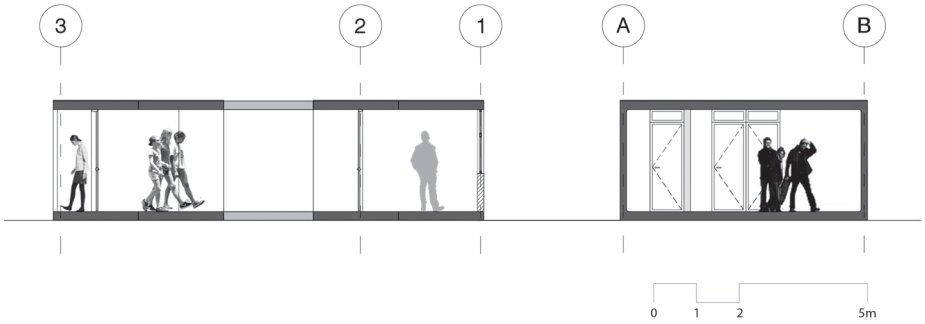


Gráfico 282
Secciones

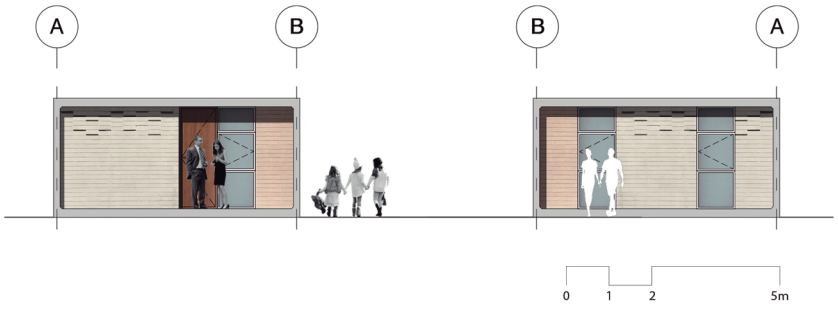


Gráfico 283
Fachadas

8.4.2. Prototipo B

El segundo prototipo es una vivienda de dos pisos. Las fachadas fueron construidas en la planta baja; en el piso superior, sólo la estructura de soporte quedó a la vista. Su frente es de 8,40m de largo y su longitud es de 5,80m. La superficie construida es de 48,72m². La estructura de soporte para los dos prototipos se construyó con cinco marcos de concreto prefabricado con las siguientes dimensiones: 1,80m de largo en la parte delantera, 5,80m de largo y 2,70m de alto. Según su configuración, los marcos estructurales forman parte de las fachadas, el piso y el techo. Las losas de piso entre los módulos prefabricados se construyeron con concreto vaciado *in situ*, con una resistencia de 28 MPa. Las fachadas se construyeron con bloques de concreto de 10cm x 15cm x 30cm, coordinadas dimensionalmente con las ventanas y los elementos estructurales prefabricados. Debido a su configuración, en el prototipo del primer nivel, las cuatro fachadas tienen diferentes aberturas, una situación que puede lograrse con esta tipología cuando se construye de forma individual. En un grupo de viviendas, las unidades ubicadas en la esquina pueden abrir tres de sus cuatro fachadas. Este terreno es el mismo en el que se construyó el Prototipo A, que tuvo un reemplazo de 60cm de terreno por material de piedra y arenilla para mejorar sus características de soporte.

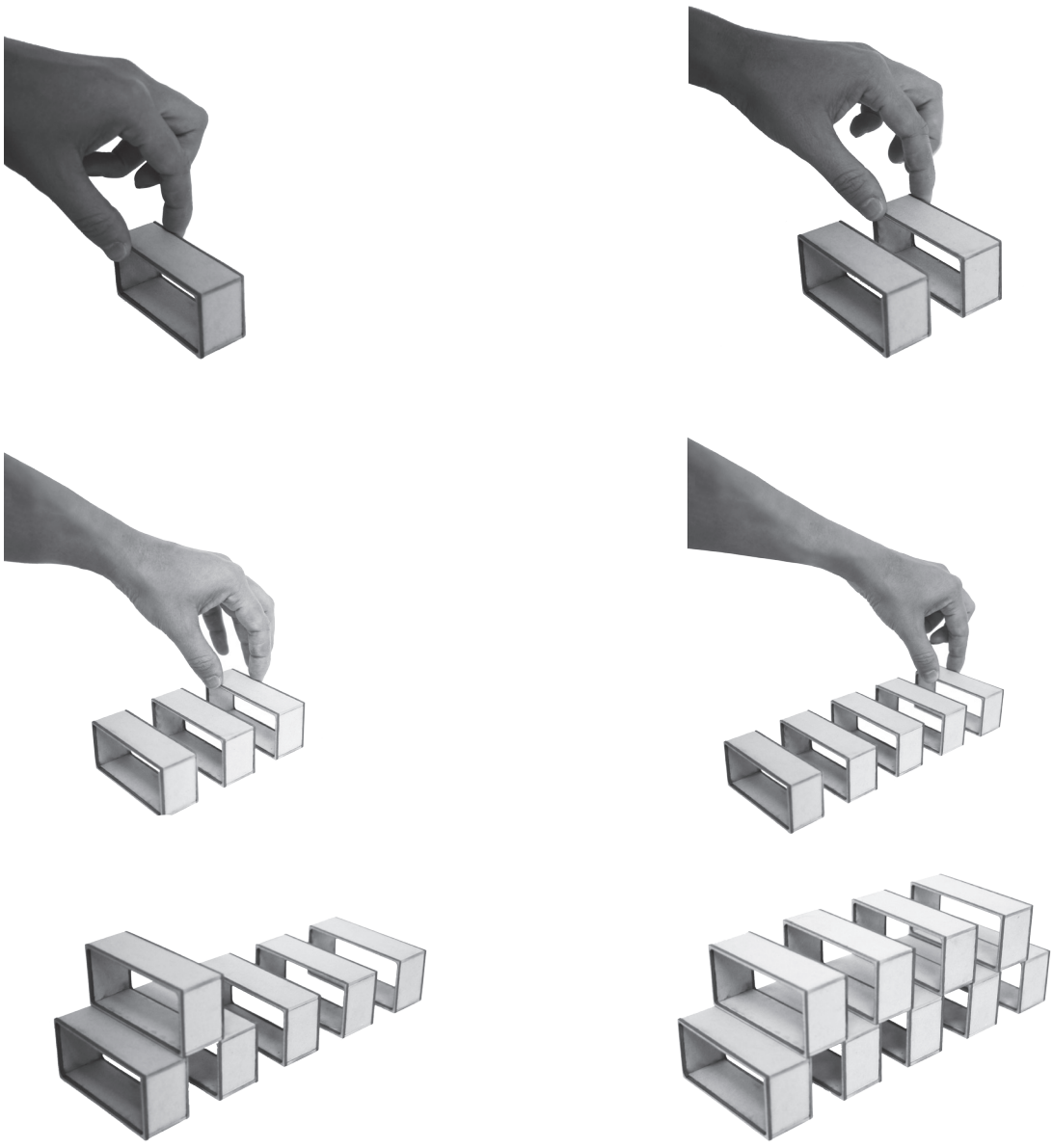


Figura 50
Prototipo B. Modelo de sistema de agrupación

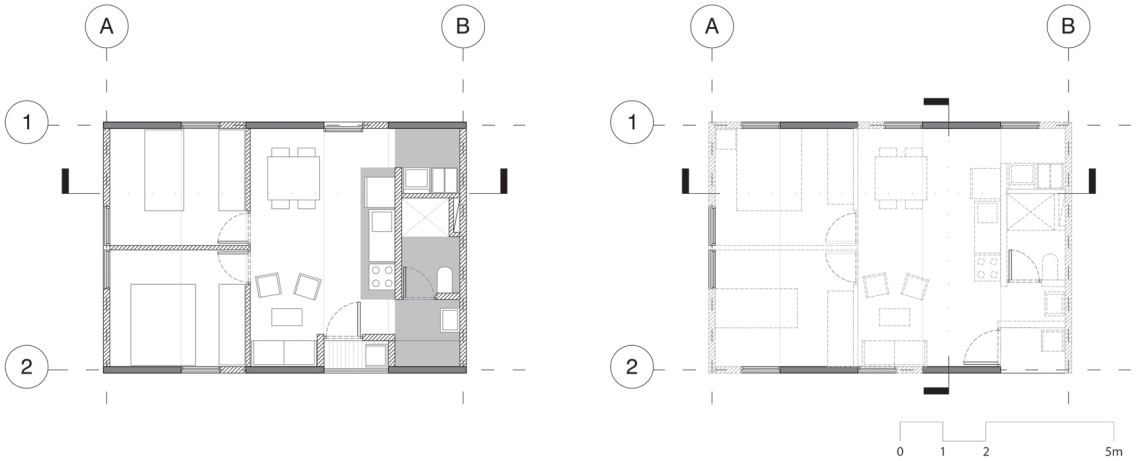


Gráfico 284
Planos arquitectónicos

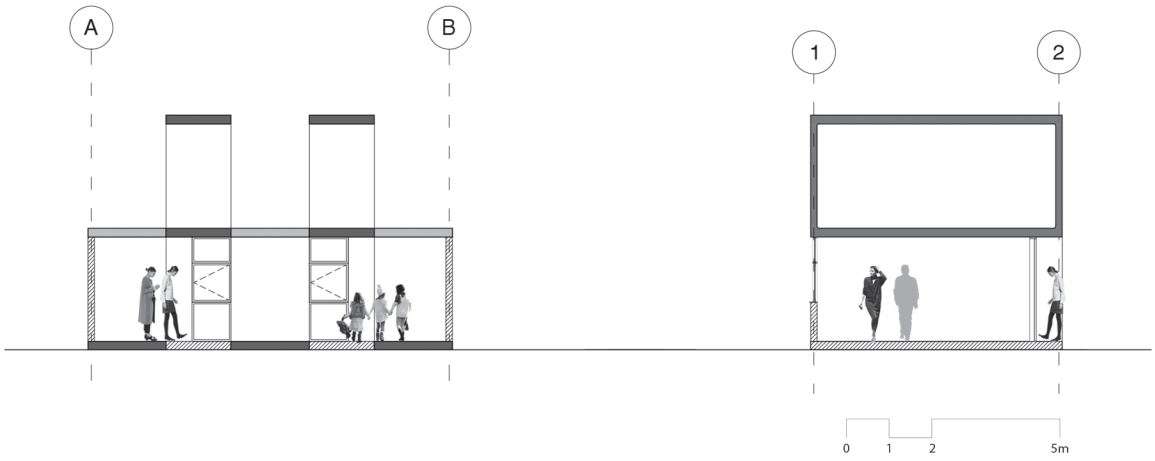


Gráfico 285
Secciones

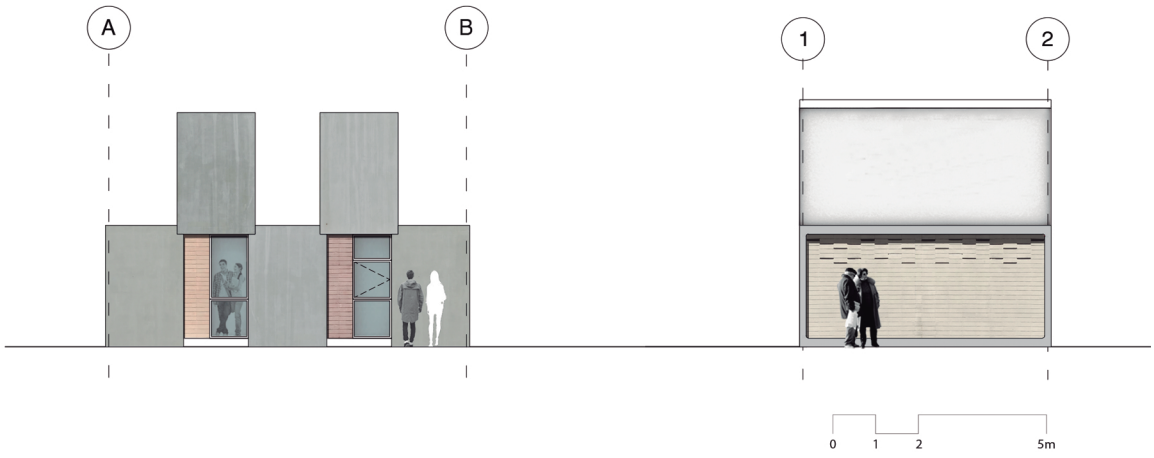


Gráfico 286
Fachadas

8.4.3. Encofrado

Se diseñó un encofrado de metal expansible para recibir el vaciado de concreto de los marcos estructurales. El diseño se realizó con el ingeniero Antonio José Cano en la ciudad de Medellín, durante diciembre de 2014 y enero de 2015. Fue fabricado por *Industria Leguz*, en el municipio de Itagüí durante febrero y marzo de 2015. Este encofrado permitió la producción de los marcos de concreto prefabricado con diferentes dimensiones. Los espesores de los muros y losas pueden alcanzar hasta 20cm por sección. El frente de los marcos estructurales podría tener una dimensión de hasta 6,00m de largo; la profundidad podría alcanzar los 2,60m y la altura podría alcanzar los 2,80m.

Figura 51
El proceso de fabricación del encofrado se realizó en los talleres de *Industria Leguz*; Itagüí, Antioquia, febrero y marzo de 2015.

8.4.4. Refuerzos estructurales

Las especificaciones de los refuerzos estructurales son variables según la altura del edificio y la capacidad de carga del terreno. En la construcción de los prototipos, se diseñaron dos mallas bidimensionales para cada uno de los componentes del marco estructural.

Para los marcos tipo piso, que se desempeñan como los cimientos del edificio, el diseño de los refuerzos estructurales se realizó de la siguiente manera:

- En la losa del piso, en su parte inferior, se diseñó una primera malla de refuerzo estructural bidimensional, que mide 3/8" de diámetro. En la parte superior, se diseñó una malla bidimensional de 1/2".
- En la losa del techo, en su parte inferior, se diseñó una primera malla de refuerzo estructural bidimensional, que mide 1/2" de diámetro. En la parte superior, se diseñó una malla de 3/8".
- Para los muros de los marcos estructurales, se instaló una malla bidimensional doble con refuerzos metálicos de 1/2" de diámetro.
- Cada malla se instaló a 2,5 cm de la superficie y una retícula de 10cm x 10cm.

En los marcos aéreos, que son aquellos que no tienen contacto con el terreno, la única diferencia en el refuerzo estructural con respecto a los marcos de piso es que la doble malla estructural de la losa del piso tiene una rejilla de varillas de refuerzo de 1/2" en la parte inferior y una retícula de 3/8" en la parte superior. La cantidad de acero de refuerzo en los marcos estructurales fue de 90 kilogramos por metro cúbico de concreto.

Figura 52
Proceso de ensamble de las mallas de refuerzo para los marcos estructurales. Comité de Prefabricados de Antioquia. Abril 2015

8.4.5. Producción de marcos estructurales prefabricados

La producción de los marcos estructurales se realizó en el municipio de Bello, Antioquia, por el Comité de Prefabricados de la Cámara Colombiana de Construcción (CAMACOL). Fue coordinado por el Laboratorio de Estudios y Experimentación Técnica en Arquitectura (LEET) y por el Laboratorio de Arquitectura y Urbanismo (LAUR) en la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) en Medellín. El diseño de la mezcla de concreto para la prefabricación de los marcos obtuvo resistencias de 14 MPa en las primeras ocho horas después del vaciado. A los 28 días, la mezcla de concreto alcanzó una resistencia a la compresión de 54 MPa.

Componentes	kg/m³	Peso (%)	Precio (%)
Cemento Tipo III o similar	1200.00	50.00	87.50
Arena 0 – 5 mm	570.00	23.75	1.77
Agregado grueso 5 – 10 mm	470.00	19.58	1.50
Aditivos	10.00	0.42	9.18
Cenizas volantes secas	0.00	0.00	0.00
Agua	150.00	6.25	0.05
Totales de concreto	2400.00	100.00	100.00

Tabla 47
Diseño de la mezcla tipo K para la construcción de elementos estructurales de concreto prefabricado. Índice de Costos de Construcción de Viviendas (ICCV), Colombia, febrero de 2015. Precios proporcionados por la firma de presupuestos de arquitectura *Proyectar*, ubicada en Medellín, Colombia. Los ingenieros Juan Carlos Gómez y Nathalie Rúa, diciembre de 2016. El diseño de la mezcla se realizó con el asesoramiento del ingeniero Cipriano Londoño, Medellín, Colombia. Fabricación de los prototipos realizados en el Comité de Prefabricados de Antioquia. Evaluaciones de la mezcla de resistencia a la compresión realizadas en el Comité de Prefabricados de Antioquia.

Dos marcos estructurales fueron fabricados cada día. La producción de los elementos requirió cinco días para el vaciado y cinco días adicionales para esperar el aumento de su resistencia estructural y transportarlos al lugar donde se construyeron los prototipos.

Figura 53
Proceso de fundición de los marcos estructurales

En la construcción de los marcos, fue necesario especificar algunos detalles de construcción para los procesos de vaciado, desencofrado, manipulación de los elementos en la planta, transporte e instalación en el sitio. Los bordes de los marcos se diseñaron con un bisel de un centímetro, para preservar su geometría y evitar deterioro en los procesos de transporte e instalación. En las superficies de los muros, donde los marcos se unirían, se instaló neopreno para sellar posibles filtraciones de agua entre los marcos. Algunos elementos metálicos cilíndricos, ubicados en los muros laterales de los marcos, permitieron ser girados 90° después del proceso de vaciado de los elementos en la planta, lo que se hizo con los marcos en posición horizontal. Para instalar los elementos prefabricados en el sitio, en las losas superiores de los marcos, se instaló un conector metálico durante el proceso de vaciado, para que las grúas pudieran tomarlos e instalarlos. En la unión de los elementos horizontal (placa) y vertical (muro), se construyó un bisel de 5cm para permitir el paso de los refuerzos metálicos encargados de la rigidez de los elementos estructurales.

8.4.6. Transporte

Dos marcos estructurales podrían ser transportados simultáneamente en cada viaje desde la planta de producción hasta el municipio de Marinilla. Se necesitaron cuatro viajes, con un vehículo de carga que mide 12,20m en la longitud de su plataforma y un viaje con un vehículo de carga que mide 6,00m en la longitud de su plataforma, para llevar los nueve elementos al sitio. El peso registrado de cada marco estructural fue de 14,6 toneladas. El tiempo promedio de viaje fue de una hora y quince minutos (1' 15") en cada transporte.

Figura 54
El proceso de transporte de los marcos estructurales desde la planta de producción hasta el sitio de instalación

8.4.7. Ensamble

En el ensamble de los marcos estructurales de concreto prefabricado, se utilizó una grúa con una capacidad de 60 toneladas. Para el primer prototipo, el tiempo de instalación de los cuatro marcos estructurales que lo conformaron fue de 75 minutos. En promedio, cada marco se instaló en un tiempo de 18 minutos y 45 segundos. En el segundo prototipo, los cinco elementos se instalaron en un período de 80 minutos. El tiempo promedio de instalación para cada marco fue de 16 minutos. En los dos prototipos, las fachadas, muros interiores, ventanas, puertas, instalaciones eléctricas y equipos sanitarios se instalaron en los siguientes cuatro días por un equipo de cuatro operadores.

Figura 55, Figura 56, Figura 57
Proceso de instalación de los marcos estructurales en los dos prototipos

8.4.8. Viviendas

8.4.8.1. Vivienda Social A. Marcos lineales industrializados

Este primer prototipo utilizó cuatro marcos industrializados de concreto prefabricado autoportantes en el primer piso. En el espacio interior, los servicios se agruparon en un lado de la vivienda, complementando la planta libre que sirve como espacio para el área social y que estaba orientada hacia la fachada de acceso. Un patio central separó el área social de las habitaciones y permitió la iluminación y ventilación natural de ambos espacios, generando temperaturas promedio de 15ºC durante el día[66]. Esta área puede ser transformada posteriormente por los habitantes de la vivienda, quienes pueden ampliar la zona social o construir un tercer dormitorio, que se iluminaría desde el patio.

Figura 58, Figura 59, Figura 60
El prototipo con marcos estructurales lineales y un patio central

8.4.8.2. Vivienda Social B. Marcos industrializados transversales

El segundo prototipo utilizó cinco marcos autoportantes prefabricados de concreto. El primer piso se terminó, pero los muros interiores no fueron construidos para dejar el espacio habilitado para exposiciones. El segundo piso tenía la estructura expuesta para explicar la instalación del sistema en altura. Los muros no estructurales de bloques de concreto y las ventanas de piso a techo sirvieron para complementar las fachadas y conformar el lenguaje del edificio. En el interior, una planta libre permite apreciar las proporciones del espacio interior y las modificaciones que se podrían obtener de los diseños arquitectónicos o de los procesos de transformación.

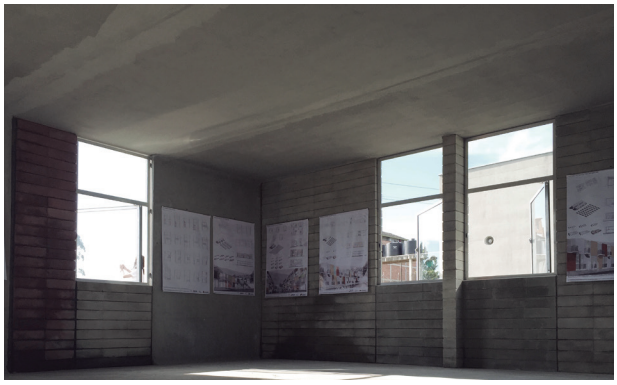


Figure 61, Figure 62, Figure 63
El prototipo de dos pisos con marcos estructurales transversales

66 Medición hecha por *PVG Arquitectos*. Alexánder González Castaño, Arquitecto. Mayo de 2015, Noviembre de 2015, Mayo de 2016.

8.5. Resultados

La construcción de estos prototipos dio los siguientes resultados en términos cuantitativos y cualitativos, en comparación con los sistemas que se han utilizado tradicionalmente para la construcción de viviendas sociales en Antioquia.

8.5.1. En términos cuantitativos

8.5.1.1. Productos

Se construyeron dos prototipos de viviendas. Uno tenía un piso y el otro, dos pisos, que dejaban la estructura de soporte expuesta en el piso superior.

8.5.1.1.1. Área para el prototipo de vivienda Tipo A

El área construida de la tipología de marcos, dispuesta linealmente con fachadas abiertas, fue de 46,40m²; con un área de patio de 11,60m², que puede ser utilizado como un área de crecimiento futuro.

8.5.1.1.2. Área para el prototipo de vivienda Tipo B

El área construida de la tipología de marcos, dispuesta transversalmente con fachadas semiabiertas, fue de 48,72m². Estas áreas se pueden modificar de acuerdo con las dimensiones de los marcos estructurales autoportantes o con el número de marcos en la conformación de cada vivienda.

8.5.1.2. Recursos

Según los presupuestos realizados por la firma Proyectar, en 2015 y 2016, con los datos obtenidos de la construcción de estos prototipos[67], los costos totales se escalonaron a un conjunto de 10 casas en dos pisos y un edificio de cinco pisos con 25 viviendas. Cada uno consideró la disposición lineal de los marcos con fachadas abiertas y la disposición transversal con fachadas semiabiertas.

8.5.1.2.1. Costos y tiempo de construcción del prototipo de vivienda Tipo A de dos pisos

En el sistema lineal de fachadas abiertas, en un edificio de dos pisos y 10 viviendas, se requieren 20 marcos estructurales prefabricados de concreto, un promedio de dos marcos por vivienda.

El escalamiento de los costes totales mostró un ahorro del 9% en comparación con los costos de la VIP construida con estructuras de concreto vaciado in situ y de bloques de concreto o mampostería de ladrillo.

El tiempo de instalación de los cuatro marcos estructurales, para la construcción del prototipo lineal de fachadas abiertas, fue de 75 minutos, un promedio de 18 minutos y 45 segundos.

Las instalaciones eléctricas e hidrosanitarias, los muros de fachada, los muros divisorios, las ventanas, las puertas y los muebles de cocina y baño de este prototipo se instalaron en cuatro días por un grupo de cuatro operadores.

El tiempo previsto y calculado para la construcción de un proyecto de dos pisos con 10 viviendas en el sistema de marcos lineales con fachadas abiertas es de cuatro semanas, 25% del tiempo utilizado para la construcción del mismo proyecto con los sistemas convencionales.

8.5.1.2.2. Costos y tiempo de construcción del prototipo de vivienda Tipo A de cinco pisos

En un edificio de cinco pisos y 25 viviendas, se requieren 52 marcos estructurales de concreto, un promedio de 2.08 marcos por vivienda.

El escalamiento de los costos totales mostró un ahorro del 11% en comparación con los costos de las estructuras de concreto vaciado o construidas con mampostería estructural.

El tiempo de instalación de los cuatro marcos estructurales, para la construcción del prototipo lineal de fachadas abiertas, fue de 75 minutos, un promedio de 18 minutos y 45 segundos por cada marco.

Las instalaciones eléctricas e hidrosanitarias, los muros de fachada, los muros divisorios, las ventanas, las puertas y los muebles de cocina y baño de este prototipo se instalaron en cuatro días por un grupo de cuatro operadores.

El tiempo previsto y calculado para la construcción de un proyecto de dos pisos con 10 viviendas en el sistema de marcos lineales con fachadas abiertas es de cuatro semanas, 25% del tiempo utilizado para la construcción del mismo proyecto con sistemas convencionales. En un edificio de cinco pisos y 25 viviendas con el sistema de marcos estructurales autoportantes con fachadas abiertas, el tiempo de construcción sería de ocho semanas, el 20% del tiempo utilizado convencionalmente para la construcción de edificios con los sistemas utilizados en el contexto local.

8.5.1.2.3. Costos y tiempo de construcción del prototipo de vivienda Tipo B de dos pisos

En la agrupación transversal de marcos estructurales, en un edificio de dos pisos y diez viviendas, se necesitan 25 marcos, un promedio de 2,5 unidades por vivienda. Los costos totales mostraron un ahorro del 8% en comparación con los costos de la VIP construidos con estructuras de concreto vaciado *in situ* y mampostería de ladrillos o bloques de concreto. El tiempo de instalación de los cinco marcos estructurales, para la construcción de los dos prototipos con marcos transversales y fachadas semiabiertas, fue de 80 minutos, un promedio de 16 minutos cada uno. Las instalaciones eléctricas e hidrosanitarias, los muros de fachada, los muros interiores y las ventanas de este prototipo fueron instaladas en cuatro días por un grupo de cuatro operadores. El tiempo previsto y calculado para la construcción de este proyecto de dos pisos y diez viviendas, en el sistema de marcos lineales con fachadas abiertas, es de cuatro semanas, el 25% del tiempo utilizado para la construcción del mismo proyecto con sistemas convencionales.

67 Presupuestos realizados por la firma *Proyectar*, por el ingeniero Juan Carlos Gómez Ángel en la ciudad de Medellín. Los cálculos iniciales se realizaron en febrero de 2015. En mayo de 2015, los presupuestos se ajustaron una vez que se completó la construcción de los prototipos. En diciembre de 2016, se realizaron nuevamente los cálculos de costos y tiempos, con precios actualizados.

Indicadores	Sistema Tradicional		Marcos Longitudinales		Marcos Transversales	
Altura (en pisos)	2	5	2	5	2	5
Viviendas	10	25	10	25	10	25
Área construida	45.00	45.00	45.20	45.20	47.85	47.85
Área interior	42.00	42.00	42.90	42.90	44.53	44.53
Costos (en SMMLV)	60.00	57.00	54.60	50.73	55.20	54.00
Tiempo (en semanas)	16.00	40.00	4.00	8.00	4.00	8.00

Tabla 48
Comparación de costos y tiempo en la construcción de las tipologías de las viviendas.

8.5.1.2.4. Costos y tiempo de construcción del prototipo de vivienda Tipo B de cinco pisos

El escalonamiento de costos y tiempo a un edificio de cinco pisos y 25 viviendas con marcos dispuestos transversalmente indicó que se requieren 63 unidades, un promedio de 2,52 marcos por vivienda. Los costos totales mostraron un ahorro del 10% en comparación con los costos de las estructuras de concreto vaciado o construidas con mampostería estructural. El tiempo de instalación de los cinco marcos estructurales, para la construcción de los dos prototipos con marcos transversales y fachadas semiabiertas, fue de 80 minutos, un promedio de 16 minutos cada uno. Las instalaciones eléctricas e hidrosanitarias, los muros de fachada, los muros interiores y las ventanas de este prototipo fueron instaladas en cuatro días por un grupo de cuatro operadores. El tiempo previsto y calculado para la construcción de este proyecto de dos pisos y diez viviendas en el sistema de marcos lineales con fachadas abiertas es de cuatro semanas, el 25% del tiempo utilizado para la construcción del mismo proyecto con sistemas convencionales. Para un edificio de cinco pisos y 25 viviendas con el sistema de marcos estructurales autoportantes con fachadas abiertas, el tiempo de construcción sería de ocho semanas, el 20% del tiempo utilizado convencionalmente en la construcción de edificios de viviendas en concreto vaciado y mampostería.

8.5.2. En términos cualitativos

8.5.2.1. Criterios objetivos

8.5.2.1.1. Modularidad

Se utilizó un solo tipo de marco estructural para la construcción de cada prototipo, lo que permitió su producción industrializada con un solo molde o encofrado. En la agrupación lineal de marcos con fachadas abiertas, se utilizó un módulo que mide 5,80m en el frente, 2,00m de profundidad y 2,70m de altura. En la agrupación transversal, los marcos tenían dimensiones de a 1,80m en el lado, 5,80m de profundidad y 2,70m de altura. Los elementos no estructurales – como los bloques de concreto y las ventanas – que formaban parte del sistema estaban coordinados dimensionalmente con los marcos de concreto prefabricados para reducir los desperdicios, cortes y reprocesos en el sitio.

8.5.2.1.2. Replicabilidad

Con la misma geometría y las dimensiones correspondientes a los mismos módulos estructurales, los marcos se replicaron industrialmente; la calidad de sus acabados y las superficies en concreto fueron controladas y fueron los elementos que definieron el orden espacial en el proyecto arquitectónico para configurar dos tipologías diferentes de viviendas. La calidad técnica de los elementos estructurales fue controlada en las plantas de producción.

8.5.2.1.3. Transportabilidad

El transporte de los elementos estructurales condicionó su tamaño y peso. Por lo tanto, fue necesario realizar una evaluación de las características de las carreteras para determinar la viabilidad de cada proyecto. Un sistema de producción de marcos, con plantas móviles en los lotes donde se construyen los proyectos, es una opción que debe considerarse cuando el transporte no es posible. En este caso, se transportaron dos marcos en cada viaje, con las dimensiones y los pesos máximos establecidos en las regulaciones, lo que permitió que los elementos estructurales llegaran a los lotes urbanos, que deben tener las condiciones adecuadas para descargar los elementos y para la entrada del equipo de izaje.

8.5.2.1.4. Adaptabilidad

Los marcos se ubicaron en un lote mejorado y previamente nivelado con una profundidad de 60cm, donde se realizó un reemplazo con materiales gruesos y finos, con un proctor de confinamiento del 98%, según los diseños estructurales y los estudios de suelos. En cuanto a la adaptabilidad de la tecnología a las condiciones del contexto regional, los procesos industrializados que utilizaron mano de obra calificada se combinaron con la mano de obra convencional para la construcción con elementos no estructurales. Por lo tanto, los procesos laborales convencionales pueden adaptarse a los procesos de industrialización y ensamble.

8.5.2.1.5. Accesibilidad

Los diseños y proporciones definidas permitieron el acceso al espacio urbano y las viviendas, y la circulación de personas con diferentes capacidades de movilidad.

8.5.2.2. Criterios subjetivos

8.5.2.2.1. Simplicidad

El sistema de fundaciones distribuye uniformemente las cargas y permite la evaluación de terrenos que – a través de una mejora con materiales pétreos – pueden ser adecuados para soportar edificios de hasta 10 pisos de altura. Esta condición permite utilizar lotes que han sido rechazados para la construcción de edificios de viviendas, debido a sus

características y las de los sistemas de cimentación de los sistemas tradicionales. En los prototipos de uno y dos pisos, los marcos estructurales se unieron mediante un soporte simple. En los marcos estructurales longitudinales con fachadas abiertas, la unión horizontal entre los marcos no necesitaba un elemento adicional y la conexión se resolvió por la fricción entre los marcos. Entre las juntas, se usaron sellos de neopreno para asegurar su impermeabilidad. En los marcos estructurales transversales, los ensambles se construyeron para unir los elementos inferiores sin necesidad de elementos adicionales para rigidizar su unión.

8.5.2.2.2. Flexibilidad

La racionalidad y precisión del marco industrializado se complementa con elementos no estructurales que tienen materiales y formas que le dan a la casa diferentes opciones, y un lenguaje de acuerdo con el contexto ambiental, cultural, social y económico. La ubicación de los elementos estructurales, en los perímetros del espacio habitable, genera plantas libres, lo cual permite considerar diferentes variaciones tipológicas según las necesidades de cada grupo familiar. Las condiciones arquitectónicas de una y otra tipología se seleccionaron de una serie de posibilidades ya diseñadas, que permitieron utilizar las plantas libres para generar espacios interiores con calidad espacial y ambiental.

8.5.2.2.3. Confort

Las temperaturas interiores promedio, medidas en cada uno de los prototipos, fueron de 15ºC. Los elementos no estructurales, localizados para la definición del lenguaje de los prototipos, se especificaron como un modelo que permite considerar diferentes materiales, texturas, acabados y configuraciones arquitectónicas. Además de resolver aspectos técnicos y económicos, la construcción de nuevas viviendas debe resolver aspectos relacionados con la calidad de vida, el bienestar y el desarrollo social.

8.5.2.2.4. Belleza

Las plantas interiores libres se construyen con elementos no estructurales, según las características ambientales, culturales, sociales y económicas del entorno. La condición de belleza está asociada con el reconocimiento del contexto y sus condiciones. La arquitectura es una respuesta técnica y social que tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

8.5.2.2.5. Transformabilidad

Las plantas interiores libres se construyeron con elementos no estructurales que pueden modificarse según las necesidades y los hábitos de las familias. En el prototipo de un piso, con marcos lineales y fachadas abiertas, un patio interior permite el crecimiento controlado de la vivienda. En viviendas con otras tipologías, la ubicación de los elementos estructurales y la modificación de los espacios interiores permitirá el uso de acuerdo con las condiciones de vida de cada familia.

A través de procesos eficientes, con una gestión razonable de los recursos disponibles, la industrialización parcial de la vivienda en concreto prefabricado reduce el déficit de viviendas, el tiempo de construcción y los costos con soluciones técnicas y espaciales de alta calidad que combinan procesos industriales con actividades desarrolladas por la mano de obra tradicional.

En conclusión, es posible afirmar que, considerando las variables analizadas, la industrialización de viviendas sociales con elementos prefabricados de concreto es una alternativa viable para reducir el déficit de viviendas en Colombia y el departamento de Antioquia.

Figura 64
Los prototipos construidos, en el campus alternativo de la Universidad Pontificia Bolivariana. Marinilla, Antioquia.

Resumen

Viviendas sociales industrializadas, individualizadas y transformables

La construcción de prototipos de viviendas en concreto prefabricado a escala natural proporcionó los siguientes resultados en términos cuantitativos y cualitativos, en comparación con los sistemas que tradicionalmente se han utilizado para la construcción de viviendas sociales en Antioquia.

En términos cuantitativos

Productos

Se construyeron dos prototipos de viviendas. Uno tenía una altura de un piso con un sistema de marcos lineales (Vivienda Tipo A). El otro tenía dos pisos de altura y tenía marcos transversales (Vivienda Tipo B), que expusieron la estructura de soporte en el piso superior.

Vivienda Tipo A: El área construida de esta tipología, con fachadas abiertas, fue de 46,40m², con un área de patio de 11,60m², que puede ser utilizado como un área de crecimiento futuro.

Vivienda Tipo B: Al área construida de este prototipo, con fachadas semiabiertas, fue de 48,72m². Estas áreas se pueden modificar de acuerdo con las dimensiones de los marcos estructurales o con su cantidad en la conformación de cada vivienda, lo que define un crecimiento modular coordinado dimensionalmente con todos los elementos que forman parte del proyecto.

Recursos

Según las estimaciones realizadas por la firma *Proyectar*, con los datos obtenidos de la construcción de estos prototipos, los costos totales se escalaron a un conjunto de 10 viviendas en dos pisos y a un edificio con 25 viviendas en cinco pisos. Cada uno de ellos consideró la disposición lineal de los marcos con fachadas abiertas y la disposición transversal con fachadas semiabiertas.

Costos y tiempo de construcción de la Vivienda Tipo A de dos pisos:

En el sistema lineal de fachadas abiertas, en un edificio de dos pisos y 10 viviendas, se requieren 20 marcos estructurales de concreto prefabricado; un promedio de dos marcos por vivienda. El escalamiento de los costos totales mostró un ahorro del 9% en relación con la Vivienda de Interés Social Prioritario (VIP) construida con estructuras de concreto vaciado *in situ* y bloques de concreto o mampostería de ladrillo. El tiempo de instalación de los cuatro marcos estructurales para la construcción del prototipo lineal de fachada abierta fue de 75 minutos, un promedio de 18 minutos y 45 segundos por marco. Las instalaciones eléctricas e hidrosanitarias, los muros de fachada, los muros divisorios, las ventanas, las puertas y los muebles de cocina y baño de este prototipo se instalaron en cuatro días por un grupo de cuatro operadores. El tiempo previsto y calculado para la construcción de un proyecto de dos pisos y diez viviendas en el sistema de fachada abierta con marcos lineales es de cuatro semanas, el 25% del tiempo utilizado para la construcción del mismo proyecto con sistemas convencionales.

Costos y tiempo de construcción de la Vivienda Tipo A de cinco pisos:

En un edificio de cinco pisos, con 25 viviendas, se requieren 52 marcos estructurales de concreto, un promedio de 2,08 marcos por vivienda. El escalamiento de los costos totales indicó que estos se reducen hasta en un 11%, en comparación con los costos de las estructuras vaciadas en concreto o construidas con mampostería estructural. En un edificio de cinco pisos y 25 viviendas, el tiempo de construcción sería de ocho semanas; 20% del tiempo utilizado para la construcción de edificios con sistemas tradicionalmente utilizados en el contexto local.

Costos y tiempo de construcción de la Vivienda Tipo B de dos pisos:

En la agrupación transversal de marcos estructurales que dejan fachadas semiabiertas en un edificio de dos pisos y 10 viviendas, se necesitan 25 marcos; un promedio de 2,5 unidades por vivienda. Los costos totales mostraron un ahorro del 8% en relación con la Vivienda de Interés Social Prioritario (VIP) construida con estructuras de concreto vaciado *in situ* y en bloques de concreto o mampostería de ladrillo. El tiempo de instalación de los cinco marcos estructurales, para la construcción de dos prototipos, fue de 80 minutos, un promedio de 16 minutos cada uno. Las instalaciones eléctricas e hidrosanitarias, los muros de fachada, los muros interiores y las ventanas de este prototipo fueron instaladas en cuatro días por un grupo de cuatro operadores. El tiempo previsto y calculado para la construcción de este proyecto de dos pisos y diez viviendas es también de cuatro semanas, el 25% del tiempo utilizado para la construcción del mismo proyecto con sistemas convencionales.

Costos y tiempo de construcción de la Vivienda Tipo B de cinco pisos:

En un edificio de cinco pisos y 25 viviendas con marcos dispuestos transversalmente, se requirieron 63 unidades; un promedio de 2,52 unidades por vivienda. Los costos totales se reducen hasta en un 10% en comparación con los costos de las estructuras vaciadas en concreto o construidas con mampostería estructural. Para un edificio de cinco pisos y 25 viviendas, el tiempo de construcción sería de ocho semanas, el 20% del tiempo utilizado en la construcción de edificios de viviendas en concreto vaciado y mampostería. La Tabla 49 muestra la comparación de costos y tiempo entre los sistemas de construcción tradicional y los sistemas de marco longitudinal y transversal.

En términos cualitativos

Criterios objetivos

Modularidad

Se utilizó un solo tipo de marco estructural para la construcción de cada prototipo, lo que permitió su producción industrial con un solo molde. En la agrupación lineal de marcos con fachadas abiertas, se utilizó un módulo de 5,80m de largo, 2,00m de profundidad y 2,70m de altura. En la agrupación transversal, los marcos utilizados tenían dimensiones de 1,80m de largo, 5,80m de profundidad y 2,70m de altura.

Indicadores	Sistema Tradicional		Marcos Longitudinales		Marcos Transversales	
Altura (en pisos)	2	5	2	5	2	5
Área construida	45.00	45.00	45.20	45.20	47.85	47.85
Área interior	42.00	42.00	42.90	42.90	44.53	44.53
Costos (en SMMLV)	60.00	57.00	54.60	50.73	55.20	54.00
Tiempo (en semanas)	16.00	40.00	4.00	8.00	4.00	8.00

Tabla 49
Comparación de costos en la construcción de los prototipos

Los elementos no estructurales que formaban parte del sistema, como los muros de bloques de concreto y ventanas, se coordinaron dimensionalmente con los marcos de concreto prefabricados para reducir los desperdicios, cortes y reprocesamiento en el sitio.

Replicabilidad

Con la misma geometría y las dimensiones correspondientes a los mismos módulos estructurales, los marcos se replicaron industrialmente; se controló la calidad de sus acabados y los elementos definieron el orden del espacio habitable en el proyecto arquitectónico, configurando así dos tipologías de vivienda.

Transportabilidad

Se transportaron dos marcos en cada viaje al municipio de Marinilla, ubicado a 45km de Medellín. Las condiciones que debían cumplirse condicionaban sus tamaños y pesos, de acuerdo con las regulaciones del Ministerio de Transporte. Por lo tanto, fue necesario realizar una evaluación de las características de las carreteras existentes, para determinar la viabilidad de la construcción de prototipos en este lote, que se adaptó para la descarga de los elementos y la entrada del equipo de ensamble.

Adaptabilidad

El lote donde se instalaron los prototipos fue nivelado y mejorado previamente. A una profundidad de 60cm, el terreno natural se reemplazó con materiales gruesos y finos, lo que elevó el proctor de confinamiento hasta en un 98%, según los estudios de suelos y los diseños estructurales. Los procesos de producción y ensamble de los marcos estructurales prefabricados se combinaron con el trabajo convencional para la construcción de los elementos no estructurales (muros interiores y fachadas).

Accesibilidad

Las proporciones de los diseños permiten el acceso al espacio urbano y las viviendas, y la circulación de personas con diferentes capacidades de movilidad.

Criterios subjetivos

Simplicidad

En los prototipos de uno y dos pisos, los marcos estructurales se apoyan directamente en el terreno. En altura, están unidos por soportes simples con mortero. La transmisión homogénea de las cargas sobre el terreno significa que cada elemento estructural pesa, en promedio, una tonelada por metro cuadrado (las estructuras aporticadas o los sistemas de muros portantes pueden pesar 10). Todas las uniones entre los muros y losas se hicieron en plantas industriales. En los marcos longitudinales de fachada abierta, las uniones entre los elementos no necesitaban un elemento adicional y la conexión se resolvió por fricción y mortero de pega entre los marcos. Entre las juntas de los marcos en el mismo nivel, se utilizaron selladores de neopreno para garantizar la impermeabilidad entre ellos y de los espacios interiores. En los marcos estructurales transversales, se construyeron ensambles geométricos, que permitieron unir los elementos inferiores sin la necesidad de elementos adicionales para rigidizar su unión.

Flexibilidad

Las condiciones arquitectónicas de las dos tipologías se seleccionaron de una serie de posibilidades ya diseñadas, que permitieron aprovechar las plantas libres para generar espacios interiores con calidad espacial y ambiental. La estructura industrializada se complementa con elementos no estructurales que le dan a la vivienda diferentes tipologías de habitación y un lenguaje de acuerdo con el contexto ambiental, cultural, social y económico. La ubicación de los elementos estructurales en el perímetro del espacio habitable (muros y losas) genera plantas libres, lo que permite considerar diferentes tipologías según las necesidades de cada grupo familiar.

Confort

La temperatura interior promedio, medida en cada uno de los prototipos, fue de 15ºC. Los elementos no estructurales en espacios interiores, y en fachadas, definieron el lenguaje de las tipologías y se especificaron como una de las múltiples posibilidades que el sistema permite en cuanto a materiales, texturas, acabados y configuraciones arquitectónicas.

Estética

Las plantas libres fueron construidas con elementos no estructurales que pueden ser modificados de acuerdo con las necesidades y hábitos de las familias. La condición de belleza está asociada con el reconocimiento del contexto y los deseos de sus habitantes. Se utilizaron ventanas de aluminio y bloques de concreto con diferentes colores como el lenguaje de las tipologías de vivienda, que se pueden modificar de acuerdo con el contexto geográfico, el clima y los diseños con las comunidades o con la disponibilidad de materiales en cada sitio.

Transformabilidad

En el prototipo de la Vivienda Tipo A (de una sola planta), un patio permite el crecimiento controlado de la vivienda dentro del espacio habitable. Los muros interiores son elementos no estructurales que pueden modificarse en el proceso de ocupación de la vivienda. En el prototipo de la Vivienda Tipo B (dos pisos), el espacio interior es una planta libre que se puede subdividir según las condiciones, para aprovechar el espacio deseado por cada familia. En el segundo piso, la estructura de soporte que queda expuesta permite la construcción de divisiones interiores y fachadas con elementos no estructurales, utilizando sistemas constructivos tradicionales que se adaptan a las necesidades y cambios durante el proceso de ocupación.

Con una gestión razonable de los recursos disponibles, la prefabricación puede reducir el déficit de la vivienda, disminuye el tiempo y los costos de construcción con soluciones que controlan la calidad técnica y espacial, y combina procesos industriales con actividades desarrolladas con materiales, técnicas y mano de obra local.

Perspectivas

Se proponen dos desarrollos industriales como proyectos futuros basados en los resultados de esta investigación.

El primero es aumentar la eficiencia de los marcos estructurales de concreto prefabricado reduciendo los pesos y los costos de los elementos, generando marcos abiertos en forma de U. Estos marcos pueden ubicarse en el nivel superior para recibir la estructura del techo o instalarse desde el primer piso hasta los pisos superiores, lo que generaría alturas dobles y diferentes espacialidades en las viviendas, reduciendo las cantidades de materiales y pesos especificados originalmente.

El segundo es el desarrollo de un sistema estructural modular de marcos autoportantes, industrializados con estructuras metálicas y bloques de mampostería, con los mismos principios formales y de agrupación, para construir viviendas sociales en entornos urbanos y rurales de difícil acceso. Estos marcos funcionan como la estructura de soporte de las piezas de mampostería, que se ajustan entre los perfiles metálicos para formar pisos y paredes. En este caso, la presencia de equipos o herramientas especializados no es necesaria en los procesos de ensamblaje y montaje, ya que cada pieza que conforma el sistema se puede instalar de forma independiente. Si se va a instalar cada marco completo, se necesita una grúa similar a la utilizada en el proceso de ensamblaje de los marcos estructurales de hormigón prefabricado.

9.1. Marcos estructurales abiertos en forma de U

Este desarrollo consiste en la industrialización de marcos estructurales abiertos, formados por dos muros de carga unidos a una losa en la parte inferior, también prefabricados de concreto. Los muros prefabricadas estructurales que forman el marco deben estar rigidizadas con una o dos vigas metálicas, ubicadas en el centro o en los extremos, para cada marco. En la configuración lineal de los marcos de fachada abierta, la misma viga metálica de amarre entre dos marcos podría rigidizar la unión entre ellos y eliminar la flexión del muro en su parte superior.

9.1.1. En términos cuantitativos

La eliminación de una de las dos losas que configuran el marco en U permite reducir el 35,4% del volumen y el peso de un marco cerrado estándar. Esta condición permite la construcción de un mayor número de viviendas si se mantienen los presupuestos. También reduce los costos y el tiempo de producción y ensamble para el mismo número de viviendas. De acuerdo con los cálculos estructurales realizados, el acero de refuerzo interno y las vigas de amarre entre los muros de los marcos aumentarían su peso en aproximadamente un 10%, de acuerdo con la cantidad original utilizada en marcos cerrados.

El sistema conserva las características urbanas y arquitectónicas, y aumenta la eficiencia en el transporte. Al eliminar la losa superior, se pueden transportar simultáneamente un total de cuatro marcos – que miden hasta 6,00m de largo, 2,60m de ancho y 2,70m de altura – cumpliendo con las dimensiones y pesos máximos permitidos. Las características estructurales se modifican al reducir el peso y el volumen del concreto y al aumentar el peso de los elementos metálicos que sirven como refuerzo estructural, lo que podría reducir los costos del sistema en un 7% adicional en edificios residenciales de una o varias plantas de altura[69].

9.1.2. En términos cualitativos

Para el desarrollo de este sistema de marco abierto prefabricado de concreto, se mantienen los criterios objetivos y subjetivos definidos en el sistema original, definidos de este modo:

9.1.2.1 Criterios objetivos

La *modularidad* y *replicabilidad* del sistema mantienen la coordinación dimensional en el diseño, la producción y la instalación de los marcos estructurales.

La eficiencia se incrementa en la *transportabilidad* en comparación con la de los marcos cerrados porque la geometría y el peso de los marcos abiertos permiten agrupar hasta cuatro unidades en cada viaje.

Se mantienen los criterios de *adaptabilidad* a diferentes contextos. Los pesos de los elementos estructurales se reducen en aproximadamente un tercio, lo que permite considerar suelos con otras características mecánicas. En el sitio, es necesario adaptar los perfiles topográficos a las dimensiones de los marcos estructurales.

Se mantienen los criterios de accesibilidad definidos para el sistema de marco cerrado. En lugares de difícil acceso, se propone la instalación de fábricas de campo para la producción *in situ* de los marcos estructurales.

9.1.2.2. Criterios subjetivos

La *simplicidad* del sistema viene dada por la cantidad de elementos estructurales que lo conforman. Para un edificio con marcos lineales, sólo se necesita un tipo de elemento, que se replica para formar la agrupación diseñada. Para un edificio con marcos transversales, es necesario usar cuatro tipos de elementos: dos marcos de esquina (con incisiones en uno de sus lados), un marco central (con incisiones en ambos lados) y un marco superior (sin incisiones en los lados) que recibe el techo.

La *flexibilidad* aumenta con respecto al concepto original, debido al hecho que la disposición de los marcos estructurales abiertos o en "U" permite que los espacios interiores se ajusten a la doble altura. Esta condición aumenta el número de tipologías de vivienda y las posibilidades de uso del espacio interior.

Las condiciones de *confort* del espacio interior se mantienen en los pisos típicos. En el piso superior, es necesario instalar un techo completo en los marcos abiertos, lo que mejora las condiciones de temperatura del espacio interior de acuerdo con los diseños y las especificaciones técnicas del techo.

Las condiciones de habitabilidad del uso de marcos abiertos o en "U" permiten generar nuevas *estéticas* utilizando alturas dobles en espacios interiores, lo que aumenta las posibilidades de diversificar el lenguaje en las fachadas de los edificios.

69 Presupuestos realizados por la firma *Proyectar*, por el ingeniero Juan Carlos Gómez Ángel en la ciudad de Medellín. Los cálculos iniciales se realizaron en febrero de 2015. En mayo de 2015, los presupuestos se ajustaron una vez que se completó la construcción de los prototipos. En diciembre de 2016, se realizaron nuevamente los cálculos de costos y tiempos, con precios actualizados.

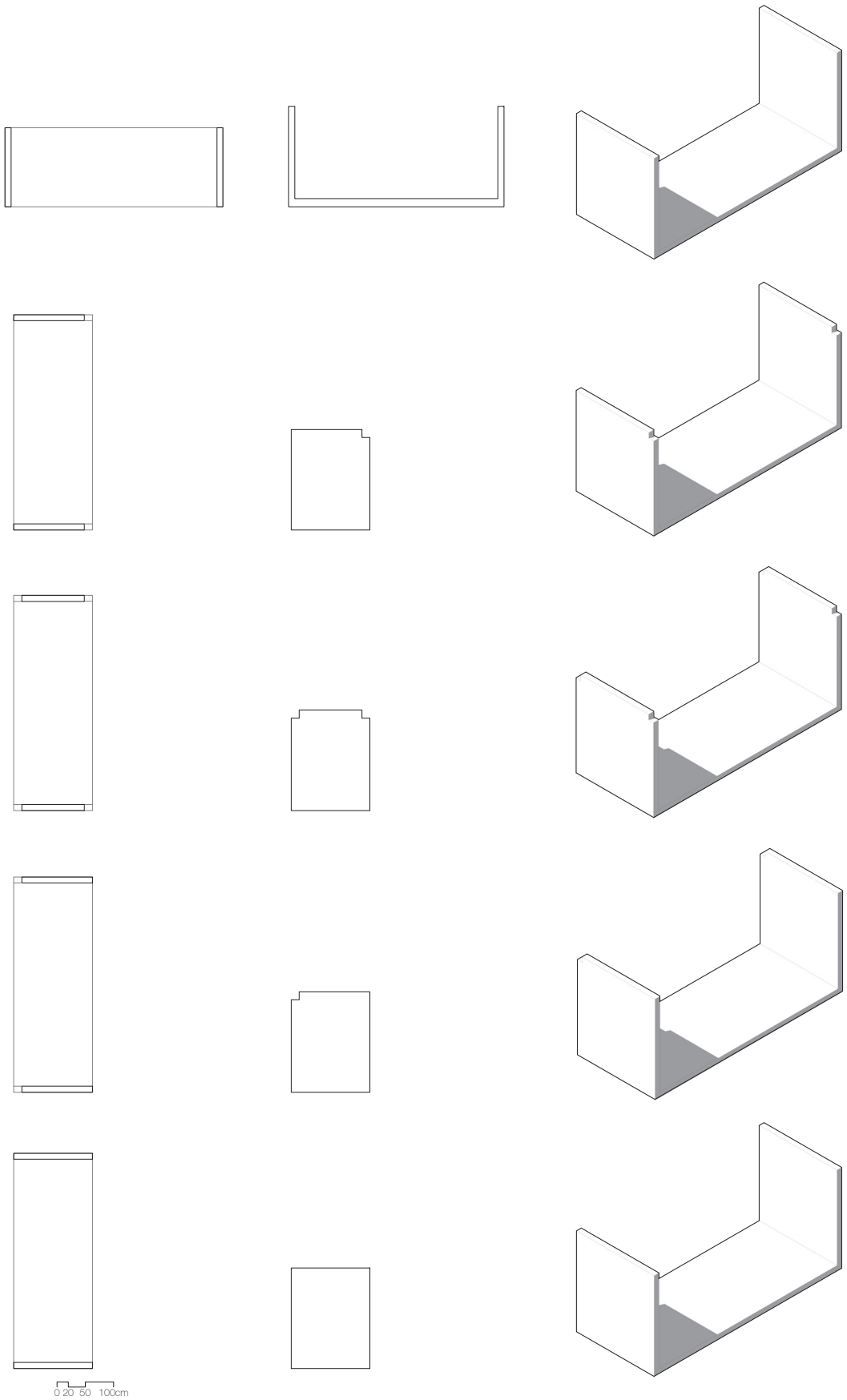


Gráfico 287
Componentes: Planta, fachada y axonometría.

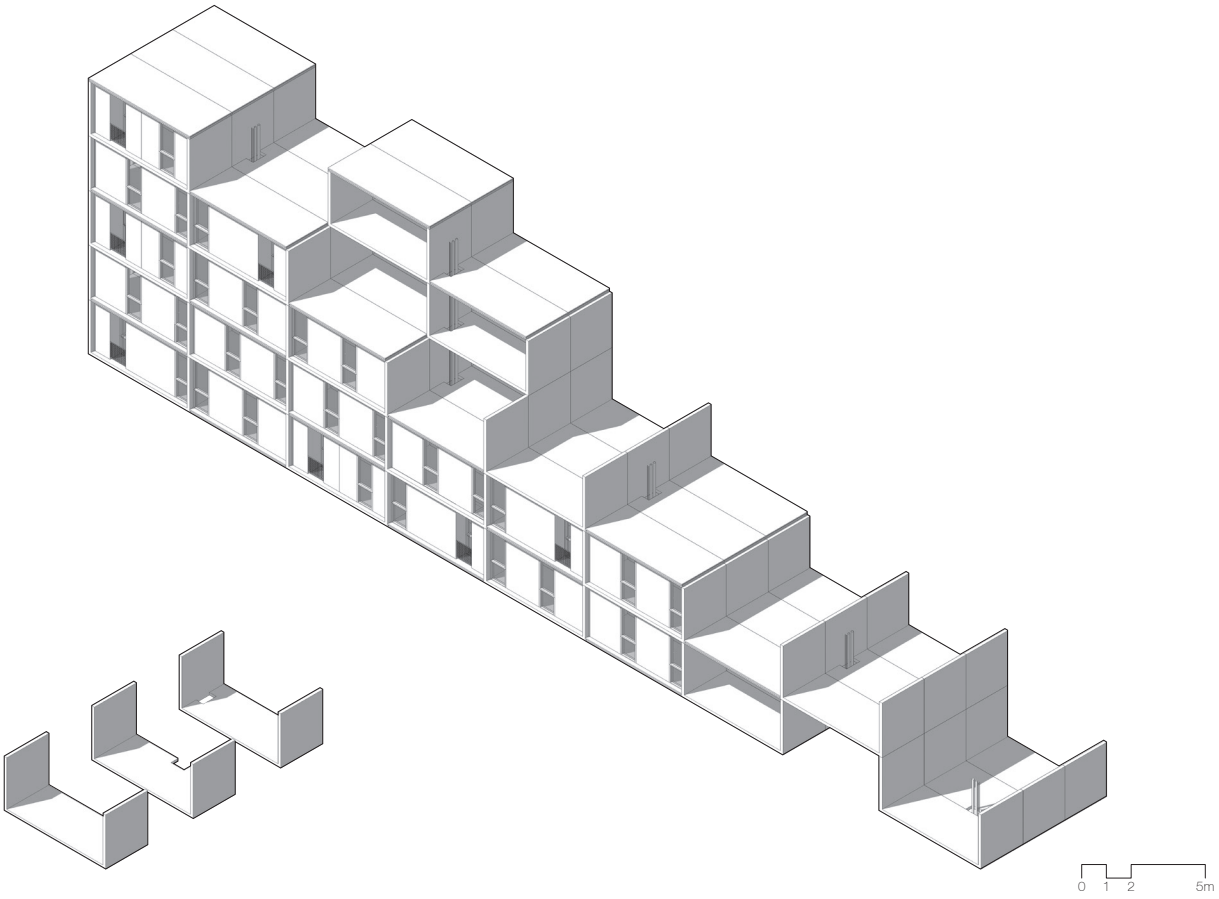


Gráfico 288
Proceso constructivo con marcos estructurales de hormigón prefabricado lineales y en forma de "U"

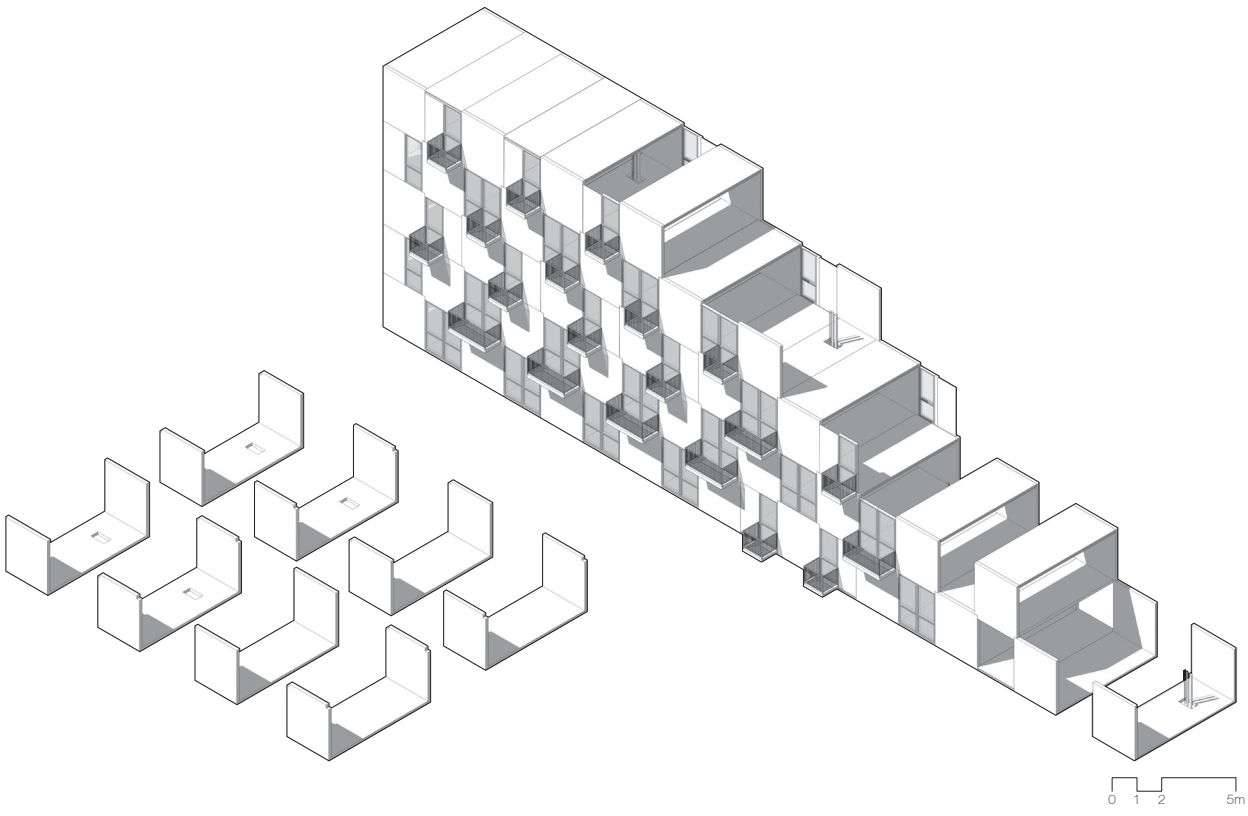


Gráfico 289
Proceso constructivo con marcos estructurales de hormigón prefabricado en forma de U transversales y abiertos

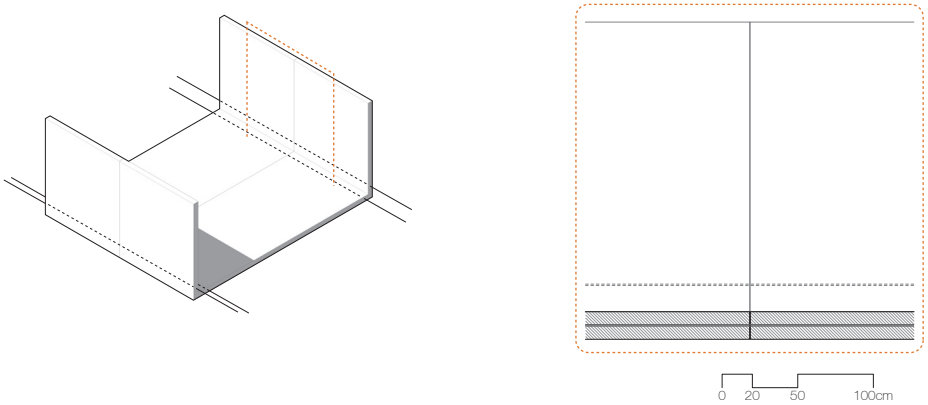


Gráfico 290
Detalles constructivos

Gráfico 291
Proceso constructivo: Instalación de elementos estructurales prefabricados.

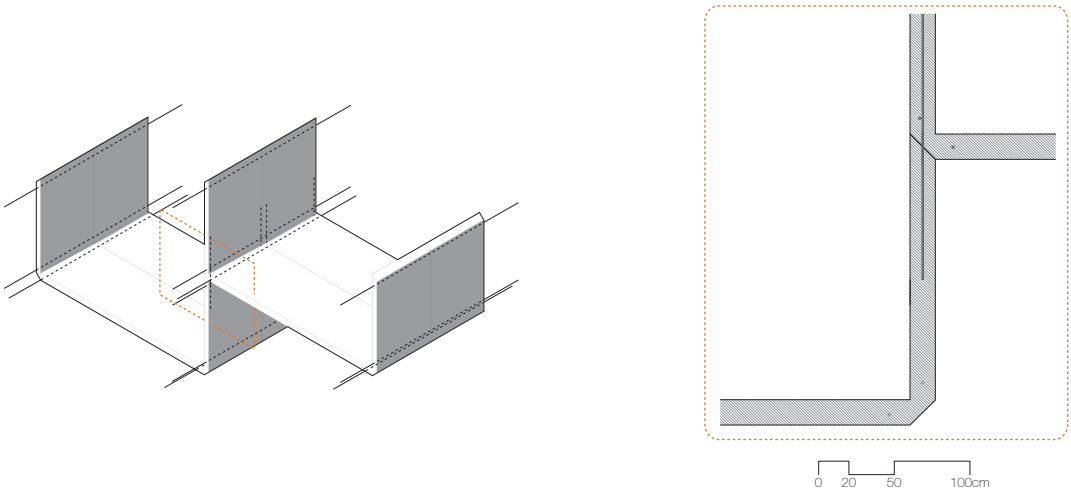


Gráfico 292
Detalles constructivos

Gráfico 293
Proceso constructivo: instalación de elementos no estructurales (paredes interiores y fachadas)

Gráfico 294 El sistema técnico, el lenguaje arquitectónico y el espacio público

La *transformabilidad* del espacio habitable aumenta en comparación con el sistema de marcos estructurales cerrados. En esta modalidad, las unidades de vivienda pueden tener alturas dobles o simples. Esto implica que, en el espacio interior, las tipologías se pueden desarrollar y modificar a lo largo del tiempo de acuerdo con las preferencias de cada familia, el número de miembros y sus condiciones de vida.

9.2. Marco estructural con perfiles metálicos y mampostería

El transporte, la adaptabilidad, la accesibilidad, la simplicidad, la estética y la transformabilidad del sistema se pueden adaptar a proyectos de vivienda social específicos para entornos rurales y urbanos de difícil acceso. Las dimensiones de los marcos industrializados de concreto prefabricado hacen que no todos los entornos sean adecuados para la construcción de un proyecto con estas dimensiones y características.

9.2.1. En términos cuantitativos

Con este sistema de marcos, que combina perfiles metálicos y mampostería en bloques de concreto o ladrillos cerámicos, el número de viviendas y las áreas requeridas para entornos rurales se podrían mantener o aumentar, al tiempo que se reducen los costos del tiempo de construcción y se garantiza la viabilidad del sistema en áreas rurales, donde se ubica cerca del 50% del déficit habitacional del país (DANE, s. f.).

9.2.2. En términos cualitativos

Para este sistema, se definen criterios objetivos y subjetivos en los diseños estructurales, urbanos y arquitectónicos.

9.2.2.1. Criterios objetivos

Los criterios de *modularidad* y *replicabilidad* se mantienen, ya que la producción industrial y estandarizada de los marcos se realiza con criterios de coordinación dimensional entre los perfiles metálicos y los elementos de mampostería que configuran el sistema.

La *transportabilidad* aumenta la eficiencia, ya que los perfiles metálicos y los elementos de mampostería pueden llegar al sitio de construcción en diferentes medios de transporte utilizados en áreas urbanas o rurales con difícil acceso.

La *adaptabilidad* a diferentes tipos de contextos permite la instalación de elementos estructurales metálicos y utiliza la mampostería disponible en el área. Los perfiles metálicos y la mampostería se pueden ensamblar en el sitio sin la necesidad de personal especializado. Para el apoyo de los elementos sobre el terreno, se especifica el mismo procedimiento utilizado en los marcos prefabricados de concreto, a través del cual se mejora el proctor de confinamiento de acuerdo con el propuesto por el estudio del suelos, y cada uno de los marcos distribuye su carga al terreno. En topografías planas o inclinadas, la configuración del edificio puede adaptarse a diferentes contextos, ya que no se necesita equipo o mano de obra especializado para la instalación.

La *accesibilidad* se propone a través de la condición de las vías que comunican el lote con su entorno, desde los diseños de espacios colectivos sin escaleras y sin barreras para el desplazamiento, y desde la proporción de los espacios interiores de las viviendas.

9.2.2.2. Criterios subjetivos

La *simplicidad* del sistema viene dada por la cantidad de elementos que lo conforman y por las uniones entre ellos. La estructura principal está formada por secciones metálicas de 15 x 15 centímetros cuadrados para columnas y vigas, con calibres definidos de acuerdo con el diseño estructural. Estos elementos están unidos mediante tornillos, sin la necesidad de equipos de soldadura o técnicas especializadas. Un juego de varillas metálicas de 1" de diámetro están unidas a las vigas laterales inferiores atornilladas o soldadas, con perforaciones hechas en fábrica. La separación entre estas varillas es proporcional a las celdas de los elementos de mampostería, que se fijan una encima de la otra a través de un vaciado de concreto dentro de las celdas, que rigidiza la unión. Los muros laterales acaban confinándose con la instalación de las vigas superiores. El piso de cada marco está formado por perfiles metálicos de sección en T invertida de 2" x 2", que reciben los elementos de mampostería que forman la losa de estrepiso, y posteriormente se rigidizan con varillas metálicas y un vaciado de concreto. La unión entre los marcos metálicos también se realiza con pernos, con los mismos sistemas de agrupación propuestos para las fachadas abiertas y semiabiertas lineales y transversales.

Al concebirse con las mismas geometrías y proporciones, la *flexibilidad* del sistema se mantiene, ya que los elementos estructurales se ubican en el perímetro de los marcos; los espacios interiores mantienen sus plantas libres para proponer diferentes diseños arquitectónicos o las formas de ocupación más adecuadas para el contexto ambiental, cultural y social.

A través de su configuración estructural, los sistemas de abertura de los marcos, su orientación y materialidad definen los criterios de *confort* del espacio interior. Estos marcos pueden tener fachadas abiertas y semiabiertas, que permiten controlar la incursión solar y la ventilación natural en el interior del espacio.

La colocación de los elementos no estructurales permite la generación de diferentes respuestas en la fachada y en el espacio interior, de acuerdo con las condiciones ambientales del sitio y los criterios *estéticos* en la composición de estos edificios. La correcta orientación de los edificios permite proponer criterios de bienestar en el uso de espacios urbanos e interiores.

La *transformabilidad* del espacio habitable y el lenguaje del proyecto, como en el sistema de marcos de concreto prefabricado, se realizan una vez que los usuarios de las viviendas las han ocupado. La modificación de elementos no estructurales, la extensión de las áreas útiles y la variación de los usos de los espacios interiores se pueden realizar de acuerdo con la configuración de los elementos no estructurales del sistema.

Esta propuesta combina condiciones estructurales, espaciales y de lenguaje que preservan las características de los marcos de concreto industrializados, lo que les permite aumentar su adaptabilidad a diferentes contextos debido a las proporciones de los elementos que los componen, las formas de instalación y las herramientas necesarias para unir sus componentes. La vivienda en entornos rurales, con un déficit similar al de los entornos urbanos, puede concebirse a partir de sistemas industrializados, modulares y sostenibles que permiten el uso simultáneo de materiales industrializados y locales.

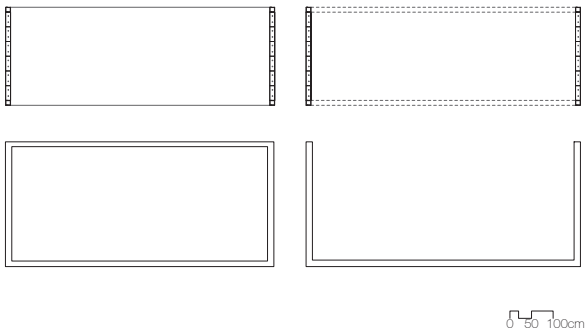


Gráfico 295
Componentes: Planta y fachada

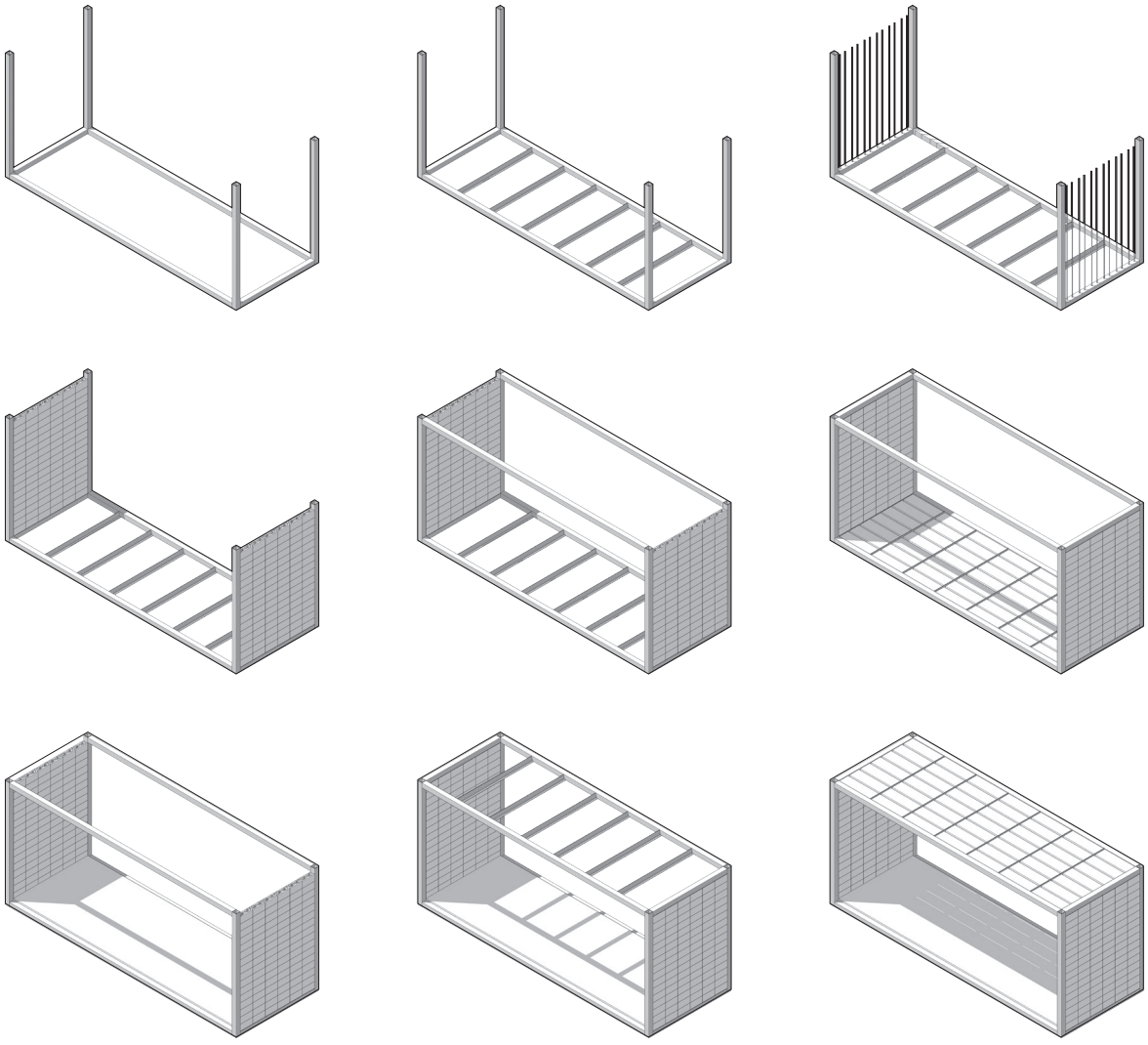


Gráfico 296
Proceso constructivo de un marco estructural metálico con elementos de mampostería

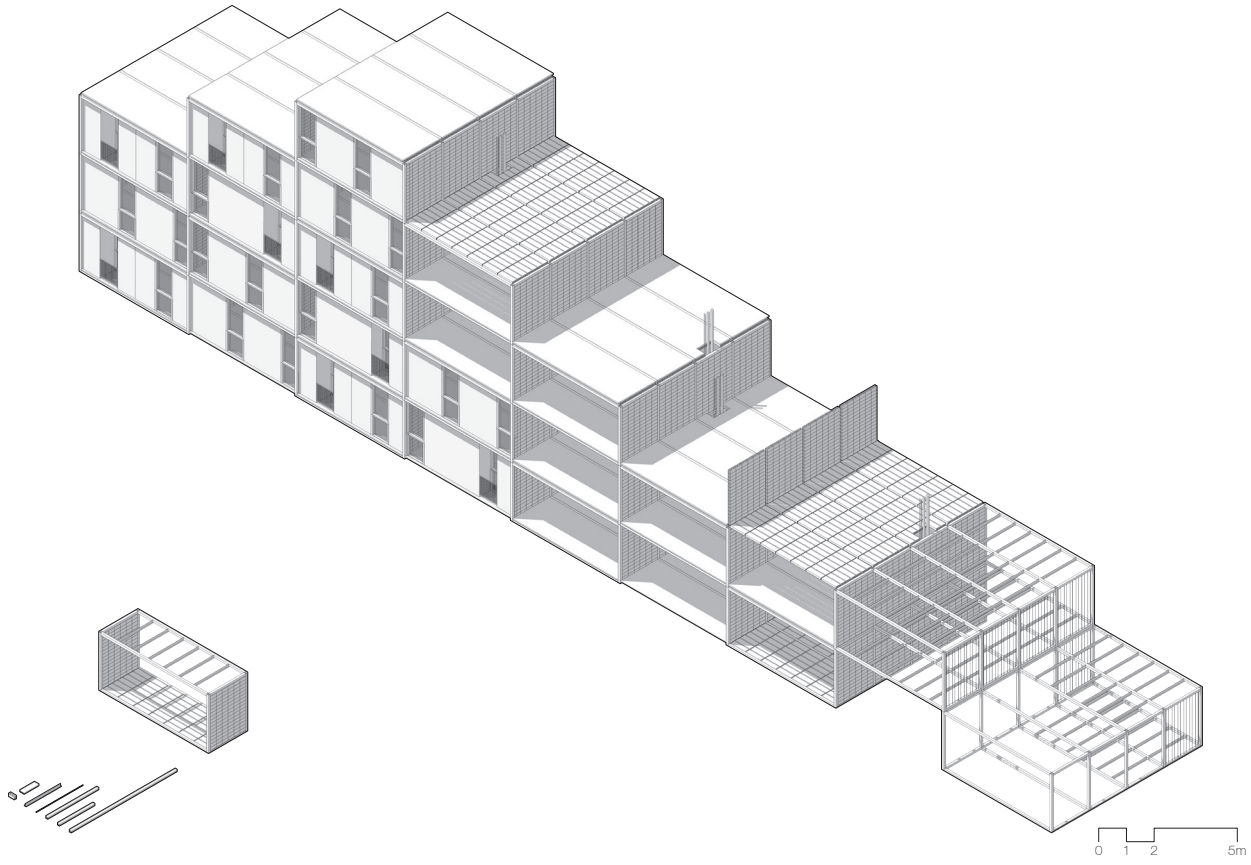


Gráfico 297
Proceso constructivo: marcos estructurales metálicos lineales y mampostería

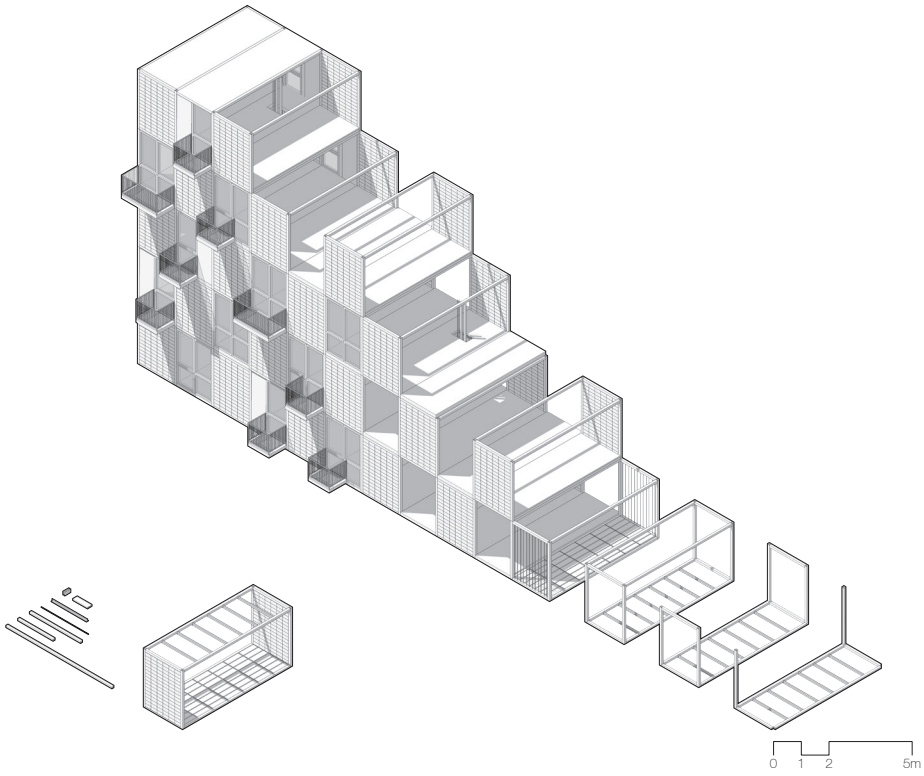


Gráfico 298
Proceso constructivo: marcos estructurales metálicos transversales y mampostería

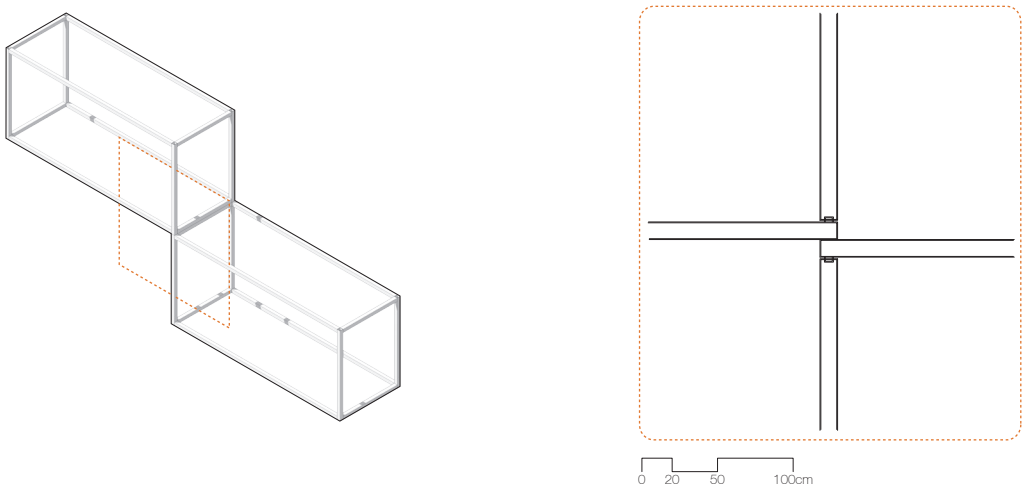


Gráfico 299
Detalles constructivos

Gráfico 300
Proceso constructivo: instalación de marcos estructurales metálicos

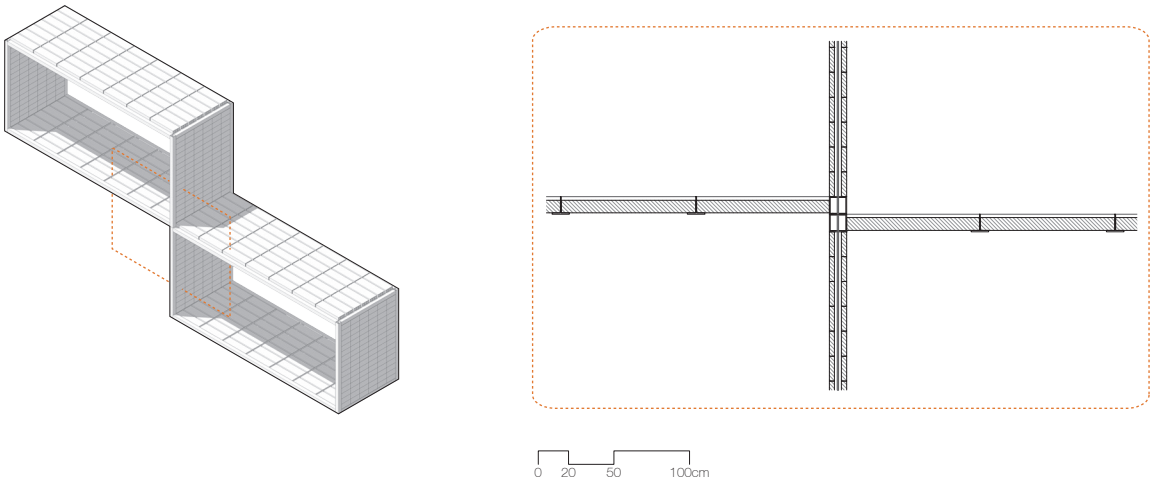


Gráfico 301
Detalles constructivos

Gráfico 302
Proceso constructivo: instalación de mampostería entre los marcos estructurales metálicos.

Gráfico 303 El sistema técnico, el lenguaje arquitectónico y el espacio público

Resumen

Futuros desarrollos

A partir de los resultados de esta investigación, se proponen dos desarrollos industriales como proyectos futuros. Lo primero reduce el peso y costos de los elementos estructurales a través de marcos abiertos que eliminan una de sus dos losas, generando una forma de "U". El segundo es el desarrollo de un sistema estructural modular de marcos industrializados con estructuras metálicas y bloques de mampostería para la construcción de viviendas sociales en entornos rurales.

Marcos estructurales abiertos en forma de U

Este desarrollo se basa en la industrialización de marcos estructurales abiertos, formados por dos muros de carga y una losa de piso en la parte inferior o superior, que conservan los mismos principios estructurales del sistema. Los muros estructurales que forman los marcos deben estar rigidizados con una viga metálica en el centro, o con dos vigas metálicas ubicadas en sus extremos para rigidizar la unión entre ellas y eliminar la curvatura del muro en la parte superior.

La eliminación de una de las dos losas para formar el marco en forma de U permite la reducción de hasta el 35,4% del volumen y el peso de un marco estructural cerrado. Esta condición reduce costos y tiempo de producción y ensamble. De acuerdo con los cálculos estructurales realizados, el acero de refuerzo interno aumentaría en un 10% en comparación con la cantidad original utilizada en marcos prefabricados cerrados.

El sistema conserva las características urbanas y arquitectónicas y aumenta la eficiencia en el transporte. Al eliminar la losa superior, un total de cuatro marcos que miden hasta 6,00m de largo, 2,60m de ancho y con alturas hasta de 4,50m, se pueden transportar simultáneamente, cumpliendo con las dimensiones y pesos máximos permitidos. Las características estructurales se modifican al reducir el peso y el volumen del concreto y al aumentar el número de los elementos metálicos que sirven como refuerzo estructural. El desarrollo de los marcos de concreto prefabricados en forma de U, que consisten en una losa de piso, dos muros estructurales y uno o dos elementos metálicos transversales que los rigidizan, puede reducir los costos del sistema en un 7% adicional[70].

Marco estructural con perfiles metálicos y mampostería

Los marcos industrializados en concreto prefabricado no se pueden transportar e instalar en todos los entornos, incluso en áreas urbanas. Este sistema se puede adaptar a proyectos de vivienda social para entornos urbanos de difícil acceso o incluso para entornos rurales. Los componentes de los marcos de concreto prefabricado pueden reemplazarse por perfiles metálicos estructurales y bloques de concreto o arcilla en los muros y losas, unidos por ensambles, soldaduras o pasadores metálicos que garantizan la continuidad estructural. Este sistema puede considerar marcos estructurales cerrados (con dos losas y dos muros), o marcos abiertos en forma de U, con dos muros y una losa.

En términos cuantitativos

Con este sistema, los costos y el tiempo de construcción pueden reducirse, lo que garantiza la factibilidad en los territorios rurales, donde se ubica casi el 50% del déficit de vivienda del país[71].

En términos cualitativos

Este sistema cumple con los criterios objetivos y subjetivos para diseños estructurales, urbanos y arquitectónicos.

Criterios objetivos

Los criterios de modularidad y replicabilidad se mantienen en relación con los marcos de concreto prefabricado, ya que la producción industrial y se realiza con criterios de coordinación dimensional entre los perfiles metálicos y los elementos de mampostería.

La transportabilidad aumenta su eficiencia, ya que los perfiles metálicos y los elementos de mampostería pueden llegar al sitio de construcción en diferentes medios de transporte utilizados en territorios rurales.

La adaptabilidad a diferentes contextos permite la instalación de elementos estructurales metálicos y utiliza elementos de mampostería. El ensamble de los perfiles metálicos y la mampostería se puede realizar en obra sin necesidad de personal o equipos de elevación especializados. Para la fijación de los elementos al terreno, se especifica el mismo procedimiento utilizado en los marcos de concreto prefabricado; esto mejora el proctor de confinamiento de acuerdo con la información obtenida en el estudio de suelos. Estos marcos, que utilizan elementos más livianos, distribuyen uniformemente su carga en el terreno. En topografías planas o inclinadas, la configuración del edificio se puede adaptar a diferentes contextos.

La accesibilidad del sistema se propone a través del diseño de espacios colectivos sin barreras de desplazamiento, y con la proporción de los espacios interiores de las viviendas.

Criterios subjetivos

La simplicidad del sistema está determinada por la cantidad de elementos que lo componen y por las uniones entre ellos. La estructura principal está conformada por perfiles metálicos en secciones de 15cm x 15cm para las columnas y vigas, con calibres definidos de acuerdo con el diseño estructural. Estos elementos se unen en la planta industrial o en obra a través de tornillos o pasadores de metal, sin la necesidad de equipos o técnicas de soldadura especializados. Se utiliza un juego de varillas de metal de 1" de diámetro para instalar los elementos de mampostería que forman los diafragmas estructurales. Estas varillas se unen a las vigas laterales inferiores a través de tornillos o

70 Presupuestos realizados por la firma *Proyectar*, por el ingeniero Juan Carlos Gómez Ángel en la ciudad de Medellín. Los cálculos iniciales se realizaron en febrero de 2015. En mayo de 2015, los presupuestos se ajustaron una vez que se completó la construcción de los prototipos. En diciembre de 2016, se realizaron nuevamente los cálculos de costos y tiempos, con precios actualizados.

71 Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Accedido el 15 de enero de 2017; disponible en www.dane.gov.co.

soldaduras, con perforaciones que vienen listas de fábrica. La separación entre estas varillas es proporcional a las celdas de los elementos de mampostería, que se refuerzan con un vaciado de concreto. Los muros laterales se confinan con la instalación de las vigas superiores. El piso de cada marco está conformado por perfiles metálicos con secciones en T invertidas, que miden 2" x 2", y que reciben los elementos de mampostería que forman la losa del piso, que luego se rigidiza con varillas metálicas y un vaciado de concreto. Las uniones entre los marcos metálicos también se hacen con pernos, tornillos o pasadores, con los mismos sistemas de agrupación propuestos para el sistema de marcos de concreto prefabricado.

Concebido con las mismas geometrías y proporciones, se mantiene la flexibilidad del sistema, ya que los elementos estructurales se ubican en el perímetro de los marcos y los espacios interiores mantienen sus plantas libres para proponer diferentes diseños arquitectónicos y formas de ocupación, de acuerdo con los entornos ambiental, cultural y social.

Desde su configuración estructural, los sistemas de marcos estructurales, con su orientación y su materialidad definen los criterios de confort en los espacios interiores. Estos marcos pueden tener fachadas abiertas y semiabiertas, que permiten controlar la incursión solar y la ventilación natural. La ubicación de los elementos no estructurales genera diferentes respuestas en la fachada y en el espacio interior, de acuerdo con las condiciones ambientales del sitio. La correcta orientación de los edificios, las estrategias de la fachada para controlar la incursión solar y permitir la ventilación cruzada, definen los criterios de bienestar en el uso de espacios interiores.

La transformación de los espacios habitables y el lenguaje, como en el sistema de marcos estructurales prefabricados de concreto, es realizado por los usuarios una vez han ocupado las viviendas. La modificación de áreas, la variación en los usos de los espacios interiores y los cambios en el lenguaje del proyecto, pueden realizarse de acuerdo con la disposición y la materialidad de los elementos no estructurales.

Esta propuesta combina condiciones estructurales, espaciales y de lenguaje. Los elementos metálicos y de mampostería que lo conforman permiten aumentar su adaptabilidad a diferentes contextos debido a sus proporciones, las formas de instalación y las herramientas necesarias para unirlos. En entornos rurales, con un déficit de vivienda similar al existente en entornos urbanos, la vivienda social también puede concebirse a través de elementos estructurales modulares industrializados conformados por perfiles metálicos y elementos de mampostería.

Bibliografía

Aerocivil. (s. f.). *Aerocivil.* Tomado de http://www.aerocivil.gov.co.

Aguilera, R. (s. f.). Sistemas de Construcción Utilizados en Viviendas Populares en Masa. Capítulo VIII: Los proyectos. Ciudad Bachué. Investigación realizada para el *Centro de Estudios de la Construcción y el Desarrollo Urbano y Regional*, CENAC). Escala (La Revista Latinoamericana de Arquitectura, Arte e Ingeniería). 13(104), pp. 23-26.

Alcaldía de Bogotá. (s. f.) *Ministerio de Transporte*). Tomado de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=36620#0.

Alonso, P. and Palmarola, H. (2012). El Sistema KPD Soviético en Cuba y Chile, 1963-1973. En Y. Delemontey (Ed.), *Understanding and Conserving Industrialised and Prefabricated Architecture* (pp. 299-307). Laussane: *Presses polytechniques et universitaires romandes*.

Alonso, P. and Palmarola, H. (2014). Veintiocho Sistemas (1931-1981). En *Monolith Controversies*. Texto del Pabellón de Chile en el *14th International Exposition of Architecture "La Biennale di Venezia"*. Ostfildern, Alemania: Hatje Cantz Verlag.

Amateur Athletic Foundation of Los Angeles. (2003). *The Games (Die Spiele): The Official Report of the Organizing Committee for the Games of the XXth Olympiad Munich*. Volumen 2. Munich: ProSport GmbH & Co.KG.

American Concrete. (2008) *Ultra High Performance Concretes.* En *Institute Concrete International.* Tomado de www.concrete.org.

Andrade, S. (2005). Diccionario de Economía. Mexico City: Ediciones Andrade.

Arango, S. (1989). Historia de la Arquitectura en Colombia. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Araújo, R. (1997). Hormigón prefabricado y construcción en altura. Tectónica: *Monografías de Arquitectura, Tecnología y Construcción*, (5), pp. 6-7.

Aravena, A. y Iacobelli, A. (2012) ¿Cuál es el Punto? y Lecciones estructurales. *The Milan House*. En Elemental, manual de vivienda incremental y diseño participativo (pp. 14-493). Ostfildern, Alemania: Hatje Cantz Verlag.

Bergdoll, B. and Christensen, P. (2008). *Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling.* New York: Museo de Arte Moderno.

Böttger, D. (1974). *Montagebau.* Berlin: VEB *Verlag für Bauwesen.*

Bravo, I. (1997). Viviendas de Protección Oficial en Alcobendas. En *Tectónica: Monografías de Arquitectura, Tecnología y Construcción*, (5), p. 28.

Cabrera, J. (2011). Un sistema mecanizado manual: "El Sistema Sandino". Tomado de http://civilgeeks.com/2011/09/08/un-sistema-semimecanizado-manual-el-sistema-sandino.

Cabrera, L. (2015). Vivienda y concreto: evolución de la vivienda popular en Bogotá. Tomado de https://proyectodecada.wordpress.com/2015/05/10/vivienda-y-concreto-evolucion-de-la-vivienda-popular-en-bogota.

Cárdenas, D. and Peláez, L. (2010). Manual de acabados en concreto arquitectónico. Medellín: Cementos Argos.

Chiavenato, I. (2004). Introducción a la teoría general de la Administración. Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España.

Comisión Sismorresistente, Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismorresistentes y Minambiente, Ministerio de Ambiente, y Desarrollo Sostenible. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo-Resistente NSR-10. Bogotá: Secretaría de la Comisión: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS. Marzo de 2010, p. 11.

Condo Madness. (n. d.). *Khrushchyovka, K-7 system.* Tomado de http://www.condomadness.info/China-Khrushchyovka.html.

Corona. (2009). Premio Pro Habitat. Por una vivienda digna para Colombia. Convocatoria Profesional 2008-2009. Paneles Generados a través de Residuos de Agroindustria de Banano. Bogotá: Editorial J.L. Impresores.

CTA, Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia. (2013). Planes Viales Subregionales Participativos. Medellín.

DANE, Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (1993) Censo General 1993: Déficit de Vivienda. Tomado de http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-sociales/deficit-de-vivienda.

DANE, Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2005). Colombia: Censo General 2005. Déficit de Vivienda por Departamentos. Tomado de http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-sociales/deficit-de-vivienda.

DANE, Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2015). Boletín Técnico. Tomado de http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones_vida/pobreza/Antioquia_Pobreza_2014.pdf.

DANE, Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (s. f.). Vivienda. Tomado de http://www.dane.gov.co.

Del Col, J. (2007). Diccionario español-latín. Bahía Blanca, Argentina: Instituto Superior Juan XXIII.

Digm. (2015). Panel I – 510, Tomado de http://digm.ru/tipovoy-zhiloy-dom-serii-1-510.html.

Dimitrijevic, R. (1994). *Researches of the column - slab joint in the IMS skeleton system*, 1(XXI). Belgrado: *IMS Institute Proceedings*.

Dimitrijevic, R. y Gavrilovic, B. (2000). *Precast prestressed concrete skeleton in contemporary building – IMS System*. Belgrado: IMS Institute.

DNP, Departamento Nacional de Planeación. (2005). Visión Colombia II Centenario: 2019. En V. Londoño (ed.) (pp.179-180). Bogotá: Editorial Planeta Colombiana S. A.

DNP, Departamento Nacional de Planeación. (2008). Principales Proyectos de Infraestructura: El Sistema Ferroviario Central de Colombia. Bogotá.

Echeverri, A. y Orsini, F. (2010). Informalidad y Urbanismo Social en Medellín. En M. Hermelín, A. Echeverri y J. Giraldo (eds.), Medellín: medio ambiente, cultura, sociedad (p. 130). Medellín: Fondo Editorial Universidad EAFIT.

Elías, X. (2009). Residuos destinados a la elaboración de] materiales densos: los cementos. Reciclaje de Residuos Industriales: residuos sólidos urbanos y lodos de papelera. Barcelona: Ediciones Díaz de Santos.

Escovar, A. (2006). *Hitos y protagonistas: prefabricados y preesforzados. La construcción del concreto en Colombia: apropiación, expresión, proyección*. En B. Arcos y D. Burbano (eds.) (p. 89). Bogotá: Panamericana Formas e Impresos.

FDB, *Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau e.V.* (s. f.). La Asociación Profesional Alemana para la Construcción de Concreto Prefabricado. Tomado de http://www.fdb-typenprogramm.de.

Fédération Internationale du Béton (FIB). (2011). Affordable Housing. Prefabrication for affordable housing. Ostfildern: Document Competence Center Siegmar Kästl.

Fernández, A. (2009). *Steidle + Partner: Viviendas Múnich. A+T Architecture Publishers*. Tomado de http://aplust.net/permalink.php?atajo=steidle__partner_housing_munich&idioma=es.

Fernández, A., Mozas, J. y Arpa, J. (2011). *Density Is Home. A+T Architecture Publishers*. Vitoria-Gasteiz.

Forero, F. (2008). De la estructura Dom-Inó a Ciudad Bachué: Reflexiones sobre la vivienda progresiva e informal. *Dearquitectura* (03), p. 128.

Forero, S. (2011). *Tendencia reciente de la construcción de vivienda en Colombia*. En Informe económico Cámara Colombiana de la Construcción Camacol (pp. 6-7). Bogotá: Camacol.

Fox, M. (1997). *At home in Habitat*. Toronto Star.

Freire, E. et al. (2009) Diseño. En Metodología déficit de vivienda. Bogotá: DANE e Imprenta Nacional.

Funes, J. (1994). Contabilidad de costos. Cochabamba: Educación y Cultura.

García-Huidobro, F., Torres, D. y Tugas, N. (2008). *¡El tiempo construye!* Barcelona, Spain: Editorial Gustavo Gili.

García, J. y Gutiérrez, L. (2008). Contabilidad de costos. México City: McGraw-Hill Interamericana.

Gobernación de Antioquia. (2006). Transporte, recreación y comercio: notas explicativas. Tomado de https://www.antioquia.gov.co/antioquia-v1/organismos/planeacion/anuario2006/transporte/notas.doc.

Gobernación de Antioquia. (s. f. A). Geografía de Antioquia. Tomado de http://antioquia.gov.co/index.php/registrar/9790-geografia.

Gobernación de Antioquia. (s. f. B). Mapa vial del departamento de Antioquia. Tomado de http://www.antioquia.gov.co/antioquia-v1/PDF/web.pdf.

Gómez-Jáuregui, V. (2009). *Habidite*: viviendas modulares industrializadas. Informes de la Construcción. *Construcción*, 61(513), 33-46.

González, D. (2009). Medio siglo de vivienda social en Cuba.] *Revista INVI*. 24(67), 69-92.

Graf, F. y Delemontey, Y. (2012). *Understanding y Conserving Industrialised y Prefabricated Architecture*. Lausanne: *Presses Polytechniques et Universitaires Romandes*.

Gropius, W. (1973). Fundamentos sociológicos de la vivienda mínima para la población obrera en Ciudades. En C. Aymonino, La vivienda racional. Actas de los congresos CIAM 1929-1930 (pp. 120-121). Barcelona: Gustavo Gili.

Groys, B. (2014). Edificios de paneles: estaciones camino a la utopía. En P. Alonso y H. Palmarola (edds.), *Monolith Controversies. The Chile Pavilion in the 14th International Exposition of Architecture "La Biennale di Venezia"* (p. 40). Ostfildern: Editorial Hatje Cantz.

Habitat 67. (s. f.). *Complexe de la cité du havre. "354 cubes of a magnificent grey-beige built up one on the other to form 146 residences"*. Tomado de http://www.habitat67.com.

Harlander, T. (1999). *Wohnen und Stadtentwicklung in der Bundesrepublik, 2. Kapitel: 1960 bis 1973: "Modernisierung" der Stadstruktur–Flächensanierung und Großsiedlungsbau*. En I. Flagge (ed.), *Geschichte des Wohnens*, Bd. 5, Von 1945 *bis heute*. Stuttgart: Wüstenrot Stiftung.

Herzog, T. (1998). *Construction Systems by Angelo Mangiarotti*. Das Beispiel GmbH Verlag. Lehrstuhl für Entwerfen und Baukonstruktion II. Darmstadt: *Technische Universität Munich*.

Herzog, T. (2010). *Projektbeschreibung / Spezielle Konstruktionen und Produkte*. In: O. von Miller Forum y T. Herzog (ed.), *Hirmer Verlag GmbH* (pp. 10-32). Munich.

Hess Group. (s. f.). *Cellular Concrete*. Tomado de http://www.hessgroup.com/es/hess-aac-systems/hormigon-celular.

Hoyos, C. (2010). Gestión del paisaje en el Valle de Aburrá: hacia la conservación de la naturaleza en la ciudad. En M. Hermelín, A. Echeverri y J. Giraldo (eds.), Medellín: medio ambiente, cultura, sociedad (p. 94). Medellín: Fondo Editorial Universidad EAFIT.

IDEAM, Instituto de Hidrología, Meterología y Estudios Ambientales. (s. f.) *La atmósfera, el tiempo y el clima*. Tomado de https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/publicaciones/publicaciones2.html.

IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (s. f.). Mapas de Colombia. Tomado de http://www.igac.gov.co/igac.

Instrucción Española del Hormigón Estructural, EHE. (s. f.). Tomado de http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ORGANOS_COLEGIADOS/MASORGANOS/CPH/instrucciones/EHE_es.

Inter-American Development Bank, IADB. (2014). *IADB Study: Latin America y the Caribbean Face a Growing Housing Deficit*. Tomado de http://www.iadb.org/es/noticias/comunicados-de-prensa/2012-05-14/deficit-de-vivienda-en-america-latina-y-el-caribe,9978.html.

Jovanovic, J., Grbic, J. y Petrovic, D. (2004). *Prefabricated Construction in Former Yugoslavia: Visual y Aesthetics Features y Technology of Prefabrication*. Belgrado.

Koontz, H. y Heinz, W. (2004). Administración: Una Perspectiva Global. Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España.

Krippner, R. (2001). *Building with Systems – Learning from the 1960's? Detail (Elemente + Systeme)*. (4), pp. 606-607.

Krippner, R. (2005). *Holzleichtbeton–Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten*. En *Detail, Baustoff Beton. Munich: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG*.

Kulterman, U. (1965). *Neues Bauen in der Welt*. Tübingen: Wasmuth Verlag.

Land, P. (2008). El Proyecto Experimental de Vivienda, PREVI de Lima: antecedentes e ideas. En F. García-Huidobro, D. Torres y N. Tugas, *¡El Tiempo Construye!*, (pp. 10-11). Barcelona: Editorial Gustavo Gili.

Le Corbusier. (1976). Hacia una nueva arquitectura; principios directrices. En U. Conrads, *Programas y Manifiestos de la Arquitectura del Siglo XX*, (p. 96). Barcelona: Lumen.

Li, V. (2012). Hormigón flexible (*Engineered Cement Concrete*). Nano-tecnologías de Concreto. En P. Petricone (ed.), *Concrete Ideas. Material to Shape a City* (p. 24). Londres: Thames & Hudson Editions.

Loaiza, E. (2016). La Feria Internacional de construcción, Arquitectura y Diseño de Camacol. Conferencia por Eduardo Loaiza, Gerente de la Cámara Colombiana de la Construcción, CAMACOL. Evolución de la Consrtrucción de Vivienda en Colombia.

Lucas, P., Salas, J. y Barrionuevo, R. (2012). Cuarenta años del PREVI-LIMA: Algunas enseñanzas para la industrialización de la vivienda de bajo costo en Latinoamérica. *Informes de la Construcción*, 64(525), 56-59.

Mañà, F., González, J., Cuchí, A., Zamora, J. y Roca, L. (2001). Las técnicas de la construcción industrializadas. En *Alternativas a la construcción convencional de vivienda*, (p. 78). Barcelona: Institut de Tecnología de la Construcción de Catalunya ITeC.

Mankiw, G. (2004). *Economía*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España.

Martinsviertel, K. (s. f.). 1969-1977. Información obtenida en www.j-schuermannarchitekten.de. Tomado de http://www.j-schuermannarchitekten.de/index.php?id=38.

Maya, T. (2008). Áreas residenciales y desarrollo urbano en Bogotá. Maestría en Historia del Arte y Arquitectura. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Medina, L. (1986). Sistemas Constructivos Utilizados en Cuba. Havana, Cuba: Editorial ENPES.

Mintransporte, Ministerio de Transporte (s. f. A). Ancho máximo de los vehículos. Tomado de https://www.mintransporte.gov.co/loader.php?lServicio=FAQ&lFuncion=viewPreguntas&id=74.

Mintransporte, Ministerio de Transporte. (s. f. B). Transporte ferroviario y redes ferroviarias. Tomado de https://www.mintransporte.gov.co/loader.php?lServicio=FAQ&lFuncion=viewPreguntas&id=68#a485.

Minvivienda, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2014) Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio para el Séptimo Foro Urbano Mundial. Capitulo 1: Hacia una Política Integral. En: *Colombia, 100 años de Políticas Habitacionales. Panamericana Formas e Impresos S.A.* Bogotá, 2014. p. 26.

Minvivienda, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (s. f. A). Programas: 100.000 viviendas gratis. Tomado de http://www.minvivienda.gov.co/Ministerio/]Paginas/Objetivos%20y%20Funciones.aspx.

Minvivienda, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (s. f. B). Respecto al Ministerio: Misión y Visión. Tomado de http://www.minvivienda.gov.co/Ministerio/Paginas/Mision%20y%20Vision.aspx.

Morton, J. (1994). *From Southgate to Hallwood Park: 25 Years in the Life of a Community*. Liverpool: Merseyside Improved Homes.

Musso, F. (2016). *Vom Systembau zum Bauen mit System*. Munich: Verlag Ludwig.

Nilson, A. (1987) *Design of Prestressed Concrete*. New Jersey: John Wiley & Sons.

Oliveira Da Silva, R. (2002). *Teorías de la Administración*. Mexico City: International Thomson Editores, S. A. de C. V.

Ostornol, S. y Cardozo, O. (s. f.). Estudio de dimensiones de barcazas que navegan por el Río Magdalena, Colombia. Escuela de Arquitectura y Diseño – Magíster Náutico y Marítimo. Valparaíso: Pontificia Universidad Católica. Tomado de http://wiki.ead.pucv.cl/images/1/17/Tarea_2_Estudio_parametrico_barcazas_rio_magdalena_Oscar_Cardozo.pdf.

Panelové domy. (s. f.). Sistema Constructiva G-57. Tomado de http://panelovedomy.ekowatt.cz/g-57.html.

Pawlitschko, R. (2011).Discusión: Una Segunda Mirada–*Genter Strasse* Housing Development in Munich. En *Detail: Zeitschrift für Architektur. Institut für Internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co*. Munich. Tomado de http://www.detail-online.com/inspiration/discussion-a-second-look---genter-strasse-housing-development-in-munich-108900.html.

Petricone, P. (2012) (ed.). Hormigón gráfico. En: *Concrete Ideas. Material to Shape a City*. Londres: Thames & Hudson Editions.

Petrovic, G. (2000). Elementos Básicos del Sistema IMS. En: *IMS Building Technology*, (pp. 4-8). Beograd: Institut IMS RD.

Portland Cement Association. (s. f.). Portland Cement Association. Tomado de http://www.cement.org/bridges/br_uhpc.asp.

Prochiner, F., Walczyk, R. y Hartmann, D. (2001). Conexiones Innovadoras: La Tecnología Clave para Viviendas Prefabricadas. *Skelettsystem aus Fertigteilen. Institut für Internationale Architektur-Dokumentation GmbH*, Munich. En Detail, (4), 706.

RAE. (s. f. A). *Diccionario de la lengua Española*. Tomado de http://lema.rae.es/drae/?val=eficiencia.

RAE. (s. f. B). *Diccionario de la lengua Española*. Tomado de http://lema.rae.es/drae/?val=eficacia.

RAE. (s. f. C). *Diccionario de la lengua Española*. Tomado de http://dle.rae.es/?id=7CUEdL2.

RAE. (s. f. D). *Diccionario de la lengua Española*. Tomado de http://dle.rae.es/?id=B7MbcqN|B7QOlcz|B7RFb89.

RAE. (s. f. E). *Diccionario de la lengua Española*. Tomado de http://lema.rae.es/drae/?val=tiempo.

RAE. (s. f. F). *Diccionario de la lengua Española*. Tomado de http://dle.rae.es/?id=6nVpk8P|6nXVL1Z.

RAE. (s. f. G). *Diccionario de la lengua Española*. Tomado de http://dle.rae.es/?id=PVTcmPD.
RAE. (s. f. H). *Diccionario de la lengua Española*. Tomado de http://dle.rae.es/?id=W2p5Bt6.
RAE. (s. f. I). *Diccionario de la lengua Española*. Tomado de http://dle.rae.es/?id=aMgmTGw.
RAE. (s. f. J). *Diccionario de la lengua Española*. Tomado de http://dle.rae.es/?id=0hMBUwM.
RAE. (s. f. K). *Diccionario de la lengua Española*. Tomado de http://dle.rae.es/?id=0K1XBn0.
RAE. (s. f. L). *Diccionario de la lengua Española*. Tomado de http://dle.rae.es/?id=XvgYMXu.
RAE. (s. f. M). *Diccionario de la lengua Española*. Tomado de http://dle.rae.es/?id=I5lQtvP.
RAE. (s. f. N). *Diccionario de la lengua Española*. Tomado de http://dle.rae.es/?id=AGa3Pig.
RAE. (s. f. O). *Diccionario de la lengua Española*. Tomado de http://dle.rae.es/?id=5Jw7ezp.
RAE. (s. f. P). *Diccionario de la lengua Española*. Tomado de http://dle.rae.es/?id=aJbn4er.
Ramírez, D. (2000). *Temas de Estudio Seleccionados del texto de Contabilidad Administrativa*. México City: McGraw-Hill.
Regás, F. y Bolaños, J. (2007). Piedra Moldeada: GRC y Hormigón Arquitectónico. Barcelona: Encuadernaciones Mármol.
Rivas, M., Ganzer, J. y Cosme, M. (s. f.). Presentes y futuras aplicaciones de los nano-tubos de carbón. En Informe de Vigilancia Tecnológica, (11). Madrid: Ediciones Fundación Madrid para el Conocimiento.
Robbins, S. y Coulter, M. (2005). Administración. Boston: Pearson Education.
Saldarriaga, A y Carrascal, R. (2006). *El Concepto de la Vivienda Social como respuesta al problema de vivienda: formación y evolución en el siglo XX*. En Vivienda Social en Colombia. Premio Corona Pro Hábitat. Editorial Bochica.
Saldarriaga, A. (2009). Poblamiento, Cultura y Formas de Habitación. En Pasados Presentes: La Vivienda en Colombia. Bogotá: OP Gráficas.
Salvadori, M. y Heller, R. (1978). Estructuras para Arquitectos. Buenos Aires: Editorial CP 67.
Sambricio, C. (2012). Ciudad y vivienda en América Latina 1930-1960. Madrid: Lampreave Ediciones.
Samuelson, P. y Nordhaus, W. (2002). *Economía*. Madrid: McGraw Hill Interamericana de España.
Schätzke, C. y Schneider, H. (2005) *Textilbeton*. En *Detail, Concrete (Baustoff Beton*). Munich: *Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co.* KG.
Schätzke, C. y Schneider, H. (2006). Hormigón con Refuerzo Textil. En M. Peck (ed.), Hormigón (Diseño, Construcción, Ejemplos), (pp.32-37). München: Detail Praxis. *Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co.* KG.
Segre, R. (2005). Tres décadas de reflexiones sobre el Hábitat Latinoamericano. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
Staib, G., Dörrhöfer, A. y Rosenthal, M. (2008a) *Teil B: Grundlagen. In: Elemente + Systeme: Modulares Bauen (Entwurf, Konstruktion, neue Technologien)*. München: Detail Ediciones. *Institut für Internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co*. KG.
Staib, G., Dörrhöfer, A. y Rosenthal, M. (2008b) *Teil C: Tragwerke. Raumzellensysteme. Raumzellen aus Beton. In: Elemente + Systeme: Modulares Bauen (Entwurf, Konstruktion, neue Technologien)*. München: Detail Ediciones. *Institut für Internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co*. KG.
Staib, G., Dörrhöfer, A. y Rosenthal, M. (2008c). *Teil C: Tragwerke. Gebaute Beispiele im Detail. Wohn- und Geschäftsgebäude in Rathenow*. En: *Elemente + Systeme: Modulares Bauen (Entwurf, Konstruktion, neue Technologien)*. Munich: Detail Ediciones. *Institut für Internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co*. KG.
Stanton, W., Etzel, M. y Bruce, W. (1999). Diccionario de Marketing. Madrid: Cultural S. A.
Stepan, K. y Winkler, T. (2010). *Tragwerksplanung* (Planificación Estructural). En O. von Miller y T. Herzog (Eds.), *Hirmer Verlag GmbH* (pp. 38-40). Munich.
Téllez, G. (1980). La arquitectura y el urbanismo de la época actual. En *Handbook of Colombian History, Volume III* (p. 377). Bogotá: Instituto Colombiano de Cultura.
The United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC). (2010). Panorama social 2010. Tomado de http://www.eclac.org/prensa/noticias/comunicados/8/41798/graficoCOMUNICADO_PANORAMASOCIAL2010_FINAL.pdf.
Tillmann, M. (2011). *Knotenverbindungen für Betonfertigteile*. Bonn: *German Professional Association for the Precast Concrete Construction (Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau FDB e.V.)*.
TU Delft. (s. f.). Historias de la Ciencia. Autocuración del Hormigón por Precipitación Mineral Bacteriana. Tomado de http://www.citg.tudelft.nl/en/research/projects/self-healing-concrete.
Vargas, H. (2010 "Historia de la Prefabricación en Concreto en Colombia: notas para registrar un aprendizaje". Memorias de la Conferencia Reunión del Concreto. Cartagena de Indias, Colombia.
Villanueva, P. y Macía, C. (2000). Villanueva. Seville: Tanais Ediciones S. A.
VIVA, Empresa de Vivienda de Antioquia. (2014). Laboratorio de Vivienda y Hábitat. Medellín: Gobernación de Antioquia.
VIVA, Empresa de Vivienda de Antioquia). (2015). Proyección Poblacional 2013). Medellín: Biblioteca de la Vivienda de Antioquia). Mesa Editores – Taller Estándar.
Wachsmann, K. (1959). *Fügen und Verbinden. Wendepunkt im Bauen (Point of Inflection in Construction)*. Wiesbaden: Otto Krausskopf Verlag GmbH.
West, M. (s. f.). *The Centre for Architectural Structures y Technology CAST*. Manitoba: Faculty of Architecture, University of Manitoba. Tomado de http://umanitoba.ca/cast_building/index.html.
Wikiwand. (s. f.). WBS 70. Tomado de http://www.wikiwand.com/de/WBS_70.

World Bank. (s. f.). Banco Internacional para la Reconstrucción y el Desarrollo / Banco Mundial. Informe sobre el Desarrollo Mundial 2008: Una Nueva Geografía Económica. Tomado de http://siteresources.worldbank.org/INTWDR2009/Resources/WDR_OVERVIEW_ES_Web.pdf.

Zamora, J. et al. (2004). ¿Qué es la Coordinación Dimensional?. Proyectar la Arquitectura desde la Coordinación Dimensional. Barcelona: Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITeC).

Leyes

Ley 1444 de 2011

Ley 1753 de 2015. Vivienda de Interés Social, VIS y Vivienda de Interés Prioritario, VIP. Tomado de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1753_2015_pr001.html

Ley 3 de 1991

Ley 388 de 1997

Ley 388 de 1997

Ley 46 de 1980

Ley 546 de 1999

Ley 795 de 2003

Ley 9 de 1989

Entrevistas

E. Loaiza. (2010, Diciembre 12). Gerente de la Oficina Regional de Antioquia de la Cámara Colombiana de la Construcción, CAMACOL. Entrevistado por Alejandro Restrepo-Montoya [Grabación de video]. Archivos de la Tesis Doctoral Hogar Concreto. *Universidad Pontificia Bolivariana*, Medellín.

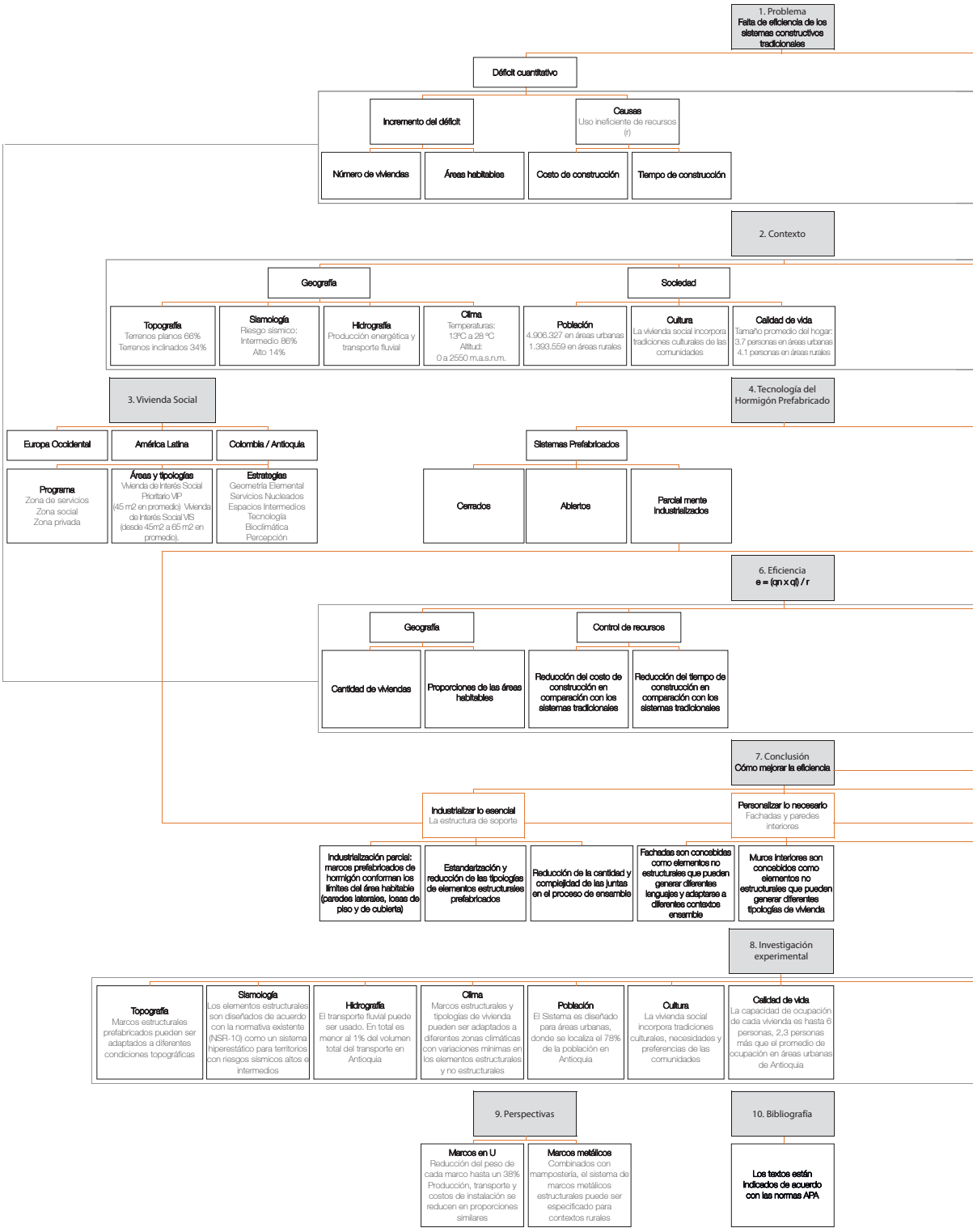
E. Loaiza. (2016, Enero 20). Gerente de la Oficina Regional de Antioquia de la Cámara Colombiana de la Construcción, CAMACOL. Entrevistado por Alejandro Restrepo-Montoya [Grabación de video]. Archivos de la Tesis Doctoral Hogar Concreto. *Universidad Pontificia Bolivariana*, Medellín.

I. Asuad. (2016, Junio). Gerente de Vivienda de la Caja de Compensación Familiar COMFAMA. Medellín.

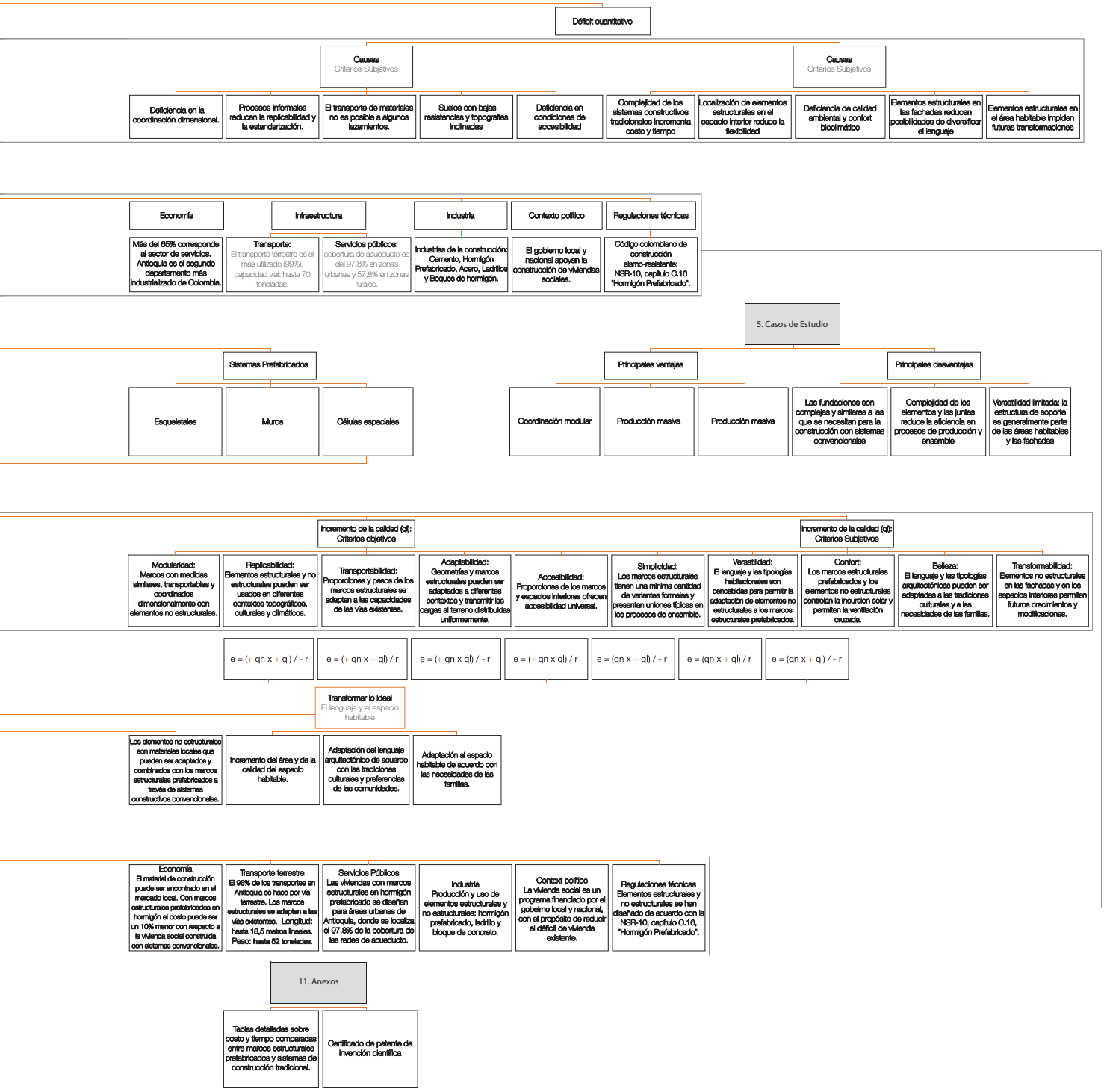
J. Schürmann (2014, Julio4). Arquitecto. Colonia, Alemania.

Anexos

Anexo 1 Estructura Conceptual



Hogar Concreto Desde la aproximación al problema a la propuesta urbana, arquitectónica y técnica / Organización conceptual del proceso de investigación


Déficit cuantitativo
Causas
Criterios Subjetivos
Causas
Criterios Subjetivos
Deficiencia en la coordinación dimensional.
Procesos informales reducen la replicabilidad y la estandarización.
El transporte de materiales no es posible a algunos lazamientos.
Suelos con bajas resistencias y topografías inclinadas
Deficiencia en condiciones de accesibilidad
Complejidad de los sistemas constructivos tradicionales incrementa costo y tiempo
Localización de elementos estructurales en el espacio interior reduce la flexibilidad
Deficiencia de calidad ambiental y confort bioclimático
Elementos estructurales en las fachadas reducen posibilidades de diversificar el lenguaje
Elementos estructurales en el área habitable impiden futuras transformaciones
Economía
Infraestructura
Industria
Contexto político
Regulaciones técnicas
Más del 65% corresponde al sector de servicios. Antioquia es el segundo departamento más industrializado de Colombia.
Transporte:
El transporte terrestre es el más utilizado (99%), capacidad vial: hasta 70 toneladas.
Servicios públicos:
cobertura de acueducto es del 97,8% en zonas urbanas y 57,8% en zonas rurales.
Industrias de la construcción: Cemento, Hormigón Prefabricado, Acero, Ladrillos y Boques de hormigón.
El gobierno local y nacional apoyan la construcción de viviendas sociales.
Código colombiano de construcción sismo-resistente: NSR-10, capítulo C.16 "Hormigón Prefabricado".
5. Casos de Estudio
Sistemas Prefabricados
Principales ventajas
Principales desventajas
Esqueletales
Muros
Células especiales
Coordinación modular
Producción masiva
Producción masiva
Las fundaciones son complejas y similares a las que se necesitan para la construcción con sistemas convencionales
Complejidad de los elementos y las juntas reduce la eficiencia en procesos de producción y ensamble
Versatilidad limitada: la estructura de soporte es generalmente parte de las áreas habitables y las fachadas
Incremento de la calidad (ql): Criterios objetivos
Incremento de la calidad (ql): Criterios Subjetivos
Modularidad: Marcos con medidas similares, transportables y coordinados dimensionalmente con elementos no estructurales.
Replicabilidad: Elementos estructurales y no estructurales pueden ser usados en diferentes contextos topográficos, culturales y climáticos.
Transportabilidad: Proporciones y pesos de los marcos estructurales se adaptan a las capacidades de las vías existentes.
Adaptabilidad: Geometrías y marcos estructurales pueden ser adaptados a diferentes contextos y transmitir las cargas al terreno distribuidas uniformemente.
Accesibilidad: Proporciones de los marcos y espacios interiores ofrecen accesibilidad universal.
Simplicidad: Los marcos estructurales tienen una mínima cantidad de variantes formales y presentan uniones típicas en los procesos de ensamble.
Versatilidad: El lenguaje y las tipologías habitacionales son concebidas para permitir la adaptación de elementos no estructurales a los marcos estructurales prefabricados.
Confort: Los marcos estructurales prefabricados y los elementos no estructurales controlan la incursión solar y permiten la ventilación cruzada.
Belleza: El lenguaje y las tipologías arquitectónicas pueden ser adeptadas a las tradiciones culturales y a las necesidades de las familias.
Transformabilidad: Elementos no estructurales en las fachadas y en los espacios interiores permiten futuros crecimientos y modificaciones.
e = (+ qn x + ql) / - r
e = (+ qn x + ql) / r
e = (+ qn x ql) / - r
e = (+ qn x ql) / r
e = (qn x + ql) / - r
e = (qn x + ql) / r
e = (qn x + ql) / - r
Transformar lo ideal
El lenguaje y el espacio habitable
Los elementos no estructurales son materiales locales que pueden ser adaptados y combinados con los marcos estructurales prefabricados a través de sistemas constructivos convencionales.
Incremento del área y de la calidad del espacio habitable.
Adaptación del lenguaje arquitectónico de acuerdo con las tradiciones culturales y preferencias de las comunidades.
Adaptación al espacio habitable de acuerdo con las necesidades de las familias.
Economía
El material de construcción puede ser encontrado en el mercado local. Con marcos estructurales prefabricados en hormigón el costo puede ser un 10% menor con respecto a la vivienda social construida con sistemas convencionales.
Transporte terrestre
El 98% de los transportes en Antioquia se hace por vía terrestre. Los marcos estructurales se adaptan a las vías existentes. Longitud: hasta 18,5 metros lineales. Peso: hasta 52 toneladas.
Servicios Públicos
Las viviendas con marcos estructurales en hormigón prefabricado se diseñan para áreas urbanas de Antioquia, donde se localiza el 97.8% de la cobertura de las redes de acueducto.
Industria
Producción y uso de elementos estructurales y no estructurales: hormigón prefabricado, ladrillo y bloque de concreto.
Context político
La vivienda social es un programa financiado por el gobeirno local y nacional, con el propósito de reducir el déficit de vivienda existente.
Regulaciones técnicas
Elementos estructurales y no estructurales se han diseñado de acuerdo con la NSR-10, capítulo C.16, "Hormigón Prefabricado".
11. Anexos
Tablas detalladas sobre costo y tiempo comparadas entre marcos estructurales prefabricados y sistemas de construcción tradicional.
Certificado de patente de invención científica

Anexo 2 Tiempo y costos

Vivienda Social A. Marcos Industrializados Lineales. Viviendas de dos pisos.

Número de viviendas.					10
Número de pisos por proyecto.					2
Número de tipos de elementos prefabricados.					1
Marcos estructurales por vivienda.					2
Frente (en metros lineales por vivienda)					5,8
Profundidad (en metros lineales por vivienda)					8
Longitud de cada marco (incluye 0.15 m de espesor de las paredes)					5,8
Profundidad de cada marco					2
Espesor de las paredes					0,15
Espesor de las losas					0,2
Altura de cada marco (incluye 0.2 m de espesor de las losas)					2,8
Acero de refuerzo por metro cúbico (en kilogramos)					110
Área interior de cada vivienda					42,35
Área con muros de fachada y muros interiores en cada vivienda					45,2
Costo del transporte de los elementos prefabricados					$2.700.000
Salarios Mensuales Mínimos Legales Vigentes (SMMLV) en Colombia en 2018					$781.242
Componentes					
Preliminares	€	599,29	$	2.097.528,00	0,60%
Movimiento de tierra	€	5.251,28	$	18.379.478,00	5,21%
Marcos prefabricados en hormigón, refuerzos y juntas	€	34.369,73	$	120.294.050,00	34,13%
Mampostería estructural y no estructural	€	10.337,55	$	36.181.425,00	10,27%
Pisos, enchapes, acabados, lavado y pintura	€	5.671,12	$	19.848.932,00	5,63%
Carpintería metálica y de madera	€	6.155,21	$	21.581.730,00	6,12%
Instalaciones de baño y cocina	€	2.186,66	$	7.653.294,00	2,17%
Instalaciones hidrosanitarias y de gas	€	4.793,40	$	16.776.894,00	4,76%
Instalaciones eléctricas	€	6.943,00	$	24.300.500,00	6,89%
Cubierta	€	5.730,83	$	20.057.891,00	5,69%
Transporte de elementos prefabricados (20 unidades)	€	7.714,29	$	27.000.000,00	7,66%
Instalación de elementos prefabricados (20 unidades)	€	4.200,00	$	14.700.000,00	4,17%
Nomenclatura	€	45,54	$	159.396,00	0,05%
Urbanismo y exteriores	€	6.696,36	$	23.437.260,00	6,65%
Costo total de construcción 10 viviendas	€	**100.705,00**	**$**	**352.468.3 78,00**	**100,00%**

Vivienda Social A. Marcos Industrializados Lineales. Viviendas de dos pisos.

Costo directo de construcción por cada vivienda	€	10.070,53	$	35.246.837,80	
Costo por m2 construido con urbanismo	€	222,80	$	779.797,30	
Costo directo de construcción en SMMLV con urbanismo				45,12	
Tiempo de construcción (semanas)				4,00	
Costo indirecto de construcción por vivienda	€	892,85	$	3.124.968,00	
Costo indirecto de construcción en SMMLV				4,00	
Sistemas tradicionales de construcción (área de cada vivienda: 42m2)					
Costo directo de construcción por cada vivienda con urbanismo	€	11.160,60	$	39.062.100,00	
Costo por metro cuadrado construido con urbanismo	€	265,73	$	930.050,00	
Costo directo de construcción en SMMLV con urbanismo				50,00	
Tiempo de construcción (semanas)				16,00	
Costo indirecto de construcción por vivienda	€	1.339,27	$	4.687.452,00	
Costo indirecto de construcción en SMMLV				6,00	
Diferencias					
Área				3,2	7,62%
Costo directo de construcción por cada vivienda con urbanismo	€	1,090,07	$	3.815.262,00	9,77%
Costo por metro cuadrado construido con urbanismo	€	42,93	$	1500252,70	16,16%
Costo directo de construcción en SMMLV con urbanismo				4,88	9,77%
Tiempo de construcción (semanas)				12,00	75,00%
Costo indirecto de construcción por vivienda	€	446,42	$	1.562.484,00	33,33%
Costo indirecto de construcción en SMMLV				2,00	33,33%

Vivienda Social A. Marcos Industrializados Lineales. Viviendas de cinco pisos.

Número de viviendas.	25
Número de pisos por proyecto.	5
Número de tipos de elementos prefabricados.	1
Marcos estructurales por vivienda.	2
Frente (en metros lineales por vivienda)	5,8
Profundidad (en metros lineales por vivienda)	8
Longitud de cada marco (incluye 0.15 m de espesor de las paredes)	5,8
Profundidad de cada marco	2
Espesor de las paredes	0,15
Espesor de las losas	0,2
Altura de cada marco (incluye 0.2 m de espesor de las losas)	2,8
Acero de refuerzo por metro cúbico (en kilogramos)	120
Área interior de cada vivienda	42,35
Área con muros de fachada y muros interiores en cada vivienda	45,2
Costo del transporte de los elementos prefabricados	$ 2.700.000
Salarios Mensuales Mínimos Legales Vigentes (SMMLV) en Colombia en 2018	$ 781.242

Componentes					
Preliminares	€	599,29	$	2.097.528,00	0,25%
Movimiento de tierra	€	7.876,92	$	27.569.217,00	3,31%
Marcos prefabricados en hormigón, refuerzos y juntas	€	90.339,03	$	316.186.597,00	37,93%
Mampostería estructural y no estructural	€	24.639,68	$	86.238.889,00	10,34%
Pisos, enchapes, acabados, lavado y pintura	€	11.520,65	$	40.322.269,00	4,84%
Carpintería metálica y de madera	€	20.264,09	$	70.924.325,00	8,51%
Instalaciones de baño y cocina	€	5.466,64	$	19.133.235,00	2,29%
Instalaciones hidrosanitarias y de gas	€	11.983,50	$	41.942.235,00	5,73%
Instalaciones eléctricas	€	17.357,50	$	60.751.250,00	7,29%
Cubierta	€	5.111,41	$	17.889.927,00	2,15%
Transporte de elementos prefabricados (50 unidades)	€	19.285,71	$	67.500.000,00	8,10%
Instalación de elementos prefabricados (50 unidades)	€	6.900,00	$	24.150.000,00	2,97%
Nomenclatura	€	113,85	$	398.490,00	0,05%
Urbanismo y exteriores	€	16.740,90	$	58.593.150,00	7,03%
Costo total de construcción 25 viviendas	€	**238.199,17**	**$**	**833.697.112,00**	**100,00%**

Vivienda Social A. Marcos Industrializados Lineales. Viviendas de cinco pisos.					
Costo directo de construcción por cada vivienda	€	9.527,97	$	33.347.884,48	
Costo por m2 construido con urbanismo	€	210,80	$	737.785,05	
Costo directo de construcción en SMMLV con urbanismo				42,69	
Tiempo de construcción (semanas)				8,00	
Costo indirecto de construcción por vivienda	€	1.785,70	$	6.249.936,00	
Costo indirecto de construcción en SMMLV				8,00	

Sistemas tradicionales de construcción (área de cada vivienda: 42m2)					
Costo directo de construcción por cada vivienda con urbanismo			$	39.062.100,00	
Costo por metro cuadrado construido con urbanismo			$	930.050,00	
Costo directo de construcción en SMMLV con urbanismo				50,00	
Tiempo de construcción (semanas)				40,00	
Costo indirecto de construcción por vivienda	€	2.455,33	$	8.593.662,00	
Costo indirecto de construcción en SMMLV				11,00	

Diferencias					
Área				3,2	7,62%
Costo directo de construcción por cada vivienda con urbanismo			$	5.714.215,52	14,63%
Costo por metro cuadrado construido con urbanismo			$	192.264,95	20,67%
Costo directo de construcción en SMMLV con urbanismo				7,31	14,63%
Tiempo de construcción (semanas)				32,00	80,00%
Costo indirecto de construcción por vivienda	€	669,64	$	2.343.726,00	27,27%
Costo indirecto de construcción en SMMLV				3,00	27,27%

Vivienda Social B. Marcos Industrializados Transversales. Viviendas de dos pisos.

Número de unidades de vivienda (promedio por edificación)					10
Altura de las edificaciones (en número de pisos)					2
Número de tipos de elementos prefabricados.					4
Marcos estructurales por vivienda.					2,5
Frente (en metros lineales por vivienda)					8,4
Profundidad (en metros lineales por vivienda)					5,8
Longitud de cada marco (incluye 0.15 m de espesor de las paredes)					1,8
Profundidad de cada marco					5,8
Espesor de las paredes					0,15
Espesor de las losas					0,2
Altura de cada marco (incluye 0.2 m de espesor de las losas)					2,8
Acero de refuerzo por metro cúbico (en kilogramos)					110
Área interior de cada vivienda					44,55
Área construida por vivienda (en metros cuadrados)					47,85
Costo del transporte de los elementos prefabricados					$ 2.700.000
Salarios Mensuales Mínimos Legales Vigentes (SMMLV) en Colombia en 2018					$ 781.242
Componentes					
Preliminares	€	668,54	$	2.339.880,00	0,64%
Movimiento de tierra	€	2.892,73	$	10.124.558,00	2,77%
Marcos prefabricados en hormigón, refuerzos y juntas	€	37.469,95	$	131.144.824,00	35,88%
Mampostería estructural y no estructural	€	7.453,67	$	26.087.856,00	7,14%
Pisos, enchapes, acabados, lavado y pintura	€	6.343,91	$	22.203.687,00	6,08%
Carpintería metálica y de madera	€	9.057,64	$	31.701.730,00	8,67%
Instalaciones de baño y cocina	€	2.186,66	$	7.653.294,00	2,09%
Instalaciones hidrosanitarias y de gas	€	4.793,40	$	16.776.894,00	4,59%
Instalaciones eléctricas	€	6.943,00	$	24.300.500,00	6,65%
Cubierta	€	6.730,19	$	23.555.676,00	5,45%
Transporte de elementos prefabricados (25 unidades)	€	8.485,71	$	29.700.000,00	8,13%
Instalación de elementos prefabricados (25 unidades)	€	4.650,00	$	16.275.000,00	4,45%
Nomenclatura	€	45,54	$	159.396,00	0,04%
Urbanismo y exteriores	€	6.696,36	$	23.437.260,00	6,41%
Costo total de construcción 10 viviendas	€	**104.417,30**	**$**	**365.460.555,00**	**100,00%**

Vivienda Social B. Marcos Industrializados Tranversales. Viviendas de dos pisos.

Costo directo de construcción por cada vivienda	€	10.441,73	$	36.546.055,50	
Costo por m2 construido con urbanismo	€	218,22	$	763.762,92	
Costo directo de construcción en SMMLV con urbanismo				46,78	
Tiempo de construcción (semanas)				4,00	
Costo indirecto de construcción por vivienda	€	892,85	$	3.124.968,00	
Costo indirecto de construcción en SMMLV				4,00	
Sistemas tradicionales de construcción (área de cada vivienda: 42m2)					
Costo directo de construcción por cada vivienda con urbanismo			$	39.062.100,00	
Costo por metro cuadrado construido con urbanismo			$	930.050,00	
Costo directo de construcción en SMMLV con urbanismo				50,00	
Tiempo de construcción (semanas)				16,00	
Costo indirecto de construcción por vivienda		1.339,27	$	4.687.452,00	
Costo indirecto de construcción en SMMLV				6,00	
Diferencias					
Área				2,55	6,07%
Costo directo de construcción por cada vivienda con urbanismo			$	2.516.044,50	6,44%
Costo por metro cuadrado construido con urbanismo			$	166.287,08	17,88%
Costo directo de construcción en SMMLV con urbanismo				3,22	6,44%
Tiempo de construcción (semanas)				12,00	75,00%
Costo indirecto de construcción por vivienda	€	446,42	$	10562.484,00	33,33%
Costo indirecto de construcción en SMMLV				2,00	33,33%

Vivienda Social B. Marcos Industrializados Transversales. Viviendas de cinco pisos.	
Número de unidades de vivienda (promedio por edificación)	25
Altura de las edificaciones (en número de pisos)	5
Número de tipos de elementos prefabricados.	4
Marcos estructurales por vivienda.	2,08
Frente (en metros lineales por vivienda)	8,4
Profundidad (en metros lineales por vivienda)	5,8
Longitud de cada marco (incluye 0.15 m de espesor de las paredes)	1,8
Profundidad de cada marco	5,8
Espesor de las paredes	0,15
Espesor de las losas	0,2
Altura de cada marco (incluye 0.2 m de espesor de las losas)	2,8
Acero de refuerzo por metro cúbico (en kilogramos)	120
Área interior de cada vivienda	44,55
Área construida por vivienda (en metros cuadrados)	47,85
Costo del transporte de los elementos prefabricados	$ 2.700.000
Salarios Mensuales Mínimos Legales Vigentes (SMMLV) en Colombia en 2018	$ 781.242

Componentes					
Preliminares	€	668,57	$	2.339.980,00	0,26%
Movimiento de tierra	€	4.339,10	$	15.186.835,00	1,69%
Marcos prefabricados en hormigón, refuerzos y juntas	€	103.833,49	$	363.417.223,00	40,49%
Mampostería estructural y no estructural	€	20.539,21	$	71.887.243,00	8,01%
Pisos, enchapes, acabados, lavado y pintura	€	12.662,21	$	44.317.732,00	4,94%
Carpintería metálica y de madera	€	23.264,09	$	81.424.325,00	9,07%
Instalaciones de baño y cocina	€	5.466,64	$	19.133.235,00	2,13%
Instalaciones hidrosanitarias y de gas	€	11.983,50	$	41.942.235,00	4,67%
Instalaciones eléctricas	€	17.357,50	$	60.751.250,00	6,77%
Cubierta	€	6.730,19	$	23.555.675,00	2,62%
Transporte de elementos prefabricados (63 unidades)	€	24.685,71	$	86.400.000,00	9,63%
Instalación de elementos prefabricados (63 unidades)	€	8.070,00	$	28.245.000,00	3,15%
Nomenclatura	€	113,85	$	398.490,00	0,04%
Urbanismo y exteriores	€	6.746,90	$	58.593.150,00	6,53%
Costo total de construcción 25 viviendas	€	**256.454,96**	**$**	**897.592.373,00**	**100,00%**

Vivienda Social B. Marcos Industrializados Tranversales. Viviendas de cinco pisos.					
Costo directo de construcción por cada vivienda	€	10.258,20	$	35.903.694,92	
Costo por m2 construido con urbanismo	€	214,38	$	750.338,45	
Costo directo de construcción en SMMLV con urbanismo				46,78	
Tiempo de construcción (semanas)				8,00	
Costo indirecto de construcción por vivienda	€	1.785,70	$	6.249.936,00	
Costo indirecto de construcción en SMMLV				8,00	

Sistemas tradicionales de construcción (área de cada vivienda: 42m2)				
Costo directo de construcción por cada vivienda con urbanismo		$	39.062.100,00	
Costo por metro cuadrado construido con urbanismo		$	930.050,00	
Costo directo de construcción en SMMLV con urbanismo			50,00	
Tiempo de construcción (semanas)			40,00	
Costo indirecto de construcción por vivienda	2.455.33	$	8.593.662,00	
Costo indirecto de construcción en SMMLV			11,00	

Diferencias				
Área			5,85	13,93%
Costo directo de construcción por cada vivienda con urbanismo		$	3.158.405,08	8,09%
Costo por metro cuadrado construido con urbanismo		$	179.711,55	19,32%
Costo directo de construcción en SMMLV con urbanismo			4,04	8,09%
Tiempo de construcción (semanas)			32,00	80,00%
Costo indirecto de construcción por vivienda	€ 669,64	$	2.343.726,00	27,27%
Costo indirecto de construcción en SMMLV			3,00	27,27%

Vivienda Social C. Agrupación Mixta: Marcos industrializados lineales y transversales. Viviendas de cinco pisos.

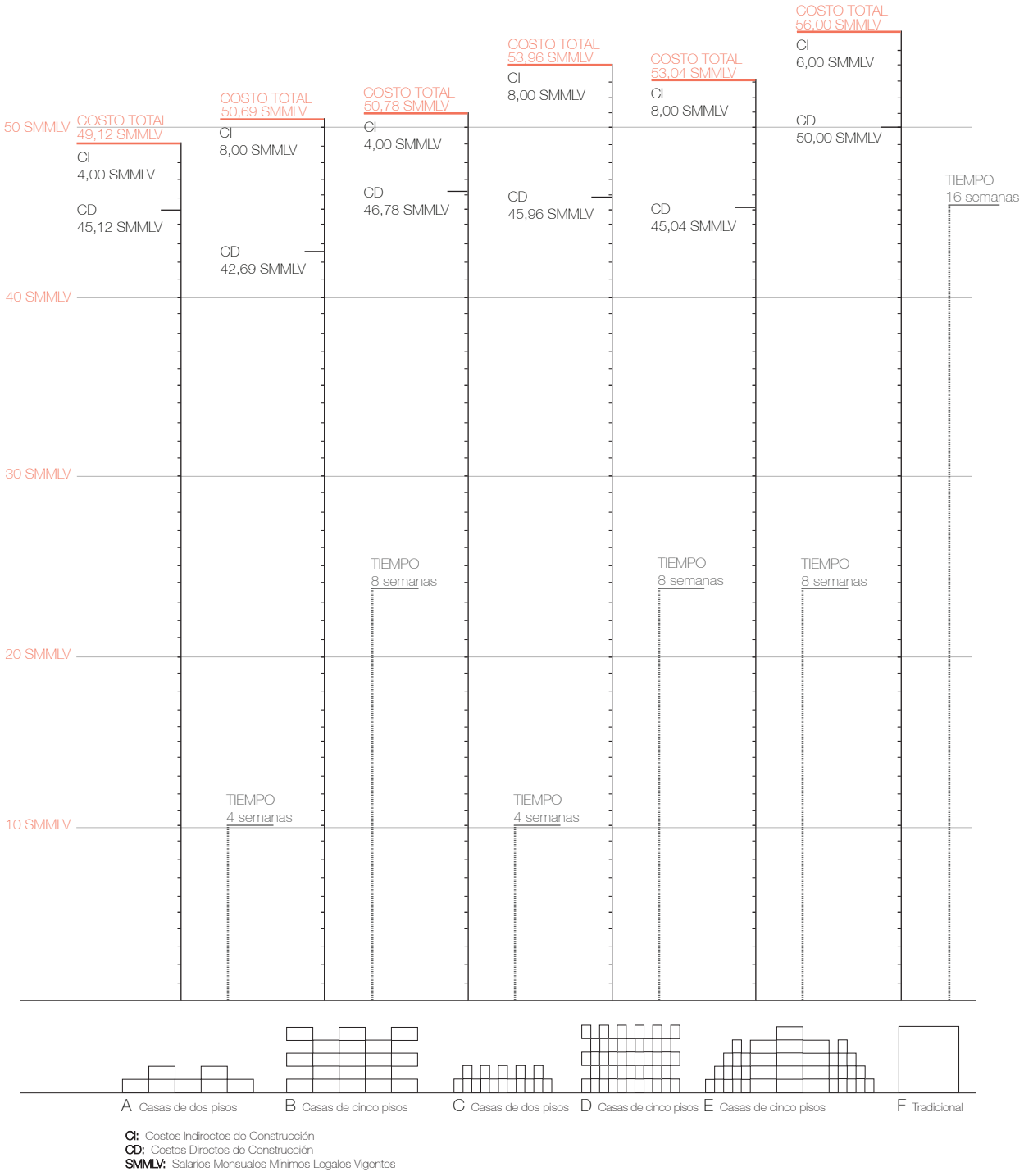
Número de unidades de vivienda (promedio por edificación)	25
Altura de las edificaciones (en número de pisos)	5
Número de tipos de elementos prefabricados.	5
Marcos estructurales por vivienda.	2,08
Frente (en metros lineales por vivienda)	5,8 / 8,4
Profundidad (en metros lineales por vivienda)	8,00 / 5,8
Longitud de cada marco (incluye 0.15 m de espesor de las paredes)	5,8 / 1,8
Profundidad de cada marco	2,00 /5,8
Espesor de las paredes	0,15
Espesor de las losas	0,2
Altura de cada marco (incluye 0.2 m de espesor de las losas)	2,8
Acero de refuerzo por metro cúbico (en kilogramos)	120
Área interior de cada vivienda	44,55
Área construida por vivienda (en metros cuadrados)	47,85
Costo del transporte de los elementos prefabricados	$ 2.700.000
Salarios Mensuales Mínimos Legales Vigentes (SMMLV) en Colombia en 2018	$ 781.242

Componentes					
Preliminares	€	748,91	$	2.621.198,00	0,30%
Movimiento de tierra	€	8.276,80	$	28.968.803,00	3,29%
Marcos prefabricados en hormigón, refuerzos y juntas	€	91.240,06	$	319.340.195,00	36,30%
Mampostería estructural y no estructural	€	26.633,06	$	93.215.725,00	10,60%
Pisos, enchapes, acabados, lavado y pintura	€	14.122,01	$	49.427.039,00	5,62%
Carpintería metálica y de madera	€	21.972,66	$	76.904.325,00	8,74%
Instalaciones de baño y cocina	€	5.466,64	$	19.133.235,00	2,17%
Instalaciones hidrosanitarias y de gas	€	11.983,50	$	41.942.235,00	4,77%
Instalaciones eléctricas	€	17.357,50	$	60.751.250,00	6,91%
Cubierta	€	7.662,24	$	26.817.840,00	3,05%
Transporte de elementos prefabricados (63 unidades)	€	21.600,00	$	75.600.000,00	8,59%
Instalación de elementos prefabricados (63 unidades)	€	7,440,00	$	26.040.000,00	2,96%
Nomenclatura	€	113,85	$	398.490,00	0,05%
Urbanismo y exteriores	€	6.746,90	$	58.593.150,00	6,66 %
Costo total de construcción 25 viviendas	€	**251.358,14**	**$**	**879.753.485,00**	**100,00%**

Vivienda Social C. Agrupación Mixta: marcos industrializados lineales y transversales. Viviendas de cinco pisos.					
Costo directo de construcción por cada vivienda	€	10.054,33	$	35.190.139,40	
Costo por m2 construido con urbanismo	€	210,12	$	735.426,11	
Costo directo de construcción en SMMLV con urbanismo				45,04	
Tiempo de construcción (semanas)				8,00	
Costo indirecto de construcción por vivienda	€	1.785,70	$	6.249.936,00	
Costo indirecto de construcción en SMMLV				8,00	

Sistemas tradicionales de construcción (área de cada vivienda: 42m2)				
Costo directo de construcción por cada vivienda con urbanismo		$	39.062.100,00	
Costo por metro cuadrado construido con urbanismo		$	930.050,00	
Costo directo de construcción en SMMLV con urbanismo			50,00	
Tiempo de construcción (semanas)			40,00	
Costo indirecto de construcción por vivienda	2.455.33	$	8.593.662,00	
Costo indirecto de construcción en SMMLV			11,00	

Diferencias				
Área			2,55	6,07%
Costo directo de construcción por cada vivienda con urbanismo		$	3.871.960,60	9,91%
Costo por metro cuadrado construido con urbanismo		$	194.632,89	20,93%
Costo directo de construcción en SMMLV con urbanismo			4,96	9,91%
Tiempo de construcción (semanas)			32,00	80,00%
Costo indirecto de construcción por vivienda	€ 669,64	$	2.343.726,00	27,27%
Costo indirecto de construcción en SMMLV			3,00	27,27%



CI: Costos Indirectos de Construcción
CD: Costos Directos de Construcción
SMMLV: Salarios Mensuales Mínimos Legales Vigentes

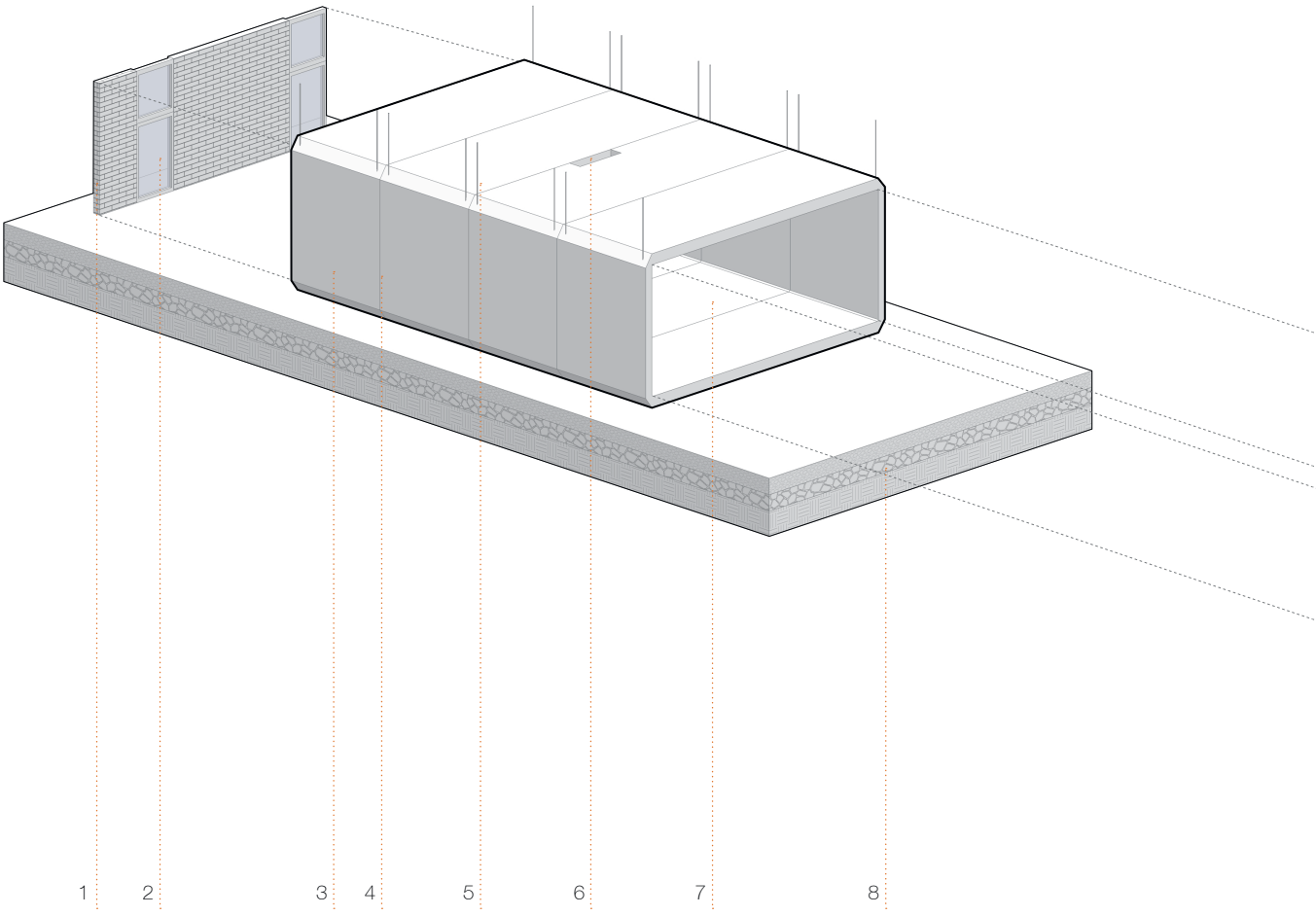
Anexo 3 Componentes del sistema

Marcos industrializados lineales

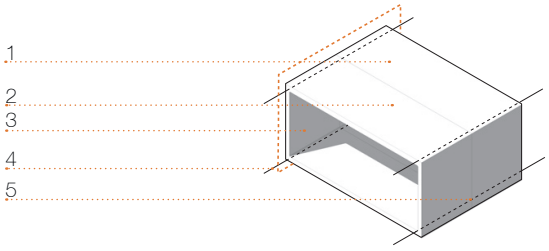
1. Fachada: paredes no estructurales
2. Ventanas
3. Elementos estructurales: marcos en hormigón armado prefabricado
4. Juntas entre elementos estructurales: sellos de neopreno o morteros de cemento
5. Refuerzos en varillas de acero, de acuerdo con diseños estructurales
6. Espacio para la localización de instalaciones técnicas
7. Placa de piso en hormigón armado prefabricado
8. Terreno mejorado y compactado, de acuerdo con la zona sísmica y tipo de suelo
9. Muros interiores no estructurales en área de dormitorios
10. Muros interiores no estructurales en área de servicios
11. Instalaciones técnicas
12. Mobiliario de cocina
13. Paredes de fachada no estructurales

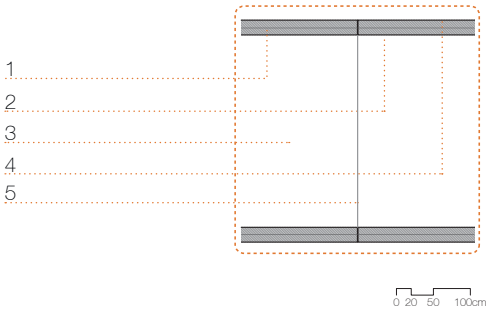
Detalles constructivos

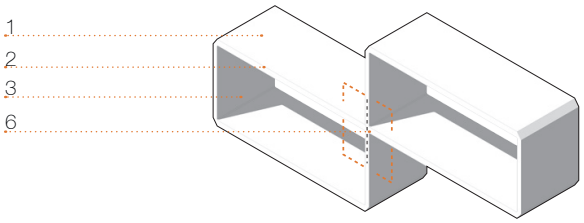
1. Marco estructural en hormigón armado prefabricado
2. Losa estructural en hormigón armado prefabricado
3. Muro estructural en hormigón armado prefabricado
4. Refuerzos metálicos interiores postensados. Especificaciones de acuerdo con los diseños estructurales
5. Junta entre marcos estructurales
6. Unión entre marcos estructurales por ensamble geométrico
7. Refuerzos metálicos interiores. Especificaciones de acuerdo con diseños estructurales.

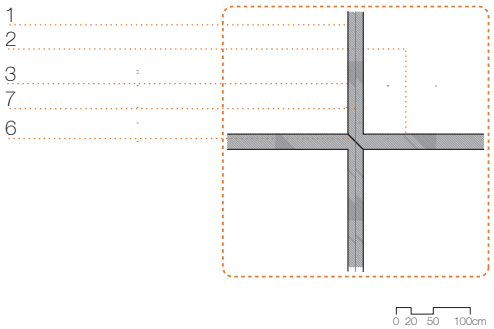


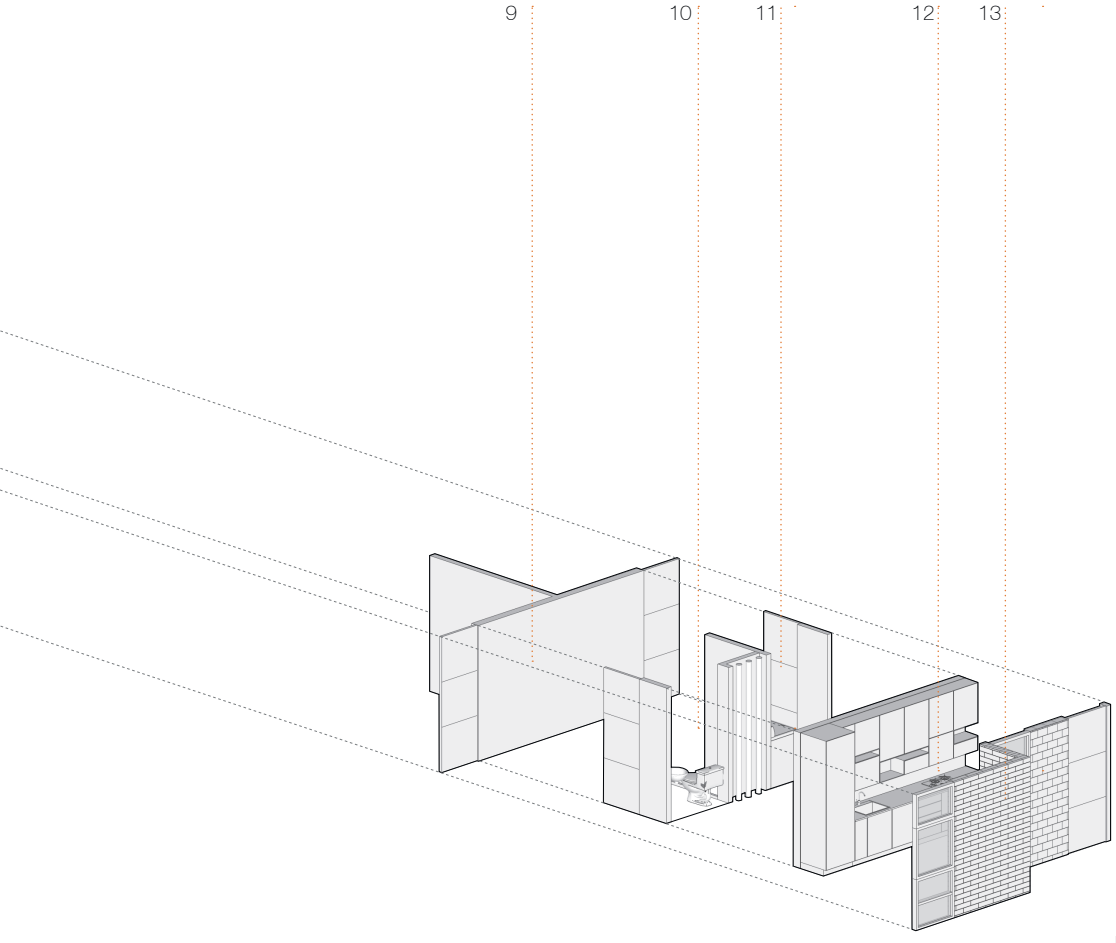
Detalles Constructivos











Marcos industrializados lineales

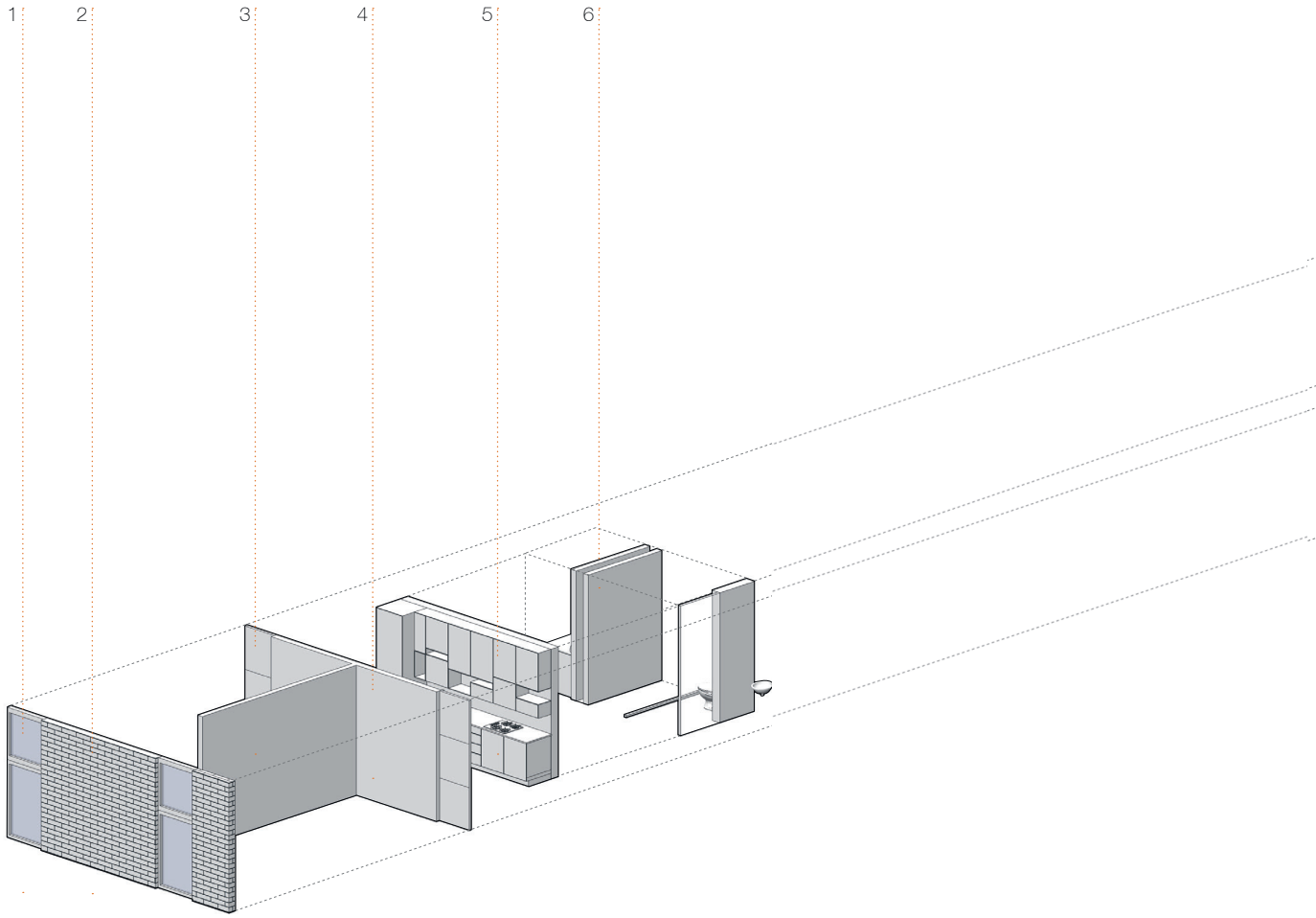
0 1 2 5m

Marcos industrializados transversales

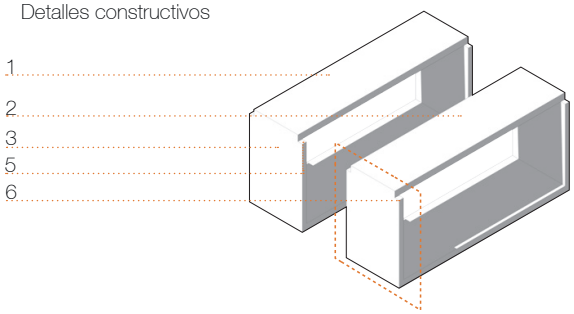
1. Ventanas
2. Muros de fachada no estructurales
3. Muros interiores no estructurales en área de dormitorios
4. Muros interiores
5. Mobiliario de cocina
6. Instalaciones técnicas
7. Ventanas
8. Muro estructural en hormigón armado prefabricado
9. Losa estructural en hormigón armado prefabricado
10. Marco estructural en hormigón armado prefabricado
11. Refuerzos en varillas de acero, de acuerdo con diseños estructurales
12. Espacio para la ubicación de instalaciones técnicas
13. Ventanas
14. Suelo compactado, de acuerdo con la zona sísmica

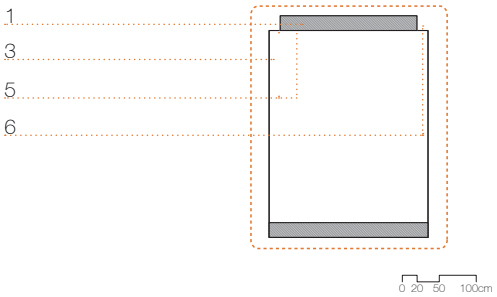
Detalles constructivos

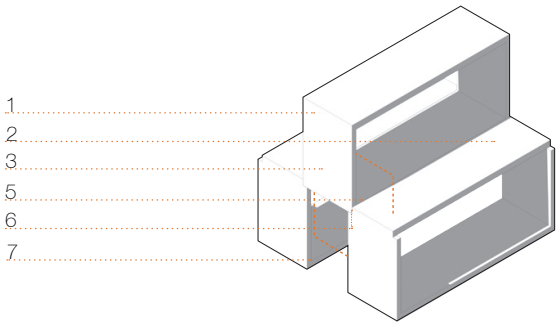
1. Marco estructural en hormigón armado prefabricado
2. Losa estructural en hormigón armado prefabricado
3. Muro estructural en hormigón armado prefabricado
4. Refuerzos metálicos interiores postensados. Especificaciones de acuerdo con los diseños estructurales.
5. Junta entre marcos estructurales
6. Unión entre marcos estructurales por ensamble geométrico
7. Refuerzos metálicos interiores. Especificaciones de acuerdo con diseños estructurales

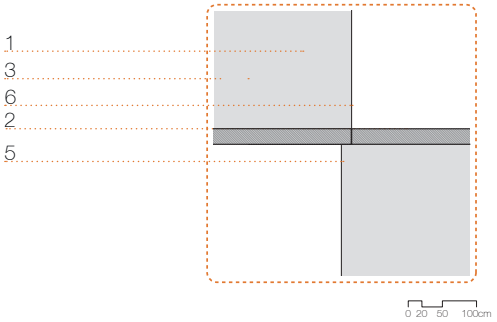


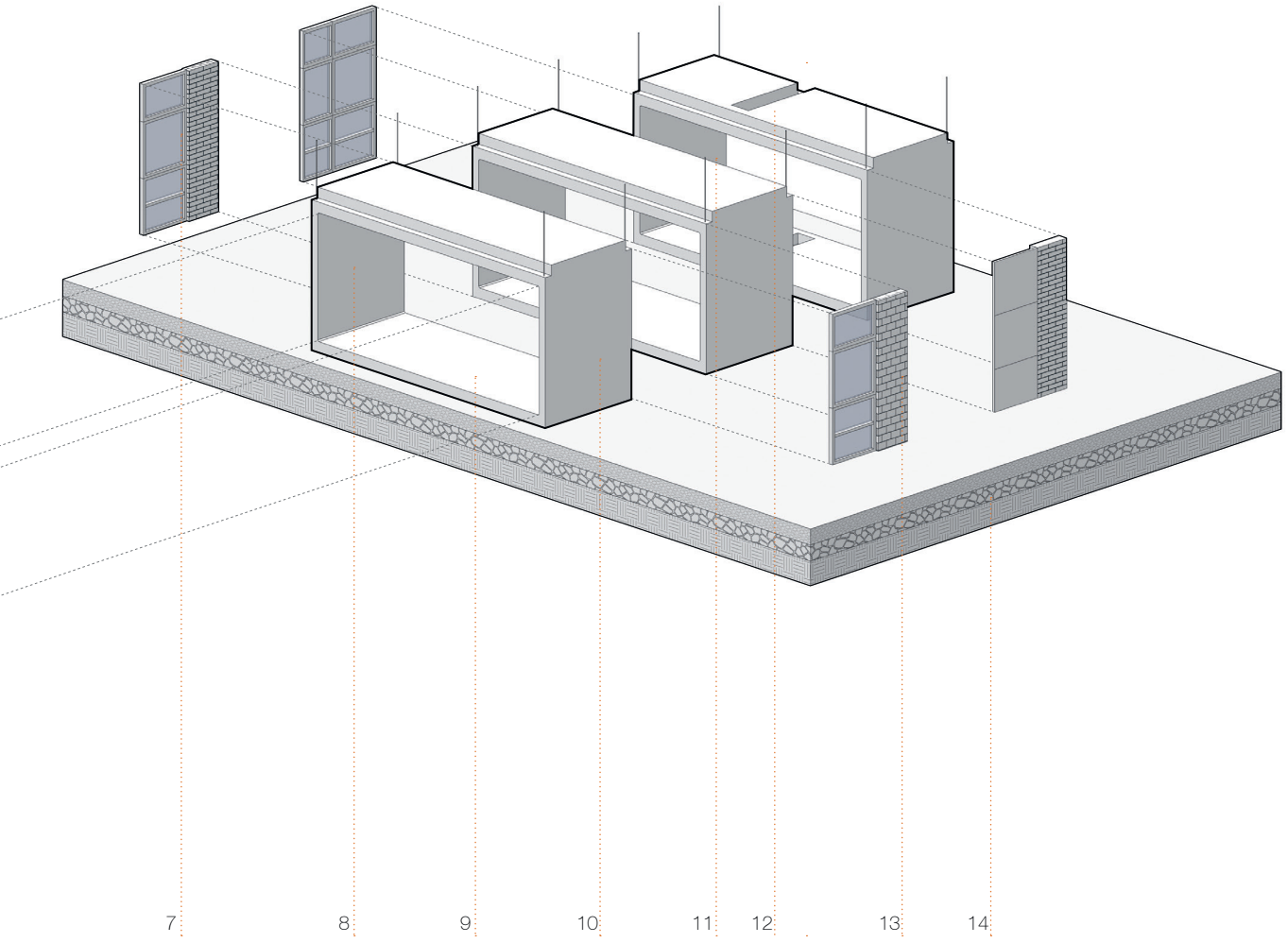
Detalles constructivos





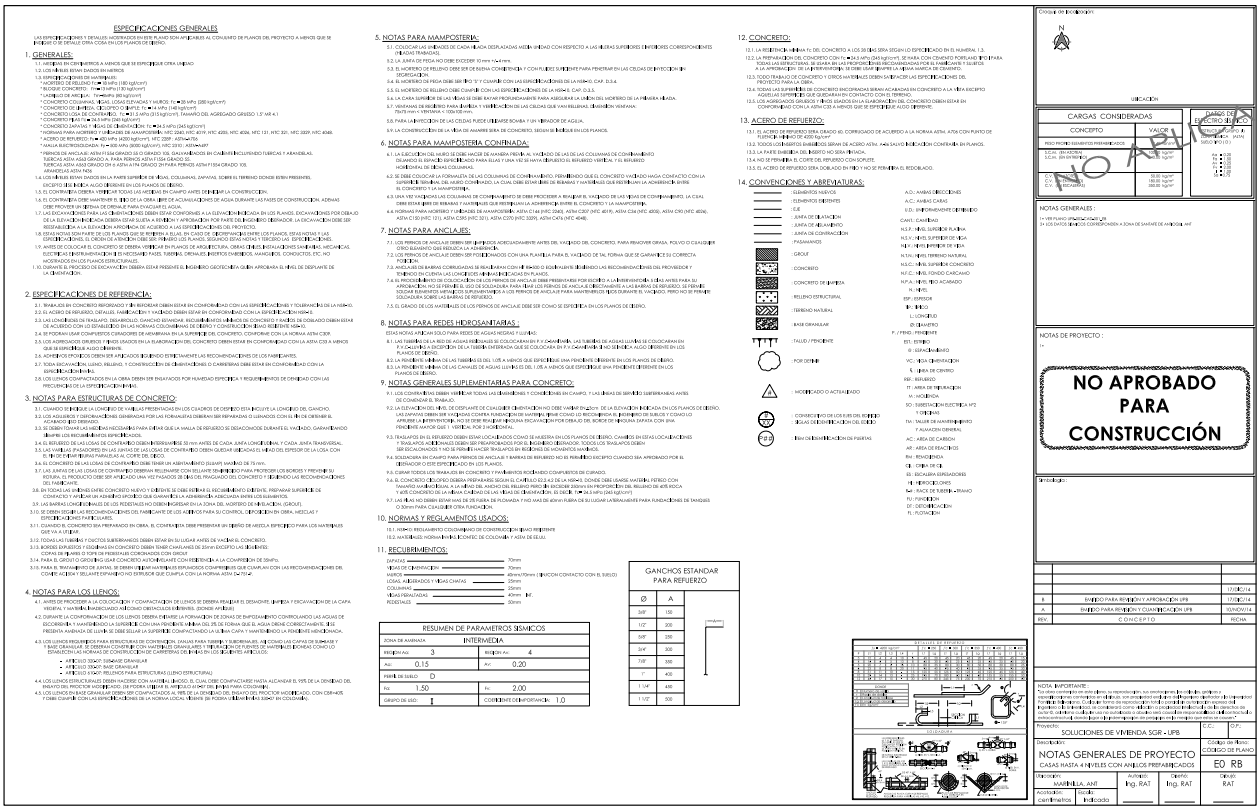


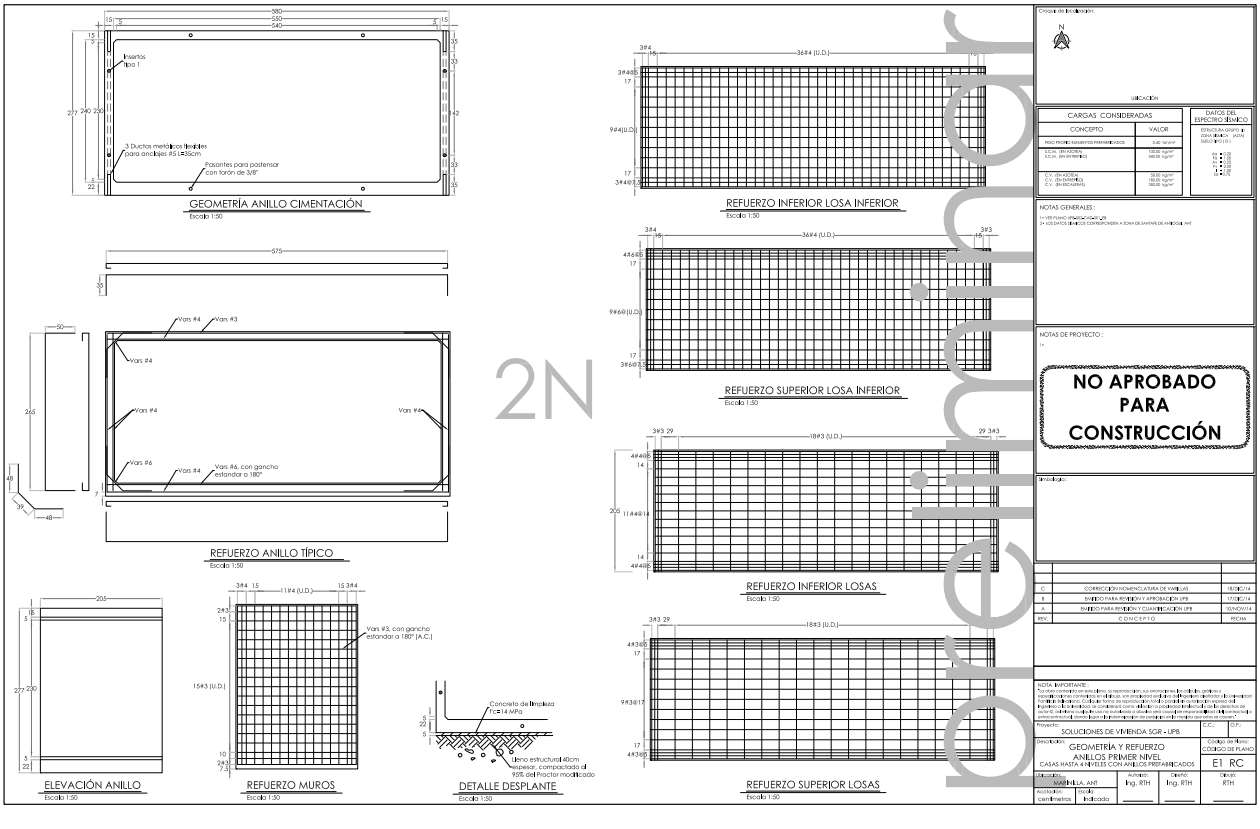


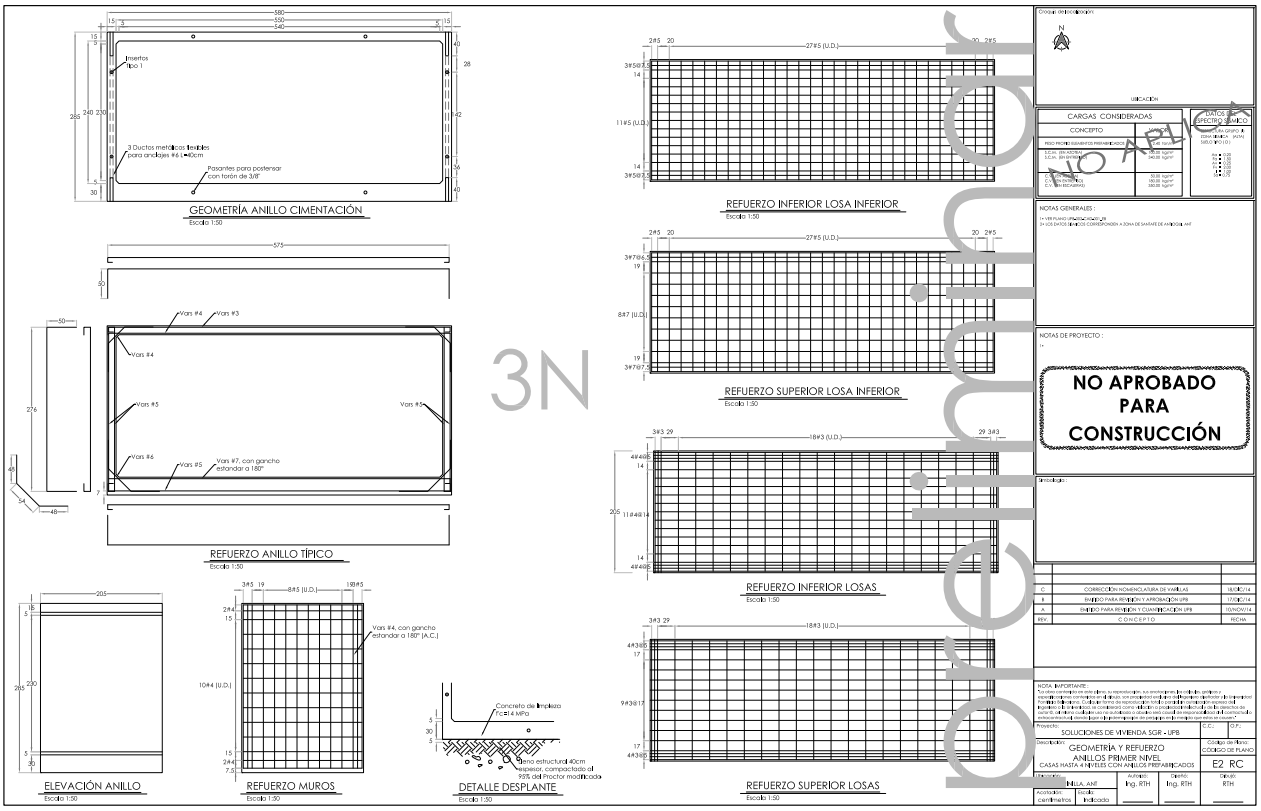


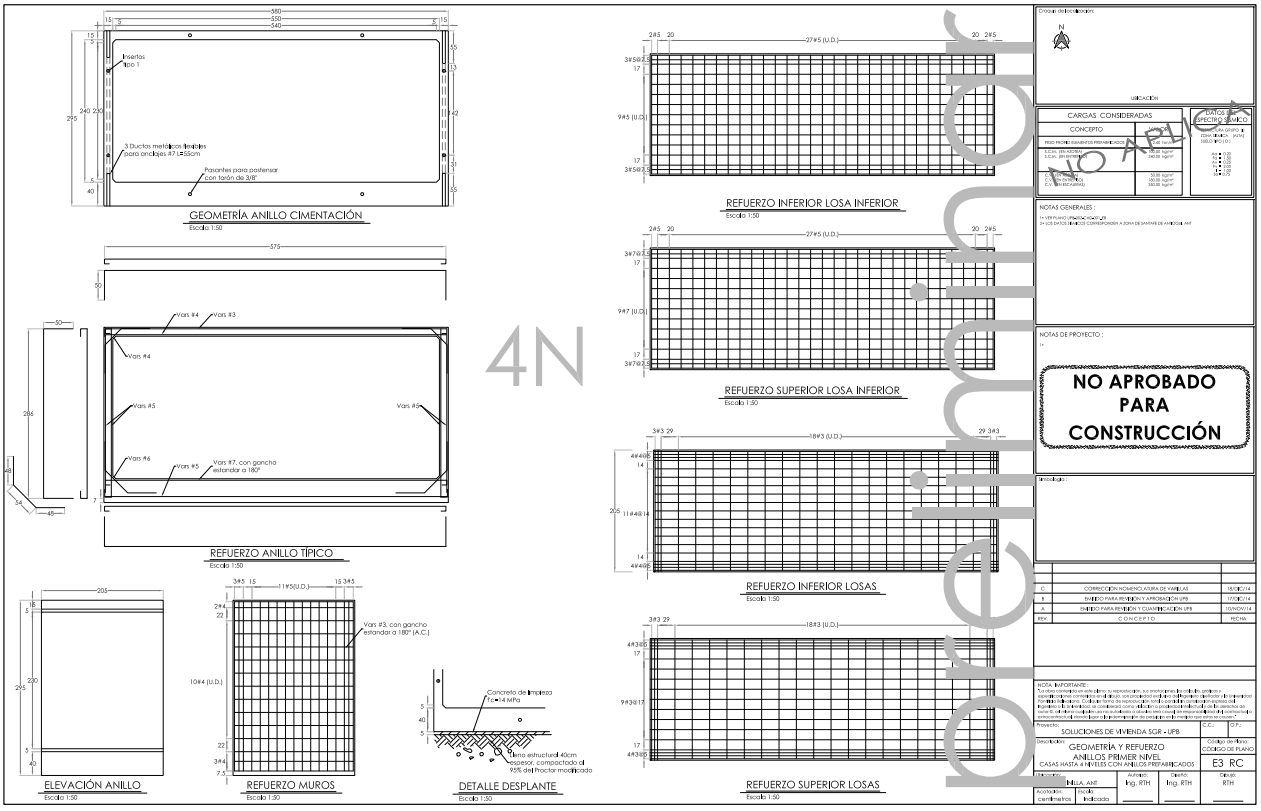
Marcos industrializados transversales

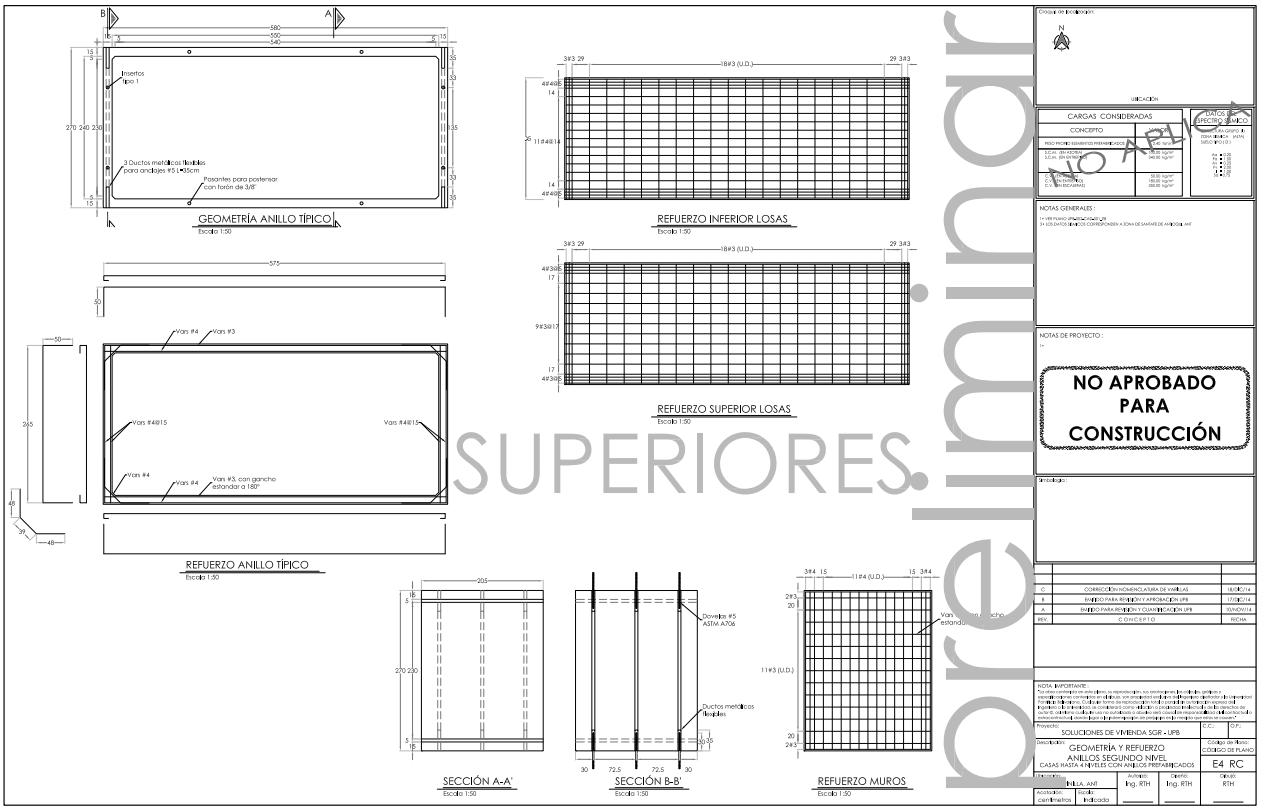
Anexo 4 Planos estructurales

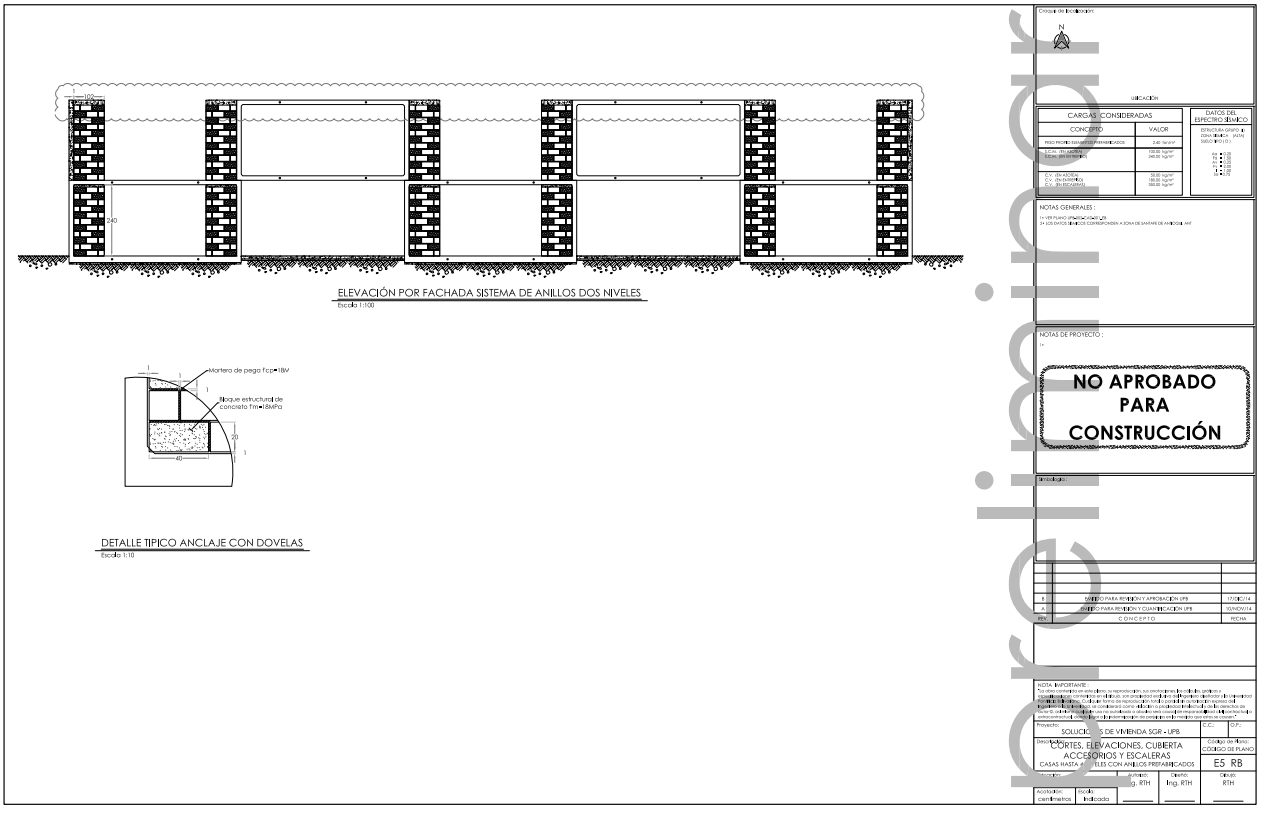

ESPECIFICACIONES GENERALES
1. GENERALES:
2. ESPECIFICACIONES DE REFERENCIA:
3. NOTAS PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO:
4. NOTAS PARA LOS LLENOS:
5. NOTAS PARA MAMPOSTERIA:
6. NOTAS PARA MAMPOSTERIA CONFINADA:
7. NOTAS PARA ANCLAJES:
8. NOTAS PARA REDES HIDROSANITARIAS:
9. NOTAS GENERALES SUPLEMENTARIAS PARA CONCRETO:
10. NORMAS Y REGLAMENTOS USADOS:
11. RECUBRIMIENTOS:
12. CONCRETO:
13. ACERO DE REFUERZO:
14. CONVENCIONES Y ABREVIATURAS:
RESUMEN DE PARAMETROS SISMICOS
GANCHOS ESTANDAR PARA REFUERZO
Localización
CARGAS CONSIDERADAS
DATOS DEL ESPECTRO ELASTICO
NOTAS GENERALES :
NOTAS DE PROYECTO :
NO APROBADO PARA CONSTRUCCIÓN
Simbología :
NOTA IMPORTANTE :
Proyecto: SOLUCIONES DE VIVIENDA SGR - UPB
Descripción: NOTAS GENERALES DE PROYECTO
CASAS HASTA 4 NIVELES CON ANILLOS PREFABRICADOS
Código de Plano: E0 RB
Dibujo: MARINILLA, ANT
Revisó: Ing. RAT
Diseñó: Ing. RAT
Dibujó: RAT
Escala: Indicada
REV. CONCEPTO FECHA
A BAJADO PARA REVISIÓN Y APROBACIÓN UPB 10/NOV/14
B BAJADO PARA REVISIÓN Y CUANTIFICACIÓN UPB 12/DIC/14

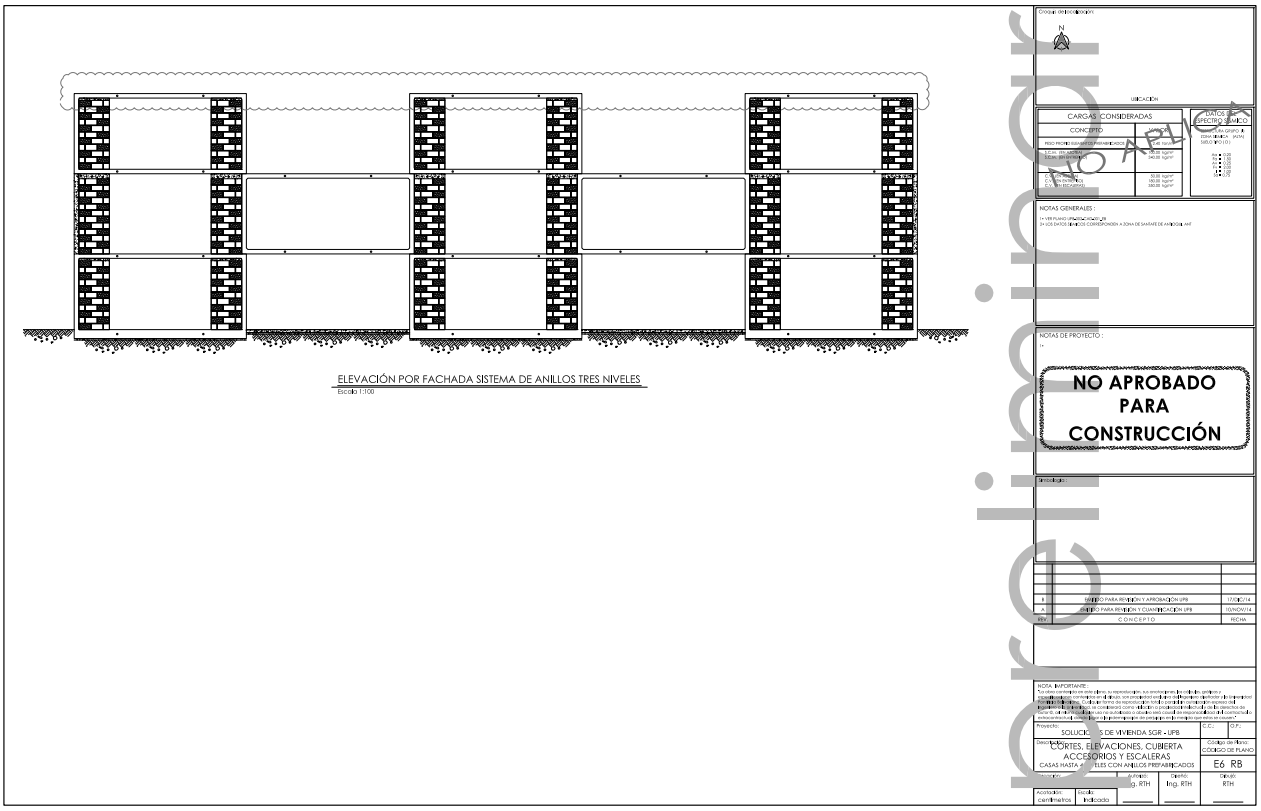

GEOMETRÍA ANILLO CIMENTACIÓN
Escala 1:50
REFUERZO ANILLO TÍPICO
Escala 1:50
ELEVACIÓN ANILLO
Escala 1:50
REFUERZO MUROS
Escala 1:50
DETALLE DESPLANTE
Escala 1:50
REFUERZO INFERIOR LOSA INFERIOR
Escala 1:50
REFUERZO SUPERIOR LOSA INFERIOR
Escala 1:50
REFUERZO INFERIOR LOSAS
Escala 1:50
REFUERZO SUPERIOR LOSAS
Escala 1:50
preliminar
2N
Localización
CARGAS CONSIDERADAS
DATOS DEL ESPECTRO ELASTICO
NOTAS GENERALES :
NOTAS DE PROYECTO :
NO APROBADO PARA CONSTRUCCIÓN
Simbología :
NOTA IMPORTANTE :
Proyecto: SOLUCIONES DE VIVIENDA SGR - UPB
Descripción: GEOMETRÍA Y REFUERZO
ANILLOS PRIMER NIVEL
CASAS HASTA 4 NIVELES CON ANILLOS PREFABRICADOS
Código de Plano: E1 RC
Dibujo: MARINILLA, ANT
Revisó: Ing. RTH
Diseñó: Ing. RTH
Dibujó: RTH
Escala: Indicada
REV. CONCEPTO FECHA
A BAJADO PARA REVISIÓN Y CUANTIFICACIÓN UPB 10/NOV/14
B CORRECCIÓN NOMENCLATURA DE VARILLAS 18/DIC/14

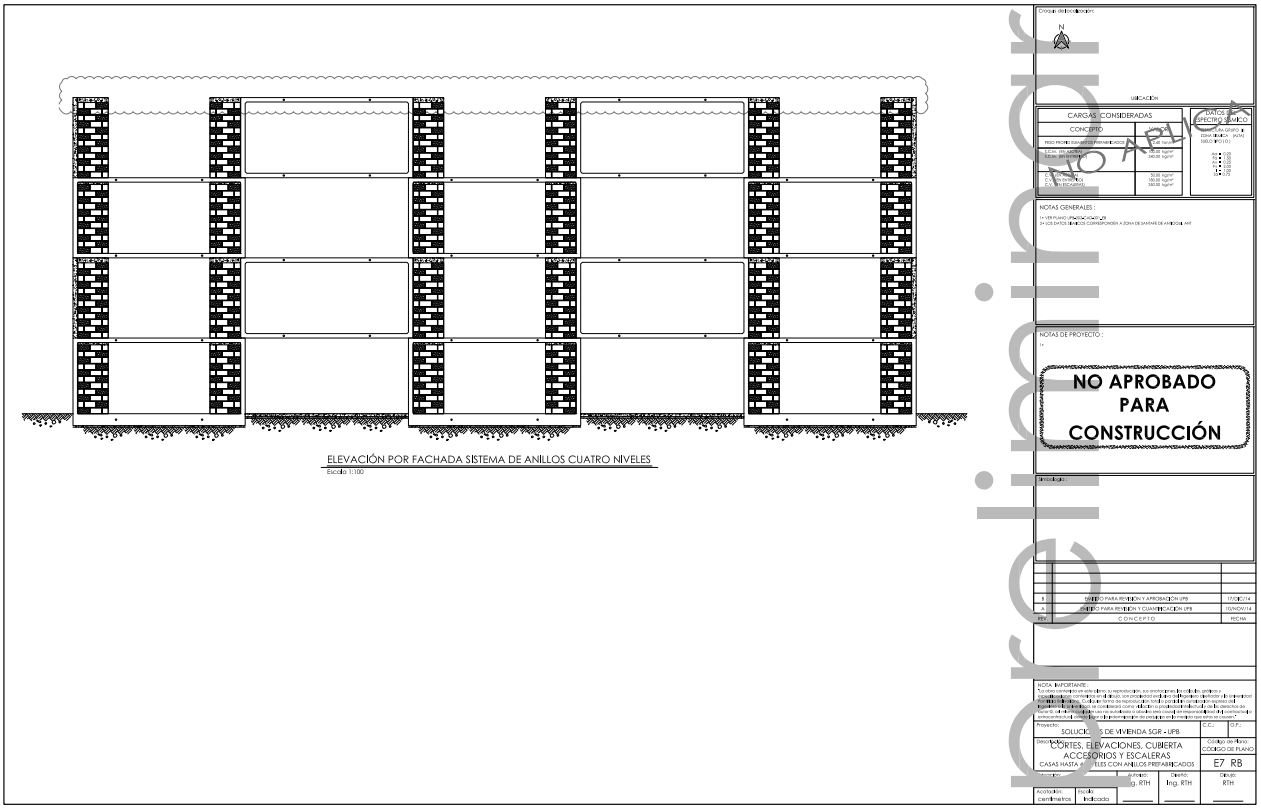

3N
GEOMETRÍA ANILLO CIMENTACIÓN
Escala 1:50
REFUERZO ANILLO TÍPICO
Escala 1:50
ELEVACIÓN ANILLO
Escala 1:50
REFUERZO MUROS
Escala 1:50
DETALLE DESPLANTE
Escala 1:50
REFUERZO INFERIOR LOSA INFERIOR
Escala 1:50
REFUERZO SUPERIOR LOSA INFERIOR
Escala 1:50
REFUERZO INFERIOR LOSAS
Escala 1:50
REFUERZO SUPERIOR LOSAS
Escala 1:50
NO APROBADO PARA CONSTRUCCIÓN
preliminar

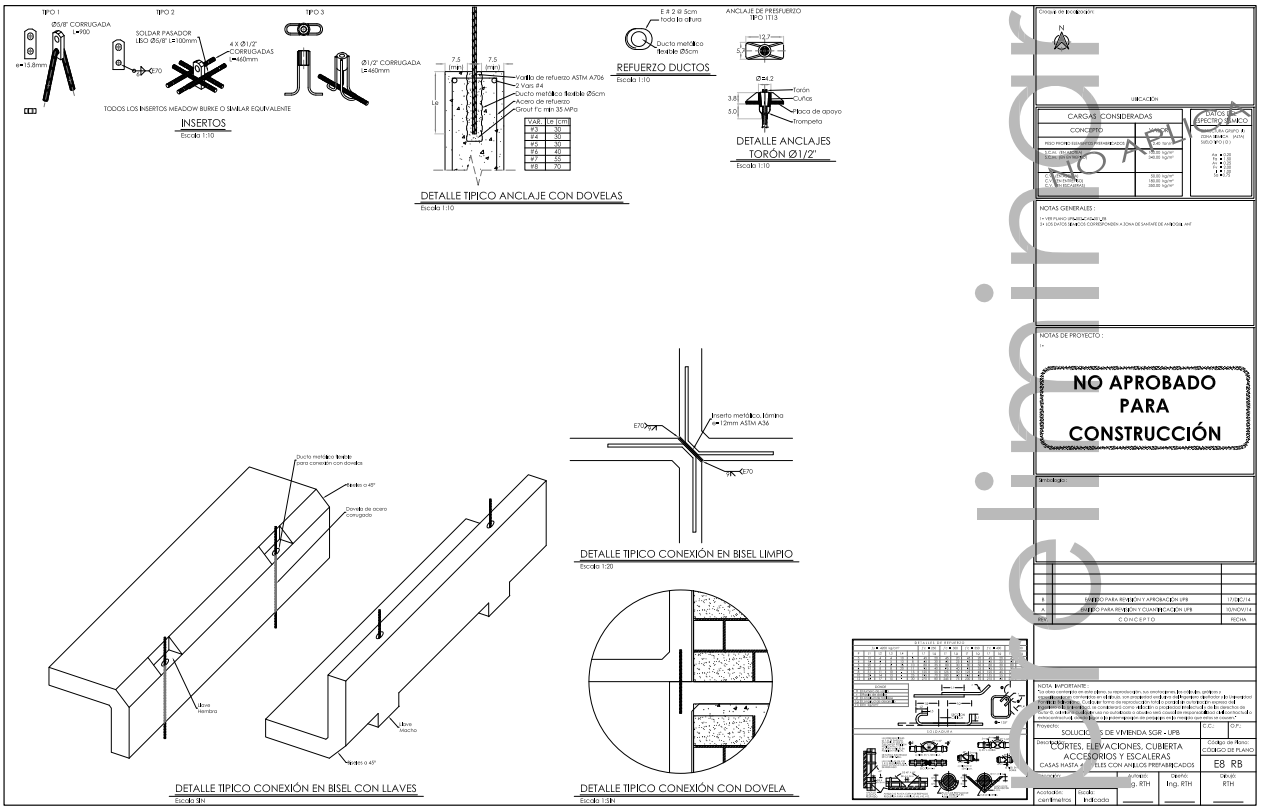

4N
GEOMETRÍA ANILLO CIMENTACIÓN
Escala 1:50
REFUERZO ANILLO TÍPICO
Escala 1:50
ELEVACIÓN ANILLO
Escala 1:50
REFUERZO MUROS
Escala 1:50
DETALLE DESPLANTE
Escala 1:50
REFUERZO INFERIOR LOSA INFERIOR
Escala 1:50
REFUERZO SUPERIOR LOSA INFERIOR
Escala 1:50
REFUERZO INFERIOR LOSAS
Escala 1:50
REFUERZO SUPERIOR LOSAS
Escala 1:50
NO APROBADO PARA CONSTRUCCIÓN
preliminar


GEOMETRÍA ANILLO TÍPICO
Escala 1:50
REFUERZO INFERIOR LOSAS
Escala 1:50
REFUERZO SUPERIOR LOSAS
Escala 1:50
REFUERZO ANILLO TÍPICO
Escala 1:50
SECCIÓN A-A'
Escala 1:50
SECCIÓN B-B'
Escala 1:50
REFUERZO MUROS
Escala 1:50
NO APROBADO PARA CONSTRUCCIÓN
SOLUCIONES DE VIVIENDA SGR - UPB
GEOMETRÍA Y REFUERZO ANILLOS SEGUNDO NIVEL CASAS HASTA 4 NIVELES CON ANILLOS PREFABRICADOS
E4 RC
preliminar
SUPERIORES.


ELEVACIÓN POR FACHADA SISTEMA DE ANILLOS DOS NIVELES
Escala 1:100
DETALLE TIPICO ANCLAJE CON DOVELAS
Escala 1:10
NO APROBADO PARA CONSTRUCCIÓN
SOLUCIONES DE VIVIENDA SGR - UPB
CORTES, ELEVACIONES, CUBIERTA ACCESORIOS Y ESCALERAS
CASAS HASTA 4 NIVELES CON ANILLOS PREFABRICADOS
E5 RB
preliminar


ELEVACIÓN POR FACHADA SISTEMA DE ANILLOS TRES NIVELES
Escala 1:100
NO APROBADO PARA CONSTRUCCIÓN
preliminar


ELEVACIÓN POR FACHADA SISTEMA DE ANILLOS CUATRO NIVELES
Escala 1:100
NO APROBADO PARA CONSTRUCCIÓN
preliminar


TIPO 1
TIPO 2
TIPO 3
INSERTOS
TODOS LOS INSERTOS MEADOW BURKE O SIMILAR EQUIVALENTE
DETALLE TIPICO ANCLAJE CON DOVELAS
REFUERZO DUCTOS
DETALLE ANCLAJES TORÓN Ø1/2"
DETALLE TIPICO CONEXIÓN EN BISEL LIMPIO
DETALLE TIPICO CONEXIÓN EN BISEL CON LLAVES
DETALLE TIPICO CONEXIÓN CON DOVELA
NO APROBADO PARA CONSTRUCCIÓN
CORTES, ELEVACIONES, CUBIERTA
ACCESORIOS Y ESCALERAS

Anexo 5 Certificado de patente

REPÚBLICA DE COLOMBIA
SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

Resolución N° 81016

Ref. Expediente N° 15096687

Por la cual se otorga una Patente de Invención

EL SUPERINTENDENTE DE INDUSTRIA Y COMERCIO
en ejercicio de sus facultades legales, en especial de las conferidas en el numeral 26 del artículo 3° del Decreto 4886 de 2011, y

CONSIDERANDO:

PRIMERO: Que mediante escrito radicado en esta Superintendencia el 28 de abril de 2015 con el N° 15-96687-0000-0000, por UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA, presentó la solicitud de patente de invención titulada "SISTEMA CONSTRUCTIVO MODULAR PREFABRICADO".

SEGUNDO: Que el extracto de esta solicitud fue publicado en la Gaceta de la Propiedad Industrial Nº 743 el 30 de octubre de 2015, sin que se hubieran presentado oposiciones por parte de terceros.

TERCERO: Que realizado el examen de fondo mediante Oficio N° 8325, notificado el 12 de junio de 2017, se requirió al solicitante en los términos del artículo 45 de la Decisión 486 de la Comisión de la Comunidad Andina para que presentara respuesta a las observaciones de carácter técnico, relacionadas con la patentabilidad o cumplimiento de los requisitos establecidos por esta Decisión para la concesión de la patente.

CUARTO: Que el solicitante mediante escrito radicado bajo el N° 15096687 el 07 de septiembre de 2017, respondió oportunamente el requerimiento formulado y presenta(n) nueva(s) reivindicación(es) 1 a 31 que reemplaza(n) la(s) originalmente presentada(s), atendiendo de esta manera las observaciones efectuadas en el examen de fondo. Se acepta este último capítulo reivindicatorio presentado, comoquiera que se ajusta a las prescripciones contenidas en el artículo 34 de la Decisión 486.

QUINTO: Que en virtud de lo dispuesto en el artículo 14 de la Decisión 486 expedida por la Comisión de la Comunidad Andina *"Los países miembros otorgarán patentes para las invenciones, sean de producto o de procedimiento, en todos los campos de la*

Superintendencia de Industria y Comercio
Cra 13 No. 27- 00 pisos 1, 3, 4, 5, 6, 7 y 10 PBX: (571) 5870000
Call center: (571) 5920400 Línea gratuita nacional: 01800-910165
www.sic.gov.co - E-mail: contactenos@sic.gov.co - Bogotá D.C. - Colombia.

REPÚBLICA DE COLOMBIA
SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

Resolución N° 81016

Ref. Expediente N° 15096687

tecnología, siempre que sean nuevas, tengan nivel inventivo y sean susceptibles de aplicación industrial."

SEXTO: Que en el presente caso la(s) reivindicación(es) 1 a 31 incluida(s) en el radicado bajo el N° 15096687 el 07 de septiembre de 2017, cumple(n) los requisitos indicados en el considerando anterior y, en consecuencia, este Despacho encuentra procedente conceder para la(s) misma(s) la patente solicitada.

RESUELVE

ARTÍCULO PRIMERO: Otorgar patente de invención para la creación titulada:

"SISTEMA CONSTRUCTIVO MODULAR PREFABRICADO"

Clasificación IPC: *E04B 1/00, E04B 1/04.*

Reivindicación(es): *1 a 31 incluida(s) en el radicado bajo el No 15096687 el 07 de septiembre de 2017.*

Titular(es): *UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA.*

Domicilio(s): *Circular 1 No. 73 – 66, Medellín, MEDELLIN, ANTIOQUIA, COLOMBIA.*

Inventor(es): *ALEJANDRO RESTREPO MONTOYA y FELIPE BERNAL HENAO.*

Vigente desde: *28 de abril de 2015* ***Hasta:*** *28 de abril de 2035.*

ARTÍCULO SEGUNDO: El titular tendrá los derechos y las obligaciones establecidos en la Decisión 486 de la Comisión de la Comunidad Andina y en las demás disposiciones legales vigentes sobre propiedad industrial, precisando que para mantener vigente la patente se deberá cancelar la tasa anual de mantenimiento, conforme lo dispone el artículo 80 de la referida norma comunitaria.

ARTÍCULO TERCERO: Notificar el contenido de la presente resolución a la UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA advirtiéndole que contra ella procede el recurso de reposición, ante el Superintendente de Industria y Comercio, el cual podrá

Superintendencia de Industria y Comercio
Cra 13 No. 27- 00 pisos 1, 3, 4, 5, 6, 7 y 10 PBX: (571) 5870000
Call center: (571) 5920400 Línea gratuita nacional: 01800-910165
www.sic.gov.co - E-mail: contactenos@sic.gov.co - Bogotá D.C. - Colombia.

REPÚBLICA DE COLOMBIA
SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

Resolución N° 81016

Ref. Expediente N° 15096687

ser interpuesto en el momento de la notificación o dentro de los diez (10) días hábiles siguientes a ella.

NOTIFÍQUESE Y CÚMPLASE
Dada en Bogotá D.C., a los 7 de diciembre de 2017

PABLO FELIPE ROBLEDO DEL CASTILLO
Superintendente de Industria y Comercio

Superintendencia de Industria y Comercio
Cra 13 No. 27- 00 pisos 1, 3, 4, 5, 6, 7 y 10 PBX: (571) 5870000
Call center: (571) 5920400 Línea gratuita nacional: 01800-910165
www.sic.gov.co - E-mail: contactenos@sic.gov.co - Bogotá D.C. - Colombia.

Hogar Concreto

Industrialización parcial del hábitat popular para mejorar la eficiencia en el diseño y la construcción de la vivienda social.

Autor

Alejandro Restrepo Montoya, Arquitecto. Prof. Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), Facultad de Arquitectura. Medellín, Colombia
Director de Proyectos Urbanos Estratégicos de Medellín, Colombia, 2016 – 2020
Embajador Científico para el Servicio de Intercambio Académico Alemán (*Deutscher Akademischer Austauschdienst*, DAAD) en Colombia

Director

Profesor Florian Musso, Arquitecto. *Technische Universität Munchen* (TUM). Facultad de Arquitectura. *Lehrstuhl für Entwerfen, Baukonstruktion und Baustoffkunde* (EBB). Munich, Alemania

Asesor

Profesor Hubert Klumpner, Arquitecto. Departamento de Arquitectura D-ARCH, *Eidgenössische Technische Hochschule* (ETH). Decano Facultad de Arquitectura y Diseño Urbano. Zürich, Suiza

Equipo técnico para la construcción de prototipos (en orden alfabético)

Iván Darío Solano Mejía, Arquitecto. Diseños hidrosanitarios
Jesús Abelino Saldarriaga Molina, Ingeniero Civil. Asesor eléctrico y de iluminación
Jorge Eduardo Arbeláez Rojas, Ingeniero Civil. Diseño estructural
Juan Fernando Gómez Ángel, Ingeniero Civil. Firma de presupuestos arquitectónicos *Proyectar*. Medellín, Colombia
Martha Lucía Gómez, Ingeniera Civil. Construcción de prototipos
Nathalie Rúa Alzate, Ingeniera Civil. Firma de Presupuestos Arquitectónicos *Proyectar*. Medellín, Colombia
Ricardo Trujillo Henao. Ingeniero Civil. Diseño Estructural

Este trabajo ha sido desarrollado con el apoyo de (en orden alfabético)

Deutscher Akademischer Austausch Dienst (DAAD). Bonn, Alemania
Technische Universität München (TUM). Munich, Alemania
Universidad Pontificia Bolivariana (UPB). Medellín, Colombia

Gráficos (en orden alfabético)

Alejandro Restrepo Montoya, Arquitecto. Prof. Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), Facultad de Arquitectura. Medellín, Colombia
Daniel Molina Gallego, Arquitecto. Universidad Nacional de Colombia (UNAL). Medellín, Colombia
Daniel Zuluaga Londoñ, Arquitecto. Universidad Nacional de Colombia (UNAL). Medellín, Colombia
Juliana Zapata Agudelo, Arquitecta. Universidad Pontificia Bolivariana (UPB). Medellín, Colombia
Sebastián Ramírez Arroyave, Arquitecto. Universidad Nacional de Colombia (UNAL). Medellín, Colombia

Traducción al Inglés y revisión gramatical del Inglés

Jane S. Losada, Ed. D.

Esta disertación ha sido escrita en

Technische Universität München (TUM). Facultad de Arquitectura. *Lehrstuhl für Entwerfen, Baukonstruktion und Baustoffkunde* (EBB). Munich, Alemania
Universidad Pontificia Bolivariana (UPB). Facultad de Arquitectura. Laboratorio de Estudios y Experimentación Técnica en Arquitectura (LEET) y Laboratorio de Arquitectura y Urbanismo (LAUR). Medellín, Colombia

Contenido

	Prefacio	
	Introducción	**1**
1	**Problemática**	**5**
1.1	El problema en términos cuantitativos	6
1.2	El problema en términos cualitativos	6
1.3	Política actual de vivienda social	7
1.3.1	Vivienda de Interés Social Prioritaria (VIP)	7
1.3.2	Vivienda de Interés Social (VIS)	8
1.4	El déficit	8
1.4.1	El déficit cuantitativo	9
1.4.1.1	Costo de construcción	9
1.4.1.2	Tiempo de construcción	9
1.4.2	El déficit cualitativo	9
1.4.2.1	Criterios objetivos: Incumplimiento de los requisitos mínimos de vivienda social	10
1.4.2.2	Criterios subjetivos: Procesos informales de planificación y construcción	10
1.4.3	El déficit acumulado	10
1.4.3.1	El déficit acumulado en 1993	10
1.4.3.2	El déficit acumulado en 2005	10
1.4.4	Variaciones en el déficit	10
1.4.4.1	Cuantitativo	10
1.4.4.2	Cualitativo	10
1.4.4.3	Acumulado	12
1.5	Hipótesis	12
1.5.1	Industrialización: Producción en serie de elementos estructurales	12
1.5.2	Personalización: Individualización durante el diseño, producción y construcción	12
1.5.3	Transformación: Mejora y contribución personal después de la ocupación	13
	Resumen	14
2	**Contexto**	**17**
2.1	Geografía	18
2.1.1	Topografía	18
2.1.2	Sismología	18
2.1.3	Hidrografía	18
2.1.4	Clima	19
2.2	Sociedad	19
2.2.1	Población	19
2.2.2	Cultura	20
2.2.3	Calidad de vida	20
2.3	Economía	21
2.4	Infrastructura	21
2.4.1	Transporte	21
2.4.2	Servicios públicos	22
2.5	Industria	22
2.6	Contexto político	22
2.7	Concreto prefabricado: Normativa técnica	22
	Resumen	24
3	**Vivienda social**	**27**
3.1	Historia y evolución del concepto de vivienda social	28
3.1.1	En Europa Occidental	28
3.1.1.1	Vivienda mínima	28
3.1.1.2	Vivienda masiva	29
3.1.1.3	La unidad de barrio	29
3.1.2	En América Latina	30
3.1.2.1	Vivienda de los trabajadores	30
3.1.2.2	Viviendas estatales	31
3.1.2.3	Vivienda experimental	31
3.1.3	En Colombia y Antioquia	32

3.1.3.1	Higienista (1918-1942)	32
3.1.3.2	Institucional (1942-1965)	33
3.1.3.3	Transicional (1965-1972)	33
3.1.3.4	Corporativo (1972-1991)	34
3.1.3.5	Concepción de mercado y subsidios a la demanda (desde 1991)	35
3.2	Diseño urbano, arquitectónico y técnico de viviendas sociales en el siglo XXI	36
3.2.1	Europa Occidental	40
3.2.1.1	Planificación urbana	40
3.2.1.2	Vivienda	40
3.2.1.2.1	Tipologías	40
3.2.1.2.2	Programa	40
3.2.1.3	Técnicas de construcción	40
3.2.2	América Latina	41
3.2.2.1	Planificación urbana	41
3.2.2.2	Vivienda	41
3.2.2.2.1	Tipologías	41
3.2.2.2.2	Programa	41
3.2.2.3	Técnicas de construcción	42
3.2.3	Colombia y Antioquia	42
3.2.3.1	Planificación urbana	42
3.2.3.2	Vivienda	42
3.2.3.2.1	Tipologías	42
3.2.3.2.2	Programa	42
3.2.3.3	Técnicas de construcción	44
	Resumen	45
4	**Tecnología del concreto prefabricado**	**47**
4.1	Generalidades	48
4.1.1	Continuidad	48
4.1.1.1	Continuidad estructural	48
4.1.1.2	Continuidad espacial	48
4.1.1.3	Continuidad constructiva	48
4.1.2	Flexibilidad	48
4.1.2.1	A escala urbana	48
4.1.2.2	A escala de un edificio	49
4.1.2.3	A escala de vivienda	49
4.1.2.4	A escala de otros subsistemas constructivos	49
4.1.3	Sistemas de prefabricación en concreto	49
4.1.3.1	Cerrado	49
4.1.3.2	Abierto	49
4.1.3.3	Parcialmente industrializado	50
4.2	Componentes de concreto reforzado prefabricado	50
4.2.1	Material conglomerado	50
4.2.2	Agregados	50
4.2.3	Refuerzos	51
4.2.3.1	Lineal	51
4.2.3.1.1	Refuerzos pasivos	51
4.2.3.1.2	Refuerzos activos	51
4.2.3.2	Continuo	51
4.2.3.3	Discontinuo	51
4.2.4	Aditivos	52
4.2.5	Desarrollos establecidos	52
4.2.5.1	Concreto prefabricado ligero	53
4.2.5.1.1	Con agregados expandidos	53
4.2.5.1.2	Con partículas de madera	53
4.2.5.1.3	Concreto celular	53
4.2.5.2	Concreto prefabricado con áridos reciclados	54
4.2.5.2.1	Concreto con cenizas volantes	54
4.2.5.2.2	Concreto prefabricado con materiales reciclados de procesos de construcción	54
4.2.5.2.3	Concretos con cemento de escoria de alto horno	55
4.2.5.3	Concreto prefabricado reforzado con textiles y fibras	55
4.2.5.3.1	Concreto prefabricado reforzado con mallas textiles	55

4.2.5.3.2 Concreto prefabricado reforzado con fibra de acero 56
4.2.5.3.3 Concreto prefabricado reforzado con fibra de vidrio (GRC) 56
4.2.5.3.4 Concreto prefabricado reforzado con fibra de polietileno 56
4.2.5.4 Concreto prefabricado de ultra alto rendimiento (UHPC) 56
4.2.5.5 Concreto prefabricado pretensado y postensado 57
4.2.5.5.1 Concreto prefabricado pretensado 57
4.2.5.5.2 Concreto prefabricado postensado 58
4.2.6 Evaluación de resistencia 58
4.2.7 Diseño técnico 59
4.3 Encofrados 60
4.3.1 Rígido 60
4.3.1.1 Metálico 60
4.3.1.2 Tableros de madera 61
4.3.1.3 Listones de madera 61
4.3.1.4 Poliéster laminado con fibra de vidrio 61
4.3.1.5 Concreto reforzado con fibra de vidrio (GRC) 61
4.3.2 Flexibles 61
4.4 Producción 62
4.4.1 Plantas industriales 62
4.4.2 Fábricas de campo 62
4.5 Transporte 62
4.5.1 Transporte terrestre 62
4.5.1.1 Pesos y longitudes permitidos 62
4.5.1.2 Características y clasificación de carreteras 63
4.5.2 Transporte fluvial 63
4.5.2.1 Pesos y longitudes permitidos 63
4.5.2.2 Características y clasificaciones de los ríos 64
4.5.3 Transporte ferroviario 64
4.5.3.1 Pesos y longitudes permitidos 64
4.5.3.2 Características y clasificaciones de los ferrocarriles 64
4.6 Sistemas estructurales 64
4.6.1 Esqueletales 64
4.6.1.1 Elementos 64
4.6.1.1.1 Fundaciones 64
4.6.1.1.2 Columnas 65
4.6.1.1.3 Vigas y viguetas 65
4.6.1.1.4 Consolas 67
4.6.1.1.5 Losas 67
4.6.1.2 Juntas 68
4.6.2 Muros 69
4.6.2.1 Elementos 69
4.6.2.1.1 Fundaciones 69
4.6.2.1.2 Muros 70
4.6.2.1.3 Vigas y viguetas 70
4.6.2.1.4 Consolas 70
4.6.2.1.5 Losas 70
4.6.2.2 Juntas 71
4.6.3 Células espaciales 71
4.6.3.1 Elementos 72
4.6.3.1.1 Fundaciones 72
4.6.3.1.2 Células 72
4.6.3.2 Juntas 72
4.7 Regulaciones NSR-10 para las juntas de elementos prefabricados 73
4.8 Nuevos desarrollos: Perspectiva 75
4.8.1 BioConcreto 75
4.8.2 Concreto reforzado con fibras naturales 75
4.8.3 Concreto reforzado con nanopartículas 76
4.8.4 Concreto transformable (postformable, corte o gráfico) 77
4.8.5 Encofrados textiles 77
Resumen 79

5	**Casos de Estudio**	**81**
5.1	Años 40 y 50	86
5.1.1	Sistema Camus, Francia, 1948	86
5.1.2	Sistema Novoa - Sandino, Cuba, 1950	92
5.1.3	G-57, Antigua Checoslovaquia, 1957	98
5.1.4	Sistema IMS, Antigua Yugoslavia, 1957	104
5.1.5	1-335, Antigua Unión Soviética, 1959	110
5.1.6	Otros proyectos	116
5.1.6.1	Unidad Vecinal Muzú. Bogotá, Colombia, 1949	116
5.1.6.2.	1-510, Antigua Unión Soviética, 1957	116
5.1.6.3	K-7, Antigua Unión Soviética, 1958	117
5.1.6.4	Gran Panel IV. Cuba, 1959	117
5.2	Años 60	118
5.2.1	VAM, Países Bajos, 1961	118
5.2.2	Dormitorios de Saint Andrews, Escocia, 1964	124
5.2.3	Gran Panel Soviético, Cuba, 1965	130
5.2.4	Skarne S66, Suecia, 1966	136
5.2.5	Habitat 67. Montreal, Canadá, 1967	142
5.2.6	Otros proyectos	148
5.2.6.1.	Proyecto de Vivienda Experimental PREVI. Lima, Perú, 1966	148
5.2.6.1.1	Casas prefabricadas diseñadas por James Stirling	148
5.2.6.1.2	Casas prefabricadas diseñadas por Llanos y Mazzarri	148
5.2.6.1.3	Casas prefabricadas diseñadas por ATELIER 5	149
5.2.6.1.4	Casas prefabricadas diseñadas por Montagne y Morales	149
5.2.6.2	Larsen y Nielsen, Dinamarca, 1960	150
5.2.6.3	1-464, Antigua Unión Soviética, 1960	150
5.2.6.4	Jugomont 61, Antigua Yugoslavia, 1961	151
5.2.6.5	Ital-Camus, Italia, 1960	151
5.3	Años 70	152
5.3.1	Gran Panel 70. Cuba, 1970	152
5.3.2	WBS 70 (Wohnhungsbauserie 70). Antigua República Democrática Alemana, 1970	158
5.3.3	Complejo Residencial Genter Straße. Munich (Fase 1), Alemania, 1972	164
5.3.4	Sistema KPD Soviético (Krupnopanelnoye Domostroyenie). Chile, 1972	170
5.3.5	Martinsviertel. Colonia, Alemania, 1977	176
5.3.6	Otros proyectos	182
5.3.6.1	Complejo Residencial de Southgate Estate, Inglaterra, 1977	182
5.3.6.2	Viviendas Económicas Prefabricadas, (VEP). Chile, 1975	182
5.3.6.3	Edificio Residencial. Monza, Italia, 1972	183
5.3.6.4	Brecast, Reino Unido, 1970	183
5.3.6.5	Residencias en la VIIIa Olímpica. Munich, Alemania, 1971	184
5.3.6.5.1	Residencias de hombres	184
5.3.6.5.2	Residencias de mujeres	185
5.4	Años 80, 90 y 2000	186
5.4.1	Ciudad Bachué III. Bogotá, Colombia, 1980	186
5.4.2	Urbanización Niza. Pereira, Colombia, 1980	192
5.4.3	Viviendas de Protección Oficial. Alcobendas, España, 1995	198
5.4.4	Edificación residencial y comercial. Rathenow, Alemania, 1997	204
5.4.5	Elemental - Prototipo de Casa Milan. Italia, 2008	210
5.4.6	Otros proyectos	216
5.4.6.1	Ciudad Bachué I. Bogotá, Colombia, 1980	216
5.4.6.2	Ciudad Bachué II. Bogotá, Colombia, 1980	216
	Resumen	217
6	**Eficiencia**	**221**
6.1	Cantidad (qn)	222
6.1.1	Productos (p)	223
6.1.1.1	Viviendas	223
6.1.1.2	Área	223
6.1.2	Recursos (r)	224
6.1.2.1	Costo	224
6.1.2.1.1	Según la función	224
6.1.2.1.2	Según su identificación con una actividad	224

6.1.2.1.3	Según el momento en que se hayan calculado	225
6.1.2.1.4	Tipos de costos según su comportamiento	225
6.1.2.1.5	Tipos de costos según el tiempo o los períodos de construcción	225
6.1.2.2.	Tiempo	225
6.1.3	Cantidades mínimas requeridas	226
6.2	Calidad (ql)	226
6.2.1	Criterios objetivos	227
6.2.1.1	Modularidad	227
6.2.1.2	Replicabilidad	227
6.2.1.3	Transportabilidad	227
6.2.1.4	Adaptabilidad	228
6.2.1.5	Accesibilidad	228
6.2.2	Criterios subjetivos	228
6.2.2.1	Simplicidad	228
6.2.2.2	Flexibilidad	229
6.2.2.3	Confort	229
6.2.2.4	Belleza	229
6.2.2.5	Transformabilidad	230
6.2.3	Cualidades mínimas requeridas	230
	Resumen	231
7	**Conclusión**	**235**
7.1	Aumentar la cantidad y calidad	236
7.2	Aumentar la cantidad, mantener la calidad	236
7.3	Mantener la cantidad, aumentar la calidad	236
7.4	Mantener la cantidad y la calidad	237
7.5	Industrialización, personalización, transformación	237
7.5.1	Industrialización	237
7.5.2	Personalización	237
7.5.3	Transformación	237
7.6	Industrialización de lo esencial, personalización de lo necesario, transformación de lo ideal	238
7.7	Racionalidad e identidad	238
	Resumen	239
8	**Investigación Experimental**	**241**
8.1	Concepto	242
8.1.1	Industrialización	242
8.1.2	Personalización	243
8.1.3	Transformación	243
8.2	Sistema	243
8.2.1	Cantidades (qn)	243
8.2.1.1	Productos (p)	243
8.2.1.1.1	Viviendas	243
8.2.1.1.2	Área	244
8.2.1.2	Recursos (r)	244
8.2.1.2.1	Costo	244
8.2.1.2.2	Tiempo	244
8.2.2	Cualidades	244
8.2.2.1	Criterios objetivos	244
8.2.2.1.1	Modularidad	244
8.2.2.1.2	Replicabilidad	244
8.2.2.1.3	Transportabilidad	244
8.2.2.1.4	Adaptabilidad	245
8.2.2.1.5	Accesibilidad	245
8.2.2.2	Criterios subjetivos	245
8.2.2.2.1	Simplicidad	245
8.2.2.2.2	Flexibilidad	247
8.2.2.2.3	Confort	247
8.2.2.2.4	Belleza	247
8.2.2.2.5	Transformabilidad	247
8.3	Tipologías	248
8.3.1	Vivienda social A. Marcos lineales industrializados	248

8.3.1.1	Casa de dos pisos	248
8.3.1.2	Edificio de cinco pisos	256
8.3.2	Vivienda social B. Marcos transversales industrializados	264
8.3.2.1	Casa de dos pisos	264
8.3.2.2	Edificio de cinco pisos	272
8.3.3	Vivienda social C. Agrupación mixta: Marcos industrializados lineales y transversales	280
8.4	Prototipos	288
8.4.1	Prototipo A	288
8.4.2	Prototipo B	290
8.4.3	Encofrado	292
8.4.4	Refuerzos estructurales	292
8.4.5	Producción de marcos estructurales prefabricados	292
8.4.6	Transporte	293
8.4.7	Ensamble	293
8.4.8	Viviendas	294
8.4.8.1	Vivienda social A. Marcos lineales industrializados	294
8.4.8.2	Vivienda social B. Marcos industrializados transversales	294
8.5	Resultados	295
8.5.1	En términos cuantitativos	295
8.5.1.1	Productos	295
8.5.1.1.1	Área para el prototipo de vivienda Tipo A	295
8.5.1.1.2	Área para el prototipo de vivienda Tipo B	295
8.5.1.2	Recursos	295
8.5.1.2.1	Costos y tiempo de construcción del prototipo de vivienda Tipo A de dos pisos	295
8.5.1.2.2	Costos y tiempo de construcción del prototipo de vivienda Tipo A de cinco pisos	295
8.5.1.2.3	Costos y tiempo de construcción del prototipo de vivienda Tipo B de dos pisos	295
8.5.1.2.4	Costos y tiempo de construcción del prototipo de vivienda Tipo B de cinco pisos	296
8.5.2	En términos cualitativos	296
8.5.2.1	Criterios objetivos	296
8.5.2.1.1	Modularidad	296
8.5.2.1.2	Replicabilidad	296
8.5.2.1.3	Transportabilidad	296
8.5.2.1.4	Adaptabilidad	296
8.5.2.1.5	Accesibilidad	296
8.5.2.2	Criterios subjetivos	296
8.5.2.2.1	Simplicidad	296
8.5.2.2.2	Flexibilidad	297
8.5.2.2.3	Confort	297
8.5.2.2.4	Belleza	297
8.5.2.2.5	Transformabilidad	297
	Resumen	300
9	**Perspectivas**	**303**
9.1	Marcos estructurales abiertos en forma de U	304
9.1.1	En términos cuantitativos	304
9.1.2	En términos cualitativos	304
9.1.2.1	Criterios objetivos	304
9.1.2.2	Criterios subjetivos	304
9.2.	Marco estructural con perfiles metálicos y mampostería	312
9.2.1	En términos cuantitativos	312
9.2.2	En términos cualitativos	312
9.2.2.1	Criterios objetivos	312
9.2.2.2	Criterios subjetivos	312
	Resumen	320
10	**Bibliografía**	**323**
	Anexos	**329**
Anexo 1	Estructura Conceptual	331
Anexo 2	Tiempo y costos	334
Anexo 3	Componentes del sistema	341
Anexo 4	Planos estructurales	347
Anexo 5	Certificado de patente	353

Lista de tablas

Tabla 1. Requisitos regulatorios y ofertas comerciales para viviendas de interés social prioritarias (VIP) y viviendas de interés social (VIS) en el mercado inmobiliario en Colombia y Antioquia.
Tabla 2. Indicadores utilizados por el DANE para medir el déficit cuantitativo de vivienda.
Tabla 3. Indicadores utilizados por el DANE para medir el déficit cualitativo de vivienda.
Tabla 4. Estándares mínimos y condiciones técnicas de elementos prefabricados (NSR 10).
Tabla 5. Requerimientos de continuidad en concreto prefabricado: estructural, espacial, constructivo.
Tabla 6. Demandas de flexibilidad en los diseños y la construcción con prefabricados de concreto: escala urbana, de edificios, viviendas y a escala de otros subsistemas de construcción.
Tabla 7. Clasificación de los sistemas de prefabricación en concreto: cerrado, abierto y parcialmente industrializado. Tomado de Detail: *Elemente + Systeme*, p. 43.
Tabla 8. Normas para el uso de fibras en prefabricados de concreto en Colombia.
Tabla 9. Refuerzos discontinuos para concreto prefabricado: fibras metálicas, orgánicas e inorgánicas.
Tabla 10. Dosificaciones utilizadas frecuentemente en Colombia y Antioquia para elementos estructurales de concreto prefabricado. Índice de Costos de Construcción de Viviendas (ICCV), Colombia, julio de 2014. Regás, Xavier. Dosificación media de la mezcla de concreto prefabricado. Barcelona, marzo de 2012. Arango, Jesús Humberto. Dosificación media de la mezcla de concreto prefabricado. Medellín, agosto 2013. Los precios son proporcionados por la Firma de Presupuesto de Proyectos Proyectar, ubicada en Medellín, Colombia. Ingenieros Juan Carlos Gómez y Nathalie Rúa, julio de 2014.
Tabla 11. Variantes de UHPC reforzadas con fibra.
Tabla 12. Criterios para la evaluación de la resistencia del concreto prefabricado.
Tabla 13. Rangos de peso bruto vehicular (PBV) definidos en NTC 4788
Tabla 14. Dimensiones y pesos medios del transporte fluvial en Antioquia.
Tabla 15. Dimensiones y volúmenes de carga permitidos para el transporte ferroviario con góndolas, plataformas planas y plataformas convencionales.
Tabla 16. Especificaciones técnicas para uniones entre elementos prefabricados de concreto, según NSR-10.
Tabla 17. Sistema Camus, Francia, 1948. Información tomada de: Alonso y Palmarola, 2014, pp. 216-217, 257, 306-309.
Tabla 18. Sistema Novoa – Sandino, Cuba, 1950
Tabla 19. G-57, Antigua Checoslovaquia, 1957
Tabla 20. Sistema IMS, Antigua Yugoslavia, 1957
Tabla 21. 1-335, Antigua Unión Soviética, 1959
Tabla 22. VAM, Países Bajos, 1961.
Tabla 23. Dormitorio de Saint Andrews, Escocia, 1964
Tabla 24. Gran Panel Soviético, Cuba, 1965
Tabla 25. Skarne S66, Suecia, 1966
Tabla 26. Hábitat 67. Montreal, Canadá, 1967
Tabla 27. Gran Panel 70. Cuba, 1970
Tabla 28. WBS 70 (*Wohnhungsbauserie* 70). Antigua República Democrática Alemana, 1970
Tabla 29. Complejo Residencial *Genter Straße*. Munich (Fase 1), Alemania, 1972.
Tabla 30. Sistema KPD soviético (*Krupnopanelnoye Domostroyenie*). Chile, 1972.
Tabla 31. *Martinsviertel*. Colonia, Alemania, 1977
Tabla 32. Ciudad Bachué III. Colombia, 1980
Tabla 33. Urbanización Niza. Pereira, Colombia, 1980
Tabla 34. Viviendas de Protección Oficial. Alcobendas, España, 1995
Tabla 35. Edificación residencial y comercial. Rathenow, Alemania, 1997
Tabla 36. *Elemental* - Prototipo de Casa de Milán. Italia, 2008
Tabla 37. Estrategias para reducir el déficit cuantitativo, tomados se los indicadores utilizados por el DANE.
Tabla 38. Requisitos cuantitativos mínimos para la construcción de viviendas sociales prefabricadas de concreto en el departamento de Antioquia
Tabla 39. Estrategias para reducir el déficit cualitativo, con base en los indicadores utilizados por el DANE.
Tabla 40. Requisitos cualitativos mínimos para la construcción de viviendas sociales prefabricadas de concreto en el departamento de Antioquia
Tabla 41. Industrializar, personalizar y transformar: componentes, actores y condiciones.
Tabla 42. Áreas del proyecto de vivienda (incluyendo muros de fachada, muros divisorias, muros interiores y circulaciones)
Tabla 43. Áreas del proyecto de vivienda (incluyendo muros de fachada, muros divisorias, muros interiores y circulaciones)
Tabla 44. Áreas del proyecto de vivienda (incluyendo muros de fachada, muros divisorias, muros interiores y circulaciones)
Tabla 45. Áreas del proyecto de vivienda (incluyendo muros de fachada, muros divisorias, muros interiores y circulaciones)
Tabla 46. Áreas del proyecto de vivienda (incluyendo muros de fachada, muros divisorias, muros interiores y circulaciones)

Tabla 47. Diseño de la mezcla tipo K para la construcción de elementos estructurales de concreto prefabricado. Índice de Costos de Construcción de Viviendas (ICCV), Colombia, febrero de 2015. Precios proporcionados por la firma de presupuestos de arquitectura *Proyectar*, ubicada en Medellín, Colombia. Los ingenieros Juan Carlos Gómez y Nathalie Rúa, diciembre de 2016. El diseño de la mezcla se realizó con el asesoramiento del ingeniero Cipriano Londoño, Medellín, Colombia. Fabricación de los prototipos realizados en el Comité de Prefabricados de Antioquia. Evaluaciones de la mezcla de resistencia a la compresión realizadas en el Comité de Prefabricados de Antioquia.
Tabla 48. Comparación de costos y tiempo en la construcción de las tipologías de las viviendas.
Tabla 49. Comparación de costos en la construcción de los prototipos

Lista de Figuras

Figura 1. Una vista de Medellín desde las montañas del noroeste. En el primer plano, las parcelas disponibles para la construcción y los edificios de viviendas sociales construidos por el gobierno local. Al fondo, viviendas construidas por familias clasificadas en déficit cuantitativo.
Figura 2. Una vista de Medellín hacia las montañas del noreste. Viviendas en el déficit cualitativo que no cumplen las condiciones de seguridad y de vida establecidas por las regulaciones existentes. Foto: M. Vásquez.
Figura 3. El material conglomerante más utilizado es el cemento Portland, formado por una mezcla de clínker (arcilla calcificada y piedra caliza) y yeso.
Figura 4. Agregados finos y gruesos, clasificados según el módulo de finura y los tamaños nominales máximos.
Figura 5. Varillas de metal corrugado, refuerzos pasivos de concreto prefabricado. Accedido el 12 de diciembre de 2015; disponible en: http://img.aws.ehowcdn.com/intl-1200x630/ds-photo/getty/article/110/41/92828224.jpg.
Figura 6. Cables simples y multifilares. Refuerzos lineales activos en estructuras prefabricadas de concreto pretensadas y postensadas.
Figura 7. Refuerzos continuos utilizados en el concreto prefabricado: malla estructural metálica y refuerzos textiles.
Figura 8. Fibras utilizadas como refuerzos discontinuos para elementos prefabricados.
Figura 9. Agregados ligeros con una estructura celular que proporciona baja densidad permite el aislamiento térmico. Arcilla expandida y pizarra. Foto: Weigler, Helmut; Karl, Sieghart. Stahlleichtbeton. Bauverlag, Berlín y Wiesbaden, 1993.
Figura 10. Superficie de un elemento de concreto construido con partículas de madera como agregados. *Technische Universität München* (TUM).
Figura 11. Concreto celular. Las cavidades de aire hacen que la mezcla sea más ligera y menos densa. Por su conformación, posee propiedades de aislamiento acústico y térmico.
Figura 12. Cenizas volantes. Residuos industriales que pueden ser utilizados en la construcción de elementos de concreto prefabricados estructurales y no estructurales.
Figura 13. Los materiales de piedra, cerámica y concreto obtenidos de los procesos de demolición podrían utilizarse como agregados reciclados para producirelementos de concreto prefabricado.
Figura 14. Escoria de alto horno, utilizada para producir elementos de concreto prefabricado cuando se mezcla con clínker y yeso. Accedido el 11 de diciembre de 2015; disponible en: http://i01.i.aliimg.com/photo/v0/167791269/COPPER_SLAG.jpg
Figura 15. Redes multiaxiales. Compuestas por capas de fibras agrupadas en hilados y dispuestas en diferentes direcciones. Foto: Detalle. Múnich: *Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co*. KG, 2005.
Figura 16. Separador de malla. Elemento tridimensional con dos capas de malla unidas por hebras perpendiculares al plano del tejido. Foto: Detalle. Múnich: *Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co*. KG, 2005.
Figura 17. Tubos textiles para reforzar elementos huecos. Foto: Detalle. Múnich: *Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co*. KG, 2005.
Figura 18. Paneles sándwich: dos lados de concreto y un núcleo de material aislante.
Figura 19. Elementos con un núcleo de poliestireno expandido. Foto: Universidad Internacional de Desdén y la Universidad RWTH Aachen, 2012.
Figura 20. Fibras metálicas para reforzar el concreto. Accedido el 12 de diciembre de 2015; disponible en: http://www.emaresa.cl/construccion/images/stories/virtuemart/product/fibra_maccaferri.jpg.
Figura 21. Fibras de vidrio en los paneles de concreto prefabricado. Prefabricados Moià, Barcelona, enero de 2013.
Figura 22. Fibras de polietileno recicladas para la construcción de elementos de concreto prefabricados.
Figura 23. Placa acanalada en UHPC. Barcelona, enero de 2013.
Figura 24. Proceso de pretensado de una losa alveolar. Accedido el 17 de julio de 2014; disponible en: http://www.prensoland.com/admin/uploads/imatges/thumbnailsG/20101011122056.jpg.
Figura 25. Láminas alveolares de concreto pretensado. Accedido el 13 de diciembre de 2015; disponible en: https://plexa.com.mx/sites/default/files/ct/gdi/ALVEOLAR2.jpg.

Figura 26. Vigas prefabricadas de concreto pretensado. Accedido el 13 de diciembre de 2015; disponible en: http://www.forsecusa.es/s/cc_images/cache_10816935.jpg.
Figura 27. Elementos pretensados de concreto prefabricado instalados a través de procesos de postensado. Fotos, *Tectónica*. 1998.
Figura 28. Elementos pretensados de concreto prefabricado instalados a través de procesos de postensado. https://alrededordelaarquitectura.files.wordpress.com/2013/07/nave.jpg, consultado el 13 de diciembre de 2015.
Figura 29. Elementos pretensados de concreto prefabricado instalados a través de procesos de postensado. http://blogs.elpais.com/.a/6a00d8341bfb1653ef017c324343e6970b-pi, consultado el 13 de diciembre de 2015.
Figura 30. Agrietamiento horizontal de un elemento de concreto prefabricado a lo largo del eje ocupado por refuerzos estructurales.
Figura 31. Continuidad estructural en elementos de concreto prefabricados mediante el diseño de sus conexiones. Foto: *Elematic*.
Figura 32. Superficie obtenida utilizando un encofrado de metal. Foto: Cementos Argos, Medellín 2010.
Figura 33. Superficies de concreto obtenidas mediante el uso de tablas de madera. Foto: Cementos Argos, Medellín 2010.
Figura 34. Superficie de concreto obtenida mediante el uso de un encofrado de tablero de madera. Foto: Cementos Argos, Medellín, 2010.
Figura 35. Superficie de concreto obtenida mediante el uso de un encofrado construido con poliéster y laminado con fibra de vidrio. Foto: Cementos Argos, Medellín, 2010.
Figura 36. Superficie de concreto obtenida mediante el uso de un encofrado en GRC. Foto: F. Regás y J. Bolaños, Piedra Moldeada: GRC y concreto arquitectónico, 2010.
Figura 37. Superficie de concreto obtenida mediante el uso de un encofrado en elastómeros de poliuretano. Foto: F. Regás y J. Bolaños, Piedra Moldeada: GRC y concreto arquitectónico, 2010.
Figura 38. Sistemas operativos y organización espacial en una planta de producción de elementos prefabricados. Modelo tomado de la organización de producción de la firma *Elematic* en Helsinki, Finlandia, junio de 2013. Elematic. Planta completa prefabricada. Catálogos SEMI, PRO, EDGE. Aldus, Finlandia, 2013. Helsinki, Finlandia, junio de 2013
Figura 39. Modelo de la fábrica de campo comercialmente ofrecido por *Weiler*, Alemania.
Figura 40. Construcción de un edificio con una estructura esqueletal prefabricada. Los montajes entre vigas, columnas y losas deben garantizar la continuidad de la estructura. Foto: *Montagebau Konstruktiver Entwurf*.
Figura 41. BioConcreto (concreto autocurativo. Investigación desarrollada por el Programa de Investigación de Materiales Autocurativos de la UT de Delft en el Centro de Materiales de Delft (DCMat).
Figura 42. Concreto reforzado con fibras naturales. Investigación desarrollada por la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) en Medellín, Colombia.
Figura 43. Nanotubos de carbono de pared simple (SWCNT) y nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT). Accedido el 11 de diciembre de 2015; disponible en: http://www.mdpi.com/sensors/sensors-15-01564/article_deploy/html/images/sensors-15-01564f3-1024.png.
Figura 44. Nanotubos de carbono de pared simple (SWCNT) y nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT). Accedido el 11 de diciembre de 2015; disponible en: http://www.mdpi.com/sensors/sensors-15-01564/article_deploy/html/images/sensors-15-01564f3-1024.png.
Figura 45. Concreto curvo, un material micromecánico con resistencias a los esfuerzos de tensión y deflexión es más liviano que el concreto tradicional.
Figura 46. Concreto de corte, material que puede transformarse mediante procedimientos manuales o mecánicos.
Figura 47. Concreto gráfico, material que combina serigrafías y técnicas de grabado fotográfico en la superficie. Foto: Graphic Concrete Ltda. Ideas Concretas. Editado por Pina Petricone. Thames & Hudson.
Figura 48. Elementos estructurales obtenidos del uso de encofrados textiles. Foto: Folleto CAST. Accedido el 11 de diciembre de 2015; disponible en: http://umanitoba.ca/cast_building/.
Figura 49. Prototipo A. Modelo de sistema de agrupación
Figura 50. Prototipo B. Modelo de sistema de agrupación
Figura 51. El proceso de fabricación del encofrado se realizó en los talleres de *Industria Leguz*; Itagüí, Antioquia, febrero y marzo de 2015.
Figura 52. Proceso de ensamble de las mallas de refuerzo para los marcos estructurales. Comité de Prefabricados de Antioquia. Abril 2015
Figura 53. Proceso de fundición de los marcos estructurales
Figura 54. El proceso de transporte de los marcos estructurales desde la planta de producción hasta el sitio de instalación
Figura 55. Proceso de instalación de los marcos estructurales en los dos prototipos
Figura 56. Proceso de instalación de los marcos estructurales en los dos prototipos
Figura 57. Proceso de instalación de los marcos estructurales en los dos prototipos
Figura 58. El prototipo con marcos estructurales lineales y un patio central
Figura 59. El prototipo con marcos estructurales lineales y un patio central
Figura 60. El prototipo con marcos estructurales lineales y un patio central
Figura 61. El prototipo de dos pisos con marcos estructurales transversales
Figura 62. El prototipo de dos pisos con marcos estructurales transversales
Figura 63. El prototipo de dos pisos con marcos estructurales transversales
Figura 64. Los prototipos construidos, en el campus alternativo de la Universidad Pontificia Bolivariana. Marinilla, Antioquia.

Lista de gráficos

Gráfico 1. El déficit cuantitativo y cualitativo acumulado en Colombia y en Antioquia en 1993 y 2005, según cifras oficiales del DANE.
Gráfico 2. Variaciones en el déficit cuantitativo, cualitativo y acumulado en Colombia y Antioquia entre 1993 y 2005, según cifras oficiales del DANE.
Gráfico 3. Ubicación de Colombia en América del Sur y la ubicación de Antioquia en Colombia.
Gráfico 4. Zonificación topográfica del departamento de Antioquia.
Gráfico 5. Áreas de riesgo sísmico en Antioquia.
Gráfico 6. Mapas hidrográficos del departamento de Antioquia.
Gráfico 7. Temperaturas en los municipios de Antioquia, según la altitud sobre el nivel del mar (IGAC, 2009).
Gráfico 8. La proyección poblacional de 2015 en Antioquia (DANE, 2015).
Gráfico 9. Tamaño promedio del hogar en áreas urbanas y rurales en Antioquia (Encuesta de Calidad de Vida e Indicadores Principales en Antioquia, 2013).
Gráfico 10. Condiciones laborales en la población de Antioquia (DANE, 2005).
Gráfico 11. Redes de transporte terrestre en Antioquia (Ministerio de Transporte de Colombia, 2015).
Gráfico 12. Servicios públicos disponibles en hogares ubicados en áreas urbanas y rurales (Encuesta de Calidad de Vida, 2013).
Gráfico 13. Vivienda propuesta en el modelo *Existenzminimum*. *Weißenhofsiedlung*, Stuttgart. Arquitecto: Mart Stam
Gráfico 14. Vivienda masiva de producción industrial. Ville Radieuse. Arquitecto: Le Corbusier.
Gráfico 15. Una unidad de barrio con modelos de viviendas de ciudad jardín. Ciudad Jardín. Arquitecto: Le Corbusier
Gráfico 16. Modelos para vivienda de la clase trabajadora en Latinoamérica. Unidades de Vivienda Matute, La Victoria, Lima. Arquitecto: Santiago Agurto Calvo
Gráfico 17. Modelos de vivienda del Estado en América Latina. Distrito José Martí, Santiago de Cuba. Arquitectos: Dean, Baeza, López, Cárdenas, Rodríguez y Azze.
Gráfico 18. Vivienda colectiva en América Latina (modelo experimental). Lima. Arquitecto: John Turner
Gráfico 19. Modelos de vivienda construidos en Colombia en el Periodo Higienista. Barrio Colombia, Bogotá. Arquitectos: BCH
Gráfico 20. Modelos de vivienda construidos en Colombia en el Periodo Institucional. Centro Urbano Antonio Nariño, Bogotá. Arquitectos: Gutiérrez, Esguerra Sáenz, Urdaneta y Suárez.
Gráfico 21. Modelos de vivienda construidos en Colombia en el período de transición. Residencias El Parque, Bogotá. Arquitecto: Rogelio Salmona
Gráfico 22. Viviendas colectivas construidas en Colombia por el ICT durante el Periodo Corporativo. Torres Marco Fidel Suárez, Medellín. Arquitecto: Eduardo Arango
Gráfico 23. Vivienda social urbana construida en Colombia durante el período de concepción del mercado y subsidios a la demanda. Residencias La Playa, Medellín. Arquitectos: Ana E. Vélez y Juan B. Echeverri.
Gráfico 24. Contexto de la ciudad dispersa. Conversión de Rosenberg, Winterthur. Arquitectos: EM2N
Gráfico 25. Contexto de la ciudad moderna. Brasilia, Brasil. Arquitecto: Lucio Costa
Gráfico 26. Contexto urbano expansivo. Viviendas Pajarito La Aurora, Medellín. Arquitectos: Instituto Social para la Vivienda y el Hábitat de Medellín, ISVIMED
Gráfico 27. Contexto urbano central. Regeneración de la zona de Emile Chaíne, París. Arquitectos: Moussafir, Katz y Tachon
Gráfico 28. Contexto de la ciudad reciclada. Puerto Madero, Buenos Aires
Gráfico 29. Contexto de la ciudad redensificada. Zona del barrio, 23 de enero, Caracas
Gráfico 30. Geometría elemental
Gráfico 31. Servicios nucleados
Gráfico 32. Espacios servidos
Gráfico 33. Espacios intermedios
Gráfico 34. Tecnología y bioclimática
Gráfico 35. Percepción
Gráfico 36. Prototipo balcón
Gráfico 37. Prototipo pasarela interior
Gráfico 38. Prototipo galería
Gráfico 39. Prototipo patio
Gráfico 40. Uniones en las fundaciones de concreto prefabricado para estructuras esqueletales. Gráficos tomados de Böttger, Dietrich. Montagebau. Berlín: VEB *Verlag für Bauwesen*, 1974, p. 125.
Gráfico 41. Columnas de concreto prefabricadas de sección rectangular y circular. FDB Alemania, 2013.
Gráfico 42. Vigas de concreto prefabricadas con sección rectangular y consolas. FDB Alemania, 2013.
Gráfico 43. Vigas de concreto prefabricadas con sección rectangular y consolas. FDB Alemania, 2013.
Gráfico 44. Vigas prefabricadas de concreto en "T", vigas huecas y vigas cajón.
Gráfico 45. Tipos de consolas prefabricadas en concreto. FDB, Alemania, 2013.
Gráfico 46. Tipos de losas prefabricadas en concreto. FDB, Alemania, 2013.
Gráfico 47. Juntas por fricción entre sus componentes.
Gráfico 48. Conexiones a través de la continuidad entre los refuerzos y un vaciado final de concreto para aumentar su rigidez.
Gráfico 49. Juntas entre elementos metálicos embedidos en el concreto, que se unen a través de pasadores metálicos o mediante soldadura.

Gráfico 50. Elementos metálicos instalados durante el proceso de montaje que endurecen la unión entre elementos prefabricados.
Gráfico 51. Juntas postensadas que se rigidizan después de la instalación de elementos prefabricados.
Gráfico 52. Tipos de uniones en las fundaciones de concreto prefabricado: juntas por geometrías o superpuestas entre sus refuerzos metálicos más un vaciado de concreto posterior. Gráficos tomados de Böttger, Dietrich. Montagebau. Berlín: VEB *Verlag für Bauwesen*, 1974, p. 125.
Gráfico 53. Muros en concreto prefabricado. FDB, Alemania, 2013.
Gráfico 54. Tipos de vigas y viguetas para el sistema de muros estructurales en concreto prefabricado.
Gráfico 55. Tipos de consolas prefabricadas en concreto. FDB, Alemania, 2013.
Gráfico 56. Losas de concreto prefabricado. FDB, Alemania, 2013.
Gráfico 57. Juntas con soporte por fricción entre sus componentes.
Gráfico 58. Conexiones a través de la continuidad entre refuerzos y un vaciado final de concreto para aumentar la rigidez.
Gráfico 59. Uniones entre elementos metálicos embedidos en el concreto, que se unen a través de pasadores metálicos o mediante soldadura.
Gráfico 60. Elementos metálicos externos para unir dos o más elementos prefabricados.
Gráfico 61. Juntas postensadas que se rigidizan después de la instalación de los elementos prefabricados.
Gráfico 62. Fundaciones para celdas espaciales prefabricadas.
Gráfico 63. Los muros y losas se comportan de forma monolítica.
Gráfico 64. Juntas con soporte por fricción.
Gráfico 65. Conexiones entre los refuerzos y vaciado de concreto.
Gráfico 66. Juntas entre elementos metálicos embedidos en el concreto, que se unen a través de pasadores metálicos o mediante soldadura.
Gráfico 67. Elementos metálicos exteriores instalados durante el proceso de montaje.
Gráfico 68. Uniones postensadas entre células espaciales prefabricadas.
Gráfico 69. Vivienda colectiva vista desde su historia y desde la técnica de la construcción, como respuesta a las condiciones políticas, sociales, técnicas, económicas y habitacionales de sus contextos.
Gráfico 70. Vista exterior
Gráfico 71. Componentes: Planos y fachada
Gráfico 72. Componentes: Axonometría
Gráfico 73. Proceso de construcción
Gráfico 74. El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico
Gráfico 75. Detalles constructivos
Gráfico 76. Vista exterior
Gráfico 77. Componentes: Planos y fachada
Gráfico 78. Componentes: Axonometría
Gráfico 79. Proceso de construcción
Gráfico 80. El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico
Gráfico 81. Detalles constructivos
Gráfico 82. Vista exterior
Gráfico 83. Componentes: Planos y fachada
Gráfico 84. Componentes: Axonometría
Gráfico 85. Proceso de construcción
Gráfico 86. El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico
Gráfico 87. Detalles constructivos
Gráfico 88. Vista exterior
Gráfico 89. Componentes: Planos y fachada
Gráfico 90. Componentes: Axonometría
Gráfico 91. Proceso de construcción
Gráfico 92. El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico
Gráfico 93. Detalles constructivos
Gráfico 94. Vista exterior
Gráfico 95. Componentes: Planos y fachada
Gráfico 96. Componentes: Axonometría
Gráfico 97. Proceso de construcción
Gráfico 98. El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico
Gráfico 99. Detalles constructivos
Gráfico 100. Unidad Vecinal Muzú. Bogotá, Colombia, 1949. Proceso de construcción
Gráfico 101. 1-510, Antigua Unión Soviética, 1957. Proceso de construcción
Gráfico 102. K-7. Antigua Unión Soviética, 1958. Proceso de construcción
Gráfico 103. Gran Panel IV. Cuba, 1959. Proceso de construcción
Gráfico 104. Vista exterior
Gráfico 105. Componentes: Planos y fachada
Gráfico 106. Componentes: Axonometría

Gráfico 107. Proceso de construcción
Gráfico 108. El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico
Gráfico 109. Detalles constructivos
Gráfico 110. Vista exterior
Gráfico 111. Componentes: Planos y fachada
Gráfico 112. Componentes: Axonometría
Gráfico 113. Proceso de construcción
Gráfico 114. El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico
Gráfico 115. Detalles constructivos
Gráfico 116. Vista exterior
Gráfico 117. Componentes: Planos y fachada
Gráfico 118. Componentes: Axonometría.
Gráfico 119. Proceso de construcción
Gráfico 120. El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico
Gráfico 121. Detalles constructivos
Gráfico 122. Vista exterior
Gráfico 123. Componentes: Planos y fachada
Gráfico 124. Componentes: Axonometría
Gráfico 125. Proceso de construcción
Gráfico 126. El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico
Gráfico 127. Detalles constructivos
Gráfico 128. Vista exterior
Gráfico 129. Componentes: Planos y fachada
Gráfico 130. Componentes: Axonometría
Gráfico 131. Proceso de construcción
Gráfico 132. El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico
Gráfico 133. Detalles constructivos
Gráfico 134. Viviendas prefabricadas, diseñadas por James Stirling. Lima, Perú, 1966. Proceso de construcción
Gráfico 135. Viviendas prefabricadas, diseñadas por Llanos y Mazzarri. Proceso de construcción
Gráfico 136. Casas prefabricadas diseñadas por ATELIER 5. Proceso de construcción
Gráfico 137. Casas prefabricadas diseñadas por Montagne y Morales. Proceso de construcción
Gráfico 138. Larsen y Nielsen, Dinamarca, 1960. Proceso de construcción
Gráfico 139. 1-464, Antigua Unión Soviética, 1960. Proceso de construcción
Gráfico 140. Jugomont 61, Antigua Yugoslavia, 1961. Proceso de construcción.
Gráfico 141. Ital-Camus, Italia, 1960. Proceso de construcción.
Gráfico 142. Vista exterior
Gráfico 143. Componentes: Planos y fachada
Gráfico 144. Componentes: Axonometría
Gráfico 145. Proceso de construcción
Gráfico 146. El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico
Gráfico 147. Detalles constructivos
Gráfico 148. Vista exterior
Gráfico 149. Componentes: Planos y fachada
Gráfico 150. Componentes: Axonometría
Gráfico 151. Proceso de construcción
Gráfico 152. El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico
Gráfico 153. Detalles constructivos
Gráfico 154. Vista exterior
Gráfico 155. Componentes: Planos y fachada
Gráfico 156. Componentes: Axonometría
Gráfico 157. Proceso de construcción
Gráfico 158. El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico
Gráfico 159. Detalles constructivos
Gráfico 160. Vista exterior
Gráfico 161. Componentes: Planos y fachada
Gráfico 162. Componentes: Axonometría
Gráfico 163. Proceso de construcción
Gráfico 164. El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico
Gráfico 165. Detalles constructivos
Gráfico 166. Vista exterior
Gráfico 167. Componentes: Planos y fachada
Gráfico 168. Componentes: Axonometría
Gráfico 169. Proceso de construcción

Gráfico 170. El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico
Gráfico 171. Detalles constructivos
Gráfico 172. Complejo Residencial de Southgate Estate, Inglaterra 1977. Proceso de construcción
Gráfico 173. Viviendas Económicas Prefabricadas (VEP). Chile, 1975. Proceso de construcción
Gráfico 174. Edificio residencial. Monza, Italia, 1972. Proceso de construcción
Gráfico 175. Brecast, Reino Unido, 1970. Proceso de construcción
Gráfico 176. Residencias de hombres en la Villa Olímpica. Munich, Alemania, 1971 Proceso de construcción
Gráfico 177. Residencias de mujeres en la Villa Olímpica. Munich, Alemania, 1971 Proceso de construcción
Gráfico 178. Vista exterior
Gráfico 179. Componentes: Planos y fachada
Gráfico 180. Componentes: Axonometría
Gráfico 181. Proceso de construcción
Gráfico 182. El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico
Gráfico 183. Detalles constructivos
Gráfico 184. Vista exterior
Gráfico 185. Componentes: Planos y fachada
Gráfico 186. Componentes: Axonometría
Gráfico 187. Proceso de construcción
Gráfico 188. El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico
Gráfico 189. Detalles constructivos
Gráfico 190. Vista exterior
Gráfico 191. Componentes: Planos y fachada
Gráfico 192. Componentes: Axonometría
Gráfico 193. Proceso de construcción
Gráfico 194. El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico
Gráfico 195. Detalles constructivos
Gráfico 196. Vista exterior
Gráfico 197. Componentes: Planos y fachada
Gráfico 198. Componentes: Axonometría
Gráfico 199. Proceso de construcción
Gráfico 200. El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico
Gráfico 201. Detalles constructivos
Gráfico 202. Vista exterior
Gráfico 203. Componentes: Planos y fachada
Gráfico 204. Componentes: Axonometría
Gráfico 205. Proceso de construcción
Gráfico 206. El sistema técnico y el lenguaje arquitectónico
Gráfico 207. Detalles constructivos
Gráfico 208. Ciudad Bachué I. Bogotá, Colombia, 1980. Proceso de construcción
Gráfico 209. Ciudad Bachué II. Bogotá, Colombia, 1980. Proceso de construcción
Gráfico 210. Industrialización: Para la construcción de 10 viviendas, se necesitan 10 grupos de marcos estructurales.
Gráfico 211. Los marcos intermedios pueden ser eliminados, utilizando sólo los elementos estructurales necesarios.
Gráfico 212. Si el sistema está configurado con cinco grupos de marcos, la continuidad de la estructura se mantiene. Los marcos superiores pueden ser cerrados o eliminar la losa de concreto superior.
Gráfico 213. Dos losas de piso, dos muros y los techos son necesarios para pasar de cinco a 10 viviendas.
Gráfico 214. Personalización: La diversidad de las fachadas adaptan el proyecto a otros contextos ambientales, sociales y culturales.
Gráfico 215. Transformación: Identidad e individualidad después de la ocupación.
Gráfico 216. Modularidad: Geometría y coordinación dimensional.
Gráfico 217. Replicabilidad: Producción industrializada.
Gráfico 218. Transportabilidad: Entrega.
Gráfico 219. Adaptabilidad: Localización en diferentes contextos.
Gráfico 220. Accesibilidad: Diseño urbano.
Gráfico 221. Simplicidad: Conexiones y sellado.
Gráfico 222. Flexibilidad: Tipologías de vivienda.
Gráfico 223. Confort: Bioclimática y sostenibilidad.
Gráfico 224. Belleza: Lenguajes arquitectónicos.
Gráfico 225. Transformabilidad: Mejoras después de la ocupación.
Gráfico 226. Componentes: Planta y fachada
Gráfico 227. Proceso constructivo
Gráfico 228. Planos generales
Gráfico 229. Tipologías de vivienda
Gráfico 230. Secciones

Gráfico 231. Fachadas
Gráfico 232. Detalles constructivos
Gráfico 233. Proceso constructivo: instalación de elementos estructurales prefabricados
Gráfico 234. Detalles constructivos
Gráfico 235. Proceso constructivo: instalación de elementos no estructurales (muros y fachadas)
Gráfico 236. El sistema técnico, el lenguaje arquitectónico y el espacio público
Gráfico 237. Componentes: Planta y fachada
Gráfico 238. Proceso constructivo
Gráfico 239. Planos generales
Gráfico 240. Tipologías de vivienda
Gráfico 241. Secciones
Gráfico 242. Fachadas
Gráfico 243. Detalles constructivos
Gráfico 244. Proceso constructivo: instalación de elementos estructurales prefabricados
Gráfico 245. Detalles constructivos
Gráfico 246. Proceso constructivo: instalación de elementos no estructurales (muros interiores y fachadas)
Gráfico 247. El sistema técnico, el lenguaje arquitectónico y el espacio público
Gráfico 248. Componentes: Planta y fachada
Gráfico 249. Proceso constructivo
Gráfico 250. Planos generales
Gráfico 251. Tipologías de vivienda
Gráfico 252. Secciones
Gráfico 253. Fachadas
Gráfico 254. Detalles constructivos
Gráfico 255. Proceso constructivo: instalación de elementos estructurales prefabricados
Gráfico 256. Detalles constructivos
Gráfico 257. Proceso constructivo: instalación de elementos no estructurales (muros interiores y fachadas)
Gráfico 258. El sistema técnico, el lenguaje arquitectónico y el espacio público
Gráfico 259. Componentes: Planos y fachada
Gráfico 260. Proceso constructivo
Gráfico 261. Planos generales
Gráfico 262. Tipologías de vivienda
Gráfico 263. Secciones
Gráfico 264. Fachadas
Gráfico 265. Detalles constructivos
Gráfico 266. Proceso constructivo: instalación de elementos estructurales prefabricados
Gráfico 267. Detalles constructivos
Gráfico 268. Proceso constructivo: instalación de elementos no estructurales (muros interiores y fachadas)
Gráfico 269. El sistema técnico, el lenguaje arquitectónico y el espacio público
Gráfico 270. Componentes: Planos y fachada
Gráfico 271. Proceso constructivo
Gráfico 272. Planos generales
Gráfico 273. Tipologías de vivienda
Gráfico 274. Secciones
Gráfico 275. Fachadas
Gráfico 276. Detalles constructivos
Gráfico 277. Proceso constructivo: instalación de elementos estructurales prefabricados
Gráfico 278. Detalles constructivos
Gráfico 279. Proceso constructivo: instalación de elementos no estructurales (muros interiores y fachadas)
Gráfico 280. El sistema técnico, el lenguaje arquitectónico y el espacio público
Gráfico 281. Planos arquitectónicos
Gráfico 282. Secciones
Gráfico 283. Fachadas
Gráfico 284. Planos arquitectónicos
Gráfico 285. Secciones
Gráfico 286. Fachadas
Gráfico 287. Componentes: Planta, fachada y axonometría.
Gráfico 288. Proceso constructivo con marcos estructurales de hormigón prefabricado lineales y en forma de “U”
Gráfico 289. Proceso constructivo con marcos estructurales de hormigón prefabricado en forma de U transversales y abiertos
Gráfico 290. Detalles constructivos
Gráfico 291. Proceso constructivo: instalación de elementos estructurales prefabricados
Gráfico 292. Detalles constructivos
Gráfico 293. Proceso constructivo: instalación de elementos no estructurales (muros interiores y fachadas)

Gráfico 294. El sistema técnico, el lenguaje arquitectónico y el espacio público
Gráfico 295. Componentes: Planos y fachada
Gráfico 296. Proceso constructivo de un marco estructural metálico con elementos de mampostería
Gráfico 297. Proceso constructivo: marcos estructurales metálicos lineales y mampostería
Gráfico 298. Proceso constructivo: marcos estructurales metálicos transversales y mampostería
Gráfico 299. Detalles constructivos
Gráfico 300. Proceso constructivo: instalación de marcos estructurales metálicos
Gráfico 301. Detalles constructivos
Gráfico 302. Proceso constructivo: instalación de mampostería entre los marcos estructurales metálicos.
Gráfico 303. El sistema técnico, el lenguaje arquitectónico y el espacio público

Abreviaturas y siglas

A continuación, se indican el nombre de muchas entidades en Colombia y algunos valores que acompañan las figuras mediante abreviaturas o siglas. Esta es una lista completa de las abreviaturas y siglas utilizadas en cada capítulo, en orden alfabético.

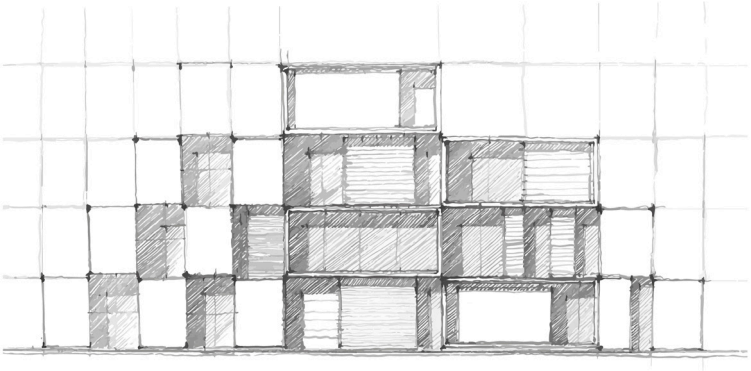
AFC	Ahorro para el Fomento de la Construcción
AIS	Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica
AMVA	Área Metropolitana del Valle de Aburrá
BCH	Banco Central Hipotecario
BRE	Establecimiento de Investigación de Construcción Británico
Camacol	Cámara Colombiana de la Construcción
CAV	Corporaciones de Ahorro y Vivienda
CAST	Centro de Estructuras y Construcciones Arquitectónicas. Universidad de Manitoba (Canadá)
CENAC	Centro de Estudios de la Construcción y el Desarrollo Urbano y Regional
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
CIAM	Congreso Internacional de Arquitectura Moderna
Colciencias	Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación
CTVU	Centro Técnico de la Vivienda y el Urbanismo
DAAD	Servicio de Apoyo Académico de Alemania (*Deutscher Akademischer Austausch Dienst*)
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DAP	Departamento Administrativo de Planeación.
DNP	Departamento Nacional de Planeación
EBB	Grupo de Investigaciones para el Diseño, Construcción y Ciencia de Materiales (*Lehrstuhl für Entwerfen, Baukonstruktion und Baustoffkunde*)
ECLAC	Comisión Económica para América Latina y el Caribe de las Naciones Unidas
EDU	Empresa de Desarrollo Urbano
EFNARC	Federación Europea de Especialistas en Productos de Construcción y Sistemas de Concreto
Ehe	Instrucción Española del Hormigón Estructural
ExpoCAMACOL	Feria Internacional de Construcción, Arquitectura y Diseño
FDB	Asociación Profesional Alemana para la Construcción de Concreto Prefabricado (*Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau* e.V.)
FIB	Federación Internacional para Concreto Estructural (*Fedération Internationale du Béton*)
FNA	Fondo Nacional del Ahorro
Fonvivienda	Fondo Nacional de Vivienda
GDP o PIB	Producto Interno Bruto
GDR	República Democrática Alemana
GRC	Concreto Reforzado con Vidrio
HUD	Departamento de Vivienda y Desarrollo Urbano de los Estados Unidos
IADB	Banco Interamericano de Desarrollo
ICCV	Índice de Costos de Construcción de Viviendas
ICPC	Instituto Colombiano de Productores de Cemento
ICT	Instituto de Crédito Territorial
Ideam	Instituto de Hidrología, Meterología y Estudios Ambientales
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
IMS	Instituto para el Análisis de Materiales de Serbia
Ingeominas	Instituto Colombiano de Ingeniería y Minería (hoy conocido como el Servicio Geológico Colombiano)
Inurbe	Instituto Nacional de Vivienda de Interés Social y Reforma Urbana
ITeC	Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (*Institut de Tecnología de la Construcció de Catalunya*).
KPD	Grandes Paneles Soviéticos (por su abreviatura en ruso)
LAUR	Laboratorio de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Pontificia Bolivariana
LEET	Laboratorio de Estudios y Experimentación Técnica en Arquitectura de la Universidad Pontificia Bolivariana
MSNM	Metros sobre el nivel del mar
MWCNT	Nanotubos de carbono de pared múltiple (*Multi–Wall Carbon Nano–Tubes*)
NTC	Norma Técnica Colombiana
PIB	Producto Interno Bruto
PBV	Peso Bruto Vehicular
PET	Tereftalato de polietileno
PND	Plan Nacional de Desarrollo
PVA	Alcohol Polivinílico
RAE	Real Academia de la Lengua Española
RWTH	*Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen*
Sakb	Instituto Especializado de Arquitectura y Diseño.
SENA	Servicio Nacional de Aprendizaje

SGR	Sistema General de Regalías
SMMLV	Salarios Mínimos Mensuales Legales Vigentes
SWCNT	Nanotubos de carbono de pared simple (*Single Wall Carbon Nano–Tubes*)
TGA	Análisis termogravimétrico
TUM	*Technishe Universität München*
UHPC	Concreto de alto rendimiento
UN / ONU	Organización de las Naciones Unidas (por sus siglas en inglés y español)
Un-Habitat	División del Hábitat, Naciones Unidas
UPAC	Unidad de Poder Adquisitivo Constante
UPB	Universidad Pontificia Bolivariana.
USSR	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas
VEP	Viviendas Económicas Prefabricadas
VIP	Vivienda de Interés Social Prioritario
VIS	Vivienda de Interés Social
VIVA	Empresa de Vivienda de Antioquia

Ecuaciones y abreviaturas ecuacionales

e	Eficiencia
qn	Cantidad
ql	Calidad
r	Recursos
p	Productos
c	Costo
t	Tiempo
e = (qn x ql)/r	Eficiencia = (cantidad de las viviendas x calidad de las viviendas) / cantidad de costos y tiempo
(cam)	Costo administrativo mensual
(cat)	Costo administrativo total
(cc)	Capacidad de carga del vehículo
(cd)	Costo directo
(ci)	Costo indirecto
(cf)	Costo de construcción de la fábrica de campo
(cr)	Costo de cada viaje
d	Déficit.
Mpa	Mega Pascales
(µm)	Micrones

Esta investigación se realizó para acercar la arquitectura de la vivienda social y sus técnicas de construcción a la vida en comunidad, a sus tradiciones y a sus maneras de habitar. Se ha inspirado en aquellas familias que han mantenido la ilusión de encontrar una casa donde sus puertas y ventanas se abran como un reflejo de la vida, como un acto de esperanza.



Esta obra se publicó en archivo digital en el mes de noviembre de 2020.

A partir de conceptos asociados a la arquitectura, la ingeniería, el urbanismo, la economía, la tecnología y el hábitat humano, esta investigación desarrolló un nuevo modelo para el diseño y la construcción de viviendas sociales. El primer momento del proceso industrializa la estructura de soporte en hormigón prefabricado que define el espacio habitable y garantiza la seguridad y la eficiencia mediante su producción estandarizada. Un segundo momento permite que, desde el diseño arquitectónico, el lenguaje y la espacialidad del proyecto, las viviendas se adapten a las condiciones del entorno y a las tradiciones sociales y culturales. Finalmente, en el proceso de ocupación y habitación, las familias pueden transformar sus casas y adaptarlas a sus gustos y necesidades, a partir de las condiciones técnicas iniciales con las que fueron construidas. Esta investigación recoge los resultados y presenta en detalle una propuesta de industrialización, individualización y transformación, incluyendo los procesos de montaje de las viviendas en obra. Ofrece, además, una reflexión sobre la necesidad y la pertinencia de diversificar las técnicas y los modelos constructivos de la vivienda para el contexto local. Este proyecto se realizó en las facultades de Arquitectura de la Universidad Técnica de Múnich, Alemania, y de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, Colombia, entre octubre de 2010 y junio de 2018.

Hogar Concreto

Industrialización parcial del hábitat popular para mejorar la eficiencia en el diseño y la construcción de la vivienda social.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
EDITORIAL