Libro blanco de la vivienda social industrializada

Ir a contenido



visesa
ETXEBIZITZA SUSTATZAILE PUBLIKOA

EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO
ETXEBIZITZA ETA
HIRI AGENDA SAILA
DEPARTAMENTO DE VIVIENDA Y
AGENDA URBANA

Presentación

Prólogo

Créditos

Copyright

Sugerencias

01 Introducción

- 1.1. Alcance
- 1.2. Objetivos
- 1.3. Vivienda protegida de alquiler social

02 Contexto

- 2.1. Políticas Públicas Globales: ODS. Pacto Verde Europeo. Nueva Bauhaus Europea
- 2.2. Coyuntura de la Industria de la Construcción en Euskadi
- 2.3. Política Pública Vasca de Vivienda
- 2.4. Visesa

03 Estado del arte

- 3.1. Introducción histórica
- 3.2. Actualidad de la construcción industrializada para vivienda colectiva en España
- 3.3. Capacidad productiva
- 3.4. Casos de estudio europeos

04 Proyecto piloto

- 4.1. 12 propuestas para el Proyecto Piloto Sopela-Asu
- 4.2. Sistemas Estructurales Industrializados
- 4.3. Categorías. Grado de Industrialización
- 4.4. Diseño arquitectónico: Optimización del Diseño Industrializado
- 4.5. Diseño arquitectónico: el Diseño para el Desmontaje y la Adaptabilidad según la ISO 20887 (DfD/A)
- 4.6. Diseño arquitectónico: Condiciones de Habitabilidad
- 4.7. Calidad Constructiva
- 4.8. Sostenibilidad Ambiental
- 4.9. Sostenibilidad Económica. Coste del Ciclo de Vida
- 4.10. Aspectos sociales

05 Procesos de apoyo a la industrialización

- 5.1. Financiación y Aseguramiento
- 5.2. Contratación Pública
- 5.3. Digitalización
- 5.4. Innovación. Investigación Aplicada y Formación

06 Prescripción de sistemas

Este libro es el fruto de la **investigación** llevada a cabo en el marco del **Plan de Industrialización de Visesa-Viceconsejería de Vivienda del Gobierno Vasco**, con el objetivo de compartir el conocimiento adquirido y mostrar su aplicación práctica a los/as profesionales del sector.

Denis Itxaso

Consejero de Vivienda y Agenda Urbana



Vivimos un momento marcado por profundas transiciones sociales, ambientales y económicas, que impactan de lleno en el ámbito empresarial y en la vida de las personas. La construcción siempre ha sido un sector estratégico para la economía vasca y su transformación resulta necesaria para hacer frente a la creciente necesidad de construcción de vivienda y para no perder el tren del futuro. El Libro Blanco de la Vivienda Social Industrializada surge como una ***respuesta a la transición que el diseño, la fabricación, la construcción y el uso de la vivienda deben experimentar*** *para integrarse como partes inseparables de un proceso productivo único y coherente, que apueste por la competitividad, el acortamiento de plazos y la sostenibilidad ambiental.*



Miguel de los Toyos

Viceconsejero de Vivienda

*Debemos abordar los desafíos sociales de nuestro tiempo y transformar la realidad actual de escasez de oferta de vivienda en alquiler, que está suponiendo un tensionamiento del mercado residencial, a través de un **modelo más equitativo, inclusivo y sostenible**. En este contexto, la **industrialización de la construcción** se revela como un medio adecuado para optar a **formas más eficientes y sostenibles de construir**, con mejor aprovechamiento de los recursos públicos.*

Pablo García Astrain

Director de Vivienda, Suelo y Arquitectura



*La industrialización de la construcción no es sino un paso más en el inexorable itinerario de modernización del sector de la construcción, uno más de los muchos que se han ido dando a lo largo de la historia, ni más ni menos. No más, pero tampoco menos. Este Libro Blanco de la Vivienda Social Industrializada elaborado por Visesa dentro del programa Eraikal del Gobierno Vasco, constituye una guía útil y práctica para adentrase en el camino de la industrialización, esa nueva etapa. Sin duda constituirá una herramienta útil para todos los actores llamados a participar en el despliegue de la **Estrategia de Industrialización de la Construcción en el Pacto Social por la Vivienda 2022-2036** que nos permitirá conseguir entre todos un sector de la construcción más atractivo, competitivo e innovador con el que poder afrontar en mejores condiciones los retos del futuro.*



Patricia Val

Directora General de Alokabide

*La construcción industrializada no solo plantea una nueva manera de pensar las fases de diseño y construcción de un edificio, sino que juega un papel crucial en la incorporación de la **visión del ciclo de vida del edificio**, particularmente en las fases de operación y mantenimiento. Este enfoque beneficia tanto a las personas usuarias como a las empresas propietarias y gestoras de los activos; asimismo, garantiza un **menor impacto ambiental** a lo largo de todo el ciclo de vida, promoviendo una mayor sostenibilidad en el sector.*

Carlos Quindós

Director General de Visesa



*El éxito de esta transformación requiere de una **visión compartida** por todos los agentes de la cadena de valor de la construcción. Para ello, el Libro Blanco propone un marco operativo basado en la **colaboración y la confianza** entre administraciones públicas, promotores, gestores de activos, profesionales de la arquitectura e ingeniería, constructoras, industriales y fabricantes, entidades financieras, aseguradoras y usuarios finales. Solo mediante un esfuerzo conjunto seremos capaces de dar respuesta a los retos de hoy y construir un futuro más sostenible y justo.*

Russell Loveridge

Managing Director NCCR Digital Fabrication, ETH Zürich

> *Las claves para la adopción de nuevas tecnologías son el marco regulatorio, la educación y el factor humano, la preparación tecnológica de las empresas y la responsabilidad social y sostenibilidad. La aplicación de las nuevas tecnologías a la producción industrializada permite aumentar la **productividad** del sector*



IR A VÍDEO

Begoña Ortuzar Azpillaga

Directora C.E. Negocio Inmobiliario Norte de CaixaBank



IR A VÍDEO

> *Desde el sector financiero estamos convencidos de la necesidad de la Industrialización para solventar los problemas actuales de ausencia de vivienda y de la escasez de mano de obra, además de **integrar los criterios ESG** en todo el proceso de la construcción*

Teresa Batlle Pagès

Socia fundadora de Pich Architects / Pich-Aguilera

> *Ahora somos más sensibles al **impacto ambiental y el impacto social**. En la construcción tradicional se ha acabado la mano de obra, hemos de tender hacia la industrialización para conseguir tener mano de obra*



IR A VÍDEO

Nerea Morgado Juez

Directora Técnica de Visesa

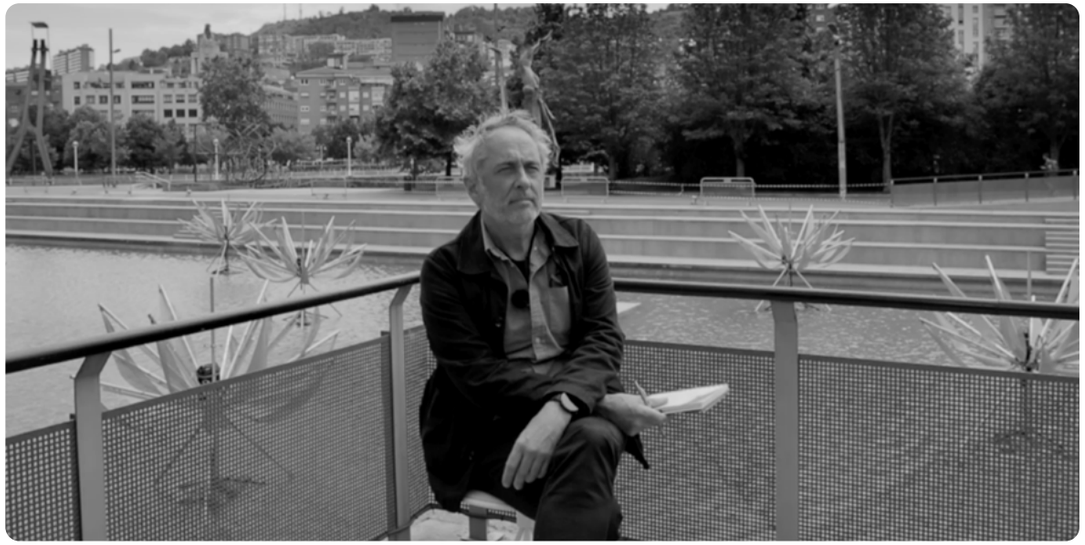


IR A VÍDEO

*Para dar respuesta a los retos actuales nuestro sector necesita una **transformación estructural**. Visesa ha visto en la industrialización una oportunidad fundamental para afrontar la mejoras necesarias*

Jon Andoni Begiristain Mitxelena
Director de la ETS de Arquitectura EHU/UPV

*“La construcción es una de las actividades humanas que mayor impacto ambiental genera. La industrialización es un medio que nos proporciona herramientas para construir **edificios adaptables y desmontables** y para ser responsables con el entorno*



IR A VÍDEO

Jesús Cuadrado Rojo

Profesor de Ingeniería de la Construcción
Coordinador del grupo de Investigación SAREN. ETS Ingeniería de Bilbao EHU/UPV



IR A VÍDEO

> *Una de las ventajas de la construcción industrializada, además de la rapidez de ejecución y la sostenibilidad, está relacionada con la **seguridad** que se tiene en los procesos productivos: la fabricación dentro de una planta industrial tiene unos mayores niveles de seguridad*

Edita

Vivienda y Suelo de Euskadi, S.A. VISESA

Departamento de Vivienda y Agenda urbana.
Gobierno Vasco

C/Portal de Gamarra 1ª, 2ª Planta
01013 Vitoria-Gasteiz

www.visesa.euskadi.eus

Coordinación

Alejandro Santamaría Sillaurren

Visesa: personas participantes en la redacción del Libro Blanco

Saioa Larrea, Elena Ruiz, Dámaris Vaquero, Cristina Llamas, Juan Beitia, Maite Prieto, Urtzi Errasti, Xabier Lafuente, Ibon Samaniego, Cristina Alonso, Nerea Molina, Raquel Arana, David Grisaleña, Cristina Rodriguez, Laura García Ropero, Nerea Morgado, Goretti García

Colaboradores externos

Luis Bilbao Larrondo

Grupo de Investigación SAREN,
ETS Ingeniería de Bilbao UPV/EHU

Jesus Cuadrado, Eduardo Rojí, Ignacio Marcos, Esteban Laraudogoitia, Ugaitz Gaztelu

Departamento de Arquitectura,
ETS Arquitectura UPV/EHU

Jon Begiristain, Ezequiel Collantes, Iñigo García, Maddi Manterola

Diseño estratégico

WOKO.

Advertencias

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Los textos publicados son propiedad de la VISESA, siendo necesario citar la procedencia en cualquier reproducción parcial o total.

La indicación de la licencia de uso y distribucaión, CC-by-nc, ha de hacerse constar expresamente de esta forma cuando sea necesario. Puede consultar la versión informativa y el texto legal de dicha licencia en los siguientes enlaces:

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es

Sugerencias

Se agradecerán todas las aportaciones y sugerencias que ayuden a mejorar el contenido de este documento.

Contacto:

IR AL FORMULARIO



01 Introducción

1.1. Alcance
1.2. Objetivos
1.3. Vivienda protegida de alquiler social

1.1 Alcance

La elaboración de este documento forma parte de las acciones previstas en el **Plan de Industrialización de Visesa 2022-2036**, en su Etapa 2 "Adecuación de los sistemas industrializados a la promoción de vivienda pública en alquiler". El estudio se circunscribe a las **soluciones industrializadas de aplicación a la promoción de la vivienda protegida de alquiler social en alquiler en el País Vasco** y su normativa específica.

Vivienda y Suelo de Euskadi, S.A. – Euskadiko Etxebizitza eta Lurra, EA (Visesa) es la sociedad pública dependiente del Gobierno Vasco y adscrita al Departamento de Vivienda y Agenda Urbana para el desarrollo de su política territorial de vivienda a través de la promoción de vivienda protegida. En aplicación de las determinaciones de la Ley 3/2015 de Vivienda, las promociones de Visesa se dedican en exclusiva a la vivienda protegida de alquiler social, las cuales pasan a formar parte del parque público de alquiler gestionado por Alokabide.

Este proyecto ha resultado seleccionado dentro de la Línea V: Estudios, Proyectos y Prototipos específicos sobre industrialización de procesos de construcción en edificación residencial, del **programa Eraikal 2022**, programa impulsado por el **Departamento de Vivienda y Agenda Urbana** para el fomento de la calidad constructiva y arquitectónica y de la sostenibilidad y apoyo a la innovación en el sector de la edificación residencial de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

1.2 Objetivos

El lanzamiento del Proyecto Piloto del Plan de Industrialización de Visesa, Sopela-Asu 33VPOa, a través de un **Diálogo Competitivo** como procedimiento para Compra Pública de Innovación, ha facilitado el **concurso de gran parte de la tecnología y metodología avanzada disponible en España en el momento para la aplicación de sistemas y procedimientos industrializados a la edificación en altura**. Esta circunstancia se ha interpretado, desde su inicio, como una **oportunidad** para dar un salto cualitativo en el conocimiento de las posibilidades de la construcción industrializada, en un momento en el que las miradas del sector se fijan en la industrialización como el camino necesario para abordar los retos actuales de sostenibilidad social y ambiental.

*Una **oportunidad** para dar un salto cualitativo en el conocimiento de las **posibilidades de la construcción industrializada***

El objetivo del libro es proporcionar un soporte para la **divulgación del conocimiento adquirido**, que sirva, a la par, como **guía práctica** de apoyo a futuras promociones de Visesa en el cumplimiento del Plan de Industrialización.



1.3 La vivienda protegida de alquiler social

El parque de vivienda protegida de alquiler social vasco en su **concepción, diseño e incorporación de nuevas técnicas y materiales** describe la evolución que ha ido experimentando la vivienda protegida en el cambio de siglo, sin olvidar **las personas y familias** que las han habitado dándoles vida y forma.

Esta evolución ha sido posible gracias a una voluntad política **de concebir la vivienda como un bien social más que como un inmueble**, voluntad que ha permanecido a lo largo de la andadura del autogobierno. Se trata de un compromiso estable que ha alcanzado su punto culminante con la **Ley de Vivienda que convierte el acceso a una vivienda digna en un derecho**.

Se buscan hogares que permitan **nuevos modelos de habitabilidad** conectados a los servicios públicos digitales, que ofrezcan la oportunidad para compartir el cuidado de niños/as y mayores, que brinden facilidades para gestionar **la conciliación familiar y el teletrabajo**, y que fomenten una **mayor concienciación ecológica** que conduzca a una mejora de la incidencia de nuestros hábitos medioambientales y a un cambio en la mentalidad social para afrontar retos colectivos de forma sostenible.

De esta forma, se pretende ampliar el parque público de vivienda con **viviendas flexibles, saludables y confortables** que garanticen la **máxima habitabilidad y nivel de confort con el mínimo consumo energético e impacto medioambiental**. Ofreciendo **mejores servicios y de mayor calidad al menor coste posible**, tanto de la vivienda como de las instalaciones comunes. En la que la **tecnología digital** sea el medio principal para la **gestión eficiente** del edificio durante todo su **ciclo de vida**.



02

Contexto

- **2.1.** Políticas Públicas Globales: ODS. Pacto Verde Europeo. Nueva Bauhaus Europea
- **2.2.** Coyuntura de la Industria de la Construcción en Euskadi
- **2.3.** Política Pública Vasca de Vivienda
  - **2.3.1**. Pacto Social
  - **2.3.2**. Plan Director de Vivienda
  - **2.3.3.** Marco estratégico Alokabizi
- **2.4.** Visesa
  - 2.4.1. Plan de Industrialización de Visesa
  - 2.4.2. Proyecto Piloto. Diálogo Competitivo: 33 VPOa Sopela-Asu
  - 2.4.3. Antecedentes. Experiencias previas
  - 2.4.4. Responsabilidad Social Corporativa. Criterios ESG
- Referencias

2.1 Políticas Públicas Globales: ODS. Pacto Verde Europeo. Nueva Bauhaus Europea

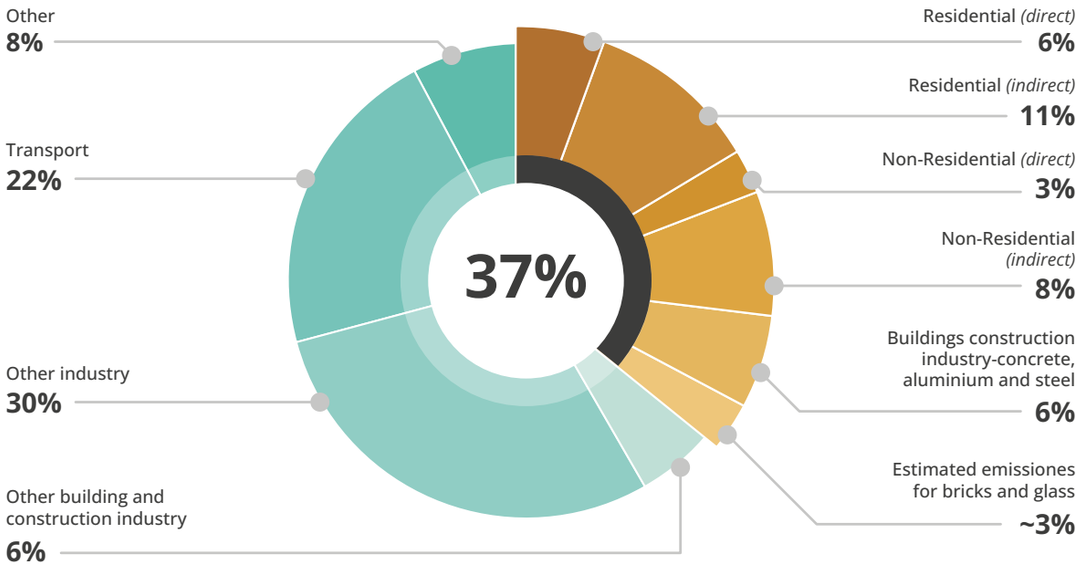
En septiembre de 2015, las y los líderes mundiales adoptaron el plan de acción de las Naciones Unidas «Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible», que fija un conjunto de objetivos de desarrollo sostenible (ODS) para poner fin a la pobreza, salvaguardar el planeta, proteger los derechos humanos y garantizar la prosperidad para todas las personas. Entre sus objetivos se establece como meta principal para 2030 asegurar el **acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles**. El grupo de trabajo de construcción e ingeniería del Pacto Mundial de la ONU en España ha identificado diez transformaciones necesarias y ha definido una hoja de ruta para alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

El Pacto Verde Europeo, presentado por la Comisión el 11 de diciembre de 2019, establece el objetivo de convertir a **Europa climáticamente neutra para 2050**. Dentro de este marco común europeo, las políticas públicas que abordan la transformación del sector de la construcción tienen reflejo en la Nueva Bauhaus Europea, cuyo objetivo es combinar el diseño, la sostenibilidad, la accesibilidad, la asequibilidad y la inversión para contribuir al cumplimiento del Pacto Verde Europeo. Concretamente, la Nueva Bauhaus plantea una serie de claves en su propuesta de transformación que apelan directamente a la construcción industrializada como medio adecuado para su logro; sus valores esenciales son la sostenibilidad, la estética y la inclusión, a través de un **enfoque participativo, la transdisciplinariedad y la digitalización**.

*El Pacto Verde Europeo establece el objetivo de convertir a Europa **climáticamente neutra** para 2050*

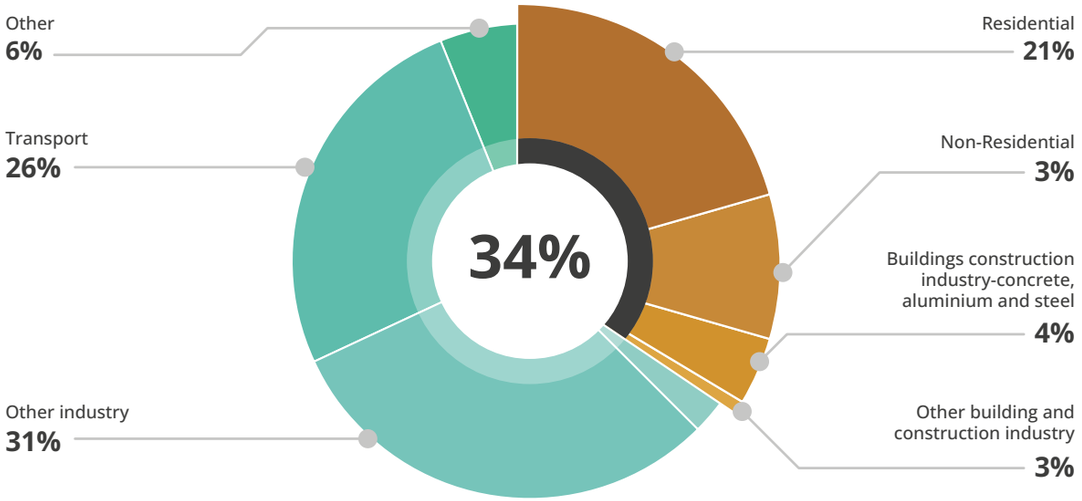
En cuanto al cumplimiento del objetivo de descarbonización del sector, el estudio Situación mundial de los edificios y la construcción de 2022 (Buildings-GSR + ONU) recoge que las emisiones históricas del sector de la construcción **lo alejan de los objetivos de descarbonización**, y concluye que el sector fue responsable de más del 34% de la demanda energética y alrededor del 37% de las emisiones de CO_2 asociadas a la energía y sus operaciones durante el año 2021.

Global share of buildings and construction operational and process CO_2 emissions, 2021



REPORT_2022 Buildings-GSR_1.pdf

Global share of buildings and construction final energy demand, 2021



A la vista de esta situación, propuestas como La Hoja de ruta para la descarbonización de la edificación en todo su ciclo de vida (gbce.es) reflejan que "**La consecución de los objetivos de descarbonización del sector a 2050 requiere de una transformación donde la industrialización de los productos y procesos aparece como una de las peticiones recurrentes para el sector**".

2.2 Coyuntura de la Industria de la Construcción en Euskadi

Según el I Informe sobre el Estado de la Mano de Obra de la Confederación Nacional de la Construcción, CNC, de 2022, la situación para contratar profesionales de la construcción es difícil o extremadamente difícil en los siguientes perfiles: encargada/o de obra, capataces, albañiles, encofradoras/es y operarias/os de puesta en obra de hormigón. La "**alarmante falta de mano de obra**" amenaza el acceso a los fondos NEXT europeos, de los que 7 de cada 10 euros se destinarían al sector de la construcción. Se estima que sería necesario incorporar 700.000 trabajadoras/es en los próximos años, teniendo en cuenta, además, que la edad media de los trabajadoras/es supera los 45 años en el año 2024. En el tercer trimestre de 2023 la tasa de paro de la juventud de 16 a 29 años de Euskadi es del 31,79%, mientras que la tasa de paro general se sitúa en 8,32% (fuente: epdata). Por otra parte, el sector de la construcción es el que presenta un mayor grado de segregación con una presencia de mujeres de apenas el 8%, tal y como pone de manifiesto el informe "La ausencia de las mujeres en el sector de la construcción en los trabajos a pie de obra" (Alonso, A. (2022) Emakunde).

Ante esta realidad, resulta apremiante la transformación de las condiciones laborales del sector para ofrecer un entorno más atractivo e inclusivo que sostenga la capacidad productiva necesaria para satisfacer las necesidades de la sociedad.

Construir de forma industrializada supone desplazar lo más posible el trabajo de la obra hacia entornos más seguros, saludables y productivos. Este entorno laboral ofrece **mayor estabilidad** y permite mejores facilidades para la **conciliación** de la vida familiar y laboral, lo que redunda en la incorporación de la mujer a un sector extremadamente segregado por género.



2.3 Política Pública Vasca de Vivienda

2.3.1 Pacto social

La demanda de vivienda protegida en alquiler en la CAPV, en abril de 2024, supera las 85.000 personas, según los datos del Servicio Vasco de Vivienda Etxebide. Ante esta necesidad social, el Departamento de Vivienda y Agenda Urbana del Gobierno Vasco ha impulsado **Pacto Social por la Vivienda 2022-2036** (PSV) como compromiso compartido para acelerar la conformación efectiva del derecho a la vivienda a aquellas personas con dificultades para acceder a una vivienda en el mercado libre. El PSV ha conseguido la adhesión de 87 organizaciones, desde la sociedad civil o colectivos profesionales hasta instituciones y empresas. Entre las directrices del Pacto, se incluye la de **impulsar un sector de la construcción atractivo, competitivo e innovador**, apoyando la capacitación y el desarrollo del talento en el sector y sus proyectos de innovación, y **favoreciendo el acceso de más mujeres al mismo.** Su estrategia incide de forma específica en la **industrialización del sector**. En cuanto a objetivos cuantitativos, en el Pacto Social por la Vivienda se establecen cuatro metas y seis líneas de actuación. Entre ellas destaca que el **5% de las viviendas principales de la comunidad autónoma se destinen a la oferta pública de alquiler asequible para 2036**, que en la práctica supone **duplicar el parque** disponible en el año de su firma y llegar a las 50.000 viviendas para el año 2036. También, que el parque de viviendas de protección pública permanente ascienda al 12% de las viviendas principales.

Impulsar un sector de la construcción atractivo, competitivo e innovador

2.3.2 Plan Director de Vivienda

Por su parte, el **Plan Director de Vivienda 2021-2023** a su vez recoge como valores y principios de actuación para el parque edificado la **industrialización y digitalización**, y explicita como línea estratégica de acción el fomento de la industrialización de los procesos constructivos en edificación a través de iniciativas concretas de investigación, innovación, formación y aplicación operativa (Acción estratégica 2.3.1.7.).

La capacidad que tiene la **construcción industrializada** para reducir los plazos de entrega, minimizar los impactos ambientales, facilitar el control de ejecución y de calidad, mejorar las condiciones laborales del sector y fomentar los procesos colaborativos hacen que su impulso resulte una **oportunidad estratégica** para el cumplimiento de los objetivos de las políticas públicas de vivienda reflejadas en el Pacto y el Plan.



Etxebizitzaren Gida Plana
Plan Director de Vivienda
2021 ▫ 2023

DESCARGAR PDF

2.3.3 Marco estratégico Alokabizi

Alokabizi es un proyecto impulsado desde la **Consejería de Vivienda del Departamento de Vivienda y Agenda Urbana del Gobierno Vasco** y liderado por Alokabide. Este proyecto se centra en las personas y aborda los retos de la triple transición en vivienda protegida de alquiler social para la próxima década, garantizando así el buen empleo de los recursos públicos. En él se define un nuevo **modelo de vivienda entendido como un entorno simbólico y afectivo que puede generar seguridad y sentido de pertenencia a la persona.**

Este proyecto conforma un **marco estratégico compuesto por 3 ejes: sostenibilidad, digitalización e inclusión**, que se despliegan en 6 ámbitos de actuación:

- Salud y confort
- Energía
- Ciclos de vida
- Aspectos sociales
- Accesibilidad universal
- Gestión avanzada

alokabizi

Alokabizi ofrece un marco de trabajo común a las sociedades públicas Alokabide y Visesa, encargadas de la promoción (Visesa) y la gestión del parque público (Alokabide), para el desarrollo de su actividad y cumplimiento de objetivos. La incorporación de soluciones industrializadas a la promoción de vivienda contribuye al desarrollo de la actividad de Visesa según los ejes de sostenibilidad, digitalización e inclusión del proyecto Alokabizi.



Libro blanco de la rehabilitación de la vivienda

DESCARGAR PDF

2.4 Visesa

2.4.1 Plan de Industrialización de Visesa

En un cuarto nivel de despliegue de las políticas públicas de vivienda, el **Plan de Industrialización**, incluido en el marco estratégico de Visesa, incorpora una Hoja de Ruta que se desarrolla en **6 Etapas** (5 de despliegue progresivo y una de carácter transversal):

- **Etapa 1. Análisis estratégico de la situación de mercado.**
- **Etapa 2. Adecuación de los sistemas industrializados a la promoción de vivienda de alquiler (Proyecto Piloto. Compra Pública de Innovación).**
- **Etapa 3. Lanzamiento progresivo de promociones con sistemas industrializados.**
- **Etapa 4. Adecuación de la gestión interna y operativa.**
- **Etapa 5. Consolidación de los sistemas industrializados en la promoción.**
- **Alianzas, Difusión y Participación en Foros.**

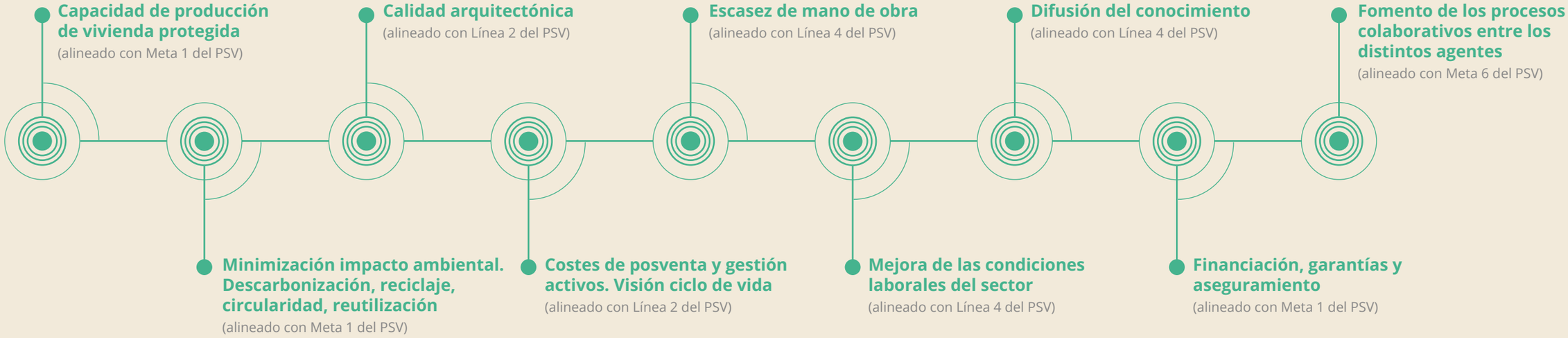
El **Plan de Industrialización de Visesa 2022-2036**, en alineación con el PSV, tiene como fin el **fomento de la industrialización progresiva de los procesos constructivos en la promoción de vivienda pública, para dar respuesta a los objetivos marcados en el Pacto Social por la Vivienda en Euskadi 2022-2036**. La puesta en marcha del Proyecto Piloto del Plan de Industrialización debe servir de **palanca para la industrialización progresiva** de la construcción del parque de viviendas de protección oficial en el País Vasco.

El objetivo cuantitativo del Plan de Industrialización de Visesa es lograr que en el año 2036 el 75% de las viviendas incorporen sistemas o componentes industrializados en su ejecución.



2.4.1.1 RETOS DEL PLAN DE INDUSTRIALIZACIÓN

A la hora de definir los objetivos del Plan se ha realizado un análisis de los objetivos del **Pacto Social por la Vivienda** en los ámbitos social, ambiental, económico y de gobernanza sobre los cuales la construcción industrializada puede tener una repercusión positiva. De esta manera se han identificado los siguientes **retos**:



2.4.1.2 OBJETIVOS DEL PLAN DE INDUSTRIALIZACIÓN

Más allá del objetivo cuantitativo de lograr que en el 2036 el 75% de las viviendas incorporen sistemas o componentes industrializados en su ejecución, se establecen los siguientes **objetivos cualitativos del Plan de Industrialización** para dar respuesta a los retos asumidos:



01.

Sostenibilidad Social. Respuesta al derecho de acceso a una vivienda digna y adecuada.

Ampliar información



02.

Sostenibilidad Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida (ACV).

Ampliar información



03.

Sostenibilidad Económica. Coste del Ciclo de Vida.

Ampliar información



04.

Gobernanza. Mejora de la eficiencia y resultado del proceso de producción de vivienda social a través del trabajo colaborativo.

Ampliar información



05.

Digitalización de procesos y entregables.

Ampliar información



06.

Investigación y difusión. Libro Blanco de la Vivienda Social Industrializada.

Ampliar información

Sostenibilidad Social
Respuesta al derecho de acceso a una vivienda digna y adecuada.

El PSV fija el objetivo de aumentar la oferta pública de alquiler asequible hasta alcanzar un parque de **50.000 hogares** en 2036. Las posibilidades de los Métodos Modernos de Construcción (MMC) o Construccion Industrializada, se presentan como una oportunidad estratégica para abordar los objetivos del Pacto en una coyuntura de la industria de la construcción que debe afrontar importantes retos. El propio PSV prevé la constitución de un **Foro de Construcción Industrializada** adscrito al mismo para impulsar la transformación del sector.

El Plan de Industrialización debe facilitar el acceso a las potencialidades que tiene la construcción industrializada a la hora de **reducir plazos de producción y mejora de la calidad del producto final**, fruto de control de ejecución que permite la implantación de los procesos industrializados. Para ello será preciso establecer **entornos de trabajo colaborativo** de los distintos agentes implicados.

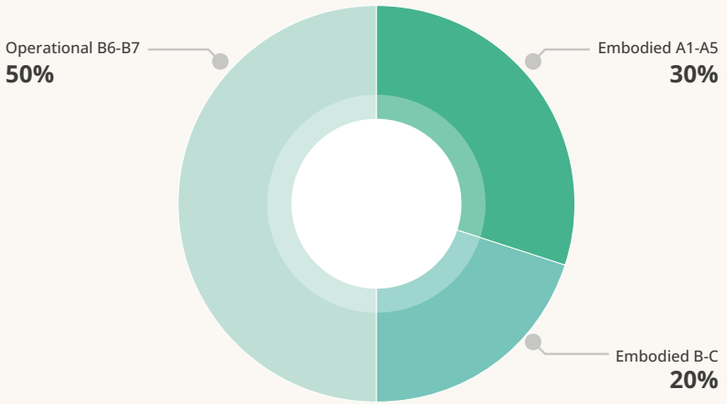
La calidad del producto final está ligada a la consecución del objetivo de ofrecer **viviendas flexibles, saludables y confortables.** Que garanticen la **máxima habitabilidad y nivel de confort con el mínimo consumo energético e impacto medioambiental**, que permitan **nuevos modelos de habitabilidad** conectados a los servicios públicos digitales, que ofrezcan la oportunidad para compartir el cuidado de niños, niñas y mayores. Que brinden facilidades para gestionar **la conciliación familiar y el teletrabajo.**

Por su parte, las condiciones laborales del trabajo en una planta fabril respecto a centros de trabajo deslocalizados y a la intemperie, como son las obras in-situ, permiten la organización del trabajo de manera **más segura e inclusiva** y en mejores circunstancias de conciliación y fomenta la **equidad de género** en el acceso al trabajo.

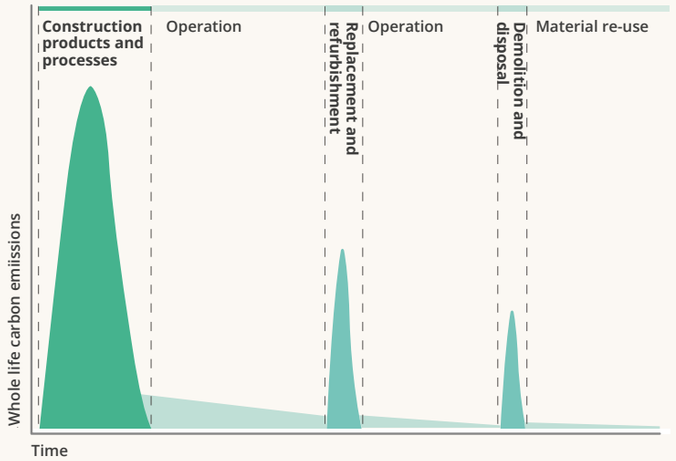
Sostenibilidad Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida (ACV).

Las ventajas ambientales de la construcción industrializada se deben visualizar a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio, desde la fase de producción, en la que la reducción de residuos y huella del carbono embebido ofrece una amplia mejora, pasando por la fase de uso, con la minimización de la demanda y búsqueda de la eficiencia energética, y fin de vida útil, cuando se aborde el desmontaje y reutilización.

Estimated distribution of carbon emissiones per life cycle stage



Whole life emissions, Arup (2020)



Net zero buildings: where do we stand? - Arup

La incorporación de la metodología del ACV nos permitirá medir, evaluar, introducir mejoras y, en definitiva, trabajar y tomar decisiones desde la valoración objetiva de datos para cumplir con los objetivos de **descarbonización y circularidad**, incluido el reciclaje y la reutilización de materiales, a lo largo del ciclo de vida del edificio.

Sostenibilidad Económica. Coste del Ciclo de Vida.

Desde el sector público tenemos la responsabilidad de responder al reto de garantizar a la ciudadanía el acceso a una vivienda digna y adecuada, con especial atención a los colectivos más vulnerables, y tenemos la obligación de hacerlo desde el **uso eficiente de los recursos disponibles**. Asumiendo estas necesidades, en Visesa estamos comprometidos/as con el principio de **contención de costes** que rige en nuestras promociones.

El reto de minimizar el coste de inversión inicial en la ejecución de la obra debe poder alcanzarse a través de un aumento de la demanda industrializada que permita invertir en mejorar y automatizar procesos industriales y activar economías de escala. Para servir de ejemplo, el Plan de Industrialización contempla la puesta en marcha de apuestas tractoras como es el Proyecto Piloto de 33 viviendas de protección oficial en alquiler (VPOa) en Sopela-Asu, que ha obtenido gran repercusión en el sector, y al cual han concurrido 12 equipos con más de 40 empresas involucradas. Este tipo de actuaciones tienen una incidencia directa en la movilización de la demanda de sistemas industrializados.

En cuanto al uso y mantenimiento de las viviendas, las posibilidades de monitorización y tratamiento de datos que permite la digitalización asociada a la industrialización adquieren un especial interés en la **gestión de activos, desde la minimización de incidencias y costes de operación y mantenimiento**, tanto preventivo como correctivo. En nuestro caso, la incorporación de esta tecnología redunda en favor del servicio de arrendamiento social prestado por el Gobierno Vasco a través de **Alokabide**, sociedad pública encargada de la gestión del parque público de vivienda en alquiler.

Gobernanza.
Mejora de la eficiencia y resultado del proceso de producción de vivienda social a través del trabajo colaborativo.

A lo largo de los últimos años, Visesa ha venido colaborando en líneas de investigación para impulsar la incorporación de sistemas industrializados en sus promociones. Particularmente, el proyecto **IDEFABRIK**, ”Investigación para interpretar las claves de los diferentes sistemas constructivos industrializables y su posible aplicación en la vivienda de protección pública en el ámbito de la CAPV”, del 2012, fruto del convenio de Visesa con el Departamento de Arquitectura de la UPV/EHU. El resultado de esta investigación arroja una conclusión que es hoy ampliamente compartida por las expertas/os del sector:

> *“*
>
> *Es preciso modificar el modelo de contratación actual para favorecer la entrada del industrial y la empresa constructora desde el inicio del proyecto.*
> *El **diseño es inseparable de la construcción** cuando hablamos de la industrialización*

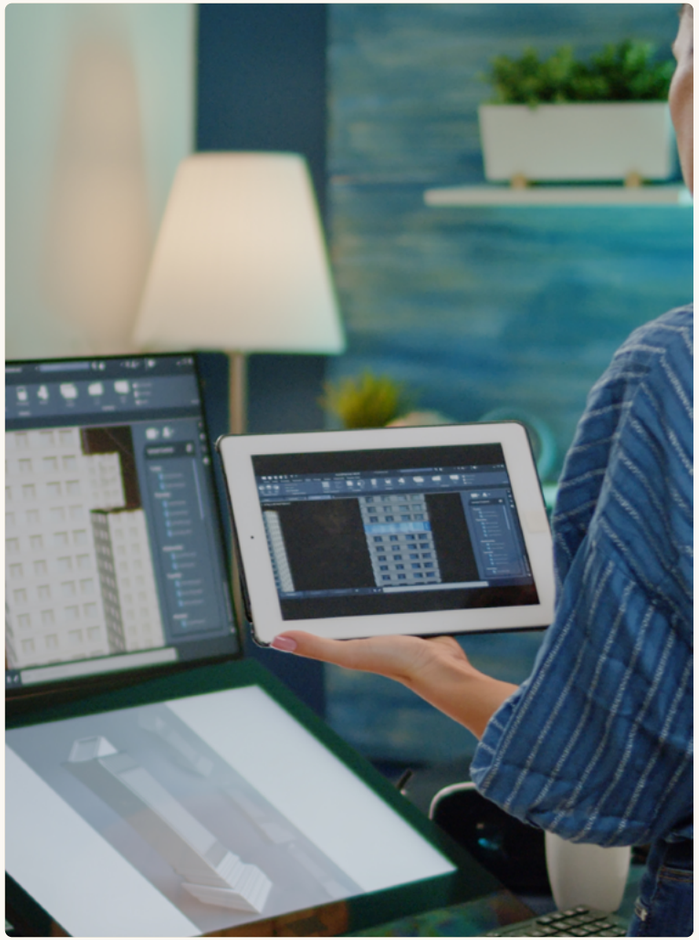
Esta manera de trabajar se alinea con las propuestas que propugna la **Nueva Bauhaus europea**, ya que identifica la **transdisciplinariedad** como una de las claves de la transformación para abordar los retos del Pacto Verde Europeo.

Digitalización de procesos y entregables.

La industrialización y la digitalización establecen entre sí una **relación sinérgica**. **La industrialización proporciona la base para la digitalización** al estandarizar y optimizar los procesos constructivos, mientras que **la digitalización mejora aún más la eficiencia** general del proceso y desarrollo circular, desde su diseño inicial hasta el final de su vida útil, reciclaje y reutilización.

Uno de los retos clave es la adaptación continua a las **innovaciones tecnológicas emergentes, como la inteligencia artificial, la realidad aumentada, Internet de las cosas (IoT -Internet of Things), análisis de datos, la impresión 3D y la automatización y robótica**. Integrar estas tecnologías de manera efectiva en los procesos existentes será esencial para mejorar la competitividad y maximizar las posibilidades de la digitalización hacia la **Construcción 4.0**.

Todo el desarrollo del diseño hasta la fase de mantenimiento se integra en la metodología BIM adoptada por **Visesa y Alokabide** dentro del proyecto “Implantación de la metodología BIM en la gestión del parque público de alquiler social”. En él quedan definidos **tanto los requerimientos BIM de proyectos y obra como los parámetros que debe incluir el modelo virtual BIM para facilitar la gestión en el futuro** mantenimiento del parque de viviendas protegidas de alquiler social y automatizar su integración en el GMAO (Gestión y Mantenimiento de Activos por Ordenador) de Alokabide (**BIM Social**).



Investigación y difusión. Libro Blanco de la Vivienda Social Industrializada.



La transformación del sector y el cambio de modelo, de la construcción tradicional a la construcción industrializada, pasa por que los distintos agentes implicados adquieran el conocimiento y las competencias necesarias para poder afrontar el nuevo paradigma con mayor confianza que escepticismo. Esta labor precisa de un **esfuerzo divulgativo** importante en el que la puesta en común de los documentos de referencia, experiencias e intereses resultará clave para propiciar el **cambio de mentalidad que conlleva la disrupción en la manera de entender los procesos proyectuales y constructivos**. Desde Visesa tenemos la responsabilidad de colaborar y participar en esta labor divulgativa máxime teniendo en cuenta nuestro papel como representantes del sector público.

Gran parte del esfuerzo de investigación de Visesa se condensará en el presente **Libro Blanco de la Vivienda Social Industrializada.**

2.4.2 Proyecto Piloto. Diálogo Competitivo: 33 VPOa Sopela-Asu

Dentro del Plan de Industrialización, Visesa inició en abril del 2021 un procedimiento de **Compra Pública de Innovación (CPI)** para lanzar el Proyecto Piloto del Plan. Esta CPI se diseña para permitir, por una parte, desarrollar una fase de **investigación** para analizar los distintos sistemas industrializados que den respuesta a las necesidades de la promoción de la vivienda protegida en alquiler y, por otra parte, incorporar un marco de **trabajo colaborativo** de participación de los distintos agentes que intervienen en el proceso de una promoción. Esta Compra se concreta en el lanzamiento del **Diálogo Competitivo para la investigación de procesos y sistemas industrializados, y para la contratación de la redacción de proyecto, dirección facultativa y ejecución de las obras de la promoción de 33 VPOa** (vivienda de protección oficial en alquiler) **"B-133", Sector ASU de Sopela (Bizkaia)**.

El diseño de la estrategia de contratación de esta promoción de 33 VPOa resulta singular dentro de los procedimientos habituales de Visesa. A continuación, se desgranan las características más relevantes de la estrategia, que ha merecido reconocimientos como el premio en la categoría de Construcción Industrializada en los Advanced Architecture Awards 2023 del congreso Rebuild.

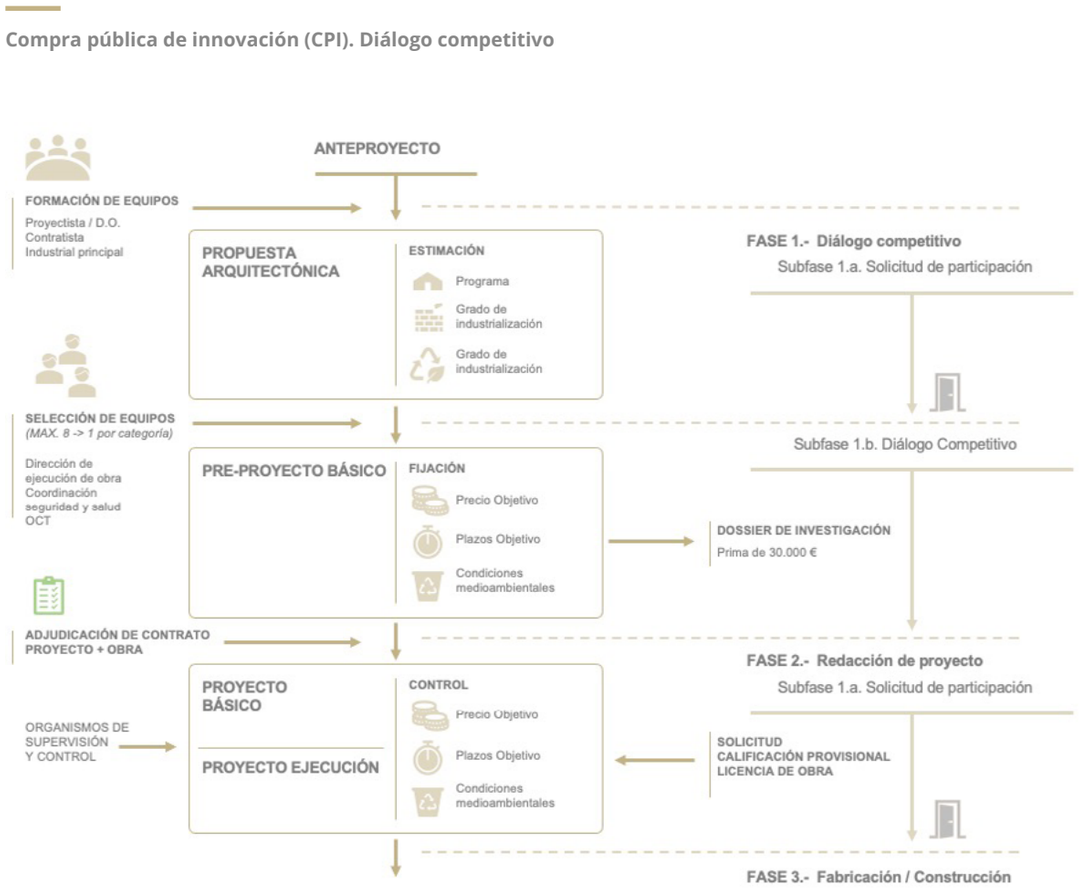


Figura 2.1. Esquema del desarrollo del Diálogo Competitivo

2.4.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA PROMOCIÓN

La parcela sobre la que se desarrolla este proyecto es la **G del Sector Asu**, **Sopela**, destinada a vivienda de protección oficial.

Edificabilidad máxima VPP
2.860 m² (SS+3)

Programa de Viviendas. Reparto previsto por tipologías:

- 0-20% viviendas de 3 dormitorios (incluso de 2 dorm. destinadas a personas con movilidad reducida; aprox. 80 m²u./viv. media)
- 50-80% viviendas de 2 dormitorios (aprox. 63 m²u./viv. media)
- 10-30% viviendas de 1 dormitorios (aprox. 45 m²u./viv. media)
- 33 plazas garaje de 25 m² útiles (ubicadas en un semisótano)

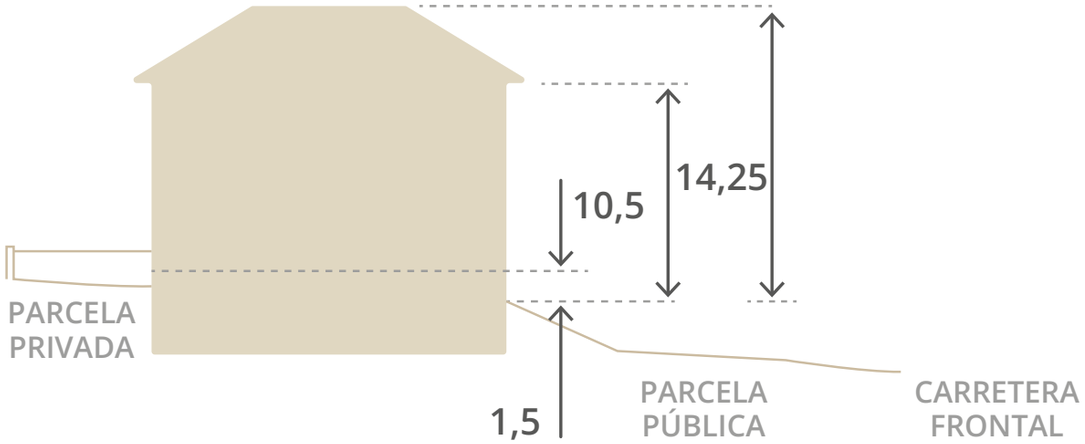


PERFIL URBANÍSTICO

- Envolvente máxima (incluso vuelos)
- Consideración de sótano según NNSS

CONSIDERACIONES DE DISEÑO ESPACIOS EXTERIORES

- Accesibilidad y seguridad de los recorridos
- Facilidad de implantación de los medios auxiliares para el mantenimiento de la envolvente
- Uso público-comunitario del espacio exterior
- Tratamiento fundamentalmente ajardinado (por normativa), con soluciones de bajo mantenimiento



2.4.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS BASES DEL DIÁLOGO COMPETITIVO

01.
Fomento de Industrialización.
Grado de industrialización mínimo.
Ampliar información

02.
Colaboración
y Eficiencia.
Ampliar información

03.
Independencia del Proyectista.
Honorarios fijos y acción directa.
Ampliar información

04.
Fomento de la Sostenibilidad.
Metodología ACV.
Ampliar información

05.
Visión Coste Ciclo de Vida.
Peso de oferta económica.
Ampliar información

06.
Fomento de la Diversidad Tecnológica.
Categorías.
Ampliar información

07.
Fomento de la Investigación.
Prima por investigación.
Ampliar información

08.
Adaptación de los Sistemas
Industrializados a VPP.
Habitabilidad y producto.
Ampliar información

09.
Financiación y garantías de promotor.
Avales por anticipos.
Ampliar información

Fomento de Industrialización. Grado de industrialización mínimo.

El concurso se ha planteado con una clara voluntad de fomentar el uso de sistemas industrializados. Desde esta premisa, se ha fijado un grado mínimo de industrialización para poder participar que incluye el **sistema estructural y la hoja portante del cerramiento.** A partir de este grado mínimo, las propuestas que amplían su industrialización se valoran en mejor medida atendiendo al análisis del grado de industrialización, según la herramienta desarrollada por el grupo de investigación **SAREN** de la UPV/EHU para este caso particular.



IMAGEN 2.1. 156 VS Zabalgana, Vitoria-Gasteiz. Archivo de Visesa

Colaboración y Eficiencia.

Los equipos licitadores que toman parte en el concurso han debido incorporar un equipo integrado por un estudio de arquitectura (equipo facultativo), una constructora y el industrial/es que garanticen el grado de industrialización mínimo exigido. De esta manera se ha querido garantizar la colaboración de los distintos agentes desde el estadio inicial del desarrollo del proyecto para facilitar una visión transdisciplinar del mismo a partir del diálogo e integración de los distintos actores.

Las ofertas de los equipos licitadores seleccionados han presentado una propuesta técnica desarrollada hasta nivel de anteproyecto avanzado. El objetivo es que cada agente pueda aportar su valor desde el inicio del proceso en un entorno de trabajo colaborativo, y que la propuesta adjudicataria del contrato incorpore la certeza del sistema y su fabricante, sin que sea objeto de negociación una vez adjudicado el contrato de desarrollo del proyecto de ejecución y ejecución de la obra.



IMAGEN 2.2. Les Ateliers. Fondos Prouvé. (C) ADAGP, Paris

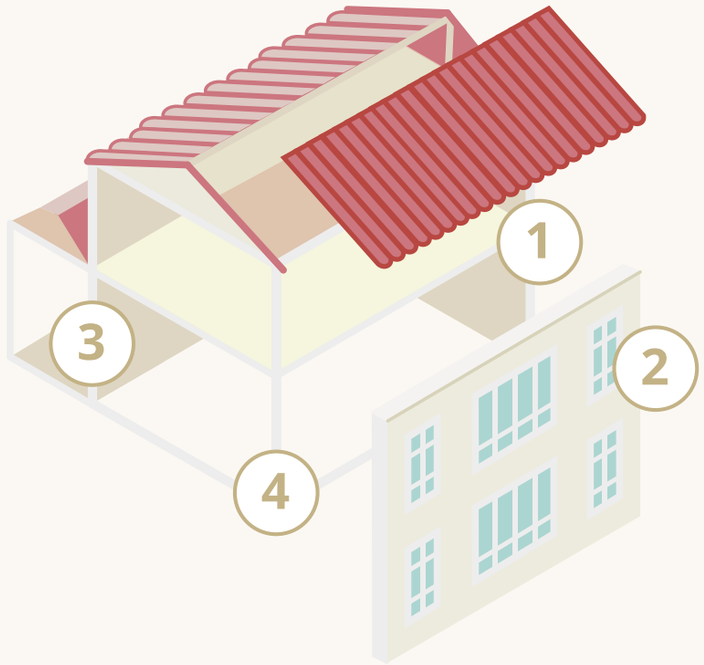
Independencia del Proyectista. Honorarios fijos y acción directa.

Se incorporan fórmulas para garantizar la independencia del equipo proyectista ante el resto de los/as agentes intervinientes, como medidas de **salvaguarda de su trabajo**. Concretamente, se ha establecido que los honorarios del equipo facultativo no puedan ser objeto de baja en las ofertas económicas, y que el abono de sus honorarios pueda ser realizado directamente por Visesa.



IMAGEN 2.3. Rufino Basañez. Archivo Paul Basañez

Fomento de la Sostenibilidad. Metodología ACV.



La licitación de la promoción de 33 VPOa del ámbito Asu de Sopela, incorpora como requisito, de manera pionera en Visesa y el sector, el **Análisis del Ciclo de Vida (ACV)** de todas las propuestas seleccionadas que participan en el Diálogo Competitivo. Los equipos participantes deben realizar un ACV, declarar y justificar su impacto ambiental atendiendo a la metodología recogida en las normas UNE-EN-15.978:2012, UNE-EN-ISO 14.040:2006 y UNE-EN-ISO 14.044:2006.

El alcance propuesto es **de la cuna a la tumba**, entendiendo las limitaciones actuales del sector. Los impactos a declarar son:

Etapa de Producto: A1 A2 A3
- Kg de CO_2 equivalentes (incl. carbono biogénico)

Etapa de Proceso de Construcción: A4 A5
- Consumo de energía primaria no renovable.
- Consumo de agua en la ejecución

Etapa de Uso: B
- Certificado energético CTE.

Etapa de Fin de Vida: C1 C2 C3 C4
- Producción de residuos
- Material reciclable

El conjunto de materiales seleccionados en este proceso es:

1. **Estructura** completa del edificio (planta de semisótano y resto de plantas) **y cimentaciones**.
2. **Envolvente del edificio** (cerrramiento, incluyendo balcones, terrazas y cubiertas incluyendo antepechos y soleras).
3. **Particiones interiores** (tabiquería no estructural) y **acabados de falsos techos, suelos y revestimiento** de elementos estructurales o envolvente del edificio.
4. **Instalaciones**, únicamente conducciones correspondientes a los sistemas de ventilación desde los colectores de impulsión y extracción, los conductos del sistema de saneamiento de aguas residuales y pluviales hasta la acometida (quedando excluidos de este estudio los equipos de bombeo).

Visión Coste Ciclo de Vida. Peso de oferta económica.

Se han diseñado, de manera conjunta con Alokabide, unos criterios de valoración que no sólo tengan en cuenta el coste de inversión en la fase de construcción, sino que incorporen en su evaluación los costes durante la fase de uso. De este modo, la valoración de la oferta económica por la construcción de la obra queda modulada por el coste de mantenimiento previsto en función del certificado de eficiencia energética de la propuesta.

Se cumple así con la naturaleza del Diálogo Competitivo, donde criterios de selección de las ofertas deben incluir **elementos innovadores para valorar las ofertas**, que dejarán de ser exclusivamente por precio, según la valoración del grado de innovación aportado con las soluciones propuestas.



IMAGEN 2.4. Criterios de valoración

Fomento de la Diversidad Tecnológica. Categorías.

La promoción elegida para el Diálogo Competitivo, de planta sensiblemente rectangular, con una sección de semisótano + 3 alturas y acceso rodado expedito, se presta a la resolución por parte de más de un sistema. De manera consciente se ha buscado propiciar la participación de las distintas propuestas tecnológicas disponibles en el mercado. De esta manera, se han definido 7 categorías y se han establecido los mecanismos para que pudiesen estar representadas cada una de ellas en la fase final del diálogo:

1. **ENTRAMADO LIGERO DE MADERA**: para aquellas propuestas con estructura vertical a base de entramado ligero de madera, pudiendo estar la estructura horizontal resuelta por algún otro sistema.
2. **MADERA CONTRALAMINADA**: para aquellas propuestas con estructura con base en paneles de madera contralaminada.
3. **ACERO**: para aquellas propuestas a base de módulos 3D con estructura vertical de acero laminado, pudiendo estar la estructura horizontal resuelta por algún otro sistema.
4. **STEELFRAME**: para aquellas propuestas con estructura vertical en entramado ligero de acero tipo “steelframe”, pudiendo estar la estructura horizontal resuelta por algún otro sistema.
5. **HORMIGÓN 2D**: para aquellas propuestas a base de componentes prefabricados 2D de hormigón armado, admitiéndose la ejecución de elementos in-situ sin la necesidad de encofrados, tales como uniones, capas compresoras o núcleos (en el caso de soluciones de dobles muros prefabricados).
6. **HORMIGÓN 3D**: para aquellas propuestas a base de módulos prefabricados 3D de hormigón armado.
7. **OTROS**: para aquellas propuestas que no se engloben en las anteriores categorías.

Fomento de la Investigación. Prima por investigación.

Se ha entendido la potencialidad del Diálogo Competitivo y la posibilidad que ofrece este procedimiento de Compra Pública de Innovación de establecer primas a los participantes para plantear una fase de investigación de las propuestas y sus sistemas. La fase de investigación está reconocida con una **prima de 30.000 € por equipo**. Para poder optar a la prima por investigación se ha limitado a un máximo de 8 equipos seleccionados de entre todas las propuestas recibidas.

El objetivo de la investigación es **analizar los distintos sistemas industrializados que pueden dar respuesta a las necesidades de la promoción de la vivienda protegida en alquiler**. Esta investigación, desarrollada durante el proceso del Diálogo Competitivo, ha permitido generar información valiosa para la elaboración del Libro Blanco de la Vivienda Social Industrializada. Este Libro recoge las posibilidades que ofrece la adopción de procesos industrializados en las distintas fases de desarrollo de la promoción, desde el diseño, la fabricación, la construcción y ensamblaje, hasta la puesta en servicio y uso hasta finalización de su vida útil y reciclaje, y servirá de apoyo a la Hoja de Ruta para el plan de industrialización de la vivienda pública en Euskadi.



IMAGEN 2.5. Compra Pública de Innovación. Ihobe

Adaptación de los Sistemas Industrializados a VPP. Habitabilidad y producto.

Un requisito necesario para el desarrollo de los proyectos es la adaptación al programa de vivienda pública que se define en función de las necesidades demandadas por la sociedad. El programa comprende una **diversidad tipológica** de viviendas, que incluye viviendas de 1, 2 y 3 habitaciones, así como las viviendas adaptadas.

Deben cumplirse, además, las **dimensiones espaciales** del reciente Decreto 80/2022, de 28 de junio, de regulación de las condiciones mínimas de habitabilidad y normas de diseño de las viviendas y alojamientos dotacionales en la Comunidad Autónoma del País Vasco. Estos requisitos dimensionales suponen un hándicap para alguno de los sistemas modulares del mercado.

De igual manera, se evalúan las propuestas desde el punto de vista de la **ISO 20887**, norma que establece los principios y claves para el diseño del **desmontaje y adaptabilidad** (design for disassembly), buscando poner en valor la flexibilidad de las soluciones.



IMAGEN2.6. Criterios de diseño de Visesa

Financiación y garantías para la promotora. Avales por anticipos

Una de las necesidades manifiestas en la construcción industrializada es la importante inversión necesaria en planta durante la fase de adquisición de la materia prima y fabricación de los componentes industrializados antes a su incorporación al bien inmueble reconocido jurídicamente como “derecho real”, que sirve como garantía hipotecaria del préstamo promotor.

Con la voluntad de propiciar un mejor escenario de financiación para los industriales, se ha establecido una **opción de pago de cantidades anticipadas a cuenta contra una garantía** en forma de aval bancario.



IMAGEN 2.7. ODS 17

2.4.3 Antecedentes. Experiencias previas

El Plan de Industrialización de Visesa da continuidad a la voluntad de innovación que forma parte sustantiva de los valores de esta empresa y que tiene como antecedentes otras experiencias en el campo de la industrialización aplicada a la edificación. Como ejemplos relevantes, merece la pena destacar:

2009 **Hormigón 2D**
A023 Zabalgana 156 VS
Pich-Aguilera / Sukia / Norten



Edificio con estructura y cerramientos industrializados (pilares de 3 plantas, pórticos isostáticos rigidizados con tirantes metálicos y capa de compresor por forjado). Se industrializa el sistema constructivo (proceso), no sólo como suma de elementos, con minimización de consumo de material y energía, incremento de garantías sobre acabado final, mejora en condiciones de trabajo y seguridad en la obra. Participantes: Pich-Aguilera, Sukia, Norten PH.

Esta actuación tiene su origen en la Beca de Investigación sobre Estructuras Industrializadas en Edificios de Vivienda Colectiva del 2004 y culmina con el Análisis comparativo con datos reales de obra entre un edificio de viviendas industrializadas y otro con sistemas constructivos tradicionales en el 2009 (IMAT, Visesa).

2010 **Acero B085 Leioa-Txorierri**
40 VPO 40 VPT, ÁREA 45
Arcelor / LKS / Tecnalia



Análisis estratégico de la viabilidad de la edificación industrializada basada en acero. Consorcio LKS INGENIERIA, ITEA - ARCELORMITTAL y Fundación LABEIN.

2012 **IDEFABRIK**

Investigación para interpretar las claves de los diferentes sistemas constructivos industrializables y su posible aplicación en la vivienda de protección pública en el ámbito de la CAPV. UPV-EHU Departamento de Arquitectura.

2017 **G061 Hondarribia**
33 VPOa+32 VPO
TyM / Moyua / Egoin

El sistema estructural del edificio se plantea con dos soluciones estructurales diferentes: las plantas de sótano bajo rasante y la planta baja se resuelven mediante una estructura de pórticos y muros de contención de hormigón armado convencional. La estructura vertical de las 4 plantas superiores se resuelve con paneles de madera CLT ubicados en las fachadas longitudinales del edificio, así como en los cerramientos interiores de baños, cocinas y núcleos de ascensor. La estructura portante horizontal y cubierta también se resuelve mediante forjados y paneles de CLT. Participantes: TyM, Moyua, Egoin.

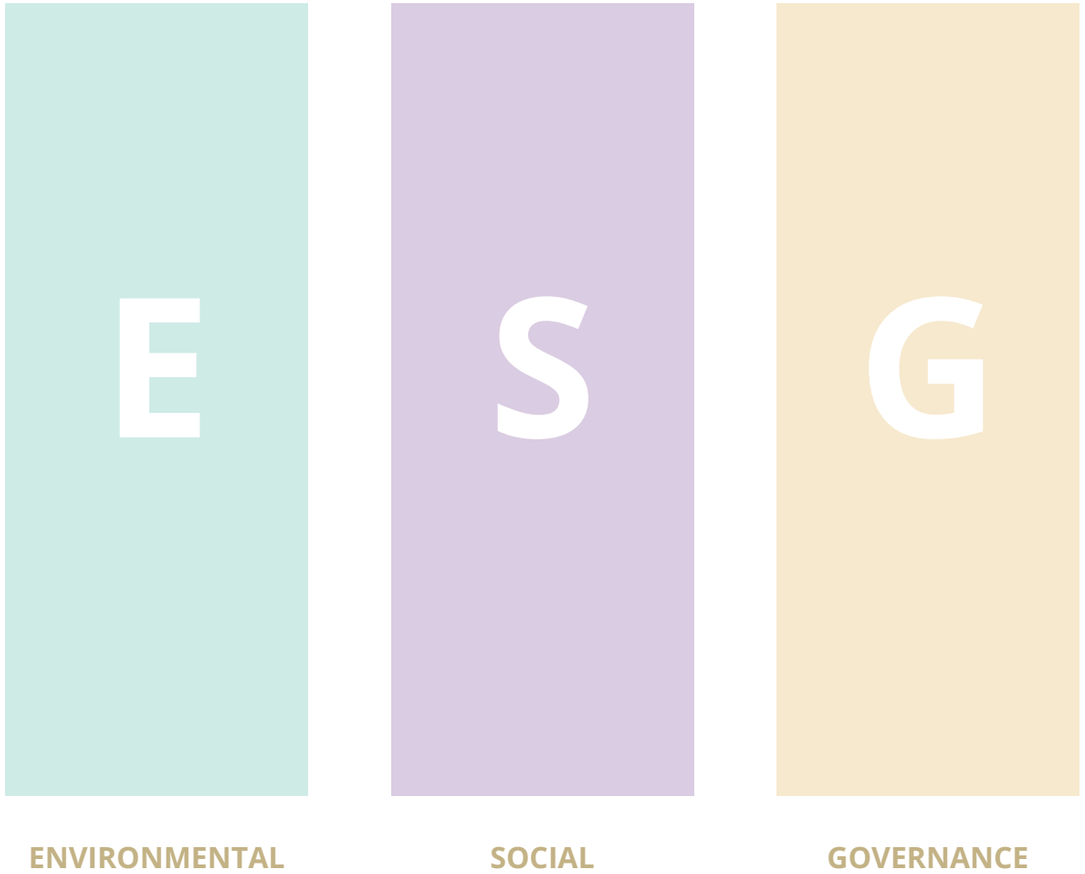


2.4.4 Responsabilida Social Corporativa. Criterios ESG

En un contexto de preocupación de ciudadanos/as, organizaciones, gobiernos e instituciones por el cambio climático, se firmaron los acuerdos internacionales **Acuerdo de París y Pacto Verde Europeo** (Green Deal). El Acuerdo de París, firmado en 2015 por 196 países, estableció el objetivo de mantener el aumento de la temperatura global por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales, y de trabajar para limitar el aumento a 1.5°C. Por su parte, el Pacto Verde, presentado en 2019, constituye el plan para conseguir que Europa sea el primer continente neutro en carbono en 2050. Con este objetivo, la Unión Europea ha implantado diferentes planes de acción, entre ellos el Plan de Acción de Finanzas Sostenibles de la Comisión Europea, que comprende las diferentes normativas que regulan los **criterios ESG**.

El término ESG se ha convertido en el enfoque integral para medir el impacto social y ambiental de una empresa en relación con el medio ambiente, la sociedad y la gobernanza, ya que, conscientes de que los proyectos no solo se deben analizar desde el punto de vista económico, se busca apostar por empresas socialmente responsables y comprometidas con estos criterios: **E (Environmental)** relacionado con el efecto que la actividad de una empresa tiene en el medioambiente tanto de forma directa como indirecta, **S (Social)** referido al compromiso de la empresa con su entorno social y su comunidad, y **G (Governance)** correspondiente al gobierno corporativo de la empresa, así como a las políticas de transparencia y códigos de conducta, entre otros.

En el marco de los criterios ESG, Visesa trabaja en los siguientes ámbitos, dando cuenta de todo ello en nuestra **Memoria de Sostenibilidad** según el estándar GRI, disponible en el Portal de Transparencia de la página web.



2.4.4.1 E (Environmental)

El compromiso ambiental de Visesa es una realidad visible a lo largo de toda su trayectoria y se desarrolla a través de estos ámbitos principales:

Sistema de Gestión Ambiental

Visesa dispone de un Sistema de Gestión Ambiental auditado anualmente, certificado y adaptado al Reglamento Europeo EMAS 1221/2009, modificado por los Reglamentos (UE) 1505/2017 y (UE) 2026/2018.

La implantación de este Sistema asegura el cumplimiento de los requisitos de calidad y ambientales de aplicación, la sistematización de los procedimientos y pautas, y materializa el compromiso de mejora continua para proteger el medio ambiente y minimizar los impactos asociados a la actividad.

Algunos de los beneficios contrastados de tener un Registro EMAS son:

- Proporciona seguridad, orden y coherencia en la gestión ambiental, lo que se traduce en una gestión más eficiente de los aspectos medioambientales.
- Disminuye el riesgo de accidentes ambientales, derivados de un mejor conocimiento y control de las actividades que los causan.
- Existen más posibilidades de recibir ayudas públicas para llevar a cabo actuaciones medioambientales.
- Estimula la concienciación, motivación y educación ambiental de las personas de Visesa y de la ciudadanía del municipio donde se actúa.
- Ayuda a impulsar con el ejemplo la implantación de Sistemas de Gestión Medioambiental en el tejido empresarial donde Visesa actúa.
- Mejora la imagen de cara a la ciudadanía, aliados, Instituciones e inversores.

El hecho de ser Visesa una empresa Registrada en EMAS le permite y compromete a medir, evaluar, informar y mejorar su comportamiento ambiental. Visesa da cuenta de este ciclo anualmente a través de la Declaración Ambiental EMAS que pone a disposición de los grupos de interés a través del portal de transparencia: (www.visesa.euskadi.eus/portal-transparencia/).

Desde el año 2021, Visesa ha llevado a auditorías externas anuales de seguimiento del registro EMAS, así como la recertificación y primera auditoría de seguimiento del sistema de gestión de la calidad según la Norma UNE-EN ISO 9001.

2.4.4.1 E (Environmental)

El compromiso ambiental de Visesa es una realidad visible a lo largo de toda su trayectoria y se desarrolla a través de estos ámbitos principales:

Derivado del marco estratégico 2021-2024 de Visesa, en el que el aspecto ambiental ha tenido una atención especial, se ha procedido a actualizar la Política de Medioambiente poniendo el foco en la mejora de la gestión medioambiental. Se ha definido la estructura organizativa, la planificación de las actividades, las responsabilidades, las buenas prácticas, los procedimientos, los procesos y los recursos necesarios para desarrollar, implantar, revisar y mantener al día los compromisos recogidos en dicha Política Medioambiental.

La variable ambiental está inmersa en todas las actuaciones sobre los ámbitos en los que Visesa tiene influencia: suelos, proyectos, obras, asistencia técnica y las propias oficinas de Visesa. Se destacan a continuación algunas de las acciones que se toman en dichos ámbitos:

- Desde hace años, se incluyen en los criterios de diseño aspectos ambientales (consumo de energía, consumo de materias primas, ruido, entornos naturales, higiénicos y luminosos), que en algunos casos están por encima de la propia Ordenanza de diseño de VPO.
- Se incluyen cláusulas ambientales en los Pliegos de Contratación (proyecto y obra de urbanización o edificación), y se valora que las empresas proveedoras tengan certificación en ecodiseño e implantados sistemas de gestión ambientales (ISO 14001 o similares).
- Criterios ambientales u de otro aspecto aportados por las arquitectas/os que se valoran y que aportan más puntuación en la licitación de la empresa proveedora.
- Se incluyen cláusulas medioambientales en los Pliegos de Contratación de equipamiento de cocinas (electrodomésticos clase energética A, origen de los materiales, etiquetados, etc.).
- Se tiene implantado un Plan de Gestión Medioambiental en Obra, que recoge aspectos como el tratamiento de los residuos, vertidos, emisiones, contaminación del suelo, ruido, fugas, derrames e incendios durante la ejecución de las obras de Visesa.
- Se dispone de una sistemática de recogida y reutilización de residuos (tóner, papel...) y control de vertidos, emisiones, consumos y ruido generado en todas las oficinas de Visesa.
- Se utiliza la herramienta 5S (organización, orden y limpieza) en todas las oficinas, y se llevan a cabo acciones de sensibilización e información ambiental internas.

2.4.4.1 E (Environmental)

El compromiso ambiental de Visesa es una realidad visible a lo largo de toda su trayectoria y se desarrolla a través de estos ámbitos principales:

- Se participa en el grupo de compra y contratación verde de Euskadi 2030. Se han incluido criterios valorables ambientales en las licitaciones, contrataciones y compras de empresas proveedoras de edificación, dirección de obra, proyectos arquitectónicos, publicaciones, material de oficina (papel), catering, vehículos, limpieza y mensajería (ambientalización).
- Se desarrollan acciones para la aplicación de la Ley 4/2019, de 21 de febrero, de Sostenibilidad Energética de la Comunidad Autónoma Vasca y el Decreto 25/2019, de 26 de febrero, de certificación de la eficiencia energética de los edificios en la Comunidad Autónoma Vasca, su procedimiento de control y registro. Asimismo, se llevan a cabo acciones para aplicar el Decreto 254/2020, de 10 de noviembre, sobre la sostenibilidad energética del sector público de la CAPV, buscando promover desde Visesa la transición a un nuevo modelo energético, basado en el ahorro energético, el fomento de las energías renovables, y la eficiencia energética.
- Se ha puesto en marcha la Comisión Ambiental de Visesa.

Programa de Compra y Contratación Verde de Euskadi 2030

Aprobado por el Gobierno Vasco, establece el marco de actuación necesario para estimular el compromiso de las entidades adheridas de avanzar hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental de Euskadi en 2030.

Actualmente, Visesa participa en las reuniones periódicas que se celebran, asimismo, cumple con los objetivos establecidos en las categorías prioritarias más allá de la legislación. Por otro lado, se están dando pasos para retomar el grupo de trabajo específico de la actividad de obra.

El análisis del ciclo de vida (ACV) en las promociones es uno de los aspectos más novedosos aportados en este ámbito; Visesa, con la ayuda de la UPV-EHU, ha avanzado en la parametrización de los aspectos a medir en dicho ACV.

2.4.4.2 S (Social)

Visesa tiene en su ADN el compromiso con la sociedad, el apoyo a la comunidad y la solidaridad. A continuación, se citan algunas de las acciones desarrolladas:



Prevención de Riesgos Laborales

La seguridad y salud de las personas que desarrollan su trabajo en las obras de promoción es fundamental para Visesa.

Con el objetivo de contribuir a reducir la siniestralidad laboral, Visesa cuenta con un equipo de técnicos/as de prevención de seguridad y salud que se encargan del seguimiento y asesoramiento técnico a pie de obra, de la gestión preventiva y laboral realizada por parte de la Coordinación de Seguridad y Salud y por la empresa contratista y sus subcontratas. Buscan detectar posibles desviaciones que puedan repercutir en materia preventiva y laboral de la obra, y fomentar la corrección inmediata por el agente legalmente responsable.

Innovación: digitalización, industrialización y sostenibilidad

Este equipo se preocupa por mejorar el proceso de edificación con el foco en la ciudadanía y en el medioambiente, y lo hace a través de la calidad, la sostenibilidad y la innovación en el sector.

En los últimos años, los tres pilares fundamentales hacia los cuales se está enfocando la innovación en Visesa son la digitalización, la industrialización y la sostenibilidad. Estas tres áreas están llamadas a ser palancas transformadoras de todos los procesos de Visesa en aras de lograr un parque de vivienda protegida en alquiler más sostenible y adaptado a las necesidades de la ciudadanía demandante de vivienda, al tiempo que mejora la eficiencia de Visesa en su desempeño como sociedad pública.

2.4.4.2 S (Social)

Visesa tiene en su ADN el compromiso con la sociedad, el apoyo a la comunidad y la solidaridad. A continuación, se citan algunas de las acciones desarrolladas:

Política Lingüística – Euskera

La Ley 10/1982 del 24 de noviembre de 1982 establece el derecho de la ciudadanía a relacionarse con el Sector Público en la lengua oficial de su elección. Visesa es parte del sector público, y por tanto, ha de garantizar este derecho.

Alineados con el VI Plan de Euskera aprobado en Gobierno Vasco, en Visesa seguimos avanzando con las iniciativas recogidas en el Plan de Euskera 2018-2022 que se desarrollan en torno a 2 ejes:

- Eje 1-Lengua de servicio: para mejorar la calidad de la comunicación con la ciudadanía, avanzar en la protección de los derechos lingüísticos y contribuir así a una mejor prestación de sus servicios.
- Eje 2-Lengua de trabajo: para el fomento de su uso en la organización.

Inversión en la comunidad local

Los proyectos de Visesa hacen que seamos un agente con impacto en la actividad económica del sector de la construcción y la edificación en la CAPV, y que contribuyamos a la movilización económica de agentes públicos y privados.

Sirva como referencia los importes de pagos/gastos llevados a cabo por Visesa en estos últimos años (honorarios técnicos, ejecuciones de obra, compra de suelos, seguros, tasas e impuestos, seguros, gastos financieros,...): 48.080.527,02 € en el año 2021, 46.768.967,37 € en el año 2022 y 64.499.978,53 € en el año 2023.

Colaboración con agentes sociales y organismos sin ánimos de lucro

Visesa colabora habitualmente con agentes y organismos sin ánimo de lucro facilitando el acceso a locales en los que desarrollar su actividad.

2.4.4.2 S (Social)

Visesa tiene en su ADN el compromiso con la sociedad, el apoyo a la comunidad y la solidaridad. A continuación, se citan algunas de las acciones desarrolladas:

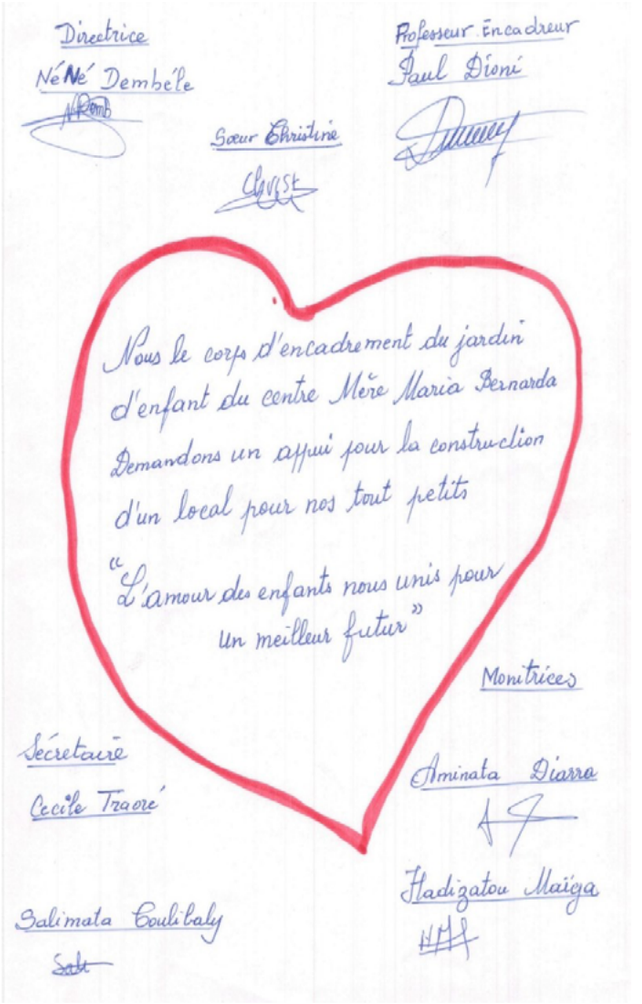
Proyectos solidarios - Política de acción social

Para todas las personas que trabajan en Visesa la solidaridad es un valor importante que materializan a través de su participación en proyecto solidarios relacionados con el ámbito de edificación y, en la medida de lo posible, en países en vías de desarrollo y favoreciendo el rol de la mujer.

El más reciente es la colaboración con Jambo Congo, asociación para el desarrollo de la R. D. del Congo, en el que las personas trabajadoras han realizado una aportación económica para finalizar la construcción de un centro de día de atención integral (salud, nutrición, acompañamiento psico-social y ergoterapia) a las personas mayores de Shabunda y alrededores.

Asimismo, todos los años se llevan a cabo otras actividades solidarias como campañas de extracción de sangre, recogida de juguetes y entrega a colectivos desfavorecidos de mantas y ropa.

Todas estas acciones se llevan a cabo de manera conjunta por Visesa y Alokabide.



2.4.4.3 G (Governance)

En el ámbito del Gobierno Corporativo de Visesa, contamos con:

Marco Estratégico 2021-2024

Que marca las líneas de trabajo de Visesa derivadas del Pacto Social de la Vivienda 2022-2036 y el Plan Director de Vivienda 2021-2023, que se materializa en la definición del plan estratégico 2021-2024 y los planes de gestión anuales.

Modelo de Gestión Avanzada del Gobierno Vasco y Sistema de Gestión de la Calidad

Según Norma ISO 9001, orientados hacia los conceptos fundamentales de la excelencia entre los que destaca el de crear un futuro sostenible, alcanzar el éxito mediante el talento de las personas y mantener en el tiempo resultados sobresalientes a través de la innovación y aprendizaje continuado.

Modelo de Gobierno Responsable

Que evidencia el cumplimiento de los requisitos de la “Guía de Gobierno Responsable para los Entes, Sociedades y Fundaciones del Sector Público de la Comunidad Autónoma de Euskadi”, y cuyo seguimiento realiza la Oficina de Control Económico del Gobierno Vasco.

Modelo de Gestión de Riesgos y Control Interno

Para abordar los principales riesgos identificados y aspectos relacionados con la estrategia y planificación, el gobierno de la organización, las operaciones e infraestructuras, el cumplimiento de plazos, el reporte de información para la toma de decisiones, etc., según lo descrito en el “Manual para la Implantación y Desarrollo de la Función de Control Interno en los Entes, Sociedades y Fundaciones del Sector Público de la Comunidad Autónoma de Euskadi”, y cuyo seguimiento realiza la Oficina de Control Económico del Gobierno Vasco.

2.4.4.3 G (Governance)

En el ámbito del Gobierno Corporativo de Visesa, contamos con:

Sistema de gobierno corporativo

Para lograr una mayor transparencia y control en las funciones de los diferentes órganos de gobierno corporativo. Este modelo incluye las bases generales del sistema de gobierno corporativo, el reglamento del Consejo, el Estatuto de los/as Consejeros/as, el Código Ético de los/as Consejeros/as, y sus anexos.

Portal de Transparencia

Con base en la Ley 19/2013, de 9 de diciembre, de transparencia, acceso a la información pública y buen gobierno. (www.visesa.euskadi.eus).

Modelo de Prevención de Delitos

En respuesta al mandato del Consejo de Administración de marzo de 2016 en el que se “instaba a la Dirección General a llevar a cabo las actuaciones necesarias en orden a la elaboración, en el menor plazo posible, de los programas de prevención y control idóneos exigidos por la legislación penal vigente”, se ha elaborado un Modelo de Prevención de Delitos, así como un diagnóstico y un plan de acción.

Modelo de Gestión del Reglamento Europeo de Protección de Datos

(Ley 3/2018), que establecen una serie de medidas, normas de actuación, formularios, cláusulas y procedimientos para proteger y garantizar los derechos fundamentales de la ciudadanía.

Sistema de Gestión Documental Física y Digital

Para asegurar una información organizada y eficiente, que favorezca la productividad de Visesa.

Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Laboral

Con base en la Norma ISO 45001 (no certificado), para la mejora del desempeño en materia de prevención de riesgos laborales.

2.4.4.3 G (Governance)

En el ámbito del Gobierno Corporativo de Visesa, contamos con:

Plan de Igualdad de Visesa 2022-2025

Inscrito, como regula la normativa, en el Registro y Depósito de convenios, Acuerdos colectivos y Planes de Igualdad del Ministerio de Trabajo y Economía Social.

Grupos de interés

En Visesa hemos identificado nuestros grupos de interés; conocer y analizar sus necesidades y expectativas nos hace mejorar en el diseño de nuestras viviendas y en la prestación de nuestros servicios.

Los grupos de interés de Visesa se agrupan en 2 grupos, siendo prioritarios: Clientela promoción, Gobierno Vasco, Accionistas/ Consejo de Administración, Entidades proveedoras de suelo, Personas y Empresas proveedoras de obra, servicio y suministros.



2.4.4.4 MISIÓN, VISIÓN Y VALORES





Nuestra misión

La promoción de vivienda de protección pública en régimen de alquiler protegido y acciones de rehabilitación y renovación para satisfacer las necesidades descritas en el Plan Director de Vivienda 2021-2023, de forma coordinada con el Departamento de Vivienda y Agenda Urbana del Gobierno Vasco y otros agentes públicos o privados, actuando con criterios de habitabilidad y sostenibilidad.

Nuestra visión

Ser agente fundamental en la CAPV para el desarrollo de la política pública de vivienda, por medio de la promoción de obra nueva, la rehabilitación y la renovación urbana, contribuyendo al cumplimiento del Plan Director de Vivienda 2021-2023 y del Pacto Social de la Vivienda 2022-2036, disponiendo de una cartera de servicios adecuada a las necesidades de los diferentes colectivos a los que presta servicio público, actuando con criterios de habitabilidad y sostenibilidad.

Nuestros valores



Personas

- Las personas como referente estratégico
- Cultura del alquiler y nuevas formas de vida de la sociedad vasca
- Diversidad y tolerancia
- Cohesión social
- Lucha contra la pobreza energética
- Financiación suficiente
- Fiscalidad progresiva
- Concienciación medioambiental



Parque edificado

- Cultura de la rehabilitación integral
- Calidad, innovación y sostenibilidad (eficiencia energética, economía circular y huella de carbono)
- Accesibilidad universal y habitabilidad (interna y externa)
- Industrialización y digitalización sectorial
- Calidad del empleo y cualificación profesional



Gobernanza

- La inversión en vivienda protegida como una infraestructura estratégica de País
- Servicio público y liderazgo
- Accesibilidad universal y habitabilidad (interna y externa)
- Simplificación y agilidad administrativa
- Transparencia, participación y evaluación continua
- Colaboración público-privada
- Perspectiva de género

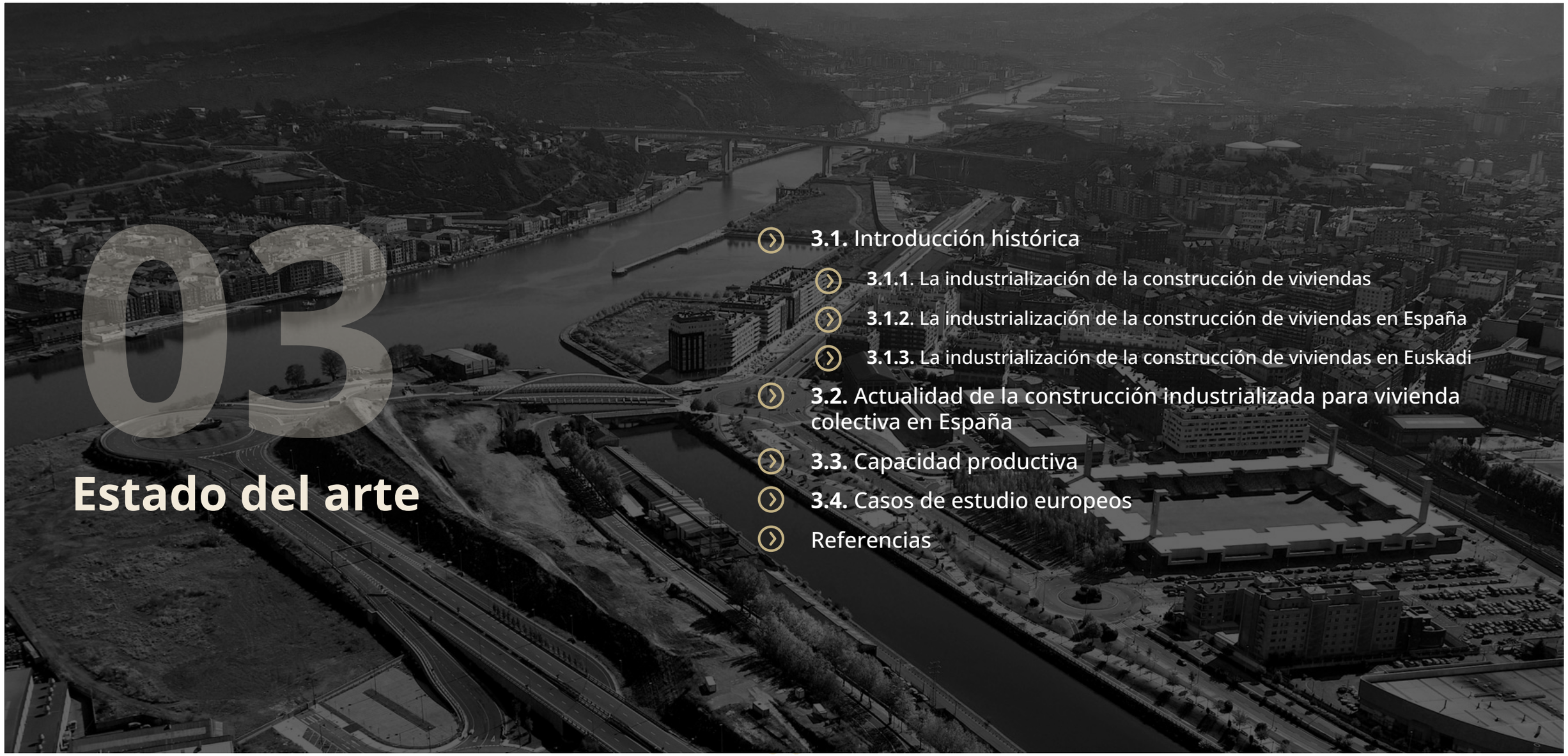


Equipo de industrialización

Para ello, Visesa cuenta con un equipo de personas cuyo comportamiento observable se rige por la empatía, la colaboración, la implicación, el rigor, la capacidad de adaptación y que tiene a las personas como referente en su día a día.

REFERENCIAS

- Naciones Unidas. (2015). Agenda de Desarrollo Sostenible.
- Comisión Europea. (2019). El Pacto Verde Europeo “Green Deal”.
- Comisión Europea. (2021). La Nueva Bauhaus Europea.
- United Nations Environment Programme, 2022, GLOBAL STATUS REPORT FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION.
- Green Building Council España, 2022. Hoja de Ruta para la descarbonización del sector de la edificación.
- Confederación Nacional de la Construcción, CNC, 2022, el I Informe sobre el Estado de la Mano de Obra de la Confederación Nacional de la Construcción.
- Alonso, A. (2022). La ausencia de las mujeres en el sector de la construcción en los trabajos a pie de obra. Emakunde.
- Pacto Social por la Vivienda 2022-2036 (PSV), 2023, Departamento de Planificación Territorial, Vivienda y Transportes del Gobierno Vasco.
- Plan Director de Vivienda 2021-2023 , 2021, Departamento de Planificación Territorial, Vivienda y Transportes del Gobierno Vasco.
- Alokabizi, 2024, Departamento de Planificación Territorial, Vivienda y Transportes del Gobierno Vasco.
- De Viar Fraile, I., et al. (2012). Ideafabrik, Visesa y Departamento de Arquitectura, Universidad del País Vasco.
- Arellano, A., et al. (2024) El mercado laboral en el sector de la construcción. BBVA.



03 Estado del arte

- **3.1.** Introducción histórica
  - **3.1.1.** La industrialización de la construcción de viviendas
  - **3.1.2.** La industrialización de la construcción de viviendas en España
  - **3.1.3.** La industrialización de la construcción de viviendas en Euskadi
- **3.2.** Actualidad de la construcción industrializada para vivienda colectiva en España
- **3.3.** Capacidad productiva
- **3.4.** Casos de estudio europeos
- Referencias

3.1 Introducción histórica de la industrialización

3.1.1 La industrialización de la construcción de viviendas

Desde las primeras experiencias de construcción industrializada de viviendas a principios del siglo XIX hasta la actualidad, las técnicas de fabricación de elementos constructivos han evolucionado para atender las necesidades de vivienda de manera rápida, masiva y, en la medida de lo posible, a bajo coste. Estas **técnicas han sido influenciadas por diversos contextos socioeconómicos** en diferentes países del mundo, dando lugar a una variedad de soluciones tecnológicas y propuestas arquitectónicas. Inicialmente, el desarrollo tecnológico se centró en industrializar la construcción de residencias unifamiliares, pero tras la Segunda Guerra Mundial y debido a la urgente necesidad de reconstruir las ciudades europeas devastadas, fueron desarrollándose soluciones aplicables en edificios residenciales colectivos.

A lo largo de la historia, las actividades humanas han ido generando situaciones que requerían el desarrollo de nuevas soluciones para satisfacer la necesidad y el derecho a disponer de un espacio seguro y que reunieran unas adecuadas condiciones de habitabilidad. Los procesos de colonización, los movimientos militares, las consecuencias de las guerras o los desastres naturales han provocado la necesidad urgente de construir viviendas de forma sencilla y rápida. Con objeto de solventar las necesidades generadas por estas circunstancias, pueden encontrarse referencias de casos singulares de construcción prefabricada previos al periodo en el que históricamente se admite que surgió el concepto de industrialización a finales del siglo XVIII. Realmente, sería adecuado hablar de **sistemas constructivos industrializados** como tal a partir del momento, comúnmente conocido como revolución industrial, en el que se desarrollaron una serie de innovaciones y trasformaciones tecnológicas que permitían una **fabricación en serie de elementos constructivos en localizaciones diferentes a la ubicación final del edificio**.



IMAGEN 3.1. 65 VPO Hondarribia, Gipuzkoa. Archivo de Visesa

En la época de la colonización de **América del Norte** y debido a la creciente demanda de viviendas, haciendo uso de los avances experimentados gracias al **desarrollo industrial en la maquinaria para el serrado de la madera y la producción de elementos metálicos**, los inmigrantes europeos implementaron nuevas técnicas constructivas en la edificación de casas de madera, logrando **simplificar los trabajos y reducir notablemente los plazos de ejecución de los nuevos edificios**. Mediante el aligeramiento de las piezas de madera utilizadas y el diseño de **entramados estructuralmente estables** se sustituyeron las pesadas vigas y pilares con sus complejas uniones de carpintería que requerían la participación de personal cualificado, para en su lugar emplear simples clavos para unir los ligeros elementos de madera. Este sistema resultaba de gran utilidad ya que utilizaba materiales propios del lugar, era rápido, económico, ligero y el montaje en su ubicación final se podía realizar con mano de obra no cualificada. A mediados del siglo XIX el sistema representaba más de la mitad del total de la edificación en Norteamérica. Se les atribuye a **Agustine Taylor** y a **George Washington Snow**, alrededor del año **1832**, la invención del sistema constructivo denominado ***Balloon Frame***. Este sistema estaba basado en listones unidos mediante clavos para formar bastidores de madera premontados industrialmente en fábrica, lo que permitió un gran avance de la producción en serie y permitió la construcción de viviendas de hasta tres plantas. Entre **1911** y **1917 Frank Lloyd Wright** utilizando el sistema *Balloon Frame* desarrolló un programa para la construcción de residencias denominado el caso *The American System-Built Houses* que permitía, requiriéndose reducidos tiempos y costes de construcción, diseños flexibles de vivienda personalizados.

Este sistema resultaba de gran utilidad ya que utilizaba materiales propios del lugar, era rápido, económico, ligero y el montaje en su ubicación final se podía realizar con mano de obra no cualificadat

En **1837** el carpintero y constructor londinense **Herbert Manning** diseñó una cabaña cómoda y de fácil construcción para su hijo que había emigrado a Australia. Se trataba de un sistema con elementos de madera prefabricados íntegramente en Londres y constituido por postes ranurados, paneles que encajaban en estas ranuras y cerchas triangulares que formaban la cubierta inclinada. La cabaña fue diseñada para que **los elementos necesarios fueran fáciles de enviar y trasladar**, puesto que, dada la falta de infraestructuras de transporte en las nuevas colonias, este punto era particularmente importante. Todo el edificio podía ensamblarse con una llave inglesa estándar, sin juntas, cortes o incluso sin la necesidad de clavos, lo que permitía su montaje por las personas migrantes no especializadas en técnicas de construcción.

Aunque en **Europa** a mediados del siglo XIX se desarrollaron varios proyectos singulares para usos no residenciales, con estructuras metálicas de grandes dimensiones premontadas en fábrica, no puede considerarse que la industrialización y la producción en serie se extendiera en la construcción de viviendas hasta que en **1914 Le Corbusier** patentó un sistema estructural **de losas y pilares de hormigón armado**. Este sistema posibilitaba la conexión de piezas regulares prefabricadas que permitían la construcción de estructuras para edificios residenciales con gran adaptabilidad y posibilidades de ampliación. Otro destacado arquitecto interesado por la construcción en serie de viviendas fue **Walter Gropius.** Su contribución más importante a la vivienda prefabricada se desarrolló, a partir de **1940,** en el trabajo conjunto con el arquitecto también alemán **Konrad Wachsmann** en las llamadas ***Packaged Houses***. Empleando paneles de madera para la construcción de techos, suelo y cubierta diseñaron diferentes tipos de viviendas **empleando elementos estandarizados fáciles de unir** mediante placas metálicas que permitían, en caso necesario, el crecimiento de la vivienda. La propuesta de Gropius y Wachsmann para construir viviendas industrializadas no tuvo el éxito deseado, pero sí permitió ensayar la fabricación industrial de elementos constructivos, mejorar el diseño de los componentes y establecer **modulaciones** que facilitaran la sencillez y rapidez del montaje de los elementos en su ubicación final. **Jean Prouvé** ingeniero y constructor francés mostró también un gran interés en desarrollar la construcción industrial. Prouvé conocedor de la técnica metalúrgica experimentó y desarrolló prototipos para la prefabricación industrial de casas. En **1949**, por encargo del Ministerio de la Reconstrucción francés, desarrolló varios modelos basados en una **plataforma conformada por un entramado metálico sobre el que se apoyaban bastidores compuestos de perfiles conformados de chapa de acero**. El cerramiento, más liviano, estaba resuelto mediante el uso de paneles industriales de madera o aluminio de manera que los espacios entre los perfiles se rellenaban con materiales que proporcionaban el aislamiento térmico.



IMAGEN 3.2. La maison des sinistrés de Jean Prouvé. CC Jean-Pierre Dalbéra

Una vez finalizada la segunda guerra mundial, surgieron en los **Estados Unidos** en **1945**, las ***Case Study Houses*** como resultado de una iniciativa liderada por **Jhon Entenza** editor de la revista Arts & Architecture, que promovió la presentación de **propuestas para la construcción de residencias de bajo presupuesto** con elementos industrializados.

Aunque finalmente la iniciativa no alcanzó el objetivo de construir casas en serie, sí permitió la presentación de avances tecnológicos vinculados a la producción industrial. Muchas de las propuestas empleaban estructuras metálicas aligeradas con cerramientos formados por paneles modulares y grandes superficies acristaladas. La iniciativa impulsó la aplicación de métodos y elementos industrializados utilizando como materiales constructivos fundamentalmente **el acero, el cristal o el aluminio.** También en Europa, tras la devastación sufrida por muchas ciudades consecuencia de la segunda guerra mundial, los sistemas constructivos prefabricados se desarrollaron favorecidos por la urgencia de las **necesidades de reconstrucción y las limitaciones económicas**. En **1945** se le encargó al arquitecto francés **Auguste Perret**, pionero en la utilización de elementos constructivos de hormigón prefabricado, el proyecto de rediseñar y reconstruir la ciudad francesa Le Havre. El resultado considerado como un gran éxito de la reconstrucción de posguerra, fue un diseño urbanístico unitario e íntegro en el que se utilizaron miles de elementos de **hormigón prefabricado**.

En el **Reino Unido** en **1942**, con la intención de abordar también las previsibles necesidades de vivienda que se generarían en la posguerra, **Winston Churchill** envió ingenieros británicos a los Estados Unidos en busca de soluciones para construir de manera rápida y económica. El resultado fue que favoreció el desarrollo de numerosas y variadas propuestas para la construcción de viviendas prefabricadas en un Programa de Vivienda Temporal que perseguía el objetivo de construir 500.000 casas temporales prefabricadas con estas "**nuevas tecnologías**". Se presentaron unos 1.400 diseños que, con variadas tecnologías, utilizaban como materiales constructivos la **madera, el acero, el aluminio y el hormigón**. A pesar de que el programa permitió la construcción de 150.000 casas, el Reino Unido todavía enfrentaba una aguda escasez de viviendas y las listas de espera se dispararon en las áreas urbanas. Para hacer frente a esta escasez y reducir el costo de las viviendas, se inició una nueva forma de construcción utilizando **hormigón armado prefabricado** que, a diferencia de los 10 años de vida previstos para las casas prefabricadas, pretendían ser permanentes y tenían una **vida útil** esperada de 60 años. De esta forma, entre los años 1945 y 1955, se completaron 1,5 millones de viviendas, aliviando parte de la demanda de viviendas. Por mencionar algunas de las nuevas tecnologías para la construcción de estas casas prefabricadas, por novedosa y avanzada, fue la conocida como casa ***Airoh***. La industria aeronáutica de Inglaterra se había expandido enormemente durante el periodo de guerra, y una vez finalizada, por razones estratégicas, no se consideró oportuno desmantelarla. También era necesario encontrar un uso para las toneladas de chatarra de aluminio recuperada de los aviones destruidos. La propuesta consistió en una casa que podría construirse en fábricas de aviones, se diseñó para ser fabricada en cuatro secciones individuales que incluían tuberías y cableados que luego se unirían para formar una sola casa.

En **España**, en el año **1949 Eduardo Torroja** convocó un **Concurso Internacional** para premiar al mejor proyecto de organización industrial para la producción de la maquinaria, los elementos y los materiales necesarios, y que estuviese encaminado a la industrialización de la construcción de viviendas en un número capaz de alojar 50.000 familias españolas anualmente. En el pliego se expresó de forma clara las razones que motivaron esta convocatoria:

> *Estamos ante un **problema económico-social de gran envergadura** como nunca ha tenido nuestro país. El **déficit de viviendas y su alto coste**, obligan a vivir en precariedad, y los **métodos tradicionales de construcción se muestran impotentes** para afrontar la situación. Es necesario, como se ha hecho en otros campos de la industria, **abandonar los clásicos y deficientes sistemas de trabajo, adoptando una nueva organización-producción en serie**, racionalización del trabajo con objeto de mejorar y abaratar la producción... **Puede ser necesaria una total reorganización de la economía nacional** que sea afectada por los nuevos procedimientos.*

Se recibieron 89 propuestas de 17 países diferentes como Alemania, España, Francia, Suiza, Italia, Bélgica o Japón y la iniciativa permitió valorar diversas técnicas constructivas existentes en aquel momento.

En la **URSS**, la industrialización de la construcción fue adoptada como una estrategia clave para abordar la escasez de viviendas y reconstruir el país después de la Segunda Guerra Mundial. Bajo el liderazgo de Nikita Jrushchov, **1955-1964**, la industrialización de la construcción recibió un impulso particular. La iniciativa conocida como "**Jrushchovka**" se centró en la creación de bloques de apartamentos prefabricados que eran económicos y podían ser construidos rápidamente. Estos edificios, aunque funcionalmente efectivos, fueron criticados por su diseño y falta de calidad estética, resultando en ambientes urbanos que a menudo eran vistos como impersonales y monótonos. No obstante, jugaron un papel crucial en la solución de la crisis habitacional de la época.



IMAGEN 3.3. Jrushchovkas. CC María Josefina Morales

En **Alemania** en **1965**, se puso en marcha el sistema constructivo ***Metastadt System***. Fue desarrollado por el arquitecto alemán **Richard Dietrich**, y en este caso estaba realizado mediante módulos prefabricados ligeros **formados por perfiles de acero atornillados**. Este sistema era más que una tecnología de prefabricación para viviendas unifamiliares, llegando a considerarse como una herramienta de configuración urbanística. Concretamente, se utilizó para el desarrollo de 103 viviendas sociales y espacios comerciales en la planta baja. Los edificios se formaban agrupando módulos alrededor de una estructura central rígida de acero en la que se acoplaban los cubos según las necesidades.



IMAGEN 3.4 .METASTADT de Richard R. Dietrich (Fuente Richard J. Dietrich_ METASTADT. Un sistema de construcción de ciudades, Munich 1974)

Con motivo de los juegos olímpicos de **Montreal 1967**, **Moshe Safdie** diseñó el proyecto para una nueva área residencial ***Habitat 67*** formado por 354 viviendas de hormigón prefabricado. La propuesta se fundamentaba en un complejo entramado irregular, sobre el que reposaban **módulos prefabricados de hormigón armado** que se unían y apilaban para conformar los edificios.

Especial atención merece el caso de los **países escandinavos** en los que en la actualidad prácticamente la mitad de las viviendas construidas utilizan tecnologías industrializadas. Existiendo ya una tradicional técnica finlandesa para construir viviendas utilizando pesados troncos madera, a partir de 1920 en estos países se inició la construcción de viviendas de madera con sistemas ligeros industrializados. En **1940** el arquitecto finlandés **Alvar Aalto** permaneció durante unos meses como profesor investigador en el Massachusets Institute of Technology, donde coincidió con **Walter Gropius**, para dirigir un proyecto de investigación dirigido a analizar las posibilidades de **estandarización en la arquitectura**. A pesar de la coincidencia temporal, que ambos utilizasen la madera como material, y el interés por la producción en serie, las dos propuestas para la industrialización de la vivienda unifamiliar se diferenciaban en muchos aspectos. Gropius que había patentado, el anteriormente citado Packaged House, buscaba la prefabricación de viviendas mediante la repetición de los mismos elementos que combinados entre sí pudieran utilizarse en cualquier proyecto. Sin embargo, Aalto a su vuelta de los EEUU, modificó su primera serie del sistema desarrollado a partir de 1937 para la compañía maderera A. Ahslström, orientando la nueva propuesta a una prefabricación flexible de paneles portantes completos que integraban puertas y ventanas, con un amplio abanico de soluciones finales que compartían elementos estandarizados pero que ofrecían la posibilidad de adaptarse a cada proyecto en particular. En **1969** el sistema de construcción de viviendas industrializadas ***Moduli 225***, diseñado por los arquitectos finlandeses **Kristian Gullichsen y Juhani Pallasmaa**, estaba también inspirado por las Packaged House de Wachsmann y Gropius, o los prototipos desarrollados por Alvar Aalto. En este sistema, concebido con criterios de **industrialización abierta**, la casa parte de un módulo para adoptar un número de configuraciones potencialmente infinito, según sean el tamaño o la forma requeridos. La estructura estaba formada por pórticos bidireccionales de vigas y pilares de madera ranurados de modo que podían ser ensamblados utilizando elementos metálicos. De la misma forma, estaba diseñado para insertar en estos pórticos los diferentes paneles verticales de forma que el sistema posibilitaba el crecimiento del edificio con una elevada **flexibilidad**. Esta solución **estructural ligera** permitía prescindir de las cimentaciones ejecutadas in situ y apoyar la estructura sobre dados de hormigón mediante unas patas de acero regulables que permitían ajustar desniveles del terreno de hasta un metro. Siguiendo con esta tradición en **2018**, IKEA invitó a dos estudiantes de arquitectura danesas **Johanne Holm-Jensen y Mia Behrens** a participar en un laboratorio orientado al desarrollo de **viviendas sostenibles** que pudieran adaptarse a cualquier cultura y situarse en cualquier parte del mundo. La vivienda debía ser sostenible y poder **fabricarse de manera local**, es decir, cerca de su punto de instalación. Con estos requerimientos propusieron y desarrollaron el sistema constructivo industrializado de viviendas de madera ***Boklok***. El sistema está basado en **elementos modulares conformados con entramados ligeros de madera**, que cuentan con las instalaciones, equipamientos y acabados completamente industrializados.

En Europa, tras la devastación sufrida por muchas ciudades consecuencia de la segunda guerra mundial, los sistemas constructivos prefabricados se desarrollaron favorecidos por la urgencia de las ***necesidades de reconstrucción y las limitaciones económicas***



IMAGEN 3.5. Torre Nakagin. CC Kisho Kurokawa

Otro caso reseñable en el desarrollo de la industrialización de la construcción es el de **Japón**. Arquitectos como **Maekawa** en el año **1946,** tras la destrucción sufrida como consecuencia de la guerra mundial, desarrolló el sistema ***Premos***, estaba basado en la producción de **paneles portantes de madera** y del mismo tamaño que se atornillaban en obra tanto para los elementos verticales como los horizontales. Utilizando este sistema se construyeron aproximadamente 1.000 unidades, que se utilizaron principalmente como residencias para los mineros del carbón en el Japón rural. Otro importante arquitecto japonés sería **Kenzo Tange**, que propuso en **1967** para la **Torre Shizuoka Press** un edificio compuesto por un núcleo estructural de geometría cilíndrica. De esta torre, que albergaba las escaleras, ascensores e instalaciones, surgían a partir de cierta altura y en voladizo una serie de cápsulas. La estructura fue construida principalmente con acero y hormigón armado, y la torre cilíndrica central fue encofrada con placas de aluminio que se utilizaron como recubrimiento y acabado exterior. **Kisho Kurokawa** proyectó la **Torre Nakagin**, como una construcción con dos núcleos de instalaciones y circulaciones de hormigón. En **1972** el arquitecto japonés **Kisho Kurokawa** utilizando también 140 módulos prefabricados diseñó el ***Nakagin Capsule Tower***, el edificio estaba formado por dos torres, de once y trece plantas, de sección cuadrada y construidas con perfiles de acero laminado. A estas torres, en las que se ubicaron las escaleras y huecos de ascensores, se les unieron **unidades prefabricadas enchufables 3D de hormigón armado**. Cada uno de los módulos suponía una unidad habitable incluyendo aseo, cocina y cama. En **1975 Toyota Motor Corporation** creó una nueva división para trasladar todo el conocimiento de la industria de fabricación de automóviles a la construcción de viviendas industrializadas convirtiéndose de esta manera en una de las mayores empresas de construcción de vivienda en Japón Estas casas tenían en su mayoría **estructura modular de acero** y para la conformación de una vivienda unifamiliar requerían aproximadamente entre 10 a 15 módulos.

Situación actual

Actualmente concurren determinadas circunstancias que permiten impulsar la elevada diversidad de tecnologías que han sido previamente propuestas. La creciente preocupación por el desarrollo de sistemas compatibles con la **sostenibilidad y la generalización de la digitalización** en todos los ámbitos productivos, además de otros factores que afectan más concretamente al sector de la construcción como son, por ejemplo, **la seguridad de las personas trabajadoras o la disponibilidad de mano de obra cualificada** establecen un contexto en el que la industrialización de la mayor cantidad posible de operaciones adquiera un mayor interés.

3.1.2 La industrialización de la construcción de viviendas en España

A pesar del éxito de participantes en el **concurso internacional de industrialización de viviendas** auspiciado por **Eduardo Torroja** en **1949** para resolver el acuciante problema de la vivienda en España, éste no obtuvo finalmente las consecuencias deseadas. Torroja había pedido abandonar los sistemas constructivos tradicionales para adoptar una nueva organización y la racionalización en el trabajo, sustentada en la producción en serie y en la utilización de recursos materiales nacionales. Pero la situación española de 1940 a 1956 y las exiguas posibilidades de la industria de la construcción no hacían viable dicha pretensión. La realidad es que había que conseguir acero y cemento en el mercado negro e importar patentes de sistemas constructivos foráneos.

Sin embrago, hubo seguidores de aquel corpus teórico sostenido por investigadores como Torroja quienes trataron de impulsar la normalización y la tipificación de los elementos o partes constructivas, además de proponer la conveniencia de utilizar elementos estandarizados en la construcción, según la teoría de la producción en serie. Planteaban, de hecho, que la estandarización contribuiría al abaratamiento del costo de la vivienda gracias a la gran cantidad de elementos iguales, al fácil transporte y a su sencillo montaje.

Dicha corriente de pensamiento moderno encontró su oportunidad avanzada la década de los 50, con los planes y programas del **Instituto Nacional de la Vivienda (INV)** y de la **Obra Sindical del Hogar (OSH)**. En dichos planes preveía la construcción de entre 40.000 y 50.000 viviendas anualmente, circunstancia que se consideró como propicia para la industrialización de la construcción de viviendas. Esta estrategia prometía racionalizar el uso de materiales, reducir la generación de escombros, facilitar la familiarización del equipo con tareas repetitivas, incrementar la velocidad de construcción y, en última instancia, abaratar la vivienda sin restar calidad a la construcción. Para simplificar y sistematizar la redacción y tramitación de proyectos, se editaron normativas que favorecían la integración de viviendas en bloques, adoptando plantas tipo y normalizando los elementos constructivos. Las especificaciones técnicas incluían el uso de hormigón armado para estructuras de entre diez y quince pisos, de estructura de ladrillo para bloques de cuatro pisos, y cubiertas rígidas, cámaras de aire en los muros exteriores, fachadas de ladrillo visto y ascensores en los bloques más altos.

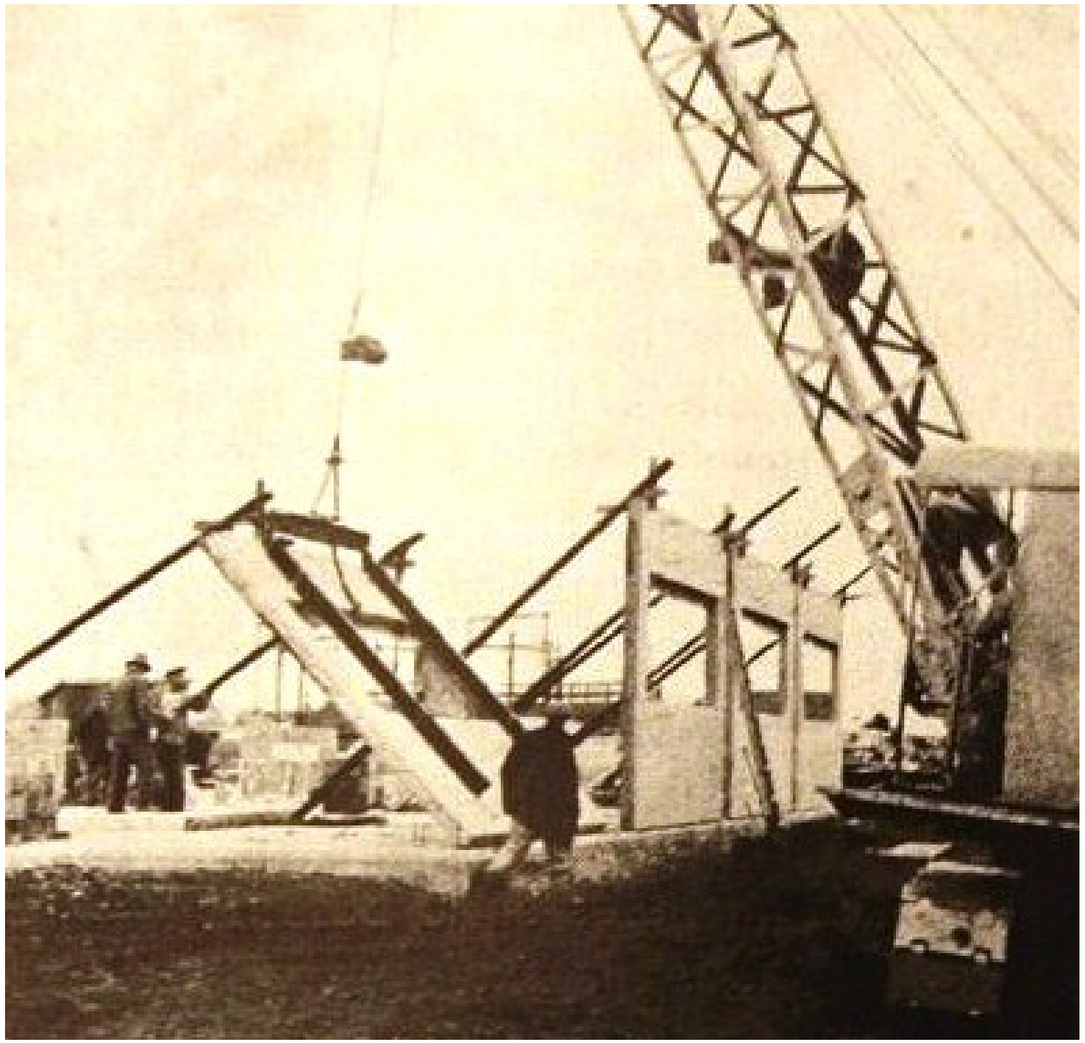


IMAGEN 3.6. Viviendas prefabricadas. Fuente_ Informes de la Construccion nº 1 Mayo 1948

No obstante, según expuso el profesor **Carlos Sambricio**, tras el Concurso de viviendas experimentales convocado por el INV en 1956 no hubo un apoyo explícito por parte de las autoridades ya que consideraron que el éxito dependía de que la normalización de los elementos no fuese excesiva, con objeto de evitar el efecto deprimente de las construcciones en serie.

Cualquier investigador/a que se acerque a consultar tanto la bibliografía como los proyectos realizados constatará que, en el caso de España, aún quedaba mucho camino en el proceso de industrializar la construcción de viviendas. Es más, una mayoría de arquitectos seguían pronunciándose contrarios a los sistemas de industrialización como solución al grave problema de la falta de viviendas. Las previsiones de las propias autoridades generaban toda una serie de debates y dudas sobre si la tecnología española estuvo en algún momento preparada para hacer frente a la falta de vivienda. De lo que sí eran conscientes era de la necesidad de investigar y experimentar los aspectos funcionales y sociales de la prefabricación y las ventajas ponderadas de la industrialización.

No pudo ser hasta el primer lustro de los años sesenta, a causa de la compleja transformación económica-social del país concretada en una expansión económica y una movilidad de población que generó fuertes déficits de viviendas, cuando se creó en la administración cierta conciencia de la necesidad de ir introduciendo los sistemas industrializados de construcción

José Antonio de Orí planteó en 1961 la siguiente pregunta en la revista Hogar y Arquitectura de la OSH: ¿se podría llegar a una tipificación o industrialización en serie de los elementos necesarios para la construcción con los que obtener una mayor economía en el coste de las viviendas? **Pedro García Ormaechea**, jefe del Sindicato Nacional de la Construcción dijo que sí, pero, en cambio, **Antonio Dos**, secretario general de la OSH, sostuvo que, a pesar de que la OSH había llevado a cabo la tipificación de algunos elementos, todavía faltaba mucho camino por recorrer. **Se iba hacia la industrialización, pero se hacía de forma paulatina**.

El historiador **Carlos Flores** sostuvo que el arquitecto debía de contribuir con su trabajo a ordenar y hacer posible el mundo de mañana. De facto, en un número de Hogar y Arquitectura había reunido las ideas y los trabajos de varios de estos arquitectos. Flores planteó cómo los sistemas de construcción tradicionales llevaban años demostrando su incapacidad para cubrir la demanda de viviendas, la multiplicación del tránsito rodado había puesto a las ciudades al borde de la parálisis y la congestión. Construcción, tráfico y reorganización de las ciudades eran los tres grandes problemas del momento. Flores dio a conocer que en 1964 se había publicado el libro ***Industrialised Building*** que reunía cincuenta métodos de industrialización y prefabricación aplicados a la construcción de edificios puestos en práctica en varios países. A través de él se llegaba a la evidencia de que **la prefabricación no era un ensayo y menos una utopía**. Con estos sistemas se quería llamar la atención del lector español de la importancia que tenía en el mundo el campo de la prefabricación. Desde Hogar y Arquitectura se hacía patente que en España esta preocupación llegaba con retraso. No pudo ser hasta el primer lustro de los años sesenta, a causa de la compleja transformación económica-social del país concretada en una expansión económica y una movilidad de población que generó fuertes déficits de viviendas, cuando se creó en la administración cierta conciencia de la necesidad de ir introduciendo los sistemas industrializados de construcción, con una gran tradición en Europa y ninguna en España.

El desarrollo industrial había significado un incremento sin precedentes en el nivel de bienestar, pero insuficiente para resolver el problema de la vivienda de la clase trabajadora. Al no haberse aplicado hasta entonces a la vivienda las técnicas de producción en masa, semejantes a las de otros sectores productivos, y al no haberse producido substanciales aumentos en la productividad sus precios habían evolucionado de modo inverso a otros bienes.



IMAGEN 3.7. UVA de Canillejas. OHS Hogar y Arquitectura 1963 nº46

A la hora de afrontar el problema de la vivienda, la acción pública había planteado desde medidas políticas, al construir directamente las viviendas, hasta la adopción de medidas de estímulo en pro de la racionalización e industrialización del sector de la vivienda con la esperanza de reducir el precio y poner en poco tiempo las viviendas en el mercado. La idea era proporcionar viviendas a los grupos sociales de más bajo nivel de ingreso. La industrialización en la construcción de viviendas no se presentaba como un cambio revolucionario sino como la evolución normal de toda actividad industrial. Ésta llevaría, según las autoridades, a un ahorro a la larga, al disminuir la mano de obra, ofrecer un nivel de calidad constante, con la rapidez de respuesta a la necesidad acuciante de vivienda y el bienestar de la población además de la facilidad para una programación a nivel nacional. La mecanización, normalización y prefabricación aparecieron con la finalidad de reducir precios en la construcción mediante el ahorro de la mano de obra, el acortamiento del ciclo técnico de producción y un óptimo aprovechamiento de los materiales.

Hubo, no obstante, una serie de obstáculos que impidieron avances en la construcción industrializada a pesar de que las condiciones para que funcionase fueran optimas: existía una gran penuria de viviendas por lo que se necesitaba construir mucho y a corto plazo; las expectativas para el sector de la construcción a largo plazo eran buenas, de expansión; una gran parte de las nuevas viviendas se podían construir en un número reducido de grandes conjuntos residenciales, lo que facilitaba uniformidad y repetición de elementos, que constituían las bases esenciales de la producción industrial en serie; además, por primera vez en la historia contemporánea del país se daba una fuerte expansión económica, lo que provocó que el desempleo en el ámbito rural se fuera a la ciudad en busca de empleo, cuando no a los países de la Europa occidental. En la parte negativa se encontraban las dificultades jurídico-administrativas, la ausencia de sistemas españoles, una escasa capitalización de las empresas del sector, una mano de obra abundante, barata y sin cualificar procedente de la migración, y un reducido precio de los materiales de construcción.

Hasta que no se produjeron las catástrofes naturales que dejaron a miles de personas sin vivienda no se dio un verdadero impulso a la industrialización. La primera oportunidad llego con las inundaciones de Sevilla, Granada, Barcelona...por lo que la OSH, encargada de solucionar el problema, dictó las primeras normas para conseguir un tipo de construcción con empleo del mayor porcentaje posible de componentes de origen industrial elaborados en factorías semipermanentes en obra y de un alto índice de recuperabilidad que permitiese su sucesivo empleo en otras situaciones de emergencia análogas. De esta manera, se construyeron 2000 albergues en el polígono sur de Sevilla (1961-1962) y1.806 albergues A.I.O. (Albergues-Instituto-Obra) en Barcelona (1962).

Por otra parte, dentro de la campaña de erradicación del chabolismo, el gobierno encargó a la OSH la construcción de las UVA (Unidades Vecinales de Absorción): 6.088 viviendas en Madrid (1963) y 2.884 UVA en Córdoba (1963). Se estableció un plazo corto para su terminación, lo que fue motivo para que la Dirección de Obra y los Técnicos encargados de los proyectos recurriesen a la industrialización de la construcción apelando a todos los sistemas de prefabricación existentes en el mercado. La ejecución de estas obras puso de manifiesto que la industrialización en España de sistemas constructivos de rápido montaje era reducido e incompleto. La industria de componentes industriales no fue capaz de suministrar las cantidades demandas por la campaña, lo que obligó, en el curso de la realización de las obras, a la introducción de cambios radicales en el sistema de construcción previsto con, incluso, la sustitución de componentes industriales por componentes tradicionales. En Madrid, por ejemplo, las dos UVAs de Fuencarral y Vallecas fueron realizadas con sistemas prefabricados desmontables y recuperables, siendo recuperables en menor grado en Canillejas y Villaverde; en Hortaleza y Pan Bendito, en cambio, se utilizaron materiales tradicionales.

Más adelante se construyeron los 1.140 albergues provisionales del Burgo de las Naciones en Santiago de Compostela (1964) para albergar a los peregrinos con motivo del año santo. Con la construcción de estos albergues también quedó en evidencia el gran atraso tecnológico de la industria de la construcción, fruto de la atomización y del bajo nivel de capitalización de las empresas constructoras. La falta de cumplimiento de los plazos de entrega fue el primer gran problema, otros problemas fueron la falta de homogeneidad en la calidad del producto y un deficiente control de ejecución.

Hubo tantas dificultades en las primeras promociones que, **tras llegar a representar el 58,26% de las viviendas terminadas por la OSH en 1963, los sistemas industrializados fueron abandonados durante un lustro** retornándose a los sistemas de construcción tradicionales. Las constructoras se apoyaban en una mano de obra sin cualificar que, si bien era de escasa productividad, percibía unos salarios muy bajos y en el empleo de unos materiales escasamente industrializados y con bajo precio. La construcción se efectuaba en obra y se desenvolvía sin una modulación, tipificación y racionalización de elementos constructivos y con cierta pobreza en la mecanización. Esta situación descrita impedía al sector poder actuar del modo inmediato y eficiente requerido para resolver los problemas de urgencia y con plazos breves y prefijados.



IMAGEN 3.8. Interior de la UVA de Vallecas. Archivo Asociación Vecinal La Unión UVA de Vallecas

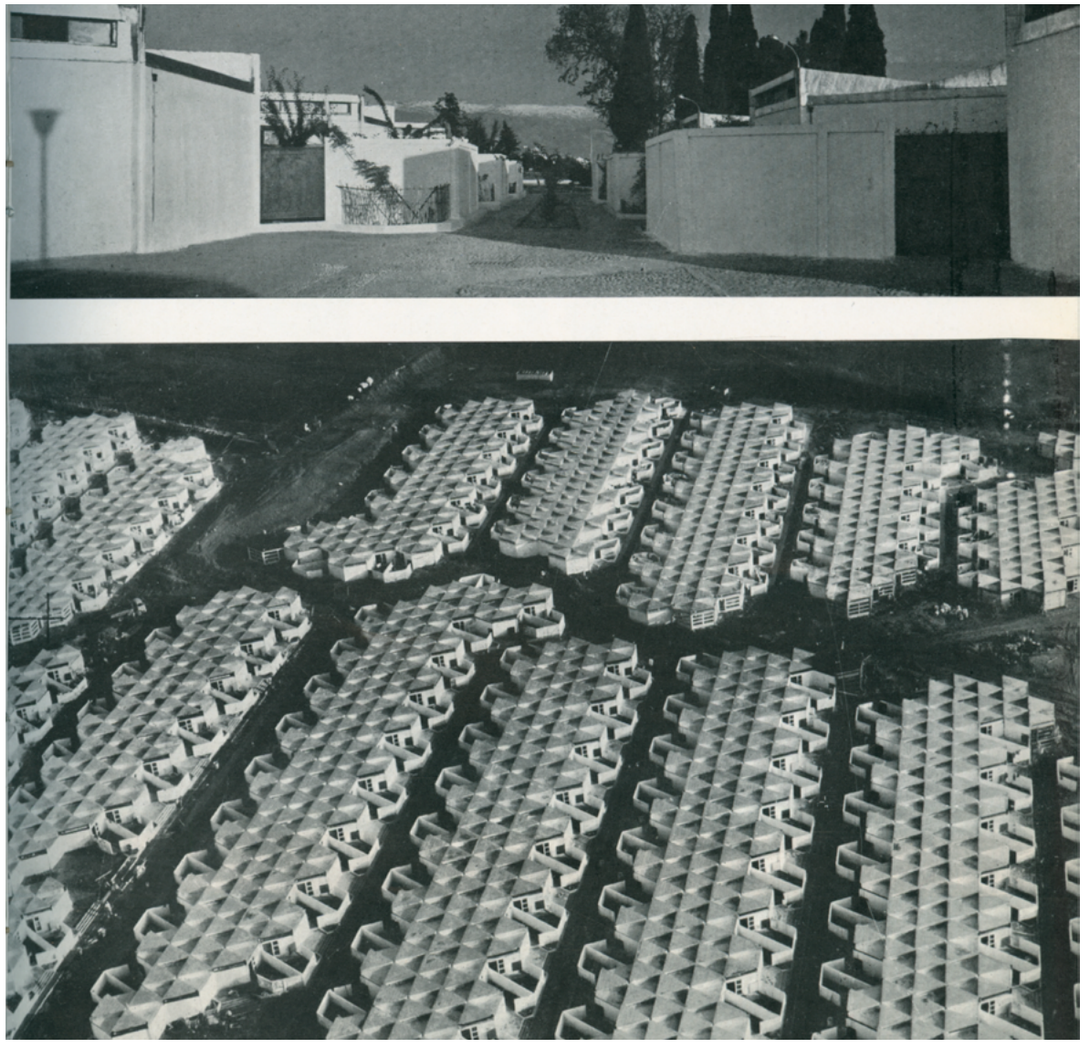


IMAGEN 3.9. Prefabricados tipo EXA viviendas en Granada. OSH. Fuente_ Hogar y Arquitectura 1965 nº 61

Durante el periodo 1964-1970, la OSH no inició prácticamente ninguna nueva construcción por sistema industrializado y, solo a partir de **1970**, cuando ya se había producido una **intensa transformación de la industria de la construcción**, se inició una nueva etapa en la aplicación de sistemas industrializados. Los seis años que mediaron entre la terminación del Burgo de las Naciones y el replanteamiento por la OSH en la utilización de sistemas de construcción prefabricada en sus promociones, fueron de expansión y transformación aceleradas en el sistema económico general y de modo particularmente acusado en el sector de la construcción. Durante este periodo es cuando aparecen en el mercado español los sistemas de prefabricación pesada a base de grandes paneles o sistemas de construcción racionalizada con el empleo de encofrados túnel o deslizantes que, por cierto, en Europa, con un mayor bagaje, ya habían sido desechados.

España poseía una exigua experiencia en vivienda industrializada en comparación con la realidad europea (en Francia, por ejemplo, superaban ampliamente el medio millón de unidades de viviendas en 1968). Las escasas actuaciones durante este periodo pasaron, principalmente, por la utilización de sistemas de origen extranjero, franceses en su mayoría: Nadeco con el sistema Costamagna francés, Viacambre con el sistema Viacambre, Cubiertas y Tejados, con el sistema Tracoba nº1, Colomina, con el sistema Barets, Vipresa con el sistema ruso Orlof, Los Álamos con el sistema Tracoba, Cidesa con el sistema danés Larsen Nielsen y el francés Estiot, Ciavisa con el sistema Hadhisa, Helma con el sistema francés Sectra, y Dragados y Construcciones con el sistema Camus.

Entre los sistemas de patente propiamente española, que respondían a la demanda del ingeniero Torroja, destacaron Prescoin, TRC, Vicoinsa, Giner y Conspania, para construcción industrializada pesada, y Elorza, Peeme, Coypresa, Burton, ACieroid, modulados Gamesa y Fortem, entre los sistemas de construcción ligera.

En cuanto a experiencias de prefabricación pesada destacan, por ejemplo, en factoría permanente, las 1.404 viviendas en La Cruz de Piedra en Las Palmas (1970), y las 744 viviendas en el Polígono Lobee en Logroño (1974). En cambio, en factoría semipermanente, hubo propuestas como las 916 viviendas con el sistema EXA en Granada, y 3.613 viviendas

con el sistema Tracoba en el polígono Badía (1971-1973) y 224 viviendas en Cornellá (1973). Este sistema Tracoba utilizado en Barcelona sobresalía con respecto al resto: se basaba en un conjunto estructural de paneles resistentes de hormigón armado en sentido vertical y horizontal unidos mediante un sistema de juntas hormigonadas. Todos los paneles y elementos que constituyeron la obra estructural del edificio eran prefabricados en instalaciones ad hoc. En los paneles prefabricados quedaban incorporados los conjuntos de saneamiento horizontal instalación eléctrica, carpintería metálica exterior y otros elementos que dada su naturaleza debían quedar ocultos.



IMAGEN 3.10 . 156 Viviendas Sociales en Zabalgana_Vitoria-Gasteiz 2017. Arquitectura: Pich-Aguilera, Constructora: Sukia, Industrial: Norten PH.
Fuente_ Archivo de Visesa

También hubo ejemplos de construcción con componentes ligeros de origen industrial, como las 100 viviendas en el Ferrol del Caudillo (1970), y experiencias tanto en encofrado túnel como en cerramientos: se edificaron 1.924 viviendas en Huerta de la Palma Málaga (1973-1975), 820 viviendas en el Polígono Norte de Sevilla (1971-1974), 824 viviendas en Orcasitas Madrid (1973-1974) y 3.000 viviendas en el polígono Sur de Sevilla (1974).

Al cabo de estas experiencias, a pesar de haber habido fallos en el empleo de la tecnología y de su uso equivocado, desde la OSH consideraron que **los resultados fueron positivos**. Se debía de pensar en el futuro de la prefabricación, con la introducción de innovaciones y sistemas propios. De hecho, la técnica española podía servir para crear unos buenos sistemas nacionales y organizar un equipo compuesto por especialistas que fuese como una maquina industrial y efectiva. Para avanzar en esta línea era necesario, previamente, concienciar a la industria española para que introdujese modificaciones en su forma de actuar, acorde con las nuevas posibilidades industriales.

Sin embargo, a partir de los años 80 el interés por soluciones industrializadas para la construcción de vivienda colectiva en España se reduce notoriamente. La disponibilidad de una numerosa de mano de obra barata y con oficio, junto con posibles desafíos técnicos y logísticos inherentes al modelo de negocio y un insuficiente tejido industrial sobre el que apoyarse, limitaron la capacidad de la construcción industrializada para mantenerse como una alternativa plausible a la construcción tradicional. Habrá que esperar hasta la primera década del **siglo XXI** para encontrar algún ejemplo relevante de vivienda colectiva en altura construida mediante métodos industrializados, como las 156 viviendas sociales de Zabalgana, Vitoria-Gasteiz, proyectadas por el estudio de arquitectura de **Felipe Pich-Aguilera** y **Teresa Batlle** para **Visesa** (2009).

3.1.3 La industrialización de la construcción de viviendas en Euskadi

Si ponemos el foco en la aplicación de sistemas industrializados para la construcción de vivienda colectiva en el País Vasco observamos que, hasta fechas muy recientes, las referencias existentes se circunscriben a Bilbao y su entorno metropolitano, cuyos primeros pasos se retrotraen a mediados del siglo XX. Durante esa época de la dictadura franquista, Bilbao tenía problemas de tan difícil solución como el de la vivienda: las cifras dadas por la administración estaban en torno a los más de 40.000 chabolistas y más de 125.000 personas viviendo en subarriendo en la villa.

Para abordar dicho problema social, unos pocos profesionales trabajaron para desarrollar a unas propuestas científica y tecnológicamente avanzadas. El caso más significativo fue el de **José Luis Calvo Casas**, aparejador de formación, quien a su faceta de técnico unía la de promotor e inventor de sistemas de construcción industrializada. En 1957, comenzó su interés por aquellos sistemas que abarataran la construcción e hicieran asequibles las viviendas a quienes mayores problemas tenían para adquirirlas. Ante la inexistente experiencia española en torno a estos sistemas, marchó a Francia a seguir de cerca la evolución de los sistemas de prefabricación, tal y como le había aconsejado el arquitecto madrileño Del Corro. De entre los muchos sistemas experimentados y contrastados, consideró como más adecuado para la zona norte el sistema de prefabricación pesada Fiorio, de origen francés. En un corto periodo de tiempo, fundó la empresa *Previcasa* (Prefabricados de Vizcaya S.A.) iniciando una serie de actuaciones tanto en Bilbao y en otros núcleos urbanos de Bizkaia, como en otras poblaciones de las provincias limítrofes.

Algunos de los grupos de viviendas construidos con este sistema iban desde bloques de cuatro plantas hasta torres de quince plantas de altura en los municipios que más déficits en viviendas soportaban y que servirían de laboratorios de experiencias constructivas como Bilbao, Amorebieta, San Salvador del Valle, Vitoria o Laredo, así como el colegio de las Mercedarias en Loiu. Era un sistema que aparentemente no tenía límites constructivos.

En el caso de Bilbao, el sistema Fiorio importado por José Luís Calvo Casas fue utilizado experimentalmente por la empresa Fuentes S.A. en **Otxarkoaga**, dadas sus considerables posibilidades para posteriores actuaciones en otros polígonos de viviendas previstos para el Gran Bilbao:

> *“En Otxarkoaga en uno de los edificios de cinco plantas utilizamos el sistema Fiorio de prefabricación pesada, de patente francesa, al estar viajando por Francia y ver este sistema, me gustó y lo traje. Yo era un entusiasta de la prefabricación y de la industrialización.*

Con tal de solucionar el déficit en viviendas y de resolver el problema del chabolismo y el subarriendo cualquier propuesta era tenida en cuenta. Así lo planteaba **José Antonio Cirión**, el arquitecto que dirigió este proyecto:

> *“El edificio prefabricado no estaba en la contrata, fue algo experimental, la empresa tenía influencias en el Ministerio de la Vivienda, solo se hizo un edificio con la conformidad del arquitecto del Ministerio de la Vivienda y demás autoridades, haciendo este edificio serviría para otra propuesta o plan que se haría con rapidez, era de proceso innovador con patente francesa de prefabricación completa, cada planta, con ventaja en las uniones que estaban bien hechas, se unían las juntas y se pintaban, era como hacer un mecano de grandes bloques de hormigón visto.*

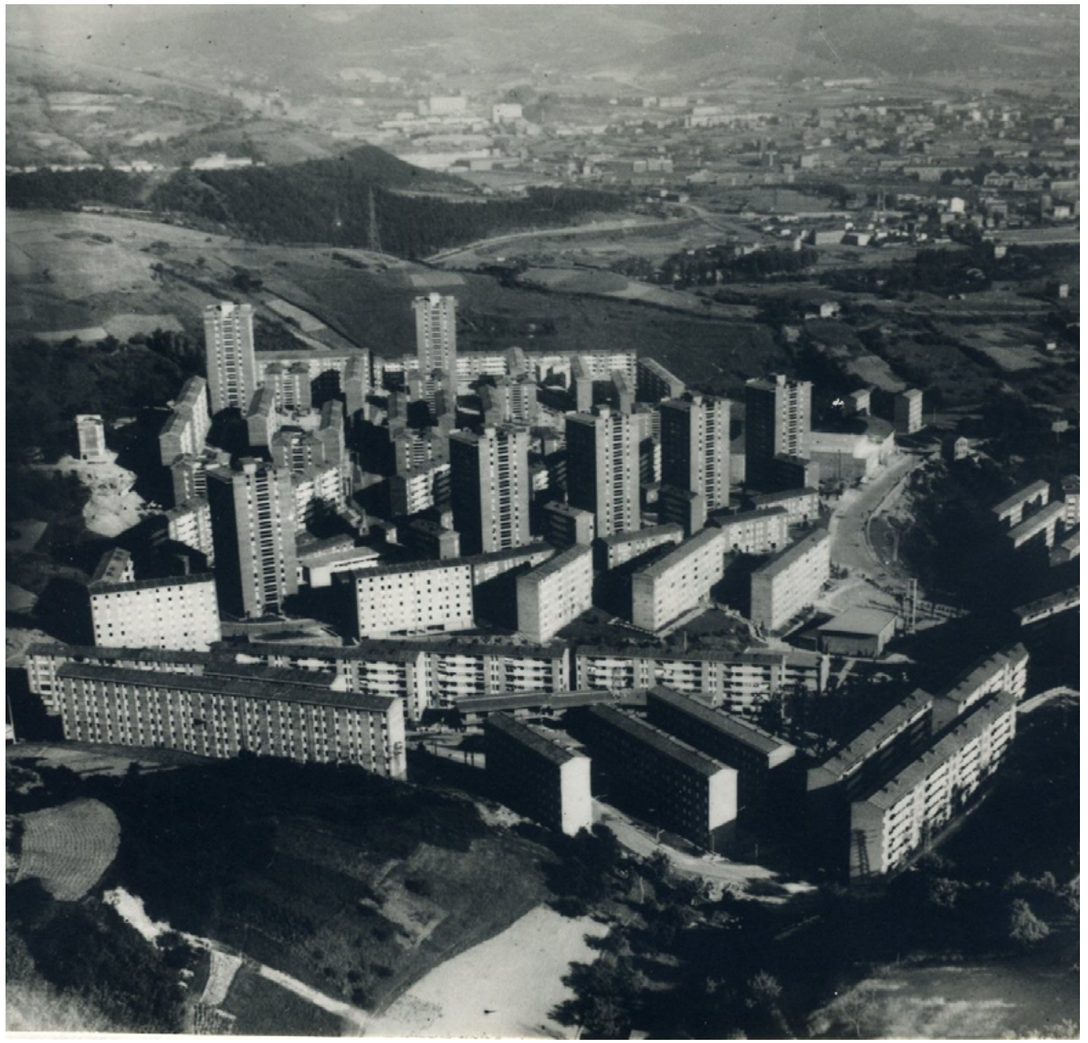


IMAGEN 3.11. Otxarkoaga en Gestion Municipal de Bilbao 1959-1964. Archivo Municipal de Bilbao.

El debate, tras construirse el barrio de Otxarkoaga, estuvo en saber si se replicaría este modelo en otros polígonos o, por el contrario, se actuaría en pequeñas promociones allí donde los solares lo permitiesen. Para los rectores del Ministerio de la Vivienda estaba muy claro: querían para Bilbao y la provincia otros polígonos. Se preparó un plan de polígonos, según anunciaron ante la prensa tanto el delegado provincial del Ministerio de la Vivienda, Ignacio Menchacatorre, como el Inspector Nacional de la Vivienda, Braulio Ibarreche. Este proyecto de Otxarkoaga fue todo un avance, según sustentaba uno de los arquitectos entrevistados, un adelantarse a lo que llegaría años después.

El empleo de estos sistemas de prefabricación pesada en la ejecución de los proyectos programados se realizaba en dos fases claramente diferenciadas: una, de composición, en una fábrica, con la construcción de las piezas prefabricadas que iban desde los muros, tabiques, forjados, escaleras... y otra, de ejecución, in situ. Este sistema posibilitaba que el edificio se conformase con elementos de grandes dimensiones que una vez realizados se transportaban a la obra en camiones o semirremolques y las piezas se colocaban con grúas por unos pocos operarios.

No obstante, aquel interés inicial chocaría con una serie de **obstáculos difíciles de soslayar**, ya que, reconocían los dirigentes del Ministerio de la Vivienda en sus informes anuales, la prefabricación exigía la elevación técnica del obrero y, por consiguiente, no se podía pensar en la prefabricación si no iba acompañada con una formación profesional acelerada y una especialización de la mano de obra. Lo cual no hacía sino contradecir la propia realidad constructiva bilbaína, al recoger a toda esa mano de obra proveniente de un ámbito rural sin experiencia alguna y que, como manifestaban las mismas autoridades, suponía, a la postre, un evidente retraso para el sector de la vivienda.

Las fábricas de construcción que se fundaron a principios y mediados de los años sesenta no fueron más allá de plantear la prefabricación de materiales, como el caso vizcaíno de Poly-Plac Iberia, Prefabricados Igla, Preycon, Instalaciones y Montajes Industriales, Prefabricados Luz, Hormigones y Prefabricados, Prefabricados de la Construcción o Aedium. En el territorio guipuzcoano hubo ejemplos como Vianpa S.L., Ormezan S.L. de prefabricados de hormigón,

Iturria empresa de prefabricados de hormigón, Beloki, J. de prefabricados de hormigón, Sanchez, J., Prefabricados Urkia S.A., Estructuras Garay con estructuras metálicas y montajes de edificios prefabricados y Prefabricación y Construcción de Hondarribia.

Es oportuno mencionar que durante estos años sesenta se produjo algún tipo de actuación experimental más en vivienda industrializada, en respuesta a los desastres de tipo natural. El caso del Burgo de Santurtzi (Bizkaia) con una propuesta de 200 viviendas con el sistema de origen inglés Uni-Seco, fue el más divulgado por los medios de comunicación junto a fotografías y planos del proyecto. En esta propuesta se basaron en la experiencia del Burgo de las Naciones de Santiago de Compostela y que, como tal, no supuso más que resolver una urgencia -para proporcionar vivienda a quienes tras un grave accidente perdieron sus viviendas y para acabar con la lacra del chabolismo- pero que no tuvo mayor repercusión ni más actuaciones de este tipo, ni tan siquiera una continuidad, por lo que quedó como en tantas otras ocasiones en una experiencia más.

En el caso del técnico y promotor bilbaíno José Luis Calvo Casas, como consecuencia de su continua labor de investigación, descubrió que las personas usuarias de las viviendas prefabricadas con las que experimentó no se mostraban predispuestos a habitar este tipo de viviendas. **Fallaba algo que excedía el campo de la construcción**, por lo que encargó a un grupo de psicólogos y sociólogos que llevaran a cabo un estudio al respecto. Las conclusiones fueron irrefutables:

> *Se daba un descontento en el arquitecto porque creía que esta forma industrializada mataba su creación, el obrero porque se sentía despersonalizado, embrutecido por el trabajo en cadena que realizaba sin ilusión, el propietario o inquilino de la vivienda, porque se le condenaba a no hacer jamás ninguna reforma.*

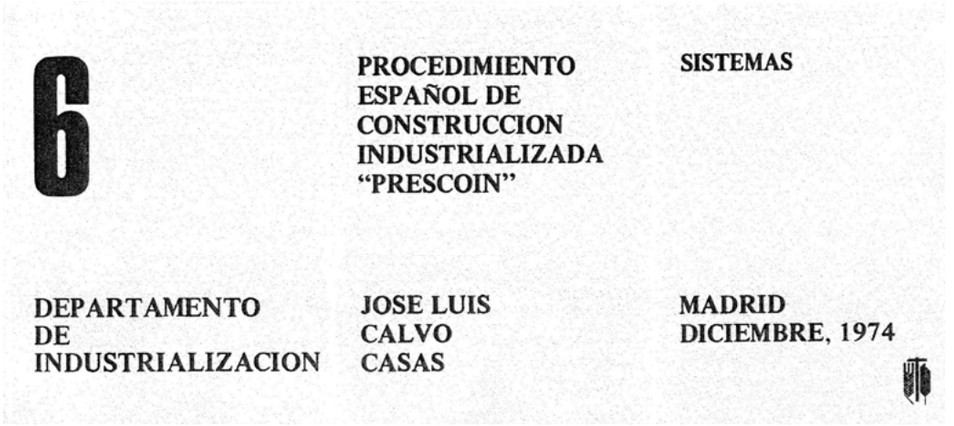


IMAGEN 3.12 Sistema Prescoin, Cuadernos Sindicato Nacional de la Construcción, Madrid, 1974.

Esta percepción negativa, unida a los problemas técnicos de composición, montaje, detalles y un planteamiento defectuoso, proporcionaban la explicación del porqué del fracaso de la propuesta. Ante esta situación, José Luis Calvo Casas decidió ahondar en la investigación para tratar de obtener un sistema que permitiera flexibilidad al arquitecto, creación al trabajador, confort y personalidad al propietario, derivando sus investigaciones hacia una industrialización de las casas de tipo tradicional. Un sistema de construcción industrializada de viviendas que abaratara costos, que se adaptase a la normativa tecnológica y que fuera de patente española.

Finalmente, Calvo Casas, inventó un sistema rápido, monolítico, con un gran aislamiento de ruidos, lo que le permitiría la posibilidad de utilizar el ladrillo visto en fachada, y le confería un aspecto similar a las construcciones de tipo tradicional que demandaba tanto la empresa promotora como el usuario bilbaíno: el **sistema *Prescoin***. Con este sistema, la persona usuaria podía ejercer ese sentido de la propiedad que los sistemas de prefabricación pesada le negaban, al poder mover tabiques, añadirlos y quitarlos. En 1973, tanto desde la revista *Arte y Cemento* como desde el diario El Correo Español/El Pueblo Vasco publicaron las primeras noticias sobre este sistema.

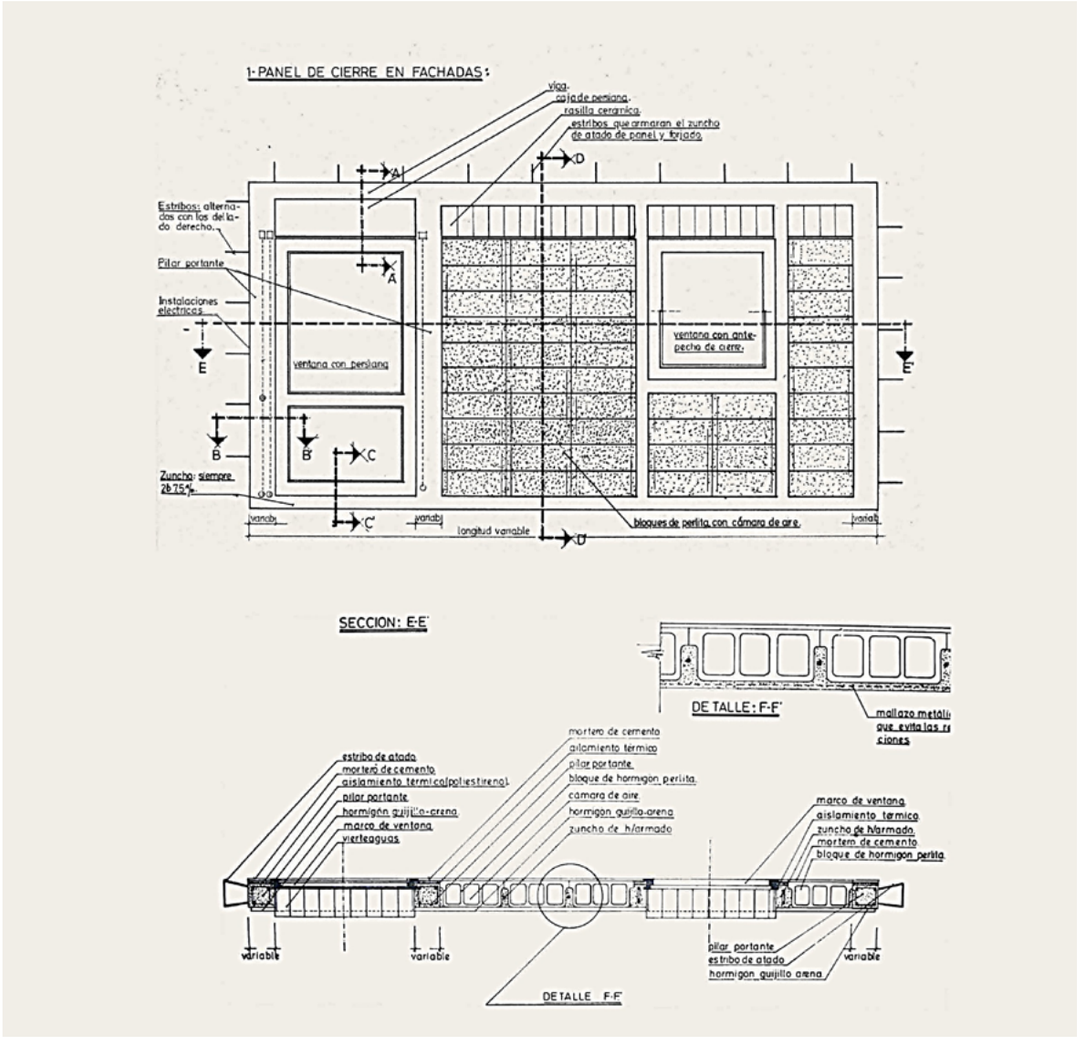


IMAGEN 3.13. Panel fachada sistema Prescoin. Cuadernos del Sindicato Nacional de la Construcción 1974.

Jose Luis Calvo trató de dar a conocer este sistema de prefabricación de viviendas que él había inventado y patentado. Ocho años había tardado en poner a punto este rápido proceso de construcción industrializada sirviéndose de sus propios recursos económicos. Calvo, dada la grave situación de la vivienda, culpabilizó a la falta de formación entre los profesionales de la construcción el que provocara considerables retrasos en la culminación de las obras encareciendo notablemente su coste final. Para resolver el problema él consideraba necesario construir de forma normalizada. ¿Por qué levantar un edificio ladrillo a ladrillo cuando se podía levantar pared a pared? era una de sus pragmáticas reflexiones. Se basó para ello inicialmente en trabajar las experiencias que habían tenido lugar en otros países. Calvo Casas sostenía que gracias a este innovador sistema todas las paredes del edificio, así como los tabiques divisorios, suelos, techos, con sus correspondientes conducciones de tuberías y cables se podía fabricar a pie de obra en una fábrica improvisada (así se eliminaban riesgos y se ahorraba el transporte) y después eran colocadas en el edificio por medio de una grúa y de un grupo reducido de operarios.

Uno de los detalles más destacables del nuevo sistema fue el de haber solventado el grave problema detectado en el sistema francés Fiorio, experimentado por Calvo Casas en varias actuaciones en vivienda: las juntas se recubrían con cerámica que, con el tiempo, terminaban por resquebrajarse, permitiendo la entrada de humedad e inutilizando la vivienda. Para ello, recubría las juntas entre paneles mediante una tela impermeabilizada, sistema también patentado por él, que se recubrían con mortero de cemento para evitar la humedad. Acabó resultando ser todo un éxito constructivo. Realizó numerosos ensayos en los laboratorios Torrontegui para comprobar la ductilidad y resistencia de los materiales. Los cimientos de las edificaciones se resolvían a través del sistema tradicional para, una vez elevada la primera planta, darle continuidad con el sistema de construcción industrializada.

En 1974, sería el Gabinete Técnico del Sindicato Nacional de la Construcción el que editaría un estudio completo de este sistema como apoyo y promoción de las nuevas técnicas de los sistemas de construcción industrializada de patente española. El fin no fue otro que tratar de difundir, fomentar e informar a los técnicos y constructores sobre las posibilidades de este sistema. Ya en el año 1975, el resto de los periódicos de Bilbao hacían referencia a este

sistema, las actuaciones llevadas a cabo, lo exitoso de sus resultados, y aparecían varias entrevistas con su inventor. El Correo Español/El Pueblo Vasco, a modo de propaganda, mostraba en sus páginas las soluciones a través de sistemas de prefabricados modulares. Ese mismo año, la prensa bilbaína publicó dos noticias que eran el reflejo de aquella nueva realidad. Por una parte, el diario Hierro (Además de La Gaceta del Norte y El Correo Español/ El Pueblo Vasco) expuso en uno de sus encabezamientos "Un bilbaino, José Luis Calvo Casas, inventor de casas prefabricadas", fue uno de los tres únicos procedimientos españoles de construcción industrializada que se impulsaron durante aquellos años.

Calvo Casas sostenía que gracias a este innovador sistema todas las paredes del edificio, así como los tabiques divisorios, suelos, techos, con sus correspondientes conducciones de tuberías y cables se podía fabricar a pie de obra en una fábrica improvisada

Desde las revistas profesionales se siguió con la misma línea desarrollada hasta entonces, publicando artículos que trataban de promocionar la industrialización de la construcción como propuesta para resolver el déficit residencial a través de los nuevos sistemas de prefabricación de patente española de viviendas de módulos hexagonales. Estas nuevas técnicas constructivas contaron también con el apoyo de editoriales bilbaínas como Urmo, donde se traducían y se daban a conocer obras de algunos de los más prestigiosos especialistas en la industrialización de la construcción a nivel mundial: los ingenieros Laszlo Mokk, Maurice Revel, Robert Von Haslasz, Günter Tantow, Stephan Timoschenko, Vitor Hajek o Michael Tomlinson, además de otros destacados científicos, que ayudarían en ese pretendido, y más que anhelado, cambio de mentalidad hacia la construcción industrializada.

Dos de las principales actuaciones de José Luis Calvo Casas con su sistema que merecían ser destacadas en el ámbito técnico como el investigador: las 95 viviendas de Ortuella, proyecto del arquitecto **Cesar Sans Gironella**, que tuvo una inicial favorable acogida tanto entre los técnicos como entre los investigadores; una segunda, en el polígono de Txurdinaga (Bilbao), con 170 viviendas, proyecto del arquitecto **Rufino Basáñez**. No fue fruto de la casualidad que fuera elegido para este proyecto Basáñez, ya que este arquitecto encarnaba al técnico que el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja llevaba demandando desde años atrás: con prolíficos estudios en torno a la vivienda, era de los pocos que sostenían la industrialización de la construcción como solución al déficit habitacional. De hecho, viajó a distintos países de Europa para estudiar y contrastar experiencias foráneas sobre construcción industrializada. Investigó sobre los nuevos materiales y sistemas constructivos, e intercambió proyectos e ideas con arquitectos de una dilatada trayectoria y amplia experiencia en este campo como **James Stirling**. Para Calvo y su ayudante, **Ramón Cifuentes**, resulto obvio que se decantaran por él. Ambos coincidían en describir a Rufino Basáñez como un arquitecto heterodoxo, que creó escuela, innovador y atrevido, un estudioso de los sistemas de construcción industrializada y el arquitecto más a tener en cuenta en el panorama vizcaíno.

Tampoco fue casual que el promotor José Luis Calvo Casas edificara en el polígono de Txurdinaga, no sólo porque estaba constituido por diferentes cooperativas -llevaban construidas unas 1.500 viviendas promovidas por once cooperativas-, sino porque al ser considerado el polígono modelo de cuantos había urbanizado el Ministerio de la Vivienda, era el mejor expositor existente para demostrar las virtudes del exitoso sistema *Prescoin*. Calvo adquirió varias parcelas para construir varios bloques, de cuatro, cinco y ocho plantas de altura, exponiendo sus múltiples posibilidades constructivas.

Sin embargo la situación del país era preocupante. La prensa publicó varios artículos realmente significativos sobre la herencia de los diferentes gobiernos de la dictadura franquista relativa al nivel de la investigación en tecnología en Bizkaia, y las dificultades de un efectivo progreso tecnológico en el sector. La información plasmada en los diarios bilbaínos no podía ser peor: La investigación en toda Bizkaia, según la prensa bilbaína, estaba a niveles africanos, no se invertía en investigación ni el 0,1% del Producto Interior Bruto.

Como excepción, únicamente se podría citar algún centro de investigación ligado a la docencia, como los Laboratorios Torrontegui (futuro Labein), adscritos a la Escuela de Ingenieros Industriales de Bilbao. Incluso desde la Universidad, las inversiones que se le dedicaron a la investigación eran ínfimas.



IMAGEN 3.14. Viviendas industrializadas en Ortuella. Prescoin 1974

Llegó a hacerse evidente que uno de los mayores inconvenientes existentes para la implantación de las soluciones industrializadas era la ausencia de patentes propias, ya que, según datos aparecidos en prensa, de las 10.868 registradas en 1975 a nivel estatal, 9.064 eran, de procedencia extranjera, europea en su mayoría. El resultado de la política desarrollista de los años sesenta y setenta, con sus inversiones de capital y técnica foránea, hizo que se perpetuase un sistema de dependencia económica. Se tuvo que importar prácticamente toda la tecnología. Para la prensa local, la España que dejó Franco, contradiciendo algunas de las portadas de esos mismos medios de años precedentes, en ningún momento detentó la condición de país desarrollado porque no contó con una tecnología propia que le hubiese proporcionado independencia económica. Durante los denominados años del desarrollismo, España fue un país sujeto a tecnología foránea y, en cuestiones científicas, un país atrasado.

En este contexto de subdesarrollo tecnológico, los efectos de la crisis económica a finales de los años setenta fueron devastadores en la construcción y ello conllevaría el fracaso de los sistemas constructivos industrializados. A partir de este momento, el siguiente intento significativo por lanzar al mercado una propuesta de industrialización de la construcción debió esperar a la primera década de los años 2000, con la frustrada propuesta de Habidite Technologies, del grupo empresarial Afer, concebida a base de módulos 3D de hormigón armado, cuyo prototipo se presentó en 2008 coincidiendo con el inicio de otra crisis inmobiliaria-financiera.

3.2 Actualidad de la construcción industrializada para vivienda colectiva en España

Los numerosos encuentros que, de una u otra manera, están ocupándose de la construcción industrializada en los años recientes ponen de manifiesto el interés que está suscitando en el sector esta nueva manera de construir. El congreso **Rebuild** está siendo epicentro de la divulgación del conocimiento y necesidades para la industrialización de la construcción; en su primera edición en el año 2018 el congreso ya identificaba la industrialización de la producción como una de las palancas de cambio del sector. En la misma línea, los distintos foros organizados por asociaciones y empresas, tales como el **clúster OCH**, el **grupo Noticias**, el **CUIMP** y la **Diputación de Barcelona, iCONS** ó **Inmat by Ciare**, también han supuesto un impulso importante al reconocimiento de las capacidades de la construcción industrializada, siendo particularmente numerosos los eventos celebrados entre los años 2023 y 2024.

Este impulso e interés tiene su reflejo en iniciativas tan ambiciosas como el centro nacional de industrialización y robótica aplicada a la construcción y la arquitectura**, (Building & Architecture Institute, BAI),** cuya **creación se anunció en 2021**, fruto de la colaboración entre el Gobierno de Navarra y el Gobierno de España. El centro aspira a ser un referente europeo en la materia y su actividad abordará líneas de actuación en investigación aplicada, formación y desarrollo proyectos piloto en el ámbito de la construcción industrializada.

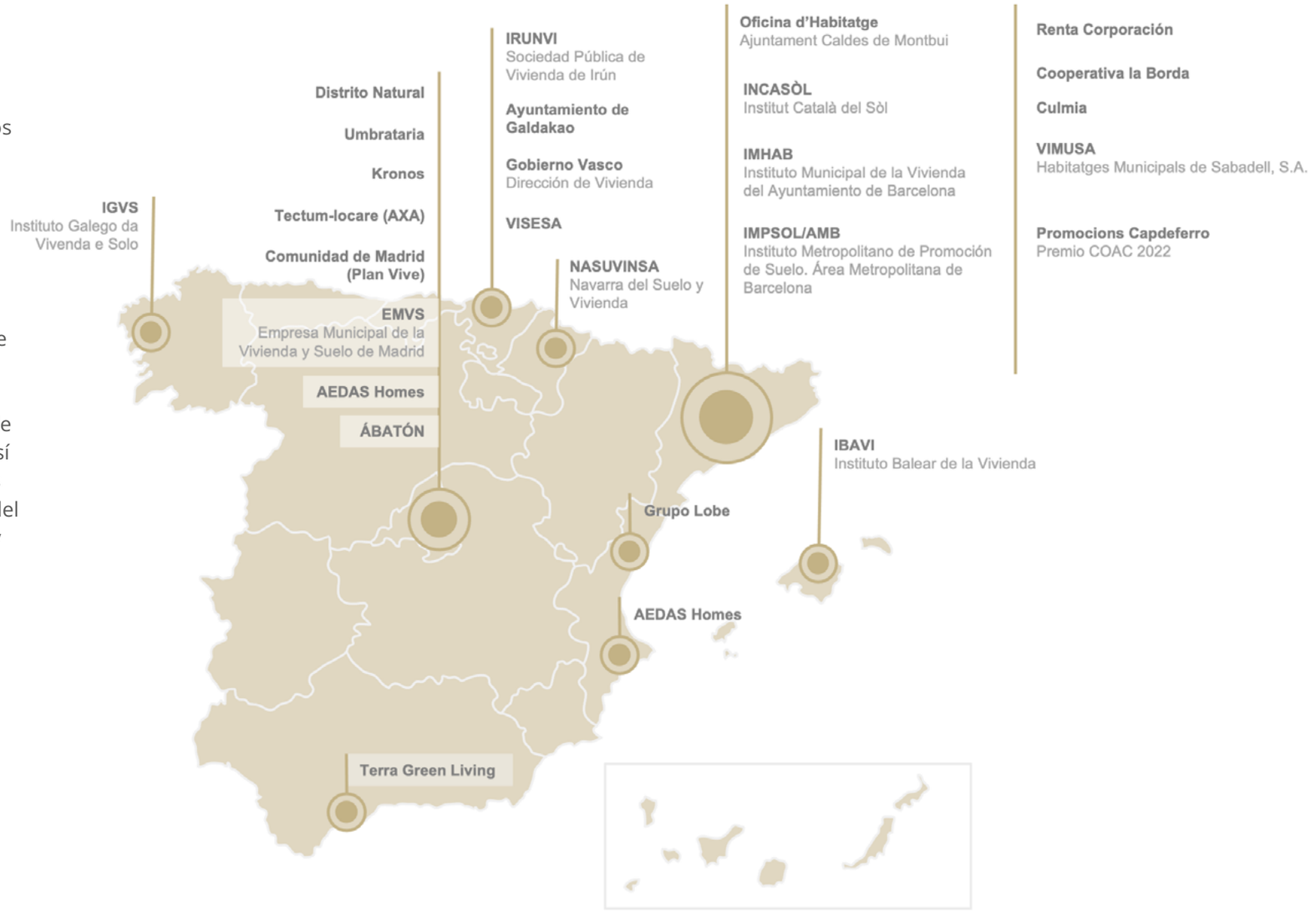


IMAGEN 3.15 42 VPO C_Marroc, Barcelona. Promotora IMHAB. Arquitectura EXE + Vivas. Constructora_ Aro+Cardoner. Industrial_ Compact Habit. Foto José Hevia

Ejemplos

Por la naturaleza de este libro es preciso reseñar casos concretos de aplicación efectiva de la construcción industrializada en vivienda colectiva en altura. Los ejemplos que siguen, sin pretender abarcar la totalidad de las actuaciones en marcha o ejecutadas, son una referencia para el sector y están sirviendo para retroalimentar el conocimiento entre los distintos agentes participantes.

Existen otras iniciativas como los **APROP** (Alojamiento de Proximidad Provisionales) para emergencia habitacional en Barcelona, que han resuelto su construcción a través de componentes industrializados (contenedores marítimos), si bien el carácter de provisionalidad y condiciones de habitabilidad de estas actuaciones tiene otro alcance del de las viviendas sociales. Por su parte, en el siguiente listado sí se hace mención a ejemplos de Alojamientos Dotacionales (ADAs), ya que sus estándares de habitabilidad y vida útil del proyecto se asimilan mejor a los de las viviendas sociales y constituyen ejemplos válidos.



Promotores públicos

IMHAB. Instituto Municipal de la Vivienda del Ayuntamiento de Barcelona.

Pionera en la incorporación de criterios de sostenibilidad en la valoración de sus licitaciones.

2023. C/Pallars 477,
42 VPO
CLT. PB+7

2024. C/ Marroc 180-182, 45 VPO
3D Mixto. PB+8

C/ Binefar 22,
24 VPOa
CLT. PB+3

C/Lola Iturbe 13,
40 VPO,
CLT. PB+8

C/F. Pessoa, 53-57,
56 VPO
CLT. PB+4

IMPSOL/AMB. Instituto Metropolitano de Promoción de Suelo.

Área Metropolitana de Barcelona. Cuenta con ejemplos referentes en el sector.

2021. "Pisa" Cornellà de Llobregat.
85 VPO
CLT. PB+5

Comunidad de Madrid (Plan Vive).

Con el mayor número de viviendas industrializadas en ejecución.

En ejecución. A través de un modelo concesional para alquiler asequible, Culmia se encarga de este lote con 1.763 viviendas en San Sebastián de los Reyes, Tres Cantos, Alcorcón, Alcalá de Henares y Getafe (Plan Vive I. Lote 3) y 1.137 viviendas en localidades como Boadilla del Monte, Pinto y Colmenar Viejo (Plan Vive II).

2024. Alcorcón,
134 VPO asequible
Hormigón 2D. PB+5

2024. Tres Cantos,
209 VPO asequible
Hormigón 2D. PB+4

INCASÒL. Institut Català del Sòl.

2009/2010. Ejecución del concurso de innovación tecnológica

Banyoles,
30 VPP
Hormigón 3D. PB+3

Torelló,
36 VPP
Acero 3D. PB+3

El Masnou,
36 VPP,
Hormigón 2D

Mollerussa/Mollet,
90 VPP,
Hormigón. Encofrado Túnel

Callús,
27 VPP,
Steel Frame. PB+3

St. Vicenç dels Horts,
42 VPP
Hormigón 1D

El Masnou *(en ejecución)*
36 VPP,
Steel Frame. PB+3

EMVS. Empresa Municipal de la Vivienda y Suelo de Madrid.

Ha llevado a cabo una labor de investigación relevante (Proyectos INVISO, Manubuild).

2020. Carabanchel,
25 VPO (Manubuild)
Mixto. PB+5

Barajas,
52 VPO asequible.
CLT PB+4

IBAVI. Instituto Balear de la Vivienda.

Premio AR Emerging 2023.

2023. Magaluf
48 VPPa
CLT. PB+2

2022. Palma
25 ADAs
CTL. PB+4

Ajuntament Caldes de Montbui (Oficina d'Habitatge).

Premio de ODS Ciudades y Comunidades Sostenibles Gipuzkoa.

2023. Habitatge Jove Caldes
8 apartamentos
CLT. PB+2

Habitatges Municipals de Sabadell, S.A. (VIMUSA).

Premio AVS 2023

2022. C/Zurbano,
21 VPO.
CLT. PB+5

2023.
41 VPO,
CLT PB+4

Promotores públicos

Visesa.

Premio Rebuild Construcción Industrializada 2023.

2009. Zabalgana,
156 VS
Hormigón. PB+8

2017. Hondarribia,
65 VPO
CLT. PB+4

Sopela-Asu,
(en ejecución)
33 VPOa
3D. SS+3

Ortuella-Peñota,
(en ejecución)
94 VPOa
Hormigón. PB+5

LLodio-Goikoplaza,
(en ejecución)
29 VPOa
CLT. PB+7

Gobierno Vasco. Dirección de Vivienda.

2024. Sestao, Txabarri 7
7 VS
CLT. PB+3

Bilbao, Zorrotzaurre
(en ejecución)
60 ADAs
CLT. PB+5

Bilbao, Monte Eretza
(en ejecución)
19 VPOa
CLT. PB+4

Bilbao, C/Gimnasio
(en ejecución)
12 VS
CLT. PB+5

Elciego,
(en licitación)
14 VPO
CLT. PB+2

Otxandio,
(en licitación)
10 ADAs
CLT. PB+2

NASUVINSA. Navarra del Suelo y Vivienda.

2009/2010. Ejecución del concurso de innovación tecnológica

2023. Bera,
8 VPO
CLT. PB+2

2023. Entremutilvas,
32 VPO
CLT. PB+4

Azpilagaña, *(en ejecución)*
32 ADAs
CLT. SS+2PB+9

2024. Aranguren,
39 VPO,
CLT. PB+4

Ayuntamiento de Galdakao.

2023. C/Ibarluze,
60 ADAs
Hormigón. SS+4

Instituto Galego da Vivenda e Solo (IGVS).

2024 Vigo, San Paio de Navia
PB+5

IRUNVI.

2023
C/Alarde nº9
10 VS
CLT. PB+4

Cooperativas de vivienda en cesión de uso

Cooperativa la Borda.

Proyecto reconocido internacionalmente.

2018. Barcelona,
28 VPO
CLT. PB+6

Sostre Civic. La Balma.

Premio AVS.

2021. Barcelona,
20 VPO
CLT. PB+5

Sostre Civic. Cirerers.

Premio sostenibilidad Rebuild 2022.

2022. Barcelona,
32 VPO
CLT. PB+7

Promotores privados

Tectum-locare (AXA).

Pionero en la utilización de tecnología hormigón 2D.

2021. Móstoles Sur,
124 VPO asequible
Hormigón 2D PB+6

Ábatón.

Premio Rethinking the Future 2020.

2020. ARV8. Madrid,
3 VL
CLT. PB+5

Distrito Natural.

Viviendas con 0 emisiones de CO_2 (CO_2 Nulo).

Madrid, *(en ejecución)*
20 VL
CLT. PB+4

UMBRATARIA.

2024. CAVERO 40. Madrid,
4 VL
CLT. PB+3

AEDAS Homes.

Por decisión propia, el 25% de las viviendas de AEDAS Homes es total o parcialmente industrializadas a partir de 2023.

2024. San Juan de Alicante, Fioresta
51 VL
CLT. PB+3

Alcalá de Henares, *(en ejecución)*
184 VL
Hormigón 2D. PB+6

Promocions Capdeferro.

Premio COAC 2022.

2020. Girona,
35 VL
CLT. PB+5

Renta Corporación.

2021 L'Hospitalet de Llobregat,
8 VL
CLT. PB+2

Culmia.

Calonge, *(en ejecución)*
54 VL
CLT. PB+3

KRONOS.

Edificio de Steel Frame residencial más alto de España.

2023. Torrejón de Ardoz,
121 BTR
Steel Frame. PB+5

Grupo Lobe.

Con desarrollo propio de fachadas industrializas.

2024. Benicàssim,
64 VL
Acero. PB+3

2024. Quart de Poblet,
69 VPOa
Fachadas industrializadas PB+8

Terra Green Living.

Con desarrollo propio de fachadas industrializas.

Málaga,
73 VL
CLT. PB+2

3.3 Capacidad productiva

La construcción industrializada representa, aún, un porcentaje muy menor de los proyectos materializado en obra nueva en España (una cifra orientativa que se suele mencionar está entre el 1% y el 2%, siendo en su mayor parte viviendas unifamiliares o adosadas). Sin embargo, si observamos la capacidad de la industria instalada en el País Vasco y su entorno más próximo observamos que **la apuesta por la fabricación de sistemas industrializados que han realizado los agentes industrializadores supera con creces esa demanda**. Atendiendo a casos concretos, Egoin, con instalaciones capaces de producir 2.500 viv/año, destina el 15% de su producción a la CAPV y hasta el 38% se deriva a mercados internacionales. Otro ejemplo relevante y cercano es el caso de Viguetas Navarras, quien del total de su producción (600.000 m^2 panel/año) destina el 50% al mercado francés.

Por lo tanto, debemos concluir que la **capacidad instalada en 2024 supera con mucho a la demanda del mercado**. Las inversiones en estas plantas productivas requieren de una demanda mantenida en el tiempo para garantizar su supervivencia y rentabilidad. El desacople entre la oferta y la demanda actual aboca a la inviabilidad de proyectos tan interesantes como el de la empresa Homm, cuya producción se basaba en módulos 3D de hormigón con acabados de gran calidad, en concurso de acreedores desde abril del 2024.

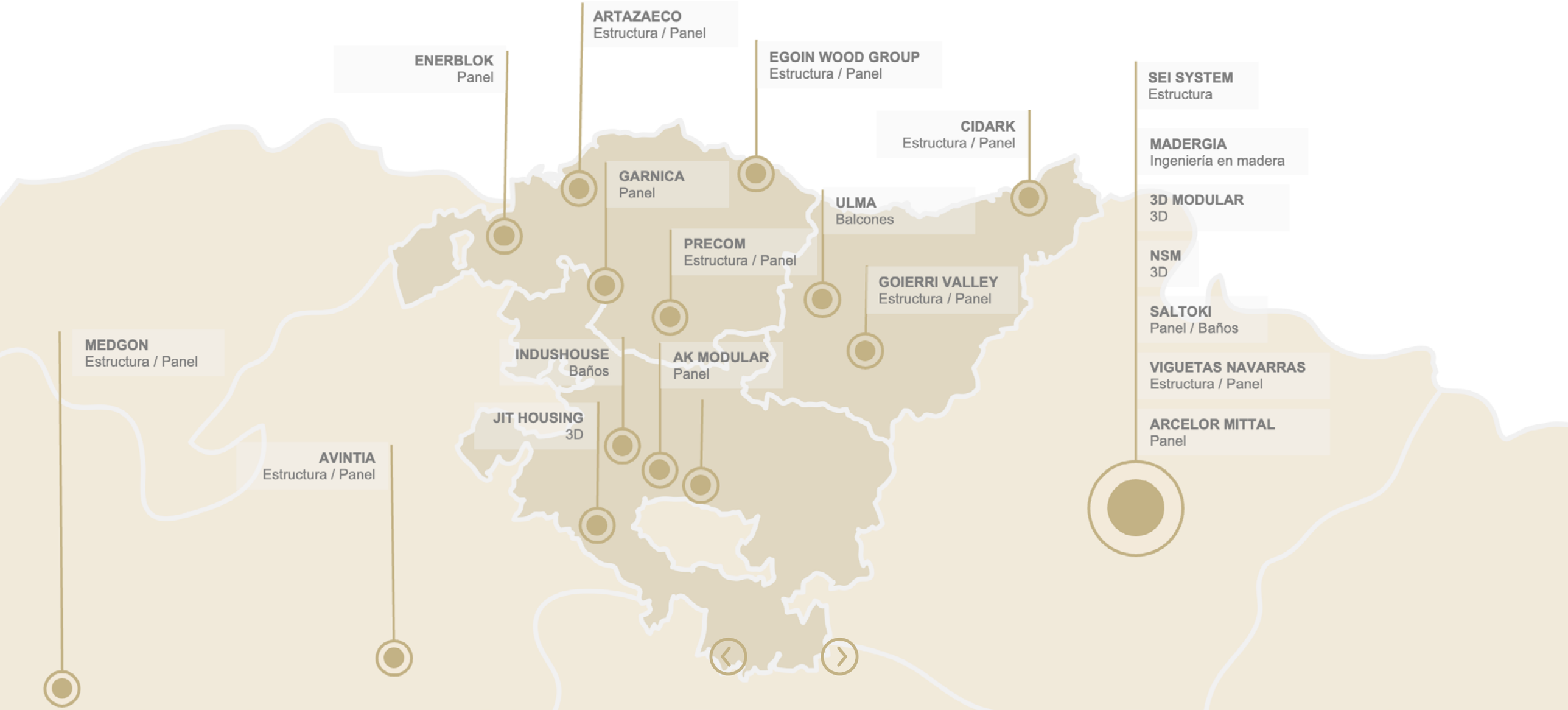
Relación de empresas

Dentro de la propia CAPV encontramos, en cuanto a materiales y grados de industrialización, un elenco de propuestas muy representativas de la tecnología actual y complementarias ente sí. Al constatar la relación de fabricantes e industriales activas, debemos concluir que **disponemos de un ecosistema industrial suficiente para dar soporte al Plan de Industrialización de Visesa** en su objetivo de incorporar soluciones industrializadas de manera progresiva en la promoción de VPOa, así como de iniciativas similares puedan surgir. El desafío consiste en superar las dificultades administrativas, financieras y normativas que permitan activar una demanda de mercado que justifique las inversiones en las instalaciones industriales buscando una mayor digitalización, automatización y robotización de la producción.

Si consideramos las implicaciones del factor logístico y de transporte en el proceso constructivo, podemos establecer una distancia de 250 km como de entorno de “proximidad” a la hora de listar las empresas más cercanas disponibles, sin que sea óbice para que ubicaciones más distantes puedan justificar su idoneidad según las circunstancias de cada proyecto. Como ejemplo de la capacidad de respuesta a mayores distancias podemos mencionar a empresas como Lignum Tech, Cándido Zamora (Exitu), Porcelanosa, Finsa (Xylonor), Afca Teccon o Barcelona Housing Systemas (BHS), que han participado de modo solvente el Diálogo Competitivo del Proyecto Piloto, 33VPOa Sopela-Asu del Plan de Industrialización de Visesa.

A continuación, se recoge un listado de empresas que, sin ser limitativo de la capacidad de tejido industrial disponible, sí representa una muestra representativa de la actualidad del sector:

Empresas en la Comunidad Autónoma del País Vasco y limítrofes



Empresas en la Comunidad Autónoma del País Vasco

AK MODULAR | Panel

Diseño de viviendas unifamiliares prefabricadas, solución constructiva patentada de un muro denominado Akabrick parte de un entramado ligero que se combina con un cuerpo de ladrillo, solución constructiva en 2D aplicada principalmente al sector residencial.

EGOIN WOOD GROUP | Estructura / Panel

Fabricación de elementos industrializados de madera en todas sus versiones. Elementos lineales (pilares y vigas), paneles de madera contralaminada (CLT) y sistemas estructurales de entramado ligero (Timber Frame) incluso soluciones modulares en 3D. Construcción de todo tipo de edificios industriales, terciarios y de residenciales.

GOIERRI VALLEY | Estructura / Panel

Agrupación industrial de empresas del sector metal mecánico que desarrolla y gestiona productos y soluciones industriales integrales. Empresas del grupo asociadas con otras hacen proyectos de construcción industrializada basada en elementos metálicos (paneles industrializados).

PRECOM | Estructura / Panel

Fabricación de todo tipo de elementos industrializados en madera para su aplicación a obra nueva y rehabilitación. Disponen de elementos lineales y paneles contralaminados (CLT) y entramado ligero en 2D.

ARTAZAECO | Estructura / Panel

La empresa Artaza Ecoeficiente dispone del sistema “in-Teck” para montar estructura, aislamiento y cerramiento, basado en unos bastidores de estructura metálica con paneles sándwich de chapa de acero con alma de poliuretano de alta densidad. Sector residencial.

ENERBLOK |Panel

Empresa con soluciones de componentes estructurales, cerramientos prefabricados y sistemas industrializados en Steel frame para la construcción de edificios industrializados.

INDUSHOUSE |Baños

Empresa dedicada a la industrialización de módulos 3D resueltos en estructuras de acero galvanizado para ambientes húmedos (cocinas y baños) y otros módulos también en acero o madera para diferentes ambientes, residencial o terciario.

ULMA | Balcones

Trabaja con hormigones polímeros y, además de sistemas de fachada en obra seca, han desarrollado un balcón prefabricado para instalación tanto en obra nueva como en rehabilitación.

CIDARK | Estructura / Panel

Empresa de construcción industrializada con una solución constructiva desarrollada y patentada, con paneles modulares portantes estructurales Sistema P3 que suponen una industrialización 2D en seco, con elementos verticales y horizontales, formados por un bastidor metálico forrado con tableros de fibras de madera. Sector residencial y servicios.

GARNICA | Panel

Fabricación de componentes de madera, con cinco plantas en España y dos en Francia. Productos para la construcción tales como paneles sándwich estructurales G-brick o tableros LVL.

JIT HOUSING | 3D

Empresa de construcción industrializada que desarrolla de proyectos de viviendas colectivas con el sistema de construcción offsite patentado “Ekonsteam” basado en la fabricación de módulos 3D, con estructura metálica totalmente acabados que se ensamblan en obra.

AMERICAN LH | Estructura / Panel

Empresa especializada en el diseño, ingeniería, fabricación y montaje de estructuras de madera, entramado ligero y Passivhaus.

Empresas en comunidades limítrofes (<250 km)

3D MODULAR | 3D

Empresa especializada en construcción modular prefabricada e industrializada. Ofrecen módulos prefabricados basados en elementos 3D metálicos con distintos acabados y se dedican a diferentes usos, residencial, industrial, dotacional, etc.

ARCELOR MITTAL | Panel

Solución de fachada que combina un panel sándwich portante formado por un aislamiento térmico de alto rendimiento y revestimiento exterior de acero prelacado.

AVINTIA | Estructura / Panel

Cuenta con un sistema integral de construcción industrializada en altura denominado Wallex, dando soluciones integrales para el mercado inmobiliario. Aunque tienen una gran demanda en el sector residencial también se dedican a otros usos.

MADERGIA | Ingeniería en madera

Empresa del sector de la madera, ofrece soluciones estructurales para cualquier tipo de uso. También como subconjuntos de otras obras en diferentes materiales. Disponen de elementos lineales y paneles contralaminados (CLT) y entramado ligero en 2D, para la construcción de viviendas principalmente unifamiliares.

MEDGON |Estructura / Panel

Ofrece soluciones de industrialización con sistema de entramado ligero de madera. Especializada en el estándar Passivhaus.

NSM (Nuevo sistema modular) | 3D

Módulos 3D prefabricados en factoría, transportados y ensamblados en obra, consiguiendo. Se trata de módulos tridimensionales de estructura metálica. El 95% de la construcción se realiza en taller, y se dedican a diferentes usos, residencial, industrial, dotacional, etc.

SALTOKI | Panel / Baños

Con origen en el diseño y montaje de instalaciones de ACS. Fabricante de baños industrializados, cocinas y sistemas de fachadas. Los módulos de los baños se resuelven con paneles de polímero de gran ligereza.

VIGUETAS NAVARRAS |Estructura / Panel

Soluciones industrializadas mediante elementos de hormigón lineales (vigas, viguetas) y superficiales 2D (fachada, doble muro, prelosas, placa alveolar). Todos estos elementos se pueden utilizar en diferentes usos, residencial, industrial, dotacional, etc.

SEI SYSTEM |Estructura

Sistema industrializado de estructuras de hormigón para edificación urbana en altura, basado en el prefabricado de hormigón todos los componentes de una estructura tradicional, incluidos los anclajes a los cimientos, muros, divisiones, núcleos de escaleras y ascensor, escaleras, pilares, vigas y forjados.

3.4 Casos de estudio europeo

Un **desafío** que ha debido afrontar la construcción industrializada ha sido superar el **prejuicio asociado a la sobriedad y rigidez del sistema de producción industrial** y la supeditación de la habitabilidad o el espacio común en aras de una rápida producción de bajo coste de la construcción. Esta imagen, denominada de manera despectiva como "**sovietización**" para calificar edificaciones industrializadas excesivamente rígidas, rigurosas, estrictas o repetitivas, tiene su origen en un tipo de intervenciones guiadas por unos criterios muy limitados desde el punto de vista de las personas usuarias. El resultado de estas actuaciones derivaba en una pérdida de la identificación de los habitantes con sus edificios y fue motivo de descrédito tanto de las edificaciones como de su sistema constructivo.

Lo cierto es que **la construcción industrializada ofrece unas posibilidades de diseño que permiten, sin duda, dar respuesta al principio de calidad en la arquitectura**, en función de la habilidad del equipo proyectista para conjugar las capacidades del leguaje arquitectónico y con las del industrial. Los siguientes casos componen una muestra representativa de la aplicación de los distintos sistemas industrializados, en cuanto a tecnología y materiales, a la construcción de viviendas en Europa, todos ellos **reconocidos por su calidad arquitectónica**.

01. Wohnregal Housing Project

FAR Arquitects
Berlin (Promotor privado)
PB+5

Situado en Berlín, «Wohnregal» es un edificio de 6 plantas que alberga, además de espacios residenciales, espacios productivos para talleres y coworking. En su construcción se han utilizado elementos prefabricados más propios de edificios industriales.

El proyecto asume dos desafíos: aplicar la construcción en serie para ahorrar costes y reducir los tiempos de construcción y, al mismo tiempo, rebatir las ideas preconcebidas que vinculan la seriación a la uniformidad de las unidades, ofreciendo una variedad de espacios para vivir y trabajar que permite que acontezcan distintos estilos de vida.

La composición estructural del edificio está formada por elementos de hormigón prefabricado que se despiezan en pilares, vigas y forjados. El hecho constructivo más destacable reside en la solución de forjado, con una sección estructural de doble TT en paneles de 1,20 metros de ancho y 0,60 metros de canto, que alcanza unas luces de 13 metros poco habituales en el ámbito doméstico. Es esa longitud del forjado prefabricado nervado, que se extiende de fachada a fachada sin elementos estructurales interiores, la que permite que cada planta tenga una distribución espacial singular, configurándose espacios de vivienda y taller con superficies que varían desde los 35 m^2 hasta los 110m^2. Además, la forma de la sección del forjado permite el paso de instalaciones vistas que quedan ordenadas en su geometría.



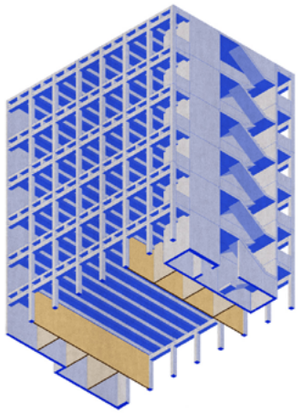
Documentación gráfica: FAR Arquitects

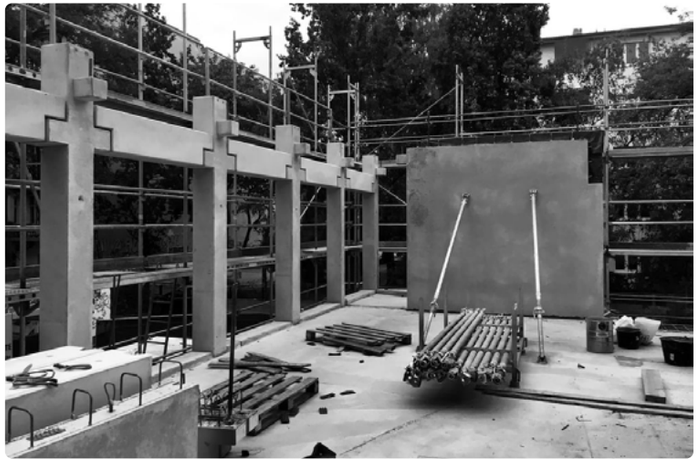
Esta estructura de soporte ofrece una gran resistencia al paso del tiempo, una gran durabilidad, debido, en cierto modo, a esa descontextualización de un producto constructivo pensado para la industria pesada que se utiliza para uso residencial. El espacio interior podrá dedicarse a diferentes usos a lo largo de su vida útil. Esta adaptabilidad, reflejo de su estructura, augura una gran longevidad y múltiples vidas por vivir.

La envolvente del edificio se resuelve mediante un muro cortina con puertas correderas de vidrio que permiten abrir el interior a su entorno exterior, convirtiendo el espacio habitable en una logia abierta. La solución de fachada, junto con los petos de fibra de vidrio que sirven de barandillas cuando las puertas correderas están abiertas, otorgan al edificio un carácter industrial que habla de su convertibilidad, su adaptabilidad y que pone de manifiesto su sistema constructivo.

Casi todos los componentes del edificio han sido conectados mecánicamente en obra, sin requerir de hormigonados in-situ, excepto las capas de compresión de los forjados. En caso de un futuro desmontaje, gran parte de los materiales se podrían separar y garantizar su circularidad.

La obra se realizó entre los años 2016 y 2019, necesitando únicamente 6 semanas para el montaje de la estructura prefabricada completa, y con un coste de 1.500 €/m^2 (PEC).

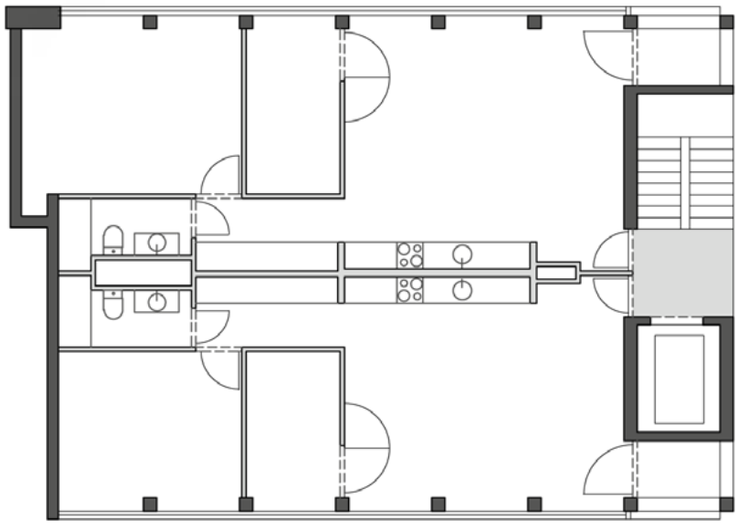






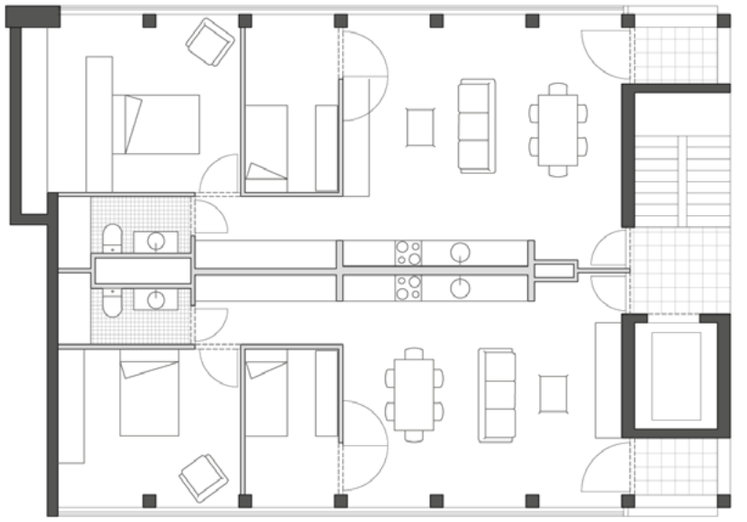
Planta edificio

MULTZOAK
CONJUNTOS
0 5 10 m.



Planta tipo vivenda

ETXEBIZITZA TIPOAK
VIVIENDAS TIPO
0 2,5 5 m.



02. Hammarby Gård

Arrhov Frick
Estocolmo (Oscar Properties)
PB+5

Hammarby Gård-Hus 2 es uno de los siete edificios que conforman el bloque residencial HG7 en Hammarby, en la ciudad de Estocolmo, Suecia. La planta longitudinal de 12 metros de ancho permite el encaje de viviendas pasantes que, gracias a su orientación, disponen de luz solar durante todo el día.

Construido principalmente con elementos prefabricados de hormigón, los forjados se componen de losas aligeradas prefabricadas de 1,2 metros de ancho. La estructura de muros de hormigón, también prefabricados, conforma las medianeras entre las viviendas que quedan arriostradas por las particiones que albergan los núcleos de comunicación, igualmente prefabricados. Tanto los muros de las medianeras como los de fachada son portantes.

La estructura del edificio y los cuartos húmedos definen un esquema inicial de la vivienda que permite una gran adaptabilidad y convertibilidad del resto de espacios de la planta. La organización de la planta de cada unidad, en torno a un núcleo central que alberga la entrada y las zonas húmedas, facilita la apropiación de los espacios restantes por parte los habitantes atendiendo a su criterio de uso.

El sótano, construido íntegramente con hormigón armado in-situ, así como las capas de compresión de los forjados son los únicos elementos realizados con métodos de obra tradicional.



Documentación gráfica: Arrhov Frick

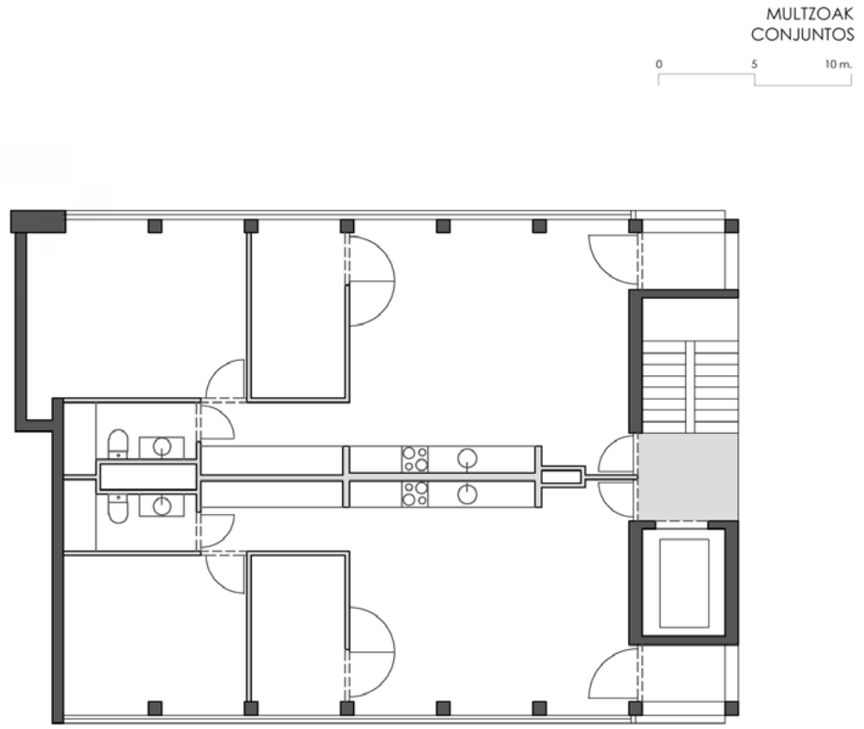
Los balcones hacia el patio tienen una estructura de acero con paneles correderos de cristal, enmarcados en acero galvanizado; son piezas estructuralmente añadidas al conjunto y con libertad tanto constructiva como compositiva. Estos elementos ofrecen un espacio extra a la vivienda, indeterminado, que permite completar el programa residencial en función de las necesidades de los habitantes del apartamento.

El cerramiento está formado por paneles sándwich tricapa acabados en hormigón. La empresa Skonto Prefab ofrece la opción de una capa exterior llamada «hormigón arquitectónico», con diversas opciones de tratamiento (enlucidos, superficies en relieve, colores y texturas).

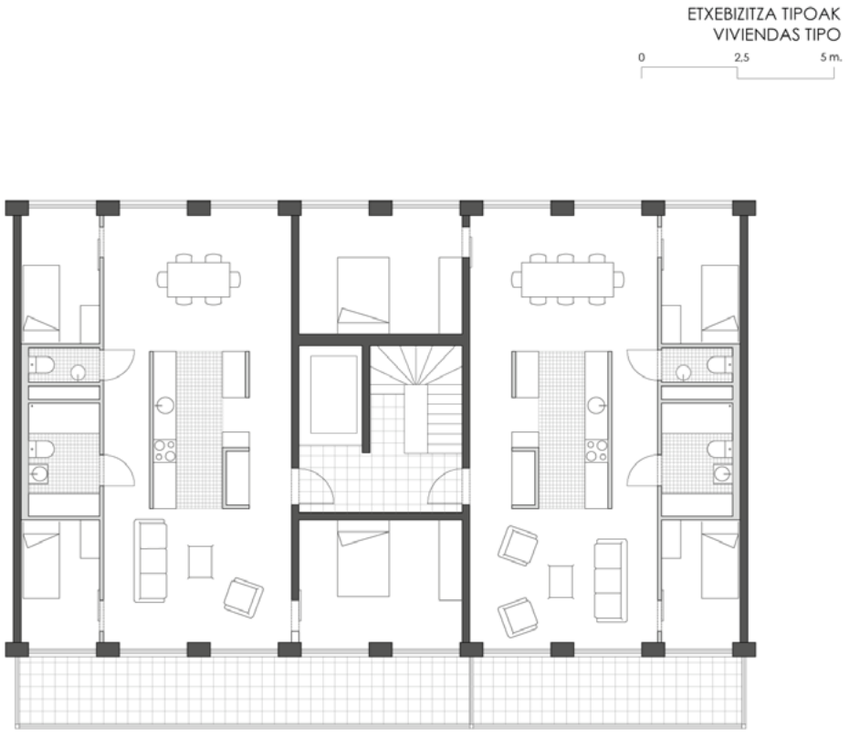




Planta edificio



Planta tipo vivenda



03. Masnou

Cop d´idees + Santiago Vives
Barcelona (INCASÒL)
PB+3

El solar se sitúa en la esquina entre dos calles, en el municipio de Masnou, con una longitud media de unos 70m, y una pendiente de unos 7m de extremo a extremo. El edificio se alinea a la calle principal, por donde se efectúa el acceso al equipamiento de la planta baja, respetando una separación hasta el límite del solar de 5m y 3m respecto al paso de peatones o zona verde. El acceso a las viviendas se ubica en el lado corto, es decir por la otra calle.

La edificación se organiza en 3 módulos, dos paralelos a la calle y uno girado, que se rota en el límite oeste del solar. Cada módulo está formado por un núcleo de escalera y 4 viviendas por rellano, con un total de 12 viviendas por planta. Los núcleos están abiertos, lo que propicia la ventilación cruzada en todas las viviendas. El edificio es de planta baja más tres alturas y, en sección, se escalona para adaptarse a la topografía del solar. Así, la planta baja resuelve un equipamiento administrativo de 550m^2 en un solo nivel y tres viviendas en el módulo girado, que quedan elevadas del terreno por estar situadas en el extremo de mayor pendiente del solar.

El aparcamiento se resuelve en una sola planta, con acceso desde la parte más baja del solar para minimizar los recorridos de la rampa y acceso. La misma topografía del solar permite que esta planta no quede del todo enterrada y posibilita la ventilación natural en el aparcamiento y un acceso peatonal directo desde la calle.



Documentación gráfica: Cop d´idees + Santiago Vives

Todas las viviendas tienen las mismas piezas, sala de estar, cocina, una habitación, aseo y tendedero. La repetición de aseos y cocinas genera una espina de cuartos húmedos en la planta, dejando la fachada delantera totalmente libre, y la trasera ocupada por habitaciones y los núcleos de comunicación vertical. La organización modular de la planta permite dos tipologías diferentes, en un caso la habitación se encuentra en la parte trasera del edificio, y en el otro en la parte delantera. En ambas tipologías la sala de estar vinculada a la cocina se sitúa en la fachada principal.

Desde la propuesta inicial de concurso el proyecto fue orientado hacia criterios de construcción industrializada. La propuesta inicial consistía en unos paneles ligeros de hormigón, conocidos comercialmente como «Building System with Concrete Panel» de la empresa BSCP S.L. El edificio se conformaría con paneles macizos de hormigón armado prefabricados específicamente para este proyecto. Los núcleos de comunicación se resolverían de manera independiente mediante estructura metálica, y únicamente parte de la tabiquería de la espina central configurada por los cuartos húmedos se resolvería mediante tabiquería de cartón yeso para facilitar el montaje y mantenimiento de las instalaciones.

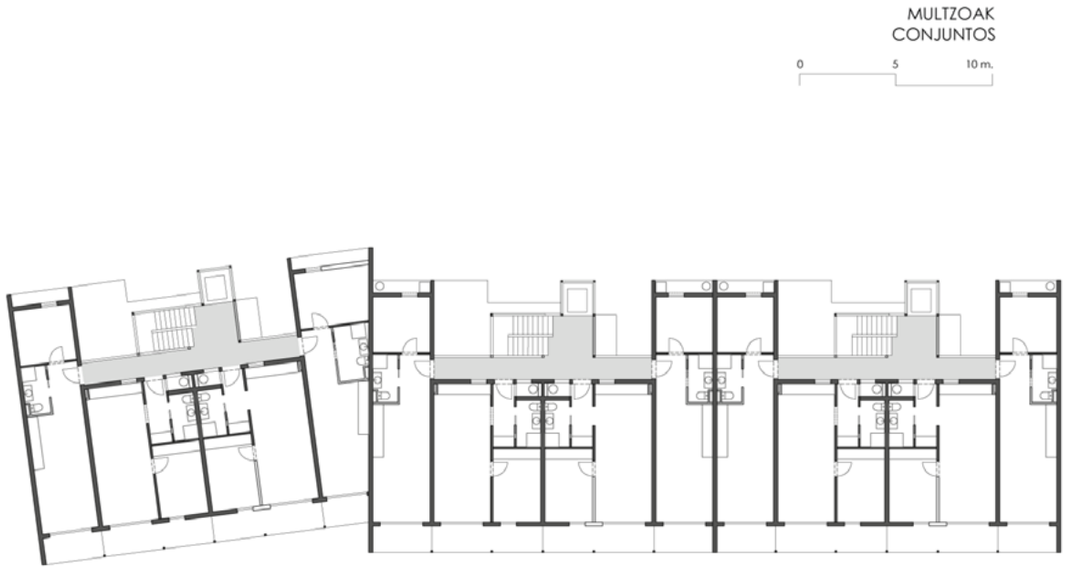
En la solución finalmente adoptada, parte de esta solución se mantiene, como la independencia estructural de los núcleos de distribución, pero el sistema constructivo se cambió por un steel frame, de la marca AFCA TECCON; una solución muy ligera, con fachadas, cierres y forjado en seco.

Unas pantallas metálicas a modo de cercha vertical de acero laminado construyen la estructura portante principal de la edificación, aportando rigidez al edificio y arriostramiento horizontal. En este caso, las cerchas quedan integradas en la medianería entre viviendas, y en las fachadas principal y trasera. La disposición en dos direcciones perpendiculares de estas costillas aporta gran estabilidad al conjunto.

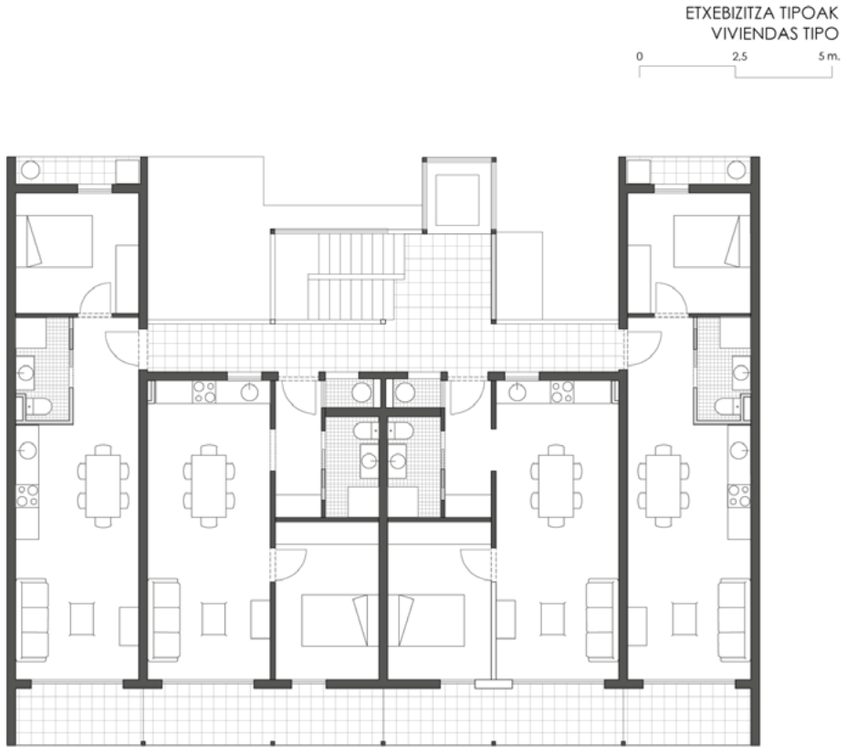
Por otro lado, la tabiquería interior, se construye con paneles de 110 milímetros de espesor (un entramado modular de perfiles galvanizados conformados en frío rellenos con aislamiento mineral). Estos paneles resuelven la distribución interior y una suerte de estructura secundaria, que recibe cargas verticales del forjado en seco, resuelto con perfiles de acero galvanizado.

Esta solución constructiva es extremadamente ligera, y altamente desmontable, ya que todos sus componentes se resuelven en seco. En este sentido, la extremada ligereza del sistema y el escaso uso de agua durante el proceso constructivo, lo hacen especialmente sostenible. Pero precisamente su ligereza obliga a la solidaridad estructural de todos sus elementos, dificultando las modificaciones futuras y adaptaciones o transformaciones de los espacios interiores.

Planta edificio



Planta tipo vivenda



04. Viviendas de alquiler en la calle Comte Borrell de Torelló

TAC Arquitectes
Barcelona (INCASÒL)
PB+3

Es un edificio de 36 apartamentos destinados a alquiler. Todos los apartamentos son similares, tienen unos 50 metros cuadrados y disponen de dos habitaciones, cocina-estar-comedor, baño y lavadero. El edificio se sitúa en un nuevo ensanche de densidad media que se sitúa próximo al centro urbano. El planeamiento urbanístico prevé bloques aislados de forma regular en el que cuatro bloques de formas similares se agrupan formando un conjunto peatonal abierto, rodeado de vías de circulación de vehículos. La orientación de los bloques presenta dificultades, ya que las fachadas principales están orientadas a norte y sur.

El tipo de industrialización empleado es a base de módulos 3D de acero. La regularidad de la parcela facilita este tipo de prefabricación. Todo el edificio, incluidos espacios de comunicaciones y acceso, está compuesto por módulos 3D. Los módulos están construidos con entramado pesado de acero de pequeñas luces y construcción en seco. El nivel de prefabricación es muy alto, llega hasta los revestimientos interiores y exteriores.

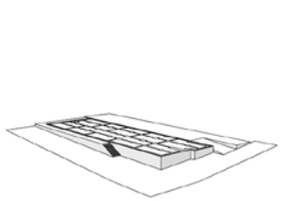
Todo el edificio se divide en módulos de dimensiones regulares. La tipología edificatoria obliga a que algunos apartamentos estén orientados exclusivamente a norte. Para reducir su número a dos por planta, se modifica en fondo edificatorio en las dos fachadas principales. Esta diferencia de fondo edificatorio permite que el pasillo central quede incorporado dentro de los módulos prefabricados.



Documentación gráfica: TAC Arquitectes

El edificio está completamente modulado. Todas las viviendas tienen la misma disposición. Cada una se divide en dos elementos regulares: el espacio de día y el de dormitorios. El de noche forma una unidad funcional con un espacio distribuidor propio. El espacio de día es un espacio diáfano. La tipología de vivienda es muy ajustada, lo que limita el cambio de uso sin modificación de la vivienda. Sin embargo, los materiales empleados y la concentración de instalaciones facilitan la convertibilidad.

Las principales aportaciones de esta obra son el nivel elevado de prefabricación y la coherencia de todos los aspectos funcionales y técnicos. Está muy próximo al nivel máximo de prefabricación en un edificio de este tipo. Los elementos están prácticamente acabados y la construcción se realiza en seco. Los remates con tapajuntas y las uniones de placas de cartón-yeso se acaban en obra. La obra es coherente con un modo de hacer en las diferentes escalas. Todo responde a una misma lógica, desde la volumetría, la definición de viviendas, la modularidad, la disposición de zonas interiores y hasta la materialidad de los acabados.

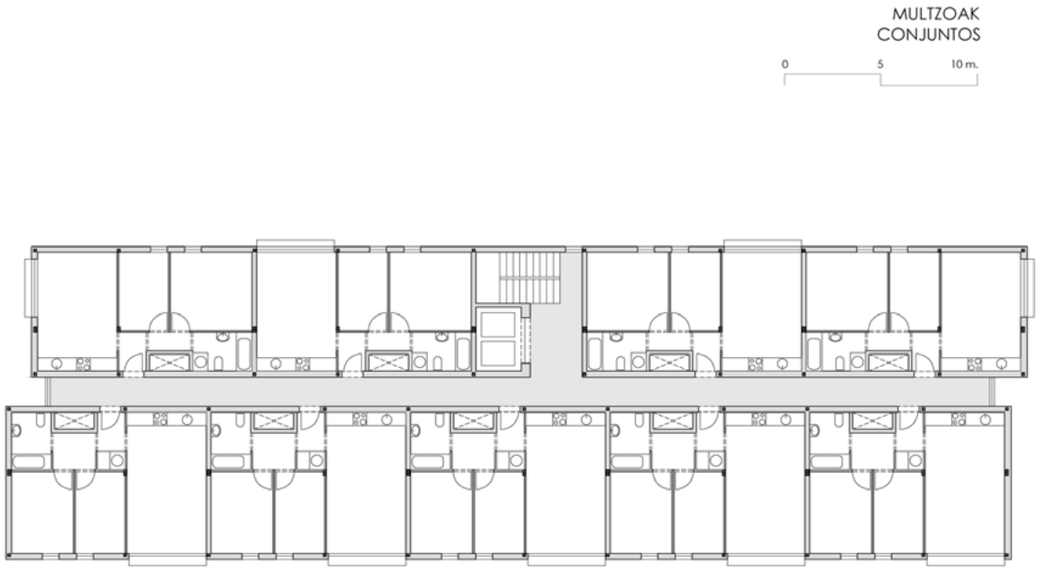




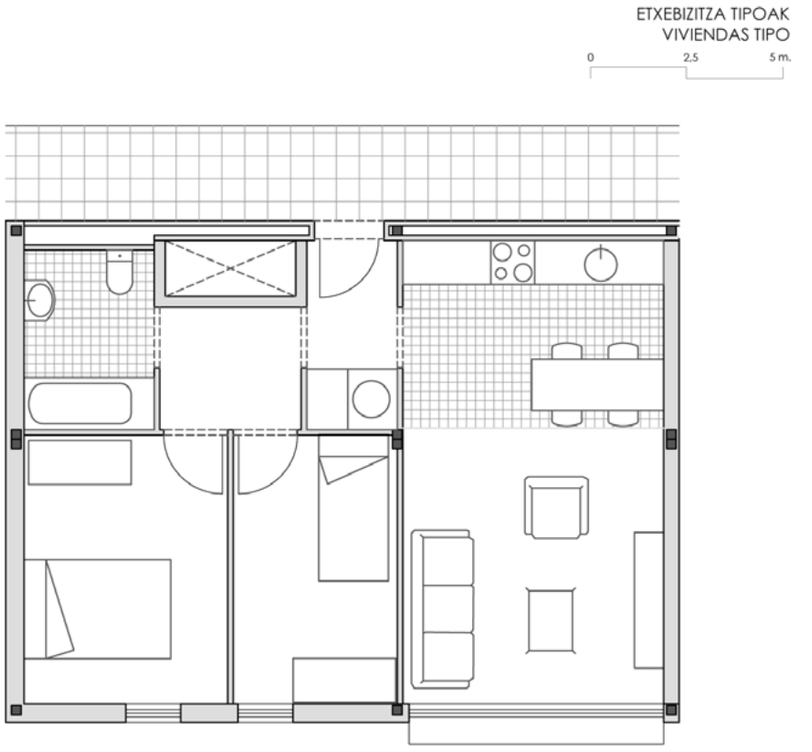




Planta edificio



Planta tipo vivenda



05. MOHO

ShedKM
Castlefield, Manchester (Urbansplash)
PB+3

Este edificio ocupa la mitad de una manzana en el centro de Castlefield, Manchester. Es un entorno urbano de densidad media. El edificio tiene usos mixtos, con aparcamientos y oficinas en planta baja y 102 viviendas en las 6 plantas superiores.

Se utiliza un sistema modular MoHo. Un sistema de prefabricación 3D en metal. Los módulos tienen un nivel de prefabricación elevado, llegan a obra con revestimientos y carpinterías.

Cada vivienda se construye con un único módulo tridimensional al que se le añaden elementos prefabricados para formar balcones, galerías o espacios añadidos a la vivienda. Los módulos son muy compactos y estrechos. Las viviendas tienen un fondo de 3,2 metros que se amplía puntualmente con los elementos añadidos.

Los elementos de circulación tienen gran importancia funcional y constructiva. Funcionalmente forman galerías que recorren todo el edificio y dan acceso a los módulos de vivienda. La construcción se organiza como una superposición de capas. Comienza con los elementos de comunicación, continúa colocando los módulos de vivienda y sobre éstos se colocan los añadidos.



Documentación gráfica: ShedKM

La vivienda tipo tiene un dormitorio en una superficie total muy ajustada de 38 m^2. Existen algunas unidades con dos dormitorios, realizadas añadiendo un módulo a la misma base utilizada en los individuales. Las viviendas vienen totalmente amuebladas con un sistema inspirado por los diseños de los yates, donde el espacio reducido se aprovecha al máximo. La superficie de la vivienda está optimizada al máximo, se organiza alrededor de un núcleo de servicios. No hay espacios puramente de circulación. El movimiento dentro de la vivienda se realiza pasando de un espacio funcional a otro. Esta estrategia condiciona los usos y al mismo tiempo optimiza el espacio.

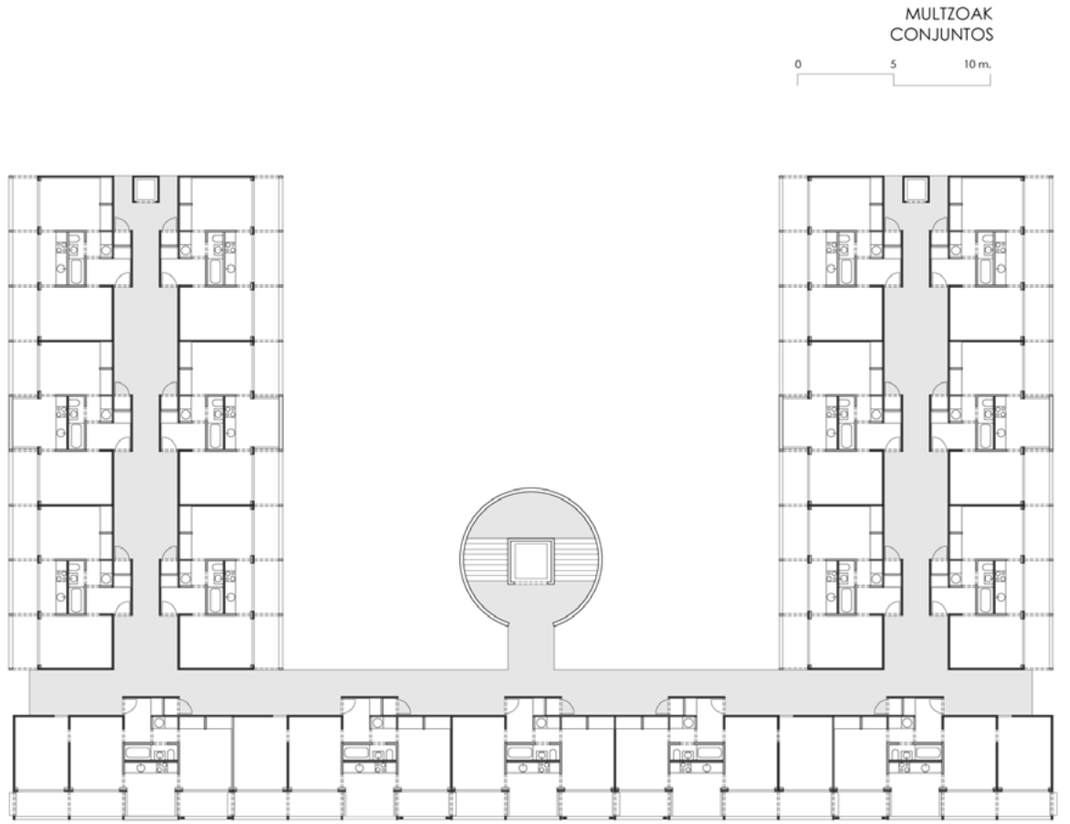
Un aspecto fundamental es el reducido fondo edificatorio y la elevada superficie de fachada en relación con el tamaño de las viviendas. Este aspecto se ve compensado por la mínima superficie que tiene cada vivienda.

La especificidad de las superficies limita su adaptabilidad. Los espacios de dormitorio y salón son intercambiables en la vivienda tipo. Son espacios regulares que permiten diferentes usos. Debido a la simplicidad de los elementos que definen el espacio, la convertibilidad está limitada. La organización constructiva formada por elementos de base a los que se les suman añadidos puede facilitar la ampliación o modificación del volumen.

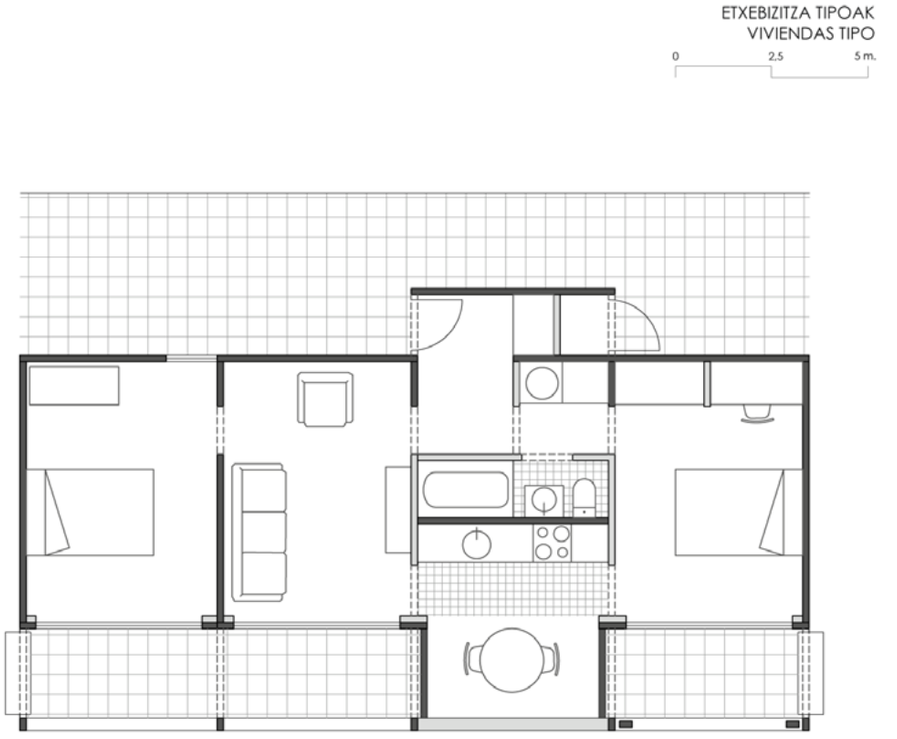
La aportación principal de esta obra es el grado de sofisticación de la tecnología de prefabricación. El edificio está diseñado para aprovechar al máximo las posibilidades del sistema. Si bien en esta obra se llega a un resultado coherente y optimizado, tal como se ha aplicado en esta obra condiciona en gran medida el resultado.



Planta edificio



Planta tipo vivenda



06. Habitatge Jove Caldes

Eulia Arkitektura + Straddle3
Barcelona (Ajuntament de Caldes de Montbui)
PB+2

Se trata de un edificio de apartamentos dotacionales para jóvenes. Está en un pueblo pequeño, en un entorno de baja densidad próximo al centro urbano. Es una edificación de tamaño reducido, escasamente 500m^2, en la que se han previsto 9 unidades de las que 8 son apartamentos y la novena puede ser un apartamento o un espacio de uso común de sus habitantes.

La construcción se basa en una combinación de diferentes tecnologías, la más significativa es el uso de contenedores de transporte ISO. Estos módulos se combinan con elementos prefabricados bidimensionales de CLT.

Los contenedores ISO tienen limitaciones importantes de volumen. Para superar esta limitación se plantea la combinación 3D y elementos 2D. Los espacios de las viviendas de menores dimensiones que tienen presencia mayor de instalaciones utilizan la prefabricación 3D. Los espacios de día, diáfanos y con menor densidad de instalaciones utilizan los elementos 2D. Los elementos tridimensionales se apilan en vertical y forman los soportes del edificio, los elementos bidimensionales se apoyan en ellos.

Las viviendas son apartamentos de dimensiones mínimas de habitabilidad. Todos tienen un dormitorio, un baño, un espacio de vestidor y un espacio de día con estar, cocina, comedor y terraza. Los dormitorios tienen dos accesos, de modo que permiten una fluidez espacial que pretende mitigar la pequeña dimensión de las viviendas.



Documentación gráfica: Eulia Arkitektura + Straddle3

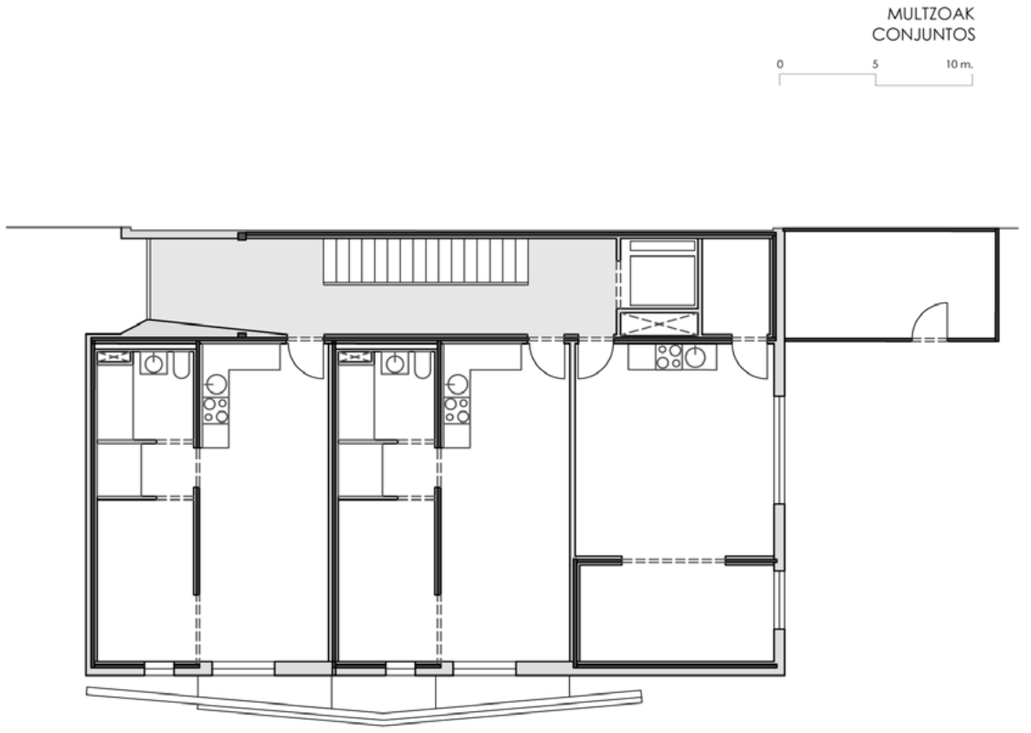
El espacio de día es diáfano y tiene una flexibilidad de uso acorde con la dimensión que tiene. El baño se ha dimensionado de modo que modificando el mobiliario pueda ser accesible. El dormitorio está muy ajustado, pero gracias a la unión con el espacio de día puede funcionar como espacio de trabajo conectado con el salón.

La principal aportación de este proyecto es la combinación de dos tipos de prefabricación. Tanto en la combinación de elementos 2D y 3D y como en el uso de en metal y CLT. Se aprovecha las ventajas y limitaciones de cada una de ellas. Lo más habitual es que en una obra se recurra a una única tecnología. Esta obra propone una relación abierta con las tecnologías de las que hay pocos ejemplos.

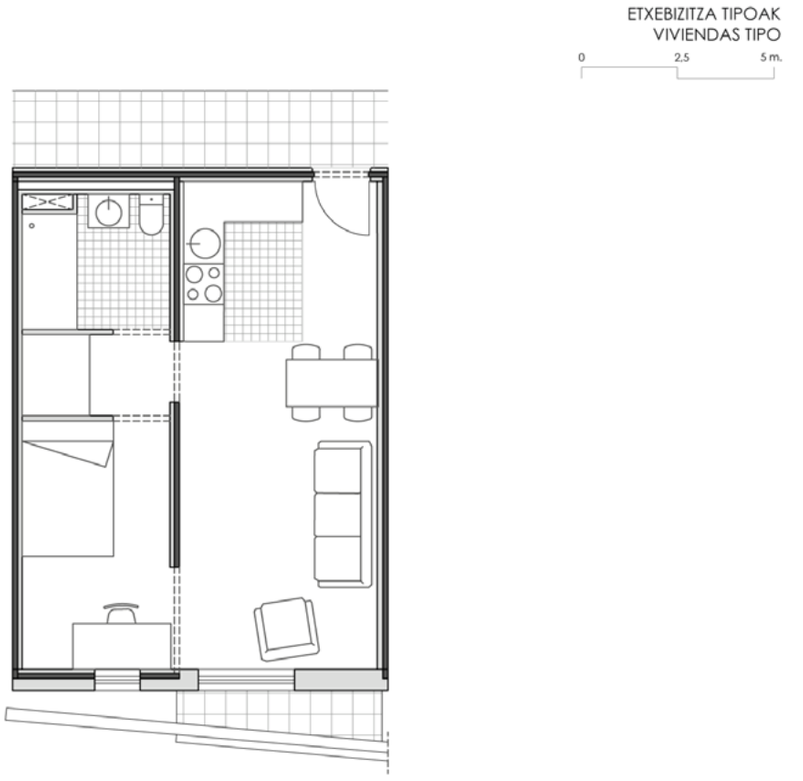




Planta edificio



Planta tipo vivenda



07. Bloque 6x6

Bosch Capdeferro
Girona (Promociones Capdeferro)
PB+5

Situado en un entorno urbano de transición entre la ciudad compacta y el ensanche en manzana abierta caracterizado por una importante presencia de equipamientos públicos, el proyecto propone el diseño de 35 viviendas a partir de criterios de flexibilidad de programa y reducción de la huella de carbono a lo largo del ciclo de vida del edificio.

Sobre un zócalo de hormigón, que resuelve las plantas de sótano, se desarrollan baja y 5 alturas con el programa residencial a base de paneles de CLT. La estructura se paneles en dos direcciones, construyen a una tipología que le otorga un aspecto casi murario al estilo tradicional. La planta queda dibujada por las medianeras entre viviendas formadas por paneles continuos de CLT. Estos muros quedan arriostrados por los cierres de los cuartos húmedos que ocupan el centro de la planta. Unas vigas en los extremos exteriores de los paneles, junto con los muros centrales permiten el apoyo de los forjados de CLT, orientados en el sentido transversal de la planta.

Este sistema ha permitido una remarcable reducción de huella de carbono en el proceso de construcción y de demanda energética en su fase de uso.

La primera propuesta (2012) se realizó con un sistema de hormigón prefabricado. Tras diversos estudios de viabilidad medioambiental, se diseñó una estructura portante de madera que resultó 5 veces más ligera que la propuesta en hormigón. La solución adoptada se resuelve con una estructura híbrida, que combina paneles de carga de madera CLT (15,5m x 2,95m) orientados a lo largo de las viviendas, vigas de madera laminada en sentido perpendicular, y un pórtico intermedio de vigas y pilares.



Documentación gráfica: Bosch Capdeferro

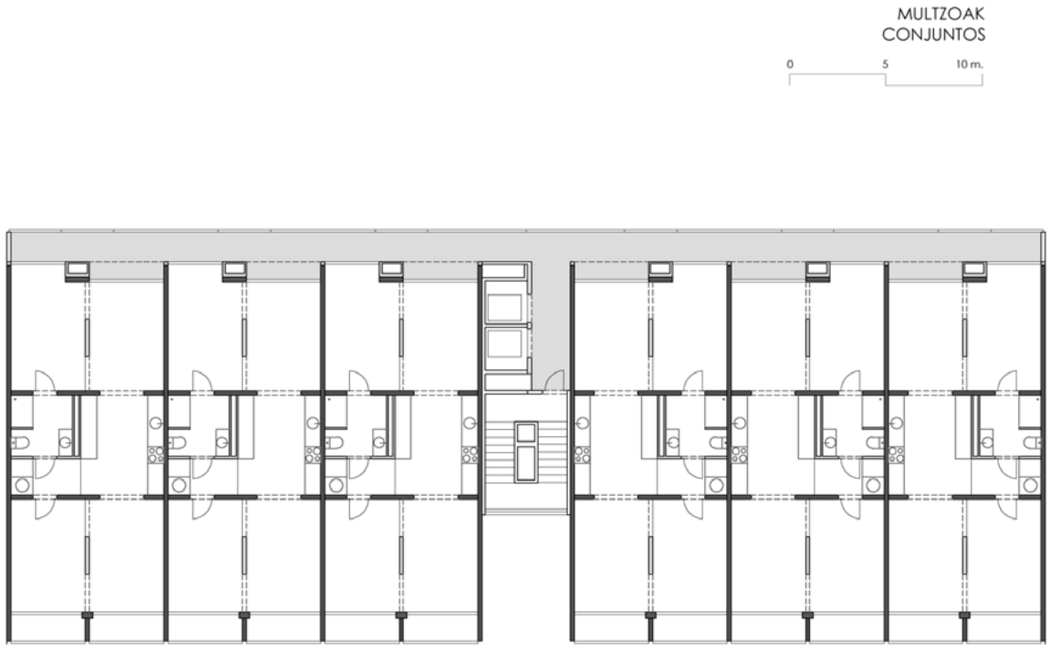
La estructura de madera es de pino radiata del País Vasco, donde se ha fabricado la estructura. El resto de los materiales y sistemas constructivos proceden de la industria local y de cercanía de la obra. El cerramiento, montado en paneles, es de Alumilux, y se resolvió con un sistema industrializado que se ensambla en el lugar. La utilización de todos estos sistemas propició una construcción en obra de 6 semanas, significativamente rápida para la finalización de la estructura.

El diseño de la planta, apoyado en la versatilidad del sistema constructivo, sugiere una apropiación libre de cada espacio y permite conectar las estancias a voluntad. Esta versatilidad facilita la incorporación de cambios en el programa, en función de la evolución en el tiempo de los deseos y necesidades de las personas usuarias.

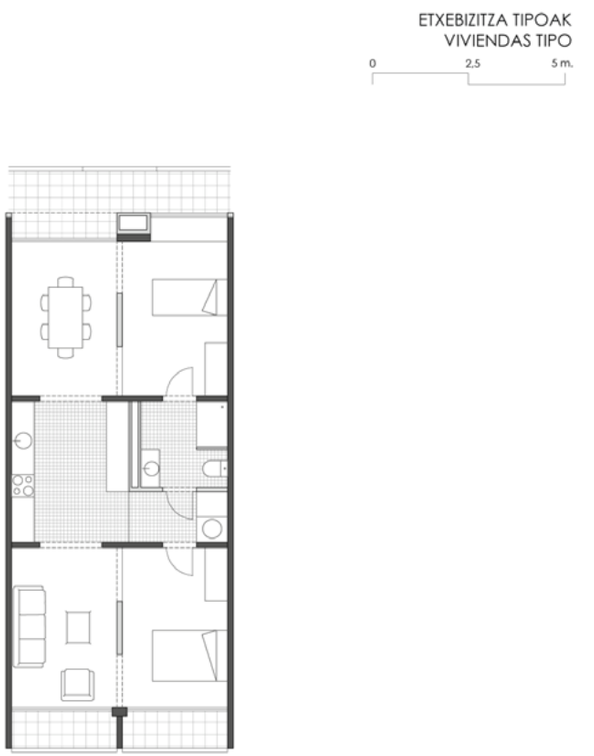




Planta edificio



Planta tipo vivenda



08. Puukuokka Housing Block

Oopeaa
Jyväskylä, Finlandia (Lakea Oy)
PB+6+7+8

Puukuokka Housing Block es el nombre que recibe el proyecto ubicado en la ciudad de Jyväskylä, Finlandia, desarrollado por el estudio de arquitectos OOPEAA. Tres torres de apartamentos, de seis, siete y ocho plantas respectivamente, todas en base a madera contralaminada (CLT) de abeto.

Finalizado en 2015, Puukuokka One fue el primer edificio de apartamentos de madera de ocho plantas de altura de Finlandia, el tercer edificio se finalizó en agosto de 2018. Explora el potencial de la construcción modular prefabricada CLT para cumplir el objetivo de proporcionar viviendas de alta calidad, respetuosas con el medio ambiente y asequibles económicamente.

En ese sentido, el proyecto sirvió como caso piloto en el que toda la estructura portante y el armazón son de madera maciza compuesta por módulos volumétricos prefabricados en CLT de abeto. El cerramiento de madera, el tejado, el hueco del ascensor y los elementos del vestíbulo se produjeron por separado y se llevaron a la obra listos para el montaje. El complejo está construido sobre una base de hormigón, que resuelve el aparcamiento en la planta sótano.

Cada apartamento se compone de dos módulos paralelos a la fachada. El exterior incluye el salón, el balcón y el dormitorio; y el otro, el interior, el cuarto de baño, la cocina y el vestíbulo.

La envolvente del edificio, la cubierta y los balcones en voladizo confieren al bloque de viviendas Puukuokka un carácter único, de casa en el bosque, llevando piezas de alta densidad a un entorno natural muy alejado del carácter urbano.



Documentación gráfica: Oopeaa

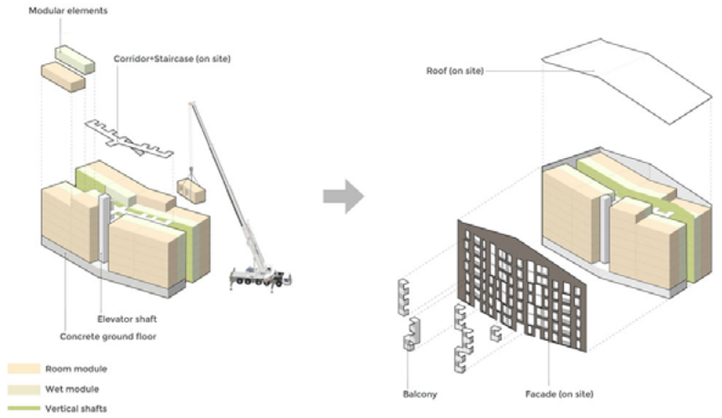
El sistema constructivo a base de CLT permitió varios aspectos importantes en el proyecto. Por un lado, crear un amplio espacio de vestíbulo y atrio con mucha luz realizado de forma energéticamente eficiente como un espacio semi-climatizado. Las cualidades aislantes de la madera maciza permiten controlar la temperatura de las distintas unidades de forma independiente. El uso de módulos volumétricos prefabricados de CLT hizo posible integrar las tuberías de calefacción, agua, electricidad y ventilación en la estructura de la pared de ese distribuidor general, facilitando el acceso para su mantenimiento.

Por otro lado, en total, el bloque de viviendas se compone de 276 módulos, que forman 186 unidades de apartamentos. El uso de 8 tipos de módulos diferentes permitió una gran variedad tipológica de apartamentos.

Este esquema de doble módulo para cada vivienda, con los cuartos húmedos en la pieza interior, resulta en dos piezas diferenciadas: una muy compacta que podríamos calificar de “cerrada” o “acabada”, sin capacidad de adaptabilidad o conversión; y otra exterior vinculada a la fachada muy flexible y adaptable a cualquier requerimiento de los usuarios.

También los elementos del cerramiento, que se prefabricaron por separado, se llevaron a la obra listos para el montaje, son enteramente de madera. Los módulos se prefabricaron en una fábrica local, situada a menos de dos horas de la obra. El uso de módulos prefabricados permitió acortar el tiempo de construcción in situ a seis meses por edificio y reducir la exposición a las condiciones meteorológicas extremas del lugar, permitiendo lograr una mayor calidad en el resultado final.

Finalmente, el proyecto pone a prueba una innovadora estrategia de financiación de alquiler con opción a compra que pretende apoyar la sostenibilidad social fomentando comunidades estables. Un pago inicial del 7% del precio de compra de un apartamento permite al comprador obtener un préstamo garantizado por el Estado y, mediante pagos de alquiler durante un periodo de 20 años, el comprador adquiere gradualmente la plena propiedad de la unidad. El precio de venta se negocia y acuerda en el momento de firmar el contrato de arrendamiento inicial.

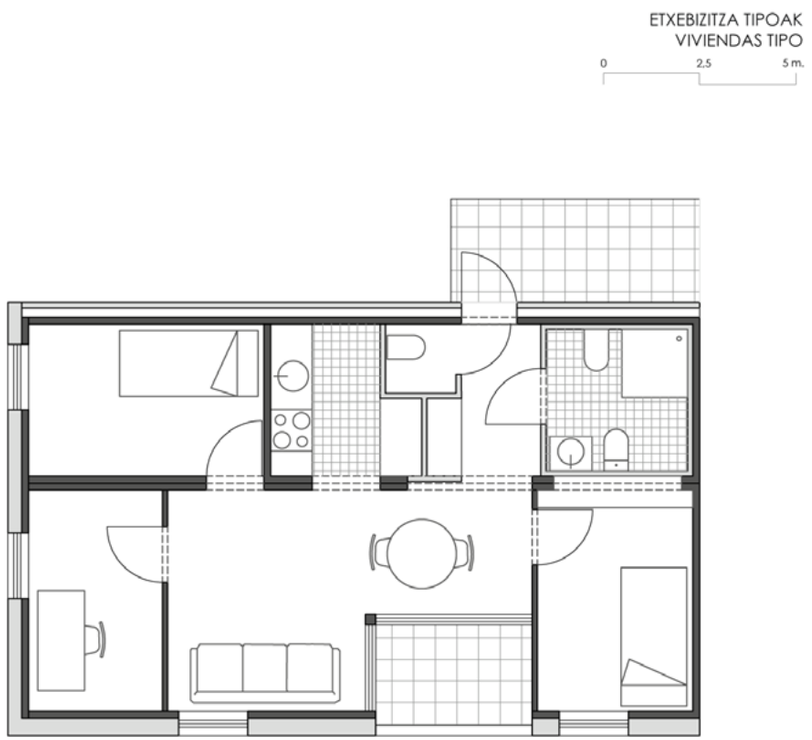




Planta edificio



Planta tipo vivenda



09. Freilager Albisrieden (timber house)

Rolf Mühlethaler
Zürich (Renggli AG, Schötz)
PB+5

Estos tres edificios que albergan unas 130 viviendas se sitúan dentro de una intervención urbanística de alrededor de 1.000 apartamentos. Los bloques de seis plantas de altura se construyeron en seis meses.

Estos edificios se construyen con una combinación de tecnologías. Las plantas bajas y núcleos de escaleras son de hormigón armado y el resto del edificio es de madera. Los soportes son de entramado ligero y los forjados de madera maciza. Toda la parte de construcción en madera se construye con elementos prefabricados 2D de grandes dimensiones.

La principal novedad de este edificio es la altura de seis plantas, muy superior a la habitual en entramado ligero. Esto se logra mediante la continuidad de elementos de soporte verticales y evitando la disposición de barras perpendiculares entre ellos. De esta manera se puede aprovechar la capacidad de trabajo de estos soportes, a la vez que se reduce la deformación vertical del conjunto.

La configuración estructural de los muros portantes de entramado ligero y los forjados varía entre los edificios. En dos de ellos, (tipos A y B), los muros portantes son paralelos a las fachadas principales. En el tercer edificio (tipo C) los muros se disponen en dirección perpendicular. La organización de las viviendas se adapta, en cada, caso a dicha configuración estructural.



Documentación gráfica: Rolf Mühlethaler

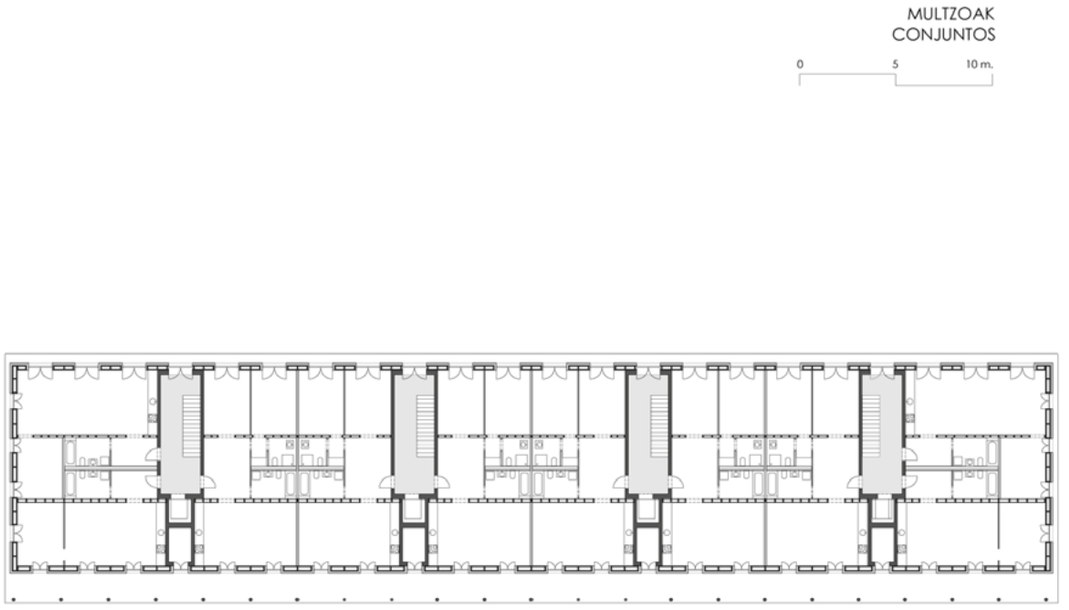
En los tipos A y B las viviendas se organizan en bandas paralelas a la fachada, en un lado están los espacios de día y en el otro los dormitorios. En la banda central se sitúan los baños y los espacios de circulación, que evitan la forma de pasillo y son espacios de distribución con almacenaje. También existen viviendas más pequeñas que dan a una sola fachada.

En el edificio tipo C, las viviendas son pasantes y se organizan siguiendo la estructura. El espacio de día ocupa una banda estrecha que cruza el edificio y los dormitorios se sitúan en una o dos bandas paralelas.

En todas las viviendas los espacios de día son diáfanos. En todos los tipos, los dormitorios tienen formas regulares y son intercambiables, esto permite un grado de adaptación de los espacios. La posibilidad de modificación de las distribuciones es muy diferente. El esquema en bandas de los tipos A y B, es muy similar a la propuesta por N John Habraken en “Diseño de Soportes”. Esta configuración permite una gran libertad de configuraciones sin modificar la estructura. En el tipo C, la configuración es más rígida.



Planta edificio



Planta tipo vivenda



10. Bremer Punkt

Lin Architects Urbanists
Bremen (GEWOBA)
PB+3

El edificio se sitúa en una zona de densidad media de la ciudad alemana de Bremen. Se trata de un prototipo de bloque de viviendas en serie. Es un volumen regular exento de reducidas dimensiones, aproximadamente 800m^2. Con una superficie habitable de entre 44-58m^2, se ofrecen estos apartamentos como viviendas más asequibles sin renunciar a la calidad espacial. La multiplicidad y gran adaptabilidad del sistema ofrece la personalización de la configuración de vivienda al usuario/a.

En este primer proyecto se diseña como un núcleo abierto de balcones de circulación. En prototipos posteriores se prueba con un núcleo interior que ofrece más configuraciones posibles en planta.

El edificio está construido con una combinación de tecnologías. Los elementos portantes del cerramiento, se construyen con un sistema de entramado de madera. Los elementos del suelo son de hormigón armado o de un compuesto optimizado de madera y hormigón (TCC). Las zonas de circulación están concebidas en hormigón armado, lo que refuerza las cargas horizontales del edificio y sirve de vía de evacuación principal.



Documentación gráfica: Lin Architects Urbanists

En el primer edificio de la serie, el núcleo de comunicaciones se ubica en una banda a lo largo de una de las fachadas. Esta disposición deja un espacio regular de una luz próxima a los 9 metros. En las versiones posteriores, el núcleo de comunicaciones se sitúa en una zona central, dando a una fachada. El espacio destinado a las viviendas tiene forma de U, lo que permite reducir la luz de los forjados.

En la primera versión la configuración estructural no aprovecha los condicionantes del entramado ligero, que cumple principalmente la función de cierre. En las siguientes versiones se mejora este aspecto. La solución de hacer un volumen aislado supone un condicionamiento urbanístico, sin embargo, las estrategias constructivas y espaciales que propone este proyecto se pueden aplicar en otras situaciones, como pueden ser las viviendas entre medianeras.

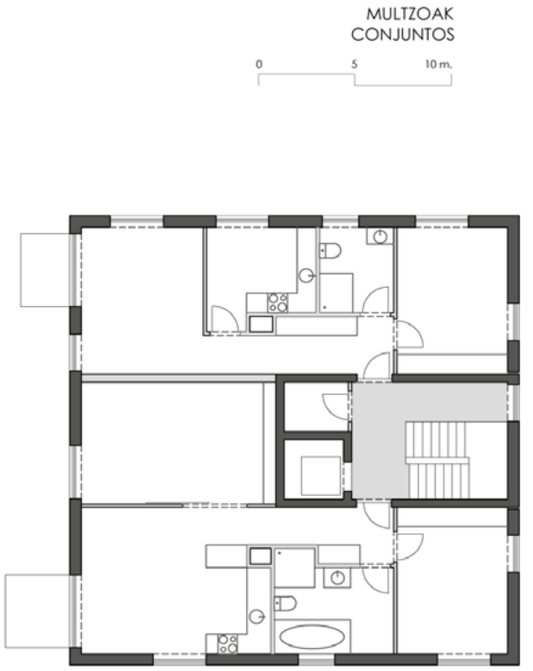
La solución formal de las viviendas es adecuada para la construcción con entramado ligero. Las viviendas están configuradas por espacios de formas regulares, interconectados sin espacio específicos de circulación. Las proporciones similares de estos espacios, hace que sean intercambiables. Esta distribución de los espacios es una opción tradicional de la que existen versiones recientes, de gran valor, que se adaptan muy bien a los modos de vida actuales.





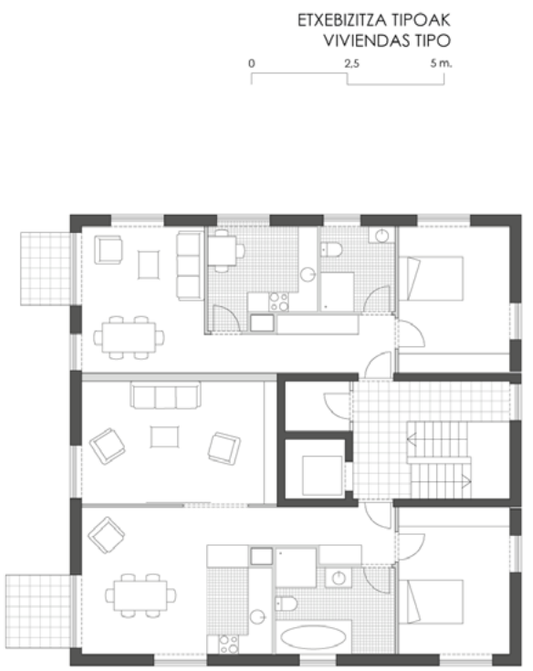
Planta edificio





Planta tipo vivenda





REFERENCIAS

Aguirre de Yraola, F. (1973). Conceptos actuales sobre la industrialización de la construcción en Europa. Arquitectura, (174), junio.

Aguirre de Yraola, F. (1965). La industrialización de elementos constructivos de grandes dimensiones en Polonia. Informes de la Construcción, (171), junio.

Álvarez Domínguez, T. (1974). La prefabricación de viviendas en España: una corta experiencia. Cercha, (14), tercer trimestre, pp. 18-22.

Burgo de las Naciones. (1965). Albergue provisional de peregrinos en Santiago de Compostela. Hogar y Arquitectura, (58), mayo-junio, pp. 3-10.

Del Águila, A. (1974). Implantación de la industrialización: sus métodos y su problemática. Hogar y Arquitectura, (112), mayo-junio, p. 25.

De la Hoz, R. (1960). Plan de industrialización de construcción de viviendas. Arquitectura, (18), junio.

Fernández, J.M. (1976). Realizaciones de la OSH en construcción industrializada. Madrid: Gabinete Técnico del Sindicato Nacional de la Construcción.

Fernández-Huidobro, R. (1968). La enseñanza de las nuevas técnicas en las escuelas de Arquitectura. Arquitectura, (110), febrero.

Flores, C. (1959). 60 días para la arquitectura: notas sobre la arquitectura sueca. Hogar y Arquitectura, (21), marzo-abril, pp. 32-48.

Flores, C. (1964). El arquitecto ante el futuro. Hogar y Arquitectura, (52), mayo-junio, pp. 15-17.

Flores, C. (1972). La construcción industrializada. Hogar y Arquitectura, (102), septiembre-octubre.

Galván, G. (1974). La construcción industrializada. Cercha, (15), cuarto trimestre, pp. 36-43.

Safdie, M. (1969). La edificación industrializada. Temas de Arquitectura, (117), marzo.

Cádenas Rodriguez, I. (2022). Arquitectura de emergencia en España en los años 60, primeros pasos de la prefabricación ligera: Análisis constructivo de las U.V.A.S de Córdoba.

García García, R. (2016). Habitación y gran número. Los grandes conjuntos de vivienda prefabricados en España. En: II Seminario Internacional G+I_PAI. Cadenas de montaje / Assembly lines, 19-20 febrero 2015, Madrid. ISBN 978-84-608-5986-4, pp. 211-235.

López del Corral, J. J. (2009). Informes de la construcción, 61(513), 101-109

Cassinello, P. (2008). Eduardo Torroja y la industrialización de la “machine à habiter”, 1949-1961. Informes de la Construcción. 60 (512), 5-18.

Burón Maestro, M., & Femández-Ordoñez Hdez., D. (1997). Evolución de la prefabricación para la edificación en España. Medio siglo de experiencia. *Informes De La Construcción*, 48(448), 19-33.

Cassinello Plaza, M.J. (2013). Propuestas Laminares del Concurso Internacional de Viviendas convocado por Eduardo Torroja en 1949. En *Actas del Octavo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Madrid, páginas 179-187.

Corazón Rural, Á., & Arsic, J. (2019, diciembre 13). La utopía brutalista: las luces y las sombras del nuevo urbanismo ideado por la Unión Soviética. *Xataka*.

De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico. (2008). *Informes de la Construcción*, 60(512), 19-34.

Fernández Piñar, C. (2016). Dos propuestas de prefabricación de la casa de madera en el contexto de la 2ª Guerra mundial: el AA-System de Alvar Aalto y el Packaged House de Gropius y Konrad Wachsman. *Actas II Seminario sobre patrimonio arquitectónico e industria. "Cadenas de montaje". La Utopía de la arquitectura como producto industrializado*. ETS Arquitectura (UPM).

Levitt Bernstein. Offsite: design meets manufacture.

Sarmiento Ocampo, J. (2013). Antecedentes de la vivienda industrializada como propuesta ecológica. *HITO Revista de Arquitectura*, 27, págs. 28-41.

Sarmiento, J. (2017). Vivienda industrializada: antecedentes en el mundo y propuesta al déficit de vivienda social en Colombia. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 10(20), 79-96.

Serra Soriano, B., Díaz Segura, A., Merí de la Maza, R. (2016). Estudio y aplicación del sistema balloon frame a la industrialización de la vivienda: el caso de las American System-Built Houses de Frank Lloyd Wright. *Informes de la Construcción*, 69(546): e190.

Wadel Raina, G.F. (2009). La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: la construcción modular ligera aplicada a la vivienda. Tesis doctoral, UPC, Capítulo 4.

Fernández Ordóñez, J.A. (1973). Arquitectura y Represión. Seminario de prefabricación.

Archivo General de la Administración de la Comunidad Autónoma de Euskadi.

Archivo Municipal de Bilbao.

Archivo y Biblioteca de la delegación en Bizkaia del COAVN.

Archivo y biblioteca del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.

Bilbao Larrondo, L. (2006). Algunas consideraciones sobre la historia de la industrialización de viviendas durante el Desarrollismo (1960-1975): la aportación bilbaína al debate de la industrialización de la vivienda. Informes de la Construcción, 58(502), 49-62.

Bilbao, L. (2014). La herencia científica del Instituto Eduardo Torroja en Bilbao (1960-1980). Informes de la Construcción, 66(533), e011.

Bilbao Larrondo, L. (2016). El pensamiento norteamericano en Bilbao (1948-1968). Una vía hacia la modernidad española. Arbor, 192(781), a352.

Bilbao Larrondo, L. (2022). La vía científica en Bilbao durante el franquismo: arquitectura, urbanismo y vivienda. Kobie Anejo, 24. Bilbao: Diputación Foral de Bizkaia, Servicio de Patrimonio Cultural.

Bilbao Larrondo, L. (2023). La arquitectura de Bilbao en los años sesenta del siglo XX. La modernidad recuperada. En Lorente Bilbao, J.I. y Bilbao Larrondo, L., Ciudades-post-utópicas: paisajes de interacciones estético-artísticas en proyección de futuro. Madrid: Abada Editores S.L.

Gómez Jáuregui, V. (2009). Habidite: viviendas modulares industrializadas. Informes De La Construcción, 61(513), 33–46.

Bilbao Larrondo, L. (mayo 2010). José Luis Calvo Casas y la prefabricación de viviendas en Bizkaia. Aldizkaria, 171, 6-9.

04

Proyecto Piloto

33 VPOa Sopela-Asu: estudio de la aplicación de distintos sistemas a un caso real

- **4.1.** 12 propuestas para el Proyecto Piloto
- **4.2.** Sistemas Estructurales Industrializados
- **4.3.** Categorías. Grado de Industrialización
- **4.4.** Diseño arquitectónico: Optimización del Diseño Industrializado
  - **4.4.1**. DfMA (Design for Manufacture and Assembly)
  - **4.4.2**. Modulación
  - **4.4.3.** Estandarización, Seriación y Personalización
- **4.5.** Diseño arquitectónico: el Diseño para el Desmontaje y la Adaptabilidad según la ISO 20887 (DfD/A)
  - **4.5.1**. Adaptabilidad
  - **4.5.2**. Diseño para el Desmontaje (DfD)
  - **4.5.3.** Durabilidad
- **4.6.** Diseño arquitectónico: Condiciones de Habitabilidad
  - **4.6.1**. Condiciones espaciales y de funcionalidad: requisitos básicos
  - **4.6.2**. Confort y Salud. Vibraciones
- **4.7.** Calidad Constructiva
- **4.8.** Sostenibilidad Ambiental - LEVEL(s) Macroobjetivos
- **4.9.** Sostenibilidad Económica. Coste del Ciclo de Vida
- **4.10.** Aspectos sociales
  - **4.10.1**. Seguridad y Salud
  - **4.10.2**. Inclusión. Equidad de género
  - **4.10.3**. Análisis de las propuestas para el proyecto piloto (fase 2): SOPELA-ASU 33VPOa
- Referencias

4.1 12 propuestas para el Proyecto Piloto: Sopela-Asu 33 VPOa

El proceso de Contratación Pública de Innovación, mediante Diálogo Competitivo, para el Proyecto Piloto del Plan de Industrialización de Visesa, Sopela-Asu 33 VPOa, se ha desarrollado en 2 fases:

FASE 1 Apertura del procedimiento, solicitudes de participación y selección de Candidaturas

Para esta primera fase se recibieron 12 solicitudes de participación en el Diálogo Competitivo.

Categoría		CONSTRUCTORA	ARQUITECTURA	INDUSTRIAL
Hormigón 2D	Propuesta 1	Obras Especiales	Arkigest Estudioa	Viguetas Navarras
Hormigón 2D	Propuesta 2	Sukia	dAAr Arquitectura	Exitu (Cándido Zamora)
Hormigón 2D	Propuesta 3	Altuna y Uria	Fiark + Dasein Ingenieros	Sei System + Prehorquisa
Hormigón 2D	Propuesta 4	Avintia	i2G	Ávita
Steel Frame	Propuesta 1	ACR	Varquitectos	Afca Teccon
Steel Frame	Propuesta 2	Amenabar	Typsa	BHS
Módulos 3D Acero	Propuesta 1	Viuda de Sainz	BIEME + XLark	JIT Housing
Módulos 3D Acero	Propuesta 2	Ocisa	Jorge Cuevas	Goierry Valley
Módulos 3D Acero	Propuesta 3	Bauen	JAAM	Neoblock
Madera CLT		Conscytec (Eiffage)	AGVAR	Xilonor (Finsa) / Madergia
Madera. Entramado ligero		UTE Moyua - Bycam	Esparza Arquitectura	Medgon + Porcelanosa
Madera Mixto		Egoin / Woodea	López Rivera / Societat Orgànica	Egoin

FASE 2 Diálogo con los candidatos

Una vez analizada la documentación se seleccionó a 8 finalistas, de los que **6 han desarrollado sus propuestas en Fase 2.**

Categoría		CONSTRUCTORA	ARQUITECTURA	INDUSTRIAL
Hormigón 2D	Propuesta 1	Obras Especiales	Arkigest Estudioa	Viguetas Navarras
Hormigón 2D	Propuesta 2	Sukia	dAAr Arquitectura	Exitu (Cándido Zamora)
Steel Frame	Propuesta 1	ACR	Varquitectos	Afca Teccon
Módulos 3D Acero	Propuesta 1	Viuda de Sainz	BIEME + XLark	JIT Housing
Madera CLT		Conscytec (Eiffage)	AGVAR	Xilonor (Finsa) / Madergia
Madera. Entramado ligero		UTE Moyua - Bycam	Esparza Arquitectura	Medgon + Porcelanosa

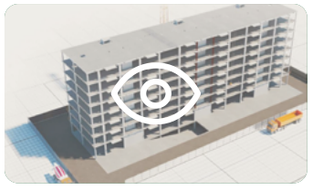
El trabajo desarrollado por los equipos participantes en la Fase 2 del Diálogo Competitivo va a ser el hilo conductor de este capítulo 4, y va a permitir reflexionar sobre distintos aspectos a atener en cuenta en la incorporación de sistemas y procesos industrializados en la promoción de viviendas de protección oficial en alquiler.

Diálogo competitivo: Fase 1



STEEL FRAME

TYPSA
AMENABAR
BHS



HORMIGÓN 1D + 2D

FIARK + DASEIN INGENIEROS
ALTUNA Y URIA
SEI SYSTEM + PREHORQUISA



HORMIGÓN 2D

TYPSA
AMENABAR
BHS



MÓDULOS 3D ACERO

JAAM
BAUEN
NEOBLOCK



MÓDULOS 3D ACERO

JORGE CUEVAS
OCISA
GOIERRY VALLEY

Diálogo competitivo: Fase 2



STEEL FRAME

VARQUITECTOS
ACR
AFCA TECCON



MADERA CLT

AGVAR
CONSCYTEC (EIFFAGE)
XILONOR (FINSA) /
MADERGIA



LIGERO DE MADERA

ESPARZA ARQUITECTURA
UTE MOYUA-BYCAM
MEDGON + PORCELANOSA



HORMIGÓN 2D

ARKIGEST ESTUDIOA
OBRAS ESPECIALES
VIGUETAS NAVARRAS



HORMIGÓN 2D

DAAR ARQUITECTURA
SUKIA
EXSITU (CANDIDO ZAMORA)



MÓDULOS 3D ACERO

BIEME + XLARK
VIUDA DE SAINZ
JIT HOUSING



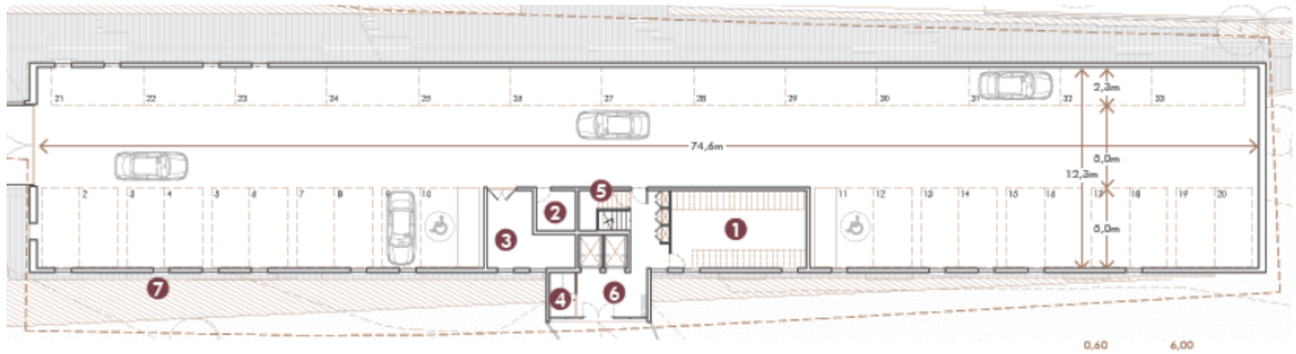
DIÁLOGO COMPETITIVO	**PARTICIPACIÓN EN FASE 1**
SISTEMA	**STEEL FRAME**
ARQUITECTURA	**TYPSA**
CONSTRUCTORA	**AMENABAR**
INDUSTRIAL	**BHS**

Organización general

La propuesta de 33 viviendas se desarrolla en un volumen con un portal único y se distribuye en PB + 3 plantas. La planta sótano acogerá las funciones de acceso al bloque, aparcamiento y estancias técnicas y las siguientes tres plantas viviendas y núcleo de comunicación.

DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA

Planta sótano



Planta tipo



Sótano

El sótano se plantea con forjado de placas alveolares y muro de carga prefabricado. Se consigue una planta libre de pilares.

Plantas altas

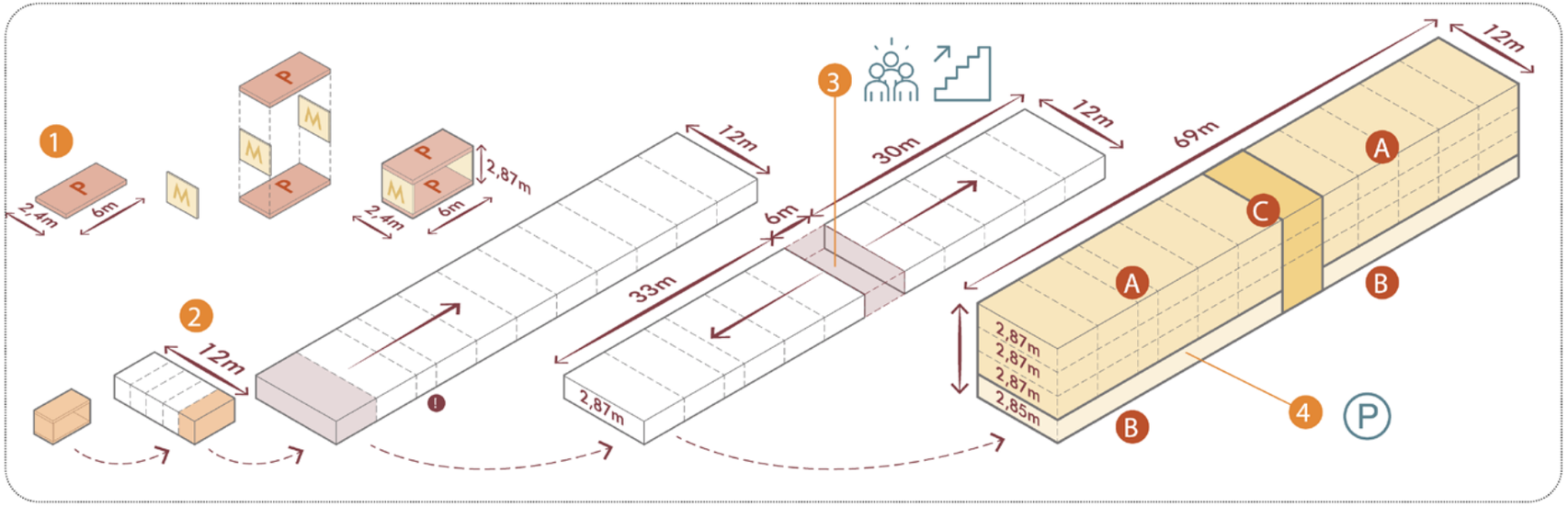
Sistema de paneles 2D industrializados. Se proponen forjados mixtos de vigas de acero y tableros de madera, apoyados cada seis metros en muros de carga conformados a base de entramado ligero de acero. El núcleo de comunicaciones y espacio comunal se realizan con estructura metálica.

Otros componentes industrializados

Las unidades de baño y cocina son módulos 3D completamente offsite, de estructura de acero galvanizado, placa de cartón yeso y revestimiento interior.

Los balcones se plantean como unidades 3D independientes que se adosan al volumen principal.

SISTEMA INDUSTRIALIZADO



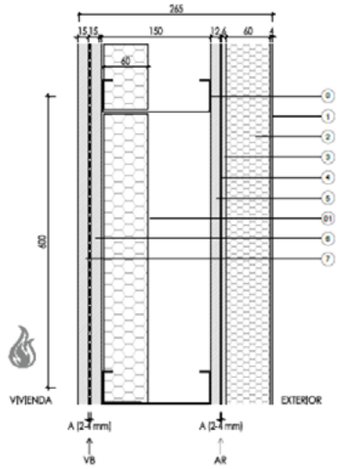
GRADO DE INDUSTRIALIZACIÓN. SAREN

ESTRUCTURA	4,00 / 4,00
FACHADAS	3,00 / 4,00
PARTICIONES Y ACABADOS	2,25 / 3,00
TOTAL	**9,25 / 11**

SISTEMA INDUSTRIALIZADO

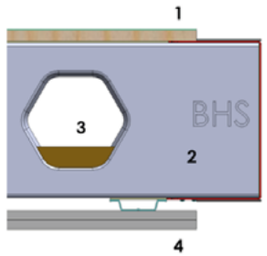






Fachada (de ext. a int.)

1. Acabado aherido
2. Panel sándwich
3. Tablero de madera
4. Barrera de vapor
5. Tablero de madera
01. Lana de roca
6. Placa de yeso
7. Placa de yeso

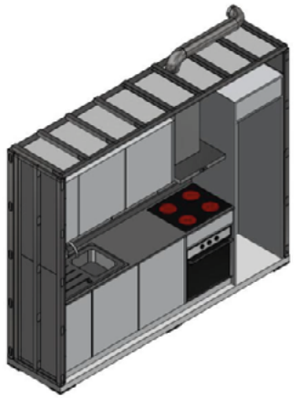


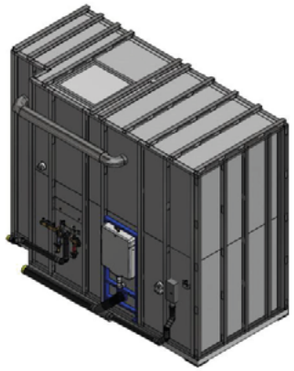
Forjado

1. Tablero madera contrachapada
2. Entramado ligero de acero
3. Lana de Roca
4. Protección al fuego

OTROS COMPONENTES

Módulos 3D de cocinas y baños





← Ver todas las fichas

4/4



DIÁLOGO COMPETITIVO	**PARTICIPACIÓN EN FASE 1**
SISTEMA	**HORMIGÓN 1D + 2D**
ARQUITECTURA	**FIARK + DASEIN INGENIEROS**
CONSTRUCTORA	**ALTUNA Y URIA**
INDUSTRIAL	**SEI SYSTEM + PREHORQUISA**

Organización general

La propuesta de 33 viviendas se desarrolla en un volumen de tres plantas de altura, dentro de cuya alineación quedan integrados los espacios exteriores. El volumen se aligera con dos patios abiertos a fachada.

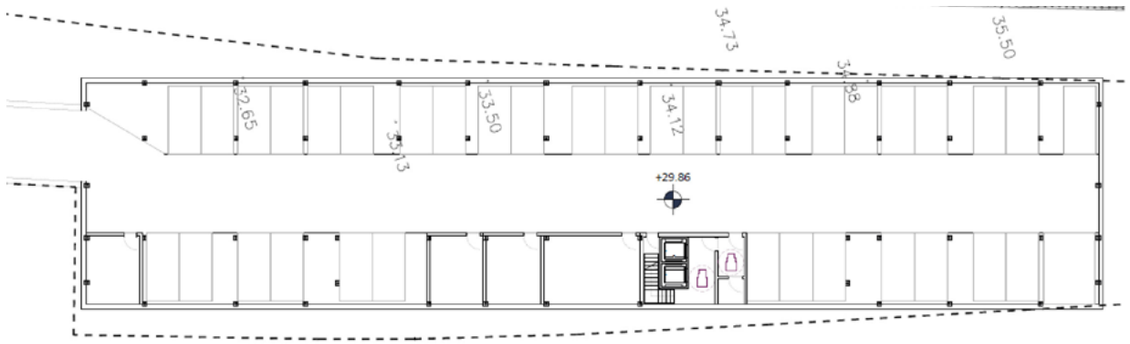
La planta sótano acogerá el aparcamiento, y las siguientes tres plantas, el portal, las viviendas y los núcleos de comunicación.

DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA

Planta sótano



Planta tipo



Sótano

La construcción del sótano se plantea con pilares prefabricados y forjado de placas alveolares pretensadas.

Plantas altas

Sistema de pilares, vigas y forjados de placas alveolares prefabricadas, con uniones entre en seco mediantepiezas metálicas propias del sistema.
Paneles 2D de fachada industrializados compuestos por una serie de capas que incorporan desde acabado interior, prestaciones térmica y acústicas, hasta carpinterías.

Otros componentes industrializados

Las unidades de baño son módulos 3D completamente offsite, de estructura de acero galvanizado, placa de cartón yeso y revestimiento interior.
Kits de instalaciones individuales por vivienda.

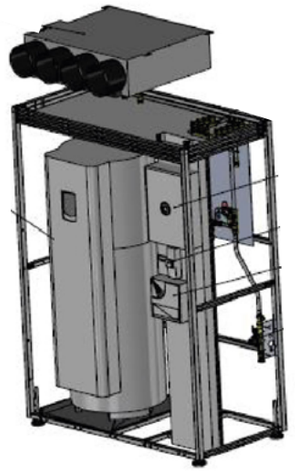
SISTEMA INDUSTRIALIZADO





OTROS COMPONENTES

kit de instalaciones



GRADO DE INDUSTRIALIZACIÓN. SAREN

ESTRUCTURA	3,00 / 4,00
FACHADAS	3,25 / 4,00
PARTICIONES Y ACABADOS	2 / 3,00
TOTAL	**8,25 / 11**

← Ver todas las fichas

3/3

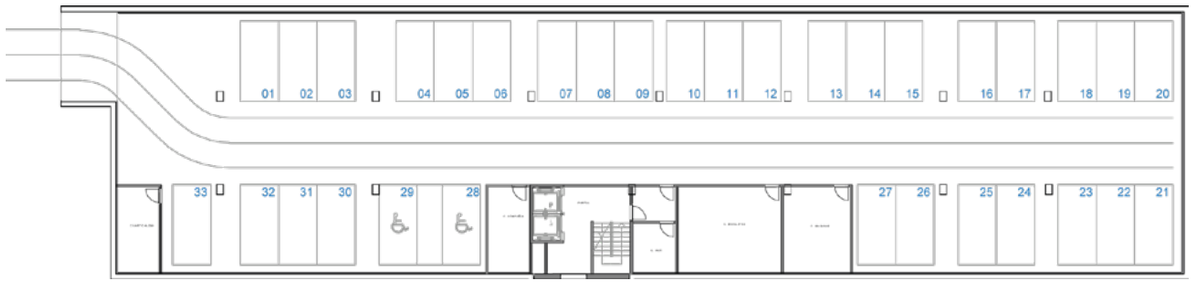


DIÁLOGO COMPETITIVO	**PARTICIPACIÓN EN FASE 1**
SISTEMA	**HORMIGÓN 2D**
ARQUITECTURA	**I2G**
CONSTRUCTORA	**AVINTIA**
INDUSTRIAL	**ÁVITA**

Organización general

La propuesta de 33 viviendas se desarrolla en un volumen compacto de tres plantas de altura, al que se adosan los espacios exteriores. La planta sótano acogerá el aparcamiento y el portal, y las siguientes tres plantas, las viviendas y el núcleo de comunicación vertical del edificio. Este último se completa en cada planta con un único pasillo de acceso a las viviendas.

Planta sótano



Planta tipo



Sótano

La construcción del sótano se plantea con pilares y vigas prefabricadas, doble muro perimetral de hormigón prefabricado con hormigonado interior in situ, y forjado de techo de placas alveolares y prelosas de hormigón prefabricado.

Plantas altas

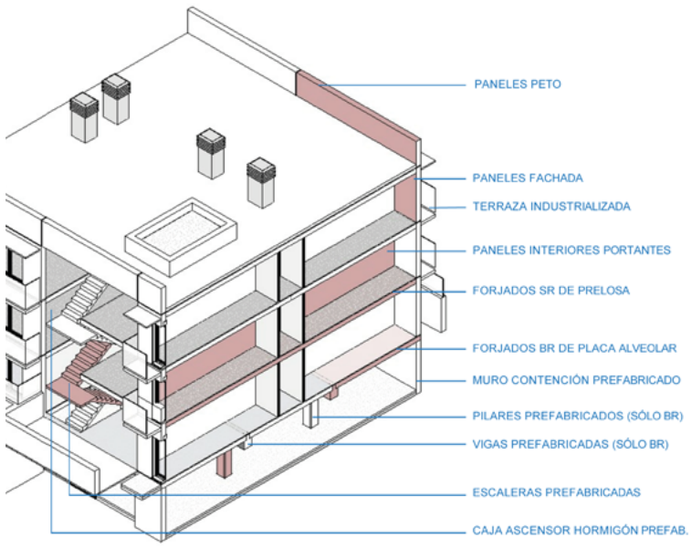
Sistema de paneles 2D industrializados compuestos por una serie de capas que incorporan desde instalaciones hasta acabado interior, prestaciones térmica y acústicas, carpinterías, paneles de fachada de hormigón de gran formato y estructura portante. La estructura portante se resuelve con paneles hormigón 2D prefabricados y placas alveolares prefabricadas.

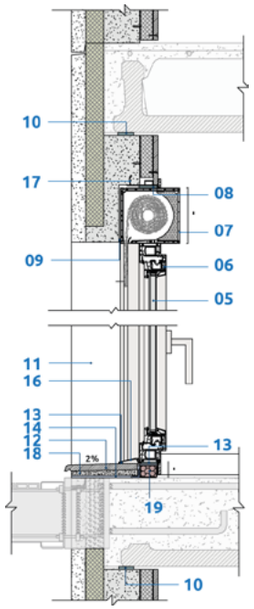
Otros componentes industrializados

Las unidades de baño son módulos 3D completamente offsite, de estructura de acero galvanizado, placa de cartón yeso y revestimiento interior.

Los balcones se plantean como unidades 3D independientes que se adosan al volumen principal.

SISTEMA INDUSTRIALIZADO





PANELES WALLEX MULTICAPA

- ☒ PANELES INTERIORES
- ☒ PANELES EXTERIORES O DE FACHADA

+

ELEMENTOS PREFABRICADOS

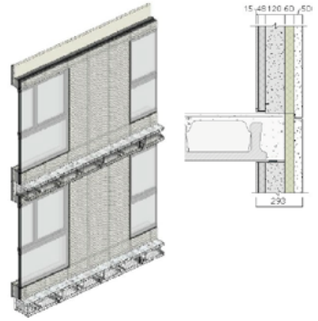
- ☒ FORJADOS DE PRELOSA (CON CAPA DE COMPRESIÓN)
- ☒ FORJADOS DE PLACA ALVEOLAR (CON CAPA DE COMPRESIÓN)
- ☒ VIGAS PREFABRICADAS
- ☒ ESCALERAS PREFABRICADAS
- ☒ NÚCLEOS DE ASCENSOR PREFABRICADOS

=

SISTEMA ESTRUCTURAL WALLEX

GRADO DE INDUSTRIALIZACIÓN. SAREN

ESTRUCTURA	2,75 / 4,00
FACHADAS	4,00 / 4,00
PARTICIONES Y ACABADOS	1,75 / 3,00
TOTAL	**8,50 / 11**

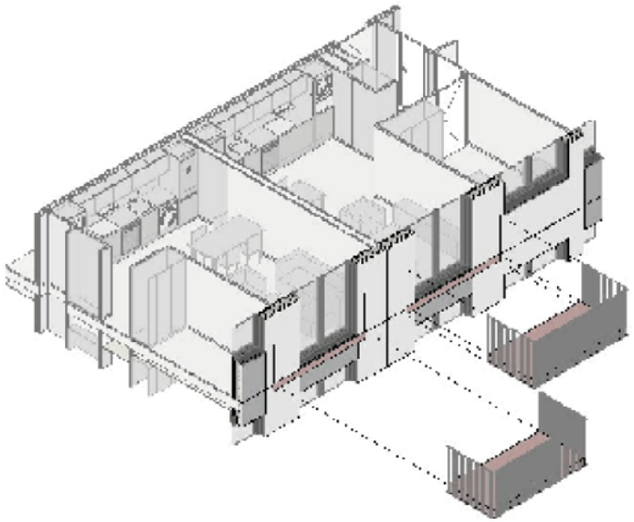


Fachada industrializada autoportante

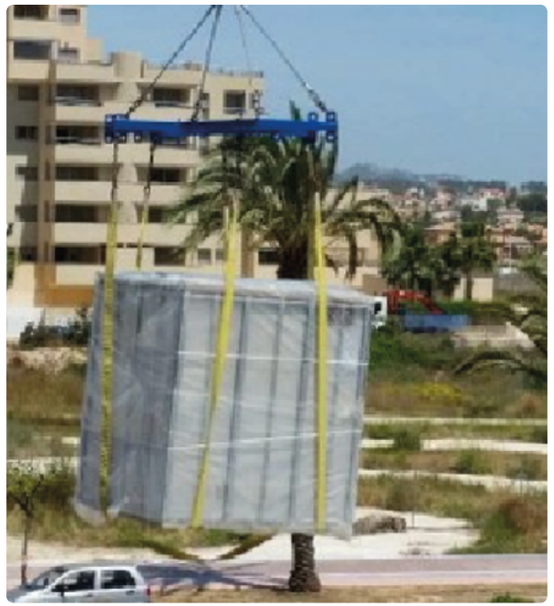
Fachada industrializada multicapa de hormigón, con aislamiento térmico continuo por el exterior, ausencia de puentes térmicos, acabado con pintura fotocatalítica de alta durabilidad y eficiencia.

OTROS COMPONENTES

Balcones industrializados



Módulos 3D de baños











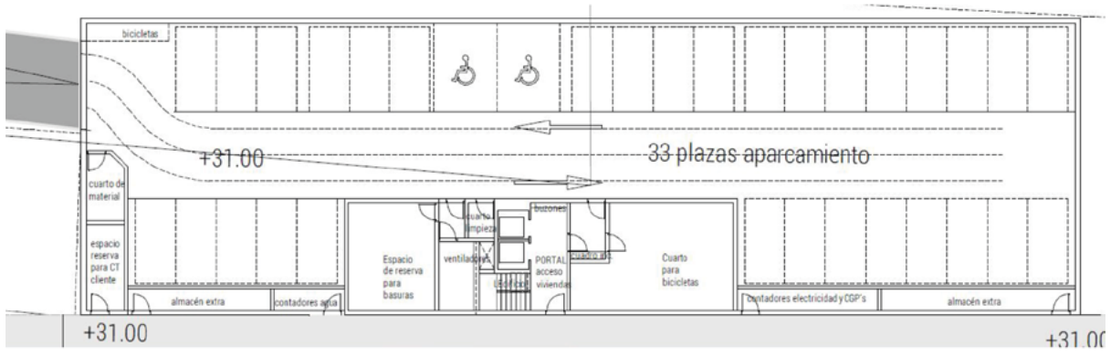
DIÁLOGO COMPETITIVO	**PARTICIPACIÓN EN FASE 1**
SISTEMA	**MÓDULOS 3D ACERO**
ARQUITECTURA	**JAAM**
CONSTRUCTORA	**BAUEN**
INDUSTRIAL	**NEOBLOCK**

Organización general

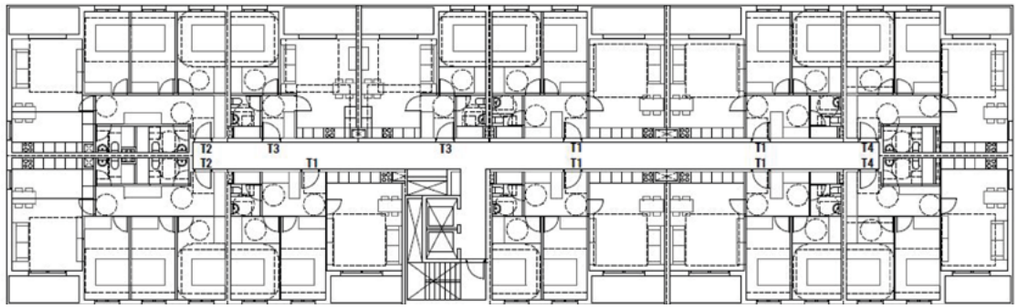
La propuesta de 33 viviendas se desarrolla en un volumen compacto de tres plantas de altura, dentro de cuya alineación quedan integrados los espacios exteriores. La planta sótano acogerá el aparcamiento y el portal, y las siguientes tres plantas las viviendas y el núcleo de comunicación vertical del edificio. Este último se completa en cada planta con un único pasillo de acceso a las viviendas.

DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA

Planta sótano



Planta tipo



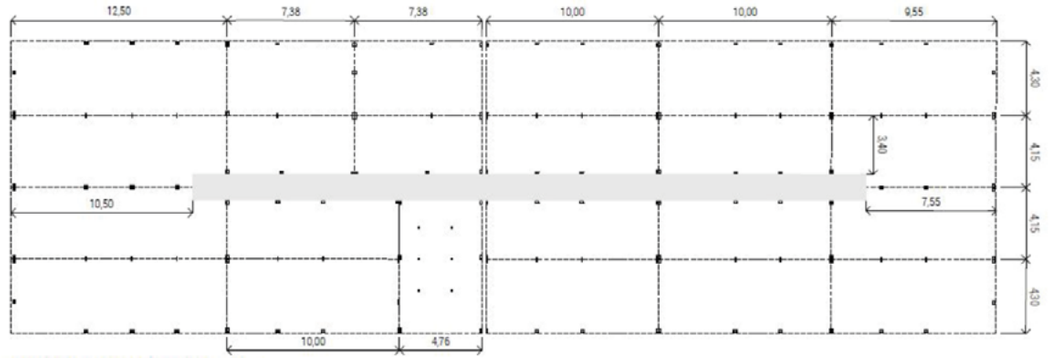
Sótano

El sótano se construirá con pilares, vigas y muros de hormigón prefabricado.

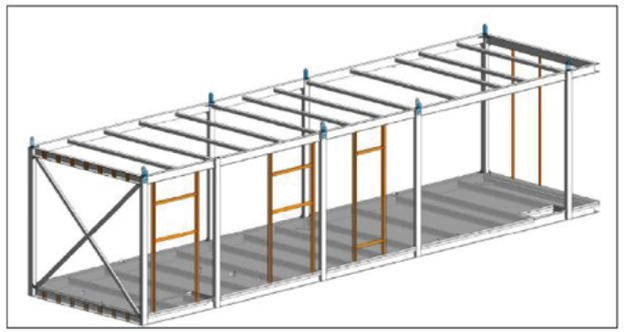
Plantas altas

Las plantas sobre rasante se plantean mediante módulos de estructura de acero con forjado colaborante de chapa de acero y hormigón armado. Estos módulos se apilan y acoplan. El núcleo de escalera y ascensor también sigue esta misma lógica. La fachada exterior es de hormigón prefabricado, todos sus componentes serán industrializados off-site, junto con el resto que componen el módulo.

SISTEMA INDUSTRIALIZADO



MODULACIÓN INDUSTRIALIZADA





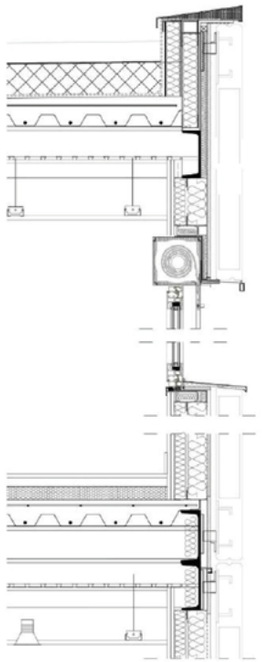






GRADO DE INDUSTRIALIZACIÓN. SAREN

ESTRUCTURA	4,00 / 4,00
FACHADAS	4,00 / 4,00
PARTICIONES Y ACABADOS	3,00 / 3,00
TOTAL	**11 / 11**



← Ver todas las fichas

3/3



DIÁLOGO COMPETITIVO	**PARTICIPACIÓN EN FASE 1**
SISTEMA	**MÓDULOS 3D ACERO**
ARQUITECTURA	**JORGE CUEVAS**
CONSTRUCTORA	**OCISA**
INDUSTRIAL	**GOIERRY VALLEY**

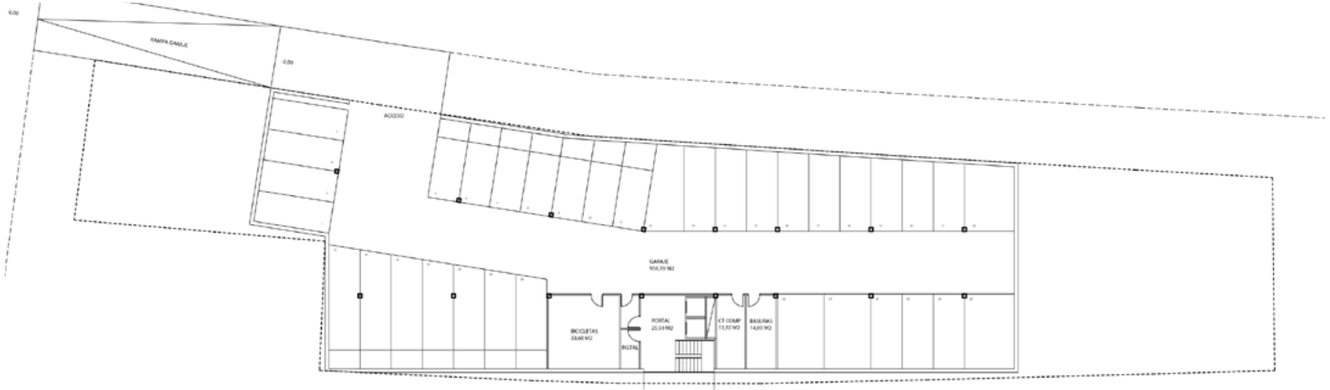
Organización general

La propuesta de 33 viviendas se desarrolla en cuatro volúmenes de tres y dos alturas que se articulan en torno a un núcleo vertical. Se disponen corredores exteriores, que sirven para ventilar e iluminar las estancias, además de dar acceso a las viviendas.

La planta sótano acogerá el aparcamiento y portal, y las siguientes tres plantas, viviendas y núcleo de comunicación vertical.

DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA

Planta sótano



Planta tipo



Sótano

No se especifica la composición constructiva del sótano.

Plantas altas

Las plantas sobre rasante se plantean mediante módulos de estructura de acero completamente prefabricados en seco. Estos módulos se apilan y ensamblan en seco. El núcleo de escalera y ascensor también sigue esta misma lógica. Los módulos están seriados, de forma que un mismo módulo puede componer distintas tipologías. La crujía de los SCK se resuelve con paneles horizontales 2D de estructura metálica.



← Ver todas las fichas

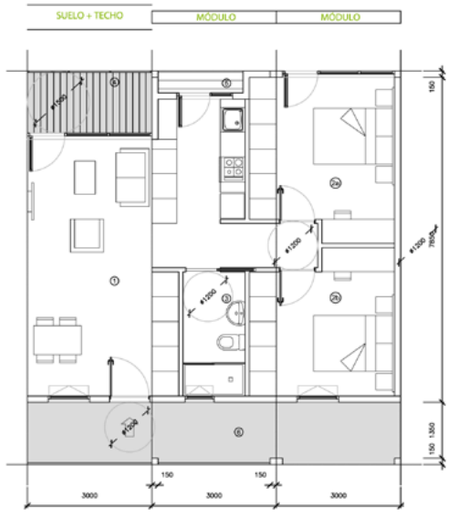
2/3

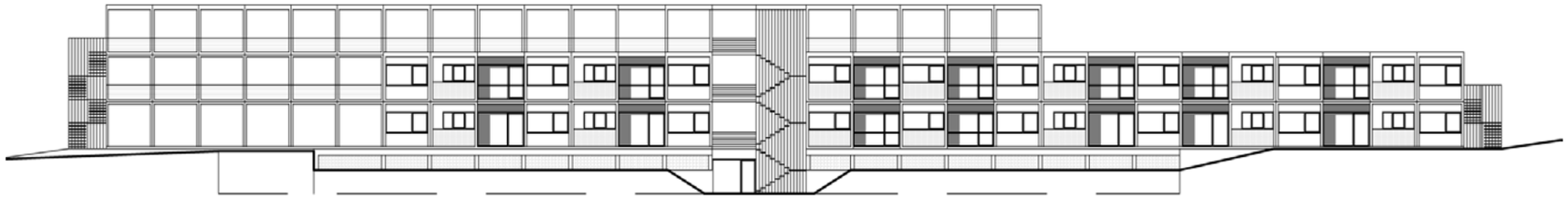
SISTEMA INDUSTRIALIZADO

Tipología 3H



Tipología 2H





GRADO DE INDUSTRIALIZACIÓN. SAREN

ESTRUCTURA	4,00 / 4,00
FACHADAS	4,00 / 4,00
PARTICIONES Y ACABADOS	3,00 / 3,00
TOTAL	**11 / 11**

← Ver todas las fichas

3/3



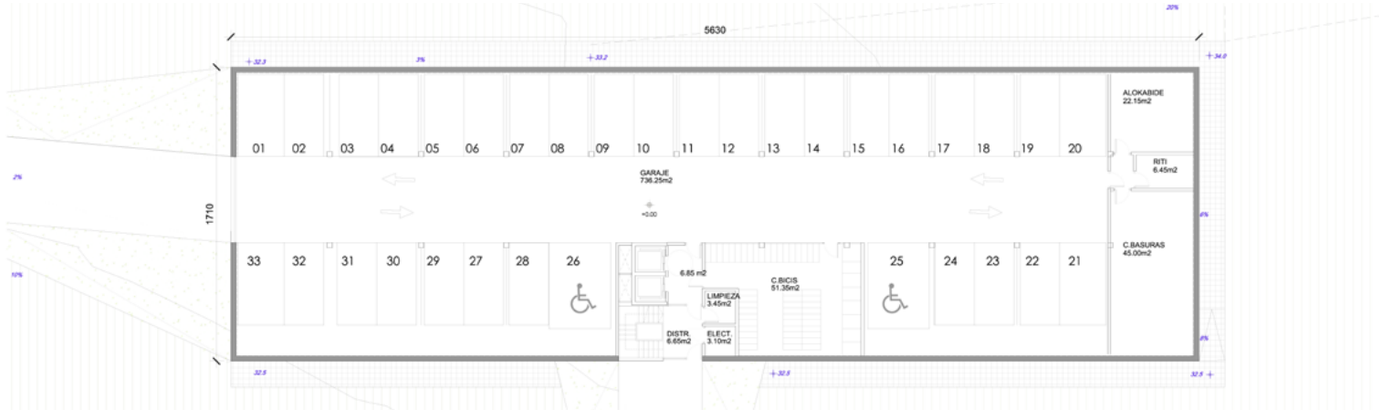
DIÁLOGO COMPETITIVO	**PARTICIPACIÓN EN FASE 2**
SISTEMA	**STEEL FRAME**
ARQUITECTURA	**VARQUITECTOS**
CONSTRUCTORA	**ACR**
INDUSTRIAL	**AFCA TECCON**

Organización general

La propuesta de 33 viviendas se desarrolla en un volumen compacto de tres plantas de altura, dentro de cuya alineación quedan integrados los espacios exteriores. La planta sótano acogerá el aparcamiento y el portal, y las siguientes tres plantas, las viviendas y el núcleo de comunicación vertical del edificio. Este último se completa en cada planta con un único pasillo de acceso a las viviendas.

DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA

Planta sótano



Planta tipo



Sótano

La construcción del sótano se plantea con muros perimetrales a base de doble muro prefabricado con hormigonado interior in situ y forjado tradicional.

Plantas altas

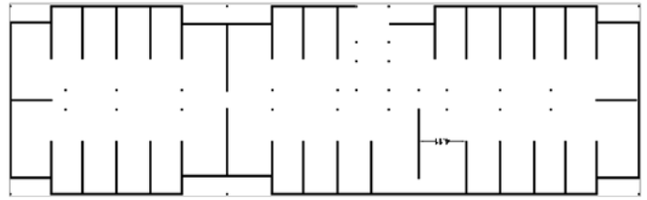
Sistema estructural Steel Frame 2D y pórticos de acero laminado, unidos mediante carriles guía con uniones mecánicas y forjados colaborantes.

Otros componentes industrializados

Se emplea estructura 3D de acero laminado para el núcleo de comunicaciones, escaleras y ascensores.

Las unidades de baño son módulos 3D completamente offsite, de estructura de acero galvanizado, placa de cartón yeso y revestimiento interior.

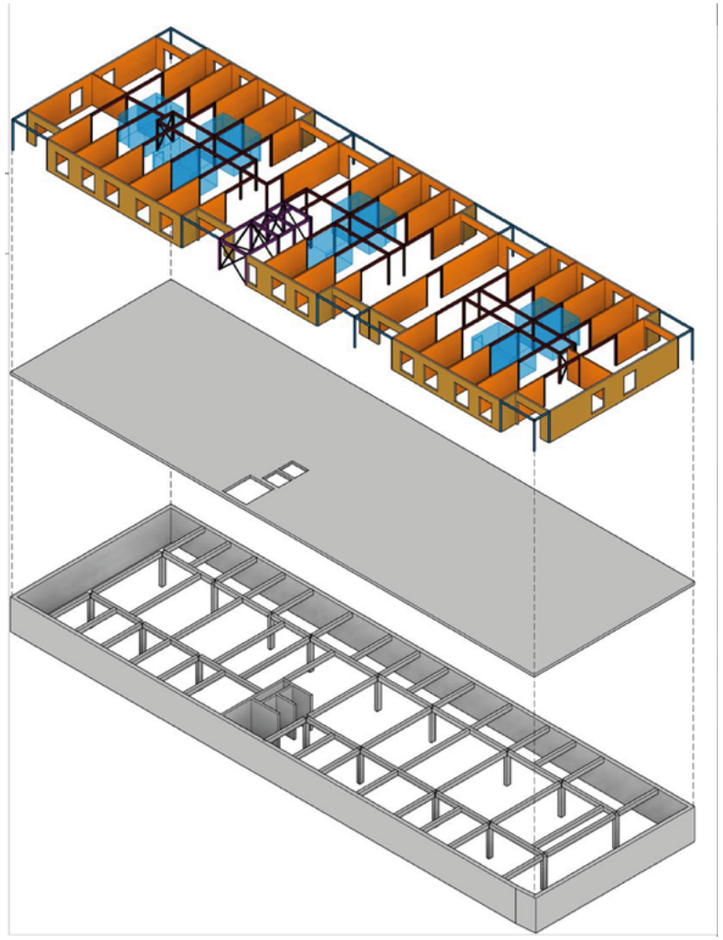
Esquema



← Ver todas las fichas

2/4

SISTEMA INDUSTRIALIZADO



GRADO DE INDUSTRIALIZACIÓN. MMC

TIPOLOGÍA EDIFICIO
Media

MATERIALES SÓTANO
(C) Hormigón, Componentes

CATEGORÍAS SÓTANO
Categoría 3: Pilotes cimentación de hormigón armado. Muros dobles de hormigón armado prefabricado, vertido de hormigón in-situ. Pilares y vigas prefabricados en hormigón. Forjado placa alveolar prefabricada y capa de compresión in situ. Categoría 4: Muros no estructurales de gaviones de malla y piedra.

MATERIALES PLANTAS
(TF) Madera, Paneles 2D Alto grado de industrialización.

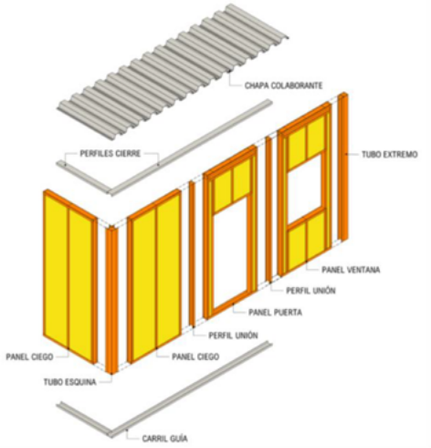
CATEGORÍAS PLANTAS
Categoría 2: Módulos 2D: Chasis estructural de entramado de madera + aislamiento + revestimientos y exteriores + carpintería. Forjados horizontales y cubierta prefabricados de entramado de madera + aislamiento. Particiones interiores estructura metálica. Categoría 3: Escaleras y Patinillos prefabricados. Categoría 4: Barandillas y balcones en acero.

Categoría 5: Compenentes 3D. Baños + cocina, incluyen estructura secundaria, cerramiento, componentes e instalaciones.

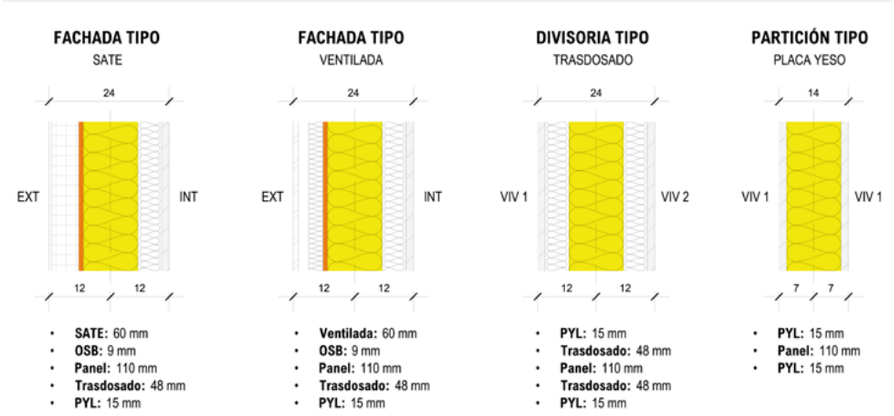
GRADO DE INDUSTRIALIZACIÓN. SAREN

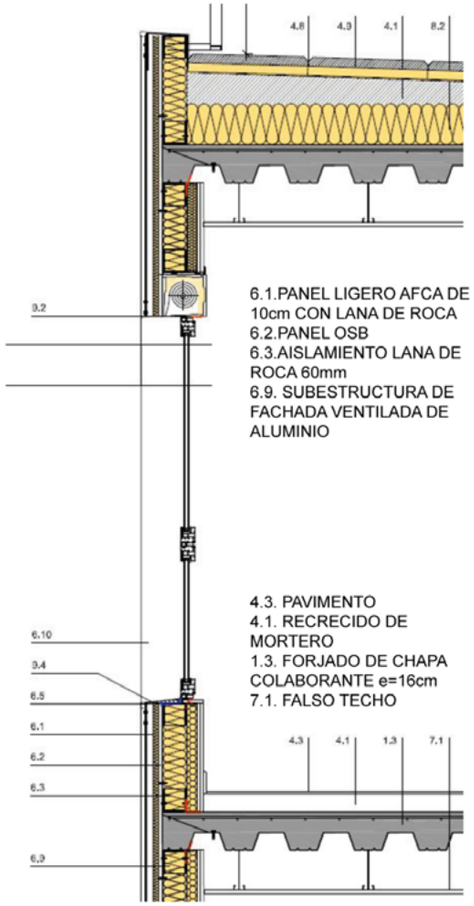
CIMENTACIÓN	0,20 / 0,30
SÓTANO	0,35 / 0,50
PLANTAS ALTAS	1,90 / 2,40
FACHADAS	1,90 / 2,40
PARTICIONES Y ACABADOS	0,92 / 1,80
CUBIERTAS	0,20 / 0,40
INSTALACIONES	2,30 / 2,30
OTROS ASPECTOS	0,30 / 0,90
TOTAL	**8,07 / 11**

DETALLES













← Ver todas las fichas

4/4



DIÁLOGO COMPETITIVO	**PARTICIPACIÓN EN FASE 2**
SISTEMA	**MADERA CLT**
ARQUITECTURA	**AGVAR**
CONSTRUCTORA	**CONSCYTEC (EIFFAGE)**
INDUSTRIAL	**XILONOR (FINSA) / MADERGIA**

Organización general

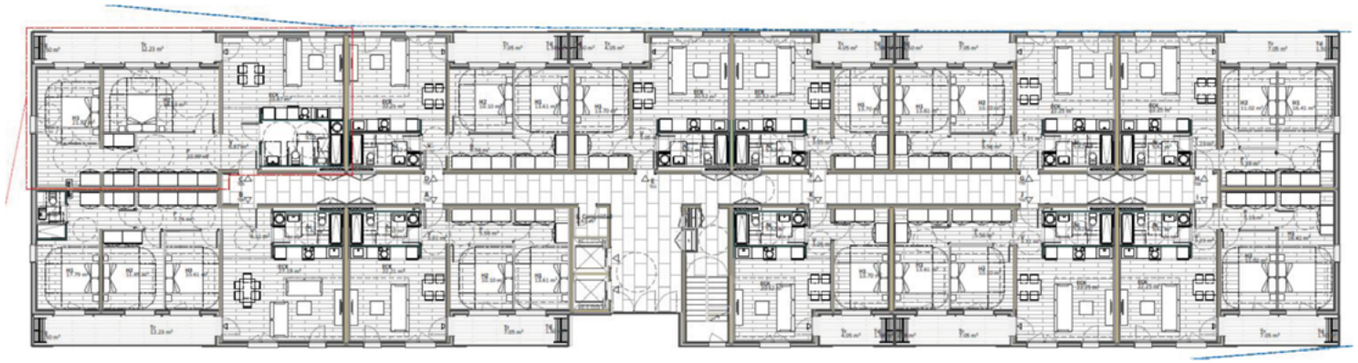
La propuesta de 33 viviendas se desarrolla en un volumen compacto de tres plantas de altura, dentro de cuya alineación quedan integrados los espacios exteriores. La planta sótano acogerá el aparcamiento y el portal, y las siguientes tres plantas, las viviendas y el núcleo de comunicación vertical del edificio. Este último se completa en cada planta con un único pasillo de acceso a las viviendas, iluminado a través del propio núcleo.

DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA

Planta sótano



Planta tipo



Sótano

La construcción del sótano se plantea con componentes off site: cimentación de pilotes prefabricados, muros perimetrales de gaviones, y forjado de techo de placas alveolares.

Plantas altas

El sistema constructivo en plantas de vivienda se resuelve por medio de paneles 2D de madera contralaminada CLT. Las fachadas tienen un alto grado de industrialización, que incluye aislamiento, entramado estructural ligero de madera, revestimiento exterior de fachada ventilada y carpintería.

Otros componentes industrializados

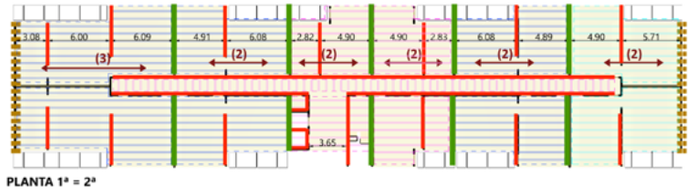
Se emplea estructura 3D de acero laminado para los espacios exteriores.

Módulos industrializados 3D completamente offsite para baños y cocinas, de estructura de acero galvanizado, placa de cartón yeso y revestimiento interior.

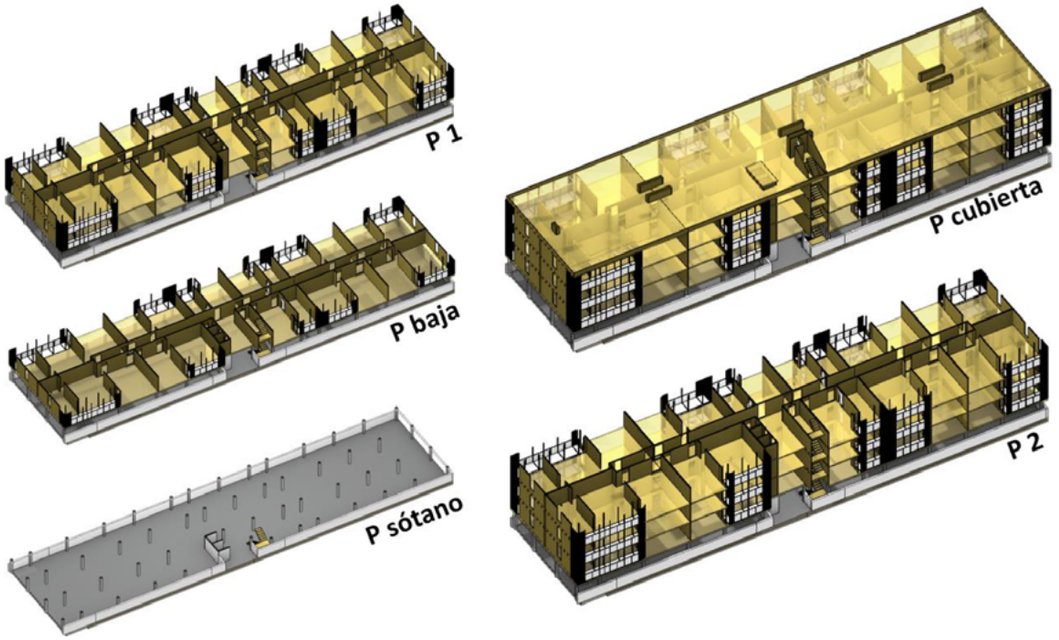
Escaleras en CLT.

Patinillos de instalaciones industrializados mediante bastidores de chapa y conducciones offsite.

Esquema



SISTEMA INDUSTRIALIZADO



GRADO DE INDUSTRIALIZACIÓN. MMC

TIPOLOGÍA EDIFICIO
Media

MATERIALES SÓTANO
(C) Hormigón, Componentes.

CATEGORÍAS SÓTANO
Categoría 3: Pilotes cimentación de hormigón armado. Muros dobles de hormigón armado prefabricado, vertido de hormigón in-situ. Pilares y vigas prefabricados en hormigón. Forjado placa alveolar prefabricada y capa de compresión in situ. Categoría 4: Muros no estructurales de gaviones de malla y piedra.

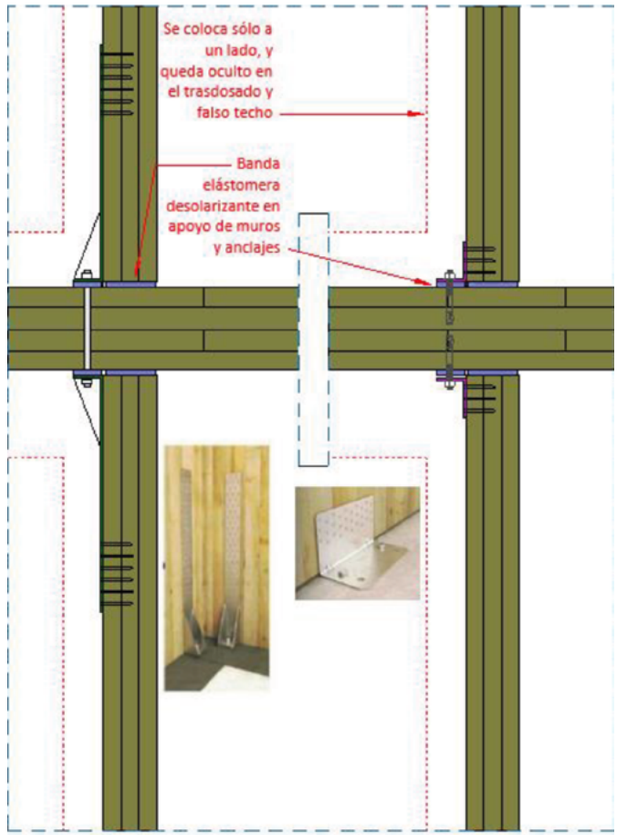
MATERIALES PLANTAS
(TF) Madera, Paneles 2D Alto grado de industrialización.

CATEGORÍAS PLANTAS
Categoría 2: Módulos 2D: Chasis estructural de entramado de madera + aislamiento + revestimientos y exteriores + carpintería. Forjados horizontales y cubierta prefabricados de entramado de madera + aislamiento.Particiones interiores estructura metálica. Categoría 3: Escaleras y Patinillos prefabricados. Categoría 4: Barandillas y balcones en acero. Categoría 5: Compenentes 3D. Baños + cocina, incluyen estructura secundaria, cerramiento, componentes e instalaciones.

GRADO DE INDUSTRIALIZACIÓN. SAREN

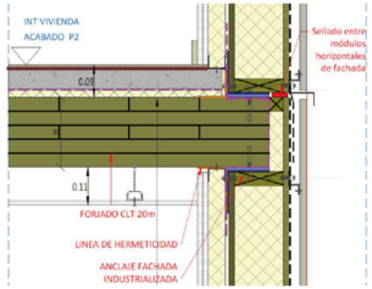
CIMENTACIÓN	0,01 / 0,30
SÓTANO	0,15 / 0,50
PLANTAS ALTAS	1,55 / 2,40
FACHADAS	0,80 / 2,40
PARTICIONES Y ACABADOS	0,99 / 1,80
CUBIERTAS	0,20 / 0,40
INSTALACIONES	1,00 / 2,30
OTROS ASPECTOS	0,35 / 0,90
TOTAL	**5,05 / 11**

DETALLES

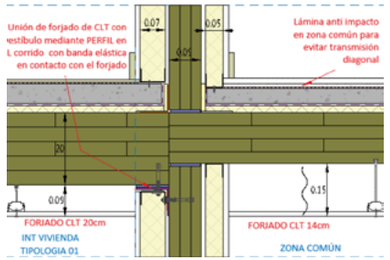


CONEXIÓN CLT EN VERTICAL
ANCLAJE ANTE LEVANTAMIENTO
EN ESQUINAS DE MUROS

CONEXIÓN CLT EN VERTICAL
ANCLAJE ANTE DESLIZAMIENTO
EN ZONA CENTRAL DE MUROS

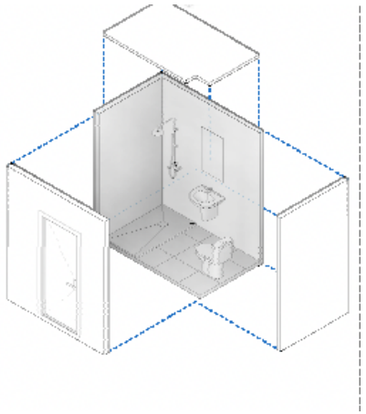


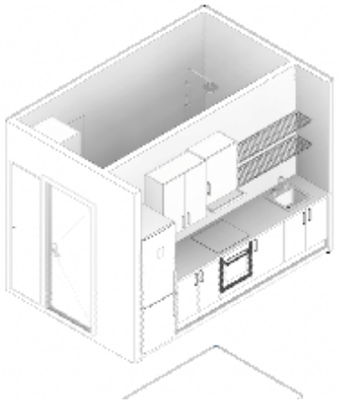
SECCIÓN VERTICAL DE ENCUENTRO DE MODULOS DE FACHADA Y FORJADO



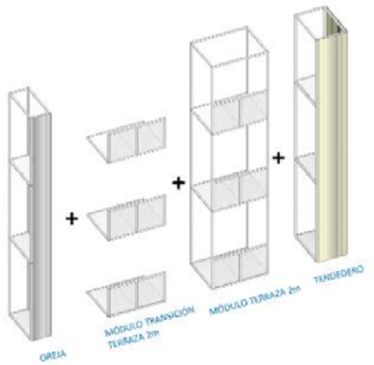
OTROS COMPONENTES

Módulos 3d de cocina - baño

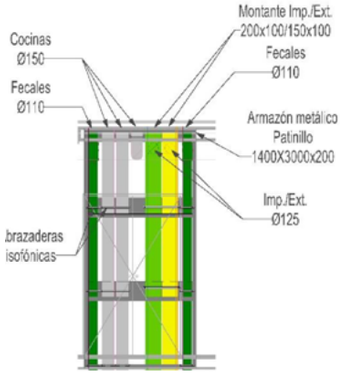




Balcones industrializados



Patinillos industrializados



← Ver todas las fichas

4/4



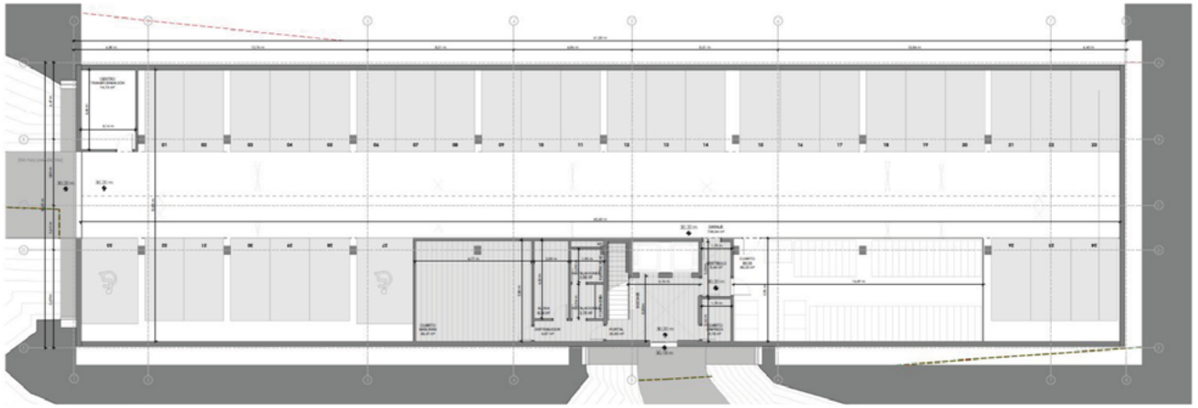
DIÁLOGO COMPETITIVO	**PARTICIPACIÓN EN FASE 2**
SISTEMA	**LIGERO DE MADERA**
ARQUITECTURA	**ESPARZA ARQUITECTURA**
CONSTRUCTORA	**UTE MOYUA-BYCAM**
INDUSTRIAL	**MEDGON + PORCELANOSA**

Organización general

La propuesta de 33 viviendas se desarrolla en un volumen compacto de tres plantas de altura, dentro de cuya alineación quedan integrados los espacios exteriores. La planta sótano acogerá el aparcamiento y el portal, y las siguientes tres plantas, las viviendas y el núcleo de comunicación vertical del edificio. Este último se completa en cada planta con un único pasillo de acceso a las viviendas.

DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA

Planta sótano



Planta tipo



Sótano

La construcción del sótano se plantea con vigas y pilares prefabricados de hormigón, y doble muro perimetral de hormigón prefabricado con hormigonado interior in situ.

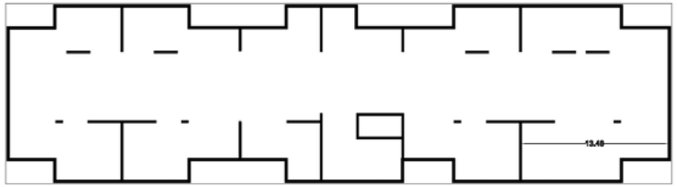
Plantas altas

Estructura vertical de paneles 2D de entramado ligero100% off-site. Forjados unidireccionales de entramado de madera. Los muros de fachada tienen un alto grado de industrialización, incluyendo fachada ventilada y carpinterías. Los elementos 2D, tanto muros como forjados, incluyen preinstalación eléctrica y telecomunicaciones desde fábrica.

Otros componentes industrializados

Las unidades de baño son módulos 3D completamente offsite, de estructura de acero galvanizado, placa de cartón yeso y revestimiento interior.

Esquema



← Ver todas las fichas

2/4

SISTEMA INDUSTRIALIZADO







GRADO DE INDUSTRIALIZACIÓN. MMC

TIPOLOGÍA EDIFICIO
Media

MATERIALES SÓTANO
(C) Hormigón, Componentes.

CATEGORÍAS SÓTANO
Categoría 3: Muros dobles de hormigón armado prefabricado, vertido de hormigón in situ. Pilares y vigas prefabricados. Forjado placa alveolar prefabricada y capa de compresión in situ.

MATERIALES PLANTAS
(TF) Madera, Paneles 2D Alto grado de industrialización.

CATEGORÍAS PLANTAS
Categoría 2: Paneles 2D: Chasis estructural de entramado de madera + aislamiento + revestimientos interior y exterior + capintería. Forjados off site, chasis estructural de entramado de madera + aislamiento. Particiones interiores off site, formadas por bastidor metálico, aislamientos y placas de yeso laminado por ambas caras. Categoría 4: Barandillas y tendederos prefabricados.

Categoría 5: Compenentes 3D. Baños: incluyen estructura secundaria, cerramiento, componentes e instalaciones.

Categoría 7: Implementación BIM en procesos Lean. Last planner System y 5S.

GRADO DE INDUSTRIALIZACIÓN. SAREN

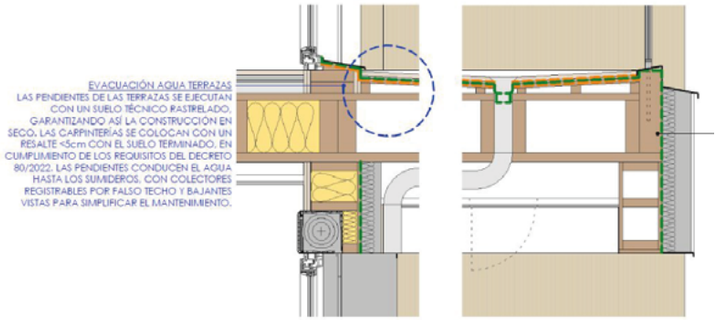
CIMENTACIÓN	0,03 / 0,30
SÓTANO	0,35 / 0,50
PLANTAS ALTAS	1,90 / 2,40
FACHADAS	2,30 / 2,40
PARTICIONES Y ACABADOS	0,99 / 1,80
CUBIERTAS	0,20 / 0,40
INSTALACIONES	0,90 / 2,30
OTROS ASPECTOS	0,28 / 0,90
TOTAL	**6,95 / 11**

DETALLES

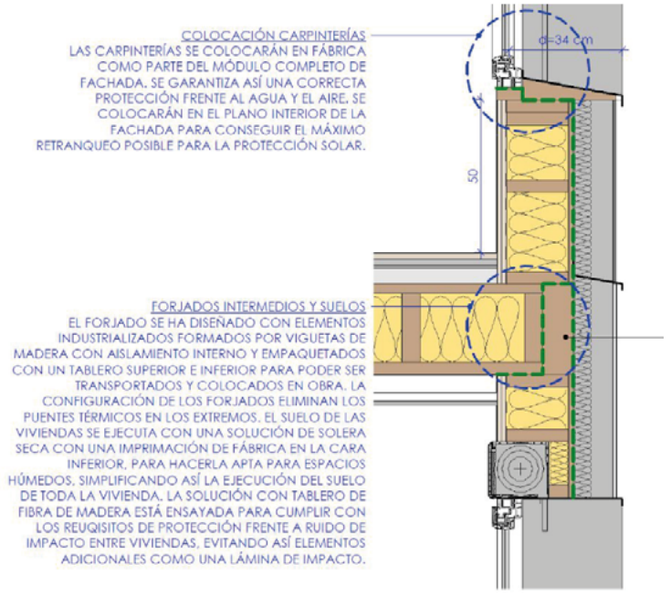
Detalle montaje



Detalle salida a terraza

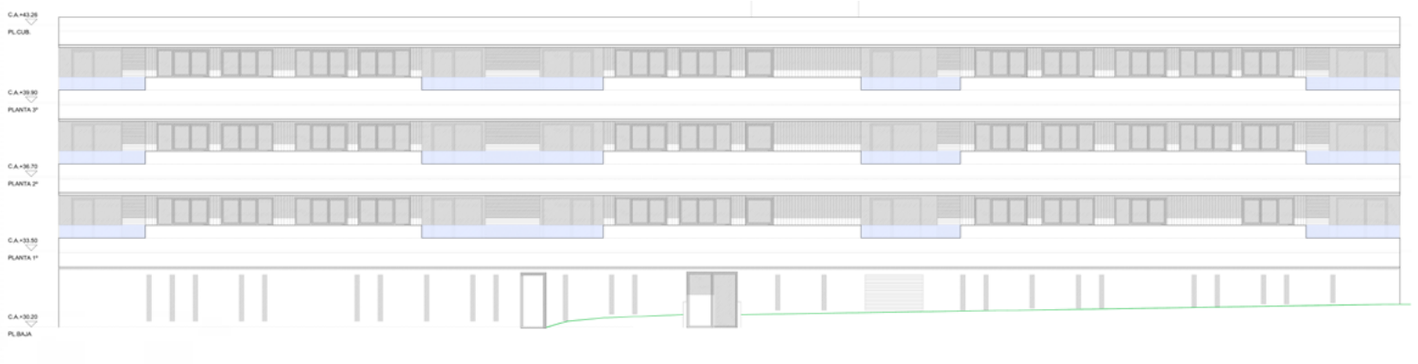


Detalle fachada tipo



← Ver todas las fichas

4/4







DIÁLOGO COMPETITIVO	**PARTICIPACIÓN EN FASE 2**
SISTEMA	**HORMIGÓN 2D**
ARQUITECTURA	**ARKIGEST ESTUDIOA**
CONSTRUCTORA	**OBRAS ESPECIALES**
INDUSTRIAL	**VIGUETAS NAVARRAS**

Organización general

La propuesta de 33 viviendas se desarrolla en un volumen compacto de tres plantas de altura, dentro de cuya alineación quedan integrados los espacios exteriores. La planta sótano acogerá el aparcamiento y el portal, y las siguientes tres plantas, las viviendas y el núcleo de comunicación vertical del edificio. Este último se completa en cada planta con un único pasillo de acceso a las viviendas. Los espacios exteriores quedan retranqueados dentro de la alineación del volumen.

DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA

Planta sótano



Planta tipo



Sótano

La construcción del sótano se plantea con pantallas y muros perimetrales a base de doble muro prefabricado con hormigonado interior in situ, y forjado de techo de placa alveolar pretensada.

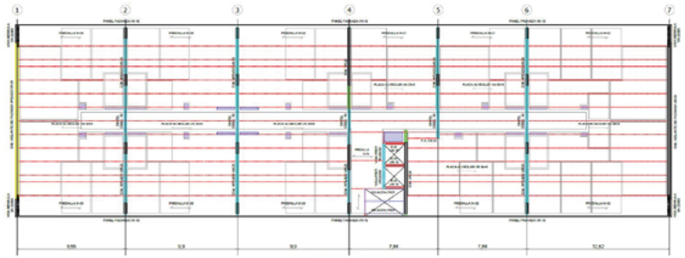
Plantas altas

Sistema de muros de carga de doble 2D industrializados a base de doble muro prefabricado de 25cm con hormigonado interior in situ. Las fachadas longitudinales se resuelven con paneles de hormigón arquitectónico con viseras de protección solar incorporadas. Los cierres de las terrazas retranqueadas se resuelven con una fachada tradicional de SATE.

Otros componentes industrializados

Las unidades de baño son módulos 3D completamente offsite, de estructura de acero galvanizado, placa de cartón yeso y revestimiento interior de cerámica.

Esquema

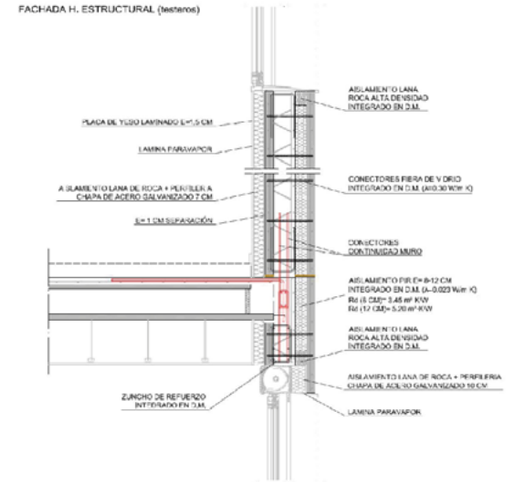


← Ver todas las fichas

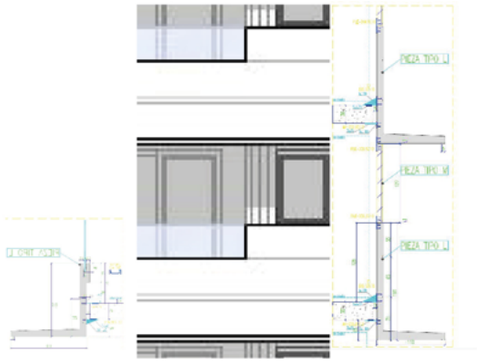
2/3

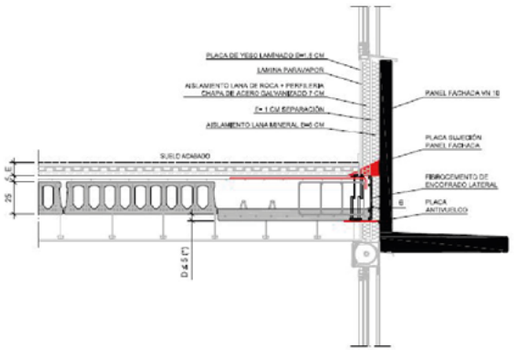
SISTEMA INDUSTRIALIZADO

Fachada estructural (testero)



Fachada no estructural





OTROS COMPONENTES

Módulos 3D de baños



GRADO DE INDUSTRIALIZACIÓN. MMC

TIPOLOGÍA EDIFICIO
Media

MATERIALES SÓTANO
(C) Hormigón, Componentes.

CATEGORÍAS SÓTANO
Categoría 3: Componentes estructurales prefabricados. Muro doble hormigón y pilares con núcleo hormigonado in situ. Forjado de placas alveolares y predallas.

MATERIALES PLANTAS
(C) Hormigón, Paneles 2D, Componentes.

CATEGORÍAS PLANTAS
Categoría 2: Sistema Estructural Paneles 2D. Panel doble de hormigón con núcleo hormigonado in situ + premarcos off site.

Categoría 3: Forjado de placas alveolares y predallas. Escaleras y rellanos prefabricados + capa de compresiòn in situ.

Categoría 5: Componente 3D. Baños incluyen estructura secundaria, cerramiento, componentes e instalaciones
Categoría 6: Paneles de fachada de hormigón prefabricado con perfil de minionda.

GRADO DE INDUSTRIALIZACIÓN. SAREN

CIMENTACIÓN	0,00 / 0,30
SÓTANO	0,35 / 0,50
PLANTAS ALTAS	1,55 / 2,40
FACHADAS	0,95 / 2,40
PARTICIONES Y ACABADOS	0,73 / 1,80
CUBIERTAS	0,20 / 0,40
INSTALACIONES	0,90 / 2,30
OTROS ASPECTOS	0,05 / 0,90
TOTAL	**4,73 / 11**

← Ver todas las fichas

3/3





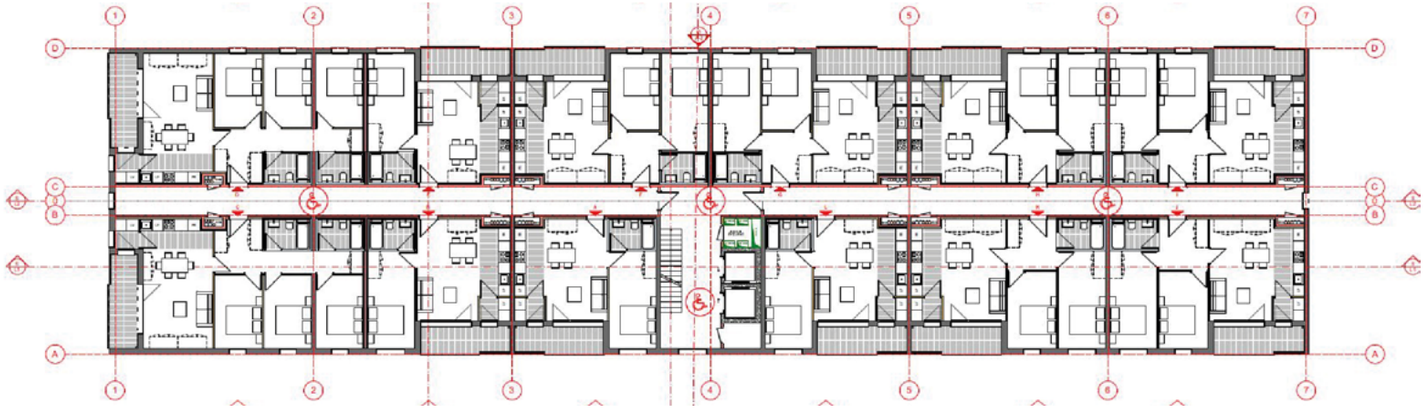
DIÁLOGO COMPETITIVO	**PARTICIPACIÓN EN FASE 2**
SISTEMA	**HORMIGÓN 2D**
ARQUITECTURA	**DAAR ARQUITECTURA**
CONSTRUCTORA	**SUKIA**
INDUSTRIAL	**EXSITU (CANDIDO ZAMORA)**

Organización general

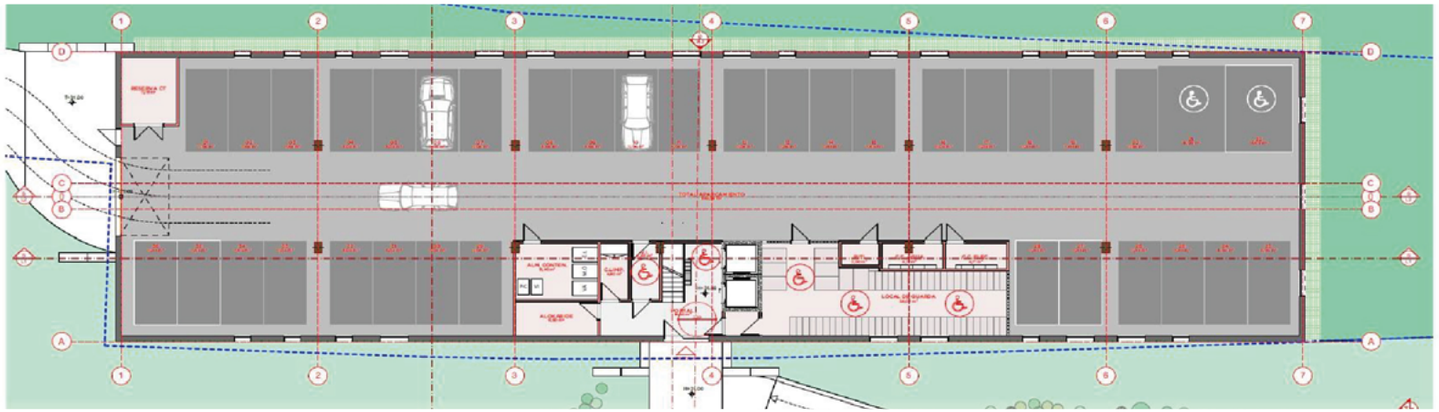
La propuesta de 33 viviendas se desarrolla en un volumen compacto de tres plantas de altura, dentro de cuya alineación quedan integrados los espacios exteriores. La planta sótano acogerá el aparcamiento y el portal, y las siguientes tres plantas, las viviendas y el núcleo de comunicación vertical del edificio. Este último se completa en cada planta con un único pasillo de acceso a las viviendas. Los espacios exteriores quedan retranqueados dentro de la alineación del volumen.

DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA

Planta sótano



Planta tipo



Sótano

La construcción del sótano se plantea construirá con pilares prefabricados, doble muro perimetral de hormigón prefabricado con hormigonado interior in situ, y forjado de techo de placa alveolar pretensada de hormigón prefabricado.

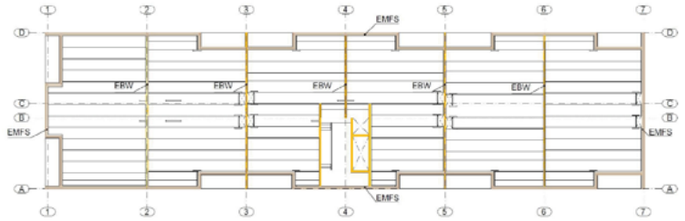
Plantas altas

Sistema de paneles 2D industrializados compuestos por una serie de capas que incorporan desde instalaciones hasta acabado interior, prestaciones térmica y acústicas, carpinterías, paneles de fachada de hormigón de gran formato y estructura portante. La estructura portante se resuelve con paneles hormigón 2D prefabricados (EMFS, EBS) y placas alveolares prefabricadas.

Otros componentes industrializados

Las unidades de baño son módulos 3D completamente offsite, de estructura de acero galvanizado, placa de cartón yeso y revestimiento interior de cerámica.
Las cocinas poseen la misma modulación y distribución para la facilitar la incorporación de instalaciones en los paneles, y la seriación de muebles y encimeras off site.
Escaleras y rellanos son elementos de hormigón completamente prefabricados.

Esquema



← Ver todas las fichas

2/4

SISTEMA INDUSTRIALIZADO

Secuencia de montaje







GRADO DE INDUSTRIALIZACIÓN. MMC

TIPOLOGÍA EDIFICIO
Media

MATERIALES SÓTANO
(C) Hormigón, Componentes.

CATEGORÍAS SÓTANO
Categoría 3: Componentes estructurales prefabricados. Muro doble hormigón MD30 (Interior hormigonado in situ); pilares y placas alveolares pretensadas.

MATERIALES PLANTAS
(C) Hormigón, Paneles 2D Alto grado de industrialización.

CATEGORÍAS PLANTAS
Categoría 2: Sistema Estructural Paneles 2D. Panel EMFS de hormigón, compuesto por 4 capas. Integra instalaciones, acabados, carpinterías, prestaciones térmicas y acústicas. Paneles EBW para medianería y núcleo de comunicación, integra carpinterías interiores. *(Exsitu Monoblock Facade System)

Categoría 3: Componentes estructurales prefabricados. Escaleras y rellanos 100% prefabricados, no requieren sistema de juntas ni apuntalamiento en obra. Forjados de placas alveolares pretensadas.

Categoría 5: Componentes volumétricos 3D. Baños y cocinas, incluyen estructura secundaria, cerramiento, componentes e instalaciones (integradas en paneles 2D EMFS)

GRADO DE INDUSTRIALIZACIÓN. SAREN

CIMENTACIÓN	0,15 / 0,30
SÓTANO	0,35 / 0,50
PLANTAS ALTAS	1,80 / 2,40
FACHADAS	2,30 / 2,40
PARTICIONES Y ACABADOS	0,65 / 1,80
CUBIERTAS	0,20 / 0,40
INSTALACIONES	1,37 / 2,30
OTROS ASPECTOS	0,35 / 0,90
TOTAL	**7,16 / 11**

← Ver todas las fichas

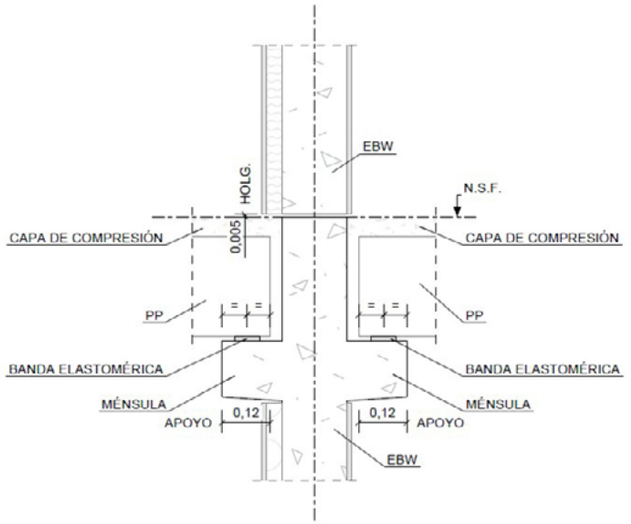
3/4

OTROS COMPONENTES

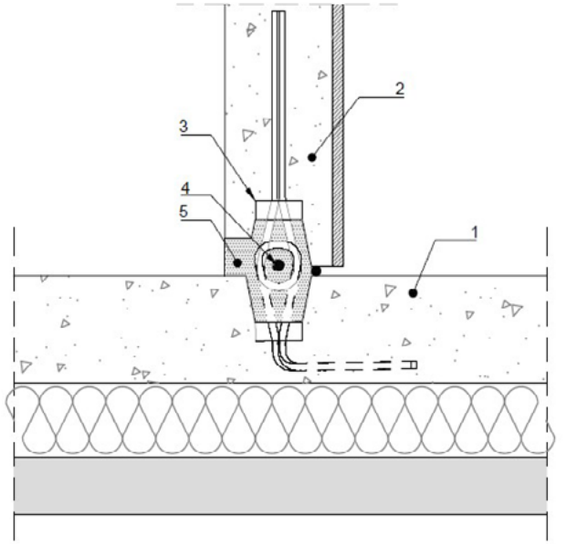
Módulos 3D de baños



SISTEMA INDUSTRIALIZADO

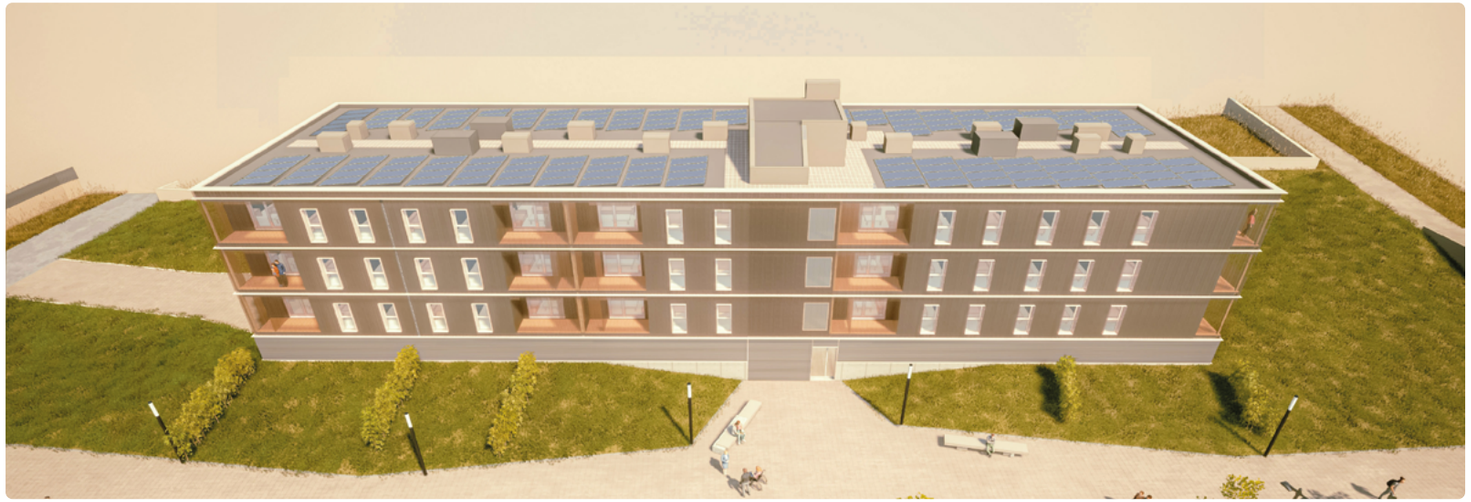


DETALLE H - APOYO TIPO PLACA PRETENSADA
MÉNSULA PREFABRICADA
SECCIÓN



NOTA:
CONEXIÓN VERTICAL EMFS Y EBW ORTOGONALES





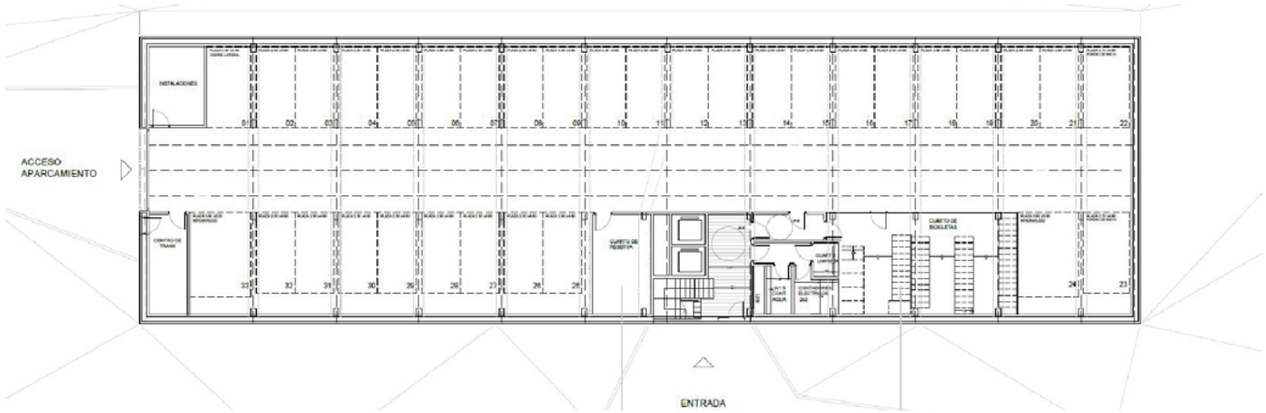
DIÁLOGO COMPETITIVO	**PARTICIPACIÓN EN FASE 2**
SISTEMA	**MÓDULOS 3D ACERO**
ARQUITECTURA	**BIEME + XLARK**
CONSTRUCTORA	**VIUDA DE SAINZ**
INDUSTRIAL	**JIT HOUSING**

Organización general

La propuesta de 33 viviendas se desarrolla en un volumen compacto de tres plantas de altura, dentro de cuya alineación quedan integrados los espacios exteriores. La planta sótano acogerá el aparcamiento y el portal, y las siguientes tres plantas, las viviendas y el núcleo de comunicación vertical del edificio. Este último se completa en cada planta con dos pasillos de acceso a las viviendas iluminados a través de los testeros.

DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA

Planta sótano



Planta tipo



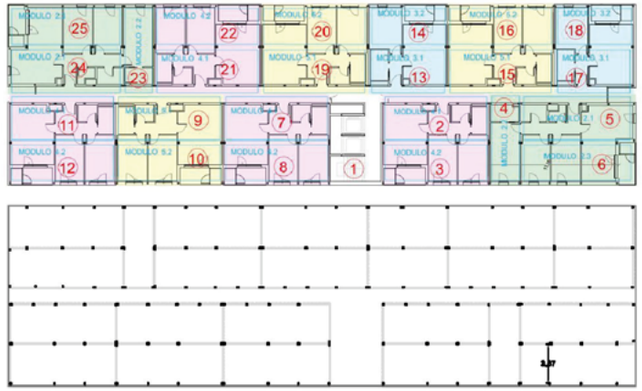
Sótano

La construcción del sótano se plantea con pilares, vigas de hormigón prefabricado, muros perimetrales a base de doble muro prefabricado con hormigonado interior in situ, y forjado de techo de prelosas de hormigón prefabricado.

Plantas altas

Sistema de módulos de estructura de acero completamente prefabricados en seco, apoyados sobre el forjado del techo del sótano. Estos módulos se apilan y acoplan. El núcleo de escalera y ascensor también sigue esta misma lógica. Los módulos se organizan en paralelo al eje longitudinal del edificio, de modo que las instalaciones quedan concentradas en los módulos interiores. La fachada exterior es ventilada, anclada a subestructura de aluminio, todos los elementos serán industrializados off-site.

Esquema

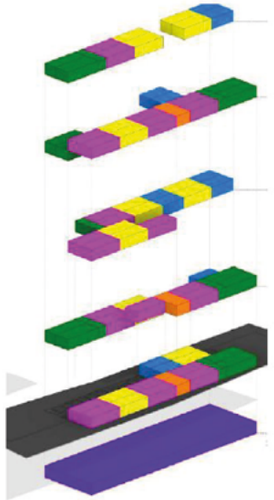


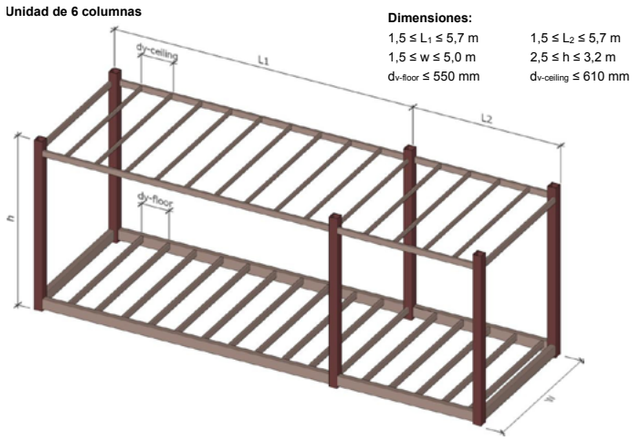
← Ver todas las fichas

2/3

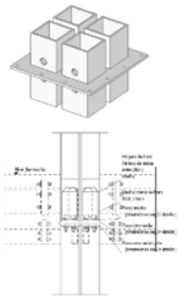
SISTEMA INDUSTRIALIZADO

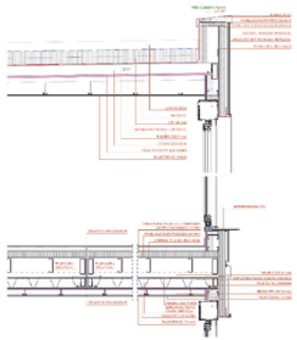
Secuencia de montaje



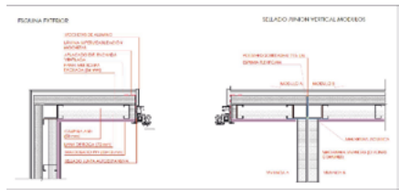


Detalles









GRADO DE INDUSTRIALIZACIÓN. MMC

TIPOLOGÍA EDIFICIO
Media

MATERIALES SÓTANO
(C) Hormigón.

CATEGORÍAS SÓTANO
Categoría 3: Pilares, Placas alveolares, Muros dobles prefabricados (Hormigonado interior in situ).

MATERIALES PLANTAS
(LGS) Acero, Modulos 3D completamente industrializado.

CATEGORÍAS PLANTAS
Categoría 1: Módulos 3D de perfiles de acero tubulares. Chasis estructural + equipamiento interno + revestimientos internos y externos + Instalaciones. Módulos completamente listos.
Categoría 7: Implementación BIM, Lean manufacturing, Planner Microsoft, Kanban

GRADO DE INDUSTRIALIZACIÓN. SAREN

CIMENTACIÓN	0,13 / 0,30
SÓTANO	0,25 / 0,50
PLANTAS ALTAS	2,40 / 2,40
FACHADAS	2,40 / 2,40
PARTICIONES Y ACABADOS	1,80 / 1,80
CUBIERTAS	0,20 / 0,40
INSTALACIONES	2,30 / 2,30
OTROS ASPECTOS	0,40 / 0,90
TOTAL	**9,88 / 11**

← Ver todas las fichas

3/3

4.2 Sistemas Estructurales Industrializados

El **desarrollo tecnológico** de la industria ofrece la posibilidad de emplear diversos sistemas estructurales para la resolución de edificios en altura. Todos ellos han demostrado ser válidos técnicamente y cada fabricante presenta una serie de características (en coste, en sostenibilidad ambiental, en circularidad, en logística, en escala, en producción) que permiten elegir una **solución adecuada para cada proyecto** en función de las necesidades específicas del mismo.

En este apartado se describen las características técnicas de los sistemas más habituales para la **promoción de vivienda colectiva**, a partir de la información disponible en la fase de investigación del Diálogo Competitivo de la promoción de Sopela-Asu, 33 VPOa. Particularmente, los sistemas estructurales primarios que se describen a continuación son los siguientes:

- Elementos 2D fabricados con paneles de hormigón.
- Elementos 2D fabricados con paneles de madera contralaminada CLT.
- Elementos 2D fabricados con entramados ligeros de madera.
- Elementos 2D fabricados con entramados ligeros de acero. Steel Framing
- Elementos 3D fabricados con estructura de acero laminado.

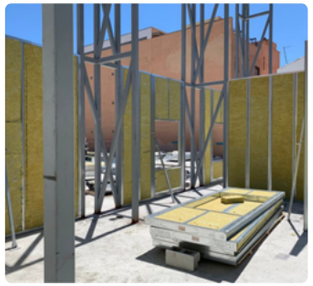
Esta relación de sistemas no limita las posibilidades del mercado, en el cual existen otras soluciones que también pueden ser adecuadas para la construcción de edificios, tales como los sistemas modulares 3D fabricados con hormigón, sistemas basados en contenedores marítimos, sistemas con estructura de aluminio y sistemas híbridos, si bien, su aplicación a la promoción de vivienda protegida de alquiler social debe justificarse en cada caso.

NOTA: La información sobre las características de los sistemas que se describen a continuación se basa en la información proporcionada por los equipos participantes en el dossier de investigación del Diálogo Competitivo de Sopela-Asu, 33VPOa. La finalidad de estos datos es que sirvan de una aproximación que, en cualquier caso, deberá contrastarse con las soluciones concretas de mercado.

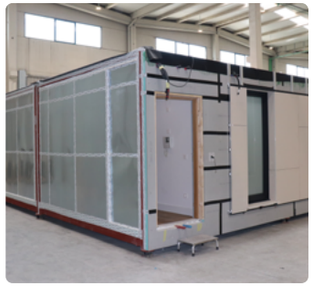
ELEMENTOS 2D FABRICADOS CON PANELES DE HORMIGÓN



ELEMENTOS 2D FABRICADOS CON STEEL FRAME



ELEMENTOS 3D FABRICADOS CON ESTRUCTURA DE ACERO LAMINADO



ELEMENTOS 2D FABRICADOS CON PANELES DE MADERA CONTRALAMINADA CLT



ELEMENTOS 2D FABRICADOS CON ENTRAMADO LIGERO DE MADERA



4.2.1 ELEMENTOS 2D FABRICADOS CON PANELES DE HORMIGÓN

Introducción

El hormigón prefabricado es probablemente la tecnología más utilizada dentro de las posibilidades industrializadas para la ejecución de estructuras de edificios. Los elementos vienen preparados en paneles o elementos como muros, vigas, pilares o forjados, que se montan en la parcela y, normalmente, requieren de un hormigonado adicional a pie de obra para su solidarización. A partir de este momento, el proceso de industrialización da paso a procesos tradicionales, aunque en menor cantidad y con gran parte del trabajo realizado. **Mediante la utilización de la prefabricación se resuelve la parte más engorrosa de la construcción con hormigón armado**, como es la realización del encofrado previo y su armado.

Descripción del sistema

Desde la **década de los cuarenta del siglo XX**, época en la que se utilizaran las primeras viguetas pretensadas, pasando por la década de los setenta, cuando se construyeran las primeras naves industriales, la utilización de las estructuras de hormigón prefabricado tiene una prolongada trayectoria histórica en diversidad de tipologías estructurales. Aunque se pueda contabilizar un número considerable de promociones residenciales resueltas con esta tecnología, es en los edificios de uso industrial, comercial o logístico, donde las capacidades de las estructuras prefabricadas de hormigón han encontrado mayor aceptación, gracias a su suficiencia para resolver **superficies diáfanas de grandes dimensiones** mediante la utilización de **elementos estandarizados** y sistemas estructurales sin excesivas complejidades.

En el caso particular de la construcción de viviendas colectivas de media altura, el sistema estructural más habitual es el de **paneles 2D**, elementos planos, tanto horizontales como verticales, que pueden complementarse con elementos lineales en pilares y vigas. Los elementos planos verticales pueden estar diseñados con función portante estructural, o ser utilizados como cerramiento sin una función resistente. Esta última es una opción habitual para la formación de fachadas.



IMAGEN 4.2.1. Paneles 2D de hormigón. Fuente_Viguetas Navarras

Con respecto a las uniones entre los elementos fabricados, se han desarrollado diferentes soluciones para lograr un monolitismo similar al logrado en las estructuras de hormigón armado ejecutadas in situ. Estas uniones pueden resolverse mediante la utilización de elementos mecánicos compuestos por tornillos y placas embebidas en los elementos prefabricados, o mediante el vertido de hormigón in situ para lograr el empotramiento de los anclajes dispuestos en los diferentes elementos.

Características técnicas

Los elementos prefabricados de hormigón cuentan con un **significativo marco normativo**. Los prefabricados más tradicionales, clasificados según su forma geométrica en lineales y superficiales, disponen de normas armonizadas en documentos normativos particulares para cada tipo de producto. Recientemente se ha aprobado un esquema normativo que engloba los requisitos que deben cumplir los sistemas industrializados para la construcción de edificios a lo largo de todo el proceso constructivo en la UNE 127050:2021 Sistemas constructivos industrializados para edificios construidos a partir de elementos prefabricados de hormigón. Requisitos de comportamiento, fabricación, instalación y verificación.

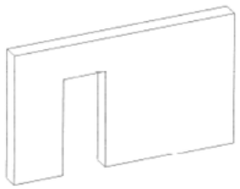
Además de los criterios y consideraciones específicas establecidas en el Código Estructural para la conformidad de los materiales directamente empleados para la prefabricación de los elementos estructurales y, en particular, la del hormigón, la de las armaduras elaboradas y la de los elementos de pretensado, los criterios básicos de comportamiento de los productos prefabricados de hormigón se encuentran detallados en la UNE-EN 13369 Reglas comunes para productos prefabricados de hormigón.

En el caso particular de **pilares y vigas prefabricadas**, la norma UNE-EN 13225:2013 Productos prefabricados de hormigón. Elementos estructurales lineales especifica los requisitos, los criterios básicos de comportamiento y la evaluación de la conformidad para elementos prefabricados lineales.

La formación de **forjados** con elementos prefabricados puede resolverse con elementos planos del tipo **prelosa**, normalmente acompañadas de diferentes tipologías de bovedillas para aligerar el peso propio, de acuerdo con lo establecido en la UNE-EN 13747:2006 Productos prefabricados de hormigón. Prelosas para sistemas de forjados, o con placas alveolares pretensadas según la UNE-EN 1168:2006 Productos prefabricados de hormigón. Placas alveolares. En cuanto al número de operaciones que deberán realizarse in situ, estos elementos evitan la colocación de encofrados en obra, pero requieren el vertido de hormigón in situ. En el caso de las prelosas el volumen de hormigón vertido en obra será mayor, requerirán la colocación de armados y normalmente deberán ser apeadas, aunque también existe la posibilidad de utilizar prelosas autoportantes. Las placas alveolares **pretensadas**, requerirán menor volumen de hormigón vertido en obra para la formación de la capa compresora, pero igualmente requerirán la colocación de negativos y mallazos para el control de la fisuración. En las luces utilizadas habitualmente en la construcción de viviendas, las placas alveolares no requieren la colocación de puntales en la fase de hormigonado.

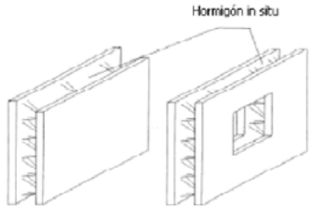
Para **los elementos verticales de cerramiento interior y de fachada** la norma que aplica es la UNE-EN 14992:2008+A1:2012 Productos prefabricados de hormigón. Elementos para muros, independientemente de si tiene función estructural o no. Para los muros de contención, aplica la UNE-EN 15258:2009. Una solución habitual consiste en la de muro doble, compuesto por dos paneles rellenos de hormigón in situ. Este sistema se compone de dos hojas prefabricadas de hormigón armado unidas mediante una celosía que mantiene el espacio de separación entre ambas que será rellenado de hormigón en obra. Los espesores de las hojas prefabricadas están entre los 50 y 70 mm, los espesores de los muros varían entre 180 y 350 mm. Las dimensiones de los elementos pueden llegar a los 12,0 metros de longitud y 3,2 metros de altura. También es posible la utilización de paneles estructurales industrializados sin que se requiera el hormigonado en obra del núcleo interior para su completa consolidación. Estos paneles utilizados como elementos interiores de división pueden estar completamente prefabricados, pudiendo incluir todas las capas necesarias para lograr los aislamientos térmicos y acústicos requeridos. El grado de industrialización de estos elementos verticales será mayor o menor en función del número de capas que incluya el panel y de las conducciones que disponga la preinstalación.

Muro macizo



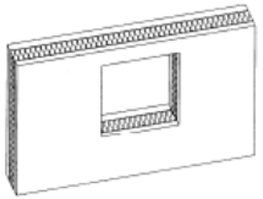
Muros dobles

Dos capas prefabricadas armadas que están unidas por un espacio mediante un sistema de estructura celosía. En obra, el espacio entre las dos capas se rellena con hormigón.



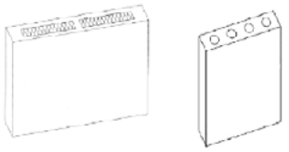
Muro de paneles sándwich

Panel base, una capa de aislamiento térmico, una posible cámada de aire y un panel visto.



Muro de paneles aligerados

Panel prefabricado como una unidad terminada. Puede consistir en dos capas exteriores de hormigón y un bloque de material ligero (por ejemplo espuma, poliestireno, poliuretano) o alveolos.



Las **uniones de los paneles verticales** con los elementos horizontales de la estructura pueden ser resueltas con diferentes soluciones. Las uniones de menor grado de industrialización se ejecutan colocando los armados de las uniones in situ y el hormigonado conjunto, tanto de las capas de compresión de los forjados como los núcleos de los muros prefabricados. Otra solución que requiere menos operaciones en obra se resuelve a través de la inserción en obra de los anclajes previamente embebidos en los paneles prefabricados, mediante taladros ejecutados en los elementos horizontales acabados.

El montaje de **fachadas de hormigón prefabricado arquitectónico** es una solución habitual en combinación con estructuras de hormigón ejecutadas in situ. En estos casos, los paneles de cerramiento exterior normalmente no cumplen una función portante y únicamente soportan las cargas horizontales de viento y uso. Para estas piezas también es de aplicación la norma europea UNE-EN 14992:2008+A1:2019. En los elementos con mayor grado de industrialización, las carpinterías exteriores son implementadas en fábrica junto con todos los remates necesarios, formando un único elemento con el panel, pudiendo incorporarse incluso los antepechos en los paneles prefabricados. Los paneles se anclan mediante uniones, normalmente mecánicas soldadas o atornilladas, que se diseñan para transmitir la carga vertical debida al peso del panel y los esfuerzos horizontales. Normalmente, la unión se realiza mediante placas metálicas embebidas en la pieza prefabricada y anclajes colocados en el forjado de la estructura en el momento del montaje. Habitualmente, los paneles prefabricados requerirán de un trasdosado que se ejecuta en obra completando la sección de fachada con el aislamiento térmico, aunque también es posible utilizar paneles multicapas que tienen incorporados los materiales que garanticen; el aislamiento acústico y térmico, la impermeabilidad al agua y al aire y las placas interiores sobre las que únicamente será necesario aplicar el acabado final.

Los elementos prefabricados de hormigón armado se diseñan teniendo en cuenta que durante las **operaciones de montaje** deberán ser izados desde puntos determinados y que, debido al importante peso propio de estos elementos, pueden estar sometidos a solicitaciones o experimentar deformaciones más significativas que las previstas durante el periodo de servicio de la estructura una vez finalizado el ensamblado. Esto puede hacer que las secciones requeridas por los elementos prefabricados sean mayores que las estrictamente necesarias por su función estructural.

Las dimensiones mínimas de los elementos utilizados en las estructuras de hormigón prefabricado, espesores y recubrimientos, tanto en el caso de los elementos sin función resistente como los que sí la tienen, permiten que la **resistencia al fuego** sea, fácilmente, de REI 120. Pueden lograrse resistencias al fuego más prolongadas aumentando el espesor de los elementos sin que ello suponga un excesivo sobredimensionamiento de los elementos estructurales.

Los paneles de hormigón prefabricado utilizados en la formación de fachadas solucionan directamente, en la mayoría de los casos, los problemas de infiltraciones de agua o aire. **Las juntas entre paneles** son los puntos más vulnerables. La estanqueidad y hermeticidad de las juntas se logra utilizando selladores elásticos de silicona o poliuretano que aseguran la impermeabilidad al agua y aire. En algunos casos, también puede incorporarse un cubrejuntas formado por la combinación de un perfil de PVC y una espuma impregnada con resinas sintéticas. Las propiedades de elasticidad y adherencia de los selladores utilizadas en el cierre de las juntas exteriores deben ser capaces de absorber las contracciones y dilataciones de los soportes.

Las fachadas de hormigón industrializadas, debido a su alta densidad, poseen un buen **comportamiento frente al ruido aéreo**. Una de las características que define la capacidad del aislamiento acústico es la masa del elemento de cerramiento, de manera que los paneles de fachada pueden alcanzar los niveles de aislamiento necesario sin grandes dificultades, incluso sin tener en cuenta el efecto del resto de capas que puedan incorporarse.

Prestaciones técnicas de elementos prefabricados 2D

	Fachadas arquitectónicas		Forjados	Cubierta plana	Tabiquería portante	
Elementos constructivos	Panel + aislamiento + panel + yeso laminado	Acabado ext. + aisla. + panel + aisla. + yeso laminado	Placa alveolar + capa compresora	Placa alveolar + capa compresora formación pendientes aislamiento, protección	Doble muro hormigonado en obra Con doble aislamiento y placa de yeso	Muro completo Sistema ex situ
Masa (kg/ m²)	660	425	440	440 + 380	680	330
Espesor (cm)	10 + 6 + 6+ 1,5	6 + 8 + 11,5 + 4,5 + 1,25	30 + 5	30 + 5 12 + 15 + 8	1,5 + 4,6 + 6 + 15 + 6 + 4,6 + 1,5	1,25 + 4,514,5 + 1,25
	23,5	31,25	35,0	70,0	39,2	27,5
Altura o luz máxima (m)	3,20	3,20	10,00	10,00	3,20	3,20
Resistencia al fuego	REI240	REI180	REI120	REI120	REI240	EI180
Térmicas U (W/ m²K)	0,27	0,24	0,20	0,20	0,24	0,325
Acústicas (dBA)	RA,tr = 45	RA,tr = 53	RA = 60 Ln,w = 40	Ra,tr = 59	RA = 55	RA = 50

NOTA: Los valores de la tabla son orientativos.
RA: Índice global de reducción acústica ponderado A, medido en laboratorio, para ruido aéreo interior.
Entre recintos de la misma vivienda: RA ≥ 33 dBA
Entre dos viviendas: RA ≥ 50 dBA

RA,tr: Índice global de reducción acústica ponderado A, medido en laboratorio, para ruido exterior.
Aislamiento acústico a ruido aéreo del cerramiento construido, D2m,nT,Atr, en dBA, entre un recinto protegido y el exterior, en función del índice de ruido día, Ld. En zona de tráfico 65 < Ld ≤ 70, **RA,tr** ≥ 37 dBA
Ln,w: Nivel de presión, medido en laboratorio, para ruido de impactos.
Otros recintos del edificio superpuestos o colindantes: Ln,w ≤ 65 dB

Sostenibilidad del sistema

La industria del cemento ha sido uno de los primeros sectores en evaluar e informar públicamente de sus emisiones de CO_2. Durante las últimas décadas, la industria ha reducido sus emisiones mediante la **sustitución del clinker** por cenizas volantes o escorias y empleo de combustibles alternativos. La producción de hormigón ha avanzado en los últimos tiempos con inversiones en equipos de mezcla, control y calidad, y nuevos aditivos, lo que han permitido a los fabricantes producir de manera más eficiente y aumentar el porcentaje de reutilización de los residuos de la demolición de las construcciones que han superado su vida útil.

Las Reglas de Categoría de Producto para hormigón y elementos de hormigón, UNE-EN 16757:2023 Sostenibilidad de las obras de construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de Categoría de Producto para hormigón y elementos de hormigón proporcionan una herramienta para asegurar que todas las Declaraciones Ambientales de Producto en el sector de la construcción se obtienen, verifican y presentan de forma armonizada. Las DAP comunican información ambiental verificable, precisa e inequívoca de los productos y sus aplicaciones, a través de la evaluación de una serie de categorías de impacto normalizadas. Los datos que se declaran facilitan, de esta manera, la evaluación del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de los edificios en los que se utilizan estos productos.

La Asociación Nacional de la Industria del Prefabricado de Hormigón (ANDECE), organización que representa a los fabricantes nacionales de elementos prefabricados de hormigón, ha realizado DAP sectoriales relativas a los elementos lineales de hormigón prefabricado, a los elementos estructurales para forjados y la de elementos prefabricados de hormigón para fachadas. Estas DAP sectoriales recopilan datos del ciclo de vida del producto y muestran los resultados medios obtenidos, a partir de la información facilitada por diferentes empresas fabricantes.

Por otra parte, el Código Estructural desarrolla en su anejo 2 una metodología para calcular el **índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad** (ICES). Este índice considera cuatro aspectos de la sostenibilidad: prestacional, económico, social y medioambiental. Dicho modelo permite evaluar la contribución a la sostenibilidad de los diferentes procesos, productos y agentes que intervienen en el proyecto y ejecución de la estructura, como el proyectista, el constructor y los fabricantes de los diferentes productos. De esta forma, el Código Estructural facilita las herramientas para que la propiedad, si así lo considera, pueda definir el nivel de contribución a la sostenibilidad de una estructura. Para ello, el autor del proyecto realizará una estimación inicial del índice ICES y, a partir del mismo, definirá la correspondiente estrategia para la sostenibilidad. La dirección facultativa recalculará el índice al término de la obra e informará a la propiedad del resultado para valorar la sostenibilidad de la estructura.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la Autodeclaración Ambiental de Producto (ADAP) de los **paneles de hormigón prefabricado armado con acero para fachadas** de los fabricantes asociados a la Asociación Nacional de la Industrial de Prefabricado de Hormigón (ANDECE). Los datos de inventario considerados, teniendo en cuenta las empresas participantes y su producción, representan a un 40% aproximado de la producción, correspondientes al año 2016, de ese tipo de paneles prefabricados de hormigón en España.

La **unidad declarada** son 1.000 kg de panel de hormigón prefabricado, con una vida útil media de referencia de 50 años. Para transformar la unidad funcional de una tonelada de panel de hormigón prefabricado a otras unidades, como m^2 de panel, es preciso emplear un factor de conversión en función del peso del panel y del espesor que quiera evaluarse. La ADAP considera el alcance “de la cuna a la puerta” incluyendo todas las etapas del ciclo de vida del producto hasta la puerta de la fábrica como producto terminado (módulos A1, A2 y A3) del Análisis del Ciclo de Vida.

En el análisis de ciclo de vida del proceso de fabricación de paneles de hormigón prefabricado se considerado las siguientes etapas: A1 extracción y producción de las materias primas, siendo las materias primas principales el cemento, los áridos y el acero de armado, A2 transporte a fábrica de las materias primas y A3 fabricación, que básicamente consiste en la dosificación y amasado del hormigón, la colocación de las armaduras y el vertido del hormigón en los moldes, que finalmente se completa con el curado y el desmoldeo de la pieza para su almacenamiento.

La composición de los paneles de hormigón armado que se han considerado para elaborar la ADAP de la unidad funcional de 1.000 kg de panel es de 750 kg áridos, 150 kg de cemento, 68 litros de agua y 32 kg de acero.

La ADAP disponible se ha realizado de acuerdo con la UNE-EN 15804:2012 Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción, actualmente anulada por UNE-EN 15804:2012+A2:2020, por lo que algunos de los parámetros que cuantifican los impactos ambientales no están actualizados a la norma vigente. La diferencia fundamental entre ambas normas se encuentra en las unidades de medida utilizadas en los indicadores que cuantifican el potencial de acidificación del suelo y de los recursos de agua, y el del potencial de eutrofización (en la norma vigente se ha desglosado este potencial en qué medida afecta al agua dulce, al agua marina y a los suelos).

Parámetros que describen los impactos ambientales

Parámetro UNE EN 15804:2012	**Unidades**	**Etapas de fabricación del producto**
		A1+A2+A3
Potencial total de calentamiento global (GWP) Calentamiento por emisión de gases efecto invernadero en CO_2 eq.	kg CO_2 eq.	180,0
Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico Reducción de la capa de ozono por liberación de gases en CFC11 eq.	kg x 10^{-6} CFC 11 eq.	20,0
Potencial de acidificación del suelo y de los recursos de agua Efecto de acidificación de la lluvia ácida generada por los gases emitidos	kg SO_2 eq	0,5
Potencial de eutrofización del agua dulce Crecimiento excesivo de algas por la mayor disponibilidad de nutrientes	kg PO_4 eq	0,12
Potencial de formación de ozono troposférico Efecto adverso en las vías respiratorias del ozono presente en el aire	kg Etileno	0,04
Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos no fósiles Disminución de recursos no renovables como los minerales debido a su extracción en kg de Sb eq.	kg x 10^{-6} Sb eq.	- 620,0
Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos fósiles Disminución de recursos no renovables como los combustibles fósiles debido a su extracción y uso en MJ	MJ valor calorífico neto	1.700,0

Parámetros que describen el uso de recursos

Parámetros	Unidades	Etapas de fabricación del producto
		A1+A2+A3
Uso de energía primaria **renovable y no renovable**, excluyendo la energía primaria contenida en la materia prima	MJ valor calorífico neto	900,0
Uso de energía primaria **renovable** contenida en la materia prima		40,0
Uso de energía primaria **no renovable** contenida en la materia prima		300,0
Uso neto de recursos de **agua** dulce	m^3	60,0

4.2.2 ELEMENTOS 2D FABRICADOS CON ENTRAMADO LIGERO DE ACERO | STEEL FRAME

Introducción

El entramado ligero metálico, Steel Frame, es un sistema constructivo industrializado, flexible y abierto, **ampliamente adaptativo**, que emplea perfiles de acero galvanizado conformados en frío. El entramado que actúa como esqueleto del edificio está compuesto por una gran densidad de elementos metálicos ligeros, si bien no todos los elementos tienen función estructural. El sistema, en su conjunto, soporta las cargas y al mismo tiempo configura su espacialidad, ya que en esencia es un sistema de muros aligerados o huecos.

Tal vez la virtud más destacable del sistema es su adaptación total a la **construcción en seco**, tanto de los elementos verticales como los horizontales, ya que se reduce el uso de agua en obra en un 95%, y en un 90% los residuos que se generan.

La precisión geométrica y de cálculo obtenido mediante el diseño asistido por ordenador facilita la industrialización del sistema, su metodología de producción, el control de calidad sobre el producto final y un control total sobre el montaje en obra, minimizando los errores y los tiempos de ejecución.

Descripción del sistema

Este sistema constructivo industrializado puede considerarse una evolución o una variante del Balloon Frame y del Platform Frame, en el que los listones de madera son sustituidos por perfiles metálicos. Los perfiles utilizados en este caso son **perfiles ligeros de acero conformado en frío y galvanizados por inmersión en caliente**. De la misma manera que en el caso de los entramados ligeros de madera, las caras exteriores del entramado metálico plano se cubren con paneles de madera OSB y placas de yeso, e igualmente se utiliza el espacio interior para incorporar algún tipo de material aislante térmico y acústico como, por ejemplo, la lana de roca.

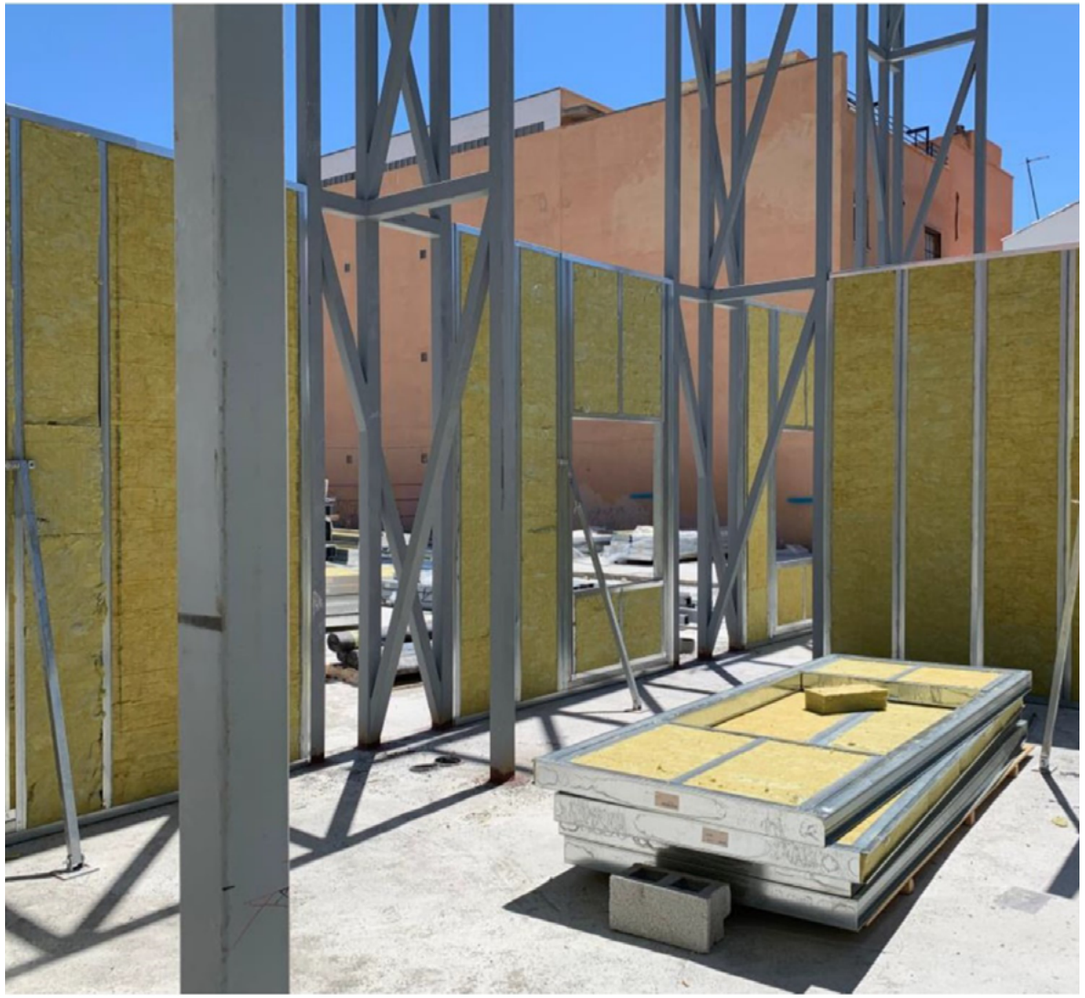


IMAGEN 4.2.2. Paneles 2D de Steel Frame. Fuente_ACR - Afca Teccon

Con el mismo esquema estructural del Platform Frame, los paneles formados con el entramado de perfiles de acero ligeros soportan las cargas de los forjados superiores apoyados sobre los de la planta inferior, en estos casos, normalmente se tratará de paneles ciegos sin aberturas y compuestos únicamente por montantes, travesaños y elementos de arriostre. También es posible asegurar la transmisión de cargas mediante la utilización de otros elementos estructurales de transición en los casos en los que se requieran aberturas en el plano del panel.

Características técnicas del sistema

El Eurocódigo 3 (EC3) proporciona las directrices técnicas y los principios de cálculo que se deben seguir para el diseño seguro de estructuras de acero.

Para los montantes dispuestos de forma vertical los perfiles habitualmente utilizados son perfiles tipo C, fabricados, por ejemplo, con acero galvanizado S250GD + Z275, UNE-EN 10346 Productos planos de acero recubiertos en continuo por inmersión en caliente, combinados con perfiles tipo U para los canales colocados horizontalmente. Por lo general la modulación para la separación de perfiles verticales es de 40 o 60 cm que será determinado según el diseño, las dimensiones, tipo de placas de revestimiento y del esquema de cálculo estructural.

Los revestimientos estructurales de OSB o multilaminados fenólicos son suficientes para aportar la rigidez necesaria y la estabilidad frente a las **acciones horizontales** de edificios de pequeña altura, de hasta 3 plantas. El panel de OSB3 estructural es un tablero adecuado para su utilización en ambiente húmedo, de acuerdo con la UNE-EN 300:2007 Tableros de virutas orientadas (OSB). Estos tipos de paneles están formados por diversas capas de virutas de madera orientadas y encoladas. Se comercializa en diferentes espesores comprendidos entre 9 y 22 mm y densidad de 650 kg/m^3 y deben tener un espesor mínimo de 11 mm si tiene función estructural.

Los **forjados** en este sistema constructivo pueden resolverse con diferentes soluciones secas o con opciones menos industrializadas que requieren el vertido de hormigón en obra.

En la opción de **forjado húmedo** se utilizan chapas de acero grecadas colaborantes sobre las que se deberá colocar un mallazo destinado a evitar la fisuración del hormigón y se verterá una capa de hormigón en obra. La utilización de chapas colaborantes con espesores iguales o superiores a 0,75 mm permite luces que superan los 4 metros. En el contexto de edificios en los que se pretende alcanzar el mayor grado de industrialización posible, la longitud de la luz para cumplir con la limitación de máxima deformación durante la fase hormigonado estaría más condicionada por la opción de evitar el apuntalamiento durante el vertido del hormigón que por su capacidad resistente una vez hormigonado.

Una posible solución de **forjado en seco**, y por tanto mayor nivel de industrialización, es la utilización de un sistema ligero, tipo BHS, que no requiere de hormigonado en obra. Este sistema de forjado se industrializa offsite en módulos con formato de hasta 6.000 x 2.400 mm. El forjado resultante es una estructura unidireccional conformada como un entramado ligero compuesto por vigas de acero perfilado en frío, de 250 mm de canto y 600 mm de separación máxima entre ellas, junto a elementos transversales de acero plegados cuya función es la de rigidizar todo el conjunto. El material especificado para todos estos elementos del entramado ligero de acero es el S350GD + Z275. Este entramado metálico se arriostra por su cara superior con un tablero de madera estructural contrachapada de 21 mm de espesor, sobre el que se coloca la superficie de acabado. Los elementos del entramado metálico se revisten por la cara inferior del forjado mediante aplacado con productos que proporcionan protección al fuego hasta conseguir las resistencias al fuego requeridas en cada caso. En el interior del entramado metálico se incorpora el aislamiento térmico y acústico con clasificación A1 (no combustible), como puede ser la lana de roca de densidad 40 kg/m^3 y espesor 60 mm.

Otra posible solución, también con alto nivel de industrialización y totalmente en seco, es la formada por un bastidor metálico de perfiles laminados en caliente de sección tubular rectangular de hasta 160 mm de canto, atornillados a los pilares que se hayan dispuesto junto con correas de acero conformado en frío y galvanizado, a su vez atornilladas a las vigas principales cada 600 mm. Sobre este entramado metálico se dispone un tablero multicapa con núcleo de XPS fijado a las correas. Este tablero está formado por las siguientes capas: una capa exterior de fibroyeso de 12,5 mm de espesor, un relleno de poliestireno extruido

(XPS) con espesores entre los 60 y 80 mm, y una tercera capa de fibroyeso o fibrocemento de 12,5 mm de espesor. Por la parte superior, el tablero anterior puede, por ejemplo, estar acabado con una solera seca de placas de yeso de 20 mm de espesor y una capa acústica de fibra de madera de 10 mm de espesor. Por la cara inferior del entramado de correas se puede disponer una placa de yeso reforzado con fibras de 12,5 mm de espesor y una placa de yeso laminado resistente al fuego de 15 mm de espesor.

En edificios de mayor **altura**, cuando las cargas horizontales son importantes, se incorporan **sistemas 3D arriostrados** y prefabricados con elementos de acero laminado que posteriormente son unidos en obra mediante tornillos. Habitualmente, estos módulos ejecutados in situ son utilizados para conformar la estructura del núcleo de comunicaciones, escalera y ascensores.

Los paneles industrializados disponen de diferentes **capas** con sus respectivas funciones, a continuación, se describen de forma resumida las capas más habituales:

En los elementos de fachada, la cara exterior del entramado metálico se cubre con una placa con base en cemento con espesores entre 6 y 10 mm que se coloca off site. Sobre esta placa cementicia se coloca el revestimiento exterior, que puede consistir en función de la solución arquitectónica prevista en chapas onduladas, SATES o morteros continuos.

El sistema debe incluir láminas flexibles auxiliares para lograr la impermeabilización al agua y al viento, pero permeables al vapor de agua UNE-EN 13859-2:2014 Láminas flexibles para impermeabilización Definiciones y características de las láminas auxiliares. Parte 2: Láminas auxiliares para muros.

La lana de roca es el material aislante térmico y acústico más habitual UNE-EN 13162:2013 Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de lana mineral (MW), en espesores entre 50 y 80 mm, y densidades entre 50 y 70 kg/m^3. Existen otros materiales aislantes, como el poliestireno extruido UNE-EN 13164:2013 Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de poliestireno extruido (XPS), en espesores entre 60 y 110 mm.

Así como la barrera impermeable impide el paso del aire y el agua desde el exterior al interior de los paneles, la barrera de vapor impide que se filtre vapor de agua al interior del aislamiento de los paneles por la cara interior del entramado metálico. Las barreras de vapor evitan que el vapor contenido en el aire interior pueda alcanzar las capas más frías de los cerramientos y llegue a condensar. Se trata de membranas con estanqueidad al agua en estado vapor, normalmente de polietileno, polipropileno o caucho, de 0,3 mm de espesor y 100 g/m^2 según UNE-EN 13984 Láminas flexibles para impermeabilización. Láminas plásticas y de caucho para el control del vapor.

La capa interior de los entramados que sirve de base para acabado final de los elementos verticales se conforma con placas de yeso que pueden disponer de diferentes propiedades de resistencia a la humedad o al vapor de agua y que pueden utilizarse con diferentes recubrimientos con objeto de mejorar las prestaciones mecánicas. Estas placas de yeso habitualmente tienen espesores de 15 mm.

Prestaciones de los diferentes elementos constructivos

	Fachadas		Forjados	Cubierta plana	Tabiquería portante	
	Ventilada portante	Arquitectónica			Interior	Entre viviendas
Elementos constructivos	Chapa ondulada+ Manta de lana de roca+ OSB + panel + trasdosado placa de yeso	Mortero + malla + Mortero + placa cemento + Entramado + Placa de yeso	Suelo lamina. + recrecido mortero + forjado chapa colab. + falso techo placa de yeso	Impermeabilizante + formación pendientes con mortero + aislamiento XPS + forjado chapa colab. + falso techo placa de yeso	Placas de yeso + entramado + Placas de yeso	Placas de yeso + trasdosado + entramado + trasdosado + Placas de yeso
Masa (kg/ m²)	60	35	225	225	26	26
Espesor (cm)	0,8 + 6 0,9 + 11 48 + 1,5	0,5 + 0,15 + 1 2 0,8 + 10 1,25	0,8 + 5 16 6 + 1,5	0,15 + 10 + 20 16 6 + 1,5	1,5 11 1,5	1,5 + 3 11 3 + 1,5
	25,0	13,9	29,3	53,65	14,0	20,0
Altura o luz máxima (m)	3,5	4,0	6,0	6,0	3,5	3,5
Resistencia al fuego	REI90	EI60	REI90	REI90	REI90	REI90
Térmicas U (W/ m²K)	0,18	0,35	0,17	0,18	0,29	0,188
Acústicas (dBA)	RA,tr = 55	RA,tr = 45	RA = 50	-	RA = 45	RA = 50

NOTA: Los valores de la tabla son orientativos.

RA: Índice global de reducción acústica ponderado A, medido en laboratorio, para ruido aéreo interior.
Entre recintos de la misma vivienda: RA ≥ 33 dBA
Entre dos viviendas: RA ≥ 50 dBA

RA,tr: Índice global de reducción acústica ponderado A, medido en laboratorio, para ruido exterior.
Aislamiento acústico a ruido aéreo del cerramiento construido, D2m,nT,Atr, en dBA, entre un recinto protegido y el exterior, en función del índice de ruido día, Ld. En zona de tráfico 65 < Ld ≤ 70, **RA,tr** ≥ 37 dBA

Ln,w: Nivel de presión, medido en laboratorio, para ruido de impactos.
Otros recintos del edificio superpuestos o colindantes: Ln,w ≤ 65 dB

Sostenibilidad del sistema

En el análisis de ciclo de vida del proceso de fabricación de paneles con perfiles ligeros de acero galvanizado se han considerado las siguientes etapas: A1 extracción y producción de las materias primas, siendo las materias primas principales el yeso, el acero y la lana de roca, A2 transporte a fábrica de las materias primas por carretera y A3 fabricación incluyendo los embalajes necesarios.

La **unidad declarada es 1 m²** de doble fachada y los principales componentes del sistema son:

Perfiles verticales y horizontales de estructura exterior, con ancho y espesor adaptados a las acciones de la fachada y recubrimiento mínimo Z275. Perfilería interior, dimensionada según altura entre forjados.

- Paneles de lana mineral de altas prestaciones térmicas y acústicas.
- Sistema de revestimiento compuesto por mortero para juntas y regularización reforzado con malla.
- Placa de yeso exterior con alta resistencia a la humedad.
- Lámina flexible para impermeabilización de la fachada.
- Placas de yeso laminado interiores, de altas prestaciones acústicas y de resistencia al fuego.

Los datos disponibles se han obtenido de declaraciones que han sido elaboradas de acuerdo con las Reglas de Categoría de Producto (Product Category Rules, PCR) para productos de construcción según la EN 15804:2012 Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción, norma actualmente anulada y que ha sido sustituida por la EN 15804:2012+A2:2020. La diferencia fundamental entre ambas normas se encuentra en las unidades de medida utilizadas en los indicadores que cuantifican el potencial de acidificación del suelo y de los recursos de agua, y el del potencial de eutrofización (en la norma vigente se ha desglosado este potencial en qué medida afecta al agua dulce, al agua marina y a los suelos).

Parámetros que describen los impactos ambientales

Parámetro UNE EN 15804:2012	Unidades	Etapas de fabricación del producto
		A1+A2+A3
Potencial total de calentamiento global (GWP) Calentamiento por emisión de gases efecto invernadero en CO_2 eq.	kg CO_2 eq.	40,0
Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico Reducción de la capa de ozono por liberación de gases en CFC11 eq.	kg x 10^{-6} CFC 11 eq.	4,0
Potencial de acidificación del suelo y de los recursos de agua Efecto de acidificación de la lluvia ácida generada por los gases emitidos	kg SO_2 eq	0,2
Potencial de eutrofización del agua dulce Crecimiento excesivo de algas por la mayor disponibilidad de nutrientes	kg PO_4 eq	0,08
Potencial de formación de ozono troposférico Efecto adverso en las vías respiratorias del ozono presente en el aire	kg Etileno	0,16
Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos no fósiles Disminución de recursos no renovables como los minerales debido a su extracción en kg de Sb eq.	kg x 10^{-6} Sb eq.	300,0
Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos fósiles Disminución de recursos no renovables como los combustibles fósiles debido a su extracción y uso en MJ	MJ valor calorífico neto	550

Parámetros que describen el uso de recursos

Parámetros	Unidades	Etapas de fabricación del producto
		A1+A2+A3
Uso de energía primaria **renovable y no renovable**, excluyendo la energía primaria contenida en la materia prima	MJ valor calorífico neto	630,0
Uso de energía primaria **renovable** contenida en la materia prima		0,5
Uso de energía primaria **no renovable** contenida en la materia prima		0,0
Uso neto de recursos de **agua** dulce	m^3	0,05

4.2.3 ELEMENTOS 3D FABRICADOS CON ESTRUCTURA DE ACERO LAMINADO

Introducción

Los módulos tridimensionales se pueden fabricar con diferentes tecnologías y materiales: hormigón, CLT, entramado ligero, acero o estructuras mixtas. Los módulos de acero sobresalen por su flexibilidad en el diseño y facilidad de coordinación con el ensamblaje de otros elementos y componentes.

La construcción en base a módulos tridimensionales tiene la ventaja de permitir un **grado de industrialización muy elevado**. Los módulos pueden llevarse a obra prácticamente acabados, incluso con acabados y mobiliario de cocinas y baños. Por otra parte, una desventaja de esta propuesta está relacionada con la logística y el transporte. Frente a la prefabricación en dos dimensiones, el transporte es más costoso ya que se transportan volúmenes casi vacíos, es decir, aire, mientras que en la prefabricación bidimensional se aprovecha en mejor medida el volumen de transporte. Además, dadas las dimensiones mínimas de habitabilidades necesarias en las viviendas, los módulos a transportar pueden requerir de transportes especiales

Descripción del sistema

Los **módulos tridimensionales** industrializados con estructura metálica se conforman con elementos de **acero laminado**, normalmente tubulares de sección cuadrada o rectangular, soldados y atornillados mediante uniones rígidas. En este caso, la rigidez del conjunto es primordial puesto que los esfuerzos a los que se verá sometido en las operaciones de izado, transporte y colocación en obra no deben provocar deformaciones que impidan el perfecto ensamblaje de los módulos.

Los laterales de los módulos se cierran utilizando perfiles ligeros conformados en frío y, de manera similar al sistema Steel Frame, las caras exteriores del entramado metálico se cubren con placas de yeso sobre las que se aplica el acabado final. El espacio libre interior entre las placas colocadas en ambas caras se rellena con aislantes térmicos y acústicos. Este mismo espacio es adecuado para industrializar las instalaciones eléctricas e hidráulicas.



IMAGEN 4.2.3 Módulo 3D de acero. Fuente_JIT Housing. Archivo de Visesa

Los cierres del plano inferior y del superior de los módulos 3D industrializados quedan superpuestos una vez se ensamblan en su ubicación definitiva, por lo que una de las capas cumple función de suelo del módulo superior y la otra de techo del inferior. El plano superior de los módulos soporta únicamente el peso del techo y se conforma con perfiles ligeros de acero sobre los que se colocan habitualmente paneles OSB que aumenten la rigidez del conjunto, la cara inferior se cierra con placas de yeso. El plano inferior del módulo cumple la función de forjado por lo que debe aportar la rigidez necesaria para soportar las cargas de uso sin deformaciones ni vibraciones.

Los módulos industrializados se trasladan y agrupan en obra mediante uniones que solidarizan el conjunto. En el caso de estructuras de media altura, para facilitar la resistencia a las cargas horizontales, se incorporan elementos de arriostramiento en estructuras prefabricadas para las que se emplean perfiles de acero laminado y uniones atornilladas, de esta forma se logra asegurar la rigidez necesaria para soportar estas acciones. Esta estructura, a la que se unirán los módulos 3D prefabricados, además de asegurar la estabilidad del edificio se utiliza para formar el núcleo de comunicaciones, escalera y ascensores.

Características técnicas del sistema

El Eurocódigo 3 (EC3) proporciona las directrices técnicas y los principios de cálculo que se deben seguir para el diseño seguro de estructuras de acero.

Los **laterales** de los módulos industrializados que tengan función de fachada exterior disponen de diferentes capas con sus correspondientes funciones, a continuación, se describen de forma resumida las capas más habituales desde la más exterior hasta la interior:

- El revestimiento exterior del módulo suele consistir en una placa de cemento con espesores entre 6 y 10 mm que se coloca off site. Sobre esta placa cementicia se colocaría el revestimiento exterior del edificio, que puede consistir, según el diseño arquitectónico previsto, en fachadas ventiladas, SATES, o morteros continuos.
- El espacio existente en el entramado de perfiles que conforma el cerramiento se rellena con algún material aislante como, por ejemplo, el poliestireno extruido en espesores entre 60 y 110 mm.
- Una barrera de vapor impedirá que se filtre vapor de agua al interior del aislamiento de los paneles con el riesgo de que en contacto con las superficies frías pueda condensar.
- La capa interior está formada con placas de yeso que dependiendo de sus características pueden proporcionar diferentes propiedades de resistencia a la humedad, al fuego o a los impactos.
- El plano superior de los módulos se formará con perfiles ligeros o chapas onduladas de acero sobre los que se colocarán paneles OSB que aumenten la rigidez en el plano horizontal. La cara inferior se cubrirá con placas de yeso para formar el falso techo sobre el que se aplicará el acabado final.
- El plano inferior estará también formado por perfiles ligeros de acero sobre los que se apoya la capa de aislamiento, una capa anti-impacto y el acabado del suelo.

Prestaciones de los diferentes elementos constructivos

	Fachadas		Forjados	Cubierta plana	Tabiquería	
	Ventilada	Doble panel			Interior	Entre viviendas
Elementos constructivos	Chapa ondulada + placa cemento + XPS + placa de yeso + Perfiles + Placa de yeso	Placa cemento + XPS + placa de yeso + Perfiles + Placa de yeso +XPS + placa de yeso	Suelo lamina. + capa acústica + Solera seca + XPS+ placa yeso + perfiles + OSB + chapa colab. + falso techo placa de yeso	Aislamiento XPS + impermeabilizante + OSB + chapa colab. + falso techo placa de yeso	Placas de yeso + XPS + Placas de yeso	Placas de yeso + XPS + Placas de yeso + Placas de yeso + XPS + Placas de yeso
Masa (kg/ m²)	95	75	145	108	30	60
Espesor (cm)	0,8 + 1,25 + 8 + 1,25 5 + 2,75	1,25 + 8 + 1,25 + 5 + 1,25 + 8 + 1,25	0,8 + 1 + 2 8 + 2,5 + 16 + 0,9 + 10 + 2,5	16 + 0,15 + 0,9 10 + 2,5	1,25 + 8 + 1,25	1,25 + 8 + 1,25 1,25 + 8 + 1,25
	19,05	26,0	43,7	29,55	10,5	21,0
Altura o luz máxima (m)	3,0	3,0	4,0	4,0	2,6	2,6
Resistencia al fuego	EI60	EI120	REI60	REI60	EI30	EI60
Térmicas U (W/ m²K)	0,22	0,18	0,24	0,24	0,46	0,24
Acústicas (dBA)	RA,tr = 49	RA,tr = 55	RA = 67 Ln,w = 41	RA,tr = 48	RA = 45	RA = 59

NOTA: Los valores de la tabla son orientativos.

RA: Índice global de reducción acústica ponderado A, medido en laboratorio, para ruido aéreo interior.
Entre recintos de la misma vivienda: RA ≥ 33 dBA
Entre dos viviendas: RA ≥ 50 dBA

RA,tr: Índice global de reducción acústica ponderado A, medido en laboratorio, para ruido exterior.
Aislamiento acústico a ruido aéreo del cerramiento construido, D2m,nT,Atr, en dBA, entre un recinto protegido y el exterior, en función del índice de ruido día, Ld. En zona de tráfico 65 < Ld ≤ 70, **RA,tr** ≥ 37 dBA

Ln,w: Nivel de presión, medido en laboratorio, para ruido de impactos.
Otros recintos del edificio superpuestos o colindantes: Ln,w ≤ 65 dB

Sostenibilidad del sistema

En este caso, la **unidad funcional** para el cálculo de impactos ambientales y uso de recursos es el módulo prefabricado del sistema Ekonsteam de Jit Housing presentado al Diálogo Competitivo. El módulo aquí considerado incluye los siguientes elementos:

Se trata de sistema industrializado en 3D en seco con estructura vertical de acero. Plano inferior de módulos formado con estructura metálica de vigas de sección tubular rectangular de hasta 160 mm de canto, atornilladas a los pilares, correas en C de acero galvanizado, conformado en frío, atornilladas a las vigas principales cada 60 cm y tablero multicapa (Fibroyeso 12,5 mm + poliestireno extruido (XPS) 60/80 mm + Fibroyeso/fibrocemento 12,5 mm) fijado a las correas. Plano superior de módulos formado por estructura metálica de vigas de sección tubular rectangular de 100 mm de canto y plano multicapa conformada por chapa grecada de acero galvanizado, tablero OSB superior y doble placa de yeso laminado reforzada con fibra de vidrio inferior para dotar al conjunto del REI normativo.

Los paneles de la fachada están compuestos por un panel multicapa formado por un tablero de fibro-cemento en su cara exterior de 12,5 mm, un núcleo aislante de poliestireno extruido (XPS) 60/80 mm y un tablero de fibro-yeso 12,5 mm. Estos paneles están machihembrados a tope y fijados mecánicamente a la estructura. La junta entre los paneles de la cara exterior está sellada con cinta autoadhesiva. La estructura portante está conformada mediante perfiles en C de acero galvanizado, conformado en frío, atornilladas a las vigas principales cada 60 cm. El cerramiento se completa en su cara exterior mediante revestimiento de fachada ventilada compuesta por una lámina de aluminio plegada y perforada, anclada a una subestructura de aluminio que está atornillada a la estructura principal del cerramiento exterior. El trasdosado interior está formado por doble placa de yeso laminado reforzada con fibra de vidrio inferior para dotar al conjunto del REI normativo, las placas son adhesivadas a la estructura portante de cerramiento exterior de acero galvanizado, con aislamiento térmico-acústico en el interior del trasdosado formado por panel de lana mineral (MW).

Una vez montados y anclados cada uno de los módulos en su ubicación final, se procede a sellar de manera estanca la unión entre ellos de la siguiente manera: Sellado técnico entre módulos mediante poliuretano con altas prestaciones térmicas acústicas y de resistencia al fuego. Posteriormente se coloca una cinta autoadhesiva continua para mantener las mismas condiciones que el cerramiento exterior. Finalmente se instalan los elementos del revestimiento exterior afectado por las juntas.

Parámetros que describen los impactos ambientales

Parámetro **UNE EN 15804:2012**	**Unidades**	**Etapas de fabricación del producto** **A1+A2+A3**
Potencial total de calentamiento global (GWP) Calentamiento por emisión de gases efecto invernadero en CO_2 eq.	kg CO_2 eq.	23.500,0

Parámetros que describen el uso de recursos

Parámetros	**Unidades**	**Etapas de fabricación del producto** **A1+A2+A3**
Uso de energía primaria **renovable y no renovable**	MJ valor calorífico neto	45.000,0
Uso neto de recursos de **agua** dulce	m^3	12.000,00

4.2.4 ELEMENTOS 2D FABRICADOS CON PANELES DE MADERA CONTRALAMINADA CLT

Introducción

La madera es uno de los **materiales de construcción más antiguos** que existen. Cuando el uso del acero y el hormigón como materiales de construcción aumentó por la industrialización, las cualidades de la madera en la construcción urbana cayeron en el olvido.

Tal y como señala la Agencia Europea de Medioambiente en su informe **The European biomass puzzle**, las zonas forestales son uno de los recursos renovables más importantes de Europa, ya que cubren el 43% de su superficie terrestre. Esta masa forestal crece continuamente, produciendo más madera de la que se tala; de hecho, el material necesario para la construcción de un bloque de pisos de madera de tamaño medio crece en los bosques europeos en menos de medio minuto. Además, un bosque en crecimiento actúa como un sumidero de carbono, lo que contribuye a mitigar el cambio climático. En comparación con otros materiales, los edificios construidos con CLT almacenan el carbono captado hasta que la madera se descompone y el carbono se libera de nuevo a la atmósfera dentro del ciclo natural, **emitiendo considerablemente menos CO_2 por m^3 de material**. Este hecho coloca la madera como material destacado en la descarbonización de la construcción en un escenario de crisis climática global.

Los productos de CLT permiten el uso de la madera en construcciones de madera de varias plantas. Ensamblados en unidades volumétricas se crea un sistema flexible y altamente personalizable frente a otras soluciones y que, debido a la masa de sus componentes ofrecen un excelente comportamiento acústico, manteniendo todas las ventajas de la prefabricación en cuanto a organización, planificación de la obra y velocidad de montaje.

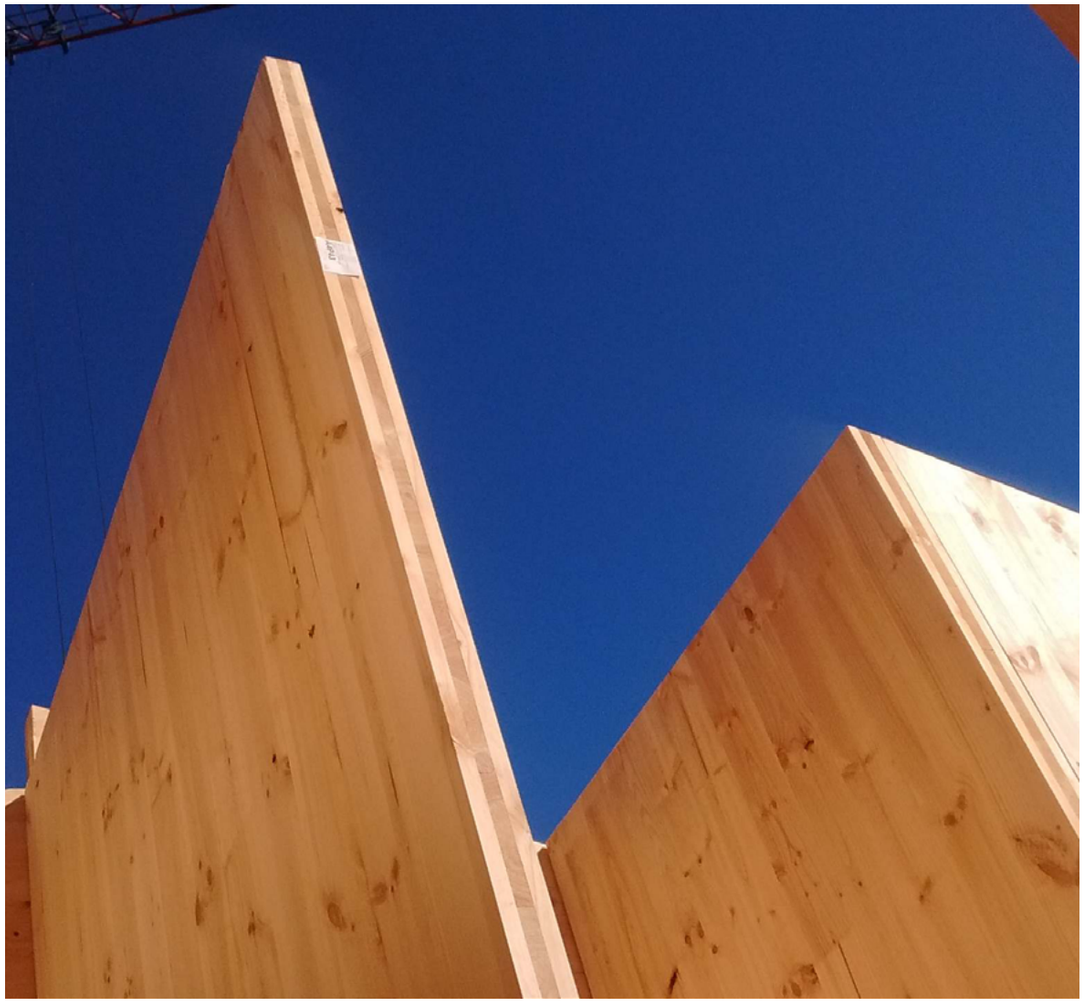


IMAGEN 4.2.4. Paneles 2D madera CLT. Egoin. Archivo de Visesa

Descripción del sistema

Los paneles de madera contralaminada CLT (Cross Laminated Timber) son elementos de construcción que se conforman mediante la colocación en al menos tres capas de tablas, habitualmente procedente de coníferas, pegadas entre sí mediante la aplicación de adhesivos y posterior prensado. Dependiendo de la aplicación y dimensiones necesarias pueden utilizarse más capas, debiendo cumplirse que el número total de capas sea impar. Las tablas colocadas en cada una de estas capas están orientadas de forma perpendicular a las de la capa adyacente. Esta configuración estructural hace que los paneles CLT sean resistentes a la flexión, a los esfuerzos cortantes y a los esfuerzos en el propio plano, lo que les permite ser utilizados tanto en elementos portantes en planos verticales como en horizontales.

Los espesores de los paneles varían en función de los requerimientos derivados de la función estructural de los paneles: cerramiento exterior, divisiones interiores o elementos horizontales. La resistencia de los paneles aumenta con el número de capas utilizadas, variando los espesores de los paneles entre 90 y 280 mm. Teniendo en cuenta que la densidad de las maderas normalmente utilizadas varía entre 450 y 550 kg/m^3, el peso por metro cuadrado de los paneles resultantes, dependiendo de las dimensiones y de las cargas a soportar, está en el entorno de los 50 kg para los elementos verticales y de 150 kg para los horizontales.

Los paneles son ensamblados en obra mediante uniones atornilladas y placas o angulares metálicos. Las características y buena ejecución de las uniones utilizadas para enlazar los paneles juegan un papel fundamental a la hora de proporcionar estabilidad y rigidez al edificio. La hermeticidad e impermeabilización de las juntas entre los paneles se logra utilizando cintas y sellantes. De esta forma, este sistema permite la ejecución completa de estructuras en construcción seca.

Características técnicas del sistema

El sistema de estructura prefabricada de CLT se entiende como un sistema no tradicional, ya que el CTE no incluye este material. El código de diseño estructural con madera actual, Eurocódigo 5, no incluye el dimensionado de estos paneles, aunque si se contempla un capítulo específico en el nuevo borrador de norma (prEN 1995-1-1). La certificación estructural de CLT debe realizarse a través de documentos de idoneidad técnica emitidos por organismos notificados.

La madera de coníferas utilizada para la fabricación de los paneles contralaminados, previamente a su pegado en capas, se somete a un tratamiento de secado hasta alcanzar porcentajes de humedad adecuados entorno al 12%. La madera utilizada debe ser clasificada estructuralmente, la Norma UNE 56544:2022 Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas establece el sistema de clasificación visual aplicable a la madera aserrada de las principales especies de coníferas españolas para su uso estructural. Por otra parte, la Norma UNE-EN 338:2016 Madera estructural. Clases resistentes establece un sistema de clases resistentes de uso general en el marco de las normas de cálculo estructural. Las clases resistentes habituales de las tablas utilizadas para la fabricación de paneles CLT oscilan desde la C16 a la C24.

Las propiedades mecánicas de los tableros de CLT son adecuadas y no presentan especiales limitaciones para soportar los efectos de las cargas verticales a las que esté sometido el sistema estructural. Sin embargo, los edificios de cierta altura construidos con tableros de CLT requieren de soluciones que confieran rigidez para soportar las cargas horizontales. En edificios de 3 o 4 plantas, la colocación de paneles verticales en planos ortogonales, con unas uniones adecuadas pueden ser suficiente, pero en edificios de mayor altura es más complicado de resolver. En el caso de edificios de altura media o alta se deberán agregar elementos diagonales de arriostramiento que proporcionen estabilidad a la estructura. La rigidez estructural ante las cargas horizontales se puede aumentar significativamente ensamblando elementos que conformen secciones tubulares para la formación del hueco del ascensor. La rigidez requerida por el tubo para proporcionar la estabilidad estructural se mejorará significativamente con un diseño apropiado de las conexiones entre paneles.

Estructuralmente, todos los elementos que forman parte de sistemas construidos con paneles, tanto los muros principales como las fachadas o las particiones interiores, tienen capacidad para colaborar en la trasmisión de cargas. Habitualmente, el sistema estructural más utilizado es el de forjados continuos, los paneles horizontales se apoyan sobre los verticales de la planta inferior y sobre los horizontales se colocan los verticales de la siguiente planta. Los paneles de CLT también permiten ser colocados con la mayor de las dimensiones en dirección vertical, de modo que los forjados no se apoyan sobre los paneles de la planta inferior, sino que irán sujetos a los elementos verticales. En esta disposición, la dirección longitudinal de las tablas que forman el panel debe coincidir con la de las cargas soportadas por el elemento; las tablas de las capas de las dos caras exteriores del panel deben colocarse en dirección vertical, de forma que la mayor parte de la madera en la sección transversal esté sometida a esfuerzos longitudinales.

La elevada capacidad de carga de esta tecnología, unida a un reducido peso propio de los paneles CLT, permite diseñar estructuras más ligeras. El sistema permite diseñar espacios con vanos de dimensiones importantes libres de pilares, siendo el espesor de los forjados resultantes menor a la de otros sistemas de mayor peso propio. Sin embargo, en el diseño debe tenerse en cuenta que los paneles de CLT son más propensos a las deformaciones dependientes del tiempo bajo carga que otros productos de madera técnica, como la madera laminada. El grupo sueco-fines Stora Enso publica información técnica de las propiedades mecánicas de los paneles CLT en sus catálogos técnicos y pueden consultarse capacidades de carga para elementos verticales y horizontales con diferentes luces y flechas finales de acuerdo a la norma EN 1995-1-1:2016. Por ejemplo, en el catálogo de este fabricante se recomiendan paneles de menos de 150 mm de espesor para luces de 4,0 metros y sobrecargas habituales en uso residencial.

La estabilidad ante las vibraciones de los paneles utilizados con función estructural es aceptable y, en cualquier caso, esta resistencia puede mejorarse sobredimensionando las secciones de estos elementos resistentes. De esta forma, los elementos estructurales, sin necesidad de protecciones adicionales, tendrían una resistencia al fuego de REI30 y los paneles de fachada de REI60. Estas resistencias se incrementan al incorporar capas de protección, práctica habitual, tanto para la formación de trasdosados en las fachadas, como en las superficies de acabado o aislamiento acústico en los cerramientos interiores. El CTE establece un requisito REI90 a partir de 15 metros de evacuación, esto quiere decir que a partir de planta baja más cuatro las secciones requerirán un sobredimensionamiento que pueden hacer no viable económicamente la utilización de paneles CLT. No obstante, actualmente se construyen edificios utilizando paneles CLT de mucha mayor altura mediante la incorporación de capas protectoras de yeso o fibras minerales en las caras de los paneles de CLT hasta lograr una resistencia REI90 y pudiendo alcanzarse resistencias de REI240. Dependiendo de la especie forestal utilizada la reacción al fuego puede variar, siendo habitual para las maderas utilizadas una clasificación de reacción al fuego D-s2, d0. La velocidad de carbonización de las maderas para la fabricación de paneles de CLT está en torno a 0,7 mm/min.

La madera como material de construcción, en comparación con otros materiales, experimenta pequeñas variaciones de temperatura (la conductividad térmica de la madera es aproximadamente 10 veces más baja que la del hormigón, y 300 veces más baja que la del acero) por lo que podría decirse que tiene el comportamiento de un aislante térmico. La conductividad y la capacidad térmica de los paneles CLT es prácticamente la misma que para la madera maciza. La conductividad térmica, que describe la capacidad aislante de un material, es de 0,16 W/(m·K).

Las **vibraciones** perceptibles en una estructura dependen de la masa, la luz de los elementos estructurales, la rigidez de los elementos planos y las características de las uniones. Las cualidades propias de los paneles de CLT conllevan que puedan ser susceptibles de presentar vibraciones que resulten incomodas. Este inconveniente se evita logrando que la frecuencia natural más baja de la estructura sea más alta que la frecuencia de la excitación. Las personas son sensibles a las vibraciones por debajo de 8 Hz y, por lo tanto, para evitar vibraciones molestas, la frecuencia natural de la estructura del forjado no debería ser inferior a este valor. En el caso de las estructuras de madera, los paneles de CLT se comportan mejor que otras estructuras de madera cuando los paneles están apoyados y sujetos adecuadamente en los cuatro lados, lo que permite amortiguar las vibraciones que pudieran producirse. También es importante tener en cuenta que, en caso de utilizar losas continuas, los paneles del forjado podrían transferir vibraciones entre diferentes habitaciones.



IMAGEN 4.2.5 Paneles 2D madera CLT. Fuente_Nasuvinsa

Como posible referencia, el fabricante de productos CLT Stora Enso, facilita en sus catálogos técnicos las capacidades de los paneles con diferentes conformaciones dimensionales, teniendo en consideración las vibraciones según EN 1995-1-1 y Kreuzinger & Mohr. La información proporcionada considera que la frecuencia fundamental de las configuraciones será mayor que 8Hz y, que en el caso de que la frecuencia fundamental estuviera comprendida entre 4Hz y 8Hz, los valores considerados en elementos biapoyados, con una capa cementada de 5 cm en la superficie de acabado, son los siguientes: la deformación para una carga puntual de 2 kN será wEF < 1 mm, el coeficiente de amortiguamiento modal adoptando de ζ=2% y el factor de deformación kdef=0,6 (clase de servicio 1, humedad relativa del aire que sólo supere el 65% durante unas pocas semanas al año). De esta forma, la respuesta de la velocidad frente a un impulso unitario queda por debajo del valor límite.

La transmisión directa del sonido entre pisos se reduce colocando en las uniones de paneles juntas para la desolidarización en las uniones, para atenuar la transmisión de las vibraciones y, por lo tanto, el ruido de impacto. Estas juntas acústicas deben ser capaces de absorber las presiones de trabajo, siendo el caucho el material más utilizado para esta función.

Prestaciones de los diferentes elementos constructivos

Elementos constructivos	Fachadas		Forjados	Cubierta plana	Tabiquería portante	
	SATE (EPS) CLT 90 mm Trasdosado	Ventilada CLT 90 mm Trasdosado	Solado + aislamiento acústico + capa niveladora + Panel CLT 150 mm + Placa de yeso	Impermeabilizante + aislamiento + barrera de vapor + formación pendientes con rastrel, aislamiento y OSB + Panel CLT 150 mm + placa de yeso	Placa de yeso + Muro CLT 120 mm + Placa de yeso	Placa de yeso + Aislamiento + Muro CLT 120 mm+ Aislamiento + Placas de yeso
Masa (kg/ m²)	74	85	225	130	75	100
Espesor (cm)	7+20 9 5+1,5	1,9+16 9 5+1,5	0,6 + 3 + 6 15 + 1,5	0,25 + 14 + 0,25 + 12 + 15 + 1,5	1,5 12 1,5	1,5 + 8 12 8 + 1,5
	42,5	33,4	26,1	43,0	15,0	31,0
Altura o luz máxima (m)	3,0	3,0	6,0	6,0	3,0	3,0
Resistencia al fuego	REI60	REI60	REI60	REI60	REI60	REI90
Térmicas U (W/ m²K)	0,135	0,135	0,39	0,15	0,9	0,19
Acústicas (dBA)	RA,tr = 44	RA,tr = 44	RA = 65 Ln,w = 55	RA,tr = 54	RA = 38	RA = 50

NOTA: Los valores de la tabla son orientativos.
RA: Índice global de reducción acústica ponderado A, medido en laboratorio, para ruido aéreo interior.
Entre recintos de la misma vivienda: RA ≥ 33 dBA
Entre dos viviendas: RA ≥ 50 dBA

RA,tr: Índice global de reducción acústica ponderado A, medido en laboratorio, para ruido exterior.
Aislamiento acústico a ruido aéreo del cerramiento construido, D2m,nT,Atr, en dBA, entre un recinto protegido y el exterior, en función del índice de ruido día, Ld. En zona de tráfico 65 < Ld ≤ 70, **RA,tr** ≥ 37 dBA
Ln,w: Nivel de presión, medido en laboratorio, para ruido de impactos.
Otros recintos del edificio superpuestos o colindantes: Ln,w ≤ 65 dB

Sostenibilidad del sistema

Atendiendo a los indicadores considerados en los sistemas más utilizados para la evaluación y certificación de la sostenibilidad de los edificios, los edificios construidos con paneles CLT alcanzan niveles elevados en los aspectos relacionados con el diseño, la ejecución de la construcción, el posterior funcionamiento de los edificios y la fase final de su ciclo de vida.

Los edificios de madera presentan un comportamiento eficiente con relación al consumo de recursos durante todo su ciclo de vida (Análisis de Ciclo de Vida, ACV) puesto que consumen menos agua y energía y generan menos residuos tanto a lo largo de su proceso de fabricación, construcción y su posible reutilización o demolición, además de su función de sumidero de carbono durante la fase de crecimiento.

Dado el origen de la materia prima utilizada para la producción de paneles CLT, la fabricación requiere una reducida utilización de combustibles fósiles, minimizando con ello las emisiones de CO_2.

En los siguientes datos del análisis del ciclo de vida de paneles CLT aparecen los valores correspondientes a los impactos ambientales y uso de recursos en la etapa de producción. Esta etapa es la más significativa en un análisis “de la cuna a la tumba”, pero en el caso de la madera, también es reseñable el impacto en las etapas finales de la vida útil. Si bien la madera es un material que permite su reutilización en productos de menores exigencias técnicas, también puede ser utilizado como combustible para su valoración energética con las correspondientes emisiones.

Las referencias utilizadas para la elaboración de las siguientes tablas son las Declaraciones Ambientales de Producto (Enviromental Product Declaration, EPD) de los paneles fabricados por Egoin Wood Group, KLH Massivholz GmbH y Binderholz Bausysteme GmbH.

Declaraciones que han sido elaboradas de acuerdo con las Reglas de Categoría de Producto (Product Category Rules, PCR) para productos de construcción según la EN 15804:2012+A2:2020 Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción.

La **unidad funcional** utilizada es 1 m^3 de tablero contralaminado, en los tres casos, con una vida útil media de referencia de 50 años. En el proceso de fabricación y montaje de paneles de CLT se han considerado las siguientes etapas: A1 extracción de la madera resinosa, consumo de cola y electricidad necesaria para la fabricación del tablero, A2 transporte a fábrica de las materias primas, y A3 saneado, corte y cepillado de la madera previo al encolado.

Parámetros que describen los impactos ambientales potenciales

Parámetro **UNE EN 15804:2012+A2:2020**	**Unidades**	**Etapas de fabricación del producto**
		A1+A2+A3
Potencial total de calentamiento global (GWP) Calentamiento por emisión de gases efecto invernadero en CO_2 eq.	kg CO_2 eq.	- 700,0
Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico Reducción de la capa de ozono por liberación de gases en CFC11 eq.	kg x 10^{-6} CFC 11 eq.	25,0
Potencial de acidificación del suelo y de los recursos de agua Efecto de acidificación de la lluvia ácida generada por los gases emitidos	mol H^+ eq.	0,5
Potencial de eutrofización del agua dulce Crecimiento excesivo de algas por la mayor disponibilidad de nutrientes	kg P eq.	0,025
Potencial de eutrofización del agua marina Crecimiento excesivo de algas por la mayor disponibilidad de nutrientes	kg P eq.	30
Potencial de eutrofización del suelo Efectos de lixiviación del nitrógeno mineral en las aguas de los ríos	mol N eq.	2,5
Potencial de formación de ozono troposférico Efecto adverso en las vías respiratorias del ozono presente en el aire	kg NMVOC eq.	1,0
Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos no fósiles Disminución de recursos no renovables como los minerales debido a su extracción en kg de Sb eq.	kg x 10^{-6} Sb eq.	500,0
Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos fósiles Disminución de recursos no renovables como los combustibles fósiles debido a su extracción y uso en MJ	MJ valor calorífico neto	6.500,0

En un escenario en el que una vez finalizada la vida útil de los paneles la madera sea revalorizada energéticamente mediante su incineración, el carbono biogénico sería devuelto a la atmósfera y el potencial de calentamiento global GWP en la etapa C3 de reutilización sería similar al valor negativo considerado en la etapa A1. En este escenario, teniendo en cuenta las emisiones del resto de etapas, el resultado final de emisiones de CO_2 sería ligeramente mayor que cero.

Parámetros que describen el uso de recursos

Parámetros	**Unidades**	**Etapas de fabricación del producto**
		A1+A2+A3
Uso de energía primaria **renovable y no renovable**, excluyendo la energía primaria contenida en la materia prima	MJ valor calorífico neto	4.500,0
Uso de energía primaria **renovable** contenida en la materia prima		8.000,0
Uso de energía primaria **no renovable** contenida en la materia prima		125,0
Uso neto de recursos de **agua** dulce	m^3	1,0

4.2.5 ELEMENTOS 2D FABRICADOS CON ENTRAMADO LIGERO DE MADERA

Introducción

El entramado ligero de madera, creado a mediados del siglo XIX es uno de los **primeros sistemas de construcción industrializada**. Se desarrolló inicialmente en forma de Balloon Frame y posteriormente se mejoraron algunos aspectos, principalmente la sistematización de la fabricación, mediante en Platfom Frame. Este sistema tiene varias ventajas, entre los que **destacan el aprovechamiento del material** y la multifuncionalidad de los elementos estructurales. Al mismo tiempo tiene algunas limitaciones estructurales. Estas limitaciones se deben principalmente a la disposición de algunas barras en horizontal, lo que hace que, en estas barras, la madera trabaje en dirección perpendicular a la de sus fibras (la capacidad mecánica en esta dirección es de alrededor de un 25 % de la paralela).

En los últimos años se ha desarrollado la tecnología de CLT, que ha sustituido al entramado de madera por mejorar el comportamiento estructurar y simplificar la construcción. Sin embargo, estamos en un momento en el que la construcción en madera está extendiéndose y el alto consumo de material del CLT hace que el entramado ligero de madera plantea una alternativa en los casos en los que es de aplicación. En nuestro entorno se limita su uso a edificios de tres plantas, si bien en países anglosajones se emplea en edificios de hasta cinco plantas. Se están desarrollando alternativas al Platform Frame para mejorar su capacidad estructural y se pueda emplear en alturas mayores.

Su modo de trabajo estructural se asimila a los sistemas de muros de carga, en los que el soporte se realiza mediante la disposición de planos de soporte. El sistema funciona bien con luces pequeñas o medias. La existencia de planos de soporte interiores al edificio condiciona la forma arquitectónica. En edificios de viviendas el sistema funciona bien, dado que el rango de dimensiones de los espacios libres es pequeño.

La adaptabilidad de estos sistemas requiere de estrategias específicas para que la rigidez de la estructura no resulte un impedimento para la flexibilidad de uso. Esto mismo ocurre con los entramados ligeros de acero, los cuales, aun cambiando el material, tienen características similares.



IMAGEN 4.2.6. Entramado Ligero de Madera. Fuente_ETH Zurich, NCCR Digital Fabrication. Foto_Roman Keller

Descripción del sistema

Los paneles de madera contralaminada CLT (Cross Laminated Timber) son elementos de construcción que se conforman mediante la colocación en al menos tres **capas de tablas**, habitualmente procedente de coníferas, pegadas entre sí mediante la aplicación de adhesivos y posterior prensado. Dependiendo de la aplicación y dimensiones necesarias pueden utilizarse más capas, debiendo cumplirse que el **número total de capas sea impar**. Las tablas colocadas en cada una de estas capas están **orientadas de forma perpendicular** a las de la capa adyacente. Esta configuración estructural hace que los paneles CLT sean resistentes a la flexión, a los esfuerzos cortantes y a los esfuerzos en el propio plano, lo que les permite ser utilizados **tanto en elementos portantes en planos verticales como en horizontales**.

Los **espesores** de los paneles varían en función de los requerimientos derivados de la función estructural de los paneles: cerramiento exterior, divisiones interiores o elementos horizontales. La resistencia de los paneles aumenta con el número de capas utilizadas, variando los espesores de los paneles entre 90 y 280 mm. Teniendo en cuenta que la densidad de las maderas normalmente utilizadas varía entre 450 y 550 kg/m^3, el peso por metro cuadrado de los paneles resultantes, dependiendo de las dimensiones y de las cargas a soportar, está en el entorno de los 50 kg para los elementos verticales y de 150 kg para los horizontales.

Los paneles son ensamblados en obra mediante uniones atornilladas y placas o angulares metálicos. Las características y buena ejecución de las uniones utilizadas para enlazar los paneles juegan un papel fundamental a la hora de proporcionar estabilidad y rigidez al edificio. La hermeticidad e impermeabilización de las juntas entre los paneles se logra utilizando cintas y sellantes. De esta forma, este sistema permite la ejecución completa de estructuras en construcción seca.

Características técnicas del sistema

Los entramados ligeros de madera se utilizan sobre todo para la construcción de viviendas unifamiliaresy plurifamiliares de una o dos plantas, como solución habitual, pudiendo llegar a mayores aturas en países como Canadá donde la normativa contempla hasta un máximo de 6 plantas. Desde la perspectiva estructural, la principal diferencia entre los edificios de cuatro y de seis pisos con estructura de madera es que estos últimos están sujetos a cargas verticales y laterales significativamente mayores. El peso propio del edificio, que representa la mayor parte de la carga vertical, aumenta en un 50%, este incremento de carga queda resuelto con montantes de mayor sección, mientras que las fuerzas del viento y sísmicas, que son las cargas laterales más comunes, se duplican. El aumento de las cargas horizontales en los edificios de cinco y seis pisos se debe abordar aumentando el número, la longitud y capacidad de los muros a cortante. En edificios de mayor altura, los elementos constructivos planos conformados con entramados ligeros de madera pueden ser una buena alternativa utilizados como elementos de fachada. Estos elementos arquitectónicos son adecuados para ser combinados con otros sistemas estructurales que resuelven con mayor eficacia los problemas asociados a los edificios con un número elevado de plantas.

El Eurocódigo 5 (EC5) proporciona las bases de cálculo para la resistencia, la estabilidad y la deformación de las estructuras de madera, y es la norma de referencia principal para el diseño estructural de edificaciones de madera en Europa.

La transmisión de **ruido interior** entre dos recintos (o desde el exterior) se produce por dos vías, por vía directa a través del elemento constructivo de separación, en este caso la transmisión depende básicamente de las propiedades físicas y geométricas del tipo de elemento constructivo, y por vía indirecta debido a la transmisión de las **vibraciones** en los elementos conectados al elemento de separación principal, en esta vía de transmisión adquieren especial importancia las características de las uniones y juntas entre los elementos en contacto. La reducción de la propagación del ruido aéreo o el debido a impactos está relacionado con las frecuencias naturales de vibración del elemento de separación o transmisión. En los entramados ligeros de madera, para modificar estas frecuencias, se puede

actuar en las inercias, masas u otros materiales incorporados en el elemento además de la propia madera. Por ejemplo, en los elementos horizontales en la cara superior de los forjados se pueden añadir capas para el aislamiento o la nivelación y falsos techos de paneles de yeso en las caras inferiores, en los elementos verticales se pueden colocar capas de paneles de yeso en una o ambas caras de los cerramientos.

Los entramados ligeros de madera permiten alojar el **aislamiento** en el espacio creado por los montantes. Los entramados, en un solo conjunto de espesor reducido, permiten colocar la estructura portante, el aislamiento, los cerramientos con su acabado e incluso proporcionan el espacio para la colocación de las instalaciones. La eficacia de la envolvente en los edificios resueltos con elementos de madera se ve directamente afectada por cuatro procesos físicos interrelacionados, como son la humedad, el aire, el vapor y el calor que circulan entre los recintos o el exterior a través de las distintas juntas. Los materiales que componen la envolvente del edificio deben ser seleccionados y dispuestos para controlar eficazmente estos cuatro factores. La envolvente de los edificios con estructura de madera requiere controlar la humedad exterior; manteniéndola fuera del entramado y, si se diese el caso, drenando cualquier humedad que pudiera penetrar en la envolvente del edificio hacia el exterior.
El primer plano de protección sería el revestimiento exterior, habitualmente formada por paneles compuestos por mezclas de cemento y madera o materiales cerámicos. El segundo plano de protección normalmente consiste en una membrana impermeabilizante. Las láminas de polietileno se utilizan comúnmente como impermeabilizante y barrera de aire por ser relativamente fáciles de asegurar y sellar en los paneles de madera. La hermeticidad de las juntas entre paneles se lograría incorporando materiales con baja permeabilidad al aire. Por otro lado, por la parte interior del cerramiento de fachada, las actividades en la vivienda en la zona de cocina y en los baños liberan vapor de agua en el aire y este puede circular a través de los materiales de la fachada penetrando en los materiales. A medida que el vapor de agua se difunde a través del material de aislamiento de los entramados puede **condensarse** en superficies frías como puede ser la cara interior del revestimiento exterior de los cerramientos y causar el deterioro de la madera. Este riesgo se soluciona mediante la colocación de barreras formadas por membranas con permeabilidad al vapor de polipropileno.



IMAGEN 4.2.7 Estructura de entramado ligero de madera. Proyecto ALICE, EPFL. Foto_Dylan Prrenoud

Los tipos de aislamiento que pueden ubicarse en el espacio creado por los montantes incluyen aislamiento de espuma rígida, lana mineral en forma de fibra de vidrio o de roca. La mayoría de los edificios con estructura de madera que se construyen actualmente están aislados con lana mineral. El espesor del aislamiento requerido para un adecuado rendimiento térmico dependerá de las condiciones térmicas y esto, a su vez, influirá en las dimensiones de los montantes de madera.

La **humedad** de la madera influye en sus propiedades mecánicas y de conservación, de tal forma que al aumentar su contenido de humedad disminuyen las propiedades mecánicas y su durabilidad. Los elementos de la estructura de madera que estén en contacto con otros materiales, que puedan ser susceptibles de transmitir humedad por capilaridad, deberán separarse mediante juntas impermeables que garanticen el aislamiento.

La **resistencia al fuego** es una característica que debe evaluarse para el conjunto del sistema constructivo, y no solo para uno de los materiales, por tanto, requiere el análisis de la solución constructiva en su totalidad, teniendo en cuenta cada uno de los materiales empleados, su disposición y la manera en la que se han unido. Si se considerara únicamente el comportamiento del entramado de madera, su resistencia al fuego sería menor por utilizarse para su montaje secciones de madera reducidas, por lo tanto, es necesario emplear otros elementos para lograr una adecuada resistencia al fuego. Las capas de protección del entramado de madera estructural están formadas con materiales incombustibles como las placas de yeso o las placas con base cemento. A mayor espesor de estas capas y a mayor número de capas mayor será la resistencia al fuego obtenida en el sistema constructivo. También se aumentará la resistencia al fuego con la utilización de listones de madera con mayores dimensiones o menor distanciamiento entre las piezas en el entramado. A modo de ejemplo, en un panel compuesto por un bastidor principal de listones madera de 140 mm en su mayor dimensión, con aislante térmico de lana de roca de 80 mm de espesor y densidad 70 kg/m^3 en su interior, con una placa de cierre exterior de madera-cemento de 20 mm de espesor y 1.350 kg/m^3 de densidad, y otra placa de cierre interior (PYL Tipo F) de 15 mm de espesor, junto con un trasdosado autoportante formado por una subestructura de acero galvanizado con montantes de 48 mm de ancho, lana mineral de vidrio de 50 mm de espesor, placa de yeso laminado (PYL Tipo A) estándar de 15 mm de espesor, en el cual se utilicen juntas con sellante intumescente, tanto en las placas de cierre interior como en el perímetro de la subestructura del trasdosado, así como en los encuentros del panel prefabricado con el forjado, se obtendría una resistencia al fuego EI90.

Prestaciones de los diferentes elementos constructivos

	Fachadas		Forjados	Cubierta plana	Tabiquería portante	
	Estructural	Arquitectónica			Interior	Entre viviendas
Elementos constructivos	Tablero+ Entramado 200 mm + Doble placa de yeso	(Ventilada Placa+aire+Placa Entramado 140 mm + Trasdosado aislado	Suelo lamina. + aislamiento acústico+ aislante Entramado 300 mm aislante + placa de yeso	Impermeabilizante + formación pendientes con rastrel y tablero fibras de madera + Entramado madera 100 mm + aislante + placa de yeso	Placas de yeso + Entramado + Placas de yeso	Placas de yeso + Entramado + Placas de yeso
Masa (kg/ m²)	60	60	100	100	40	50
Espesor (cm)	1,5 20 1,5 + 1,5	0,8 + 2,5 + 2 14 1,5 + 6 + 1,5	0,8 + 4 + 5 30 5 + 1,5	0,15 + 5 10 1,5 + 20 + 1,5 15	1,5 13 1,5	1,5 15 1,5
	24,5	**28,3**	46,3	63,15	16,0	16,0
Altura o luz máxima (m)	3,0	3,0	8,0	8,0	3,0	3,0
Resistencia al fuego	REI60	REI90	REI60	REI60	REI60	REI60
Térmicas U (W/ m²K)	0,15	0,213	0,15	0,16	0,20	0,15
Acústicas (dBA)	RA,tr = 46	RA,tr = 48,9	RA = 36 Ln,w = 53	RA,tr = 45	RA = 45	RA = 48

NOTA: Los valores de la tabla son orientativos.

RA: Índice global de reducción acústica ponderado A, medido en laboratorio, para ruido aéreo interior.
Entre recintos de la misma vivienda: RA ≥ 33 dBA
Entre dos viviendas: RA ≥ 50 dBA

RA,tr: Índice global de reducción acústica ponderado A, medido en laboratorio, para ruido exterior.
Aislamiento acústico a ruido aéreo del cerramiento construido, D2m,nT,Atr, en dBA, entre un recinto protegido y el exterior, en función del índice de ruido día, Ld. En zona de tráfico 65 < Ld ≤ 70, **RA,tr** ≥ 37 dBA

Ln,w: Nivel de presión, medido en laboratorio, para ruido de impactos.
Otros recintos del edificio superpuestos o colindantes: Ln,w ≤ 65 dB

Sostenibilidad del sistema

La madera es uno de los pocos materiales utilizados en construcción que, con una gestión forestal adecuada, se produce de manera **renovable**, es decir, su crecimiento natural es superior al ritmo en el que se consume. Prácticamente el 90% de cada árbol se utiliza en diferentes aplicaciones, además de la madera aserrada, los residuos generados pueden ser utilizados para la fabricación de otros productos derivados de la madera para los que se utilizan trozos aserrados de menor tamaño, partículas, fibras o pasta para la producción de papel.

Los elementos de madera, al final de su vida útil, son relativamente fáciles de desmontar y los distintos componentes añadidos pueden desacoplarse y disgregarse de forma sencilla para su reutilización. Incluso cuando por el tamaño resultante de las partículas no sea posible la reutilización en otros productos, la madera puede ser valorizada energéticamente y, aunque de esta forma el efecto sumidero de CO_2 quede anulado, la cantidad de energía consumida en los procesos de fabricación de la madera será netamente inferior a la que pueda utilizarse en la fabricación de cemento o acero.

En el Análisis del Ciclo de Vida de edificios en los que predomina la utilización de elementos constructivos derivados de la madera, el consumo de combustibles fósiles tienden a ser de menor importancia comparativamente con otros materiales de construcción. La energía consumida durante la transformación de la materia prima incluyendo la extracción, fabricación, transporte e instalación utilizados para la fabricación de productos y elementos de madera es menor que la de otros materiales.

Por otra parte, al ser la madera un material con baja conductividad térmica, lo que le confiere propiedades de aislante térmico, se reduce el consumo de energía necesario para climatizar el edificio. Por lo tanto, se reduce la energía consumida en los edificios para mantener las condiciones de habitabilidad (calefacción, refrigeración, ventilación) a lo largo de su vida útil de funcionamiento. No obstante, si bien la madera tiene cualidades de aislante térmico, no lo es tanto en comparación con las espumas de poliuretano expandido (EPS) o de poliestireno extruido (XPS), lanas roca, corcho o el propio aire. Los edificios con estructuras de entramado de madera tienen la ventaja de que constructivamente admiten el grueso del aislamiento requerido sin aumentar el volumen de los cerramientos.

Las pérdidas de energía a través de las juntas constructivas debido a infiltraciones de aire pueden ser otra de las causas más importantes de ineficiencia energética en los edificios, la construcción en madera se caracteriza por una alta estanqueidad que ese logra con el uso de bandas de estanqueidad. La norma UNE-EN 12152 Fachadas ligeras. Permeabilidad al aire. Requisitos de funcionamiento y clasificación especifica los requisitos y la clasificación de la permeabilidad al aire de los elementos, tanto fijos como de apertura, de una fachada ligera, sometida a presión estática positiva y negativa.

La presente declaración representa el comportamiento del producto fachada industrializada LIGNUM TECH fabricado por la empresa del mismo nombre. Y ha sido elaborada de acuerdo con las Reglas de Categoría de Producto (Product Category Rules, PCR) para productos de construcción según la EN 15804:2012+A2:2020 Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción.

La **unidad funcional** declarada ha sido de 1 m^2 de fachada Lignum Tech, con un peso aproximado de 61 kg/m^2, repartidos de la siguiente forma: madera 25 kg, cemento/madera 26 kg, plástico 1 kg, lana de roca 7 kg, y acero/aluminio 2 kg.

En este caso, únicamente se han considerado las etapas de producción del Análisis del Ciclo de Vida. Cuando la declaración ambiental se realiza abarcando todas las etapas de la cuna a la tumba, el balance entre la absorción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) presentes en la atmósfera (que se produce cuando el CO_2 es absorbido por materiales biogénicos durante la fotosíntesis) y la emisión o acumulación del CO_2 biogénico se debiera considerar neutro. En función de la tecnología de fin de vida útil específica, los gases de carbono afectados (CO_2, CO, CH4) podrían quedar almacenados en subproductos reutilizables o ser liberados como consecuencia de una combustión.

En el escenario en el que una vez finalizada la vida útil de los productos de madera estos sean revalorizados energéticamente mediante su incineración, en la etapa C3 de reutilización, cuando se utiliza la biomasa como fuente de energía, en el Potencial de Calentamiento Global (Global Warming Potential, GWP) el carbono biogénico en el producto se liberaría de la misma forma que en el caso de carbono fósil.

Parámetros que describen los impactos ambientales potenciales

Parámetro **UNE EN 15804:2012+A2:2020**	**Unidades**	**Etapas de fabricación del producto**
		A1+A2+A3
Potencial total de calentamiento global (GWP) Calentamiento por emisión de gases efecto invernadero en CO_2 eq.	kg CO_2 eq.	- 60,0
Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico Reducción de la capa de ozono por liberación de gases en CFC11 eq.	kg x 10^{-6} CFC 11 eq.	4,0
Potencial de acidificación del suelo y de los recursos de agua Efecto de acidificación de la lluvia ácida generada por los gases emitidos	mol H^+ eq.	0,2
Potencial de eutrofización del agua dulce Crecimiento excesivo de algas por la mayor disponibilidad de nutrientes	kg P eq.	0,0015
Potencial de eutrofización del agua marina Crecimiento excesivo de algas por la mayor disponibilidad de nutrientes	kg P eq.	0,04
Potencial de eutrofización del suelo Efectos de lixiviación del nitrógeno mineral en las aguas de los ríos	mol N eq.	0,4
Potencial de formación de ozono troposférico Efecto adverso en las vías respiratorias del ozono presente en el aire	kg NMVOC eq.	0,16
Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos no fósiles Disminución de recursos no renovables como los minerales debido a su extracción en kg de Sb eq.	kg x 10^{-6} Sb eq.	300,0
Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos fósiles Disminución de recursos no renovables como los combustibles fósiles debido a su extracción y uso en MJ	MJ valor calorífico neto	470

Parámetros que describen el uso de recursos

Parámetros	**Unidades**	**Etapas de fabricación del producto**
		A1+A2+A3
Uso de energía primaria **renovable y no renovable**, excluyendo la energía primaria contenida en la materia prima	MJ valor calorífico neto	500,0
Uso de energía primaria **renovable** contenida en la materia prima		1.250,0
Uso de energía primaria **no renovable** contenida en la materia prima		0,0
Uso neto de recursos de **agua** dulce	m^3	9,0

4.2.6 ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS PARA EL PROYECTO PILOTO (FASE 2): SOPELA-ASU 33VPOA

Atendiendo a las categorías indicadas, las propuestas que han participado en el Diálogo Competitivo para el Proyecto Piloto del Plan de Industrialización, Sopela-Asu 33VPOa, se distribuyen de la siguiente manera:

Categoría		CONSTRUCTORA	ARQUITECTURA	INDUSTRIAL
Hormigón 2D	Propuesta 1	Obras Especiales	Arkigest Estudioa	Viguetas Navarras
Hormigón 2D	Propuesta 2	Sukia	dAAr Arquitectura	Exitu (Cándido Zamora)
Hormigón 2D	Propuesta 3	Altuna y Uria	Fiark + Dasein Ingenieros	Sei System + Prehorquisa
Hormigón 2D	Propuesta 4	Avintia	i2G	Ávita
Steel Frame	Propuesta 1	ACR	Varquitectos	Afca Teccon
Steel Frame	Propuesta 2	Amenabar	Typsa	BHS
Módulos 3D Acero	Propuesta 1	Viuda de Sainz	BIEME + XLark	JIT Housing
Módulos 3D Acero	Propuesta 2	Ocisa	Jorge Cuevas	Goierry Valley
Módulos 3D Acero	Propuesta 3	Bauen	JAAM	Neoblock
Madera CLT		Conscytec (Eiffage)	AGVAR	Xilonor (Finsa) / Madergia
Madera. Entramado ligero		UTE Moyua - Bycam	Esparza Arquitectura	Medgon + Porcelanosa
Madera Mixto		Egoin / Woodea	López Rivera / Societat Orgànica	Egoin

4.3 Categorías. Grado de Industrialización

En el proceso de implantación de soluciones industrializadas en el sector de la construcción, comprender el grado de industrialización de un proyecto se convierte en una clave esencial para evaluar su eficiencia, sostenibilidad y viabilidad económica. Para realizar este análisis necesitamos un **marco de referencia común**, que facilite análisis comparativos precisos y evidencie las correlaciones que se establecen entre el nivel de industrialización y otros indicadores relevantes, como el coste económico y la sostenibilidad ambiental. A través de esta categorización, no solo podremos discernir las ventajas competitivas de distintos enfoques de diseño y construcción, sino también fijar estrategias que promuevan prácticas más sostenibles y económicamente viables en el ámbito arquitectónico.

Disponer de un lenguaje común ahorrará grandes cantidades de trabajo y duplicación de esfuerzos y mejorará la **confianza y colaboración** entre los distintos agentes participantes en el proceso edificatorio: sociedades tasadoras, entidades financieras, compañías aseguradoras, proyectistas, contratistas, industriales y promotores.

*Disponer de un **lenguaje común** ahorrará grandes cantidades de trabajo y duplicación de esfuerzos y mejorará la confianza y colaboración entre los distintos agentes participantes en el proceso edificatorio*

4.3.1 Referencias Internacionales

Reino Unido

El trabajo realizado en el Reino Unido para definir los distintos grados de industrialización resulta especialmente interesante porque llevan trabajando desde hace más de una década desarrollando documentos técnicos de apoyo a la implantación de la construcción industrializada. Este esfuerzo ha encontrado su impulso en unas **decisiones** que han abogado de manera clara por la industrialización. Resulta interesante recoger una serie de hitos que nos ayudan a entender por qué Reino Unido es un referente en la normalización de los procesos de la construcción industrializada:

- En **2013** el Royal Institute of British Architects (RIBA) inició los primeros estudios sobre la aplicación de DfMA. Ese año, el RIBA reconoció el potencial de DfMA en la industria de la construcción y agregó una superposición de DfMA a su conocido Plan de Trabajo para implementar los principios y directrices de DfMA.
- En **2017** la comisión de ciencia y tecnología del parlamento británico presentó el informe titulado "**Off-site Manufacture for Construction: Building for Change**"
- En **2018** el gobierno hace público su **UK Construction Sector Deal's Implementation Plan**, en el que se da un impulso a la construcción offsite.
- En **2019**, el Ministry of Housing, Communities & Local Government (**MHCLG**) define **7 categorías de MMC (Modern Methods of Construction)**.
- En **2020**, El gobierno pone como condición de su programa de viviendas asequibles de 11.500 millones de libras esterlinas (**AHP** 2021-2026) que al menos el 25% de esas viviendas se fabriquen a través de Métodos Modernos de Construcción MMC.

Todas estas iniciativas públicas han facilitado esa **labor de normalización** de conceptos que facilita a los distintos agentes involucrados un **marco común de entendimiento** a la hora de diseñar y analizar las operaciones inmobiliarias.

En lo que se refiere a **grados de industrialización**, el documento de referencia es "**Mothern Methods of Construction. Introducing the MMC definition Framework**", elaborado por el Ministry of Housing, Communities & Local Government del Reino Unido. Este trabajo ha sido realizado por un subgrupo de especialistas dirigido por Mark Farmer, director CEO de Cast Consultancy, con el apoyo de representantes de Buildoffsite, Homes England, National Home Building Council (NHBC) y Royal Institute of Chartered Surveyors (RICS).



IMAGEN 4.3.1 Categorías de Mothern Methods of Construction (MMC). Fuente_UK Government

Singapur

Singapur es uno de los países del mundo más destacados en edificaciones industrializadas. La Housing and Development Board (HDB) o Junta de Desarrollo y Vivienda se fundó en 1960 con el objetivo de paliar de manera urgente la situación de la vivienda en la que se encontraba la ciudad con su independencia en 1959 del Reino Unido, tras haber perdido parte de sus edificaciones en la Segunda Guerra mundial.

El tipo de viviendas que construía la HDB fue progresivamente evolucionando, desde viviendas de una habitación al inicio, a viviendas más grandes y cómodas. De esta forma, Singapur ha desarrollado una normativa muy integrada en el sistema edificatorio, basada en un sistema de puntuación desarrollado por la Building and Construction Authority (BCA) que aplica también a los edificios promovidos por la HDB: Code of Practice on Buildability (código de prácticas en edificación) .

Este código exige una **puntuación mínima**, tanto para el **diseño** como para la **construcción**, en función del tipo de edificación y la superficie edificable.

El sistema de **puntuación del diseño construible** se valoran 4 áreas:

- Sistema estructural.
- Sistema arquitectónico.
- Sistema mecánico, eléctrico y de tuberías (MEP).
- Innovación y otros.

En cuanto a la puntuación de la **construcción** de un proyecto consta de 3 partes:

- Sistema estructural.
- Sistema arquitectónico, mecánico, eléctrico y de tuberías (AMEP).
- Buenas prácticas industriales.

4.3.2 Sistemas Estructurales Industrializados

En España no existe todavía un marco regulatorio que defina y categorice los distintos grados de industrialización de los proyectos. No obstante, la necesidad de disponer de esa referencia común ha impulsado al Instituto IETCC_CISI Eduardo Torroja y al Off-Site Construction Hub, OCH, a trasladar a UNE la propuesta de desarrollo de una Norma de categorías de procesos de prefabricación industrializados para la edificación. Actualmente se está creando el correspondiente subcomité UNE para su desarrollo.

Guía de la construcción industrializada del OCH

A mediados del **2023**, el **Off-Site Construction Hub**, OCH, inició un esfuerzo importante por establecer un marco de referencia común para su adopción en el mercado español, basado en el documento elaborado por el Ministry of Housing, Communities & Local Government del Reino Unido.

En consecuencia, la guía de la construcción industrializada del OCH propone las siguientes 7 categorías de MMC:

- **Categoría 1** – Sistemas estructurales primarios 3D
- **Categoría 2** – Sistemas estructurales primarios 2D
- **Categoría 3** – Componentes estructurales no sistematizados
- **Categoría 4** – Componentes aditivos
- **Categoría 5** – Componentes y subcomponentes no estructurales
- **Categoría 6** – Productos sustitutivos tradicionales
- **Categoría 7** – Procesos sustitutivos tradicionales

En palabras del OCH, *el establecimiento de la categorización de los MMC tiene por objeto poder baremar, medir, cuantificar diferentes aspectos relacionados con este tipo de construcción, tales*

como alcances de afectación económica sobre el proyecto de Ejecución de una edificación, niveles de reducción de residuos, grado de digitalización y análisis de ciclo de vida vinculado al edificio, teniendo en consideración los materiales utilizados en todas sus partidas, la categoría de MMC, el uso y mantenimiento hasta la reutilización, reciclaje en cada uno de los MMC. **La intención es que este marco regularice y perfeccione el término ' MMC ' definiendo el amplio espectro de técnicas de construcción innovadoras** que se están aplicando en el mercado residencial, tanto ahora como en el futuro.

En ese trabajo se recoge un indicador de medida del nivel de industrialización: **El Índice de Valor de Industrialización (IVI)**. El índice IVI, expresado como porcentaje, se calcula como el presupuesto de los componentes fabricados off-site dividido entre el presupuesto total del proyecto. Cuanto mayor es el IVI, menor es la proporción del presupuesto que se dedica en los trabajos preliminares de preparación del solar y en la mano de obra in situ y, por lo tanto, en teoría, mayor es la eficiencia del proyecto. **El punto de referencia en el 40%**: se entiende que cualquier valor por encima de esa cifra mejora la eficiencia de la construcción tradicional. Este índice es equivalente al **Pre-Manufacture Value (PMV)** adoptado en Reino Unido.

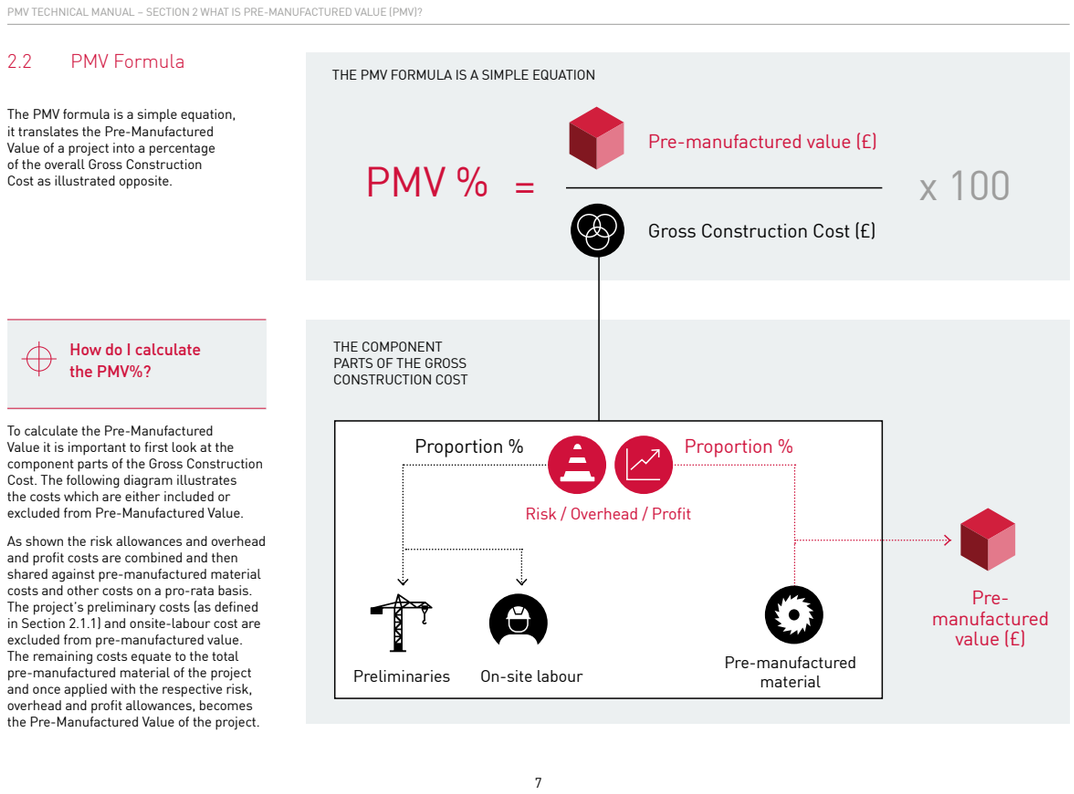


IMAGEN 4.3.2 Índice del Valor de Industrialización. Fuente_Cast Consultancy

Guía de construcción industrializada sostenible de IHOBE

Otra de las referencias existentes es la guía de construcción industrializada sostenible que **IHOBE** publicó en 2021, junto con una herramienta de cálculo asociada. El principal objetivo de la herramienta es facilitar la toma de decisión sobre la mayor o menor conveniencia de incorporar a un proyecto edificatorio soluciones industrializadas y no tanto la valoración del grado de industrialización de una propuesta concreta.

La herramienta aporta valoraciones concretas para los diferentes sistemas constructivos, para ello se plantean preguntas que el proyectista debe cumplir para obtener como resultado final una medida de los sistemas industrializados o que más pueden ajustarse a una tipología concreta de edificio.



DESCARGAR PDF

La guía evalúa cómo un proyecto concreto se ajusta a una solución industrializada desde cuatro perspectivas:

1. NIVELES DE INDUSTRIALIZACIÓN

La herramienta permite ver cómo de adecuado es para un proyecto concreto optar por una solución in situ, semi industrializada, o industrializada. Estos diferentes niveles de industrialización se evalúan entre -2 (poco adecuado) y +2 puntos (muy adecuado) para las cuestiones planteadas.

2. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Los sistemas constructivos se dividen en 3 materiales base: Madera, Acero y Hormigón, que a su vez se dividen en 2 tipos de subsistemas: Madera (CLT y Entramado Ligero), Acero (Estructural y Light Steel Framing) y Hormigón (Prefabricado e in situ). En este caso se valoran en una escala de 0 (poco adecuado)-5 (muy adecuado las diferentes cuestiones planteadas en las fichas).

3. GRADO DE PREFABRICACIÓN

El grado de prefabricación se clasifica por elementos lineales, por paneles, mixto, o por módulos. Recoge además la posibilidad de que los diferentes grados de prefabricación integren o no las instalaciones y acabados finales del edificio. La evaluación se realiza en un rango de 0-3.

4. MODO DE EJECUCIÓN

Se analiza, en este capítulo, si el sistema de construcción requiere de estructura adicional o no para su ejecución o si se trata de un sistema de obra seca o semi húmeda. La puntuación se realiza en un rango de 0-3.

4.3.3 Análisis de las propuestas para el proyecto piloto (fase 2): Sopela-Asu 33VPOa

En **abril de 2022**, Visesa publicó el anuncio de la licitación mediante **diálogo competitivo** para la investigación de **procesos y sistemas industrializados** y la redacción de proyecto, dirección facultativa y ejecución de las obras de la promoción de 33 VPOa en la parcela G, del sector Asu de Sopela, Bizkaia

El diseño de la licitación tenía una clara voluntad de favorecer la incorporación de sistemas y procesos industrializados a las propuestas y, como tal, en la definición de los criterios de valoración de las ofertas se quiso establecer una evaluación de las distintas propuestas para valorar en mejor medida aquellas que presentasen un mayor grado de industrialización, cumpliendo con los objetivos de la promoción. A falta de un estándar de referencia que permitiese evaluar y comparar los grados de industrialización de un edificio, se desarrolló un método de análisis exhaustivo de las propuestas, que se detalla a continuación.

Grado de Industrialización. Diseño de la Metodología

En el diseño de la metodología a aplicar en la evaluación de las propuestas presentadas por cada equipo licitador al concurso de las 33 VPOa de Sopela-Asu ha sido necesario para ello **seleccionar y definir los indicadores más significativos** que puedan asociarse al grado de industrialización de los sistemas constructivos. De esta forma, la metodología de valoración propuesta ha permitido determinar qué propuesta ofrece el mayor grado de industrialización. Una vez determinados los indicadores, se han definido también los correspondientes **criterios de valoración** y una **graduación en el nivel de logro de los objetivos deseados**.

Los **criterios** considerados para establecer la graduación de la puntuación en la evaluación de los indicadores propuestos serían:

1. SIMPLICIDAD DEL SISTEMA DE EVALUACIÓN.

Una vez determinados los aspectos a valorar y los correspondientes indicadores, su aplicación a casos prácticos debería ser sencilla. Para ello se ha elaborado una hoja de cálculo en la que se puedan insertar valores cuantificables obtenidos mediante un cuestionario de preguntas que permitan establecer las características básicas de las propuestas y obtener la puntuación final de cada sistema constructivo.

2. ESTANDARIZACIÓN DEL SISTEMA DE EVALUACIÓN.

Por su carácter genérico deberá poder ser aplicado a cualquiera de los sistemas constructivos que se contemplen en el pliego de bases que se publicará para la redacción de la propuesta de las 33 viviendas de protección oficial para alquiler de Sopela.

3. ACERCAMIENTO A LA REALIDAD DE LA INDUSTRIALIZACIÓN.

La metodología servirá de guía para determinar cuál es el nivel de industrialización en la construcción residencial de las empresas de construcción en el entorno de la Comunidad Autónoma Vasca.

4. ESTABLECIMIENTO DE OBJETIVOS.

Con el sistema de puntuación propuesto y a la vista de las puntuaciones obtenidas podría valorarse en qué aspectos el grado de desarrollo es elevado de manera mayoritaria y en cuáles, no existiendo de momento el desarrollo que pudiera ser deseable, podrían ser ponderados de manera positiva para ser impulsados.

5. COMPARACIÓN CON OTROS SISTEMAS.

La evaluación de los diferentes sistemas constructivos permitirá comparar los distintos grados de industrialización para las diferentes tecnologías.

Una vez seleccionados los indicadores que caracterizan a la construcción industrializada, se ha procedido a ponderar los factores más significativos. De esta forma, se ha podido evaluar y valorar las propuestas presentadas considerando el grado de desarrollo que ofrecen en cada uno de los factores seleccionados.

Grado de Industrialización. Desarrollo de la Metodología

Para establecer la evaluación del grado de industrialización de las propuestas, se han revisado diferentes referencias y, quizás merece especial mención, el código para la evaluación del grado de industrialización de la construcción utilizado en **Singapur: el Code of Practice on Buildability**. La guía de construcción industrializada sostenible que Ihobe también ha resultado un apoyo en el desarrollo de la metodología.

Una vez consideradas las diferentes referencias, se ha optado por estructurar la valoración de la industrialización de acuerdo con un esquema muy habitual en el proceso edificatorio como es el correspondiente a la organización presupuestaria del proyecto y, por tanto, de la ejecución de la obra.

El expediente de evaluación de las distintas propuestas se ha desarrollado en dos fases diferenciadas:

Fase 1.

Selección de los equipos candidatos que posteriormente han sido invitados a participar en el diálogo competitivo y en la investigación remunerada de técnicas industrializadas. El nivel de desarrollo de las propuestas en esta fase 1 es muy básico, resultando más una declaración de intenciones con base en un sistema estructural.

Fase 2.

Desarrollo de la propia investigación y del proceso de diálogo competitivo, cuyo objetivo ha sido la selección del equipo licitador autor de la proposición con mejor relación calidad-precio para la adjudicación del contrato. Las propuestas en esta fase 2 están bastante más desarrolladas, a nivel de anteproyecto avanzado.

Por tanto, para analizar las propuestas presentadas en cada una de estas fases se han planteado dos niveles de evaluación respectivamente.

Fase 1 del Diálogo Competitivo

En la distribución de la puntuación establecida en el pliego de licitación, los criterios de adjudicación de la primera fase establecían que el grado de industrialización sea valorado con un máximo de 11 puntos, siendo los apartados que se establecieron para su evaluación los tres siguientes:

1. Estructura.	4 puntos
2. Cerramientos.	4 puntos
3. Particiones interiores y acabados.	3 puntos

Para evaluar las propuestas en cada uno de los tres apartados considerados en la fase 1, se han establecido los siguientes criterios:

1. Estructuras, se valoran con **4 puntos** las propuestas de industrialización de la estructura a partir de planta baja (suelo excluido), considerando:

- Si los forjados tienen capas de compresión ejecutadas in-situ (no 1 pto; si 0 ptos).
- Si las uniones entre elementos industrializados son uniones secas (sí 1 pto; no 0 ptos).
- Si las escaleras están industrializadas (sí 1 pto; no 0 ptos).
- Si los módulos estructurales para el ascensor están industrializados (sí 1 pto; no 0 ptos).

2. Cerramientos, se valoran con **4 puntos** las propuestas de industrialización de las fachadas, considerando:

- Si la capa de acabado exterior se dispone off-site (en más de un 80% de la superficie) (sí 2 ptos; no 0 ptos).
- Si la capa de acabado interior (o la que sirva de soporte a la pintura o al alicatado final) se dispone off-site (sí 1 pto; no 0 ptos).
- Si las carpinterías de huecos de fachada se disponen off-site (sí 1 pto; no 0 ptos).

3. Particiones interiores y acabados, se valoran con **3 puntos** las propuestas de industrialización de las particiones y acabados interiores, considerando:

- Si las particiones son prefabricadas, incorporando la capa de acabado interior (o la que sirva de soporte a la pintura o al alicatado final) e incluso la preinstalación de las instalaciones (sí 1 pto; no 0 ptos).
- Acabados en baños y aseos:
  -Si se incorporan los acabados finales en fábrica (sí 1 pto; no 0 ptos).
  -Si, además, se incorporan los sanitarios en fábrica (sí 0,5 ptos; no 0 ptos).
- Acabados en cocinas:
  -Si se incorporan los acabados finales en fábrica (sí 1 pto; no 0 ptos).
  -Si, además, se incorpora el mobiliario en fábrica (sí 0,5 ptos; no 0 ptos).

Fase 2 del Diálogo Competitivo

Posteriormente en **la fase 2**, se han evaluado de forma más detallada los aspectos relacionados con la industrialización, de acuerdo con la estructura de capítulos tradicionalmente utilizada para los presupuestos en la construcción.

Para la segunda fase, también con una puntuación **máxima de 11 puntos**, se han considerado las siete fases más relevantes de un proyecto, más otro apartado adicional denominado “otros”, donde se incluyen aspectos relevantes de la industrialización no contemplados en los siete anteriores.

Los apartados y subapartados que se establecieron en el pliego de licitación para la evaluación del grado de industrialización y las puntuaciones máximas para cada uno de ellos fueron los siguientes:

1. Cimentación	**3 puntos**
2. Semisótano	**5 puntos**
3. Estructura por encima de la cota de suelo del primer nivel de vivienda	**24 puntos**
4. Cerramientos en viviendas 4.1. Grado de prefabricación de la fachada 4.2. Medios auxiliares	**24 puntos** 20 puntos 4 puntos
5. Particiones y acabados	**18 puntos**
6. Cubiertas	**4 puntos**
7. Instalaciones	**23 puntos**
8. Otros aspectos relacionados con la industrialización 8.1. Aspectos relacionados con la gestión 8.2. Aspectos relacionados con la estandarización y con la repetitividad	**9 puntos** 2 puntos 7 puntos

De esta forma, el grado de industrialización de los sistemas constructivos presentados pudo ser cuantificado y evaluado en cada uno de los apartados de una manera sencilla mediante una Hoja de cálculo.

A continuación, y de forma resumida, se enumeran los aspectos relativos al grado de industrialización que se han valorado dentro de cada uno de estos capítulos, así como la máxima puntuación que pudo obtenerse en cada apartado (sobre un total de 10 puntos).

1. CIMENTACIÓN	**máximo 3 puntos**
Volumen total de hormigón necesario en la fase de cimentación del edificio	
Volumen de hormigón utilizado en cimentación de forma industrializada o prefabricada	

2. PLANTA DE SEMISÓTANO	**máximo 5 puntos**
Superficie total de muros perimetrales de sótano	
Superficie de muros perimetrales de sótano industrializados	
¿Los pilares del semisótano son industrializados?	
¿El forjado del semisótano está totalmente industrializado?	
¿El forjado de sótano, en caso de no estar totalmente industrializado, requerirá únicamente el hormigonado en obra de la capa compresora?	
¿Se requieren juntas verticales para la unión de elementos prefabricados en los muros de sótano?	
En el caso de que existan juntas verticales ¿cuál es la distancia entre estas?	

3. ESTRUCTURA POR ENCIMA DEL SUELO DE LA PRIMERA VIVIENDA	**máximo 24 puntos**
¿La estructura del edificio se resuelve, en más de un 80% de sus elementos, en base a módulos prefabricados en formato 3D y alcanza un 90% incluyendo los elementos 2D?	
¿La estructura del edificio se resuelve, en más de un 90% de sus elementos, únicamente en base a elementos prefabricados en formato 2D (muros y forjados)?	
¿La estructura del edificio se resuelve, en más de un 90% de sus elementos, en base a una combinación de piezas prefabricadas lineales y en 2D (pilares, vigas, muros y forjados)?	
Volumen total de los forjados (de cualquier tipología) del edificio por encima del suelo de la primera vivienda incluyendo la cubierta	
Volumen de hormigón vertido en obra para la formación de los forjados	
¿El hueco del ascensor está formado por elementos industrializados 3D o 2D?	
¿Se requiere aportar hormigón en obra para conformar completamente el hueco del ascensor?	
¿El hueco de escaleras y rellanos está formado por elementos industrializados?	
¿Se requiere aportar hormigón en obra para conformar completamente el hueco de escaleras o rellanos?	

4. CERRAMIENTOS	máximo 24 puntos
¿Cuál es el número de capas exteriores que deben incorporarse al cerramiento de fachada en la obra?	
¿Cuál es el número de capas interiores que deben incorporarse al cerramiento de fachada en la obra?	
¿El sistema incluye en las fachadas la carpintería exterior completa (premarcos y perfilería)?	
En caso de no incluirse la carpintería exterior completa ¿el sistema incluye en las fachadas únicamente los premarcos?	
¿Los antepechos y barandillas de balcones o terrazas están industrializados?	
¿Es necesario el uso de andamio tradicional por el exterior del edificio?	
¿Es necesario utilizar plataformas elevadoras de desplazamiento sobre mástil?	
¿Se requieren otros medios de elevación: plataformas de tijera, plataformas telescópicas?	

5. PARTICIONES INTERIORES Y ACABADOS	máximo 18 puntos
Superficie total de particiones interiores (incluso muros estructurales y particiones no estructurales)	
Superficie total de particiones interiores industrializadas (módulos 3D o paneles 2D industrializados)	
Superficie total de particiones interiores que incorporan preacabado industrializado	
¿Las particiones interiores industrializadas incluyen la carpintería completa?	
En caso de no incluirse la carpintería interior completa ¿las particiones interiores industrializadas incluyen únicamente los premarcos?	
¿Cuál es el número de capas de acabado húmedo a colocar en obra en el suelo de las viviendas?	
¿Cuál es el número de capas de acabado en seco a colocar en obra en el suelo de las viviendas?	
¿Cuál es el número de capas de preacabado húmedo a colocar en obra en el techo de las viviendas?	
¿Cuál es el número de capas de preacabado en seco a colocar en obra en el techo de las viviendas?	

6. CUBIERTAS	máximo 4 puntos
En la propuesta arquitectónica ¿se ha optado por una cubierta plana?	
¿Cuál es el número de capas que no vienen colocadas offsite en la cubierta y hay que colocar en obra?	
¿El antepecho de la cubierta está industrializado?	
En la propuesta arquitectónica ¿se ha optado por una cubierta inclinada?	
¿Cuál es el número de capas que no vienen colocadas offsite en la cubierta y hay que colocar en obra?	

7. INSTALACIONES	máximo 23 puntos
¿Dispone de preinstalaciones eléctricas y telecomunicaciones en paredes?	
¿Dispone de preinstalaciones eléctricas y telecomunicaciones en techos?	
¿Dispone de acabados e instalaciones en cocina?	
¿Se incorpora el mobiliario de cocina en la industrialización offsite?	
¿Dispone de acabados e instalaciones en baños y aseos?	
¿Se incorpora los aparatos sanitarios de baños y aseos en la industrialización off-site?	
¿Se incorpora los aparatos sanitarios de baños y aseos en la industrialización off-site?	
¿Dispone de patinillos de instalaciones industrializados por planta, incluyendo las conducciones?	
¿Dispone de patinillos de instalaciones industrializados por planta, incluyendo las conducciones?	
¿Los elementos industrializados cumplen los requisitos de mantenimiento de las instalaciones: instalaciones accesibles para montaje/desmontaje y/o sustitución de las mismas?	

8. OTROS ASPECTOS DE INDUSTRIALIZACIÓN	máximo 9 puntos
¿Se aplica metodología VDC (Virtual Design and Construction) integrado con el modelo BIM y sistemas de gestión avanzada (Lean)?	
¿Se utilizan herramientas de gestión como, por ejemplo; Last Planner System, Integrated Project Delivery...?	
En el caso de que la estructura del edificio se resuelva, en más de un 80% de sus elementos, en base a módulos prefabricados en formato 3d ¿cuál es el número de familias de módulos industrializados en 3D con idénticas dimensiones y características mecánicas?	
En el caso de que la estructura del edificio se resuelva, en más de un 90% de sus elementos, únicamente en base a elementos prefabricados en formato 2d ¿cuál es el número de familias de elementos en 2d con idénticas dimensiones y características mecánicas en paredes y techos?	
En el caso de que la estructura del edificio se resuelva, en más de un 90% de sus elementos, en base a una combinación de piezas prefabricadas lineales y en 2d ¿cuál es el número de familias de elementos industrializados lineales (pilares y vigas) con idénticas dimensiones y características mecánicas?	
¿Cuál es el número de familias de módulos de fachada con idénticas características constructivas y mecánicas?	
En el caso de que la estructura del edificio se resuelva, en más de un 80% de sus elementos, en base a módulos prefabricados en formato 3d ¿cuál es el número de familias de uniones entre los módulos 3D?	
En el caso de que la estructura del edificio se resuelva, en más de un 90% de sus elementos, únicamente en base a elementos prefabricados en formato 2d ¿cuál es el número de familias de uniones entre los elementos estructurales 2D?	
En el caso de que la estructura del edificio se resuelva, en más de un 90% de sus elementos, en base a una combinación de piezas prefabricadas lineales y en 2d ¿cuál es el número de familias de uniones entre estos elementos estructurales?	
¿Cuál es el número de familias de uniones entre elementos de fachada?	

Grado de Industrialización. Evaluación de las propuestas. Fase 2

Finalizado el plazo de presentación de ofertas en el procedimiento de Diálogo Competitivo para la investigación de procesos y sistemas industrializados, las empresas que desarrollaron sus propuestas hasta un nivel de anteproyecto avanzado son:

CUBIERTAS		CONSTRUCTORA	ARQUITECTURA	INDUSTRIAL
Hormigón 2D	Propuesta 1	Obras Especiales	Arkigest Estudioa	Viguetas Navarras
Hormigón 2D	Propuesta 2	Sukia	dAAr Arquitectura	Exitu (Cándido Zamora)
Steel Frame		ACR	Varquitectos	Afca Teccon
Módulos 3D Acero		Viuda de Sainz	BIEME + XLark	JIT Housing
Madera CLT		Conscytec (Eiffage)	AGVAR	Xilonor (Finsa) / Madergia
Madera. Entramado ligero		UTE Moyua - Bycam	Esparza Arquitectura	Medgon + Porcelanosa

De esta forma, han participado en el procedimiento de diálogo competitivo 2 propuestas en las que tanto la estructura portante como los cerramientos se resuelven con elementos de hormigón prefabricado, 2 propuestas en las que el material utilizado en el sistema estructural es el acero y 2 en las que se ha optado por la madera.

INDUSTRIALIZACIÓN DE LA CIMENTACIÓN *(máximo 3 puntos)*

En el apartado de industrialización de la cimentación, las propuestas presentadas optan, excepto en la propuesta nº 3, por sistemas constructivos tradicionales de manera que no hay una diferencia significativa entre las soluciones aportadas.

INDUSTRIALIZACIÓN DE LA PLANTA DE SEMISOTANO *(máximo 5 puntos)*

De forma similar a lo ocurrido con la cimentación, en las soluciones aportadas para la industrialización de la planta de semisótano los sistemas propuestos son similares, optándose en la mayoría de los casos por muros perimetrales de hormigón prefabricado (totalmente prefabricado o formado por muro de doble caras prefabricadas de hormigón armado, conectadas mediante celosías y con un núcleo para ser rellenado en obra con vertido in situ) pilares prefabricados y forjado en el techo de la planta de semisótano ejecutado con placas alveolares y hormigonado de capa compresora in situ.

Por tanto, desde el punto de vista del nivel de industrialización, no se aprecian diferencias relevantes entre las propuestas presentadas.

ESTRUCTURA POR ENCIMA DE LA COTA DE SUELO DE LA PRIMERA VIVIENDA *(máximo 24 puntos)*

Las propuestas 1 y 2 proponen para la estructura por encima de la cota de suelo de la planta baja un sistema constructivo conformado por elementos de hormigón armado prefabricado, fundamentalmente compuesto por muros de paneles 2D y forjados creados con placas alveolares. Las fachadas se solucionan también con paneles prefabricados de hormigón armado.

Las propuestas 3 y 4 utilizan la madera como material estructural, tanto en los elementos verticales como los horizontales, optando en el primer caso por paneles de CLT y por entramados ligeros de madera en la propuesta numerada como 4.

En los casos 5 y 6 el sistema estructural se resuelve con acero, diferenciándose en que la solución 5 se resuelve con paneles de acero ligero en 2D y la numerada como 6 propone la utilización de módulos completamente industrializados en 3D.

		Hormigón		Madera		Acero	
	Tipología de los elementos	2D				3D	
	Propuestas	1	2	3	4	5	6
	Valoración	**15,5**	**18,0**	**19,0**	**19,0**	**15,5**	**24,0**
14,0	¿**La estructura** del edificio se resuelve, en más de un 80% de sus elementos, en base a módulos prefabricados en formato 3D y alcanza un 90% incluyendo los elementos 2D?	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0
10,5	¿**La estructura** del edificio se resuelve, en más de un 90% de sus elementos, únicamente en base a elementos prefabricados en formato 2D (muros y forjados)?	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	0,0
3,5	¿**La estructura** se resuelve, en más de un 90% de sus elementos, combinando piezas prefabricadas lineales y 2D (pilares, vigas, muros y forjados)?	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5,0	Relación entre el volumen de **hormigón vertido en obra** para la formación de los forjados **(m^3)** y el volumen **total de los forjados** (de cualquier tipología) del edificio por encima del suelo de la primera vivienda incluyendo la cubierta **(m^3)**	3,5	4,0	5,0	5,0	0,0	5,0
3,0	¿El hueco del ascensor está formado por elementos industrializados 3D o 2D? y ¿Se requiere aportar hormigón en obra para formar completamente el hueco del ascensor?	0,5	1,5	1,5	1,5	3,0	3,0
2,0	¿El hueco de escaleras y rellanos está formado por elementos industrializados? y ¿Se requiere aportar hormigón en obra para formar completamente las escaleras o los rellanos?	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Cabe señalar que en el caso de la propuesta número 5, en el apartado en el que se valora la proporción en el volumen de hormigón vertido in situ para la formación de forjados respecto al volumen total de los forjados, la puntuación obtenida es la mínima al haber optado por ejecutar los forjados con un sistema de chapa colaborante y vertido en obra de la capa de hormigón. El resto de propuestas o no requieren el vertido de hormigón en los forjados (como ocurre en el caso de las dos propuestas en base a madera y la de módulos 3D con entramado de acero ligero) o únicamente el requerido por la capa compresora (en el caso de las soluciones con hormigón prefabricado).

CERRAMIENTOS (máximo 24 puntos)

Las fachadas se resuelven en todos los casos con el mismo sistema que el utilizado en cada una de las propuestas para los muros de carga interiores.

En cuatro de las propuestas no es necesaria la incorporación de ninguna capa exterior por estar la fachada totalmente industrializada exteriormente (incluso incorporando la carpintería completa de las ventanas) y en tres de estas incluso se industrializan completamente por el interior incluyendo todas las capas previstas.

En todos los casos los antepechos y barandillas de balcones o terrazas están industrializados.

		Hormigón		Madera		Acero	
	Tipología de los elementos	2D				3D	
	Propuestas	1	2	3	4	5	6
	Valoración	9,5	23,0	19,0	23,0	8,0	24,0
7,0	¿Cuál es el número de capas exteriores que deben incorporarse al cerramiento de fachada en la obra?	3,5	7,0	7,0	7,0	1,0	7,0
5,0	¿Cuál es el número de capas interiores que deben incorporarse al cerramiento de fachada en la obra?	0,0	5,0	1,0	5,0	1,0	5,0
5,0	¿El sistema incluye en las fachadas la carpintería exterior completa (premarcos y perfilería)? En caso de no incluirse la carpintería exterior completa ¿El sistema incluye en las fachadas **únicamente** los premarcos?	0,0	5,0	5,0	5,0	3,0	5,0
3,0	¿Los antepechos y barandillas de balcones o terrazas están industrializados?	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
0,0	¿Es necesario el uso de andamio tradicional para ejecutar las labores requeridas en la fachada exterior del edificio?	3,0	3,0	3,0	3,0	0,0	4,0
1,0	¿Es necesario utilizar plataformas elevadoras de desplazamiento sobre mástil?						
3,0	¿Se requieren otros medios de elevación: plataformas de tijera, plataformas telescópicas?						

La propuesta basada en módulos 3D no requiere de medios auxiliares para completar las operaciones que puedan ser necesarias para el montaje completo de las fachadas por su exterior. Únicamente en uno de los casos se requiere el montaje de andamios perimetrales para rematar la fachada desde el exterior y en el resto de las soluciones se resuelve la fachada utilizando plataformas móviles.

PARTICIONES INTERIORES Y ACABADOS *(máximo 18 puntos)*

		Materiales	Hormigón		Madera		Acero	
		Tipología de los elementos	2D				3D	
		Propuestas	1	2	3	4	5	6
		Valoración	7,31	6,47	10,6	9,14	9,9	18,0
4,0	Superficie **total** de **particiones interiores industrializadas** (módulos 3D o paneles 2D industrializados offsite) en relación con la superficie **total** de particiones interiores (incluyendo muros estructurales y particiones no estructurales) **(m^2)**		1,74	0,76	3,31	1,75	2,67	4,0
4,0	Superficie **total** (la medición incluye las dos caras) de particiones interiores que incorporan **preacabado industrializado offsite** en relación con la superficie **total** de particiones interiores (incluyendo muros estructurales y particiones no estructurales) **(m^2)**		1,07	1,21	1,32	0,39	1,23	4,0
4,0	¿Las particiones interiores industrializadas incluyen **la carpintería completa**? y en caso de no incluirse la carpintería interior completa ¿Las particiones interiores industrializadas incluyen **al menos** los premarcos?		2,0	2,0	2,0	4,0	2,0	4,0
3,0	¿Cuál es el número de **capas de acabado húmedo** a colocar en obra **en el suelo** de las viviendas? ¿Cuál es el número de **capas de acabado en seco** a colocar en obra **en el suelo** de las viviendas?		0,0	0,5	1,5	0,5	1,5	3,0
3,0	¿Cuál es el número de **capas de preacabado húmedo** a colocar en obra **en el techo** de las viviendas? ¿Cuál es el número de **capas de preacabado en seco** a colocar en obra **en el techo** de las viviendas?		2,5	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0

CUBIERTAS *(máximo 4 puntos)*

		Materiales	Hormigón		Madera		Acero	
		Tipología de los elementos	2D				3D	
		Propuestas	1	2	3	4	5	6
		Valoración	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
2,0	En caso de proponerse cubierta plana ¿Cuál es el número de capas que no vienen colocadas offsite en la cubierta y hay que colocar en obra? (0 si >4)		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,0	En caso de proponerse cubierta plana ¿El antepecho de la cubierta está industrializado? (si/no)		2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
3,0	En caso de proponerse cubierta inclinada ¿Cuál es el número de capas que no vienen colocadas offsite en la cubierta y hay que colocar en obra?		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

INSTALACIONES *(máximo 23 puntos)*

	Materiales	Hormigón		Madera		Acero	
	Tipología de los elementos	2D				3D	
	Propuestas	1	2	3	4	5	6
	Valoración	9,0	13,6	18,8	9,8	10,0	23,0
3,0	¿La propuesta dispone de preinstalaciónes eléctricas y telecomunicaciones en las **paredes**?	0,0	1,6	1,8	0,8	0,0	3
3,0	¿La propuesta dispone de preinstalaciónes eléctricas y telecomunicaciones en **techos**?	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0
3,0	¿La propuesta dispone de acabados e instalaciones **en cocina**?	0,0	3,0	3,0	0,0	0,0	3,0
3,0	¿La propuesta incorpora el **mobiliario de cocina** en la industrialización offsite?	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	3,0
4,0	¿La propuesta dispone de acabados e instalaciones en **baños y aseos**?	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
3,0	¿La propuesta incorpora los aparatos **sanitarios de baños y aseos** en la industrialización offsite?	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
2,0	¿La propuesta incorpora **patinillos** de instalaciones industrializados? en el caso de incluir patinillos industrializados ¿Se incluyen las conducciones?	0,0	0,0	2,0	0,0	1,0	2,0
2,0	¿Los elementos industrializados cumplen los requisitos de mantenimiento de las instalaciones: instalaciones accesibles para montaje/desmontaje y/o sustitución de las mismas?	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

OTROS ASPECTOS DE INDUSTRIALIZACIÓN *(máximo 9 puntos)*

	Materiales	Hormigón		Madera		Acero	
	Tipología de los elementos	2D				3D	
	Propuestas	1	2	3	4	5	6
	Valoración	0,5	3,5	30	2,8	5,1	4,0
1,0	¿Se aplica metodología VDC (Virtual Design and Construction) integrando metodología BIM y sistemas de gestión avanzada (Lean)? (si/no)	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0
1,0	¿Se utilizan herramientas de gestión (Lean) para la mejora de la productividad? (si/no)	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0
4,0	¿Cuál es el número de familias de módulos industrializados en 3D con idénticas dimensiones y características mecánicas? (1,2,3,...)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4,0	¿Cuál es el número de familias de módulos industrializados en 2D con idénticas dimensiones y características mecánicas en paredes y techos? (1,2,3,...)	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4,0	¿Cuál es el número de familias de elementos industrializados lineales (pilares y vigas) con idénticas dimensiones y características mecánicas? (1,2,3,...)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,0	¿Cuál es el número de familias de módulos de fachada con idénticas caracterísiticas constructivas y mecánicas? (1,2,3,...)	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	1,5
0,5	¿Cuál es el número de familias de uniones entre elementos estructurales con predominio de módulos 3D? (1,2,3,...)	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0
0,5	¿Cuál es el número de familias de uniones entre elementos estructurales con predominio de módulos 2D? (1,2,3,...)	0,0	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0
0,5	¿Cuál es el número de familias de uniones entre elementos estructurales con predominio de elementos lineales? (1,2,3,...)	0,5	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0
0,5	¿Cuál es el número de familias de uniones entre elementos de fachada? (1,2,3,...)	0,0	0,0	0,0	0,3	0,5	0,5

Grado de industrialización. Cuestionario para evaluar el grado de industrialización

La información que las empresas licitadoras debieron rellenar para poder realizar la evaluación del grado de industrialización de las propuestas debía responder las cuestiones planteadas en los siguientes ocho apartados: industrialización de la cimentación y de la planta de semisótano, estructura, cerramientos, particiones interiores y acabados, cubierta instalaciones y otros aspectos relacionados con la industrialización.

I). INDUSTRIALIZACIÓN DE LA CIMENTACIÓN

a) Justificar el volumen total de hormigón necesario en la cimentación del edificio (m^3). Se debe facilitar un cuadro de cimentaciones con las dimensiones de las zapatas y de las vigas de atado si las hubiese.

b) Justificar el volumen de hormigón utilizado en cimentación de forma industrializada o prefabricada (m^3). Si los hubiese, se deben facilitar las dimensiones de los elementos prefabricados utilizados en la cimentación del edificio.

II). INDUSTRIALIZACIÓN DE LA PLANTA DE SEMISOTANO

a) Justificar la superficie total de muros perimetrales de sótano (m^2). Se deben facilitar las dimensiones del total de los muros perimetrales de sótano.

b) Justificar la superficie de muros perimetrales de sótano industrializados (m^2): En el caso de que vayan a utilizarse elementos prefabricados se debe describir la solución constructiva utilizada en la unión de estos muros con la cimentación y debe indicarse si requieren o no el vertido de hormigón en obra para su consolidación.

c) En el caso de utilizarse elementos prefabricados en los muros perimetrales del sótano, debe indicarse la distancia entre las juntas verticales en los muros de sótano.

d) Indicar si los pilares del semisótano serán industrializados y, en el caso de que así sea, se debe describir la solución constructiva utilizada en las uniones de estos pilares con la cimentación.

e) Describir con detalle el tipo de forjado a utilizar en el techo de la planta de semisótano y justificar; si se requerirá o no hormigonado en obra para su formación, si únicamente se requerirá el hormigonado de la capa compresora o si el forjado no requerirá la aportación de hormigón en obra.

III). INDUSTRIALIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA POR ENCIMA DE LA COTA DE SUELO DEL PRIMER NIVEL DE VIVIENDAS

a) Indicar si el formato predominante (en más del 80% de los elementos estructurales) de industrialización en la estructura por encima de la cota de suelo del primer nivel de viviendas se hace con módulos 3D. En el caso de utilizarse de forma combinada también elementos industrializados 2D, indicar el porcentaje alcanzado con la suma de los dos sistemas.

b) Indicar y justificar si el formato predominante (en más del 90% de los elementos estructurales incluyendo tanto muros como forjados) de industrialización en la estructura por encima de la cota de suelo del primer nivel de viviendas se hace con elementos 2D.

c) Indicar y justificar si la estructura del edificio por encima de la cota de suelo del primer nivel de viviendas se resuelve en más del 90% en base a una combinación de elementos industrializados lineales y 2D (incluyendo pilares, vigas, muros y forjados).

d) Indicar el volumen total de los forjados del edificio por encima de la cota de suelo del primer nivel de viviendas e incluyendo a la cubierta.

e) Indicar el volumen de hormigón vertido en obra para la formación de los forjados del edificio por encima de la cota de suelo del primer nivel de viviendas e incluyendo a la cubierta.

f) Describir el sistema constructivo utilizado para la formación del hueco del ascensor, indicando si está industrializado en módulos 3D o 2D y justificando si para su completa consolidación requiere o no el vertido de hormigón en obra.

g) Describir el sistema constructivo utilizado para la formación del hueco de escaleras y rellanos, indicando si está o no industrializado y justificando si para su completa formación (bien sea en escaleras o rellanos) requiere o no el vertido de hormigón en obra.

IV). INDUSTRIALIZACIÓN DE LOS CERRAMIENTOS EN PLANTAS DE VIVIENDAS

a) Describir el total de capas que forman parte de la fachada (desde el acabado interior hasta el acabado exterior), indicando con claridad cuáles de estas capas estarán industrializadas y cuáles deberán colocarse en obra.

b) Detallar el número de capas que hay que colocar en obra en el exterior de los cerramientos de fachada.

c) Detallar el número de capas que hay que colocar en obra en el interior de los cerramientos de fachada.

d) Describir si los huecos de fachada estarán industrializados, incluyendo premarcos y perfilería o únicamente incluirán los premarcos.

e) Indicar si los antepechos y barandillas de balcones o terrazas llegarán a obra totalmente industrializados.

f) Describir los medios auxiliares necesarios para el acceso del personal desde el exterior en la ejecución y montaje de las fachadas, por ejemplo:

I. Andamio
II. Plataformas elevadoras sobre mástil
III. Otros medios de elevación como plataformas telescópicas o de tijera
IV. No requiere ningún medio

V). INDUSTRIALIZACIÓN DE LAS PARTICIONES INTERIORES Y ACABADOS

IV. Indicar y justificar el total de la superficie de particiones interiores independientemente de si se trata o no de elementos estructurales.

V. Indicar los m^2 de superficie de particiones interiores industrializadas, bien sea utilizando módulos 3D o elementos 2D (en caso de elementos 2D describir con claridad el grado de industrialización).

VI. Indicar la superficie total de particiones interiores (los m^2 de superficie incluyen las dos caras de la partición) que incorporan también el preacabado industrializado que servirá de soporte a la pintura o al alicatado final.

VII. Indicar si las particiones industrializadas incluyen la carpintería completa o únicamente los premarcos.

VIII. Indicar cuantas capas de acabado húmedas hay que colocar en obra en los suelos y describir las características de cada capa.

IX. Indicar cuantas capas de acabado seco hay que colocar en obra en los suelos y describir las características de cada capa.

X. Indicar cuantas capas de acabado húmedas hay que colocar en obra en los techos y describir las características de cada capa.

XI. Indicar cuantas capas de acabado seco hay que colocar en obra en los techos y describir las características de cada capa.

VI). INDUSTRIALIZACIÓN DE LAS CUBIERTAS

Si la cubierta propuesta es plana:	**Si la cubierta es inclinada:**
a) Describir e indicar el número de capas que hay que colocar en obra para la formación de la cubierta.	a) Describir e indicar el número de capas que hay que colocar en obra para la formación de la cubierta.
b) Indicar si el antepecho de la cubierta está industrializado y, en caso de que así fuera, describir la solución constructiva.	

VII). INDUSTRIALIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES

a) Paredes, ¿disponen de la preinstalación eléctrica y de telecomunicaciones?

b) Techos, ¿disponen de la preinstalación eléctrica y de telecomunicaciones?

c) Cocinas, ¿disponen tanto de acabados como de instalaciones industrializadas? Describir el grado de industrialización de las instalaciones.

d) Cocinas, ¿el mobiliario de cocina está colocado offsite?

e) Baños y aseos, ¿disponen de acabados e instalaciones industrializadas? Describir el grado de industrialización de las instalaciones.

f) Baños y aseos, ¿los aparatos sanitarios están colocados offsite?
g) ¿Los patinillos estarán industrializados? y, en caso de que así fuese, ¿incluyen las conducciones? Describir la solución constructiva de los mismos.
h) Los elementos de las instalaciones industrializadas cumplen los requisitos de mantenimiento: instalaciones accesibles para montaje/desmontaje y/o sustitución de las mismas. Describir la disposición y accesibilidad de las instalaciones.
VIII). OTROS ASPECTOS DE INDUSTRIALIZACIÓN
a) Se aplica la metodología Virtual Design and Construcction [integración de BIM con LEAN]:
b) ¿Se adoptan sistemas de gestión avanzada, LEAN? Describir las herramientas utilizadas; Last Planner System, Integrated Project Delivery...
c) Si el formato predominante de industrialización, se hace con módulos 3D: Indicar el número de familias de módulos 3D con las mismas dimensiones y características mecánicas utilizados y justificarlo de manera descriptiva.
d) Si el formato predominante de industrialización, se hace con elementos 2D: Indicar el número de familias de módulos 2D con las mismas dimensiones y características mecánicas utilizados y justificarlo de manera descriptiva.
e) Si el formato predominante de industrialización se hace con elementos lineales (pilares y vigas) junto a elementos 2D: Indicar el número de familias de elementos lineales y módulos 2D con las mismas dimensiones y características mecánicas utilizados y justificarlo de manera descriptiva.
f) Fachadas: Indicar el número de familias de elementos de fachada con las mismas dimensiones y características mecánicas utilizados y justificarlo de manera descriptiva.
g) Uniones Estructura: Indicar el número de familias de elementos de unión utilizados con las mismas dimensiones y características mecánicas en obra y justificarlo de manera descriptiva.
h) Uniones Fachadas: Indicar el número de familias de elementos de unión utilizados con las mismas dimensiones y características mecánicas en obra y justificarlo de manera descriptiva.

Para evaluar el grado de industrialización de las ofertas se diseñaron dos herramientas, por una parte, un cuestionario con formato de tabla donde las empresas licitadoras debían responder una serie de preguntas concretas, y por otra, una relación de preguntas para que las empresas pudieran justificar las respuestas dadas en el cuestionario.

La redacción de cada una de estas cuestiones y la información solicitada a las empresas proponentes se vincularon directamente a su correspondiente ítem incluido en una tabla diseñada para facilitar la evaluación cuantitativa del grado de industrialización de las propuestas.

Esto ha permitido puntuar las diferentes propuestas de una forma sencilla y disponer información complementaria para valorar con criterio la adecuación de las respuestas introducidas en la tabla.

4.4 Diseño arquitectónico: Optimización del diseño industrializado

Cuando hablamos del cambio que implica la adopción de un **modelo de construcción industrializada**, no solo nos referimos a la materialidad de los componentes que se fabrican para componer el edificio. Este cambio supone, también, la **adaptación integral de los procesos de toda la cadena de valor**, incluidos los métodos constructivos, así como una transformación en el **modelo de gobernanza del proyecto**. Esta evolución requiere de una coordinación más estrecha entre todos los actores involucrados para lograr una **colaboración** eficaz y una gestión **coordinada y transparente** del proyecto.

> *(Y, pasando de una cosa a otra,) después de que se han producido en las fábricas tantos, aviones, barcos, camiones y vagones, uno se dice: ¿no se podrían fabricar casas?*
>
> *(Digo que) las técnicas modernas nos afirman que la gran industria puede ocuparse de la construcción: Que la vivienda puede y debe hacerse en la fábrica.*
>
> **Le Corbusier**,
> 1923, Vers une arquitecture.

4.4.1 DfMA (Design for Manufacture and Assembly)

El diseño para la fabricación y ensamblaje, **DfMA** en su acrónimo inglés, es una filosofía y metodología de organización de la producción industrial. En este método, implantado por primera vez por Ford y Chrysler durante la segunda guerra mundial, los **productos se diseñan pensando en maximizar su capacidad para la fabricación y el ensamblaje posteriores**. (ver Rankoki, S. et al, Buildings 2013, Developing a Construction-Oriented DfMA Deployment Framework). Esta metodología está sirviendo de apoyo para, adaptada a las particularidades del producto, desarrollar proyectos de edificación que incorporan procesos y sistemas industrializados, y es un concepto que ya está ampliamente asumido en ámbitos de construcción industrializada.

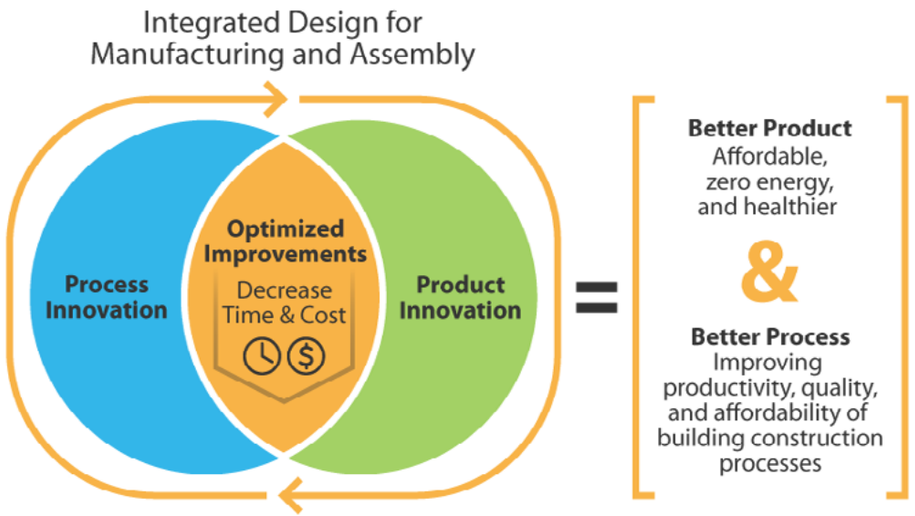


IMAGEN 4.4.1. El proceso integrado y la innovación de producto impulsan el diseño, desarrollo y entrega de edificios. Fuente: NREL. U.S. Department of Energy

4.4.1.1 REFERENCIAS INTERNACIONALES

4.4.1.1.1 RIBA Plan of Work. UK

La incorporación de la filosofía DfMA a la industria de la construcción tiene uno de sus mayores valedores en el Royal Institute of British Architects, RIBA, quien lleva desde 2013 abogando por su utilización en la fase de diseño de los proyectos de edificación. Su publicación más reciente es la guía **DfMA Overlay to the RIBA Plan of Work, 2nd edition, 2021**, documento que sirve de soporte técnico a las políticas del gobierno del Reino Unido para impulsar la construcción industrializada (El gobierno de Reino Unido ha puesto en marcha un **Programa de Viviendas Asequibles 2021-26 (AHP)**, de £11.5bn, que incluye financiación para alquileres sociales, viviendas con apoyo y un compromiso renovado para entregar viviendas utilizando métodos modernos de construcción (MMC) en al menos un 25%).

Esta guía resulta de gran interés para entender el papel del DfMA en la aplicación del modelo de construcción industrializada, y de las necesidades de la construcción industrializada en sí. De entre todo su contenido, merece la pena extractar los siguientes párrafos por su particular elocuencia:

Architects can be seen as the natural custodians of good design and have the potential to help lead in the adoption of DfMA. Not least as we understand that ***successful implementation lies in collaboration*** *at the boundaries between traditional disciplines and in developing hybrid solutions that draw on a wide range of different bodies of knowledge. If we are to meet the challenges ahead, we must explore this territory,* ***working together to do things differently****. To help us, I commend this new Overlay as our guide.*

Simon Allford,
RIBA President and Executive Director
Head of Design Studio, Allford Hall Monaghan Morris

Notwithstanding the structural challenges outlined above, the objectives of DfMA remain the same. If an offsite option has been selected, ***the design must be frozen not just before construction work begins but before manufacture to avoid rework on site. Success still depends on early collaboration*** *between designers, contractors, manufacturers and suppliers, and on having the time and opportunity to resolve and coordinate various design inputs to a high level of detail comparatively early.*

The full benefits of MMC will only follow the wholesale ***integration of DfMA as business as usual in construction design practice. The size of this task should not be underestimated****: shifting deeply entrenched habits and ways of working will take many years and face jeopardy as it bridges* ***the notorious 'valley of death' that characterises the adoption of innovation.***

4.4.1.1.2 Building and Construction Authority (BCA). Singapur

Por su parte, la Building and Construction Authority (BCA) del gobierno de Singapur es otro ejemplo de una administración comprometida con la aplicación de la metodología DfMA. La BCA ha identificado esta metodología como un elemento clave para la **Hoja de Ruta para la transformación de la Industria de la Construcción**, y en 2020 ha actualizado su marco legislativo para que el **DfMA** sea parte integral de la forma en que se diseñan y construyen los edificios.

Entre las medidas adoptadas para avanzar en la implantación de la metodología DfMA sobresalen la exigencia de un mínimo de grado de industrialización tanto en el diseño como en la construcción de edificios promovidos por la Administración, según el **Code of Practice on Buildability**, y el requisito de desarrollo de proyectos industrializados como condición de acceso a las licitaciones para la **enajenación de suelo público residencial**.

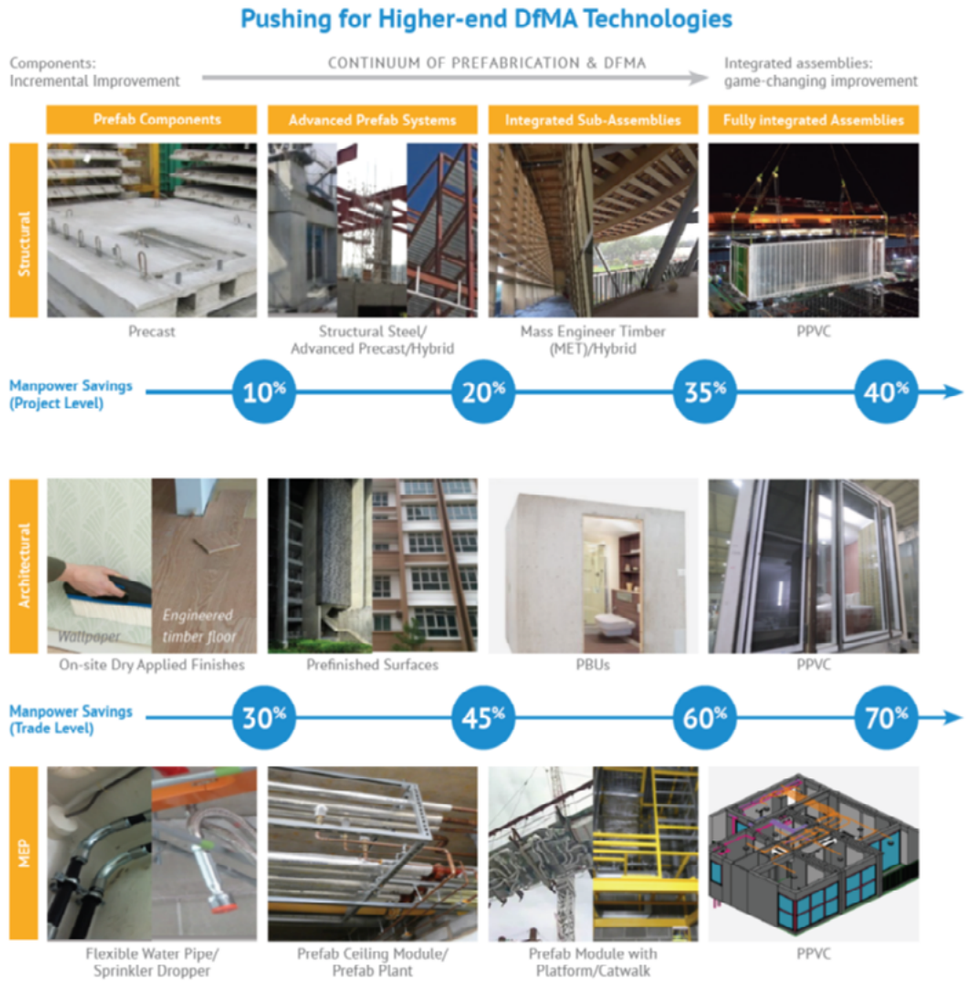


IMAGEN 4.4.2 Grados de Industrialización. Fuente_Building and Construction Authority, Singapore

4.4.1.2 DfMA. ENTORNO COLABORATIVO PARA MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD

En definitiva, la metodología DfMA propone una serie de enfoques y medidas destinados a fomentar un **entorno de trabajo colaborativo** entre los diversos agentes involucrados en el proceso constructivo para mejorar la eficiencia en el diseño y la construcción y aumentar la calidad y sostenibilidad de los edificios. Esta manera de trabajar va a permitir prever en la fase de diseño las necesidades y limitaciones de posteriores partes del proceso como son la fabricación, la logística, el transporte y el montaje de los componentes, y adelantar la evaluación los riesgos asociados para la adopción de medidas preventivas y planes de contingencia.

Entre sus propuestas clave están:



Incorporación temprana de la estrategia DfMA
Integración de la estrategia DfMA desde las primeras etapas del proyecto, como parte de los requisitos de diseño, para que los beneficios de DfMA se maximicen.



Evaluación de costos y beneficios
Realizar un análisis de costos y beneficios de DfMA en las fases iniciales del proyecto para tomar decisiones basadas en datos ciertos.



Selección de componentes DfMA
Identificar y especificar componentes y sistemas que sean adecuados para la fabricación y el ensamblaje eficiente.



Colaboración multidisciplinaria
Fomentar la colaboración activa entre arquitectos/as, ingenieros/as, fabricantes y contratistas para optimizar el diseño y la construcción.



Estándares y normalización
Promover la estandarización de componentes y procesos para facilitar la implementación de DfMA.



Integración de tecnología
Utilizar herramientas digitales y tecnología BIM (Building Information Modeling) para mejorar la coordinación y la comunicación en el proyecto.



Evaluación continua
Realizar revisiones periódicas del progreso de DfMA y ajustar la estrategia según sea necesario a lo largo de las etapas del Plan de Trabajo de RIBA.

Las fases de desarrollo y evolución hasta su implantación total a lo largo de todo el proceso pueden asemejarse a las siguientes etapas:

Fase 1
Crear y gestionar una librería de componentes digitales con información gráfica y datos, elementos de estructura, cerramiento e instalaciones.

Fase 2
Clasificación de componentes digitales, gestión de procesos y sistemas constructivos empleados, restricciones en materias de diseño y de logística, información de centros de gravedad, identificación de componentes mediante QR.

Fase 3
Procesos de gestión de la calidad y mejora continua de procesos y sistemas, gestión de la logística, gemelo digital, gestión de plazos y costes en tiempo real, gestión de incidencias.

Fase 4
Automatización en fábrica de procesos mediante robots, incluir la industrialización como pieza clave de los procesos de negocio como ventaja competitiva.

Fase 5
Automatización en fase de diseño, automatización en selección de componentes, análisis avanzado de prestaciones del producto.

Fuente: Juan Carlos Cabrero. Curso experto en Industrialización, Universidad Francisco de Vitoria.

Este enfoque de la construcción comporta una transformación de los modelos de contratación **Desing-Bid-Build** hacia modelos **Design-Build**. Es necesario indicar que este modo de trabajo desplaza gran cantidad de los recursos habituales en el proceso de construcción a la fase de diseño. En esa fase inicial se deben tomar **decisiones que van a resultar más vinculantes que en el modelo tradicional**, ya que las modificaciones en fase de obra van a resultar más complicadas y costosas (ver Figura 4.1. Curva de MacLeamy).

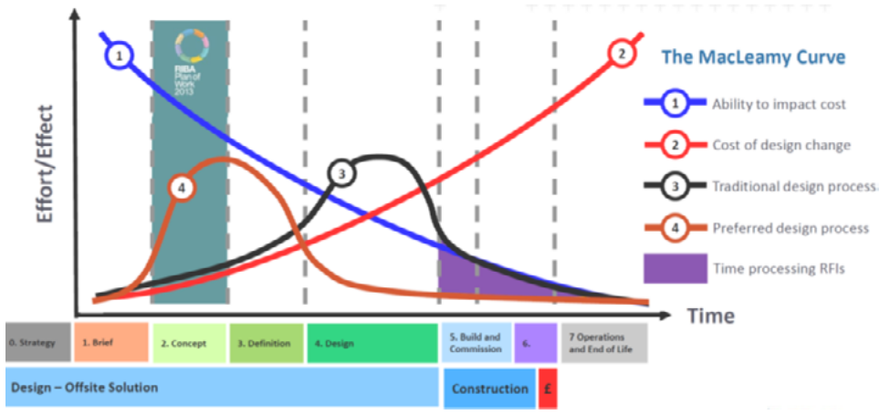


Figura 4.1. Curva de MacLeamy: https://www.cita.ie/wp-content/uploads/2019/10/11.50-Burren-Trimble-Solutions-CiTA-BIM-Gathering-DfMA-RevD.pdf

Esta circunstancia tiene que contemplarse en la planificación del flujo de trabajo y asignación de recursos por parte de todos los agentes implicados para responder de manera eficiente al compromiso compartido. Este nuevo paradigma supone un **cambio de los procesos y procedimientos y de los hábitos e inercias de las personas** participantes del hecho constructivo y, tal y como apunta el RIBA con su mención al tránsito por el "valle de la muerte", este será **uno de los mayores retos para un cambio efectivo de modelo** de la construcción tradicional hacia métodos modernos de construcción. En el lado positivo, la **disponibilidad de tecnología** de modelado y visualización 3D, BIM, incluso de realidad virtual, van a facilitar la toma consciente de decisiones en esta fase de proyecto.

4.4.1.3 DfMA Y LEAN CONSTRUCTION

Por otro lado, resulta oportuno tomar en consideración las conclusiones de investigaciones recientes sobre el uso de la **metodología Lean** como complemento al DfMA en el sector de la construcción. La metodología Lean se centra en maximizar el valor agregado, promoviendo la colaboración entre todos los participantes del proyecto (incluidos diseñadores/as, contratistas y fabricantes) para optimizar los procesos.

En los trabajos de investigación se destaca la metodología Lean y sus técnicas asociadas, el Diseño de Valor Objetivo (TVD) y el Sistema de Último Planificador (LPS), como herramientas eficaces para su implementación en los procesos de diseño y construcción. De esta manera, se alinea con los principios del DfMA y responde eficazmente a sus requerimientos.

> *In the construction-oriented DfMA framework, the lean operational processes are concrete, observable, specific, and act as part of the framework.*
>
> *The results show that integrated business models, relational delivery methods, lean-based operational tools, and digital technologies enable a suitable environment for implementing construction-oriented DfMA strategies and addressing the identified challenges.*

Rankoki, RIBA S. et al, Buildings 2023
Developing a Construction-Oriented DfMA Deployment Framework

En conclusión, un proyecto desarrollado a través de la filosofía DfMA se presenta como una oportunidad para apoyarse en las metodologías **BIM** y **Lean** con los siguientes objetivos:

Colaboración
Trabajar sobre un único modelo compartido BIM, fundamento del CDE (Common Data Environment).

Valor
Identificar las necesidades del cliente y ejecutarlas a través del proceso de diseño y construcción.

Eficiencia
Todas las tareas que se realicen en la preparación del proyecto serán tareas útiles.

4.4.1.4 ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS PARA EL PROYECTO PILOTO (FASE 2): SOPELA-ASU 33VPOa

En el diseño de la licitación del Diálogo Competitivo se ha tenido en consideración, desde su concepción, la necesidad de **fomentar el trabajo colaborativo e integrado** de todos los agentes desde el inicio del concurso. Así, las empresas licitadoras han concurrido con un equipo mínimo compuesto por estudio de arquitectura, constructora e industrial principal, que ha desarrollado de manera colaborativa sus propuestas **teniendo en cuenta las características propias del sistema y los requisitos para su fabricación y montaje**. En definitiva, se han seguido las pautas de la filosofía **DfMA**. Como complemento, las empresas concurrentes han optado por incorporar la metodología **Lean** como soporte de los procesos de manera generalizada.

Desde el punto de vista de la empresa promotora, en este caso Visesa, la participación de los distintos agentes desde un inicio, aportando valor en su área de conocimiento de manera compartida con el resto del equipo, ha resultado **altamente satisfactoria** y ha demostrado que esa colaboración es **factible y deseable** para mejorar el resultado del producto final y el cumplimiento de los objetivos y criterios de diseño de Visesa. A continuación, se recogen los testimonios de distintos roles integrantes de los equipos del Dialogo Competitivo que aportan la visión de los tres agentes clave del proceso, como son **proyectista, contratista e industrial**.

Proyectista

> *Lo más interesante es el proceso colaborativo en sí, de la constructora, arquitectos, ingenieros e industriales, rompe muchas barreras que no deben existir y hace que la mesa de diseño sea mucho más amplia y constructiva.*
>
> **Esparza Arquitectura**

Contratista

> *Supone un cambio radical en su relación con promotores y proveedores, con un sistema de trabajo colaborativo que hace que el proyecto final contenga todas las especificaciones técnicas y económicas requeridas por el promotor. El objetivo es pasar de un agregado lineal a un trabajo colaborativo en tiempo real, de tal manera que todos los partícipes puedan agregar/comprobar/consultar el grado de avance del conjunto mediante el empleo de plataformas de colaboración online de simple utilización, como las descritas anteriormente, con el objetivo tanto de aumentar la productividad como el de aumentar el grado de cohesión y conocimiento de los equipos sobre la totalidad del proceso.*
>
> **Construcciones Sukia**

Industrial

> *Siendo la línea de edificación prefabricada uno de los presentes retos en el mundo de la construcción debido a que se encuentra en pleno desarrollo, y a que, en el sector, se han establecido procesos de desarrollo-construcción colaborativos entre todos los agentes participantes, consideramos que el proceso de licitación se adapta a la realidad del mercado, aunando los conocimientos y habilidades de todos los intervinientes en el proceso para optimizar el proyecto en todos los ámbitos.*
>
> **Viguetas Navarras**

Estas palabras expresan una **predisposición** clara por parte de **agentes cualificados del sector** por comprometerse con el cambio de modelo. No debemos obviar, sin embargo, que las **dificultades implícitas en el cambio** requieren afrontar las nuevas dinámicas de trabajo con un espíritu constructivo ya que en el camino van a surgir problemas nuevos cuya resolución requiere de una dedicación conjunta de todos los agentes, lo que el RIBA define como el “valle de la muerte”. El desarrollo del proyecto de las 33 VPOa de Sopela-Asu está siendo buena piedra de toque del proceso y está mostrando a las claras la **intensa dedicación** requerida en el cierre de la fase del **proyecto**, particularmente en la definición del capítulo de control de calidad (ver 4.7 Calidad Constructiva), que no permite postponer indefiniciones a fase de obra.

4.4.2 Modulación

La idea de modulación se vincula directamente a la de **repetición** y, por lo tanto, con conceptos como los de **simplicidad y unidad espacial**. Esta asociación implica el uso de pocos elementos que adquieren una intensidad particular en su escasez, en su número limitado. Además, la idea de modulación se hace eco de otro término como es la regularidad, que es un recurso esencial para lograr la claridad tanto en la construcción como en la funcionalidad. Esta mentalidad moderna también promueve la voluntad de seriación e industrialización.

En su quinta acepción, el diccionario de la RAE define el término "Modulación" en arquitectura y construcción como la acción de distribuir o componer elementos de una obra de manera ordenada y armónica, generalmente siguiendo ciertas medidas o proporciones, con el fin de lograr un efecto estético o funcional determinado. Esta aproximación al diseño supone un **compromiso efectivo con la geometría y el ritmo**.

Atendiendo a los trabajos de **César Ruiz-Larrea**, la arquitectura no debe adaptarse literalmente a la industria, sino que un sistema industrializado eficiente debe ser flexible y adaptable a las necesidades arquitectónicas. Por lo tanto, el desafío de la arquitectura radica en utilizar verdaderos procesos industriales para diseñar con componentes compatibles, siempre con la puerta abierta a soluciones innovadoras. En esta nueva industrialización, la modulación no debería limitarse únicamente a una norma geométrica dimensional, sino que debería implicar un número de componentes que pueden ser tratados de manera individual, intercambiados, modificados y alterados, pero siempre fabricados de forma industrial, de forma que estos componentes modulares puedan satisfacer los requisitos específicos de una arquitectura determinada. La coordinación métrica de componentes implica controlar lo casual y se basa en la precisión que ofrece la fabricación de las partes en la planta o taller y su ensamblaje en la obra. Esta compatibilidad da lugar a una **arquitectura física** compuesta por piezas yuxtapuestas, reconocibles y desmontables, en contraste con la arquitectura química, formada por elementos que reaccionan y se solidifican entre sí, perdiendo su individualidad en la entidad global.

Descendiendo a la escala de trabajo, hay dos niveles en los que se puede trabajar la modulación, que, a su vez, pueden estar interconectados entre sí:



Escala de edificio
Utilizar dimensiones y modulaciones proporcionales a los sistemas normalizados para garantizar que el proceso de montaje y las herramientas a utilizar sean las mismas. La modulación eficaz asegura la integración óptima de componentes prefabricados, la eficiencia en la construcción, la sostenibilidad y la adaptabilidad del edificio a lo largo de su vida útil.



Escala de elemento o componente
Constructivamente hablando, la normalización dimensional crea un módulo o patrón que agiliza el (des)montaje y establece unas "normas de juego" claras para el proyectista. Entender las dimensiones y tolerancias estándar de cada sistema permite realizar un diseño que maximice el grado de industrialización, minimizando la necesidad de ajustes o cortes in situ, lo que reduce significativamente la generación de residuos y los costes de fabricación. Esta aproximación a las particularidades de cada sistema facilita la estandarización de elementos constructivos y la producción en serie, y se traduce en una construcción más rápida y eficiente.

En definitiva, la coordinación dimensional que proporciona la modulación, fija y relaciona las disposiciones y dimensiones de los componentes de un sistema y crea un **sistema coherente y adaptable en el que organizar los elementos constructivos**.

4.4.2.1 ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS PARA EL PROYECTO PILOTO (FASE 2): SOPELA-ASU 33VPOa

Tal y como se ha mencionado previamente, la modularidad se puede abordar tanto a nivel de edificio como de componentes, y estas dos escalas pueden tratarse de manera conjunta o independiente. Aunque es posible resolver el diseño en ambas escalas utilizando cualquier material, los productos manufacturados en forma de piezas se adaptan naturalmente a la modulación. En cambio, los materiales continuos no se ajustan de manera innata y requieren la definición de puntos de partida y referencia específicos para la delimitación de su geometría. En las propuestas del concurso de Sopela se pueden encontrar ejemplos de ambas estrategias, en función de la tecnología utilizada.

Escala Edificio. Estructuras de soporte

> *Por lo tanto, las estructuras de soporte tienen una base racional y se basan en una comprensión clara de cómo se debe introducir la producción industrial en la vivienda. No se sobreestima la prefabricación, sino que se le da la oportunidad de actuar de acuerdo con su naturaleza. Así, la estructura de apoyo es una solución funcional al nuevo problema de nuestra era.*
>
> **N.J. Habraken, 1972, Supports: An Alternative to Mass Housing.**

El trabajo con sistemas industrializados lleva implícita una necesaria modulación del esquema estructural adecuada a las características de cada sistema. La definición de la estructura sobre rasante, propia del sistema, es independiente del pautado de la estructura en la planta de garaje, que se resuelven con estructuras de hormigón y se remata con una losa de reparto sobre la que se apoya la estructura industrializada.

Una derivada de esta modulación es la **ocupación en planta de la estructura**, que repercute directamente en la **superficie útil** resultante del edificio. En la tabla siguiente se observa el porcentaje de superficie ocupada en planta por cada propuesta.

	Sup. Ocupada (m^2)	Sup. Total (m^2)	% ocupado
Hormigón 2D. Propuesta 1	29.11	986.13	**2.95**
Hormigón 2D. Propuesta 2	41.65	1046.13	**3.98**
Madera CLT	25.41	1041.08	**2.44**
Madera. Entramado Ligero	46.69	1015.90	**4.60**
Steel Frame	36.45	977.36	**3.73**
Acero 3D	2.94	1007.60	**0.29**

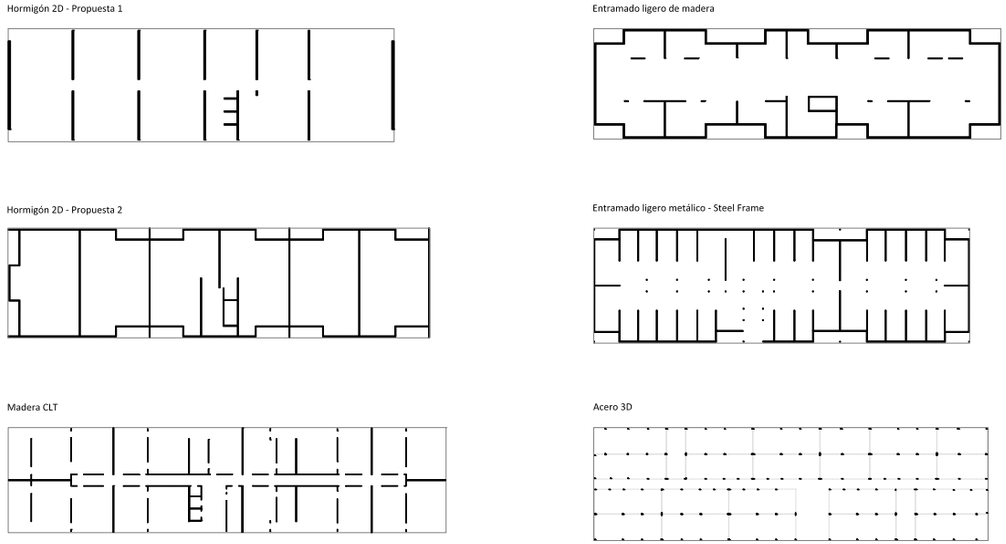


IMAGEN 4.4.5 Ocupación en planta de la estructura

En cualquier caso, el análisis de las bondades de cada propuesta no puede limitarse a estos datos sin contextualizar, ya que **cada sistema tiene sus características intrínsecas**, observables en los matices de sus plantas: unos sistemas se basan en muros portantes, mientras que otros tienen apoyos verticales puntuales y, también, la luz máxima que se alcanza es diferente dependiendo de los sistemas. Atendiendo a esas capacidades y limitaciones inherentes a cada sistema, el proyectista debe establecer un diseño estructural que no solo cumpla con las necesidades presentes, sino que también posea la **flexibilidad** necesaria para adaptarse a los cambios futuros.

Escala Componente

Hormigón 2D

Los avances tecnológicos para el desarrollo de soluciones en hormigón prefabricado permiten y favorecen el uso de piezas de grandes dimensiones tanto en la estructura como en los elementos de cierre. La utilización de piezas de **gran formato** reduce el número de piezas en la fachada, simplifica el proceso de montaje y elimina puntos críticos al disminuir la longitud de las juntas.

En las dos propuestas de hormigón presentadas para el concurso de 33 viviendas de Sopela los edificios se organizan en **crujías coincidentes con la divisoria de las viviendas**, en una solución de muros portantes. Estas divisiones generales se adaptan a las necesidades de las unidades habitacionales y **la solución de fachada de desvincula se la estructura**. En este caso, una modulación predefinida en fachada tampoco comportaría un beneficio significativo de cara a su estandarización, ya que los patrones de las fachadas de cada proyecto no suelen repetirse en distintos edificios.

Si atendemos a **otros componentes** del proyecto, vemos que sí se ha definido una modulación tanto para los elementos de carpinterías como para los balcones de ambas propuestas, en los cuales se unifican dimensiones de modo que **resultan intercambiables** dentro de cada proyecto. En este caso, sí podría resultar provechoso una **estandarización** de las geometrías de ventanas y carpinterías de modo que fuesen replicables en otros proyectos.



IMAGEN 4.4.4. Corbusierhaus, Berlin. Foto_CC Jean-Pierre Dalbéra

Madera CLT

En la propuesta en madera CLT, se ha realizado un trabajo muy detallado tanto para la resolución de la **fachada** como de las terrazas, las cuales disponen en una estructura metálica adosada a la estructura de paneles CLT. La fachada se divide en 121 paneles que se resuelven con **12 módulos**, incluidas puertas y ventanas, cuya dimensión está coordinada con la estructura formada por los paneles de CLT. Las **terrazas** se conforman a partir de **4 módulos** (oreja/módulo transición/módulo terraza/tendedero) que, combinados, dan lugar a los 3 tipos que resuelven las necesidades de las 33 viviendas.

Entramado ligero de madera

Los entramados ligeros de madera se diseñan a partir elementos de pequeñas dimensiones que combinados componen un elemento continúo formado por varias piezas interconectadas. Las dimensiones de los elementos de cierre de los paneles están estandarizadas por lo que, si en la definición del panel se consideran estas dimensiones parciales, el aprovechamiento del material mejora de manera significativa. En la propuesta del concurso, se ha buscado resolver los paneles de fachada con **modulaciones preferentes de 60 y 100 centímetros de anchura en las partes opacas, y 90 y 140 en los huecos**, aunque estas dimensiones se han debido ajustar para adecuar la dimensión total del panel al ritmo de los muros portantes.

Resulta oportuno señalar la importancia de la estandarización y planificación de las uniones en la estrategia de modulación para favorecer su montaje, mantenimiento y desmontaje.

Steel Frame

Todo lo dicho sobre el entramado ligero de madera se puede aplicar al Steel Frame. Los componentes de cierre e, incluso, elementos lineales están estandarizados. Los elementos de cierre se fabrican con dimensiones predefinidas, aunque, a falta de normalización entre fabricantes, puede hacer diferencias en las dimensiones en los productos. Los perfiles también están estandarizados con dimensiones precisas. En este caso, se ha optado por establecer una **modulación de fachada en base 120 centímetros**.

Módulos 3D de acero

En la construcción de acero 3D los elementos están estandarizados, tanto en perfiles como en paneles de cierre, si bien el diseño de los módulos 3D está supeditado a la distribución de las viviendas tipo y su ajuste en los parámetros urbanísticos o la forma del solar. En este caso se han definido **7 tipologías de módulos** con los que resolver la totalidad del edificio, compuesto por un total de 68 módulos.

En esta propuesta, los elementos de cierre se realizan con tecnologías de entramado ligero de metal, por lo que se puede aplicar lo apuntado para el sistema de Steel Frame.

4.4.3 Estandarización, seriación y personalización

“Mis casas son muy sencillas porque creo que la industrialización solo es posible con un reducido número de componentes. Cuando en una casa hay cinco mil tuercas y tornillos, hay que apretar las cinco mil tuercas y tornillos.

El universo de Jean Prouvé.
La Caixa 2021.

La **estandarización y la seriación** son claves en la optimización de los procesos industrializados y permiten la transformación del enfoque tradicional del diseño y construcción de edificios hacia procesos más eficientes, sostenibles y flexibles. Cada uno de estos conceptos aporta beneficios específicos que, cuando se combinan, pueden mejorar la calidad de manera significativa, reducir los costos y tiempos de construcción, disminuir los riesgos, y satisfacer las demandas específicas de las personas usuarias finales.

Por otra parte, un desafío que enfrenta la construcción industrializada es el de superar el prejuicio asociado a la sobriedad de los productos industriales y su producción en serie, de modo que se favorezca la **personalización** del producto final. Este reto deberá comportar una organización de la producción que permita lo que se conoce como personalización masiva **(mass customization)**.

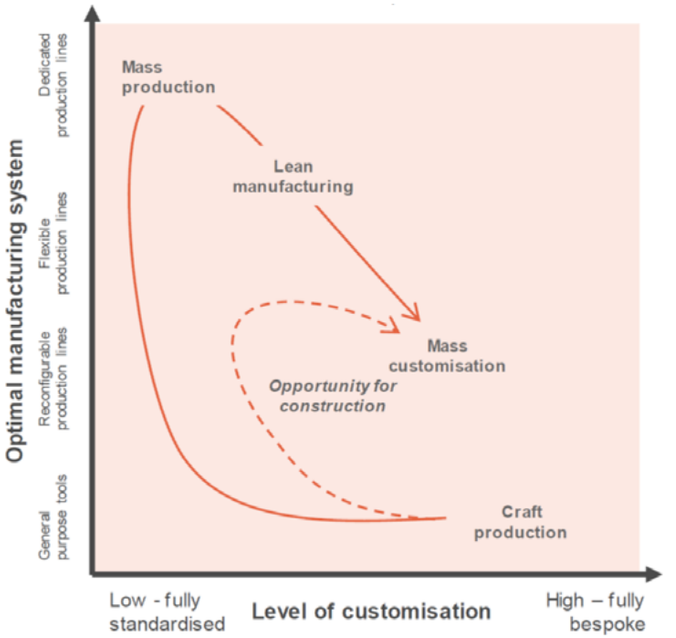


IMAGEN 4.4.6 Evolución de la producción artesanal a la personalización masiva. Fuente_Mott Macdonald

4.4.3.1 ESTANDARIZACIÓN DE COMPONENTES

La **estandarización** implica la definición de normas, especificaciones técnicas y procedimientos de aplicación en la producción de componentes y en los procesos productivos. La estandarización resulta clave para la integración de diferentes componentes a través de un diseño que tenga en cuenta su **compatibilidad** (dimensional y conexional) e **interoperabilidad** (intercambio de información). Estos estándares deben ser replicables, de forma que creen un orden lógico en las etapas de diseño y producción, y sean de aplicación en una línea de producción seriada o continua.

En este apartado, cabe reseñar la labor realizada por el **Clúster de la Edificación** y los trabajos publicados con relación a la estandarización de los siguientes componentes:

a. **Cocinas**
b. **Carpinterías exteriores**
c. **Armarios de Instalaciones**
d. **Instalaciones**
e. **Escaleras**
f. **Cubiertas invertidas**

Además de los componentes indicados en la lista anterior, sobresalen por su capacidad de estandarización los **baños industrializados y los balcones/terrazas.** Muestra de ello es el importante número de empresas que están apostado por la fabricación off-site de estos componentes y su creciente implantación en proyectos y obras (ver **Alimarket. Informe 2023 sobre Sistemas de Construcción Industrializada en España**).

Por su parte, las **fachadas** industrializadas se alinean y responden, también, de manera eficaz a las necesidades de estandarización y seriación. Los cerramientos industrializados se componen de unidades prefabricadas o paneles que se pueden producir en masa y luego ensamblar en el sitio de construcción. Esta técnica no solo permite una construcción rápida y eficiente, sino que también hace posible la adaptación a diferentes tamaños y formas de edificios, cumpliendo con los requisitos de estandarización sin comprometer la flexibilidad del diseño. Atendiendo a la solución de la **hoja portante**, los cerramientos industrializados pueden ser de **hormigón, acero, madera, polímeros (XPS) o ladrillo**. Sobre esta hoja portante es posible superponer capas que garanticen el aislamiento acústico y térmico, la impermeabilidad al agua y al aire, y las placas interiores sobre las que únicamente será necesario aplicar el acabado final. En los elementos con mayor grado de industrialización, las carpinterías exteriores son ensambladas en fábrica junto con todos los remates necesarios, formando un sistema de fachada, al que, incluso, pueden incorporarse los antepechos.

Es importante tener en cuenta que estos sistemas innovadores deben desarrollarse teniendo en consideración las necesarias certificaciones que justifiquen su cumplimiento normativo (ver 4.7.2 Evaluaciones Técnicas de Idoneidad).

Por último, en lo relativo a las instalaciones de los edificios, merece la pena conocer, a pesar de su escasa presencia en el mercado español y más limitada su aplicación a edificios residenciales, los **sistemas MEP prefabricados** (Mecánicos, Eléctricos y de Fontanería). Estos sistemas incluyen todos los componentes necesarios para la ventilación, climatización, distribución eléctrica y los servicios de abastecimiento y evacuación de agua dentro de una edificación. La prefabricación de estos sistemas se realiza en un entorno controlado fuera del sitio de construcción, lo que aporta una serie de beneficios significativos sobre los métodos tradicionales de construcción (**Prefabricated mechanical, Electrical and Pumbing (MEP) Systems, 2021, Singapore BCA**).

4.4.3.2 SERIACIÓN

Por **seriación** entendemos la repetición de procesos y elementos constructivos en múltiples unidades de construcción, lo que permite la automatización y utilización de maquinaria especializada en su fabricación. Esta automatización de la producción repercute en un abaratamiento de los costes de fabricación por unidad, si bien requiere de una importante inversión inicial que, para justificarse, precisa de una demanda mantenida en el tiempo.

Si analizamos las distintas fases del proceso constructivo, la utilización de la estandarización y seriación de los componentes en la **fase de diseño** de un edificio simplifica significativamente el proceso de **fabricación** y se relaciona estrechamente con el **DfMA** (ver apartado 4.1.5.1 DfMA). La utilización de componentes y procesos estandarizados permiten, a su vez, un incremento en la productividad en **fase de montaje**, en la medida en la que las operarias y operarios se familiarizan con las herramientas y técnicas precisas para su ensamblaje. Ampliando el foco a la globalidad del **ciclo de vida del edificio** (ver apartado 4.1.9), la estandarización y seriación de componentes **facilita la reposición y manteniendo de las infraestructuras**, cuestión que se ve favorecida en buena manera en la medida en la que los fabricantes incorporan **garantías de estocaje o fabricación** de sus componentes más allá del periodo de garantía.

En resumen, el modelo industrializado se centra en la repetibilidad, eficiencia y mejora continua, e implica utilizar datos y métricas para optimizar procesos y reducir desperdicios, al tiempo que se prioriza el **valor para el cliente**. La estandarización y la seriación serán claves en la generación de una **oferta consistente** que permita optar a su **producción en masa**, que facilite la **automatización** en su fabricación y que, en última instancia, active una economía de escala que redunde en una **reducción de los costes** de construcción. El equipo proyectista dispondrá, entonces, de un catálogo de **componentes compatibles** que poner al servicio de un proyecto que resuelva las necesidades de las personas usuarias sin menoscabo de la calidad arquitectónica del resultado final.

4.4.3.3 PERSONALIZACIÓN

Más allá de la estandarización y seriación, la **personalización** es un requisito a tener en consideración a la hora de adaptar los proyectos a las necesidades y preferencias específicas de los clientes.

El salto a la **digitalización** y la **transferencia tecnológica**, y automatización de los procesos productivos que se está dando en el sector de la construcción, con la incorporación de herramientas de Control Numérico Computarizado (CNC), robots y fabricación aditiva (3D), va a facilitar la resolución de la necesidad de personalización de los diseños, del modo en el que se hace en otras industrias. Estas tecnologías están haciendo posible la flexibilidad en la producción y, por ende, la **personalización masiva (mass customization)**, al tiempo que reducen el desperdicio y el impacto ambiental. Este tipo de personalización es mucho más común en el diseño industrial, donde la variación no supone la fabricación de un producto que no se parece en nada al anterior sino más bien un producto que tiene muchas similitudes con ligeras adaptaciones. Existen algunos modelos de personalización en el diseño industrial que pueden servir de referencia en su aplicación al sector de la construcción:

Componentes compartidos
Mismos componentes fundamentales con variabilidad de aspecto dentro de cada producto discreto (cambio inicial de las opciones de revestimiento de un proyecto a otro).

Corte a medida
Variación de la longitud, anchura o altura de un producto mediante corte a medida basado en un revestimiento estandarizado de módulo fijo (que puede aumentarse o reducirse de tamaño en la producción o reducir su tamaño durante la producción).

Composición mixta
La variación se consigue mezclando productos (revestimiento en el que se pueden añadir o quitar capas durante la fabricación).

Composición seccional
Las piezas son todas diferentes, pero comparten un método de conexión común (los paneles pueden variar, pero la conexión al armazón es siempre la misma).

Plataforma de producto o bus
Una estructura base soporta de componentes, a veces denominada "diseño plataforma" (estructura de base a la que pueden fijarse numerosos materiales y sistemas de revestimiento).

Fuente: Adaptación de Daniel Schodek et al.

El desarrollo de **plataformas de producto** es la propuesta más avanzada, en cuanto a grado de integración de componentes se refiere. Un ejemplo referente es el trabajo desarrollado por la consultoría **Bryden Wood para desarrollar una plataforma abierta** para el Ministerio de Justicia del Gobierno de Gran Bretaña. Esta iniciativa ha tenido su aplicación pionera a nivel mundial en el edificio de oficinas "**The Forge**" en Londres.

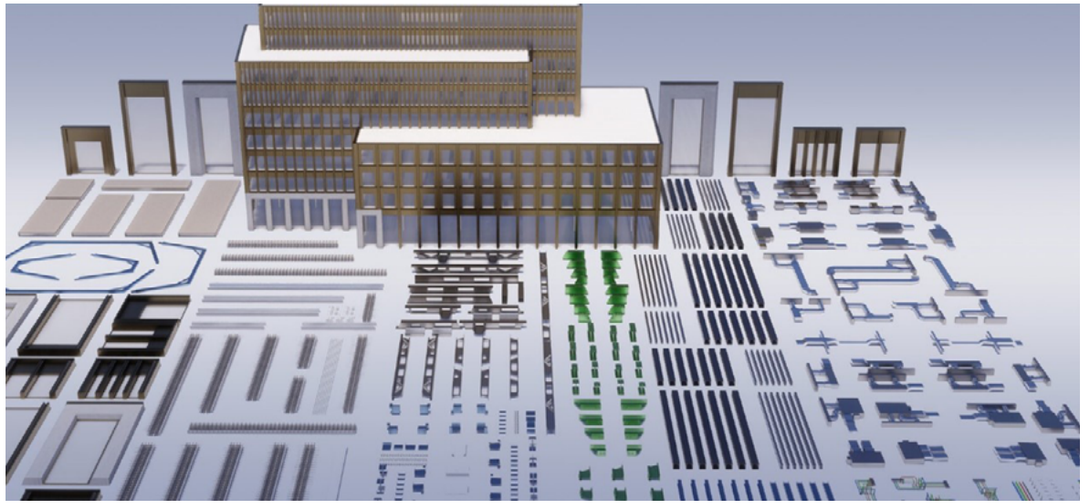


IMAGEN 4.4.7. Plataforma (P-DfMA) The Forge. Fuente_Bryden Wood

4.4.3.4 ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS PARA EL PROYECTO PILOTO (FASE 2): SOPELA-ASU 33VPOA

La documentación elaborada durante el proceso del Diálogo Competitivo ha permitido analizar las familias de elementos constructivos para resolver las diferentes partes del edificio. Este ejercicio de estandarización de componentes, realizado por los equipos redactores como primer paso para su seriación, se centra principalmente en la estructura y la envolvente. En este análisis se han considerado tanto los elementos que componen los sistemas, como los elementos de unión entre las piezas y la forma en que se realizan estas uniones.

Estandarización y Seriación. Estructura.

Estructuras 2D
La mayoría de las propuestas para la promoción de Sopela-Asu se centran en soluciones en dos dimensiones (2D) en diferentes materiales (5 propuestas, 3 materiales).

En el caso de las estructuras prefabricadas de **hormigón 2D**, el número de piezas de características similares que se pueden agrupar para facilitar una fabricación seriada es, en ambas propuestas, de **21 unidades** de piezas estructurales singulares.

El diseño de la estructura metálica **Steel-Frame** parte de **6 módulos tipo**, de pequeñas dimensiones, que se van combinando para realizar tanto la estructura soporte como las particiones interiores, de forma que actúan simultáneamente, como elemento portante y partición interior.

En el caso de la **estructura**, también **ligera, de madera** (Balloom-Frame), el número de piezas utilizadas aumenta considerablemente, hasta **32 unidades**. Esto es debido a que, como estrategia, se opta por la fabricación de paneles de las mayores dimensiones posibles para favorecer la rapidez de montaje en obra, lo que aumenta la singularidad de los mismos.

Otra solución 2D basada madera es la formada por los paneles de **CLT**, que sigue una solución estructural similar al Balloon-Frame, de modo que se diseñan para llevar a obra los elementos en su máxima dimensión posible, con la fabricación de muros que cumplen tanto la función

portante como la de partición interior. De hecho, el número de elementos en ambos casos resulta muy similar: 33 unidades diferentes en balloon-frame y 35 paneles de CLT.

Estructura 3D

En el caso de la única solución en 3D, se plantea la fabricación de 7 tipos de módulos diferentes con estructura de acero con los que hacer la composición completa del edificio. Dichos módulos volumétricos pueden tener diferentes configuraciones de fachadas y particiones interiores para, sumados, componer en su interior viviendas de distinto número de habitaciones (1, 2 o 3) y partes de los espacios comunes.

Desde el punto de vista de las uniones de los elementos estructurales, también hay que señalar que las diferentes soluciones planteadas presentan un número reducido de entre 3 y 6 uniones tipo, lo que mejora la productividad en la fase de montaje.

Estandarización y Seriación. Envolvente

En el caso de la envolvente del edificio, la mayoría de las propuestas priorizan el esfuerzo por unificar componentes en los sistemas de **fachada**, frente a las soluciones de **cubierta** que presentan un nivel de estandarización más bajo. Las fachadas suponen una mayor superficie a cubrir y su industrialización comporta una mayor rentabilidad pensando en su producción en serie.

En las **fachadas**, al igual que en la composición de las estructuras, hay diferencias importantes en el número de unidades en las que se han despiezado las diferentes propuestas. Esta dispersión es debida a la forma en la que se concibe su **montaje**:

> En aquellos casos en los que la estrategia seguida es la de **reducir el número de componentes singulares**, el planteamiento ha consistido en la elaboración de módulos (ciegos, con ventana, con puerta, etc.) a partir de cuya composición se resuelve toda la fachada. Este es el caso de la solución en **Steel-Frame** y la propuesta en **acero 3D**, que son las que presentan menos unidades distintas (**7 unidades**) y de **CLT** (**12 unidades**).
>
> En los otros casos, en los que se ha primado una **mayor rapidez en el montaje**, los elementos singulares aumentan en número y dimensión, si bien, el número total necesario para resolver la totalidad de la fachada es menor. En este caso, los paneles incorporan las partes ciegas junto con los huecos (ventanas, puertas, etc) y se diseñan específicamente adaptados a la geométrica del edificio. Esta solución se plantea en las fachadas de las propuestas de **hormigón 2D y estructura ligera de madera** (con **más de 30 paneles distintos**).

Personalización. Envolvente

Por otro lado, de cara a plantear la posible personalización de los elementos de la fachada, las distintas propuestas han optado por diferentes opciones de acabado.

En el caso de la propuesta de los módulos de **acero 3D**, la solución de fachada se basa en una **chapa plegada de aluminio** y la personalización se consigue a través de su paleta de colores y tipos de perforación de la chapa.

En el caso de las propuestas de **hormigón 2D**, la solución exterior de fachada utiliza un **panel arquitectónico** que puede adoptar diferentes texturas dependiendo del molde utilizado, y tonalidades en función del color del árido que se utilice.

La propuesta de **madera CLT**, propone una solución exterior de fachada con un panel autoportante de entramado ligero de madera donde el revestimiento exterior está formado por una **chapa mini onda de aluminio**, que puede adoptar varios colores en su acabado. En este caso se ha optado por los gris zinc claro y bronce.

Por su parte, la solución del cerramiento planteada por la propuesta de **entramado ligero de madera** (Balloom-Frame), consta de una **fachada ventilada cerámica**, con amplia variedad de acabados comerciales, en la que el elemento portante está formado por un entramado ligero de madera.

Por último, la propuesta realizada por la solución estructural de **Steel-Frame** se basa en el ensamblaje de módulos industrializados de pared resueltos mediante perfilería de acero y varias capas que permiten alcanzar los requisitos normativos, junto con una **fachada ventilada** que, en este caso, se completa con una **chapa de aluminio** exterior, que dispone de una amplia gama de colores de acabado.

Otros componentes

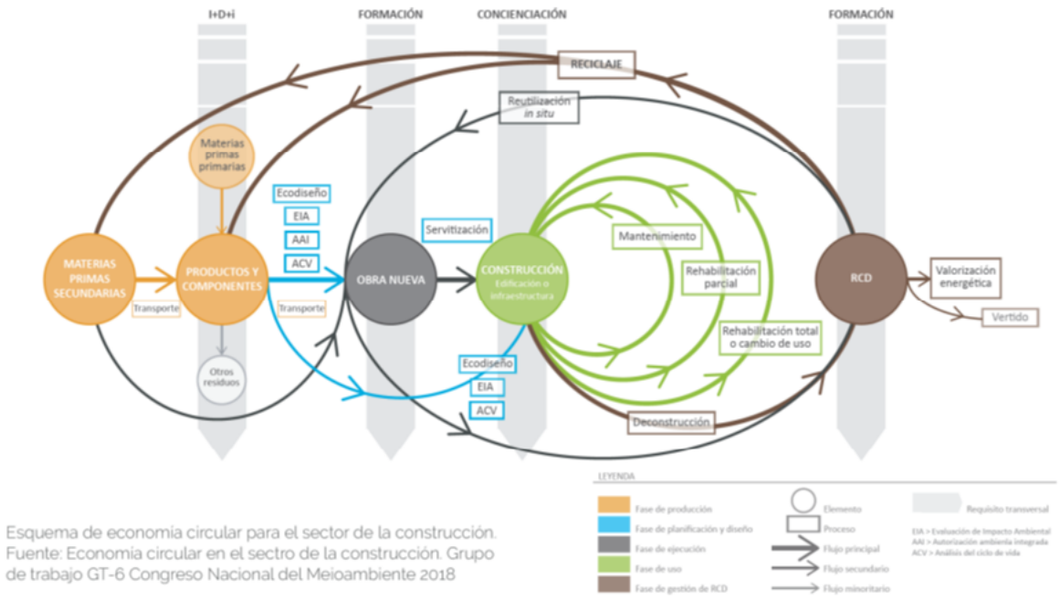
En el Dialogo Competitivo también se ha podido observar como las propuestas de fabricación seriada se lleva a cabo en otras unidades de obra, como es el caso de los baños para los que, en el 100% de los casos, se plantea su incorporación totalmente industrializada. Otras unidades que se han industrializado en algunas de las propuestas son los núcleos de instalaciones y las cocinas e, incluso, los balcones, que se plantean como un conjunto de elementos seriados sobre estructura metálica en la propuesta de madera CLT.

4.5 Diseño arquitectónico: el diseño para el desmontaje y adaptabilidad según la ISO 20887. (DfD/A)

La norma **ISO 20887** se ocupa del **Diseño para el Desmontaje y la Adaptabilidad (DfD/A)** y de las estrategias para la integración de la actividad edificatoria en un modelo de economía circular, entendiendo por economía circular un nuevo paradigma de producción y consumo en el que se optimizan los recursos y se minimizan los residuos generados.

Precisamente, el **Real Decreto 853/2021 del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia**, que regula el acceso a los **Fondos "Next Generation"** para la construcción de vivienda social, establece como requisito para acceder a las subvenciones la incorporación de criterios de circularidad en el diseño de los proyectos, en cumplimiento del principio de no causar un perjuicio significativo al medioambiente (DNSH). La justificación de este requisito se basa particularmente en la capacidad de desmontaje y adaptación de los edificios, según los criterios definidos en la **ISO 20887** como norma de referencia.

En lo que se refiere a la **construcción industrializada**, ésta se diferencia significativamente de los métodos tradicionales por su capacidad para **minimizar residuos y optimizar el uso de recursos**. En esta línea, el informe **Economía circular en la edificación** del Green Building Council España, GBCe, identifica la industrialización de la construcción como una de las claves para acceder a la necesaria transformación del sector. De hecho, las estrategias de diseño propias de los sistemas industrializados, como la **estandarización, simplicidad o desmontaje** forman parte del marco definido en la ISO 20887.



Esquema de economía circular para el sector de la construcción. Fuente: Economía circular en el sectro de la construcción. Grupo de trabajo GT-6 Congreso Nacional del Meioambiente 2018

IMAGEN 4.5.1 Esquema de economía circular para el sector de la construcción. Fuente_GBCe

PRINCIPIOS		
Adaptabilidad	P1	VERSATILIDAD
	P2	CONVERTIBILIDAD
	P3	CAPACIDAD DE AMPLIACIÓN
Desmontaje	P4	FACILIDAD DE ACCESO A COMPONENTES Y SERVICIOS
	P5	INDEPENDENCIA Y CONEXIONES REVERSIBLES
	P6	EVITAR TRATAMIENTOS Y ACABADOS INNECESARIOS
	P7	APOYO A MODELOS DE ECONOMÍA CIRCULAR
	P8	SIMPLICIDAD
	P9	ESTANDARIZACIÓN
	P10	SEGURIDAD EN EL DESMONTAJE
	P11	DURABILIDAD

Visesa ha desarrollado una herramienta para poder medir la circularidad de en sus promociones de vivienda de alquiler social y dar respuesta a los requisitos que establece el Real Decreto 853/2021 que regula el acceso a los Fondos “Next Generation”. La herramienta se ha desarrollado en una hoja de cálculo y evalúa los criterios y estrategias definidas en la norma ISO 20887, con el apoyo de la consultoría Eco Intelligent Growth (EIG).

4.5.1 Adaptabilidad

> *In those places you feel a very strong but flexible structure which is built to absorb shocks and in fact incorporate them.*

Stewart Brandt
2000, The Clock of the Long Now

En arquitectura se proyecta hacia el futuro. Desconocido e incierto, el futuro prefiere que los diseños tengan cierta adaptabilidad para prolongar su uso en el tiempo y retrasar su obsolescencia. Cabe recordar que, desde el punto de vista de la sostenibilidad, el factor más relevante de un edificio es su **vida útil**. El diseño y la construcción que permita responder a los cambios y adaptaciones en su uso prolongará su funcionalidad y, por lo tanto, la vida del edificio.

La **adaptabilidad** de una vivienda puede considerarse como una característica que le permite transformarse con facilidad a los cambios de las necesidades y los requerimientos de las personas usuarias y de su entorno a lo largo de su ciclo de vida.

Existen multitud de trabajos relacionados con el concepto de **flexibilidad** en el ámbito de la vivienda, los cuales abordan, a su vez, distintos aspectos vinculados a la misma. Realizando un breve repaso de algunos teóricos del asunto, la descripción de **Gibb Alistair, Robert Schmidt, Toru Eguchi y Simon Austin** (Schmidt, 2010) puede ser una de las más apropiadas.

> *La adaptabilidad es una característica de diseño que engloba estrategias espaciales, estructurales y de servicios, la cual permite al artefacto físico un grado de maleabilidad en respuesta a los parámetros operacionales que cambian a lo largo del tiempo. Este cambio estratégico muestra a los edificios no como obras acabadas, sino como objetos cuyas formas están en continuo movimiento evolucionando para adaptarse a las metamorfosis funcionales, tecnológicas y estéticas de la sociedad.*

Por su parte, **Jeremy Till y Tatjana Schneider** (Schneider, 2005) definen y clasifican los principios que representan la capacidad física de los edificios para ser adaptables, los cuales engloban en seis categorías finales: ajustable, versátil, reacondicionable, convertible, escalable y móvil. En cuanto a las estratégicas para abordar la flexibilidad, Till y Schneider plantean clasificarlas en dos categorías amplias: **uso y tecnología**. La idea de "uso" alude a la forma en que el diseño afecta a la manera de ocupar la vivienda, expresando la flexibilidad que proporciona la distribución de la vivienda. Por su parte, la idea de "tecnología" tiene que ver la construcción y los servicios, y con la forma en la que éstos afectan a la adaptabilidad.

En definitiva, un espacio adaptable se suele asociar, a grandes rasgos, con un espacio "en blanco" sin una tipología predefinida. Un **espacio indeterminado que ofrece posibilidades**.

Todos los sistemas constructivos, sean industrializados o tradicionales, tienen sus ventajas y limitaciones. Se puede afirmar, simplificando un poco quizás, que **las adaptaciones que no suponen cambios en la materialidad de los elementos que definen el espacio, dependen principalmente de la competencia del equipo proyectista para diseñar dentro de esas restricciones. A medida que los cambios requieren de adaptaciones constructivas más importantes, la influencia del sistema empleado empieza a ser mayor.** En cualquier caso, un diseño adecuado será aquel que aprovecha las posibilidades de cada sistema y contrarresta sus limitaciones.

4.5.1.1 LA ADAPTABILIDAD SEGÚN LA ISO 20887

La **ISO 20887**, norma que establece los requisitos para el diseño del desmontaje y adaptabilidad, define **tres principios para el diseño adaptable: versatilidad, convertibilidad y la capacidad de ampliación** (o reducción). Aunque las líneas que dividen los tres puntos puedan resultar difusas, hay ciertas diferencias que se identifican en su definición:

Versatilidad

Se refiere a la capacidad de un espacio proyectado de adaptación a diferentes funciones con el menor cambio posible, sin ninguna obra extra. Un ejemplo de versatilidad es la capacidad de una vivienda de tener **diferentes configuraciones sin modificaciones sustanciales** en su construcción, a través de la alteración de elementos ligeros, como mobiliario, o intervenciones menores en cierres realizados en seco.

Convertibilidad

Es la posibilidad o facilidad de generar cambios sustanciales a través de ciertas modificaciones de entidad menor. La convertibilidad se relaciona con el criterio de versatilidad, pero si el primero se refiere a la posibilidad de usar de maneras diferentes una misma configuración física, en esta categoría se contemplan posibles **intervenciones que modifican la configuración de las distribuciones** para poder adaptarse a diferentes tipos de uso. Su grado depende de la envergadura de las intervenciones para dar lugar a esos cambios y está condicionado, principalmente, por las diferentes configuraciones que permitan la estructura, las instalaciones principales y los cerramientos del edificio.

Capacidad de ampliación

Considera, a escala de edificio, la posibilidad o facilidad de un sistema para **ampliar, o reducir, la superficie existente**. Los volúmenes de los edificios suelen estar restringidos por sus límites urbanos y urbanísticos, si bien, en ocasiones, se puede jugar con esos límites. Estas ampliaciones pueden conseguirse a través de un aumento del perfil edificatorio - esto es, aumentando la altura, como es el caso de las remontas - o modificando la ocupación en planta, como es el caso de la intervención en la "Cité du Grand Parc" de Burdeos por Lacaton & Vassal.

4.5.1.2 LA ADAPTABILIDAD EN LOS SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS

La construcción industrializada ofrece una capacidad significativa de adaptabilidad en el ámbito residencial tal y como puso de manifiesto **John Habraken** en su análisis de la "estructura de soporte" (Tweeling Struktuur) frente al "relleno" (Inbouwnpakket). La visión de Habraken enfatiza la importancia del diseño de viviendas que puedan adaptarse a las necesidades cambiantes de sus ocupantes a lo largo del tiempo, sin necesidad de intervenciones costosas. La principal aportación de la construcción industrializada a la adaptabilidad se basa en su capacidad para modular y prefabricar componentes de la vivienda. La **compatibilidad** de estos componentes permite una **flexibilidad de diseño** sin precedentes, donde los elementos estructurales y no estructurales pueden ser intercambiados, actualizados o ampliados con relativa facilidad en comparación con los métodos de construcción tradicionales, y esta capacidad tiene su reflejo en la versatilidad, convertibilidad y capacidad de ampliación de los espacios proyectados.

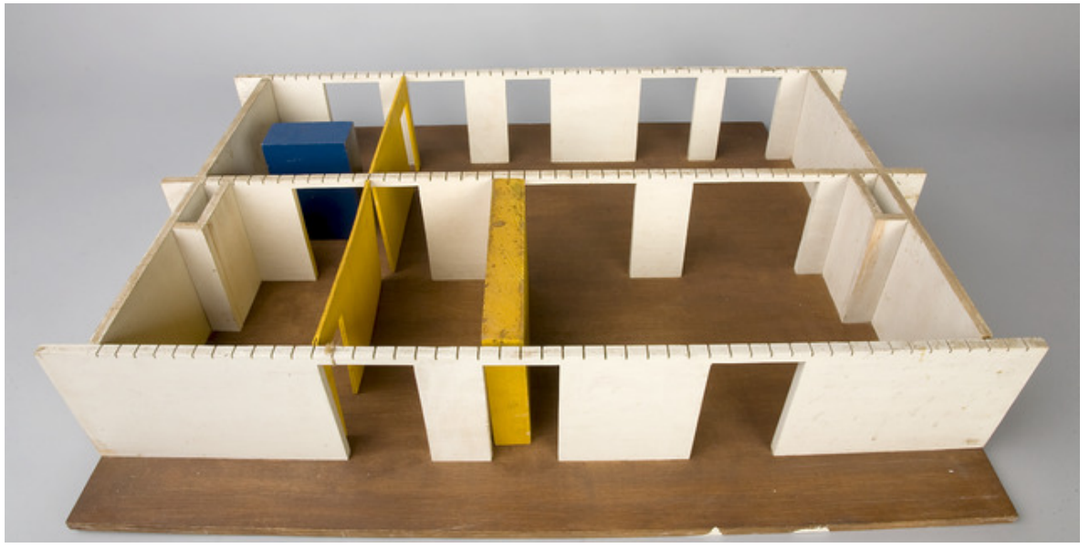


IMAGEN 4.5.2 Maqueta de interior para estudio de la flexibilidad. 1969-72. Stichting Architecten Research (SAR). Fuente_Het Nieuwe Instituut

Versatilidad

Un **espacio versátil** es aquel que, haciendo uso de la capacidad del sistema, crea una configuración que ofrece diversos modos de uso sin modificación constructiva alguna. Cuanto más rico y generoso sea el espacio en cuanto a las condiciones de ventilación e iluminación natural, dimensiones en planta y volumen, mayor será su capacidad de albergar situaciones diferentes. En definitiva, proyectar espacios que, más allá de cumplir los requisitos estrictos del programa o los requerimientos normativos mínimos, ofrezcan alternativas más generosas (en cuanto a altura, dimensiones, etc.) para que la persona tenga margen de maniobra.

La diferenciación jerárquica de los dormitorios puede servir de ejemplo ilustrativo sobre la versatilidad. Buena parte de la normativa heredada y los hábitos de diseño responden a unidades familiares convencionales, que requieren de un dormitorio principal y uno o dos secundarios, a pesar de que la realidad de las unidades de convivencia sea muy diferente. Una cierta homogeneidad en las dimensiones de las habitaciones puede resultar recomendable para responder a las necesidades de diferentes grupos de convivencia o distintos usos, como el trabajo desde el domicilio. La normativa más reciente, como el Decreto 80/2022 de Habitabilidad del País Vasco, aboga por esta **desjerarquización**.

Tal y como se ha apuntado previamente, la adaptabilidad que no supone cambios en la configuración material de los elementos que definen el espacio **no depende tanto del sistema empleado** como de la habilidad del proyectista (ver 4.1.4.1 Condiciones espaciales y de funcionalidad).

Convertibilidad

El **espacio convertible** ofrece cambios sustanciales con ligeras modificaciones. En este caso, la estrategia para la definición de la estructura y la ubicación de los cuartos húmedos resulta fundamental ya que su alteración implicaría una obra compleja y costosa que la aleja del principio de convertibilidad. Por tanto, la convertibilidad de la vivienda requiere que la simple modificación de las particiones interiores permita cambiar su configuración.

A partir de este presupuesto, existen dos variables que condiciona la convertibilidad en gran medida: **las luces y la continuidad estructural**. En general, los sistemas que permiten luces medianas o grandes y alturas dobles pueden llegar a ser más fácilmente convertibles que los sistemas limitados a luces pequeñas y alturas estándares de una planta. En ese sentido, los sistemas de elementos lineales **prefabricados de hormigón armado**, preferentemente diáfanos, se adaptan más fácilmente a este requerimiento. Los **entramados ligeros**, tanto de madera como de acero (Steel Frame), tienen luces pequeñas y una gran presencia de la estructura, lo que resulta en mayores limitaciones. Los sistemas murarios se mueven en un término medio; entre ellos los de **hormigón 2D** permiten espacios ligeramente más diáfanos que los de **CLT**. Por su parte, los **sistemas 3D** suelen ser mucho más rígidos por sus luces reducidas y presencia más profusa de apoyos verticales.

En cualquier caso, un edificio residencial no requiere, a priori, que los fondos edificatorios y anchos de crujía sean de grandes dimensiones, por lo que una correcta concepción del edificio puede minimizar esta diferencia entre sistemas e incluso compensarla completamente.

Capacidad de Ampliación

La **capacidad de ampliación** es el principio que más vinculado está al sistema, si bien sigue habiendo una parte importante que depende de la previsión en el diseño, especialmente en lo que se refiere a la disposición y dimensiones de los núcleos de comunicación y la organización de las instalaciones. En definitiva, el tratamiento de los elementos fijos puede facilitar o dificultar la ampliación o reducción del edificio.

La capacidad de **ampliación vertical** depende en mayor medida del sistema empleado. Los sistemas de **hormigón** son los que mejor se adaptan a esta necesidad, ya que el aumento de altura entra dentro del rango habitual de este tipo de estructuras y, por lo tanto, el sobredimensionamiento para prever el crecimiento es fácilmente asumible. El **CLT** tiene limitaciones ligeramente mayores. Aunque se puede emplear en edificios en altura, no es tan habitual si no va acompañado de soluciones híbridas, y su diseño y dimensionado suelen exceder el estándar de su uso. Los sistemas de **entramados ligeros**, principalmente los de madera, tienen importantes limitaciones en altura; existen, no obstante, soluciones técnicas que solventan esta restricción y es previsible que esta desventaja mejore sustancialmente en los próximos años, aunque es poco probable que se pueda llegar a las alturas que permiten otros sistemas.

En cuanto a la **ampliación horizontal**, más que el sistema estructural, es el sistema de cerramientos de fachada el que facilita o dificulta el trabajo. En este aspecto, los sistemas ligeros son los que permiten adaptaciones en mejor medida.

4.5.1.3 ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS PARA EL PROYECTO PILOTO (FASE 2): SOPELA ASU 33VPOA

Versatilidad

La configuración general del edificio de 33 viviendas en Sopela está limitada tanto por las condiciones formales y urbanísticas de la parcela como por los criterios de diseño propios de Visesa (compacidad), lo que tiene reflejo en la versatilidad de las propuestas.

Los sistemas empleados tienen influencia en la versatilidad en la medida en la que condicionan las soluciones formales concretas de las viviendas. En este caso se ha llegado a una solución formal similar para todas las propuestas, de modo que la influencia en el diseño de las viviendas no ha dependido tanto de la tecnología, sino que, en este apartado, prevalece el entendimiento del proyectista para aprovechar los condicionantes del sistema sobre las posibilidades que el propio sistema pueda ofrecer.

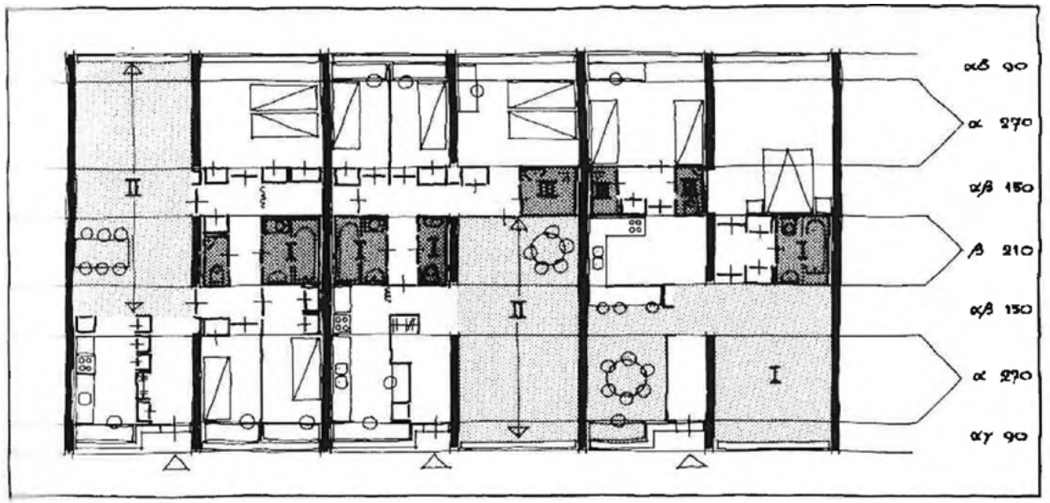


IMAGEN 4.5.3 Coordinación de soportes y unidades separables. 1974 SAR (Stichting Architecten Research)

Versatilidad de las viviendas

Hormigón 2D

En los dos proyectos realizados con hormigón prefabricado las divisiones estructurales coinciden con las separaciones entre viviendas. Cada vivienda se configura dentro de un espacio diáfano y su división interior no está condicionada por el sistema. En los dos proyectos las habitaciones tienen dimensiones similares, por lo que resultan intercambiables en su uso. En una de las propuestas los espacios de día se pueden compartimentar para funcionar de manera separada o destinarse a otros usos, mientras que en el otro, el espacio de día tiene una proporción cuadrada y su división daría como resultado elementos de proporciones irregulares (como contrapartida, los espacios resultantes dan a fachada, por lo que disponen de iluminación y ventilación naturales). Estos dos proyectos representan dos opciones de diseño alternativas, ambas válidas y que no dependen del sistema empleado.

Steel Frame

Aunque en los entramados ligeros de acero los condicionantes de la estructura son similares a los de los entramados ligeros de madera, en la propuesta presentada la solución difiere completamente de la presentada con entramado ligero de madera. En la propuesta de Steel Frame los paños de soporte se hacen coincidir con las divisiones interiores de las viviendas, con lo que obtiene la ventaja de reducir al mínimo las luces de forjado, aunque la presencia de la estructura condiciona completamente la solución propuesta. Dado que se ha optado por una solución de luces homogéneas, los espacios tienen dimensiones similares. En las habitaciones esta estrategia de diseño hace que resulten intercambiables. En el espacio de día el espacio requerido es mayor que en los dormitorios y, para poder resolver con las mismas luces que las de las habitaciones, se le ha dado una forma de L en planta. Esta forma permite la división en partes de proporciones adecuadas.

Módulos 3D de acero

La solución presentada tiene muchos soportes interiores que coinciden con las particiones. Estos pilares tienen dimensiones reducidas, pero condicionan el espacio. No obstante, en la propuesta presentada se han trabajado de manera adecuada con estos condicionantes. Se han dispuesto de manera que las habitaciones tengan dimensiones similares y resulten intercambiables. Los espacios de día son adaptables y se pueden dividir o destinar a otros usos.

Madera CLT

La utilización de paneles CLT se limita a la estructura interior ya que del cerramiento se resuelve con un entramado ligero, por lo que combina los beneficios de ambas soluciones. La disposición de las crujías es perpendicular a las fachadas y su distribución no es regular. Esta decisión no está condicionada por el sistema empleado sino por la estrategia de distribución espacial adoptada. Las habitaciones tienen dimensiones sensiblemente similares; las principales tienen una superficie ligeramente mayor y más espacio de almacenaje, pero se consideran intercambiables. Los espacios de día tienen una proporción cuadrada, si bien no están pensados para su división ni adaptación a otros usos.

Entramado ligero de madera

En los sistemas de entramado ligero de madera la presencia de los paños de soporte puede ser una limitación dependiendo del modo en el que se dispongan. En la propuesta presentada los muros portantes se disponen longitudinalmente a la fachada, lo que permite tener un despiece y capacidad de adaptación amable. La solución estructural no condiciona la distribución interior. Las habitaciones tienen formas diferentes, por lo que resultan menos intercambiables. Los espacios de día tienen proporciones diferentes y, si en algunos casos la posibilidad de división es adecuada, en otros está limitada. La disposición de las ventanas no favorece la división, si bien esta circunstancia es ajena al propio sistema.

Convertibilidad

Para analizar la convertibilidad se han revisado las propuestas atendiendo a la siguiente graduación: Grado 1: la convertibilidad con intervenciones mínimas; Grado 2: la posibilidad de cambiar la distribución; Grado 3: la posibilidad de modificar las envolventes; Grado 4: posibles adaptaciones estructurales; Grado 5: la capacidad de división, partición o intercambio.

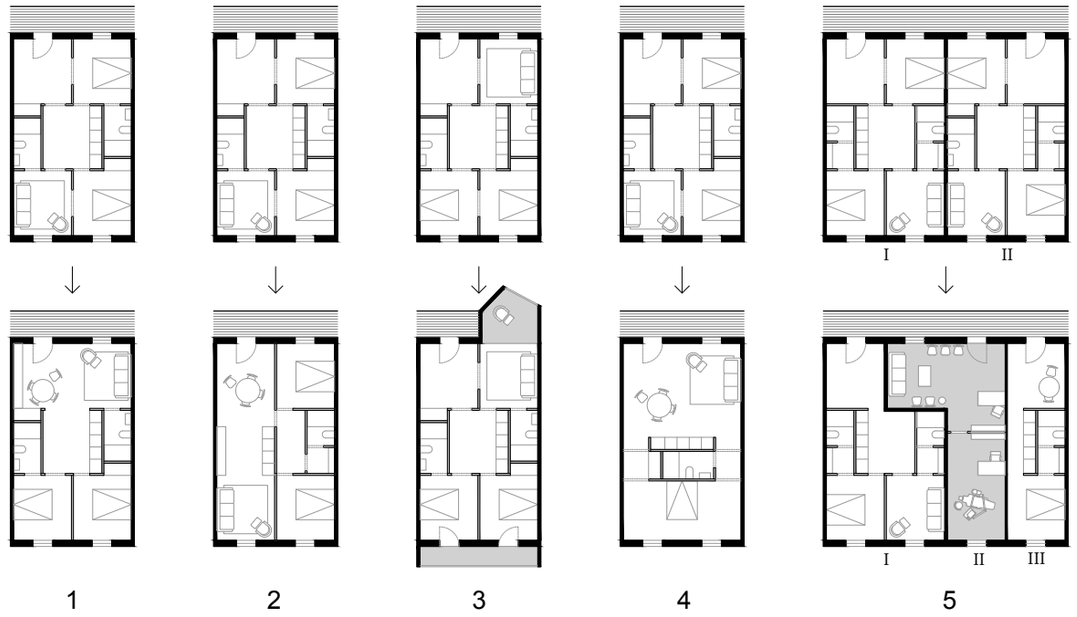


IMAGEN 4.5.4 Grados de convertibilidad

En este apartado se observa esa **doble vinculación entre las posibilidades de los sistemas y la organización interior de los espacios proyectados**. Las propuestas de los sistemas de elementos lineales prefabricados de hormigón armado, con mayores luces entre estructura portante, facilitan el acceso a adaptaciones hasta grado 2, si bien, muestran mayor rigidez en siguientes grados de adaptación. El sistema en módulos 3D es el más limitado en este apartado dada la mayor presencia de elementos verticales estructurales en planta. En cuanto a los sistemas de entramado ligero, la solución en Steel Frame encuentra su mayor limitación lo reducido de sus luces, mientras que en el de madera la distribución de los espacios permite algo más de juego. Por su parte, la propuesta en madera CLT saca partido de las posibilidades del sistema ofrece mayor flexibilidad hasta grado 3.

HORMIGÓN 2D

Grado 1
El sistema empleado no afecta a la convertibilidad con pequeñas intervenciones. Esta posibilidad viene dada por la solución de distribución adoptada, que permite cambiar puertas o unir habitaciones. En los espacios de día, se puede aplicar con algunas limitaciones.

Grado 2
Ambas propuestas, al tener espacios diáfanos, permiten cambios de distribución interior. Sin embargo, en las soluciones adoptadas se han encontrado algunas limitaciones: en una de las propuestas la ubicación de las instalaciones de cocina lo dificulta y en la otra la formalización de retranqueos de fachada también es un condicionante. La capacidad de convertibilidad de los sistemas es elevada.

Grado 3
La convertibilidad de las fachadas es limitada. Los cierres de fachada son paneles de hormigón de gran tamaño en los que no se pueden modificar las aperturas. Los retranqueos de la alineación de fachada dificultan más esta posibilidad.

Grado 4
No se contemplan adaptaciones estructurales. La entidad de los elementos estructurales, con grandes luces y elementos monolíticos, no permite su fácil adaptación.

Grado 5
La estructura de soporte está formada por muros de carga de hormigón que coinciden con las divisiones de las viviendas, de forma que la única intervención posible es la subdivisión. Ampliar viviendas o intercambiar estancias requiere de intervenciones estructurales muy importantes por lo que el sistema no se considera adecuado para este tipo de convertibilidad.

STEEL FRAME

Grado 1
Las adaptaciones con mobiliario o pequeñas intervenciones son posibles, pero tienen limitaciones importantes. Si se realizan sin afección estructural se limitan a los espacios de día y la forma de estos espacios, en L, limita el cambio de configuración..

Grado 2
Las modificaciones puntuales de distribución, como cambios de puertas, están condicionados porque todos los cierres interiores son estructurales. Se pueden realizar, pero requieren de comprobaciones estructurales. Realizar un cambio puede ser sencillo, pero si estos cambios son habituales a lo largo de la vida del edificio, pueden dar lugar a cambios sustanciales de comportamiento estructural, por lo que en la práctica se consideran muy limitadas.

Grado 3
El tipo de cierre es un entramado ligero estructural que permite la adaptación de la fachada, pero la forma adoptada tiene limitaciones que requeriría de una reconfiguración estructural.

Grado 4
El sistema permite hacer cambios en la configuración estructural, pero tiene condicionantes formales importantes. Los cambios estructurales de pequeña entidad son sencillos, los de mayor entidad tienen las limitaciones del propio sistema cuando se realiza en obra nueva.

Grado 5
El sistema y la propuesta permiten la división, partición o intercambio. Tiene las limitaciones de distribución señaladas anteriormente. Estos cambios se tienen que realizar manteniendo los cierres interiores.

MÓDULOS 3D DE ACERO

Grado 1
La solución propuesta tiene muchos soportes interiores que condicionan la modificación puntual de elementos de división. Los espacios de día se pueden compartimentar con mobiliario o nuevos cierres totales o parciales.

Grado 2
Los pilares interiores están situados en partes intermedias de los tabiques, lo que hace que los cambios de distribución interior de mayor alcance estén muy limitados. Sin embargo, con otra configuración de módulos, es posible lograr una convertibilidad de distribuciones muy elevada.

Grado 3
El cerramiento de entramado ligero de metal sin función estructural permite cambios en la configuración de fachada. La solución formal con retranqueos no lo facilita, pero el sistema es muy convertible.

Grado 4
El sistema es un entramado pesado de acero, permite la convertibilidad de la estructura con facilidad.

Grado 5
Los cambios de división de viviendas o intercambios de espacios son sencillos, siempre con las limitaciones de modulación que marcan las posiciones intermedias de pilares interiores.

CLT

Grado 1
La posibilidad de adaptación con pequeñas intervenciones es limitada. Si se realiza sólo con mobiliario se debe limitar a los espacios de día, pero la proporción y forma de la cocina-salón comedor no lo permite. Las modificaciones puntuales de distribución son posibles solo en algunos casos.

Grado 2
Algunos elementos de cierre son estructurales y no se pueden modificar. Los que no son estructurales se pueden retirar o cambiar.

Grado 3
La fachada es de entramado ligero de madera y la convertibilidad es similar a la de dicho sistema, si bien algo mayor ya que los elementos de soporte principales son los muros de CLT interiores. A expensas del detalle del cálculo estructural, estos cierres pueden no considerarse como estructura, con lo que la convertibilidad de la fachada sería elevada.

Grado 4
Los cambios estructurales son posibles pero limitados ya que está formada por elementos de gran tamaño cuya modificación requieren de cambios de modelo estructural, por lo que en la práctica se descarta esta posibilidad.

Grado 5
La división en el interior de viviendas es posible. Las divisiones entre viviendas están formadas por muros de carga, con lo que el intercambio o ampliación están muy limitados ya que requieren de aperturas que, aunque son posibles, están limitadas. Además, los cambios se tienen que ceñir a la modulación de los muros interiores.

ENTRAMADO LIGERO DE MADERA

Grado 1

Los cambios mediante mobiliario son independientes del sistema, pero en la solución propuesta son posibles. Las pequeñas intervenciones en elementos de división también son posibles, siempre que no sean estructurales. En la configuración propuesta la mayor parte de las divisiones no son estructurales, por lo que se facilita este tipo de adaptación.

Grado 2

La propuesta presentada permite la modificación interior sin apenas limitaciones. En uno de los lados el espacio es diáfano, por lo que da libertad completa. En el otro hay un plano de soporte que coincide con la división del pasillo y que condiciona ligeramente los cambios de distribución. Muchas soluciones de entramado ligero tienen planos de soporte que coinciden con divisiones interiores, por lo que es habitual que este tipo de intervención esté limitada; en este caso, la solución propuesta salva esta limitación de manera adecuada.

Grado 3

La convertibilidad de la fachada es similar a la del entramado ligero de acero. El sistema lo permite con las mismas limitaciones por ser un entramado estructural.

Grado 4

La convertibilidad de la estructura es posible, siempre y cuando los cambios sean de una entidad limitada.

Grado 5

En lo referente a la posibilidad de división, partición o intercambio, ocurre algo similar que con los cambios de distribución. La solución propuesta lo facilita, aunque en otras aplicaciones de este tipo de sistema puede estar limitada.

Capacidad de ampliación

En el análisis de la capacidad de ampliación se ha considerado la ampliación vertical, la horizontal y la previsión o facilidad de funcionamiento de las ampliaciones.

Hormigón 2D

La **ampliación vertica**l supone un dimensionamiento de soportes para ese propósito. Dado que los muros de carga son elementos poco solicitados la ampliación vertical se podría realizar con un mínimo sobredimensionamiento. En la planta sótano la estructura de soporte se vería algo más afectada, pero sin un sobrecoste importante. Funcionalmente la ampliación es posible sin limitación práctica en las alturas habituales para vivienda colectiva. Dependiendo de la entidad, los elementos de comunicación pueden verse afectados, pero esto no depende del sistema.

La **ampliación horizontal** no está limitada por el sistema. Las propuestas concretas las pueden facilitar o limitar. La previsión y funcionamiento de las posibles ampliaciones no dependen del sistema, sólo de la solución arquitectónica propuesta. En una de las propuestas el funcionamiento es adecuado y en la otra está limitado por la disposición de cocinas. Dado que las propuestas se sitúan en una parcela que restringe este crecimiento, la valoración de este aspecto se limita al sistema, por lo que se considera que lo facilita.

Módulos 3D de acero

La **ampliación vertica**l es posible. El sistema permite un perfil edificatorio máximo de PB+9. Prever una futura ampliación supone un sobredimensionamiento inicial de la estructura. Por la naturaleza del material de soporte, la incidencia de este sobredimensionamiento es mayor que en el hormigón.

El sistema permite la **ampliación horizontal** y en la propuesta presentada es posible de realizar. El funcionamiento de la ampliación no depende del sistema. En el proyecto presentado, el edificio ampliado funcionaría bien.

Steel Frame

El sistema permite la **ampliación vertical** hasta un perfil de PB+5. El proyecto presentado permite el funcionamiento de una ampliación vertical. No se puede valorar qué perfil edificatorio es posible con otra distribución de soportes que facilitase la convertibilidad.

El sistema permite la **ampliación horizontal** pero la propuesta concreta no lo facilita.

CLT

El proyecto prevé la posibilidad de **ampliación vertical** incluso con la posibilidad de colocar un ascensor adicional. Supone un sobredimensionamiento estructural, pero es posible. Como referencia, el mayor perfil edificatorio alcanzado en España para edificios residenciales con un sistema estructural basado en paneles de CLT es de PB+8.

El sistema permite la **ampliación horizontal**, pero con la configuración estructural propuesta habría que modificar puntualmente la estructura de los testeros. La propuesta arquitectónica presenta muchas dificultades para la ampliación horizontal, ya que supone cambiar completamente la configuración de las viviendas de los testeros.

Por lo tanto, el funcionamiento de las versiones ampliadas se considera adecuado en la ampliación vertical y limitado en la horizontal.

Entramado ligero de madera

La **ampliación vertical** es limitada. En nuestro entorno el uso del entramado de madera se limita al perfil presentado. En otros países se emplea en alturas ligeramente mayores, pero requieren de un diseño específico y un sobredimensionado. Una solución habitual suele ser construir una parte baja con otro sistema, habitualmente CLT, y la superior con entramado. La previsión de ampliación requiere de una configuración estructural diferente, por lo que no se considera posible.

El sistema permite el **crecimiento horizontal**, pero la solución propuesta no está pensada para su ampliación.

4.5.2 Diseño para el Desmontaje (DfD)

La desmontabilidad de los edificios está ligada al concepto de edificio como **Banco de Materiales** (Ver 4.9). La estrategia de reutilización de elementos constructivos tiene evidentes beneficios ambientales y permite reincorporar los materiales a un modelo de **economía circular**, si bien, para ello, primeramente es necesario poder desmontar lo construido. Esta premisa debe tenerse en cuenta en fase de diseño para que su puesta en práctica sea realmente factible.

Las líneas generales de las estrategias de desmontabilidad se basan en la **claridad y simplicidad** en el diseño del proyecto con el objetivo de que sus componentes puedan desmontarse con facilidad para su reutilización y reciclaje a lo largo de las diferentes etapas de su vida útil, tanto en la fase de mantenimiento como en la fase final del edificio. Si el sistema en general es claro y se comprende fácilmente, su desmontaje y futuro re-montaje se simplificará en gran medida, razón por la cual en los detalles constructivos deben primarse soluciones sencillas y normalizadas frente a soluciones complejas y singulares.

Igual de importante que todo lo anterior resulta disponer de una documentación exhaustiva del proceso constructivo y sus componentes para garantizar su circularidad. Esa información será crucial para los futuros deconstructores, tanto para planear el desmontaje propiamente dicho como para analizar la viabilidad económica de la operación (se debe considerar el coste del desmantelamiento frente a los beneficios de su separación y reciclaje). Por ello **el pasaporte digital del producto** (ver 5.3 Digitalización) se convierte en documento clave para el modelo, ya que garantiza la trazabilidad de los componentes, localiza su ubicación exacta en el edificio e incluye un manual de deconstrucción en el que se definen las opciones de reutilización posibles y su viabilidad.

4.5.2.1 LA DESMONTABILIDAD SEGÚN LA ISO 20887

La desmontabilidad según la ISO 20887 se desglosa en los siguientes principios que se desarrollan a continuación:

- Facilidad de acceso a componentes y servicios
- Independencia y conexiones reversibles
- Evitar tratamientos y acabados innecesarios
- Apoyo a modelos de economía circular
- Simplicidad
- Estandarización
- Seguridad en el desmontaje

Stewart Brand, en su libro “How Building Learn: What Happens After They’re Built”, define un edificio como un **sistema jerárquico de capas y componentes** (terreno, envolvente, estructura, servicios, particiones y acabados). Siguiendo con su narrativa, la jerarquía de elementos se establece con base en **el periodo de vida de sus elementos**, siendo las primeras capas las más longevas. Esta lectura del edificio está directamente ligada al mantenimiento: si los diferentes componentes tienen periodos de vida distintos, también serán distintos los ritmos de cuidado, preservación y sustitución. Por ello, se tendrá que posibilitar la intervención de cada uno con el menor daño posible a los elementos que se encuentren alrededor.

Este planteamiento se relaciona con la independencia de los elementos, es decir, que cada pieza pueda ser cambiada de manera independiente. El diseño será adecuado en tanto en cuanto las intervenciones de mantenimiento necesarias o las reparaciones de averías puntuales se puedan realizar sin romper elementos de cierre y desmontando componentes que se puedan volver a colocar una vez realizada la operación. Las conexiones y elementos de unión deben ser accesibles visualmente, y se debe evitar su ocultación por acabados innecesarios. Además de la accesibilidad visual, es importante que las conexiones sean accesibles física y ergonómicamente para posibilitar su diagnóstico visual y manipulación.

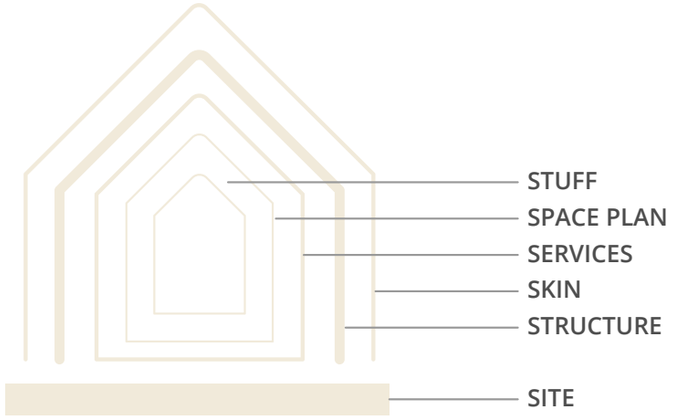


Imagen 4.5.5: Steward Brand. Las capas de un edificio

En ese sentido, las conexiones han de ser reversibles para no tener que actuar de forma destructiva, lo que prioriza las construcciones en seco, con conexiones atornilladas o clavadas, frente a soluciones con uniones químicas, en las que los adhesivos, selladores y pegamentos dificultan su separación y reciclaje, y aumentan el impacto potencial sobre la salud humana y el medioambiente.

La estandarización juega un papel relevante en esta cuestión. Si los elementos de unión utilizados son normalizados y, por lo tanto, conocidos y de dimensiones regulares, se simplifica el número de herramientas necesarias, así como el tiempo y el esfuerzo para su uso. Asimismo, de cara a su futura reutilización, será más sencillo encontrar un nuevo uso donde encajar los elementos desmontados (compatibilidad).

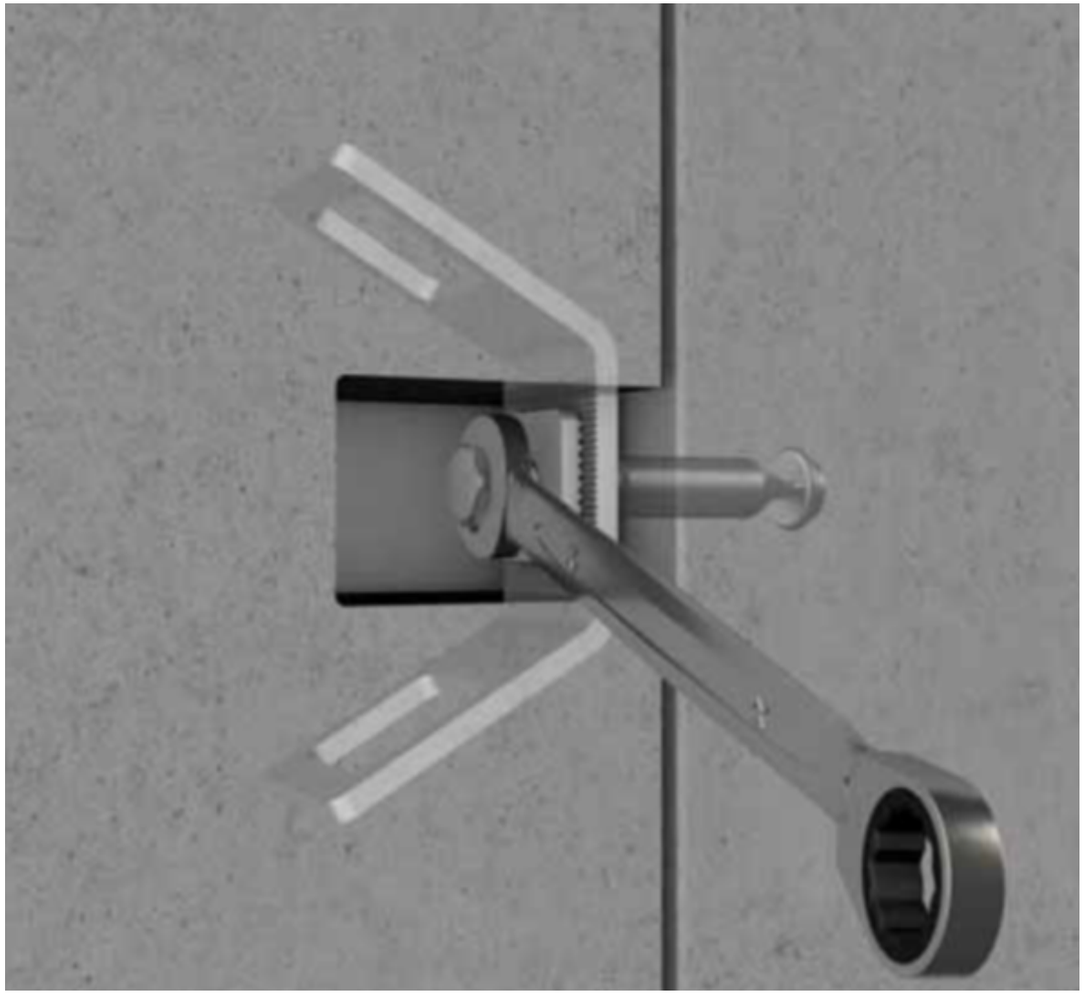


IMAGEN 4.5.5. Unión seca reversible en prefabricados de hormigón

4.5.2.2 LA DESMONTABILIDAD EN LOS SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS

A lo largo de este apartado relativo a la ISO 20887 se han desgranado una serie de conceptos que permiten entender la concordancia de la producción industrializada con la **economía circular**. Así, la **estandarización**, consustancial al diseño industrializado, la **simplicidad** y el **montaje en seco** o la **trazabilidad de los materiales y componentes** desde su etapa de producto hasta el final de vida apelan directamente a los sistemas industrializados como medio adecuado para abordar el diseño para el desmontaje de los edificios.

4.5.2.3 ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS PARA EL PROYECTO PILOTO (FASE 2): SOPELA ASU 33VPOa

Capacidad de desmontaje de los sistemas

En las propuestas presentadas los **sistemas prefabricados de hormigón** tienden todavía a utilizar **conexiones no reversibles**. Se trata de elementos de unión realizados in situ, pero que se realizan mediante hormigonado de las uniones. Por lo tanto, esas uniones no se pueden revertir de manera sencilla. Se pueden cortar las piezas para desmontarlas, pero no se consideran sistemas reversibles de por sí. Hay algún ejemplo de uniones reversibles pero su ubicación no es siempre la adecuada para que se puedan operar. En cualquier caso, siempre es buena práctica recoger la situación de las uniones en la documentación final de obra

En comparación, los **sistemas de madera y metálicos** tienen la notable ventaja de recurrir a **conexiones mecánicas**:

> En los sistemas de **entramado ligero**, tanto de madera como de metal (Steel Frame), las uniones se realizan mediante tornillos dispuestos de diversas maneras. Estas uniones son teóricamente reversibles, aunque si el diseño del proyecto no lo prevé, su aplicación puede resultar complicada en la práctica. La abundancia y la variabilidad en la disposición de estas uniones complican la identificación de su número y ubicación exactos, y a menudo el acceso a ellas es difícil. Para abordar estos problemas, es esencial contar con un diseño claro y sistemático de las uniones que facilite el desmontaje. Por otro lado, en el sistema Steel Frame es común el uso de forjados compuestos por una chapa colaborante y hormigón, elementos que no son reversibles. La reciclabilidad y reutilización de estos forjados es comparable a la de las estructuras prefabricadas de hormigón, aunque su impacto se considera menor debido a su menor peso.
>
> En los sistemas de **CLT**, las uniones pueden ser de dos tipos: directamente atornilladas o mediante piezas metálicas de conexión. Generalmente, se emplea una combinación de ambos métodos. Las uniones atornilladas directamente presentan riesgos similares a las del entramado, aunque su menor número reduce el riesgo y facilita su localización. Por otro lado, las uniones que utilizan piezas metálicas están claramente identificadas y se realizan mediante tornillos, lo que las hace completamente reversibles. Aunque la tecnología de las piezas es específica, las uniones se llevan a cabo utilizando técnicas bien conocidas y comúnmente empleadas en la construcción.

De manera general, los sistemas de hormigón prefabricado con conexiones no reversibles presentan mayor complejidad para el desmontaje del edificio ya que, para cortar las uniones de hormigón vertido, es necesario emplear herramientas pesadas y la rotura de los elementos de unión puede limitar la reutilización de los componentes. Por otro lado, los **sistemas de madera y metal**, tanto los entramados ligeros, como los módulos 3D y el CLT, ofrecen **mayor facilidad de desmontaje**. No obstante, localizar los tornillos puede ser complicado si no están tácticamente posicionados. Una estrategia efectiva consiste en diseñar un método sistemático de montaje y reflejar claramente la ubicación de las uniones en los planos as-built para facilitar el trabajo a los equipos de desmontaje.

En definitiva, la **visibilidad y claridad del sistema, el acceso y reversibilidad** de las uniones, junto con una **documentación as-built** meticulosa hacen viable el desmontaje de los elementos constructivos para su reutilización.

Reciclabilidad de los sistemas

La reciclabilidad de los materiales empleados en la construcción depende significativamente de los **tratamientos y acabados** que se les aplican. En este apartado, es conveniente distinguir entre distintas situaciones ya que, el impacto en la aplicación de pinturas o barnices es mucho menor que en aquellos casos en los que se solidarizan componentes entre sí a través de reacciones químicas.

Los elementos estructurales de **hormigón y madera** generalmente no tienen tratamientos o acabados perjudiciales. Sin embargo, los **elementos metálicos** suelen estar pintados o galvanizados para proteger el material, lo que puede comprometer ligeramente su reciclabilidad.

Por otra parte, en los sistemas de **hormigón y CLT** es habitual que los cerramientos de fachada y particiones estructurales se trasdosen (incluso, en el caso de los sistemas de hormigón, se alternan el trasdosado y el enlucido). Estas capas añadidas son de difícil o nula reversibilidad e incluso reciclaje.

Los sistemas de **entramado ligero**, tanto madera como Steel Frame, tienen una gran capacidad de desmontabilidad y reciclaje, ya que tanto fachada como cerramientos interiores suelen estar formados por capas sencillas unidas mecánicamente. Sin embargo, en otros sistemas como los de módulos **tridimensionales**, aunque los cierres suelen están formados por capas independientes de la estructura, es habitual que cuenten con “paneles multicapa” de peor reciclabilidad.

Puede afirmarse que las obras **con mayor facilidad de desmontaje son también las más reciclables**. De esta manera, generalmente, las estructuras industrializadas de **hormigón** presentan mayores limitaciones de reciclabilidad de todos sus componentes, seguidas de las de **CLT**, mientras que las de **entramado ligero y acero** destacan por una alta desmontabilidad y potencial de reciclaje.

Capacidad de desmontaje y reciclabilidad de otros componentes complementarios

En cuanto a los componentes complementarios al sistema industrializado, se pueden hacer las siguientes consideraciones:

- Un asunto de especial relevancia es el **contacto de las estructuras industrializadas con el terreno**. En el caso de los edificios residenciales, que debe contemplar un espacio destinado al aparcamiento de vehículos bajo rasante, los movimientos de tierra y acondicionamiento del terreno obligan a prever soluciones de contención. Los proyectos que utilizan estructura de hormigón en sótano, la mayoría, son más difícilmente reciclables (si no es para generar material de relleno). En alguna propuesta, la habilidad del proyectista resuelve este encuentro con sistemas más ligeros y desmontables, como son los muros de gaviones.
- La **cubierta invertida** es un sistema idóneo por la independencia entre capas. Las capas de protección están simplemente apoyadas, por lo que se pueden desmontar fácilmente. Entre las propuestas, unas utilizan losas compuestas de diferentes materiales, como la losa “filtrón”, y otras tienen elementos separados simplemente apoyados. De este último tipo son las cubiertas invertidas con gravas o las que tienen losetas apoyadas sobre el aislamiento.
- El revestimiento de cartón-yeso en los **falsos techos y tabiques** se rompe al retirarlo, lo que impide su reutilización. Esta misma solución, independiente del sistema industrializado, se ha utilizado en todos los proyectos, por lo que no se obtiene una ventaja competitiva entre ellos. Si se considerara el uso de tableros de madera, comúnmente de OSB, la situación mejoraría notablemente. Aunque esta práctica no es común en nuestro entorno, sí de aplicación común en otros países europeos.

- En cuanto a los **revestimientos verticales**, cabe distinguir entre lucidos y revestimientos colocados en seco y pinturas. Los lucidos están adheridos por lo que no se pueden separar del soporte, lo cual dificulta su reciclabilidad. Los revestimientos colocados en seco se pueden separar, aunque su aptitud para ser reutilizados dependerá de los medios de fijación empleados. Al igual que ocurre con la tabiquería seca, los tableros de madera tienen una mayor circularidad que el cartón-yeso, que ha de romperse para ser retirado. El acabado de pintura se utiliza en todos los casos. La pintura limita las opciones de reutilización o reciclado, sin embargo, también cumple una función estética y prestacional (por ejemplo, protección frente al fuego o a la corrosión). En estos casos, se recomiendan las pinturas naturales, orgánicas y con bajo contenido en compuestos orgánicos volátiles (VOC en inglés) ya que estos productos reducen la toxicidad de los revestimientos y se disminuyen los riesgos en la reutilización de los componentes pintados.
- Por último, en cuanto a los **acabados de los suelos**, podría afirmarse que los hábitos en los usos y la disponibilidad de materiales del mercado hace que no se hayan encontrado aún materiales adecuados para los cuartos húmedos, ya que, o bien se utilizan suelos vinílicos, elementos con componente plásticos menos interesantes desde un punto de vista ambiental, o elementos más o menos tradicionales de albañilería, de difícil reciclabilidad y desmontaje. Más allá de estas soluciones tradicionales, propuestas novedosas como las **piezas de cerámica imantada** pueden suponer un avance importante en este campo, por su instalación en seco y facilidad para su desmontaje.

4.5.3 Durabilidad

Durabilidad y adaptabilidad son conceptos que están intrínsecamente ligados y ambos deben considerarse conjuntamente para encontrar su equilibrio. Visiones parciales pueden abocar a situaciones en las que se deba desechar un elemento o material antes del final de su vida útil, bien por haber quedado funcionalmente obsoleto o por resultar estéticamente anticuado, o bien porque la propia vida útil del edificio sea menor que la del elemento particular.

Por otra parte, la minimización del mantenimiento o el reemplazo de componentes durante la fase de uso del edificio redunda en un menor impacto ambiental. Sin embargo, sin un **diseño para el Desmontaje y Adaptabilidad** adecuado los elementos más duraderos podrían obstruir el reemplazo y la adaptabilidad de los más efímeros. Por eso resulta fundamental abordar ambas cuestiones desde una visión integrada.

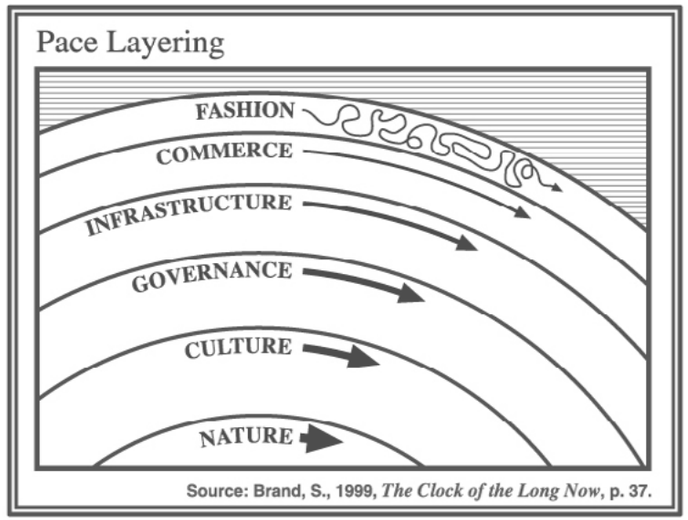


IMAGEN 4.5.7. Estratificación por ritmos. Stewart Brand

4.5.3.1 LA DURABILIDAD SEGÚN LA ISO 20887

La durabilidad, conforme a la ISO 20887, se define como el periodo de tiempo en el que el edificio (**activo**) o elemento de este (**componente, material**) realiza su función sin necesidad de reparaciones imprevistas.

Dentro de una obra de construcción, los requisitos de durabilidad pueden diferir entre **los activos y los componentes**, ya que la durabilidad de cada elemento se debe fijar de acuerdo con su uso previsto y el coste, la frecuencia y la dificultad del mantenimiento, reparación o reemplazo. Además, la durabilidad de los materiales o subsistemas se debe considerar **dentro del contexto de la vida funcional del activo**. Si la vida útil del activo es corta, la importancia de la durabilidad de sus componentes puede verse compensada por otros principios (accesibilidad, independencia, simplicidad, facilidad de reutilización y reciclabilidad).

Una vez analizadas las necesidades de mantenimiento de los distintos componentes para garantizar que mantienen su nivel de rendimiento, funcional y estético, durante la vida útil del edificio, se definirán las acciones preventivas a incorporar al **plan de mantenimiento**. La elaboración y ejecución del plan de mantenimiento se considera parte de la estrategia de durabilidad ya que resulta primordial para el correcto funcionamiento de un edificio y sus partes. Dependiendo de las circunstancias, en unos casos pueden priorizarse componentes o materiales con una clasificación de durabilidad alta y que requieran un mantenimiento, reparación o reemplazo menos frecuentes, mientras que en otros casos, se pueden reducir las cargas ambientales seleccionando los elementos para una vida útil más corta, y previendo un desmontaje y reutilización más sencillos. En cualquier caso, el planteamiento pasa por **acompasar la vida útil** del elemento con el momento en el que pierde su valor de uso y se debe destinar a reciclaje.

4.5.3.2 LA DURABILIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA

La **construcción industrializada** ofrece una serie de ventajas que contribuyen significativamente al cumplimiento del objetivo de durabilidad, como son:

Control de Calidad mejorado

Los componentes del edificio se fabrican en un entorno controlado, lo que reduce significativamente las imperfecciones y errores que pueden afectar la durabilidad del edificio. Este control de calidad superior asegura que los materiales y los procesos de construcción cumplan con las especificaciones de diseño y los estándares de la industria desde un principio.

Selección de materiales

En un modelo de construcción industrializada, los materiales que se definen en proyecto son los que realmente van a formar parte del edificio y su selección se realiza con una visión integral con la consideración de diversos factores (económicos, estéticos, funcionales, ambientales, durabilidad,...). En la construcción tradicional, por contra, es habitual que a lo largo de la obra se realicen modificaciones en la lista de materiales del proyecto sin considerar las características de los materiales en su globalidad, con primacía de la componente económica debido a las incertidumbres propias del modelo, y quede desvirtuada la previsión de proyecto.

Protección durante el proceso de construcción/fabricación

Los componentes construidos en fábrica están menos expuestos a las condiciones climáticas adversas durante el proceso de construcción, que pueden afectar negativamente a la durabilidad de los materiales. Esta circunstancia es especialmente relevante en elementos sensibles al ambiente como es el caso del hormigón, que necesita condiciones adecuadas para su correcto curado y para que alcance su resistencia de diseño a partir de una dosificación óptima para su uso.

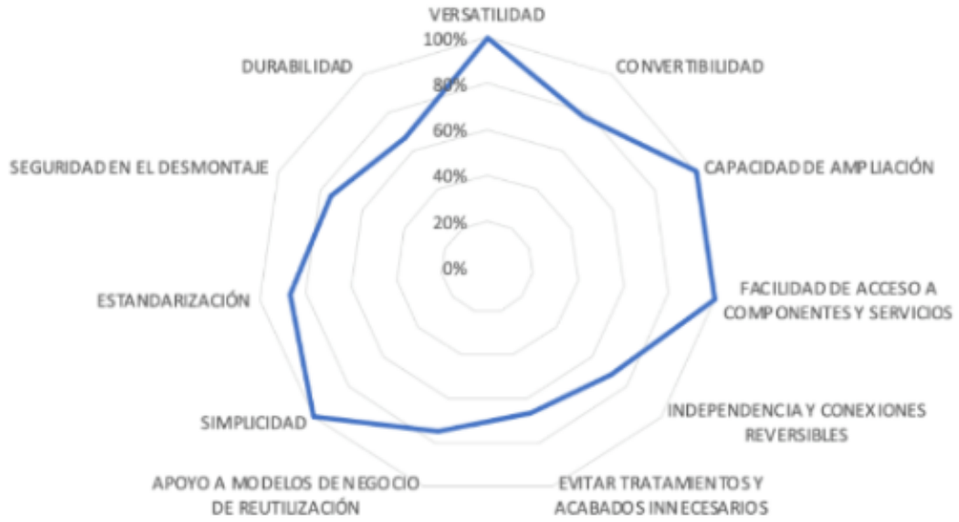
4.5.3.3 ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS PARA EL PROYECTO PILOTO (FASE 2): SOPELA ASU 33VPOA

En el apartado de Durabilidad se dan resultados bastante homogéneos entre las distintas propuestas, y las pequeñas diferencias se debe principalmente a las soluciones para la desmontabilidad de los cerramientos y la durabilidad parcial de sus componentes.

Como compendio de los criterios del Diseño para el Desmontaje y Adaptabilidad (DfD/A), se recogen a continuación los resultados gráficos de la evaluación mediante la herramienta de circularidad propia desarrollada por Visesa para el análisis y justificación del cumplimiento del **principio DNSH** en la construcción de viviendas en alquiler social en edificios energéticamente eficientes, de acuerdo con lo establecido en el Real Decreto 853/2021. La herramienta evalúa los 3 criterios, **Adaptabilidad, Desmontaje y Durabilidad** y los 11 principios de la ISO 20887.

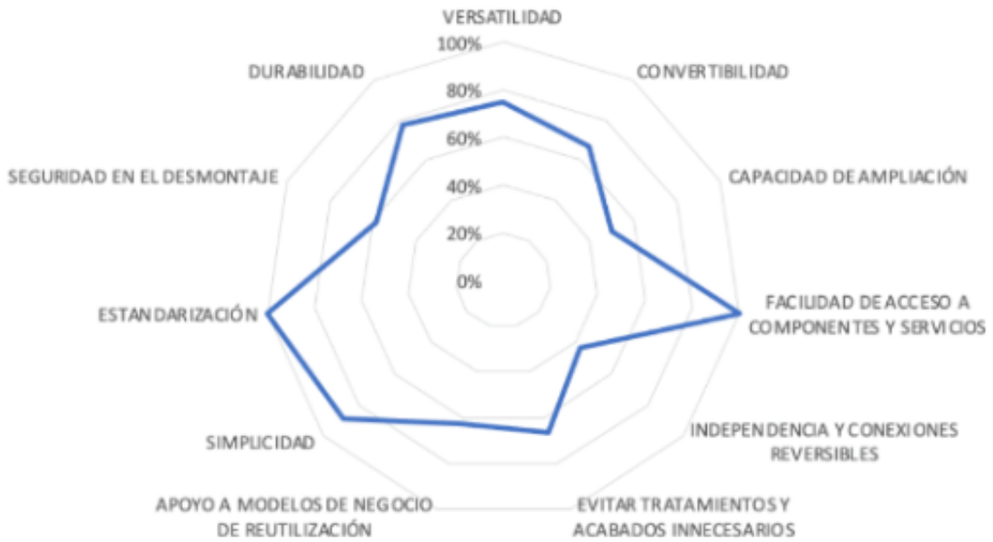
HORMIGÓN 2D PROPUESTA 1

PRINCIPIOS			Indicadores	Indicadores Positivos	Evaluación
Adaptabilidad	P1	VERSATILIDAD	8	8	100%
	P2	CONVERTIBILIDAD	9	7	78%
	P3	CAPACIDAD DE AMPLIACIÓN	6	6	100%
Desmontaje	P4	FACILIDAD DE ACCESO A COMPONENTES Y SERVICIOS	5	5	100%
	P5	INDEPENDENCIA Y CONEXIONES REVERSIBLES	7	5	71%
	P6	EVITAR TRATAMIENTOS Y ACABADOS INNECESARIOS	3	2	67%
	P7	APOYO A MODELOS DE ECONOMÍA CIRCULAR	8	6	75%
	P8	SIMPLICIDAD	9	9	100%
	P9	ESTANDARIZACIÓN	15	13	87%
	P10	SEGURIDAD EN EL DESMONTAJE	12	9	75%
	P11	DURABILIDAD	9	6	67%
			91	**76**	**84%**



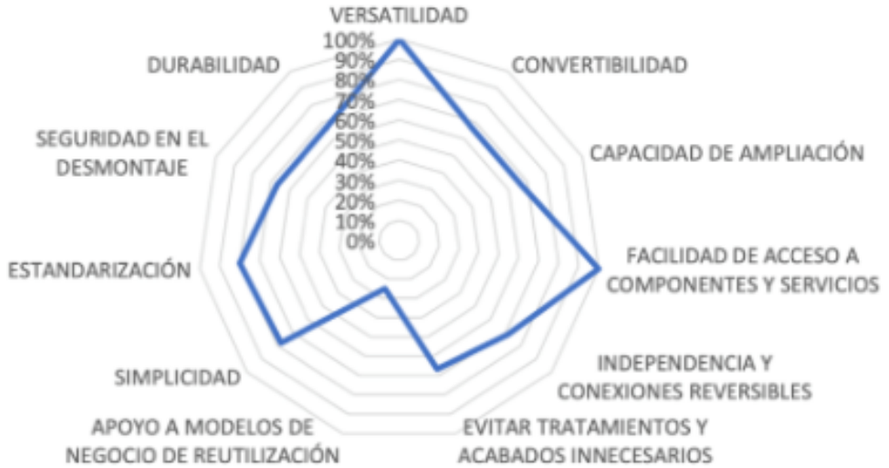
HORMIGÓN 2D PROPUESTA 2

PRINCIPIOS			Indicadores	Indicadores Positivos	Evaluación
Adaptabilidad	P1	VERSATILIDAD	8	6	75%
	P2	CONVERTIBILIDAD	9	6	67%
	P3	CAPACIDAD DE AMPLIACIÓN	6	3	50%
Desmontaje	P4	FACILIDAD DE ACCESO A COMPONENTES Y SERVICIOS	5	5	100%
	P5	INDEPENDENCIA Y CONEXIONES REVERSIBLES	7	3	43%
	P6	EVITAR TRATAMIENTOS Y ACABADOS INNECESARIOS	3	2	67%
	P7	APOYO A MODELOS DE ECONOMÍA CIRCULAR	8	5	63%
	P8	SIMPLICIDAD	9	8	89%
	P9	ESTANDARIZACIÓN	15	15	100%
	P10	SEGURIDAD EN EL DESMONTAJE	12	7	58%
	P11	DURABILIDAD	9	7	78%
			91	**67**	**74%**



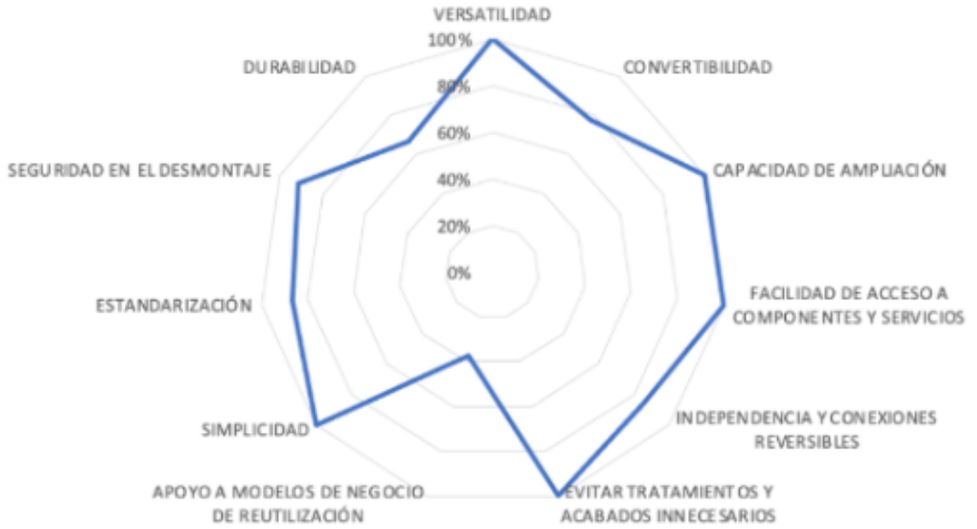
STEEL FRAME

PRINCIPIOS			Indicadores	Indicadores Positivos	Evaluación
Adaptabilidad	P1	VERSATILIDAD	8	8	100%
	P2	CONVERTIBILIDAD	9	6	67%
	P3	CAPACIDAD DE AMPLIACIÓN	6	4	67%
Desmontaje	P4	FACILIDAD DE ACCESO A COMPONENTES Y SERVICIOS	5	5	100%
	P5	INDEPENDENCIA Y CONEXIONES REVERSIBLES	7	5	71%
	P6	EVITAR TRATAMIENTOS Y ACABADOS INNECESARIOS	3	2	67%
	P7	APOYO A MODELOS DE ECONOMÍA CIRCULAR	8	2	25%
	P8	SIMPLICIDAD	9	7	78%
	P9	ESTANDARIZACIÓN	15	12	80%
	P10	SEGURIDAD EN EL DESMONTAJE	12	8	67%
	P11	DURABILIDAD	9	6	67%
			91	**65**	**71%**



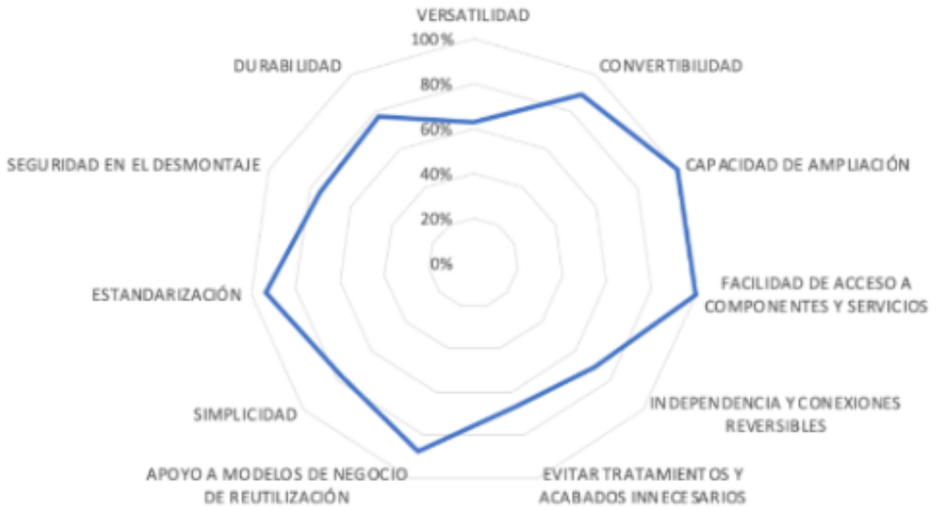
MÓDULOS 3D DE ACERO

PRINCIPIOS			Indicadores	Indicadores Positivos	Evaluación
Adaptabilidad	P1	VERSATILIDAD	8	8	100%
	P2	CONVERTIBILIDAD	9	7	78%
	P3	CAPACIDAD DE AMPLIACIÓN	6	6	100%
Desmontaje	P4	FACILIDAD DE ACCESO A COMPONENTES Y SERVICIOS	5	5	100%
	P5	INDEPENDENCIA Y CONEXIONES REVERSIBLES	7	6	86%
	P6	EVITAR TRATAMIENTOS Y ACABADOS INNECESARIOS	3	3	100%
	P7	APOYO A MODELOS DE ECONOMÍA CIRCULAR	8	3	38%
	P8	SIMPLICIDAD	9	9	100%
	P9	ESTANDARIZACIÓN	15	13	87%
	P10	SEGURIDAD EN EL DESMONTAJE	12	11	92%
	P11	DURABILIDAD	9	6	67%
			91	**77**	**85%**



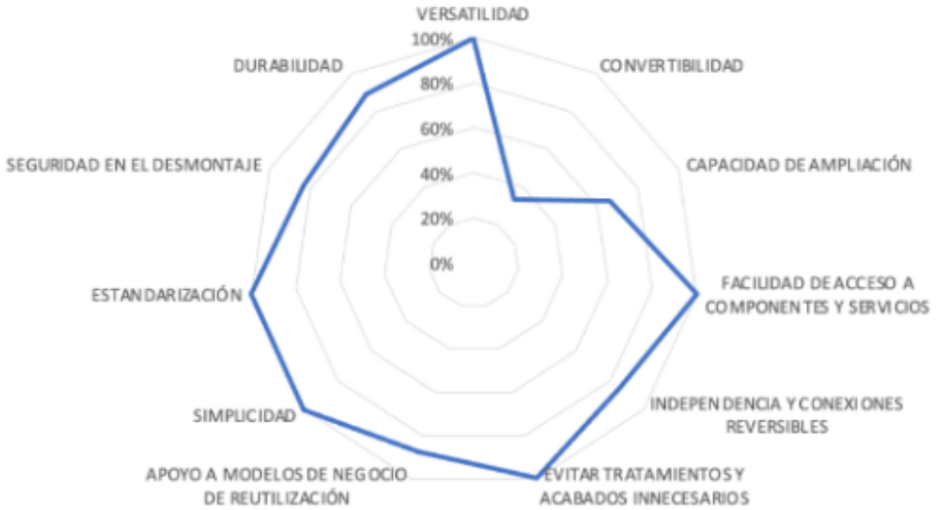
CLT

PRINCIPIOS			Indicadores	Indicadores Positivos	Evaluación
Adaptabilidad	P1	VERSATILIDAD	8	5	63%
	P2	CONVERTIBILIDAD	9	8	89%
	P3	CAPACIDAD DE AMPLIACIÓN	6	6	100%
Desmontaje	P4	FACILIDAD DE ACCESO A COMPONENTES Y SERVICIOS	5	5	100%
	P5	INDEPENDENCIA Y CONEXIONES REVERSIBLES	7	5	71%
	P6	EVITAR TRATAMIENTOS Y ACABADOS INNECESARIOS	3	2	67%
	P7	APOYO A MODELOS DE ECONOMÍA CIRCULAR	8	7	88%
	P8	SIMPLICIDAD	9	7	78%
	P9	ESTANDARIZACIÓN	15	14	93%
	P10	SEGURIDAD EN EL DESMONTAJE	12	9	75%
	P11	DURABILIDAD	9	7	78%
			91	**75**	**82%**



ENTRAMADO LIGERO DE MADERA

PRINCIPIOS			Indicadores	Indicadores Positivos	Evaluación
Adaptabilidad	P1	VERSATILIDAD	8	8	100%
	P2	CONVERTIBILIDAD	9	3	33%
	P3	CAPACIDAD DE AMPLIACIÓN	6	4	67%
Desmontaje	P4	FACILIDAD DE ACCESO A COMPONENTES Y SERVICIOS	5	5	100%
	P5	INDEPENDENCIA Y CONEXIONES REVERSIBLES	7	6	86%
	P6	EVITAR TRATAMIENTOS Y ACABADOS INNECESARIOS	3	3	100%
	P7	APOYO A MODELOS DE ECONOMÍA CIRCULAR	8	7	88%
	P8	SIMPLICIDAD	9	9	100%
	P9	ESTANDARIZACIÓN	15	15	100%
	P10	SEGURIDAD EN EL DESMONTAJE	12	10	83%
	P11	DURABILIDAD	9	8	89%
			91	**78**	**86%**



4.6 Diseño arquitectónico: Condiciones de habitabilidad

Más allá de las técnicas constructivas, sistemas estructurales y grados de industrialización, la consideración de una **vivienda como espacio habitable** tiene que ver con las **condiciones espaciales, funcionales y de confort** que definen la esencia de su configuración. Por ello, la Ley 3/2015, de 18 de junio, de vivienda establece como uno de sus principios rectores para el despliegue de las **políticas de vivienda en Euskadi** la «orientación de todas las intervenciones, tanto en la construcción de nuevas viviendas protegidas y alojamientos dotacionales como en actuaciones de rehabilitación o reforma, hacia la **mejora de sus condiciones** de habitabilidad, funcionalidad y seguridad, con especial consideración hacia su accesibilidad, uso eficiente de los recursos naturales y sostenibilidad social, financiera y medioambiental, teniendo en cuenta los principios del diseño universal».

En este sentido, existen 3 normativas de aplicación en el País Vasco que definen los **requisitos de accesibilidad, seguridad, salubridad, y condiciones espaciales y de equipamiento** de los edificios y viviendas:

Accesibilidad
Decreto 68/2000, de 11 de abril, por el que se aprueban las normas técnicas sobre condiciones de accesibilidad de los entornos urbanos, espacios públicos, edificaciones y sistemas de información y comunicación.

Seguridad, Salubridad y Habitabilidad
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación, y sus actualizaciones posteriores.

Habitabilidad
Decreto 80/2022, de 28 de junio, de regulación de las condiciones mínimas de habitabilidad y normas de diseño de las viviendas y alojamientos dotacionales en la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Estas tres normativas inciden y modulan las características del objeto final resultante: una vivienda que no solo satisface el derecho de acceso a un lugar donde vivir, sino que lo hace en condiciones de **bienestar**, y en cuyo diseño se han ido incorporando progresivamente criterios y exigencias de **sostenibilidad** (social, económica y ambiental) y de **inclusión**.

En lo que a habitabilidad se refiere, el Decreto 80/2022 señala:

> *la habitabilidad, en cuanto que se configura como una **condición de un espacio que permite desarrollar a las personas que lo ocupan un proyecto de vida, se encuentra vinculada a unos requisitos básicos** de superficie y altura, confort térmico, equipamiento, salubridad, iluminación natural, accesibilidad, uso y mantenimiento, sin olvidar la flexibilidad o versatilidad para adaptar la vivienda a las distintas etapas de la vida, así como a las nuevas necesidades y formas de vida modernas.*

En consecuencia, la industrialización de la construcción, y de la vivienda en particular, debe dar respuesta a esos requisitos de habitabilidad, lo que constituye un reto en sí mismo por cuanto la habitabilidad está supeditada a una multiplicidad de factores, en ocasiones ajenos a la propia condición edificatoria (urbanísticas, de entorno, de transporte, de logística, de productos, etc.). Hay que tener en cuenta que estos factores pueden llegar a resultar determinantes en el diseño de una promoción de viviendas, máxime si se trata de una promoción de viviendas de protección social, condicionada por los recursos económicos disponibles, las demandas sociales de su organización funcional y las condiciones ambientales que inciden en el uso y el mantenimiento a lo largo de su vida útil.

4.6.1 Condiciones espaciales y de funcionalidad: requisitos básicos

Toda vivienda tiene que cumplir una serie de **condiciones básicas de diseño**, algunas de carácter externo, definidas por su localización (municipio y su normativa general de edificación) y su ubicación concreta (solar y condiciones urbanísticas), y otras de carácter interno, técnicas (constructivas y tecnológicas) y de uso específico (vivienda de protección pública, programa y tamaño de las viviendas). Estas condiciones influyen en su implantación espacial sobre el territorio, el lugar, así como en su accesibilidad, seguridad y habitabilidad.

4.6.1.1 ACCESIBILIDAD

Según se ha indicado, una vivienda en el País Vasco debe cumplir las condiciones de accesibilidad universal definidas por el Decreto 68/2000 (condiciones que resultan más restrictivas en términos generales que las contempladas en el Documento Básico de Seguridad de Utilización y Accesibilidad del CTE, DB-SUA-9), tanto en el entorno urbano y del edificio como en el interior del propio edificio, si bien limitado a las zonas comunes del mismo. Por tanto, esta normativa incide de manera determinante en la definición de la forma de aproximación peatonal y rodada al edificio. Esta circunstancia condiciona la **logística de la construcción** y puede resultar determinante en la adopción de soluciones industrializadas, máxime cuando el dimensionamiento optimizado de las piezas prefabricadas que configuran el edificio y las viviendas pueden tener un tamaño y peso superiores a los de la construcción tradicional.

4.6.1.2 SEGURIDAD

En lo que se refiere a los requisitos técnicos generales definidos por el CTE, es el Documento Básico de **Seguridad en caso de Incendio** (DB-SI) el que incide más significativamente el diseño espacial de cualquier edificio y que, de igual manera, más incidencia va a tener en la definición de las estructuras industrializadas, por la necesidad de adaptación de las soluciones estandarizadas a las alturas de evacuación del edificio y su resistencia al fuego.

Por su parte, el dimensionamiento de los **espacios comunes**, tanto elementos de comunicación vertical como distribuciones interiores, repercuten en la definición de las crujías y luces estructurales.

4.6.1.3 HABITABILIDAD

Según se expone en Decreto 80/2022 del País Vasco, **la habitabilidad se configura como una condición básica de un espacio que permite desarrollar a las personas que lo ocupan un proyecto de vida**. Estas características espaciales, a las que toda vivienda pública debe dar respuesta, condicionan la aplicación de los sistemas industrializados.

En cuanto al dimensionamiento espacial, el Decreto 80/2022 distingue las condiciones mínimas de habitabilidad de las **viviendas en general**, en el anexo I, y las **específicas de las Viviendas de Protección Pública (VPP)** y de los **Alojamientos Dotacionales**, en el anexo II.

Con **carácter general**, el anexo I recoge las condiciones espaciales **sobre el edificio y sobre las viviendas** en cuanto a su seguridad, salubridad, Iluminación y ventilación, de acceso y accesibilidad y espaciales. De todas ellas destacan las siguientes:

Del edificio

Todos los espacios comunes deben con su configuración espacial garantizar la percepción de seguridad.

La ocupación del edificio y el número de alturas son las que definen el número de ascensores.

En los garajes, dependiendo de si su ocupación es menor o mayor de 80 plazas, las anchuras de los recorridos serán de 5 o 6 metros respectivamente.

Las parcelas de aparcamiento garantizarán unas dimensiones mínimas serán de 2,30 m x 4,80 m, con un sobreancho adicional de 0,3 m por cada lado con cierre lateral.

De las viviendas

Versatilidad y flexibilidad

Las viviendas estarán diseñadas atendiendo a criterios de versatilidad, permitiendo adaptar sus usos con facilidad y rapidez a diversas funciones. Cuando las viviendas estén compartimentadas, se aplicarán criterios de flexibilidad que permitan cambios o variaciones en la compartimentación según las circunstancias o necesidades de las personas usuarias, facilitando la evolución y transformación física de la vivienda a lo largo del tiempo.

Espacios Interiores

Los espacios interiores destinados a la circulación deben tener una anchura mínima de 1,00 m y permitiendo en accesos a estancias la inscripción de un círculo de 1,20 m de diámetro.

Superficies Útiles

Para las VPP, se definen unas superficies útiles máximas computables en función del número de habitaciones:

- Una habitación .....60 m^2
- Dos habitaciones .....70 m^2
- Tres habitaciones .....90 m^2
- Cuatro o más habitaciones .....120 m^2
- Vivienda adaptada a personas con personas con movilidad reducida de carácter permanente: 90 m^2 (2 dormitorios) y 120 m^2 (3 dormitorios)

Orientaciones

Las viviendas contarán preferentemente con doble orientación dando prioridad a las orientaciones Sur, Este y Oeste dependiendo los distintos espacios de las viviendas y no permitiendo viviendas de nueva planta orientadas únicamente al Norte, Noroeste o Noreste.

Huecos de fachada

La superficie mínima de los huecos de iluminación viene definida en función de la superficie útil del espacio iluminado y de su profundidad.

Elementos de programa mínimo

Se define en función del número de habitaciones, permitiendo unificar estancias como el salón-comedor-cocina y con distintos requisitos dimensionales para cada caso. Así mismo, se requiere que todas las viviendas dispongan de un espacio exterior.

Dimensiones de las estancias

Junto con la dimensión mínima de cada estancia se define una figura geométrica de superficie mínima a inscribir, bien circulo o bien cuadrado, dependiendo del uso de dicha estancia.

Dichos condicionantes espaciales se resumen en la siguiente tabla:

				Superficies mínimas de espacios de la vivienda: combinaciones posibles					
		Rectángulo a inscribir en toda la superficie útil mínima		1 habitación		2 habitaciones		3 habitaciones	
Programa mínimo base	Estar (E)	3 x 3 m	3 x 3 m	13 m²	14 + 8 m²	14 m²	16 + 8 m²	16 m²	18 + 8 + 3 m²
	Comer (C)			11 m²	7 m²	13 m²		14 m²	
	Cocinar (K)	2,2 x 2,2 m 3,1 x 1,6 m					8 m²		9 m²
	Habitación	2,5 x 2,5 m		10 m²	11,5 m² (con almacenamiento)	10 m²	11,5 m² (con almacenamiento)	10 m²	11,5 m² (con almacenamiento)
	Aseo completo			3,5 m²	3,5 m²	3,5 m²	3,5 m²	3,5 m²	3,5 m²
	Ciclo de ropa			2 m²	2 m²	2 m²	2 m²	2 m²	2 m²
	Espacio para tender			En espacio exterior (1,5 m²)	En fachada	En espacio exterior (1,5 m²)	En fachada	En espacio exterior (1,5 m²)	En fachada
	Espacio exterior			4 m²	Sustituido por espacio en estar	4 m²	Sustituido por espacio en estar	4 m²	Sustituido por espacio en estar
Otros	Almacenamiento			1,95 m²	0,98 m²	3,9 m²	1,95 m²	5,85 m²	3,9 m²
	2ª habitación	2,5 x 2,5 m				10 m²	11,5 m² (con almacenamiento)	10 m²	11,5 m² (con almacenamiento)
	3ª habitación	2,5 x 2,5 m						10 m²	8,5 m²
	Aseo							2,5 m²	2,5 m²
	Acceso	1,2 x 1,2 m		1,6 m²	1,6 m²	1,6 m²	1,6 m²	1,6 m²	1,6 m²
	Sup. Mín.Útil			48,55 m²	48,58 m²	63,5 m²	64,05 m²	80,95 m²	83 m²
	Sup. Mín. Útil computable			43,05 m²	48,58 m²	58 m²	64,05 m²	85,45 m²	83 m²
	Sup. Máx. Útil computable			60 m²		70 m² (90 m² si está adaptado)		90 m² (120 m² si está adaptado)	

Tabla 4.5.1. Tabla resumen de requisitos espaciales de en viviendas, según Decreto 80/2022

4.6.1.4 CRITERIOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE VISESA

Con el objetivo de fijar y concretar los estándares constructivos y de diseño de las promociones a desarrollar por VISESA, el **Comité de Alquiler** (comité ejecutivo integrado por todos los agentes que participan en el proceso de diseño, ejecución, uso y mantenimiento a lo largo de todo ciclo de vida de los inmuebles, dirigido por la Viceconsejería de Vivienda y coordinado por la Dirección de Vivienda, Suelo y Arquitectura y con la participación de Alokabide y Visesa) define y revisa periódicamente los criterios específicos de diseño y construcción que, complementando los requisitos mínimos normativos, dan una respuesta especifica a las **singularidades de la Vivienda de Protección Social**.

Los **objetivos** clave de los criterios de diseño de Visesa son:

- Impulsar la promoción de Viviendas de Protección Pública en alquiler de **calidad a costes ajustados y competitivos en el mercado**, reforzando la imagen externa de las viviendas y buscando la máxima eficiencia atendiendo a las necesidades y expectativas de la ciudadanía y de los distintos grupos de interés implicados.
- Ofrecer viviendas de **tipología diversa** que respondan a la demanda de la sociedad a través de actuaciones en los distintos municipios del País Vasco. El programa de viviendas de cada promoción se adecúa a la demanda concreta en cada municipio, para dar una respuesta a medida y siempre con el foco en la construcción de un modelo de vivienda protegida de alquiler social con visión innovadora, sostenible y de generación de valor basado en el servicio y el bienestar de las personas.
- Promover la **integración social** de las personas usuarias de las viviendas, en especial de los pertenecientes a grupos sociales desfavorecidos, en el conjunto de la sociedad.
- Ofrecer **viviendas normalizadas** en cuanto a su diseño, funcionalidad, construcción, mantenimiento y calidad.

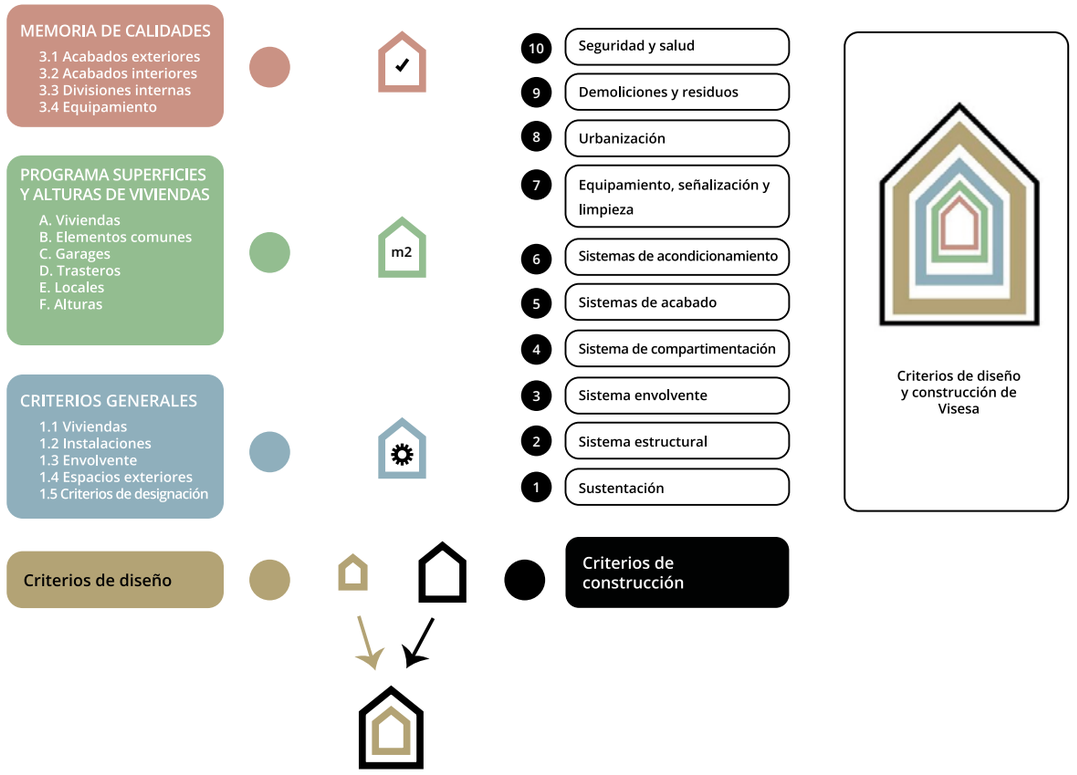


IMAGEN 4.6.1A Criterios de diseño de Visesa

- Ser ejemplo dentro del sector, por la adecuada respuesta social en sus actuaciones, por su sensibilidad arquitectónica (integración urbana, respuesta social, calidad arquitectónica, etc.), sensibilidad tecnológica y medioambiental y, en definitiva, por ser **motor de la innovación**.
- **Promover la industrialización en la promoción de viviendas**, como instrumento para conseguir los objetivos de calidad, coste y plazo.

Los criterios de diseño y construcción se alinean con el marco estratégico de **Alokabizi**, instrumento para el desarrollo de la política de vivienda enfocada a la promoción de vivienda pública en arrendamiento y se han definido para **superar el cumplimiento estricto de la normativa** en aquellos aspectos que redundan en el bienestar de las personas usuarias de la siguiente manera:

Respecto a los **criterios de diseño espacial**:

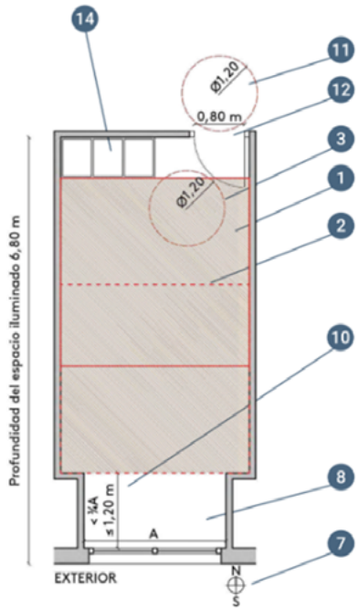
- aumentan las superficies exteriores de las viviendas
- diseño de núcleos de comunicación para lograr una mayor cohesión social y facilitar la gestión pública de los inmuebles durante todo su ciclo de vida

En cuanto a **criterios constructivos**:

- mejoran la eficiencia energética en todas las viviendas sobre los requerimientos normativos
- procuran una construcción pasiva para minimizar el coste del futuro usuario y de Alokabide, como gestora del parque público de vivienda
- garantizan unas prestaciones de confort acústico mejoradas, tanto de focos de ruido exteriores como entre viviendas

4.6.1.5 LA HABITABILIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA

Desde el punto de vista de la industrialización de la vivienda, el Decreto 80/2022 es el que establece los **parámetros dimensionales** más exigentes. Así, si contrastamos los requisitos espaciales descritos en el apartado del Decreto se observa que el elemento del programa de vivienda que tiene la mayor dimensión es el **estar-comedor** (superficie mínima de 13 m^2) y, a la par, ese espacio debe permitir inscribir un cuadrado mínimo de 3,00 metros de lado, libre de obstáculos, de forma que el espacio de la estancia que no rellene el cuadrado mínimo no computa como parte de la superficie útil (ver figura 4).



Nota: *la zona de estrangulamiento no cabe el rectángulo de 3,00 x 3,00 m, por lo que no puede contabilizarse como parte de la superficie útil mínima.*

IMAGEN 4.6.2 Decreto 80_2022. Cómputo de superficie útil mínima en zona de estar

En las otras estancias la dimensión mínima del cuadrado es:

- 2,50 en las habitaciones
- 2,20 m en las cocinas
- 1,20 m en los vestíbulos

En los aseos se debe permitir inscribir una circunferencia de 1,20 m de diámetro.

A la hora de cumplimentar estos requisitos espaciales, una de las **ventajas de la construcción industrializada** es que permite **optimizar el uso del espacio**, por el aumento en las luces posibles y la minimización de la ocupación de la superficie en planta de la estructura vertical. Estas capacidades se traducen en espacios bien planificados, perfectamente compatibles con los estándares mínimos de habitabilidad exigidos por el Decreto 80/2022, y que pueden diseñarse para adaptarse a distintos usos.

Además, los procesos industriales permiten fabricar los componentes con una mayor precisión, lo que permite, a su vez, alcanzar mayor exactitud en la materialización de los edificios, **garantizar sus dimensiones espaciales** y reducir la probabilidad de errores frente a los métodos de construcción tradicionales.

De manera general puede afirmarse que **los sistemas constructivos industrializados facilitan el cumplimiento de las condiciones de habitabilidad** exigidas en el Decreto, toda vez que facilitan el cumplimiento de los estándares normativos mínimos establecidos y, a mayores, la posibilidad de configurar espacios más diáfanos.

4.6.1.6 ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS PARA EL PROYECTO PILOTO (FASE 2): SOPELA-ASU 33VPOA

En lo relativo al cumplimiento de las condiciones de **accesibilidad y seguridad en caso de incendio**, las propuestas que han participado en la licitación de la promoción de Sopela-Asu satisfacen los requisitos de **accesibilidad urbana**, respetando las dimensiones y pendientes máximas de las rampas para vehículos y peatones, así como las distancias y dimensiones necesarias para la intervención de los bomberos, tanto en la aproximación y entorno de los edificios como en la accesibilidad por fachada. Además, todas las propuestas cumplen con las exigencias de accesibilidad universal en el interior del edificio, abarcando todos los espacios privativos y comunitarios. Los proyectos han puesto especial énfasis en garantizar el acceso a la cubierta, a los distintos espacios técnicos y a los patinillos de instalaciones, facilitando así el **mantenimiento** a lo largo de la vida útil del edificio y sus componentes.

En cuanto a los requisitos espaciales de las viviendas, los equipos proyectistas han tomado como base de diseño las condiciones del Decreto 80/2022 y los criterios de diseño de Visesa y cumplen con las **condiciones de funcionalidad y habitabilidad dimensional** requeridas. Las características y funcionalidades se analizan en detalle en el apartado **4.1.5.1 Adaptabilidad**.

Cabe indicar que, si bien no todos los equipos llegan a resolver las **condiciones de orientación** establecidas en el Decreto 80/2022, la dificultad en su cumplimiento puede achacarse, en parte, a la propia ordenación urbanística de la parcela, que fue definida con anterioridad a las actuales exigencias normativas y, en cualquier caso, no es una cuestión que tenga vinculación con el sistema utilizado.

Por otra parte, todas las propuestas han puesto de manifiesto que la utilización de sistemas industrializados no merma la capacidad de optimizar los espacios destinados a los **elementos comunes**.

Se puede concluir que, de manera generalizada, la utilización de **cualquiera de los sistemas industrializados participantes no supone un impedimento en el cumplimiento normativo y ofrece la posibilidad de optimizar la funcionalidad del edificio.**

4.6.2 Confort y salud. Vibraciones

El **confort en el interior** de los edificios es un aspecto crucial en su diseño y construcción. Este confort trasciende la mera estética o funcionalidad estructural, es un conjunto de **experiencias sensoriales y condiciones ambientales** que promueven el bienestar y la satisfacción de sus ocupantes.

Los **cuatro pilares del confort** en un espacio habitable son la **calidad del aire, el confort térmico, la acústica y la iluminación**. Estos elementos no solo contribuyen individualmente al bienestar, sino que en conjunto definen la esencia de un entorno que promueve la serenidad, la salud y una convivencia armoniosa. La **calidad del aire interior** se determina por la concentración de contaminantes y una ventilación adecuada, impactando directamente en la salud y bienestar de quienes ocupan el espacio. El control de la **temperatura** ambiental a través de sistemas eficientes es crucial para asegurar un ambiente agradable. En cuanto a la **acústica**, la adecuada gestión de vibraciones y la absorción y reflexión del sonido son fundamentales para mantener la tranquilidad dentro de los edificios. Por último, la **iluminación**, tanto natural como artificial, no solo configura la percepción espacial y estética del ambiente, sino que también afecta significativamente al estado de ánimo de las personas. La optimización de estos elementos clave asegura un alto nivel de confort para sus ocupantes.

Una de las metodologías para evaluar el confort es el el **índice TAIL** (ver 4.8.4). El índice TAIL es una herramienta integral diseñada para evaluar la calidad ambiental interior en las viviendas, abarcando cuatro pilares fundamentales: confort térmico (T), confort acústico (A), calidad del aire interior (I) y confort visual (L). Este índice permite una evaluación holística del ambiente interior, contribuyendo al bienestar y la salud de los ocupantes.

Se puede decir que las estrategias generales para abordar las cuestiones relativas con el confort y la salud no varían sustancialmente en el caso de la construcción tradicional y la construcción industrializada. Sin embrago, gracias al diseño optimizado, un mayor control de calidad y una mayor precisión en la fabricación, la construcción industrializada presenta ventajas a la hora de alcanzar los objetivos de confort de manera más eficaz.

Merece la pena, no obstante, hacer una reflexión respecto a las **vibraciones**, por cuanto el comportamiento de las estructuras ligeras, base de algunos sistemas industrializados, muestran un comportamiento no del todo conocido y analizado, frente a las tradicionales estructuras masivas de hormigón.

De igual manera, cabe recordar que la justificación de cumplimiento del CTE DB-HR Protección frente al ruido, 3.1 **Aislamiento acústico a ruido aéreo y a ruido de impactos**, se puede realizar a través de la opción simplificada siempre que se cumpla que estructura horizontal resistente esté formada por forjados de hormigón macizos o aligerados, o forjados mixtos de hormigón y chapa de acero. En el caso de los sistemas ligeros se debe justificar su cumplimiento mediante la opción general.

4.6.2.1 CONFORT ACÚSTICO. VIBRACIONES

La **percepción y tolerancia** a las vibraciones varía considerablemente dependiendo de la actividad que las personas estén realizando. Así, por ejemplo, cuando una persona está caminando tolera mucho mejor las vibraciones que cuando se encuentra sentada descansando, leyendo o escribiendo. Las personas son más sensibles a vibraciones que se encuentran entre las frecuencias de 4 a 8 Hz, por ello es aconsejable que las **frecuencias estructurales** del edificio queden fuera de ese rango.

Los forjados que presentan una **respuesta resonante** son aquellos que presentan frecuencias propias cercanas a la frecuencia generadas por el tránsito peatonal. La definición de las bandas de frecuencia que se consideran resonantes puede variar según la normativa aplicable. El cálculo de las frecuencias propias de la edificación debe de contemplar la contribución de todos los elementos constructivos (cerramientos tabiquerías, revestimientos y demás elementos constructivos) y también la variación del módulo de elasticidad del material.

Las estructuras más ligeras, como son los entramados de acero y de madera, presentan elementos estructurales de secciones más reducidas y, por tanto, frecuencias naturales más bajas, haciéndolas más susceptibles a problemas de transmisión de vibraciones.

A continuación, se realiza una recopilación de normativa que ha servido como referencia a la hora de analizar las distintas propuestas industrializadas.

Normativa de referencia

Código Estructural

El Código Estructural establece 2 categorías de uso, en función del riesgo ligado al servicio (Código Estructural Art 91.2.2), SC1 para estructuras sometidas a acciones predominantemente estáticas y SC2 correspondiéndose a las estructuras sometidas a acciones de fatiga, entre las que se identifican, los puentes de carretera y ferrocarril y las grúas o carrileras. También se incluyen en esta categoría las estructuras sometidas a vibraciones por efecto del viento, paso de personas, o maquinaria con rotación, pero no se menciona en ningún momento la tipología de edificación que se ve afectada.

Código Técnico CTE

En el caso de las estructuras de edificación, las limitaciones vienen dadas por el Documento Básico "Seguridad estructural" **DB-SE**, que indica en su apartado **4.3.4. Vibraciones**, cómo los edificios se comportan de forma adecuada frente a acciones dinámicas cuando la frecuencia de excitación se encuentra suficientemente alejada de las frecuencias propias.

En el CTE se aportan valores concretos, que permiten establecer los casos en los que hay que analizar con mayor detalle las estructuras frente a las vibraciones debidas al efecto rítmico de las personas y valida la rigidez de una planta su frecuencia propia es mayor que:

A) 8 hercios, para gimnasios y polideportivos.

B) 7 hercios, para salas de fiestas y locales de pública concurrencia sin asientos fijos.

C) 3,4 hercios, en locales de espectáculos que presentan asientos fijos.

En este caso, también se observa como el Código Técnico de la Edificación **no contempla la tipología de edificios de carácter residencial** en este ámbito.

En el caso de las obras destinadas a usos para los que el DB-SE no defina ninguna exigencia específica, como es el caso concreto de los edificios residenciales, el DB-SE-A indica que se podrá adoptar como criterio de aceptación el límite superior de las vibraciones continuas en términos de la aceleración máxima admisible, en función de la frecuencia de oscilación (figura 7.1) o si se requiere hacer un análisis más detallado, donde la frecuencia de oscilación de un forjado podrá ser evaluada mediante un método dinámico capaz de representar adecuadamente las características elásticas e inerciales de la estructura.

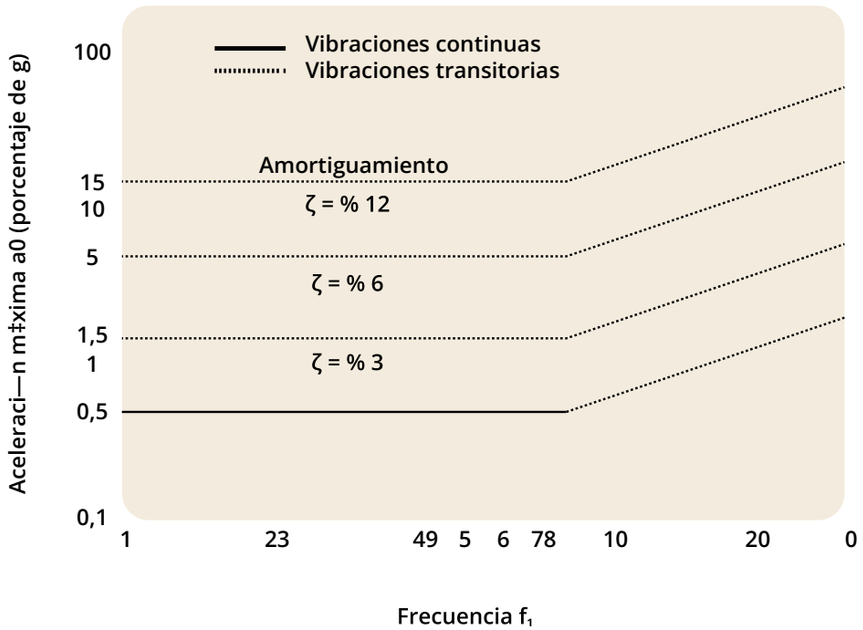


IMAGEN 4.6.3 Límites de aceptación, basadas en la percepción humana de las vibraciones de los forjados de edificación. CTE DB-SE-A

La aceleración máxima inicial de la vibración de un forjado, debido a un impulso, se podrá determinar a partir de una relación algebraica, que es función de la frecuencia propia del primer modo de vibración, del impulso y de la masa vibrante.

El porcentaje de amortiguamiento ζ disponible en un forjado depende de un gran número de parámetros como son: espesor del forjado, peso, presencia de instalaciones, falsos techos, revestimientos, mobiliario, tabiques, etc. Esto hace especialmente difícil la evaluación, por ello, a falta de un análisis más detallado, el porcentaje de amortiguamiento disponible en un forjado podrá estimarse de acuerdo con los siguientes criterios:

- Forjado solo (estructura) ζ =3%
- Forjado acabado (con instalaciones, falso, techo, revestimiento, mobiliario) ζ =6%
- Forjado acabado con tabiques ζ =12%

De cara a la verificación del comportamiento del forjado, se puede representar en el diagrama de la figura 7.1, mediante un punto, que viene definido por la frecuencia propia de su primer modo de vibración, y la aceleración máxima inicial de la vibración, normalizada con g. En caso de que este punto esté por debajo del límite de aceptación apropiado, que es el valor dependiente del porcentaje de amortiguamiento disponible, el forjado se podrá considerar apto para el servicio desde el punto de vista de las vibraciones transitorias.

Las vibraciones pueden ser inducidas por movimientos rítmicos de personas, pero también por el funcionamiento de máquinas o instalaciones. En el caso de las estructuras de acero el Documento Básico “Seguridad estructural. Acero” DB-SE-A, señala en su apartado 7.2. Vibraciones cómo las acciones variables pueden inducir vibraciones y que las estructuras deben concebirse para evitar los fenómenos de resonancia que puedan provocar roturas por fatiga. También indica que la estructura sometida a acciones periódicas debe contemplar un análisis de su comportamiento frente a las vibraciones para comprobar los efectos en cuanto a: el confort de las personas usuarias, el comportamiento de elementos no estructurales y el funcionamiento de equipos e instalaciones.

Normativa de referencia para estructuras de acero

Eurocódigo 3

En los Eurocódigos no se muestra ningún límite para las vibraciones, por lo que es necesario consultar los límites estipulados en los Anexos Nacionales. En este caso, el Anejo AN/UNE-EN 1993-1-1 referente al Eurocódigo 3 Proyecto de estructuras de acero, establece en su apartado 7.2.3, los límites de vibración de los pisos en edificios haciendo referencia a los valores marcados por el CTE en el Documento Básico de Seguridad Estructural.

Steel Construction Institute (SCI)

La publicación “Design of floors for vibration: a new approach” del Steel Construction Institute (SCI), analiza cómo las frecuencias de paso de las personas pueden causar resonancia con las frecuencias naturales del suelo. Las mediciones de las actividades del proceso de caminar han demostrado que las frecuencias de paso habituales en edificios de oficinas se encuentran en el rango de 1,8 Hz a 2,2 Hz con coeficientes de variación por debajo del 10%. En el caso de las viviendas, como se trata de espacios cerrados, las distancias recorridas son más cortas y dan lugar a velocidades más lentas. Por ello, para este tipo de espacios, se recomienda utilizar una frecuencia de paso de 1,8 Hz.

El SCI establece un procedimiento de cálculo simplificado adecuado para forjados compuestos, que evalúa el comportamiento dinámico de los suelos y comprende cuatro fases:

1. Definición de la frecuencia natural.
2. Definición de la masa modal del suelo.
3. Evaluación de la respuesta.
4. Comprobación de la respuesta con respecto a los criterios de aceptación.

Para garantizar que la marcha de las personas estará fuera del rango que podría causar excitación resonante o próxima a la resonancia del modo fundamental de vibración del suelo, ninguna estructura de suelo debe tener una frecuencia fundamental inferior a 3 Hz. Del mismo modo, ninguno de sus elementos estructurales deberá tener una frecuencia fundamental inferior a 3 Hz.

En este mismo documento se establecen una serie de casos especiales, como son los suelos para actividades rítmicas, los suelos de los hospitales, los aparcamientos y los **suelos de entramados ligeros**. *Estos últimos son utilizados en construcciones industrializadas, donde se evita el uso de hormigón*. Se encuentran formados por perfiles estándar conformados en frio, con secciones habitualmente en forma de C o Z y espesores de entre 1 y 3 mm protegidos frente a la corrosión por un galvanizado.

En estos casos, la frecuencia natural del suelo debe limitarse a 8 Hz suponiendo una carga uniformemente distribuida de cargas muertas de más de 0,3 kN/m^2, que es la que habitualmente se encuentran en edificios residenciales. También recomienda limitar la deflexión de una sola vigueta a 5 mm para esta condición de carga.

Adicionalmente, la deflexión del suelo completo (conjunto de viguetas, más el material del suelo) cuando se somete a una carga puntual en el centro del vano, de 1 kN, debe limitarse a los valores presentados en la tabla 8.4, basándose en la experiencia de una amplia campaña de ensayos realizados en un conjunto de suelos ligeros en Norteamérica.

	Limiting deflection of floors & subject to a 1 kN point load at mid-span					
Span (m)	3.5	3.8	4.2	4.6	5.3	6.2
Deflection (mm)	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2

En el caso de viviendas comunicadas por medio de corredores, es probable que las frecuencias de tránsito sean más altas que dentro de las mismas viviendas. Por esta razón, se sugiere que en estas áreas la frecuencia mínima sea de 10 Hz.

Guía Arcelor Mittal

Por su parte Arcelor Mittal, dispone de una guía de diseño para el análisis de las vibraciones, que presenta un método para evaluar la respuesta a vibraciones de un forjado garantizando el confort de los ocupantes. Dicho método está basado en el proyecto de investigación RFSC-Project "Vibrations on floors". El estudio analiza estructuras ligeras de forjados, como las estructuras de acero y las estructuras mixtas, frente a estados de vibración creados por personas en el uso habitual de los edificios (por ejemplo: caminar en condiciones normales). No se incluyen en el proyecto ni en el método vibraciones de máquinas o tráfico, esto es, el proyecto se centra en estructuras de edificación.

En esta guía se pueden analizar forjados estructurales resueltos en madera, hormigón, acero y mixtos (combinación acero-hormigón) con diferentes usos, pero entre ellos, se encuentra el residencial. Se establecen unos valores límites de respuesta, que definen la idoneidad de los forjados para cada uso, como aparece reflejado en la siguiente tabla.

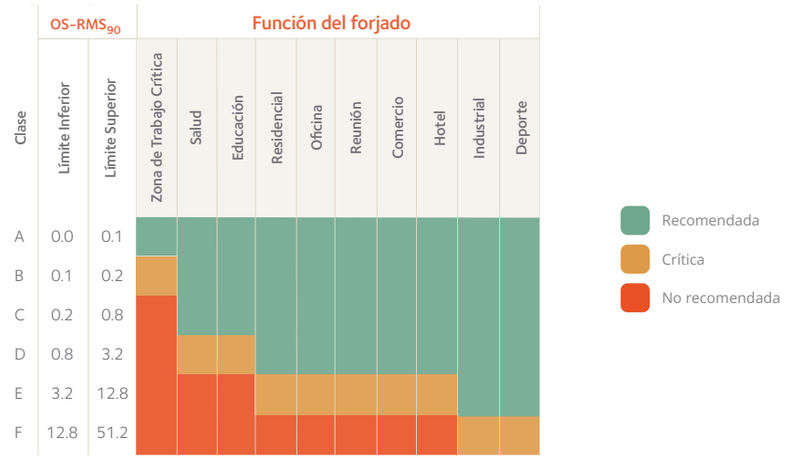


IMAGEN 4.6.4 Clasificación de la respuesta del forjado y recomendaciones para la aplicación de clases. Guía de diseño Arcelor Mittal

Normativa de referencia para estructuras de madera

Eurocódigo 5

Respecto a las estructuras de madera, el Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera indica, en su apartado 7.3, que las acciones presentes sobre la estructura no deben causar vibraciones que puedan mermar la funcionalidad de la estructura o causar una falta de confort aceptable a los usuarios. En su anejo nacional AN/UNE-EN 1995-1-1, en el apartado AN.4.3 Valores límites para las vibraciones, se establece que, en el caso de los forjados de uso residencial con un valor de la frecuencia fundamental mayor 8 Hz, se deben de cumplir unos requisitos ligados a la rigidez y velocidad de vibración. De esta forma se obtienen 2 valores a y b que establecen el rango de valores límite recomendados.

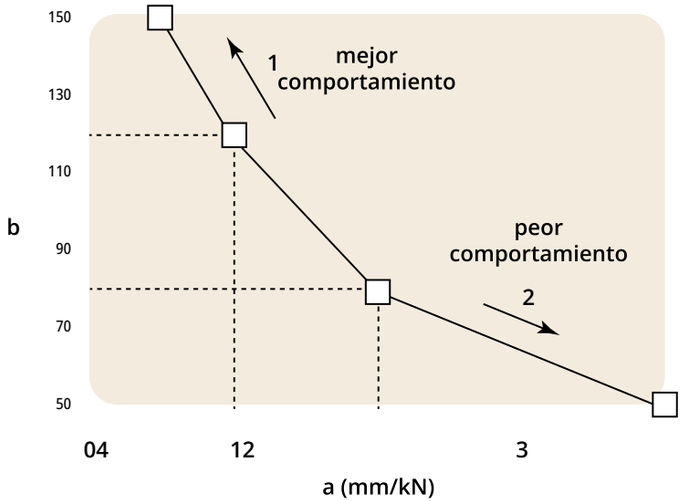


IMAGEN 4.6.5 Rango recomendado en el Eurocódigo 5 de los valores a y b, y de la relación entre sí

Canadian CLT Handbook

En el caso de los forjados de CLT, la norma canadiense CSA O86, o el Capítulo 7 del Canadian CLT Handbook "Vibration Controlled Designs for Mass Timber Floors and Tall Wood Buildings", proponen una expresión algebraica que permite obtener el límite de luz controlada por las vibraciones, que debe de ser mayor que la longitud real del panel de CLT medida entre caras del mismo:

$$L \leq 0.11 \frac{\left(\frac{(EI)\,eff}{10^6}\right)^{0.29}}{m^{0.12}}$$

de donde se obtiene la luz controlada por las vibraciones (L), medida entre los extremos del panel. Su resultado es función de la rigidez efectiva a flexión compuesta en la dirección de mayor resistencia para una anchura de panel de 1m, y de la masa de madera por unidad de longitud.

Existe otra expresión algebraica que se puede utilizar en el caso de tener paneles de CLT que formen estructura mixta, con conectores y una capa de hormigón en la zona de compresión. Sin embargo, el elevado costo asociado a la instalación de estos conectores a menudo hace que esta opción no sea viable económicamente y, por tanto, raramente se emplea.

Swedish Wood

El documento "Design of timber structures" Vol 1 de Swedish Wood en el capítulo 7.3 Vibrations, establecen dos enfoques de diseño para limitar las vibraciones en los suelos de madera, siguiendo las pautas del Eurocodigo 5.

Estos 2 enfoques son:

1.- Limitar la deformación de una carga puntual.

Un posible método para predecir la respuesta humana a la vibración del suelo es limitar la deformación frente a una carga puntual. Este método determina la deformación estática bajo una carga puntual de 1 kN en el centro de una viga.

2.- Limitar la deformación de una carga puntual y la velocidad debido a un impulso unitario.

El uso de parámetros de respuesta estática como la deformación, no siempre conduce a una respuesta satisfactoria. Los investigadores son conscientes de esta limitación, y actualmente los estudios se han centrado en el análisis de parámetros dinámicos. Es por ello, que se plantea el uso de parámetros dinámicos, principalmente en suelos de frecuencias naturales por encima de 8Hz:

2.1.- Limite de deformación estática para una carga de 1kN en el centro del suelo (1,5 mm).

2.2.- Velocidad debida una unidad de impulso de 1 Ns < 100f1 ζ (m/s) /Ns

Donde "f1" es la frecuencia natural y "ζ" es el grado de amortiguamiento (damping ratio) para esa frecuencia.

El primer criterio es similar al primer enfoque, y se trata de un control de los componentes de baja frecuencia (< 8 Hz) que son de naturaleza semiestática. El segundo criterio es necesario para limitar la magnitud de la respuesta transitoria debida al impacto del talón de una pisada. Dicho impacto excita los componentes de mayor frecuencia en un suelo de madera (8-40 Hz) y su respuesta se rige por la rigidez, la masa y la amortiguación del suelo.

Otros estudios

Para obtener una mejor descripción del comportamiento real de una estructura de suelo, **Talja and Toratti** han definido un método de clasificación de diferentes suelos en función de la respuesta a las excitaciones vibratorias. Para ello se han llevado una serie de pruebas subjetivas y mediciones en más de 140 suelos de madera, acero y hormigón tanto en laboratorio, como en edificios recién construidos. Dicha investigación ha dado como resultado la clasificación que se presenta en la tabla 7.1:

Vibration classes in office and residential buildings (Talja and Toratti 2006)	
A	Special class for vibrations inside other apartment. Normal class for vibrations transferred from another apartment. The vibration is usually imperceptible.
B	Higher class for vibrations inside one apartment. Lower class for vibrations transferred from another apartment. The vibrations may be percpetible but usually it is not annoying (inside one apartment).
C	Normal class for vibrations inside one apartment. The vibration is often perceptible and some people may feel it annoying (inside one apartment).
D	Lower class for vibrations inside one apartment. For example attics and holiday cottages. The vibration is perceptible and most people feel it annoying (inside one apartment).
E	Class without restrictions.

En el caso de los suelos de alta frecuencia (f1 > 8 Hz), han comprobado que la deflexión puntual de la carga es el mejor indicador a la hora de realizar el diseño con respecto a las vibraciones del suelo.

Para los suelos de baja frecuencia (f1 ≤ 8 Hz), el parámetro recomendado es la aceleración, por su buena correlación con las valoraciones subjetivas.

Esta clasificación supone que el caso de carga de diseño válida para suelos de edificios residenciales y de oficinas y se basa en la percepción sensorial de una persona sentada donde hay objetos que vibran. Este método proporciona una herramienta con la que el proyectista puede ser más consciente del rendimiento real del suelo y muestra valores límites tentativos, de las deflexiones y frecuencias para las diferentes clases de suelos, como aparece reflejado en la tabla 7.2:

Class	α_{rms} [m/s²] Peak vertical velocity	σ [mm] Global displacement of load bearing member due to 1 kN point load
A	≤ 0,03	≤ 0,12
B	≤ 0,05	≤ 0,25
C	≤ 0,075	≤ 0,5
D	≤ 0,12	≤ 1,0
E	> 0,12	> 1,0

4.6.2.2 ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS PARA EL PROYECTO PILOTO (FASE 2): SOPELA-ASU 33VPOa

En el caso de los forjados de edificación la frecuencia natural de las vibraciones de la estructura debe encontrarse por encima de los valores propios. Para desacoplar las frecuencias propias de la estructura de la fuente emisora se recomienda que la frecuencia natural objetivo de la estructura esté por encima del rango de frecuencia del segundo armónico para forjados con alto amortiguamiento (> 5%), y por encima del tercer armónico para forjados con bajo amortiguamiento (< 5%). Es decir, para una actividad que suponga una vibración inducida con un valor de frecuencias de 1.5 – 3.0 Hz (media de los valores de frecuencia para actividades humanas), la frecuencia natural de la estructura (forjado) deberá alcanzar valores de 3.0-6.0 a 4.5-9.0 Hz, según el caso.

A continuación, se describe el planteamiento de las diferentes propuestas con relación a minimizar el impacto que pueden crear las vibraciones en las personas usuarias del edificio.

Hormigón 2D

En el caso de las estructuras de hormigón estos valores son superiores y, a diferencia de los sistemas con estructura ligera, no se requiere la realización de un análisis más exhaustivo de la respuesta dinámica de la estructura.

Steel Frame

En el caso de la propuesta de Steel Frame, se incluye la formación de forjados mixtos, acero-hormigón, vertido este último en obra de forma que se realiza un forjado continuo que presenta una mejor garantía, tanto a la vibración, como al comportamiento acústico. En este caso, la empresa dispone de un ETA (European Technical Approval), evaluación técnica favorable de la idoneidad de un producto de construcción para su uso asignado y que se encuentra basada en el cumplimiento de los requisitos esenciales previstos para dicho producto (Directiva 89/106/CEE de Productos de la Construcción).

En dicho documento de idoneidad se establecen los valores de las flechas finales máximas en los estados límites de servicio y los criterios de rigidez frente a vibraciones que cumple dicha solución constructiva.

Acero 3D

La otra propuesta en acero presenta una solución de forjado resuelto mediante una solución seca, que permite un mayor grado de industrialización, aunque en este caso hay que realizar una comprobación más detallada del comportamiento de la estructura frente a las vibraciones.

Así, para el dimensionado de los elementos de forjado han tenido en cuenta las comprobaciones de resistencia y estabilidad en Estado Límite Último y las limitaciones de flecha en Estado Límite de Servicio, y también, las limitaciones relativas a la afectación de las vibraciones debidas al uso en el confort de los propios usuarios.

Dado que en el Código Estructural no existe una metodología específica para la comprobación de vibraciones en forjados ligeros, han considerado como referencia los criterios que aparecen en la publicación del Steel Construction Institute (UK): SCI P301, Light Steel Framing in Residential Construction y SCI P354, Design of Floors Vibrations: A New Approach, y que se encuentran basadas en la British Standard 6472, Guide to evaluation of human exposure to vibration in building.

Madera CLT

En las estructuras de madera también se disponen de 2 alternativas que son el entramado ligero y la solución de paneles de madera contralaminada o CLT. En ambos casos debido a la ligereza de las soluciones constructivas se requiere de la realización de un estudio sobre el comportamiento frente a las vibraciones de ambas soluciones constructivas. Y las 2 propuestas tratan en la documentación facilitada el comportamiento de las estructuras frente a las vibraciones.

En el caso de propuesta basada en la solución constructiva de paneles de madera contralaminada (CLT), la empresa ha limitado la frecuencia de vibración a 5 Hz por tratarse de un edificio residencial y ha comprobado que las frecuencias de vibración de los elementos se encuentren por encima de este valor, con el objetivo de minimizar sus efectos.

Madera Entramado Ligero

La propuesta de entramado ligero plantea el cálculo frente a vibraciones siguiendo las pautas del Eurocódigo 5, obteniendo la frecuencia fundamental y comprobando la deformación de uno de los elementos frente a una carga puntual de 1 kN de forma que se cumplen los requisitos que minimizan el efecto de las vibraciones.

Por otro lado, en el diseño se plantea el uso de diferentes elementos, como juntas o pletinas, que permitan absorber las diferentes frecuencias de vibración, ya que los contactos rígidos permiten que tanto el sonido como las vibraciones se transmitan a través de los componentes del edificio. El hecho de que los elementos constructivos sean elementos macizos hace que una vibración que aparece en un extremo del panel se transmita a todo el panel y a todos los paneles colindantes que no están aislados de dicha vibración.

Por ello, se proponen colocar bandas de aislamiento entre muros y forjados, a fin de evitar la transmisión de los sonidos y vibraciones a través de las fijaciones y apoyos de los paneles.

4.7 Calidad constructiva

La industrialización de cualquier proceso productivo debe implicar **necesariamente un mayor nivel de calidad**, debido a la repetibilidad, la facilidad de control y al hecho de que una parte importante de las operaciones se lleva a cabo en una instalación industrial. Estas instalaciones permiten una mejor planificación y organización de la producción y ofrecen mejores condiciones para las personas trabajadoras, donde disponen medios de producción más precisos y seguros, y es más fácil la integración de tecnologías avanzadas.

No obstante, la industrialización de la construcción supone un cambio de enfoque en la evaluación de la calidad constructiva y su control durante el proyecto y la ejecución. **Las normativas y protocolos actuales están concebidos para un hecho constructivo en el que la mayor parte de los trabajos se realizan en la propia obra**, donde se lleva a cabo el control de calidad. En la medida en la que gran parte de la construcción se traslada fuera de la obra, la realización de **ensayos y las comprobaciones** de conformidad deben trasladarse, en consonancia, **a las plantas de fabricación** en la parte que corresponda. La diversidad de sistemas industrializados, su hibridación y la utilización conjunta con sistemas tradicionales, conlleva una variabilidad de soluciones constructivas que condicionan la interacción entre los diversos componentes y la estrategia de control.

Para garantizar la calidad constructiva, la sistemática de comprobaciones en la construcción industrializada debe adecuarse a la realidad de los procesos productivos. En este sentido, hay una serie de cuestiones relevantes a tener en consideración:

- **Protocolos y procedimientos adaptados.**
  La aplicación de los mismos protocolos de control de calidad en tiempo y lugar que se utilizan en la construcción tradicional pondría en crisis el modelo de construcción industrializada. Es fundamental que las prestaciones de los elementos construidos off-site se comprueben y garanticen antes de salir de la planta mediante un riguroso **control de calidad en la producción** en fábrica. Esto incluye la definición de estándares de calidad, inspección de materias. primas, control e inspección de procesos, y protocolos de pruebas, sin que sea óbice para que, tal y como se hace en la construcción tradicional, se verifiquen sus prestaciones y funcionamiento una vez montados e integrados entre sí y con aquellas partes que son construidas on-site.
- **Creación de alianzas.**
  La colaboración entre empresas constructoras, industriales y proveedoras de materiales facilitará que el diseño de los componentes y sus condiciones de fabricación, transporte y montaje final cumplan con las prestaciones exigidas por el Código Técnico de la Edificación (CTE), garantizados a través de los correspondientes documentos de **evaluación técnica**. La reducción de patologías en la construcción requiere la adaptación a un nuevo modelo en el que se **estandaricen** los elementos y subsistemas integrados durante la fabricación de los componentes que se ensamblarán en obra para dar forma al edificio.
- Las **tolerancias** de fabricación y **juntas** de unión entre los distintos elementos están identificadas como un aspecto crítico a resolver en el sistema constructivo off-site, incluidas las consideraciones que implica la fase de transporte y las de operaciones de montaje on-site.

En la actualidad, la **disponibilidad de tecnología** de modelado y visualización 3D, BIM, incluso de realidad virtual, facilitan la toma consciente de decisiones en la fase de proyecto en las soluciones y detalles constructivos del edificio antes de llegar a la fase de fabricación.

4.7.1 Plan de control de calidad

El proceso del control de calidad en la ejecución de la edificación tradicional se inicia con la redacción del **plan de control de calidad**, documento que forma parte integrante del proyecto. En el plan, la mayor parte de **las tareas de control tienen como protagonista a la obra**, tanto para la recepción de materiales y control documental como para la toma de muestras y la realización de ensayos.

Una excepción a este enfoque son las estructuras metálicas, que presentan un alto nivel de transformación en taller (off-site). En este caso, la mayoría de las tareas en obra se limitan al ensamblaje. Así, gran parte del **control de calidad se lleva a cabo en planta**, donde se llevan a cabo los controles de geometría de las piezas, de propiedades de los materiales y de los procesos de soldadura, posponiendo a la obra únicamente el control de aquellos aspectos inherentes a la misma, como son las condiciones del montaje, las uniones y los tratamientos superficiales finales.



IMAGEN 4.7.1 Estructura metálica del puente de San Ignacio, Bilbao. Archivo de Visesa

La construcción off-site requiere una dinámica similar a la expuesta en el caso de las estructuras metálicas, si bien ampliada a todos aquellos componentes fabricados en planta, tales como estructuras, paneles o baños, en función de su grado de industrialización. Además, la **coincidencia en el tiempo de la redacción del plan de control de calidad, la planificación** de la obra y la programación de la fabricación (ver 4.4.1 DfMA) hace que se deba refundir toda esa información en un **programa de control de calidad** que recoja, ordene y programe la ejecución de todas las acciones de control de calidad necesarias.



IMAGEN 4.7.2 Programa de contro del calidad. Fuente_Victor Yepes (adaptada)

De esta manera, en comparación con una obra tradicional, aparecen una serie de particularidades a tener en cuenta antes y durante la **etapa de producción en planta**:

Aumento de los requisitos de **marcado CE y evaluaciones de idoneidad técnica**, necesarios para **sistemas innovadores**.

Control documental por parte de la empresa industrial mediante el aporte de la documentación de marcado CE, de ETA y demás documentación técnica que garantice las **prestaciones** del producto industrializado, incluyendo todos los elementos que incorpore como instalaciones, puertas o ventanas, etc., de su conjunto de empresas proveedoras. En caso del marcado CE, ETA o similar, debe comprobarse su adecuación al uso específico.

Monitoreo de los procesos de fabricación a partir del conocimiento de los procedimientos de **autocontrol de la industrializadora**, que deberán completarse por parte de la **dirección facultativa** con actividades de supervisión en fábrica y tomas de muestras para la realización de ensayos complementarios, bien sobre componentes o sobre las unidades prefabricadas, previamente a su trasporte y montaje en obra. La empresa fabricante debe contar con un sistema de seguimiento y autocontrol que minimice la necesidad de inspecciones y ensayos en planta sobre sus productos

Realización de maquetas 1:1, **mockups**, como base para la comprobación de los detalles constructivos y la realización de ensayos sobre componentes integrales (permeabilidad al agua, infiltraciones de agua, resistencia al fuego, comportamiento acústico, transmitancia) y pruebas de montaje.

Capacitación y formación del personal: la industrialización de la construcción requiere que el personal esté adecuadamente capacitado y formado en los nuevos métodos y tecnologías.

A partir de esta fase de control de la producción off-site, el proceso de control de calidad puede planificarse en las siguientes etapas:

- **Pruebas y ensayos de control sobre la obra ejecutada in-situ**, del mismo modo que se realiza sobre una construcción tradicional. En este punto, y relativo a los controles dimensionales, hay que tener en consideración que las tolerancias admitidas en la construcción industrializada son mucho menores que la tradicional, con lo que se debe controlar con mayor especificidad las dimensiones geométricas de los elementos para evitar medidas correctivas agresivas.
- Definición de **planes de transporte, logística y montaje** de los elementos prefabricados, con incorporación de un plan de contingencia con medidas para minimizar afecciones derivadas de factores adversos como las condiciones meteorológicas.
- Control de **recepción en obra** de los elementos industrializados, con verificación de su integridad durante la fase de transporte.
- Control de las tareas de **ensamblaje, montaje y finalización** del edificio. Es recomendable contar con un plan de inspección de todas aquellas zonas que puedan considerase críticas, tales como juntas estructurales, juntas en fachada, sectorización de incendios y conexiones de instalaciones.
- Realización de ensayos pendientes para **verificar las prestaciones** en el estado final.
- **Pruebas de servicio** de las instalaciones de la edificación antes de su finalización total.

La amplitud de ensayos requeridos en el plan de control de calidad se verá condicionada por aspectos como la exigencia de marcados CE, marcas de calidad, existencia de evaluaciones técnicas, sistemas de autocontrol del industrial, certificaciones de prestaciones y todos aquellos aspectos que incidan en mayor o menor medida sobre las prestaciones del edificio terminado.

Por último, y pensando en el plan de mantenimiento, debería considerarse disponer de registros para la inspección de aquellos puntos que se consideren críticos en el edificio, como pueden ser las instalaciones o uniones estructurales reversibles.

4.7.2 Evaluaciones técnicas de idoneidad

La adopción de sistemas industrializados conlleva, en muchos casos, la incorporación de **soluciones innovadoras**, no tradicionales, que deben demostrar su acuerdo con las normativas vigentes. Para justificar el **cumplimiento de las exigencias del Código Técnico de la Edificación (CTE)**, las soluciones deben acompañarse de un documento que evalúe la idoneidad técnica del producto o sistema constructivo innovador por parte de un **organismo autorizado para la concesión de evaluaciones técnicas de la idoneidad de productos o sistemas innovadores** (DIT-IETcc, DAU-ITeC y TC-Tecnalia). Su objetivo es asegurar que el producto es apto para el uso previsto, evaluando aspectos técnicos detallados y específicos de desempeño. Entre los aspectos evaluados se encuentran:

- Adecuación al uso previsto
- Cumplimiento de requisitos técnicos
- Control de producción en fábrica
- Instalación y mantenimiento
- Aspectos de seguridad
- Impacto ambiental

Estos documentos reducen las reservas iniciales hacia la innovación y facilitan la integración de productos innovadores en los proyectos de construcción.

A **nivel europeo** los certificados más reconocidos son la Evaluación Técnica Europea (ETE) o European Technical Assessment (ETA), que siguen las directrices de cada especificación técnica armonizada aplicable, como el Documento de Evaluación Europeo (DEE) o European Assessment Document (EAD), en sustitución de las Guías de Evaluación Técnica Europea (ETAG).

El empleo de sistemas industrializados para para la construcción de viviendas requiere, al igual que la construcción tradicional, la suscripción de una póliza de **seguro decenal** obligatorio.

Sobre esta cuestión existen una serie de consideraciones que pueden realizar los Organismos de Control Técnico, **OCT**s, de cara a la emisión de un **informe de la estructura** con resultado favorable:

- Los sistemas constructivos de hormigón prefabricado se consideran tradicionales, y deben cumplir los requisitos del marcado CE. En el caso de muros de cierre portantes, se debería contar con una evaluación técnica y con marcado CE.
- Las estructuras basadas en sistemas metálicos, ya sean de entramado ligero (Steel Frame) o de perfilería laminada en caliente, tienen también la consideración de sistemas tradicionales y su requisito es el cumplimiento del Eurocódigo 3 y el marcado CE.
- Las estructuras de madera tienen consideración de sistema no tradicional. En el caso de la tecnología CLT, está extendida la evaluación europea ETA y marcado CE.
- El empleo de uniones especiales en el sistema estructural, tales como las adhesivadas, implica que tengan la consideración de sistemas no tradicionales, por lo que debería acompañarse de una evaluación técnica.



IMAGEN 4.7.3 Certificados de idoneidad técnica

4.7.3 Puntos críticos

Tolerancias dimensionales

Los desajustes en las **tolerancias entre componentes** son responsables de retrasos, sobrecostes y patologías constructivas. Las actuales normativas, Código Estructural y Código Técnico de la Edificación, recogen tolerancias concebidas para la construcción tradicional, donde muchas veces los ajustes finales se realizan en obra. A nivel internacional, los estándares están evolucionando para incorporar **nuevos sistemas de tolerancias** que incluyen, específicamente, referencias a la construcción off-site, como la normativa BS 5606:2022 “Accuracy and Tolerance in Design & Construction” del Reino Unido.

La integración de sistemas de control de calidad en planta permite **ajustar y controlar con precisión los parámetros de las tolerancias**, cuya desviación en obra puede suponer un problema con afección a la calidad final. El control en la fábrica debe verificar los requisitos geométricos de estructura, particiones, acabados e instalaciones.

Si bien es posible definir niveles de tolerancia estrictos durante la fabricación, es importante considerar que **los elementos pueden alterarse** durante el transporte y montaje debido a la flexibilidad de los componentes. Además, deben contemplarse las **holguras necesarias para su montaje**: los requisitos de tolerancia definidos, junto con los dispositivos que permitan el ajuste dimensional in situ, deben **respetar los márgenes de las juntas** previstas entre componentes. Cada sistema constructivo debe incluir un **sistema de tolerancias** para el ensamblaje parcial de cada componente y subsistema, así como para el montaje final.

Juntas

Íntimamente relacionado con el control de las tolerancias está el **tratamiento de las juntas** de unión entre los elementos prefabricados. La resolución de estas juntas es uno de los aspectos críticos de la calidad constructiva debido a sus implicaciones inmediatas en las condiciones de **habitabilidad y durabilidad**.

Tal y como han puesto de manifiesto recientes estudios (ver informe “**The role of Standards in offsite construction. A review of existing practice and future need**”), la integración de elementos fabricados off-site representa una fase crítica de la construcción, así como las conexiones entre componentes, sistemas y/o módulos, especialmente cuando se emplean distintos sistemas o los componentes son suministrados por distintos fabricantes. La **falta de estandarización de las uniones** ente fabricantes ha sido una fuente recurrente de problemas. En el caso de las instalaciones, además de las conexiones, otro problema que se pone de manifiesto ha sido el de la accesibilidad para su adecuada conservación y mantenimiento (ver 4.5.2 Diseño para el Desmontaje (DfD)).

Al respecto del tratamiento de las juntas, los trabajos de Julián Salas Serrano siguen siendo referentes tanto en su clasificación como en su estudio. Su informe "De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: **algunas claves del cambio tecnológico**" ofrece una lista de conceptos básicos sobre el tema que resulta de particular interés:

Recopilación de conceptos básicos para la resolución de juntas

1. Toda junta debe ser debidamente estudiada.
2. Debe procurarse la estanquidad de una junta sólo si los elementos contiguos son estancos.
3. Las juntas deben colocarse en lugares no afectados por demandas externas.
4. La junta debe ser estanca en la zona de exposición.
5. Si la obstrucción se realiza mediante varios dispositivos, la solución resultante debe formar un todo coherente. (Por ejemplo, deben de estar perfectamente resueltos los cruces entre juntas horizontales y verticales).
6. Los productos de sellado y cierre en modo alguno han de pretender impedir los movimientos sino que han de ser capaces de "acompañarlos".
7. Se recomienda prescindir de productos y materiales que no cumplan la condición anterior.
8. Es necesario asegurar la calidad de la aplicación, razón por la que hay que asegurar un estricto control de calidad de la ejecución.
9. No existen soluciones universales, pero toda junta tiene unas soluciones mejores que otras posibles.
10. Ha de existir coordinación entre proyectistas, suministradores y aplicadores en busca de soluciones

Tabla 4.7.1. Julián Salas. Recomendaciones para análisis de juntas.

4.7.4 Responsabilidad de la calidad constructiva de la obra

Las responsabilidades de los distintos agentes en la calidad constructiva de una construcción industrializada es otra cuestión que merece ser tenida en consideración. Actualmente, la **Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación** (LOE), define claramente las responsabilidades de las distintas empresas involucradas en el proceso constructivo, proyectista, director/a de obra, director/a de ejecución de obra y contratista, atendiendo a un proceso de ejecución material de la edificación de un **modo tradicional**.

En el contexto de la construcción industrializada, las industrializadoras (fabricantes de elementos prefabricados y de componentes y sistemas innovadores) adquieren un papel muy relevante. Actualmente, la **LOE no asigna explícitamente responsabilidades a la industrializadora** en cuanto a la calidad y conformidad de los componentes que suministra. Esta situación puede generar **lagunas en la cadena de responsabilidad**, especialmente cuando se trata de productos que son esenciales para la seguridad estructural y el rendimiento del edificio, y en la medida en la que las especificidades de cada sistema requieren, habitualmente, de la participación del industrial en colaboración en el cálculo, dimensionamiento y diseño de los componentes, en colaboración con el equipo proyectista.

4.8 Sostenibilidad ambiental

Mejorar progresivamente la sostenibilidad ambiental de los edificios es un mandato del **Pacto Verde Europeo**, el cual establece unos objetivos tan ambiciosos como alcanzar la neutralidad climática en Europa para el año 2050.

Los procesos asociados a la **construcción industrializada** tienen una capacidad indudable para **reducir los impactos adversos de la construcción** en el medio ambiente, de modo que este cambio de modelo se identifica como el camino adecuado para la consecución de los objetivos de descarbonización del sector (ver **Hoja de ruta para la descarbonización de la edificación en todo su ciclo de vida del GBCe**).

Sin embargo, atendiendo al famoso aforismo “lo que no se puede medir no se puede mejorar” atribuido a Lord Kelvin, más allá del convencimiento de las bondades de la construcción industrializada es necesario obtener datos objetivos asociados a cada actuación concreta, que permitan analizar, comparar y mejorar los proyectos.

Para poder avanzar en esta línea, se hace necesario establecer un **lenguaje común** en materia de sostenibilidad para todos los estados miembros de la Unión Europea. De esta necesidad surge **LEVEL(s)**, iniciativa desarrollada por la Comisión Europea para la definición de unos indicadores de sostenibilidad homogéneos.

Con LEVEL(s) se pretende alcanzar un conocimiento **más profundo del comportamiento de los edificios para actuar en su optimización**, y organizar la información de modo que sea **comparable**. Para lograr esa visión global, es necesario recopilar y analizar una gran cantidad de datos relacionados con el consumo de agua y energía, los materiales utilizados en la construcción, el diseño estructural adaptado a la futura deconstrucción, los planes de mantenimiento, así como las características del entorno interior.

Toda esta información se sintetiza en una serie de **indicadores** agrupados en **6 macroobjetivos** o categorías: tres de ellos están directamente relacionados con el uso de recursos y el rendimiento medioambiental, uno está orientado a la salud y confort, y los

últimos objetivos están relacionados con el coste, valor y riesgo de los edificios, tal y como se resume en la siguiente tabla:

Áreas temáticas	Macroobjetivos	Indicadores			
Uso de los recursos y rendimiento medioambiental	1. Emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo del ciclo de vida de un edificio	1.1. Rendimiento energético de la etapa de uso (kWh/m²/año)	1.2. Potencial de calentamiento global del ciclo de vida (CO_2 eq/m²/año)		
	2. Ciclos de vida de los materiales circulares y con uso eficiente de los recursos	2.1 Presupuesto, materiales y durabilidades	2.2 Residuos de construcción y demolición	2.3 Diseño para la adaptabilidad y la renovación	2.4 Diseño para el desmontaje
	3. Uso eficiente de los recursos hídricos	3.1 Consumo de agua en la etapa de uso (m³/ocupante/año)			
Salud y comodidad	4. Espacios saludables y cómodos	4.1 Calidad del aire en interiores	4.2 Tiempo fuera del margen de bienestar térmico	4.3 Iluminación	4.4 Acústica
Coste,valor y riesgo	5. Adaptación y resiliencia al cambio climático	5.1 Herramientas del ciclo de vida: escenarios para las condiciones climáticas futuras proyectadas	5.2 Mayor riesgo de clima extremo	5.3 Drenaje sostenible	
	6. Coste y valor optimizados del ciclo de vida	6.1 Costes del ciclo de vida (€/m²/año)	6.2 Creación de valor y factores de riesgo		

TABLA 4.8.1. Cuadro resumen de LEVEL(s)

A escala local, **Alokabizi** es el marco impulsado desde la Consejería de Vivienda y Agenda Urbana del Departamento de Planificación Territorial, Vivienda y Transportes del Gobierno Vasco y liderado por Alokabide para orientar la gestión del parque vasco de vivienda protegida de alquiler social en el horizonte temporal 2020-2050. Dentro del proyecto Alokabizi se está definiendo un marco propio de indicadores para evaluar la sostenibilidad del parque público de alquiler que está plenamente **alineado con el marco LEVEL(s)**.

Los indicadores LEVEL(s) han servido de referencia para de establecer los criterios de evaluación ambiental de las distintas propuestas del **Diálogo Competitivo de Sopela-Asu**, como **experiencia pionera a nivel autonómico para la evaluación de la sostenibilidad de un modo sistematizado**, y ha resultado un ensayo de gran utilidad para alimentar el conjunto de indicadores propuesto por Alokabizi. Si bien es cierto que el marco propuesto por la Unión Europea es más amplio que el desarrollado en el planteamiento del Diálogo Competitivo, esta primera aproximación ha permitido concienciar al sector de la construcción de la importancia de evaluar la sostenibilidad ambiental con una visión global y obtener unos primeros datos sobre los que empezar a trabajar.

4.8.1 LEVEL(s) Macroobjetivo 1: emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo del ciclo de vida de un edificio

La reducción de las emisiones es una parte fundamental de los esfuerzos de la Unión Europea para abordar el cambio climático y promover la sostenibilidad en el sector de la construcción. Esta estrategia se centra en **minimizar el volumen de emisiones a lo largo de todo el ciclo de vida de los edificios**, abarcando las fases de construcción, mantenimiento, reparación y fin de vida, con especial atención al consumo de energía durante su uso. Los indicadores de esta categoría, establecidos por LEVEL(s), son:

Indicador	Unidad de medida	Información adicional
Eficiencia energética en la fase de uso (indicador del carbono operativo)	kWh/m^2/año	Este indicador mide la demanda de energía primaria de un edificio en la fase de uso. En el marco de un enfoque del ciclo de vida, esta demanda también se denomina «consumo de energía durante el funcionamiento de un edificio». Tiene en cuenta los beneficios de generar energía de baja emisión de carbono o renovable
Potencial de calentamiento global del ciclo de vida (indicador del carbono embebido y operativo)	Kg. Eq. CO_2/m^2/año	Este indicador mide el Global Warming Potential (GWP) asociado al edificio en distintas fases de su ciclo de vida. Por lo tanto, mide la contribución del edificio a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que provocan el calentamiento global de la Tierra y el cambio climático. En ocasiones, a este indicador también se le denomina «evaluación de la huella de carbono» o «medición del carbono durante toda la vida».

Las metodologías utilizadas para obtener estos indicadores son dos: por un lado, el cálculo del **Certificado de Eficiencia Energética** a través de las herramientas normalizadas, de donde se obtiene el grado de eficiencia energética del edificio durante su vida útil y las emisiones de **carbono operativo**; por otro, el **Análisis de Ciclo de Vida (ACV)**, a través de software específico, que aporta información sobre los impactos producidos por una edificación en el ciclo de vida completo desde su materialización, pasando por su vida útil hasta la etapa de fin de vida y las emisiones de **carbono embebido y operativo**.

4.8.1.1 POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL: CARBONO OPERATIVO Y CARBONO EMBEBIDO

Desde la firma del Acuerdo Climático de París en 2015, las políticas europeas en sostenibilidad han tenido como objetivo alcanzar la **neutralidad climática para 2050**. Este concepto implica que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) sean iguales o menores a las que se eliminan naturalmente. Hasta fechas recientes, las acciones se han centrado en la eficiencia energética durante la fase operacional de los edificios (carbono operativo), obviando las emisiones de los materiales utilizados y etapas de la vida útil del edificio.

En marzo de 2024, el Parlamento Europeo aprobó la revisión de la Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios (EPB), en la cual, por primera vez aborda las **emisiones de GWP durante todo el ciclo de vida de los edificios** (life cicle Global Warming Potential o ciclo de vida del Potencial de Calentamiento Global), haciendo obligatorios el cálculo y la divulgación de estas emisiones para las nuevas construcciones. Las acciones previstas en la EPB se implementarán gradualmente, de modo que **a partir de 2028 los edificios públicos deberán ser zero-emision buildings (ZEBs)**, y a partir de 2030 este requisito se ampliará a todos los edificios de nueva construcción. Los resultados se justificarán y comunicarán a través de la metodología de LEVEL(s).

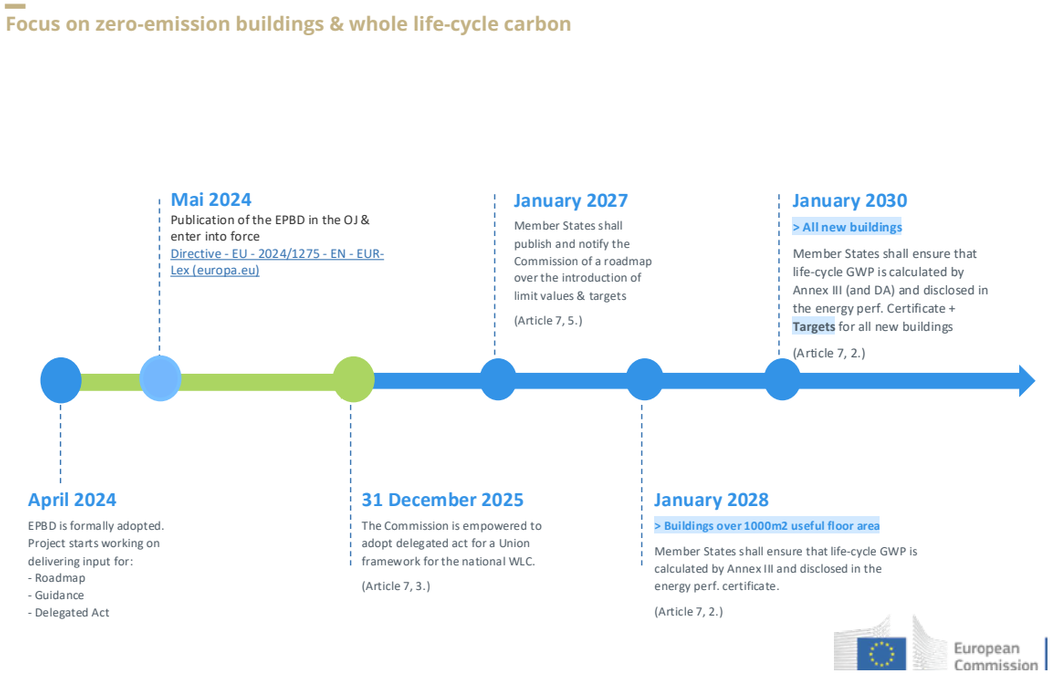


IMAGEN 4.8.1. Energy Performance Building Directive (EPBD). Hoja de Ruta. Fuente_Comisión Europea

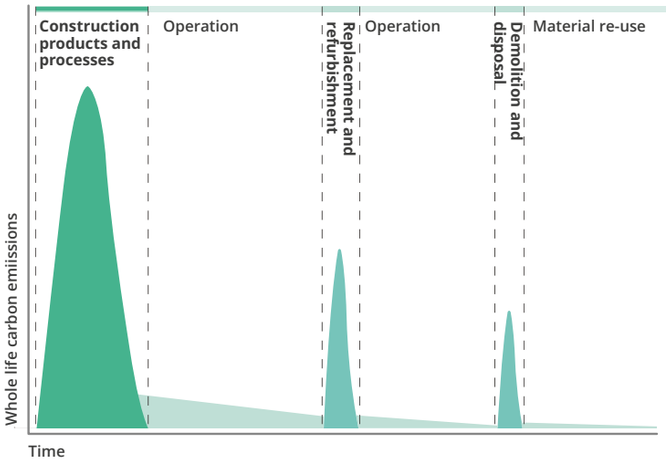
Las emisiones de carbono vinculadas a la fase de utilización de un edificio son las llamadas emisiones de **«carbono operativo»**. Por su parte, las emisiones procedentes de la fabricación de los materiales, el transporte, el montaje, el mantenimiento y la deconstrucción se conocen como «**carbono embebido o incorporado»**. Dicho de otra manera, el **carbono operativo** es el producido en la **fase de uso**, mientras que el **carbono embebido o incorporado** corresponde al sumatorio de las **fases restantes** (fabricación, construcción, mantenimiento y reparación, rehabilitación y fin de vida).

En los nuevos edificios, considerando una vida útil prolongada y con alta eficiencia, **el carbono embebido puede representar más del 50% de las emisiones totales**. Además, en un escenario en el que la demanda energética de los edificios se reduce progresivamente durante su vida útil, el carbono embebido está adquiriendo un peso relativo cada vez mayor en las emisiones totales.

Estimated distribution of carbon emissiones per life cycle stage



Whole life emissions, Arup (2020)



[Net zero buildings: where do we stand? - Arup]

4.8.1.2 CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

El certificado de **eficiencia energética mide la eficiencia energética del edificio en relación con su superficie útil total** y de su cálculo se deriva el carbono operativo de un edificio. Para ello, se utilizan factores de energía primaria que representan la energía necesaria desde su origen hasta el uso final. Esto incluye todas las formas de generación de energía utilizadas en el edificio y la energía exportada a la red.

El indicador abarca **todas las necesidades energéticas en fase de uso** definidas por la Directiva de Eficiencia Energética en Edificios (EPBD), como calefacción, refrigeración, ventilación, agua caliente sanitaria e iluminación. La evaluación considera tanto el consumo directo del edificio como la eficiencia del sistema energético en su conjunto.

Los cálculos para la obtención de Certificado a partir de los softwares reconocidos no resultan una cuestión novedosa, y en España se viene exigiendo desde el Real Decreto 235/2013, por lo que no nos extenderemos en su detalle.

4.8.1.3 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA

El Análisis de Ciclo de Vida ACV es una metodología utilizada para evaluar el impacto ambiental y los costes asociados de un producto, proceso o servicio a lo largo de todas las etapas de su vida. Es decir, abarca desde la extracción de materias primas hasta la disposición final, incluyendo la fabricación, el uso y reutilización o desecho del producto. El objetivo de esta metodología es entender cómo un elemento afecta al medio ambiente y a la economía en todas sus etapas, para tomar decisiones más sostenibles y eficientes.

El desarrollo de la metodología ACV comenzó en la década de los 60 con la creciente conciencia sobre los problemas ambientales como la contaminación y el agotamiento de recursos. En los años 70 se establecieron las bases conceptuales, y en los 90 se consolidaron las metodologías y estándares, como las normas ISO 14000 y en especial la ISO 14040. Desde entonces, el ACV se ha utilizado como una herramienta clave para la toma de decisiones empresariales, políticas y de diseño, evaluando la sostenibilidad de productos y procesos. En el 2021 se aprobó la norma UNE-EN 15643, específica para el análisis de ciclo de vida en construcción.

Metodología para la evaluación del ACV en edificios

Los principios y los requisitos para la evaluación del comportamiento sostenible de los edificios se encuentran recogidos en la UNE-EN 15643 “Sostenibilidad en la construcción. Marco para la evaluación de los edificios y las obras de ingeniería civil.” Esta norma es aplicable tanto a edificios nuevos como existentes e incluye todos los productos, procesos y servicios relacionados con los edificios a lo largo de su ciclo de vida.

El ACV de un edificio sigue los siguietes pasos:



Definición del objetivo y alcance
Establecer el objetivo del ACV y definir los aspectos del edificio a evaluar, asegurándose de considerar el equivalente funcional como base para comparaciones.



Definición del equivalente funcional
Establecer los requisitos funcionales y/o técnicos cuantificados del edificio para su uso como base de comparación entre diferentes alternativas. Las comparaciones entre los resultados de las evaluaciones de cada obra de construcción o de los sistemas ensamblados (entendidos como parte de una obra), ya sea en la etapa de proyecto o en cualquier otro momento en que se vayan a comparar dichos resultados, deben hacerse basándose en su equivalencia funcional.



Recopilación de datos
Reunir información sobre materiales, procesos de fabricación, transporte, energía consumida y otros datos relevantes.



Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV)
Realizar un inventario detallado de todas las entradas y salidas asociadas con el edificio.



Evaluación del impacto
Usar software especializado para convertir los datos del inventario en indicadores de impacto ambiental.

Interpretación de resultados

Analizar los resultados para identificar áreas de mayor impacto ambiental y posibles mejoras.

Comunicación de resultados

Presentar los resultados de manera clara y transparente a todas las partes interesadas, proporcionando recomendaciones para mejorar la sostenibilidad del edificio.



IMAGEN 4.8.2 Etapas y módulos del ciclo de vida. UNE-EN ISO 14040_2006_A1_2021

Software para ACV

Hoy en día, existen numerosas herramientas y software especializados que facilitan la realización de ACV en edificios, que permiten evaluar el impacto ambiental de diferentes opciones de diseño y materiales a lo largo del ciclo de vida del edificio. Algunas de las herramientas más utilizadas se incluyen en la siguiente tabla:

Nombre	Descripción	Región de aplicacion
ATHENA	Athena Impact Estimator for Buildings; herramienta de modelado de ciclo de vida que permite evaluar el impacto ambiental de los materiales de construcción y de los edificios en diferentes etapas de su ciclo de vida	EEUU & Canadá
BEES	Building for Environmental and Economic Sustainability; Sirve para evaluar la sostenibilidad de edificios y sistemas de construcción mediante la medición de impactos ambientales y económicos a lo largo del ciclo de vida de un edificio	EEUU
Eco-Quantum	Eco-Quantum (EQ); Evaluación del Ciclo de Vida tiene como objetivo calcular los efectos ambientales de los productos y edificios a lo largo de todo su ciclo de vida	Holanda
ENVEST	ENVEST® es una herramienta de diseño proporciona información clave sobre las compensaciones para minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero y otros impactos a lo largo de la vida del edificio, estimando también los costes	Australia
Oneclick LCA	Oneclick LCA; evalúa el rendimiento ambiental de los edificios y sus componentes a lo largo de todo su ciclo de vida	EU, América Australia
TCQIGMA	Software TCQi Gestión del Modelo Ambiental, permite analizar los diversos impactos ambientales que provocan los materiales de construcción y su puesta en obra, a lo largo de todo el ciclo de vida de la obra. Necesita un presupuesto en formato FIEBC3 con datos ambientales.	España
ECOMETRO	Herramienta de ACV basada en criterios de conocimiento colaborativo bajo la cultura del código libre. Asociada al presupuesto de ejecución del proyecto y de una base de datos nutrida de datos genéricos de productos y de declaraciones ambientales de productos	España
CYPE	CYPE LCA es un módulo del Generador de presupuestos. Calcula el impacto ambiental originado en la construcción, desde la etapa de obtención de las materias primas, hasta el final de proceso de construcción	España y America Latina
LCAbyg	LCAbyg es una herramienta que realiza evaluaciones del ciclo de vida para edificaciones desarrollada por el Grupo de Investigación para la Sostenibilidad en la Construcción en BUILD, de la Universidad de Aalborg	Dinamarca
SIMAPRO	Desarrollada por la empresa PRé Consultants, Simapro es utilizada en una variedad de industrias para evaluar el impacto ambiental de productos, servicios y sistemas a lo largo de todo su ciclo de vida.	Internacional
eToolLCD	Herramienta de Evaluación del Ciclo de Vida (LCA) diseñada específicamente para proyectos de construcción y edificación. Permite evaluar el impacto ambiental de un edificio a lo largo de su ciclo de vida	Internacional
Gabi	Software de evaluación del ciclo de vida y sostenibilidad del producto, desarrollado por Sphera	Alemania

TABLA 4.8.1. Listado de programas para la evaluación del ACV

Bases de datos y Declaraciones Ambientales de Producto (DAP)

Para la realización del ACV resulta esencial disponer de una gran cantidad de información de todos los materiales productos y procesos presentes en el edificio. La calidad de la base de datos utilizada es un componente crítico para realizar un ACV con rigurosidad. Los impactos ambientales pueden variar según la disponibilidad de recursos y las prácticas locales, por lo que hay que utilizar datos específicos de la región o país en el que se construye el edificio (datos locales).

Para garantizar la calidad de los resultados en un ACV de un edificio, es fundamental seguir ciertas pautas y utilizar bases de datos confiables que cumplan con las normativas establecidas. Las características que deben de cumplir estas bases de datos se pueden resumir en:



Bases de Datos Confiables
Deben ser reconocidas y actualizadas. Las bases de datos ampliamente aceptadas para la realización de ACV en la construcción son EcoInvent, GaBi, BEES, y BREEAM, entre otras. Estas bases de datos deben de incluir datos específicos de la región geográfica donde se encuentra el edificio, ya que los impactos ambientales pueden variar según la ubicación. En España también existe la posibilidad de utilizar **OpenDAP**, que es una base de datos abierta, pública y de uso gratuito de información ambiental de productos de construcción tanto genéricos como específicos.



Conformidad con la Normativa
Su información debe seguir las normativas y estándares establecidos para ACV en la construcción, como la norma ISO 14040/44, o la norma UNE-EN 15978.



Transparencia de Datos
Los datos utilizados en el análisis deben ser transparentes y documentados adecuadamente. Identificando su origen y la metodología utilizada.



Actualización Continua
Los datos deben ser actualizados. La tecnología y las prácticas de construcción evolucionan, y es importante reflejar estos cambios en el ACV.

A su vez, las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) proporcionan información verificada y transparente sobre el comportamiento ambiental de un producto a lo largo de su ciclo de vida y resultan un documento clave el cálculo del ACV de un edificio. Las DAP contienen datos sobre emisiones de gases de efecto invernadero, consumo de recursos, energía incorporada y otros impactos ambientales. Para más información sobre las DAP: **https://oerCO$_2$.eu/wp-content/uploads/2013/02/1.2.2.-Report-EPD-in-Spain_ES.pdf**

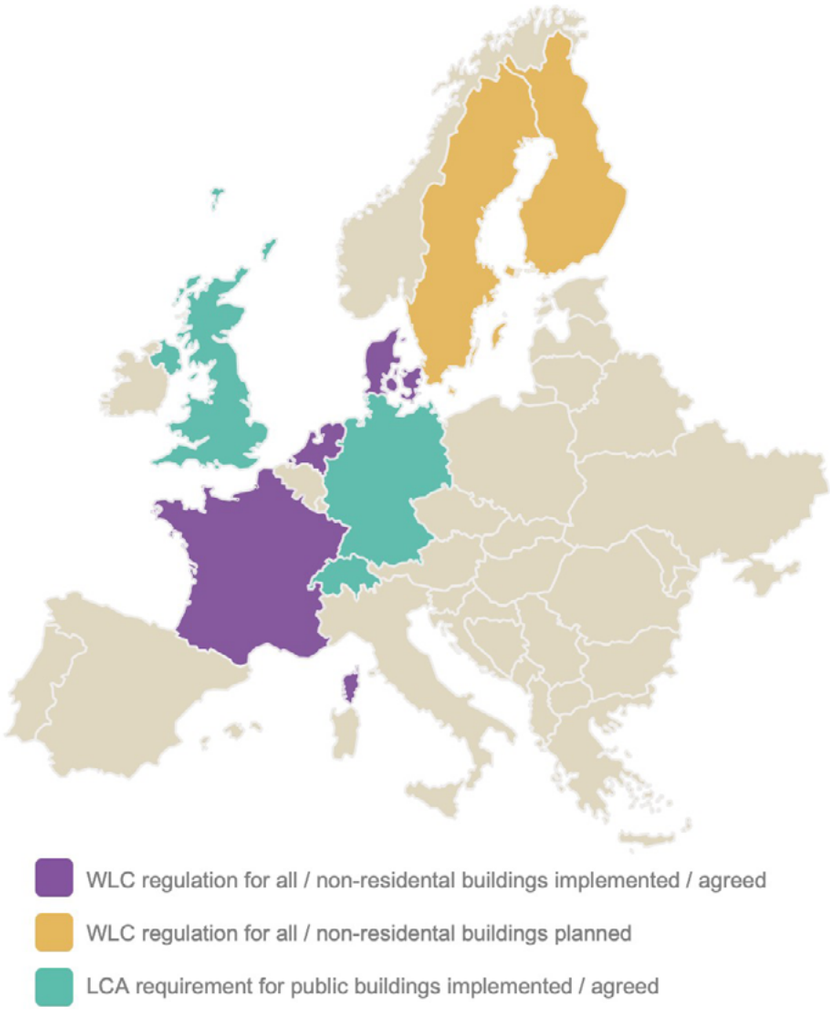
4.8.1.4 UMBRALES DE EMISIONES EN EUROPA

Uno de los impactos más significativos en la vida de un edificio es su contribución al **calentamiento global (GWP)**, indicador que se mide en kilogramos de gases de efecto invernadero producidos a lo largo del ciclo de vida del edificio (KgCO$_2$equivalentes/m^2/año), y que incluye **tanto el carbono operativo como el embebido**.

Varios estados europeos han avanzado significativamente en su camino hacia la neutralidad climática y en sus normativas ya exigen el cálculo de la contribución de los edificios al calentamiento global. Estos ejemplos nos pueden servir como referencia útil para conocer los **umbrales de sostenibilidad ambiental, basados en la huella de carbono**, que podrían adoptarse en nuestro entorno en un futuro cercano. A continuación, se detallan estos requisitos:

País	En vigor desde	Tipo de exigencia	Comentario a la exigencia	Uso de herramientas	Momento de la declaración
Dinamarca	2023	Valor límite	12 kgCO_2eq/m²/año (equivalente a 600 kgCO_2eq/m² para un análisis a 50 años). El umbral se limitará progresivamente cada 2 años.	Abierto	Con edificio terminado
Finlandia	2024 (esperado)	Valor límite	Sin datos	Abierto	Con licencia
Francia	2022	Valor límite	740 kg CO_2eq/m² para edificios residenciales colectivos. El umbral se limitará progresivamente cada 2 años (a 640 kg CO_2eq/m² en 2026, a 580 kg CO_2eq/m² en 2030).	Herramientas aprobadas	Con licencia y con edificio terminado
Países Bajos	2013	Valor límite	Valor límite expresado en "costes ambientales del proyecto", en base a 11 categorías de impacto. Inicialmente 1€/m² en 2018, valor que irá reduciéndose gradualmente, hasta llegar a la mitad en 2030.	Herramientas aprobadas	Con licencia
Noruega	2022	Declaración	Sin datos	Abierto	Con licencia
Suecia	2022	Declaración	Se establecerá valor límite en 2027 que irá rebajándose en 2035 (40%) y 2043 (80%).	Abierto	Con edificio terminado
Reino Unido	2021	Declaración	Se establecerá valor límite en 2027	Abierto	En proyecto y con edificio terminado

TABLA 4.8.2. Módulos de información aplicados en la evaluación del comportamiento ambiental, social y económico de la obra de construcción (UNE-EN 15643:2021).



4.8.1.4 MARCO AUTONÓMICO

En la Comunidad Autonómica del País Vasco existe un corpus regulatorio en materia de sostenibilidad en el sector de la construcción que hace que el camino hacia la descarbonización no arranque desde cero. Dentro de la normativa de aplicación destacan los siguientes documentos de referencia:

- Estrategia Vasca de Economía Circular 2030, de 2020
- Ley 4/2019, de Sostenibilidad Energética de la Comunidad Autónoma Vasca
- Ley 10/2021, de Administración Ambiental de Euskadi
- Instrucción 1/2023, sobre la incorporación de cláusulas ambientales en la compra y contratación de la Administración General, Institucional y demás entidades integrantes del Sector Público de la Comunidad Autónoma de Euskadi
- Ley 1/2024 de Transición energética y Cambio Climático
- Código técnico de la Edificación, RD 314/2006
- Código estructural, RD 470/2021
- Plan de Prevención y Gestión de Residuos 2030, de 2021
- Ley 7/2022 de residuos y suelos contaminados para una economía circular

En lo relativo a la reducción del carbono operativo, destacan las previsones de la Ley 4/2019, de Sostenibilidad Energética de la Comunidad Autónoma Vasca, que busca "la transición a un nuevo modelo energético, basado en el ahorro energético, el fomento de las energías renovables, la eficiencia energética mediante el uso de las mejores técnicas disponibles y, finalmente, el incremento de la soberanía energética". Para ello, entre otras medidas, se obliga a la administración a que los edificios de su titularidad, dentro de los cuales se engloba el parque social de alquiler, ya sean nuevos edificios u objeto de reformas importantes, tengan consumo energético casi nulo. Además, deberán ir provistos de puntos de recarga de vehículos eléctricos y con espacios para facilitar el almacenamiento de bicicletas.

Por otro lado, en materia de reducción del **carbono embebido o incorporado**, las referencias normativas son:

- La Ley 10/2021, de Administración Ambiental de Euskadi, que establece que la administración obligue en sus contrataciones al uso de maquinaria o vehículos de alta eficiencia y con combustibles alternativos, lo cual tendrá un impacto positivo en las fases A4-A5 y B1-B5 del ciclo de vida del edificio.
- La Ley 1/2024 de Transición Energética y Cambio Climático del País Vasco, que establece como objetivo "contribuir al cumplimiento de los compromisos internacionales **sobre reducción de emisiones de gases de efecto invernadero** y la implantación de medidas de adaptación a los efectos del cambio climático". Para ello, entre otras medidas indica, en su artículo 39, que en nuevos edificios y en rehabilitación los materiales se **seleccionarán atendiendo a su ACV y huella de carbono.**

4.8.1.5 CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA Y HUELLA DE CARBONO

El documento "La **hoja de ruta para la descarbonización** de la edificación en todo su ciclo de vida" del Green Building Council España, GBCe, refleja que

> *"La consecución de los objetivos de descarbonización del sector a 2050 requiere de una transformación donde la **industrialización** de los productos y procesos aparece como una de las peticiones recurrentes para el sector.*

La producción en instalaciones industriales controladas permite una mejor gestión de los materiales y una reducción de residuos que redunda en una menor huella de carbono, lo que tiene reflejo en estudios como los de Kouhirostami y Chini (2022) en el cual se estima que la construcción modular permite **reducir hasta un 47% las emisiones de gases de efecto invernadero** (GEI) en fase de producto, además de disminuir las emisiones de carbono asociadas al transporte y el uso de maquinaria pesada debido a la mejora de la eficiencia en la logística y en los plazos de ejecución.

4.8.1.6 ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS PARA EL PROYECTO PILOTO (FASE 2): SOPELA ASU 33VPOA

El **alcance total LEVEL(s)** para todas sus etapas de vida y módulos era, **todavía, demasiado ambicioso** para la fase de maduración del mercado e información accesible en el momento de definir los pliegos de licitación (2021), por lo que, en el **Diálogo Competitivo** se optó por definir un **alcance más reducido**, centrándose en aquellas etapas y módulos más relevantes y en los que se pudieran estimar los resultados de manera más razonable para establecer una comparativa entre las distintas propuestas.

Para el cálculo del **carbono embebido**, se han estudiado los **módulos A1, A2 y A3**, acorde la información disponible en las DAPs realizadas por los fabricantes. De este modo, de cada propuesta se obtiene la cantidad de $KgCO_2$equivalentes/m^2/año para esos módulos. El valor obtenido es **suficientemente relevante** respecto al ciclo de vida completo, dado que la mayoría del carbono embebido tiene su origen en estas etapas.

Además, para el caso de la evaluación del **carbono operativo**, se ha adoptado como indicador de medida de la eficiencia energética en la fase de uso el **Consumo de energía primaria no renovable** (Cepnr) medido en kWh/m^2 año, obtenido a partir de la **Certificación Energética del Edificio**, que tiene como objetivo establecer la cantidad de energía que necesita el edificio durante su vida útil, cuyo origen sean fuentes de energía no renovables (**módulo B6**).

Los datos que se exponen a continuación, particularmente los resultantes del ACV, sirven de una **aproximación a la cuestión**, pero es necesario señalar que esta metodología, el software utilizado, así como la información de las bases de datos de trabajo son susceptibles de mejora en tanto en cuanto nos encontramos ante uno de los primeros ejemplos de aplicación práctica de la misma.

Carbono embebido. Calentamiento global (GWP)

Respecto al indicador asociado al **Potencial de Calentamiento Global**, se observa que el valor de las propuestas presentadas tiende a homogeneizarse entre los distintos sistemas industrializados, ya que la solución constructiva planteada para la cimentación y semisótano, independiente del sistema sobre rasante, se incorpora al resultado total.

Las propuestas de **estructura metálica** y de **hormigón** prefabricado presentan valores similares con relación al potencial de calentamiento global, mientras que se supone que las soluciones de **madera** deberían quedar por debajo. Este apriorismo se cumple en el caso de la propuesta de **CLT**, pero no así en la solución de **entramado ligero**. Esta disonancia se debe, en gran medidaal volumen de hormigón previsto en el anteproyecto de la propuesta de entramado ligero para la cimentación y planta de semisótano, muy superior al del resto de propuestas y que no guarda relación con el sistema empleado.

En cuanto al orden de magnitud del impacto, obviando la medida disonante, las propuestas se mueven en un orden de magnitud que está **entre** los **350 $KgCO_2$equivalentes/m^2/año** de construcción, de la propuesta de **madera CLT**, y los **774 $KgCO_2$equivalentes/m^2/año** de construcción de la propuesta de **acero 3D**.

Evaluación Potencial de calentamiento global (kg de CO_2 - eq / m^2c)

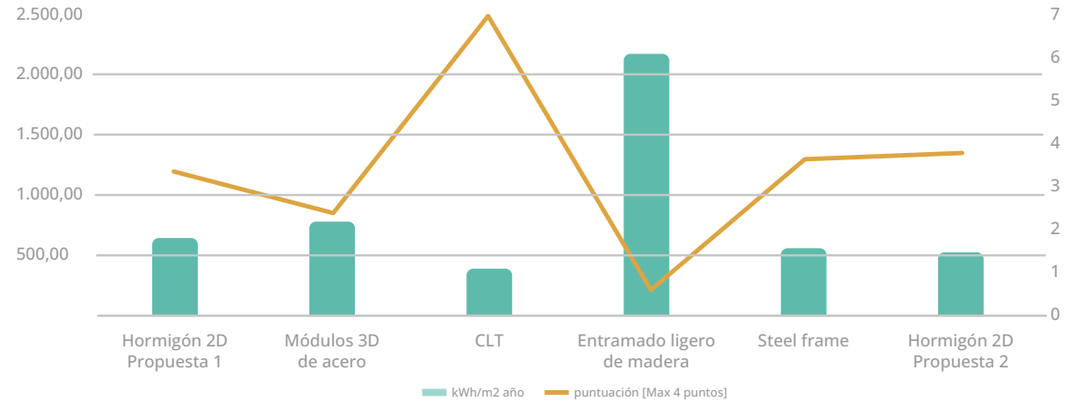


TABLA 4.8.3. Evaluación del carbono embebido

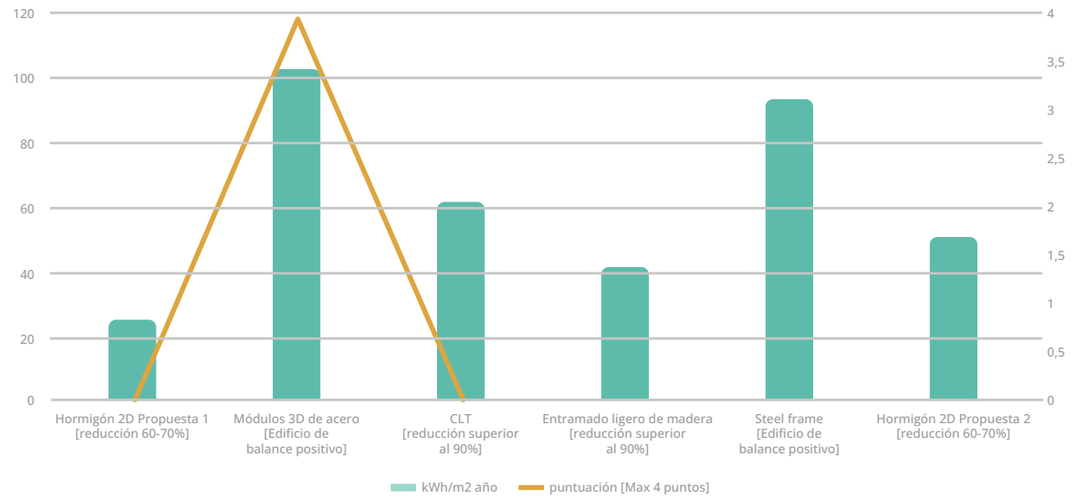


TABLA 4.8.4. Evaluación del carbono operativo

Carbono Operativo. Eficiencia energética en la fase de uso

El indicador de **eficiencia energética en la fase de uso** viene determinado por la condición establecida en el pliego de licitación, que exige un **ahorro energético mínimo del 20%** respecto al límite fijado por el CTE, como requisito para acceder a los Fondos Next (Real Decreto 853/2021).

Las bases del concurso indicaban que las propuestas iniciales presentadas por las empresas en la fase 1 debían fijar valores objetivos a alcanzar en la propuesta final (fase 2). Si no se cumplieran los objetivos de la fase 1, la valoración en este apartado sería de cero puntos.

Todas las propuestas de fase 1 planteaban porcentajes de mejora superiores al 60% del valor límite establecido por el CTE y, en dos casos, se proponía la construcción de edificios con balance energético positivo. Sin embargo, a excepción de la propuesta ganadora (acero 3D), el resto no alcanzó los compromisos de mejora comprometidos. En cualquier caso, las propuestas presentaron porcentajes de ahorro respecto al límite del CTE del 25%, 40%, 51%, 61%, 93% y 103%, por encima del 20% mínimo establecido.

A continuación, se muestran los porcentajes de mejora frente al límite establecido por el CTE presentados por las distintas empresas licitadoras. Estos valores fueron obtenidos en la evaluación del **Certificado de Eficiencia Energética** del edificio presentado a nivel de anteproyecto. También se indica en la gráfica la valoración obtenida por las diferentes propuestas en este indicador.

4.8.2 LEVEL(s) Macroobjetivo 2: ciclos de vida de los materiales circulares y uso eficiente de los recursos.

La economía circular busca minimizar el impacto ambiental de los edificios durante todo su ciclo de vida (ver 4.5). Las estrategias para minimizar los impactos incluyen la reutilización de materiales de demolición, la adaptación de estructuras existentes y la reciclabilidad de productos y componentes.

LEVEL(s) establece varios indicadores ligados a la economía circular. Por un lado, relativo a los materiales del edificio, propone la medición de todo el conjunto de materiales, indicando su vida útil estimada y, también, incluye el cálculo de la cantidad de residuos de construcción y demolición, con el objetivo de establecer medidas de minimización. En lo que se refiere al diseño de edificio, fomenta una aproximación que se alinee con los objetivos de adaptabilidad y renovación (ver 4.5.1). y hace referencia a su deconstrucción (ver 4.5.2).

Los indicadores asociados por LEVEL(s) a este macroobjetivo son:

Indicador	Unidad de medida	Información adicional
Estado de mediciones, lista de materiales y vidas útiles	Unidad de medida de las mediciones, masa y años	Este indicador mide las cantidades y la masa de los productos y materiales de construcción necesarios para completar partes concretas del edificio. Además, permite estimar la vida útil de dichas partes.
Residuos y materiales de construcción y demolición	Kg. de residuos por m^2	Este indicador mide la cantidad total de residuos y materiales que generan las actividades de construcción, renovación y demolición. A continuación, se emplea para calcular la tasa de desviación para la reutilización y el reciclado, conforme a la jerarquía de los residuos.
Diseño con fines de adaptabilidad y renovación	Calificación	Este indicador evalúa en qué medida el diseño de un edificio podría facilitar su futura adaptación a cambios en las necesidades de los ocupantes y en la situación del mercado inmobiliario. Por lo tanto, constituye un indicador indirecto de la capacidad de un edificio para seguir cumpliendo su función y de la posibilidad de alargar su vida útil en el futuro.
Diseño con fines de deconstrucción, reutilización y reciclado	Calificación	Este indicador evalúa en qué medida el diseño de un edificio podría facilitar la futura recuperación de materiales con miras a reutilizarlos o reciclarlos. Esto incluye evaluar la facilidad de desmontaje de una cantidad mínima de partes del edificio para, a continuación, analizar lo fácil que resultaría reutilizar y reciclar dichas partes y los componentes y materiales asociados a ellas.

4.8.2.1 MATERIALES. RCDS Y RECICLAJE

4.8.2.1.1 Contexto europeo

Los Residuos de Construcción y Demolición (**RCD**) comprenden el **mayor flujo de residuos dentro de la Unión Europea**, con cantidades relativamente estables y altas tasas de valorización. La UE planteó el **objetivo de recuperación del 70% de los RCDs** para el año 2020, y la mayoría de los países ya superaron el objetivo en el año 2016. Aunque este dato puede sugerir que el sector de la construcción es altamente circular, la valoración de estos flujos se basa en gran medida en operaciones de relleno y recuperaciones de baja calidad, como, por ejemplo, el uso de agregados reciclados en las subbases de carreteras.

Un parte importante de los países de la UE ha logrado crear mercados para la recuperación de materiales de construcción y demolición, como alternativa a otras opciones de eliminación como es la incineración o la acumulación en vertederos. Sin embargo, las prácticas de construcción del pasado, que no consideraban la separación de materiales durante la demolición, han conllevado **una generación de subproductos sin la suficiente calidad**, debido a la mezcla y contaminación con materiales de distinta naturaleza. Los flujos de materiales derivados de las demoliciones no son adecuados para la reutilización o el reciclado en un circuito cerrado y esto obstaculiza la plena aplicación de los objetivos de la economía circular.

La Comisión Europea está introduciendo directrices no vinculantes como propuesta para la industria de la construcción. **"El Protocolo y Directrices para Residuos de Construcción y Demolición"**, se ajusta a la Estrategia de Construcción 2020 y forma parte del ambicioso paquete de economía circular de la Comisión Europea. Su objetivo general es aumentar la confianza en el proceso de gestión de residuos de construcción y demolición y en la **calidad de los materiales reciclados**.

Este objetivo se logrará mediante la mejora de la identificación y caracterización de los residuos, la mejora en los tratamientos y la gestión de la calidad. Este protocolo se ha desarrollado para su aplicación en los 28 países de la UE y va dirigido a los principales grupos objetivo: profesionales de la industria de la construcción, (fabricantes de productos, tratamiento de residuos, transporte y logística, y empresas de reciclaje), Administraciones públicas a todos los niveles, Organismos de certificación de calidad, y clientes de materiales reciclados.

4.8.2.1.2 Contexto estatal

Como se aprecia en la Tabla 4.8.4, el **sector de la construcción es el mayor generador de residuos a nivel estatal**, con **más del 30%** del total, de los cuales menos del 0,3% de los mismos son residuos peligrosos. Hay que mencionar que el dato del volumen total presenta una reducción del 7,1% respecto al año 2019.

Por su parte, el mayor volumen de residuos en el campo de la construcción está representado por los **residuos minerales**, con 32,214 millones de toneladas, donde el **99% en peso del total de residuos del sector de la construcción** es la fracción mineral, como se observa en la tabla 4.8.5.

Unidad: miles de toneladas	Total	Tasa anual	No peligrosos	Tasa anual	Peligrosos	Tasa anual
Total	105.624,4	-20,7	102.319,6	-21,3	3.304,8	-0,1
Construcción	32.542,6	-7,1	32.457,8	-7,1	84,7	-6,6
Suministro de agua, saneamiento, gestión de residuos y descontaminación	21.941,5	-8,3	21.170,1	-8,9	771,4	11,8
Industria (Incluidas minería y producción de energía)	16.450,5	-57,6	15.249,2	-59,5	1201,3	0,7
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	6.330,7	2,4	6.302,4	2,3	28,2	8,9
Servicios	5.849,8	-10,0	4.697,6	-10,0	1.152,2	-9,7
Hogares	22.509,3	-1,2	22.442,4	-1,4	66,9	100,9

Tabla 4.8.5. Residuos generados por sectores de actividad. Fuente INE 2020.

	Total Sectores	**Construcción**	**Suministro de agua, saneamiento, gestión de residuos....**	**Industria** (Incluidas minería y producción de energía)	**Agricultura, ganaderia, silvicultura y pesca**	**Servicios**
Residuos generados	**83.115,0**	**32.542,6**	**21.941,5**	**16.450,5**	**6.330,7**	**5.849,8**
Minerales	41.365,4	32.214,6	1.006,1	8.054,9	13,1	76,7
Residuos Mezclados	17.944,0	44,9	15.543,8	1.136,1	397,8	821,4
Animales y Vegetales	7.849,4	29,3	36,0	1.434,8	5.778,8	570,5
Metálicos	5.681,9	86,7	3.163,6	1.992,6	9,0	430,0
Papel y Cartón	2.948,9	45,9	239,6	874,3	14,5	1.774,6
Químicos	2.512,9	9,5	649,5	1.659,5	32,8	161,6
Equipos Desechados	1.372,3	12,7	207,8	27,7	7,7	1.116,4
Lodos Comunes	878,6	2,9	587,3	277,5	5,2	5,8
Plásticos	862,6	22,8	268,3	268,4	39,9	263,2
Madera	844,5	65,8	62,5	516,3	20,3	179,7
Otros	456,6	2,0	11,6	82,8	10,4	349,8
Vidrio	397,8	5,6	165,3	125,6	1,2	100,1

Por sectores, los Residuos Minerales fueron originados principalmente por la Construcción (32,2 millones de toneladas, un 7,1% menos que en 2019) y la Industria (8,1 millones de tone ladas, un 73,7% menos). Y los Residuos Mezclados por el Suministro de agua, saneamiento, gestión de residuos y descontaminación (15,5 millones, un 6,8% menos respecto al año anterior).

Tabla 4.8.6. Residuos generados por sectores de actividad. Fuente INE 2020.

El porcentaje de residuos reciclados sobre el total de residuos tratados ha aumentado 16,4 puntos entre 2015 y 2020, al pasar del 38,3% al 54,7%. Tal y como se observa en la Tabla 4.8.6, **más de un 50% de ese material reciclado proviene de los residuos minerales** y, teniendo en cuenta que el 80% de este tipo de residuos provienen del sector de la construcción, se puede concluir que **una parte importante de los residuos del sector tienen una segunda vida**.

Residuos reciclados (por tipos)	Reciclado	%	Tasa anual
TOTAL	**47.277,1**	**100,0**	**-3,7**
Minerales	23.822,2	50,4	1,4
Metálicos	8.613,8	18,2	-16,1
Papel y Cartón	4.242,4	9,0	8,6
Residuos Mezclados	4.200,0	8,9	16,0
Animales y Vegetales	1.987,2	4,2	11,6
Químicos	1.106,8	2,3	-10,5
Vidrio	1.061,4	2,3	-18,1
Equipos Desechados	628,7	1,3	30,9
Plásticos	568,6	1,2	-21,3
Lodos Comunes	553,5	1,2	-49,9
Madera	295,3	0,6	-70,0
Otros	197,1	0,4	-7,1

Figura 4.8.7. Reciclado de residuos. Fuente INE 2020

4.8.2.1.3 Marco Autonómico

En la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV) resulta de aplicación la siguiente normativa en materia de circularidad y reciclaje de materiales:

Gestión de residuos de construcción y demolición

1. Plan de Prevención y Gestión de Residuos 2030:

Objetivos:

- Reducir en un 10% para 2025 y en un 30% para 2030 la generación de residuos de construcción y demolición (RCD) en relación con el PIB de la construcción de 2016 (excluyendo el LER 170504 de tierra y piedras no contaminadas).
- Alcanzar un 100% de valorización de las demoliciones selectivas para 2022, separando al menos las fracciones de madera, minerales, metales, vidrio, plástico, yeso y residuos peligrosos.
- Lograr una tasa de valorización del 80% para 2025 y del 85% para 2030 para los RCD (excluyendo el LER 170504).

2. Instrucción 1/2023 sobre la incorporación de cláusulas ambientales en la compra y contratación de la Administración:

Incluye parte de los objetivos del plan anterior, estableciendo:

- Un objetivo máximo del 5% de generación de residuos mezclados de construcción y demolición (LER-170904).
- Un objetivo mínimo del 85% de valorización.

3. Ley 7/2022 de Residuos y Suelos Contaminados para una Economía Circular:

- Establece pautas para la reutilización de elementos constructivos y criterios de retirada selectiva en obras de demolición.
- Incluye medidas para la prevención y gestión de residuos tóxicos, con el objetivo de que se manejen de manera segura y responsable.

Ciclo de vida y circularidad de los materiales incorporados al edificio

1. Estrategia Vasca de Economía Circular 2030:

Objetivo:

- Incrementar en un 30% la productividad material y la tasa de uso de material circular.

2. Ley 10/2021, de Administración Ambiental de Euskadi:

- Artículo 84.3: establece que las licitaciones de proyectos y obras exijan que los edificios incorporen un 40% de material secundario. Esta exigencia ha tenido una aplicación gradual, de manera que a las licitaciones previas a 2023 se les exigía un porcentaje mínimo del 20%.

3. Real Decreto 853/2021, de 5 de octubre, por el que se regulan los programas de ayuda en materia de rehabilitación residencial y vivienda social del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.

- Artículo 60.2.a.1.º Al menos el 70 % (en peso) de los residuos de construcción y demolición no peligrosos (excluyendo el material natural mencionado en la categoría 17 05 04 en la Lista europea de residuos establecida por la Decisión 2000/532 /EC) generados en el sitio de construcción se preparará para su reutilización, reciclaje y recuperación de otros materiales, incluidas las operaciones de relleno utilizando residuos para sustituir otros materiales, de acuerdo con la jerarquía de residuos y el Protocolo de gestión de residuos de construcción y demolición de la UE.

4. Instrucción 1/2023 sobre la incorporación de cláusulas ambientales en la compra y contratación de la Administración:

- Requiere que los edificios en licitaciones de proyectos y obras garanticen un 40% de material secundario.
- Exige que la procedencia de los productos de madera sea de fuentes legítimas, excluyendo especies amenazadas.

5. Código Estructural:

- Introduce el concepto de sostenibilidad de las estructuras (índice ICES).
- Incluye criterios para mejorar la durabilidad de las estructuras y regula el uso de hormigones con árido reciclado.

4.8.2.2 CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA Y RESIDUOS

La construcción industrializada se distingue por su capacidad para reducir significativamente los residuos generados durante la **etapa de fabricación**. Metodologías como **Lean Manufacturing** han demostrado ser eficaces en optimizar procesos y minimizar desperdicios en la producción de componentes constructivos. Este enfoque sistemático permite un control riguroso de los materiales y mejora la eficiencia general, lo que resulta en una reducción considerable de residuos comparado con la construcción tradicional.

En la construcción tradicional, se estima que aproximadamente el 30% del peso total de los materiales de construcción se desperdicia en el sitio durante la **etapa de construcción**. En contraste, el informe "Quantifying Advantages of Modular Construction: Waste Generation" de Loizou et al., refleja que durante esta fase la construcción modular puede **reducir los residuos en un 83.2%**.

Además, una de las ventajas clave de la construcción industrializada es su versatilidad para adoptar diseños que faciliten su adaptación y desmontaje. Esta característica no solo extiende la vida útil del edificio, facilitando tanto las reparaciones como las actualizaciones, sino que también reduce la necesidad de nuevos materiales y la cantidad de residuos generados al final del ciclo de vida del edificio.

Por último, y pensando en la etapa de final de vida, todo lo que se monta por componentes puede ser desmontado, y su reciclaje y reutilización se verá favorecido en la medida en la que las fases de diseño y fabricación hayan tenido en consideración esta posibilidad.

4.8.2.3 ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS PARA EL PROYECTO PILOTO (FASE 2): SOPELA ASU 33VPOA.

Como propuesta de mínimos, en la licitación se ha establecido como requisito la incorporación al edificio de **materiales reciclados en porcentaje igual o superior al 20%** sobre el total de los utilizados en obra, en consonancia con la exigencia de la Ley de Administración Ambiental Vasca para las licitaciones anteriores a 2023.

Para la evaluación de las distintas ofertas, se ha utilizado la metodología establecida por **Ihobe**, a través de su **"Guía para el uso de materiales reciclados en construcción"**. Esta metodología permite realizar ciertos ajustes para no penalizar soluciones alternativas que fomenten la circularidad de los materiales; así, del cómputo global pueden excluirse los materiales renovables de origen íntegramente biológico o con una composición biológica superior al 95% (como la madera, CLT, productos derivados de la madera, algodón, yute, cáñamo, lana, celulosa, nanocelulosa, etc.). Además, dentro del alcance de la evaluación no se consideran los sistemas activos de las instalaciones (como equipos de climatización, bombas, motores, etc.), ya que se clasifican como equipamiento y no como materiales de construcción. La guía especifica que el porcentaje de "materiales secundarios" se debe medir en peso, no en importe.

A rasgos generales y como orientación sobre las posibilidades de los distintos sistemas industrializados, se recogen los datos de las propuestas del proyecto piloto de Sopela para distintos elementos constructivos:

Estructura

Las estructuras de **hormigón** están limitadas, por el Código Estructural, a un **máximo del 25,6% de material reciclado** (5,6% en aditivos y 20% en árido reciclado grueso). Una de las propuestas de hormigón prefabricado se acerca al máximo, justificando un 25% de material reciclado, mientras que la otra no utiliza materiales reciclados.

En las propuestas en **acero**, tanto en 3D como en Steel Frame, el porcentaje de material reciclado en la estructura metálica está un orden de **entre el 9% y el 10%** (8,97% para el Steel Frame y 9,87% para la propuesta modular de acero laminado).

En las propuestas de estructura de **madera**, entramado ligero y CLT, los materiales estructurales empleados no son reciclados, aunque, tal como se indica en la "Guía para el uso de materiales reciclados en construcción" de Ihobe, los materiales renovables de origen biológico se diferencian respecto al resto de materiales en este apartado por su **bajo impacto ambiental al actuar como sumidero de carbono.**

Cerramientos de fachada

La circularidad de las fachadas está influenciada por los materiales utilizados en la hoja soporte de las mismas, por los revestimientos aislamientos y, en menor medida, por las carpinterías utilizadas.

En el caso de las soluciones planteadas en **hormigón** prefabricado existe la misma **limitación** establecida en el Código Estructural del **25,6% de material reciclado**, y las propuestas reproducen los datos para la estructura: una propuesta se acerca a ese límite máximo mientras que la otra apenas introduce material reciclado.

Tanto la propuesta de módulos 3D de **acero** como la de Steel Frame utilizan entramados ligeros de metal en la estructura portante de la fachada. En estos casos, los componentes metálicos permiten un % de material reciclado mayor en comparación con otros materiales, si bien, en el conjunto de solución de fachada, teniendo en cuenta todos sus elementos auxiliares, los números son de un **12,26%** en la propuesta modular y un **24,19%** en la propuesta ligera.

En las propuestas de **madera**, tanto entramado ligero de madera como CLT, las fachadas cuentan con una estructura autoportante también de madera. En la solución de entramado ligero se utiliza un **35,49% de material reciclado**, mientras que en la de CLT, el porcentaje asciende al **48,4%**. La principal diferencia entre ambas soluciones radica en el acabado exterior: la primera utiliza una fachada ventilada con acabado cerámico, mientras que la segunda opta por un acabado metálico.

Indicador de residuos de construcción y demolición

Para este indicador, se ha planteado como criterio de valoración el **indicador de Kg de residuos peligrosos producidos**, en la etapa de fin de vida (C1, C2, C3, C4), valor obtenido del ACV de las distintas propuestas.

Como visión general, cabe indicar que el origen de los residuos peligrosos de los ACV de las propuestas tiene que ver con la utilización de **hormigón**, particularmente en la cimentación, y **materiales plásticos** en componentes como los revestimientos de fachadas. Como conclusión, no se observa una vinculación entre sistema industrializado y generación de residuos peligrosos.

En este caso, al igual que en los resultados obtenidos del ACV para el Macroobjetivo 1 de la huella de carbono, es necesario señalar que esta metodología, el software utilizado, así como la información de las bases de datos de trabajo y, por lo tanto, los datos resultantes son susceptibles de mejora en tanto en cuanto nos encontramos ante uno de los primeros ejemplos de aplicación práctica de la misma.

Indicador de diseño con fines de adaptabilidad

LEVEL(s) define un indicador adimensional que da una puntuación de adaptabilidad del edificio según el grado de cumplimiento de 12 parámetros distintos.

Para la evaluación del concepto de adaptabilidad de las propuestas participantes en el Diálogo Competitivo, se ha utilizado la **herramienta de circularidad** elaborada por Visesa y desarrollada conforme a la norma UNE-ISO 20887 descrita en el apartado 4.5.

Indicador de diseño con fines de deconstrucción, reutilización y reciclado

LEVEL(s) define un indicador adimensional que arroja una puntuación de circularidad del edificio según el tipo de aprovechamiento final de cada uno de sus componentes. que se obtiene del cociente entre el peso ponderado y el peso total del edificio. Para obtener el peso ponderado del edificio, se calcula el peso de cada componente ponderado con un coeficiente entre 0 y 1, según el tipo de gestión que recibirá al final de su vida útil (siendo 1 la mejor práctica posible, la reutilización y 0 la peor, la eliminación en vertedero).

De igual manera que en el indicador anterior, para la evaluación del concepto de adaptabilidad de las propuestas participantes en Diálogo Competitivo, se ha utilizado la **herramienta de circularidad** mencionada y descrita en el apartado 4.5.

4.8.3 Level(s) Macrobjetivo 3: Empleo eficiente de los recursos hídricos.

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, **los edificios y su industria asociada consumen el 30% del agua dulce** disponible en el mundo. Aunque nuestro planeta, conocido como "el planeta azul", está cubierto en un 70% por agua, menos del 3% de esta es potable. Por lo tanto, el sector de la construcción está obligado a adoptar medidas para reducir el consumo de agua y aprovechar fuentes alternativas, como la reutilización de aguas grises y la captación de aguas pluviales. La **huella hídrica** mide la cantidad de agua consumida y alterada a lo largo del ciclo de vida de un edificio.

El indicador planteado por la metodología LEVEL(s) es el siguiente:

Indicador	Unidad de medida	Información adicional
Consumo de agua en la fase de uso	M3/ocupante/ año	Este indicador mide el consumo total de agua de un ocupante promedio de un edificio y ofrece la posibilidad de dividir este valor entre agua potable y no potable. Asimismo, permite identificar aquellas ubicaciones donde escasea el agua.

Atendiendo al estudio de Rivero-Camacho y Marrero (2022), en el caso de la construcción, el consumo de agua asociado a la **fase de producción de materiales** de construcción representa aproximadamente un 10-15% del consumo total de agua a lo largo del ciclo de vida de un edificio. No obstante, el consumo varía dependiendo del tipo de material, con mayor demanda en los procesos productivos de transformación de metales como el aluminio y el acero, y significativamente menor en materiales como los cerámicos. Este porcentaje incluye el consumo de agua durante la extracción y fabricación de materiales.

La **fase de construcción** generalmente representa alrededor de un **3-5%** del consumo total de agua. Este consumo incluye el agua utilizada para la fabricación de hormigón, mortero y otras pastas, así como para la limpieza de la obra y los vehículos. La adopción de métodos de **construcción en seco**, propios de la construcción industrializada, puede reducir este consumo de manera notable. Además los procesos industriales permiten establecer estrategias de reducción del consumo de agua y reutilización de excedentes de la producción durante la fase de fabricación en planta.

El mayor consumo de agua se produce durante la **fase de uso** del edificio, representando entre un **70-85%** del consumo total. Este consumo incluye el uso diario de agua por parte de las personas para actividades domésticas como la limpieza, el riego y la higiene personal. La cantidad exacta puede variar considerablemente dependiendo de los hábitos de las personas usuarias y las tecnologías de ahorro de agua implementadas. Según el Instituto Nacional de Estadística (INE), el consumo medio de agua en los hogares de España en 2020 fue de 133 litros por habitante y día, con variaciones significativas entre comunidades autónomas, con un consumo máximo en Cantabria (165 litros por persona por día) y mínimo en el País Vasco (97 litros por persona por día).

El consumo en fase de uso de los edificios muestra una tendencia decreciente debido a la implementación de tecnologías más eficientes y una mayor concienciación sobre la conservación del agua. Se estima que en España el consumo de agua se reducirá a los 50 litros por persona por día recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) alrededor del año 2038. De esta manera queda de manifiesto que la implementación de prácticas sostenibles y medidas de eficiencia hídrica tienen reflejo en la huella hídrica y resulta esencial para garantizar un uso responsable del agua en el sector de la construcción desde una visión del ciclo de vida.

Criterios de diseño de Visesa

El uso eficiente de los recursos hídricos enfocado a la **fase de uso** está presente en los criterios de diseño de Visesa, donde se incluyen medidas orientadas al ahorro de agua en las viviendas, tales como:

- Se prioriza el uso de duchas frente a las bañeras. Las bañeras se colocan únicamente en caso de que la vivienda cuente con más de un baño (3 habitaciones o más), y tendrán sección trapezoidal.
- Los inodoros tienen mecanismos de doble pulsador para reducción del consumo de agua. La descarga máxima no podrá superar los 4 litros.
- La totalidad de las griferías incluyen difusores que reducen el consumo de agua.

4.8.3.2 ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS PARA EL PROYECTO PILOTO (FASE 2): SOPELA ASU 33VPOA

En la segunda fase del Dialogo Competitivo se ha valorado la eficiencia de los recursos hídricos de las propuestas a través de un indicador representativo del consumo de agua en la **etapa de producto y proceso de construcción**, sin alcanzar la totalidad del ciclo de vida que propone LEVEL(s), dada la dificultad de extraer datos objetivos y comparables en la actual fase de maduración del sector.

El agua consumida durante la etapa de producto viene especificada en las DAP correspondientes, mientras que el agua consumida durante la etapa del proceso de construcción se encuentra relacionado con las técnicas constructivas utilizadas.

En este caso, la evaluación del consumo de agua en la fase de fabricación de los materiales y su puesta en obra presenta unas tendencias similares a las de los indicadores de los anteriores macroobjetivos, donde la solución en madera CLT es la que arroja un menor impacto. Las propuestas en acero, tanto Steel Frame como los módulos 3D, presentan valores medios de consumo de agua, mientras que las propuestas basadas en soluciones prefabricadas de hormigón son las que obtienen los valores más altos, presentando mayor

Evaluación del consumo de agua, fases de producto y proceso constructivo

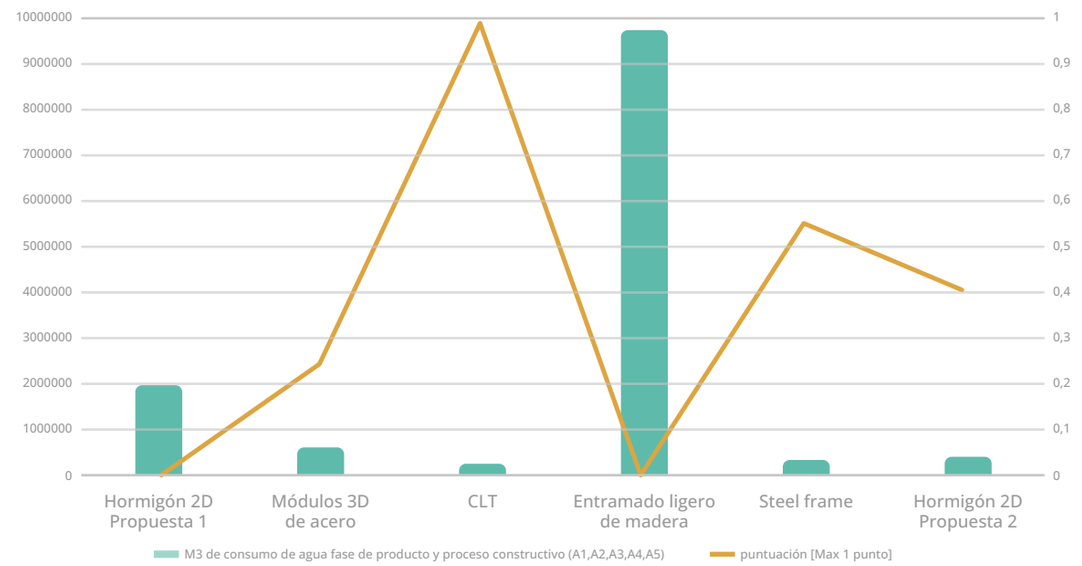


TABLA 4.8.8

consumo la propuesta que precisa de mayor cantidad de hormigón vertido en obra. Por último, cabe señalar la disonancia de la solución en entramado ligero de madera también observada en el indicador de la huella de carbono, debido a los datos de hormigón declarados para la resolución de la cimentación y bajo rasante, que no guardan relación con el sistema empleado.

Esta desviación en los resultados hace que debamos aproximarnos a ellos con precaución y con el convencimiento de que estas primeras experiencias para su cálculo son necesarias para mejorar los datos de origen y la estimación del impacto para una determinada obra.

4.8.4 Level(s) Macrobjetivo 4: espacios saludables y cómodos.

Los edificios deben diseñarse y construirse de manera que proporcionen comodidad en las actividades de las personas usuarias, garantizando su salud. En este sentido, hay cuatro aspectos fundamentales que se consideran indicadores en la metodología LEVEL(s): la calidad del aire interior, el confort térmico, la iluminación y el control del ruido.

Indicador	Unidad de medida	Información adicional
Calidad del aire en el interior de los edificios	Valores de ventilación, humedad y CO_2 Lista de objetivos relativos a contaminantes: COVT, formaldehído, compuestos orgánicos volátiles CMR, ratio de concentración mínima de interés, moho, benceno, partículas, radón	Este indicador mide una combinación de las condiciones del aire en interiores y de contaminantes atmosféricos objetivo: - Las condiciones de diseño del aire en interiores se refieren a la tasa de ventilación y al modo en que esta se ajusta para que el CO_2 y la humedad se mantengan a unos niveles saludables. - Los contaminantes atmosféricos objetivo pueden mantenerse bajo control seleccionando materiales de los accesorios poco contaminantes e informando sobre ellos, controlando el riesgo de crecimiento de moho y especificando sistemas de ventilación que filtren adecuadamente el aire exterior contaminado.
Tiempo fuera del margen de bienestar térmico	% de tiempo	Este indicador mide la proporción de tiempo a lo largo del año en que los ocupantes del edificio se sienten cómodos con las condiciones térmicas del interior. Mide la capacidad de un edificio (con y sin inclusión de sus servicios) para mantener unas especificaciones de bienestar térmico predefinidas cuando las temperaturas son altas y bajas.
Bienestar lumínico y visual	Listados de comprobación	Este indicador evalúa en qué medida el diseño de un edificio podría facilitar su futura adaptación a cambios en las necesidades de los ocupantes y en la situación del mercado inmobiliario. Por lo tanto, constituye un indicador indirecto de la capacidad de un edificio para seguir cumpliendo su función y de la posibilidad de alargar su vida útil en el futuro.
Acústica y protección frente al ruido	Listados de comprobación	Este indicador mide la posibilidad de sufrir molestias derivadas de ruidos indeseados debidos a la transmisión del sonido tanto por el aire como por impacto entre viviendas residenciales y espacios de oficina, a la reverberación en los espacios de oficinas y a las fuentes externas de alteraciones por ruido en ambos tipos de edificios.

Se entiende que la mayor parte de condicionantes de estos indicadores no dependen del sistema utilizado en su construcción, industrializado o no, del edificio. No obstante, se considera de interés su conocimiento al ser el confort de las viviendas un objetivo irrenunciable del parque de vivienda pública, independientemente de su solución constructiva.

4.8.4.1 INDICADOR DE CALIDAD DEL AIRE INTERIOR DE LOS EDIFICIOS

El indicador denominado **"Calidad del aire en el interior de los edificios"** incluye numerosos parámetros que afectan la calidad del aire interior, como la **temperatura**, la **humedad relativa**, la **velocidad del aire** y las posibles **sustancias contaminantes** presentes, que pueden tener distintos orígenes.

En cuanto a las normativas de referencia sobre la calidad del aire, a **nivel europeo** destaca la **Directiva 2008/50/CE** del Parlamento Europeo, que aborda la **calidad del aire ambiente y una atmósfera más limpia** en Europa, identificando las emisiones contaminantes que afectan a la salud humana. Además, existen otras directivas centradas en diferentes contaminantes, como la **Directiva 2004/107/CE**, que se refiere al **arsénico, cadmio, mercurio, níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos** en el aire ambiente o la **Directiva 2004/42/CE** se enfoca en limitar las emisiones de **compuestos orgánicos volátiles (COV) y la Directiva 2013/59/EURATOM** que regula la exposición al **radón**.

En **España**, la normativa vigente para el sector residencial es el **CTE DB - HS3** Calidad del aire interior, que establece que, en viviendas, se debe proporcionar un caudal de aire exterior suficiente para mantener la concentración media anual de **CO_2 por debajo de 900 ppm**, indicador de la ventilación de espacios ocupados. Por otra parte, el **CTE DB - HE**, de Ahorro de Energía, define pautas sobre la **permeabilidad al aire y humedad interior** y el **CTE DB - HS6** Protección frente al radón de 2019 establece las directrices a seguir en caso de presencia de **radón** en los edificios.

4.8.4.2 INDICADOR DE TIEMPO FUERA DEL MARGEN DE BIENESTAR TÉRMICO

La Guía de Aplicación del Documento Básico de Ahorro de Energía **DB - HE del CTE** establece unas directrices para el aislamiento térmico y la eficiencia de los sistemas de calefacción y refrigeración, pero **no aborda directamente la evaluación del tiempo fuera del margen de bienestar térmico**.

A continuación, se recogen como ejemplo algunas normas y estándares de referencia que suelen utilizarse en la evaluación del nivel "Tiempo fuera del margen de bienestar térmico".

Normas de confort térmico:

- CTE 2019. Código Técnico de la Edificación (España) - Documento Básico HE Ahorro de Energía.
- RITE 2013. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (España).
- UNE-EN ISO 7730:2006. Ergonomía del ambiente térmico - Determinación del PMV y PPD y especificación de las condiciones de confort térmico.
- UNE-EN 16798-1:2020. Rendimiento energético de los edificios - Ventilación para edificios - Parte 1: Parámetros para el confort térmico y la calidad del aire interior.

Sobrecalentamiento, conceptos y normas:

- EN 16798-2:2019. Norma europea sobre confort térmico y rendimiento energético de edificios.
- ISO 17772-2:2018. Norma internacional sobre confort térmico y eficiencia energética en edificios.
- ASHRAE 55. Norma estadounidense para el confort térmico en espacios interiores, desarrollada por la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- CIBSE TM59. Evaluación del riesgo de sobrecalentamiento en viviendas residenciales. Reino Unido.
- CIBSE Guide A. Condiciones ambientales en edificios - Guía general sobre confort térmico, iluminación y ventilación. Reino Unido.
- RE2020 (Réglementation Environnementale 2020). Normativa francesa que establece requisitos para el rendimiento energético, el impacto ambiental y el confort térmico en los edificios.
- Estándar Passive House. Estándar internacional para edificios de alta eficiencia energética y confort térmico, desarrollado por el Passive House Institute.

4.8.4.3 INDICADOR DE BIENESTAR LUMÍNICO Y VISUAL

Respecto al indicador denominado **"Bienestar lumínico y visual"**, la normativa aplicable no realiza una evaluación integral, sino que se limita a establecer **criterios para la iluminación natural y artificial**, enfocándose principalmente en la eficiencia energética de esta última. Para los edificios residenciales, únicamente hay recomendaciones y no existe una normativa específica, a pesar de que, para otros usos relacionados con ciertas actividades, se disponen de valores límite objetivo, como se refleja en la Norma UNE-EN 12464-1:2012 sobre la iluminación de los lugares de trabajo en interiores.

En cuanto a la **iluminación natural**, la Norma UNE-EN 17037:2020 define los parámetros para evaluar su idoneidad, considerando factores como la orientación del edificio, la iluminancia, las vistas exteriores y la exposición a la luz solar, entre otros.

Para la **iluminación artificial**, la Norma UNE-EN 62471:2009 aborda la seguridad fotobiológica de las lámparas y los aparatos que utilizan lámparas, describiendo los riesgos potenciales para la salud asociados con las radiaciones ópticas artificiales (ultravioleta, visible e infrarrojo). Esta norma es fundamental para evaluar la seguridad de las lámparas, especificando los límites de exposición y el control de riesgos fotobiológicos de todas las fuentes de radiación óptica, incluidas las lámparas LED.

Finalmente, existen diferentes normativas relacionadas con **la iluminación y la eficiencia energética**, como la Norma UNE-EN ISO 15193-1:2019 sobre los requisitos energéticos para la iluminación. El CTE, en su **DB - HE 3**, especifica las condiciones de las **instalaciones de iluminación**. Además, el CTE hace referencia al alumbrado de emergencia de los edificios en el DB SUA 4, que aborda la seguridad frente al riesgo causado por una iluminación inadecuada.

4.8.4.4 INDICADOR DE ACÚSTICA Y PROTECCIÓN FRENTE AL RUIDO

El indicador denominado **"Acústica y protección frente al ruido"** aborda **uno de los principales problemas de salud** identificados por la Organización Mundial de la Salud: **el ruido**. Según la Agencia Europea del Medio Ambiente, una de cada cinco personas en la UE está expuesta a niveles de ruido a largo plazo considerados perjudiciales para su salud. La reducción del ruido es un objetivo clave del Plan de Acción de Contaminación Cero de la UE y de la Directiva sobre Ruido Ambiental (Directiva 2002/49/CE relativa a la evaluación y gestión del ruido ambiental).

En España, en 2009 se aprobó el Documento Básico de Protección frente al Ruido, **DB-HR del CTE**, que supuso un cambio significativo en los criterios normativos para el diseño de edificios, al pasar de un enfoque prescriptivo a uno prestacional. El DB-HR establece niveles mínimos de calidad acústica y garantiza el cumplimiento de la **Ley 37/2003 del Ruido**, que limita el ruido interior en viviendas a **30 dBA**.

En cuanto al **amueblamiento interior**, los electrodomésticos cuentan con una clasificación acústica bajo el marcado CE, regulado por el Reglamento delegado UE 2021/340, que aborda el etiquetado energético y acústico de lavadoras, lavavajillas y aparatos de refrigeración.

Las principales **certificaciones internacionales** de sostenibilidad y bienestar, como LEED, BREEAM®, DGNB, VERDE, WELL y Fitwell, incluyen **parámetros de condiciones acústicas saludables** en nuevas edificaciones y renovaciones, considerando la transmisión del sonido, tiempos de reverberación, aislamiento al ruido aéreo, ruido de impacto y de instalaciones, así como el ruido exterior y ambiental.

4.8.4.5 ÍNDICE TAIL

Según se ha observado los apartados previos, la normativa de aplicación es diversa, dispersa y no proporciona una visión integral de los indicadores de confort de un edificio.

Para abordar el análisis de estos indicadores de una manera integrada se ha desarrollado el **índice TAIL** (Térmico, Acústico, Calidad del Aire Interior, y Lumínico), cuya validez está siendo analizada para su **aplicación al parque de viviendas públicas del País Vasco** (ver Odriozola-Maritorena, M., Hernández-Cruz, P., Flores-Abascal, I., Nicolle, J., & Allard, F. (2020)). Este índice complementa y amplía los indicadores de la metodología LEVEL(s), proporcionando una evaluación detallada de los aspectos críticos para el confort y la salud de las personas ocupantes de un edificio.

Los ámbitos del Índice TAIL y normas propuestas para su evaluación son:

1. Confort Térmico (T):

- Indicadores: temperatura del aire.
- Método de Medición: se mide tanto durante el día como la noche, en el salón y el dormitorio principal.
- Normativa de Referencia: EN 16798, que establece parámetros para condiciones térmicas interiores.

2. Confort Acústico (A):

- Indicadores: nivel de presión sonora.
- Método de Mediciones: se mide en el salón durante el día y en el dormitorio principal durante la noche.
- Normativa de Referencia: ISO 16283 y EN 12354 para el aislamiento acústico.

3. Calidad del Aire Interior (I):

- Indicadores: CO_2, humedad relativa, flujo de ventilación, formaldehído, benceno, PM2.5, y moho visible.
- Método de Medición: monitoreo continuo y muestreo de aire en puntos estratégicos de la vivienda.
- Normativa de Referencia: Directiva 2008/50/CE y el CTE DB-HS3.

4. Confort Lumínico (L):

- Indicadores: iluminancia y factor de luz diurna.
- Método de Medición: evaluación de la luz natural y artificial disponible en diferentes momentos del día.
- Normativa de Referencia: EN 17037 para iluminación natural y UNE-EN 12464-1 para iluminación de espacios interiores.

4.8.4.5 ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS PARA EL PROYECTO PILOTO (FASE 2): SOPELA ASU 33VPOA

En este apartado se recogen las estrategias generales adoptadas por las propuestas presentadas al Dialogo Competitivo para abordar la calidad del aire interior, iluminación, el comportamiento térmico y acústico, aunque estos indicadores no han sido evaluados específicamente en la licitación. Resulta oportuno indicar que todos los sistemas industrializados utilizados permiten la resolución satisfactoria de estas cuestiones y que su resolución no está limitada por los propios sistemas.

Calidad del aire interior

Respecto a la **calidad del aire interior**, todas las propuestas tratan la ventilación utilizando mayoritariamente **sistemas de ventilación mecánica**, de forma que se asegura una ventilación permanente y generalizada en las viviendas, controlada y de doble flujo. Debido a que se trata de un edificio de poca altura se han dispuesto las máquinas de ventilación con recuperadores de calor comunitarios, ubicados en la cubierta del edificio.

Otras medidas adoptadas son:

- Instalación de sistemas de microventilación para la admisión del aire en las viviendas.
- Extracción de los humos de las cocinas mediante compuertas anti-retorno para evitar revocos.

En el caso de la planta de **aparcamiento**, todas las propuestas han planteado la realización de un semisótano que permite eliminar la ventilación mecánica por una **ventilación natural cruzada**, según las especificaciones establecidas por el CTE DB HS 3.

Iluminación

Con relación a la **iluminación**, las propuestas mencionan criterios de iluminación del exterior del edificio y del interior en las zonas comunes principalmente, pero en su mayoría no se trata específicamente la iluminación en el interior de las viviendas.

La propuesta que más ha estudiado este apartado, en sistema de hormigón, propone la realización de ventanas horizontales rasgadas, para obtener un **sombreamiento** más efectivo con un menor desarrollo de los vuelos, aportando una iluminación de más calidad al ser más uniforme.

Comportamiento térmico

Desde el punto de vista del **comportamiento térmico** las propuestas no analizan el tiempo fuera del margen de bienestar térmico, sino que se centran especialmente en evitar los **puentes térmicos** en los puntos críticos como las carpinterías, o los encuentros fachada-cubierta, y sus sellados.

Respecto a los **aislamientos** utilizados, son mayoritariamente de lanas minerales, aunque también hay propuestas con aislamientos de materiales ecológicos como fibras de madera o aislamientos que provienen del reciclaje del PET.

Comportamiento acústico

Con relación a la **protección frente al ruido**, y centrándonos en las estructuras ligeras que deben tratar esta cuestión de manera más específica, las propuestas de madera y de Steel Frame plantean la ejecución en obra de la capa compresora de los forjados para reducir posibles vibraciones y problemas acústicos, como alternativa a láminas acústicas de alto coste económico. Esta medida se complementa con falsos techos de yeso laminado con aislamiento acústico en su interior.

En cuanto a la propuesta modular en acero 3D, se plantea una distribución de las correas del forjado con una interdistancia adecuada según los cálculos teóricos y experiencias previas.

Nos obstante, el reducido marco normativo y la limitada experiencia en España en la aplicación de estas estructuras ligeras hace que el estudio de su comportamiento acústico sea un **campo de investigación** propicio para la optimización de su diseño.

4.8.5 Macrobjetivo 5: adaptación y resiliencia al cambio climático.

El **cambio climático** afecta al comportamiento de los edificios frente a la salud y el bienestar de sus ocupantes, y puede poner en riesgo el valor de la construcción y las inversiones que se hagan en la misma. La **resiliencia del edificio** se plantea frente a riesgos como el sobrecalentamiento durante la estación estival, las carencias de calefacción en invierno, a fenómenos extremos que puedan poner en peligro la integridad de elementos del edificio, o las inundaciones que pueden ocasionar daños materiales y estructurales.

Los indicadores planteados por LEVEL(s) son:

Indicador	Unidad de medida	Información adicional
Protección de la salud y el bienestar térmico de los ocupantes	% de tiempo fuera del margen en 2030 y en 2050	Este indicador mide la posible divergencia entre las condiciones de bienestar térmico simuladas proyectando las condiciones meteorológicas de 2030 y 2050 y las condiciones actuales. Se apoya en la misma metodología que el indicador 4.2.
Aumento del riesgo de fenómenos meteorológicos extremos	Listados de comprobación	Este indicador evalúa la posibilidad de que se produzcan fenómenos meteorológicos extremos en el futuro (p. ej., tormentas, lluvias, nevadas y olas de calor) y su impacto en la vida útil de un componente o material de un edificio.
Aumento del riesgo de inundaciones	Listados de comprobación	Este indicador mide el riesgo potencial de que se produzcan inundaciones en el futuro y cómo puede contribuir el diseño del edificio al aumento o la disminución del riesgo de inundaciones pluviales y fluviales, tanto en las inmediaciones del edificio como en lugares situados corriente abajo.

Los indicadores de este macroobjetivo no han sido objeto de análisis en el Diálogo Competitivo que, en la actual fase de capacidad de análisis de los proyectos, **excede del alcance del proyecto de Sopela** y no guarda relación directa con las tecnología constructiva.

4.8.5.1 CAMBIO CLIMÁTICO. TENDENCIAS OBSERVADAS

El **Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático** (IPCC), fundado en 1988, se dedica a realizar evaluaciones exhaustivas sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta. Basándose en estos estudios, la iniciativa EURO-CORDEX ha llevado a cabo simulaciones para Europa utilizando los **escenarios RCP4.5 y RCP8.5** del Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5). Estas simulaciones combinan modelos globales y regionales del clima, produciendo un conjunto de datos alternativos que se pueden consultar en los visores de Ihobe y Geoeuskadi, los cuales muestran 13 variables seleccionadas en formato de capas cartográficas.

El análisis histórico del periodo 1971-2016 para **la Comunidad Autónoma del País Vasco** (CAPV) revela **tendencias** claras de aumento en las temperaturas mínimas, medias y máximas diarias. Asimismo, se ha registrado un incremento en el número de días y noches cálidos, superando los umbrales de 35°C día y 25°C noche y, junto con una mayor frecuencia de olas de calor. Paralelamente, se observa una reducción en el número de días y noches fríos, tanto secos como húmedos.

Las predicciones futuras, aunque muestran mayor incertidumbre en el escenario RCP8.5 que en el RCP4.5, indican una tendencia homogénea al **alza en las temperaturas** en la CAPV, con incrementos que varían entre 0,5°C y 4,0°C, siendo más pronunciados hacia finales de siglo. Esta tendencia sugiere una disminución de los días fríos y un aumento de los días con temperaturas moderadas y altas.

En cuanto a las precipitaciones, se anticipa un **descenso en la precipitación anual acumulada** debido al aumento de días secos y una reducción de días consecutivos de lluvia. Esto apunta a una mayor demanda y menor disponibilidad de agua, lo cual tiene implicaciones significativas para la gestión de recursos hídricos en la región.

4.8.6 Macrobjetivo 6: optimización del coste del ciclo de vida y del valor.

La optimización del coste del ciclo de vida y el valor de los edificios, refleja el **potencial de mejora del comportamiento del edificio a largo plazo**. Esto permite obtener una visión a largo plazo del valor de mercado de los edificios más sostenibles frente a otros, que contemplen la reducción de costes en el ciclo de vida y generen espacios más adecuados a la actividad desarrollada en los mismos, de forma que influyan positivamente en la tasación a futuro del valor de mercado de los edificios. Los indicadores de esta categoría fijados por LEVELS(s) son:

Indicador	Unidad de medida	Información adicional
Coste del ciclo de vida	€/m²/año	Este indicador mide todos los costes de los elementos del edificio en que se incurra en cada fase del ciclo de vida de un proyecto para el período de estudio de referencia y, si el cliente lo precisa, para la vida útil prevista.
Creación de valor y exposición al riesgo	Listados de comprobación	Este indicador evalúa las posibilidades de que el diseño del edificio influya de manera positiva en las tasaciones inmobiliarias y las calificaciones de riesgo en tres esferas principales: • la reducción de los costes indirectos al minimizar los costes operativos; • el aumento de los ingresos y la estabilización de las inversiones al hacer que las propiedades sean más atractivas; y • la reducción de los riesgos al anticipar la posible exposición en el futuro.

Este concepto de coste del ciclo de vida se trata en mayor detalle en el punto 4.9 Sostenibilidad Económica. Coste de Ciclo de Vida, por lo que no se ampliará información en este apartado.

4.9 Sostenibilidad Económica. Coste de Ciclo de Vida

Dentro de la actividad de la **Viceconsejería** de Vivienda del Gobierno Vasco, **Alokabide** es la sociedad pública encargada de la gestión del parque público de alquiler del País Vasco, parque al que se incorporan, entre otras, las nuevas promociones de Visesa. En julio de 2024, **el número de viviendas gestionado por Alokabide es cercano a las 17.000 unidades**. Esta circunstancia nos debe hacer pensar, de manera más enfática si cabe, en la totalidad del ciclo de vida de los edificios.

En este apartado, resulta pertinente, debido a las ventajas ambientales que comporta la industrialización del sector de la construcción, recordar la previsión de la Ley de Contratos del Sector Público 9/2017 en su artículo 148.b, al respecto del **cómputo del coste de ciclo de vida**, que incluirá:

> *...los costes imputados a **externalidades medioambientales** vinculadas al producto, servicio u obra durante su **ciclo de vida**, a condición de que su **valor monetario** pueda determinarse y verificarse; estos costes podrán incluir el coste de las emisiones de gases de efecto invernadero y de otras emisiones contaminantes, así como otros costes de mitigación del cambio climático.*

Según se ha tratado en el apartado 4.1.8.1, la implantación de la **metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV)** en el análisis de los edificios a nivel de la Unión Europea a través del marco LEVEL(s) permitirá cuantificar las emisiones de un edificio a lo largo de su vida útil como primer paso para que se pueda determinar y verificar su valor monetario.

4.9.1 Coste durante la vida útil del edificio

Tradicionalmente, dentro del cómputo del **Coste del Ciclo de Vida** de un edificio se ha contemplado **la cadena de valor de la edificación** desde la etapa de adquisición del suelo hasta la etapa de fin de vida del edificio y su demolición.

> ***Un análisis de coste de vida global incorpora**, por lo tanto, **todos los costes e inversiones** producidos desde la adquisición o disposición del terreno: los estudios de viabilidad de su desarrollo futuro; la gestión de la obtención de toda clase de autorizaciones administrativas necesarias; los honorarios técnicos de proyecto, dirección de obra, gestión integrada y otras intervenciones profesionales; los costes fiscales y financieros generados por la construcción y los costes intrínsecos de esta; los costes de mantenimiento, funcionamiento, rehabilitación y sustitución de elementos y sistemas durante la vida útil del edificio y, finalmente, deben incorporarse los costes e inversiones necesarios para la demolición, gestión de residuos y, en su caso, reutilización de los elementos recuperables.*
>
> *En la **corriente de flujos opuestos se contabilizan los ingresos generados durante la vida útil del inmueble**, generalmente representados por las rentas, arrendaticias o de otra índole, que realmente producirá o será susceptible de producir en el futuro.*

El análisis del coste del ciclo de vida como herramienta para la evaluación económica de la edificación sostenible. Estado de la cuestión. "Informes de la Construcción".

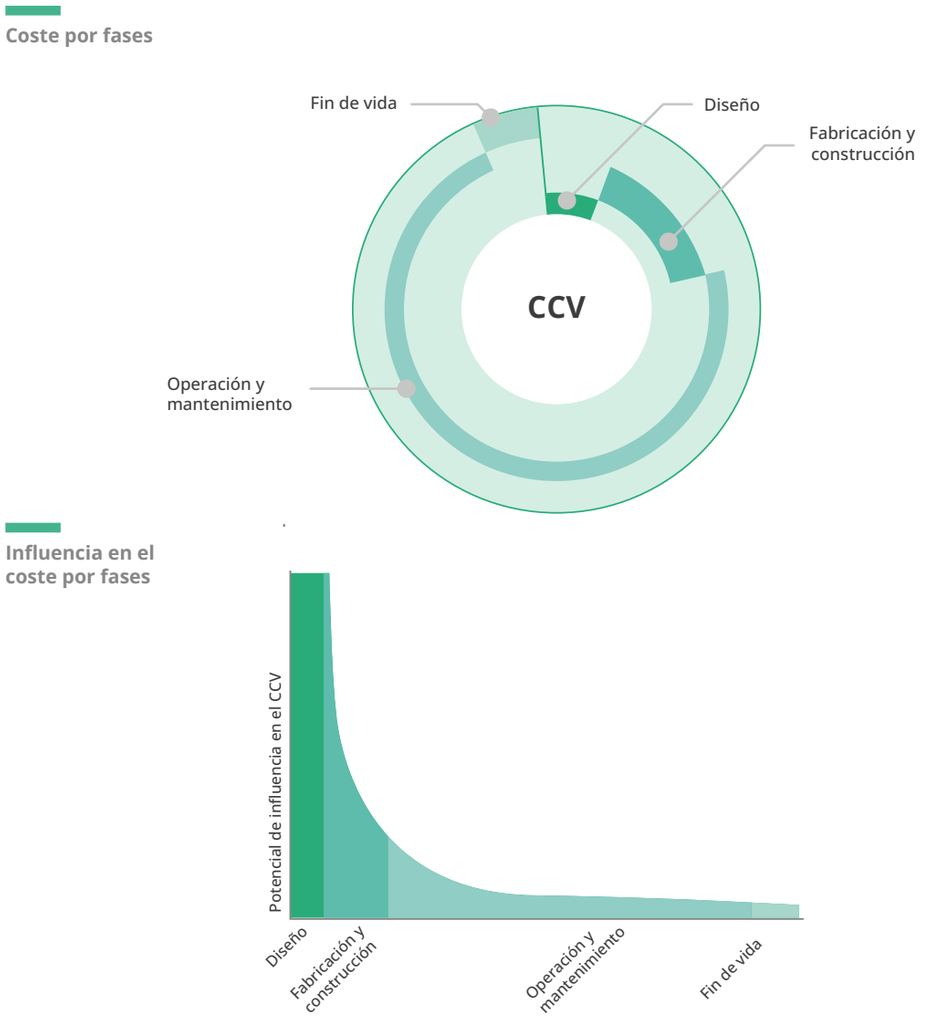


IMAGEN 4.9.1. Coste de Ciclo de Vida. Elaboración propia

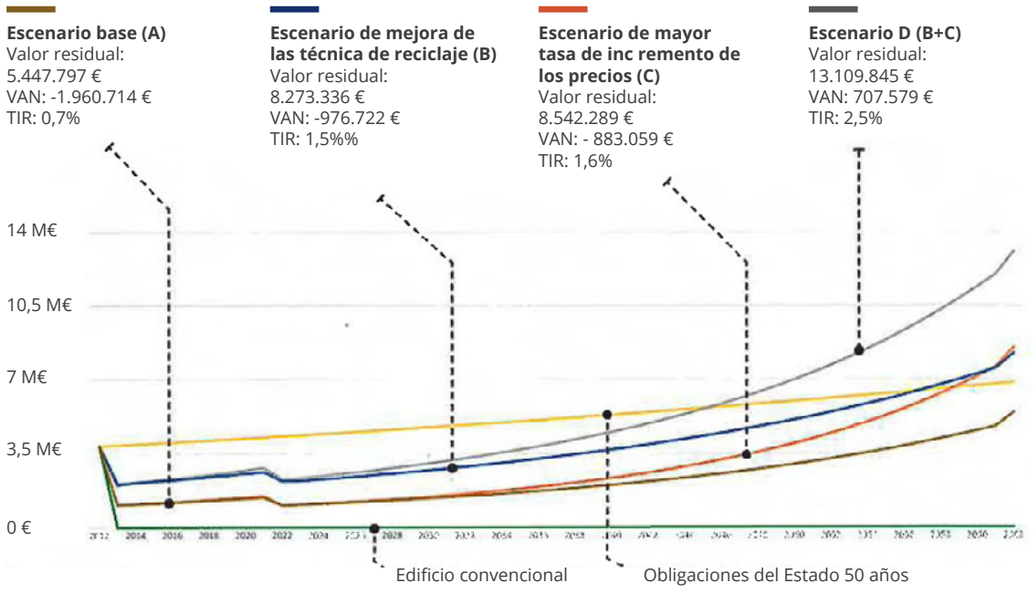
4.9.2 El edificio como banco de materiales

A mediados de la segunda década del siglo XXI surge una nueva visión, asociada a la **economía circular**, que identifica el edificio como un **banco de materiales** temporal cuyos componentes poseen un valor intrínseco (en 2015 la Unión Europea impulsó el proyecto **BAMB**, Buildings as Material Banks, bajo el programa Horizon 2020).

Asumir el enfoque de un edificio como banco de materiales implica un cambio cultural significativo en la industria de la construcción, ya que los materiales dejan de ser vistos como consumibles desechables para convertirse en **activos valiosos** que pueden ser reaprovechados. Esta toma de conciencia fomenta que en el diseño de edificios se tenga en consideración el desmontaje y la separación de materiales para permitir, al final de su vida útil, su reutilización y reciclaje eficiente. De esta manera, se reconoce el **valor residual** de los componentes de un edificio y se puede abordar su optimización desde la fase diseño.

Por lo tanto, al término de la vida útil de un edificio nos encontraremos con un conjunto de elementos cuyo valor residual será proporcional a la calidad y conservación de su **materia prima**, así como a su **desmontabilidad y potencial de reutilización**. Esta nueva concepción de los edificios no solo contribuye a la reducción de residuos y a la sostenibilidad ambiental, sino que también puede aportar **beneficios económicos significativos**, tanto en el coste de ciclo de vida del propio edificio como de creación de nuevas oportunidades de negocio en el mercado de materiales reciclados y reutilizados.

Uno de los estudios de arquitectura que está trabajando de manera más consciente con este nuevo concepto es el estudio **Picharquitects/Pich-Aguilera**. En su libro “Material”, Felipe Pich y Teresa Batlle incluyen un estudio teórico sobre el valor económico de los materiales al final de vida de un edificio, en el que realizan la comparativa de distintos escenarios con la rentabilidad de una inversión convencional de obligaciones del estado y concluyen que **el aumento diferencial de la revalorización de los materiales del edificio ejemplo** (centro Tecnológico Leviat) **sería de rango equivalente al rendimiento de las obligaciones del estado**.



Comparativa de escenarios
VAN (Valor neto actualizado). TIR (Tasa interna de retorno). Presupuesto de la obra: 4.869.990 € (de los cuales se han considerado dentro del análisis 3.857.907 €)

IMAGEN 4.9.2 Libro “Material” de Pich-Aguilera. Estudio desarrollado por Arnau Cameron y Elena Casals

4.9.3 Contribución de la construcción industrializada en el coste de ciclo de vida.

La idea de un edificio como banco de materiales encuentra en el modelo de construcción industrializada un aliado en el que apoyarse, ya que este modelo entiende la construcción como un proceso que no solo reduce la generación de residuos, sino que promueve la maximización del valor de los materiales con el menor impacto ambiental.

Si bien la demanda actual de soluciones industrializadas por parte del sector se encuentra en una etapa incipiente que no permite optar, todavía, a una economía de escala en la que se ponga de manifiesto claramente la ventaja de la producción en serie para la reducción de los costes de ejecución de la obra, un análisis de las distintas etapas de un edificio revela la contribución significativa de la construcción industrializada a la reducción de costes a lo largo de su ciclo de vida total:

Etapa de Producto

Reducción de impactos ambientales
La fabricación controlada en planta minimiza los residuos y optimiza el uso de materiales, permitiendo reducir así la huella ambiental desde el inicio (ver 4.8.1).

Eficiencia en la producción
Los procesos estandarizados y repetitivos mejoran la eficiencia y la calidad, reduciendo el desperdicio de recursos y tiempo (ver 4.4.3).

Etapa de Construcción

Reducción de impactos ambientales
La construcción industrializada genera menos residuos en el sitio y disminuye la contaminación en forma de emisiones de gases, partículas, acústicas, vertidos,... (ver 4.8).

Reducción de plazos
Los métodos de construcción industrializada reducen sensiblemente los plazos de ejecución, lo que minimiza los costes asociados con el tiempo de construcción, como los costes indirectos y la financiación de proyectos. Además, implica que el edificio estará listo para su uso por parte de las personas usuarias de manera anticipada.

Costes de construcción
La pura inversión económica en la ejecución de la construcción de una promoción mediante soluciones industrializadas no supone, todavía, una ventaja evidente sobre los costes de la construcción tradicional en esta etapa. Sin embrago, es previsible que el aumento de costes por la escasez de mano de obra y la activación de economías de escala a favor de la industrialización tenga reflejo en esta comparativa en un horizonte temporal corto.

Demanda energética
La gestión de los componentes en fase de producto y construcción (acopio, transporte y montaje) se ven beneficiadas por su identificación digital y la integración de tecnologías (ver 4.6.1).

Etapa de Uso



Reducción de impactos ambientales

Cada vez son más los países europeos que están estableciendo restricciones en forma de umbral máximo de impacto permitido o de tasa sobre las emisiones de CO_2. Los edificios industrializados pueden cumplir con estas normativas más fácilmente gracias a su diseño y producción eficientes (ver 4.8).



Demanda energética

Resulta más sencillo verificar la demanda energética de los sistemas industrializados en la medida en la que hay un mayor control en los procesos productivos (ver 4.4.3).



Gestión de activos. Mantenimiento y reparaciones

La construcción industrializada incorpora elementos estandarizados y soluciones de diseño que facilitan el acceso a sistemas y componentes para tareas de mantenimiento y reparación. Los componentes quedan perfectamente identificados en sus características en fábrica y es sencillo incorporar sensores que permitan un monitoreo y control más eficiente de los indicadores de funcionamiento del edificio, facilitando actuaciones preventivas frente a las actuaciones correctivas y su recuperación y reciclaje al término del ciclo de vida (ver 4.5.2).



Adaptabilidad

El diseño mediante sistemas industrializados permite adaptar y actualizar más fácilmente el edificio a medida que cambian las necesidades. De esta manera se previene la obsolescencia prematura y los costes asociados a la reconversión de un edificio (ver 4.5.1).



Durabilidad

El control de calidad en la producción de los componentes en fábrica, más exhaustivo y verificable que en la ejecución in-situ, repercute en su durabilidad y reduce la necesidad de reemplazar componentes o realizar reparaciones costosas a lo largo del tiempo (ver 4.5.3).

Etapa de Fin de Vida



Reutilización y reciclaje de componentes

Esta posibilidad está directamente vinculada a la aplicación de la norma ISO 20887 para el desmontaje, cuyos objetivos se ven favorecidos por las posibilidades de la construcción industrializada (ver 4.5.2).

La integración de tecnologías digitales permite la identificación precisa y el seguimiento de los componentes a lo largo de su vida útil, esencial para gestionar eficazmente los materiales como activos reutilizables dentro del modelo de banco de materiales. Esta identificación digital permitirá avanzar en la implantación de los pasaportes digitales de producto, clave en la estrategia de circularidad (ver 5.3).

4.9.4 ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS PARA EL PROYECTO PILOTO (fase 2): SOPELA-ASU 33VPOa

Respecto a las propuestas desarrolladas para la promoción de Sopela-Asu, nos referiremos a los aspectos sobre los que, a día de hoy, disponemos de datos más contrastables con la construcción tradicional, como son el coste de construcción, los plazos de ejecución y los impactos ambientales. En lo que a la generación de residuos se refiere, aunque su minimización respecto a la construcción tradicional resulta evidente en los estudios de investigación realizados (ver 4.1.8.2), en nuestro caso, la comparación con un caso concreto se realizará una vez completadas las obras de las promociones B-131 Sopea-Loiola 24 VPOa (tradicional) y B-133 Sopela-Asu 33 VPOa (industrializada), prevista para el segundo semestre del 2025.

En la medida en la que se extienda de manera paulatina la implantación de la metodología ACV y los indicadores LEVEL(s) en el análisis de las promociones, dispondremos de datos más concretos y fiables para completar el cómputo del Coste de Ciclo de Vida con un mayor alcance.

Etapa de Construcción

Costes de construcción

Como se ha indicado previamente, la inversión económica en la ejecución de la construcción mediante soluciones industrializadas no se manifiesta, todavía, como ventaja evidente sobre los costes de la construcción tradicional. **En el caso de la licitación de la promoción de Sopela-Asu, los ratios** que se derivan de las ofertas presentadas son todavía superiores a los de la construcción tradicional.

	LICITADORA			SOBRE A JUICIOS DE VALOR	SOBRE B AUTOMÁTICOS	TOTAL	OFERTA ECONÓMICA (PEC)	EUR / m²c total (PEC)	EUR/vivienda (PEC)
Nº	NOMBRE	CATEGORÍA	nº viviendas	(48 puntos)	(52 puntos)	(100 puntos)			
9.	VIUDA DE SAINZ + JIT HOUSING + BIEME/XLARK	Acero 3D	33	43,88	38,59	**82,47**	4.689.158,50 €	1.239,13 €	142.095,71 €
10.	CONSCYTEC + FINSA + AGVAR	Madera CLT	33	37,92	37,16	**75,08**	4.814.593,08 €	1.169,50 €	145.896,76 €
6.	ACR + AFCA TECCON + VAR	Steel Framing	33	33,93	39,52	**73,45**	4.522.507,50 €	1.171,05 €	137.045,68 €
3.	OBRAS ESP. + VIGUETAS NAVARRA + ARKIGEST	Hormigón 2D	33	30,11	42,9	**73,01**	4.476.123,95 €	1.144,37 €	135.640,12 €
2.	SUKIA + EXITU + DAAR	Hormigón 2D	36	37,42	35,45	**72,87**	4.743.622,01 €	1.140,71 €	131.767,28 €
12.	UTE MOYUA-BYCAM + MEDGON + ESPARZA	Madera. Entr. Ligero	33	39,45	0,00	**Excluida**	5.810.790,48 €	1.469,17 €	176.084,56 €

Figura 4.9.1 Cuadro resumen de las valoraciones y ratios económicos. Precios de marzo de 2023

Reducción de plazos

Los plazos de ejecución de obra ofertados, por su parte, sí que manifiestan una clara reducción de tiempo de ejecución frente a los 24 meses de plazo de una promoción estándar. La propuesta ganadora plantea la ejecución de las 33 viviendas en un plazo de 57 semanas, lo que supone una **reducción en un 45% sobre el plazo habitual**, plazo que incluye tanto la ejecución de la obra on-site y la fabricación off-site. Hay que recordar, no obstante, que la fase de proyecto requiere de mayor dedicación por parte de los agentes participantes (ver 4.4).

Impactos ambientales

Centrándonos en las emisiones de CO_2, por ser el impacto de mayor regulación en Europa, las emisiones de las propuestas desarrolladas están próximas a los umbrales establecidos por las normativas más restrictivas (740 kg CO_2eq/m² en Francia y 600 kg CO_2eq/m² en Dinamarca), que serían inasumibles para una construcción tradicional, en la cual estaríamos hablando de un impacto de toneladas de kg CO_2eq/m² (ver 4.8.1).

A la hora de interpretar estos datos, hay que tener en consideración la corta experiencia en la aplicación de la metodología ACV y la necesidad de contraste, ajuste y perfeccionamiento en el cálculo de los impactos, lo que hace que debamos acercarnos a los resultados con prudencia e interpretarlos como una aproximación válida para un primer testeo de la metodología.

	LICITADORA		SOBRE A JUICIOS DE VALOR	SOBRE B AUTOMÁTICOS	Kg CO_2 eq/m²c	MJ Epnr/m²c	M3 consumo de agua	kWh/m² año	Kg/mc residuos producidos	Kg/mc material reciclable	Kg/mc material reciclable
Nº	NOMBRE	CATEGORÍA	(48 puntos)	(52 puntos)	(100 puntos)	ETAPAS A1 A2 A3	ETAPAS A4 A5	ETAPAS A4 A5	ETAPA B1	ETAPAS C1 C2 C3 C4	ETAPAS C1 C2 C3 C4
9.	VIUDA DE SAINZ + JIT HOUSING + BIEME/XLARK	Acero 3D	43,88	38,59	**82,47**	774,41	10.179,48	178,11	0,00	0,00	1.039,79
10.	CONSCYTEC + FINSA + AGVAR	Madera CLT	37,92	37,16	**75,08**	354,88	3.814,98	55,89	12,21	0,00	0,00
6.	ACR + AFCA TECCON + VAR	Steel Framing	33,93	39,52	**73,45**	581,66	7.359,52	104,98	2,01	0,06	914,12
3.	OBRAS ESP. + VIGUETAS NAVARRA + ARKIGEST	Hormigón 2D	30,11	42,9	**73,01**	613,35	3.058,94	0,00	23,79	0,17	126,88
2.	SUKIA + EXITU + DAAR	Hormigón 2D	37,42	35,45	**72,87**	535,96	6.650,35	120,38	15,51	2,09	1.158,90
12.	UTE MOYUA-BYCAM + MEDGON + ESPARZA	Madera. Entr. Ligero	39,45	0,00	**Excluida**	0,00	0,00	0,00	18,97	0,00	332,85

Figura 4.9.2 Cuadro resumen de indicadores ambientales

4.10 Aspectos sociales

Los beneficios de la construcción industrializada no solo redundan en la eficiencia y la sostenibilidad en el sector de la construcción, si no que representan una **oportunidad significativa** para la creación de entornos de trabajo más seguros y saludables, y en la promoción de una mayor inclusión y equidad de género que permite mejorar la calidad de vida de las trabajadoras y los trabajadores.

4.10.1 Seguridad y salud

4.10.1.1 LA SINIESTRALIDAD EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

El sector de la **construcción** se sigue situando año tras año como el sector económico con **mayor índice de incidencia de accidentes**, tanto de los que producen baja laboral como de los causantes de la muerte de trabajadoras/es.

En el año 2023, la construcción en España presenta un **índice de incidencia de accidentes con baja un 35% superior al del sector industrial** y un 185 % superior a servicios, poniendo de manifiesto la alta vulnerabilidad del sector construcción en términos de seguridad laboral.

Índice de Incidencia de accidentes con baja laboral *(Accidentes por cien mil trabaj.)*

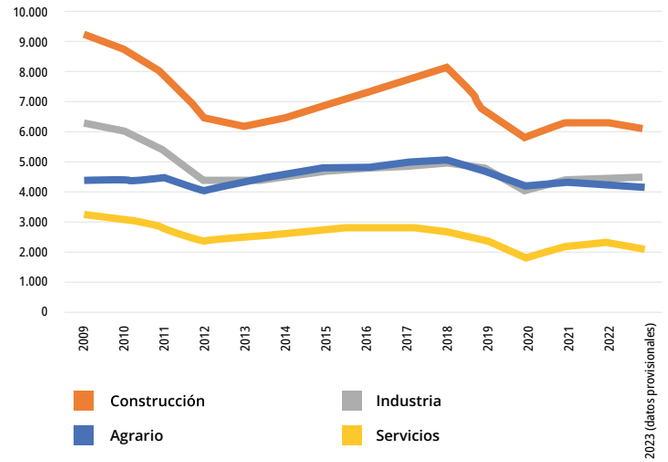


FIGURA 4.10.1. Índices de Incidencia de accidentes con baja laboral.2009-2023 Datos estatales. Accidentes por cada 100.000 trabajadores. Fuente: Fuente: Elaboración propia según microdatos Ministerio de Trabajo y Economía Socia

Los datos sobre **accidentes mortales** son abrumadores. **La probabilidad de que un/a trabajador/a fallezca** como consecuencia de un accidente laboral se **multiplica si su actividad laboral se desarrolla en la construcción**. En los últimos años se ha constatado que, por cada muerte en la industria, ha habido de media 2,3 muertes en la construcción, lo que refleja un **riesgo significativamente mayor** para trabajadoras/es de la construcción en comparación con aquellas en la industria manufacturera.

Índice de Incidencia de accidentes mortales *(Accidentes por cien mil trabaj.)*

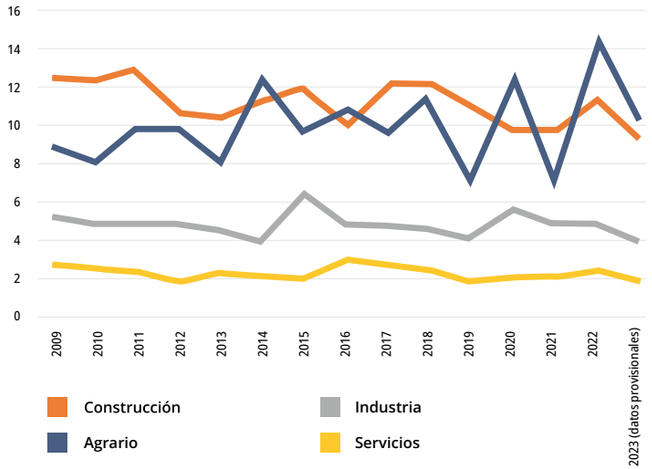


FIGURA 4.10.2. Índices de Incidencia de accidentes mortales. Datos estatales. Accidentes por cada 100.000 trabajadores/as. Fuente: Elaboración propia según microdatos Ministerio de Trabajo y Economía Social

Al igual que en otros sectores, los factores que inciden en la siniestralidad son diversos y de distinta índole. Sin embargo, la **construcción tradicional presenta unas características propias que inciden directamente en las tasas de accidentes de trabajo**. Diferentes estudios han investigado los diferentes factores que afectan a la seguridad en la construcción.

Mohammadi, Tavakolan y Khosravi (2018) analizaron los resultados de 90 investigaciones publicadas desde el año 2000 al 2016 para definir los factores que impactan en el rendimiento de la seguridad en proyectos de construcción. Definen un marco jerárquico que destaca la complejidad de la seguridad, influenciada por factores en distintos niveles, desde lo individual hasta lo gubernamental. Se clasificaron 113 subfactores clasificados bajo 13 factores principales que afectan a la seguridad en este sector. El documento pone en evidencia la importancia de la **gestión integrada** de la seguridad, incluyendo la **participación activa de todos los niveles jerárquicos dentro de los proyectos de construcción** para mitigar los riesgos inherentes a la actividad.

Nº	Factor Principal	Subfactores
1	Motivación	Motivadores laborales, salario, satisfacción laboral, recompensa y penalización, programas de incentivo, presión de pares
2	Reglas y regulación	Reglas de seguridad, cumplimiento de normas, papeleo de regulaciones
3	Competencia	Competencia, experiencia en seguridad, entrenamiento y educación, conciencia sobre peligros y seguridad, habilidades/cualidades del trabajador/a, precalificación en seguridad, edad
4	Inversión y costos de seguridad	Presupuesto de seguridad, costos de accidentes, retorno de inversión en seguridad
5	Aspectos financieros y productividad	Costo del proyecto, precio de licitación, tamaño del proyecto, calidad, productividad, errores de construcción y diseño, retrabajo
6	Recursos y equipo	Personal de seguridad, restricciones de recursos, equipamiento
7	Presión laboral	Presión de producción, sobrecarga de trabajo, fatiga, ritmo y tiempo de trabajo, trabajo extra, retraso del cronograma
8	Condiciones de trabajo	Entorno laboral, exposición a riesgos, nivel de peligro del proyecto, condiciones de salud y seguridad
9	Cultura y clima	Cultura de seguridad, clima de seguridad, entorno supervisor, liderazgo, entorno de apoyo
10	Actitud y comportamiento	Comportamiento y actitud del supervisor y trabajadoras/es, participación en la mejora de la seguridad, esfuerzo de seguridad, responsabilidad personal por la seguridad, mentalidad de asumir riesgos
11	Lecciones aprendidas de accidentes	Tasa de accidentes, número de accidentes, tipos de lesiones, inspecciones de seguridad, lecciones aprendidas
12	Organización	Ingresos de la empresa, reputación de la compañía, tamaño de la empresa, control del cliente, subcontratistas
13	Programas y sistemas de gestión de seguridad	Compromiso de gestión, enfoque de la gestión en seguridad, políticas y procedimientos de seguridad, comités de seguridad, prácticas y habilidades de gestión de seguridad

Tabla 4.10.3: Proyectos de Construcción Fuente: Adaptado de "Factors influencing safety performance on construction projects: A review", publicado por Mohammadi, A., Tavakolan, M., Khosravi en Safety Science, 2018.

4.10.1.2 EL POTENCIAL DE LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA EN LA REDUCCIÓN DE ACCIDENTES LABORALES

La **construcción industrializada ejerce un impacto positivo significativo en la seguridad y la salud en las obras**. Este beneficio es el resultado de múltiples factores que impactan directamente en la disminución de riesgos y en la creación de ambientes de trabajo más seguros y saludables para las/os empleadas/os.

Ahn et al. (2020) analiza dos proyectos en Australia que integraron componentes construidos fuera del sitio (off-site), evaluando cómo esta metodología podría reducir los riesgos de seguridad en comparación con métodos tradicionales en la obra. Mediante el uso de Declaraciones de Método de Trabajo Seguro (SWMS) y entrevistas a supervisores, se compararon los riesgos en escenarios hipotéticos en el sitio (on site) para los mismos componentes. Los análisis revelaron que los escenarios de construcción off site presentaban una puntuación total de riesgo más baja en cada caso, principalmente debido a la **reducción significativa de tareas que implicaban trabajar en altura**.

Lawson, Ogden y Bergin, (2012). detalla la aplicación de la **construcción modular en edificios de gran altura**, destacando que puede **reducir los accidentes** de construcción **en más de un 80%**. Se enfoca en la seguridad mejorada que proporciona el entorno controlado de la fabricación en fábrica, donde se instalan protecciones antes de la colocación en el sitio. **Subrayan la importancia de la colaboración entre diseñadores, fabricantes y otros agentes para maximizar la seguridad** y eficiencia en la construcción modular de edificios altos. Destacan cómo la cooperación asegura que todos los componentes de construcción se diseñen y fabriquen con consideraciones de seguridad desde el inicio, facilitando una implementación segura en el sitio.

Jaillon y Poon (2008) proporcionan evidencia concreta del impacto positivo de la construcción industrializada en la seguridad laboral. En su estudio sobre proyectos en Hong Kong, observaron que los riesgos asociados con trabajos en altura se eliminan en gran medida en el ambiente de fábrica, mejorando así la seguridad de las trabajadoras y trabajadores. Además, **sus estudios de caso muestran una reducción significativa en las tasas de accidentes—un 63% menor—con un promedio de 22 accidentes por cada 1.000 trabajadoras/es.**

Con base en estas investigaciones, se deduce que la probabilidad de que un trabajador/a sufra un accidente en una obra de construcción convencional será aproximadamente **tres veces mayor que en una obra industrializada y cinco veces mayor que en un entorno de construcción modular.**

Es decir, la **construcción industrializada** introduce **cambios profundos en varios aspectos operativos y estructurales del sector, los cuales tienen una repercusión directa en la seguridad laboral.**

Cambios en la organización de la producción: subcontratación

La **industria de la construcción** cuenta con un **tejido empresarial característico** por su **elevada atomización y alta especialización**, con una rotación y movilidad continua de trabajadores/as; pequeñas empresas y personas trabajadoras autónomas dedicados a ejecutar una actividad muy concreta dentro del proceso constructivo de cada obra causado por la elevada descentralización de la actividad mediante la práctica de la subcontratación.

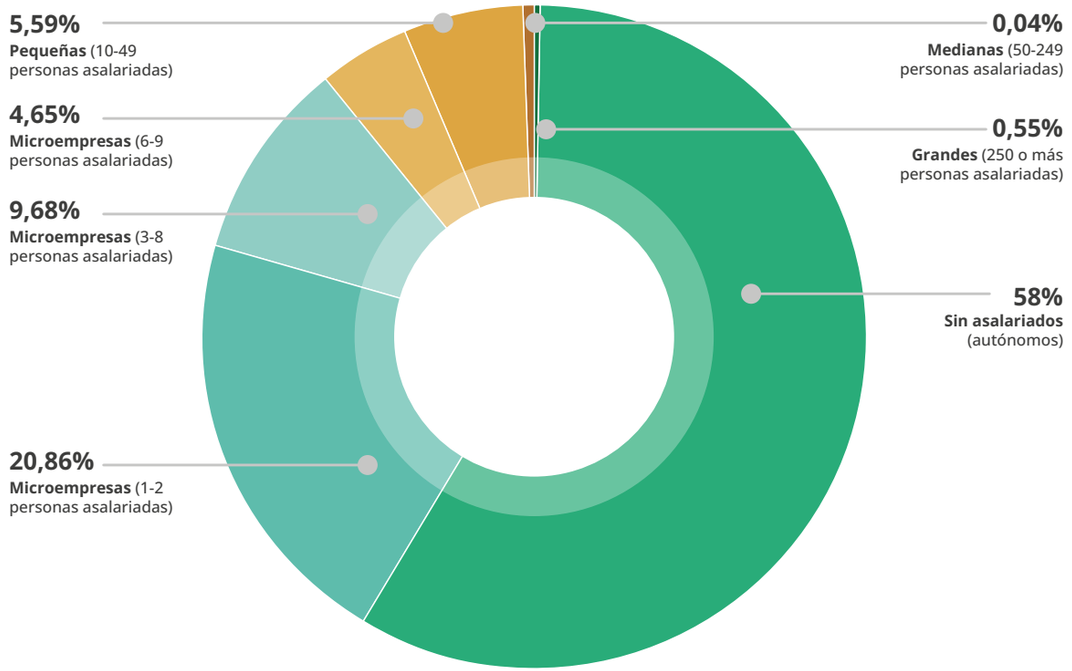


FIGURA 3. Distribución de empresas por tamaño del sector de la construcción diciembre 2023. Fuente: Ministerio de Industria y turismo.

Tipo de Empresa	Industria (Número de Empresas)	Industria (%)	Construcción (Número de Empresas)	Construcción (%)
PYME (Total)	168945	99.30	**334351**	**100.00**
PYME sin asalariados (0 asalariados)	65526	38.50	196120	58.60
PYME (1-249 asalariados) (Total)	103419	60.80	138231	41.30
- Microempresas (1-9 personas asalariadas) (Total)	72720	42.80	117692	35.20
De 1 a 2 personas asalariadas	35595	20.93	69763	20.86
De 3 a 5 personas asalariadas	22808	13.41	32391	9.68
De 6 a 9 personas asalariadas	14317	8.42	15538	4.64
- Pequeñas (10-49 personas asalariadas)	25064	14.70	18709	5.60
- Medianas (50-249 personas asalariadas)	5635	3.30	1830	0.50
Grandes (250 o más personas asalariadas)	1144	0.70	144	0.04
TOTAL EMPRESAS	170089	100.00	334495	100.00

TABLA 2. Datos Fuente: Elaboración propia según microdatos Ministerio de Trabajo y Economía Social (Omitir si es redundante con el gráfico)

En diciembre 2023. el sector de la construcción estaba formado por 334.495 empresas activas de las que un 79,46 % están formadas por personas autónomas y empresas con 1 o 2 personas asalariadas, lo que indica una estructura sectorial con mayor flexibilidad operativa y una posible **mayor dependencia de la subcontratación**. Esta configuración permite a las empresas de construcción adaptarse a los proyectos fluctuantes y demandas específicas del mercado sin sostener grandes nóminas permanentes. La especialización que se encuentra en las microempresas y empresas pequeñas de la construcción facilita su integración en la cadena de subcontratación, aportando habilidades y servicios especializados que las grandes empresas pueden no poseer internamente. Este entramado de pequeñas empresas y la elevada subcontratación inciden directamente en la siniestralidad del sector.

Subcontratación

La Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el Sector de la Construcción y el Real Decreto 1109/2007, de 24 de agosto, que desarrolla dicha ley, fueron diseñadas específicamente para abordar y mitigar algunos de los efectos potencialmente negativos en la seguridad y salud de las trabajadoras/es asociados con la subcontratación extensiva en este sector. Aun así, la práctica de la subcontratación en el sector sigue siendo extensiva y habitual. La descentralización de las actividades a través de la subcontratación ha llevado a que el porcentaje de ingresos obtenidos por la prestación de servicios en el año 2022 alcance el 27,38% del total del volumen de negocio, en comparación con el 19,1% registrado en el año 2001, según datos del Ministerio de Fomento. En el sector industrial en cambio, para el total del sector industrial en el año 2022 solo representa el 7.33% en el sector industrial en general y un 5.44% para la industria manufacturera (datos Instituto Nacional de Estadística). Estos datos, indican una **mayor prevalencia de la subcontratación en el sector de la construcción.**

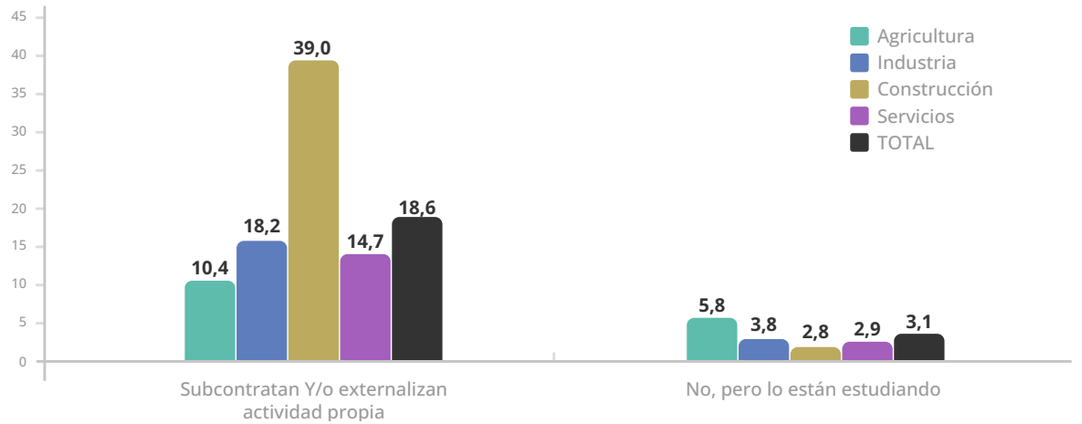


TABLA 4.10.4. Proporción de empresas que subcontratan y/o externalizan parte de la actividad propia por sector según "VI Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo". Ed. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo; 2007. Fuente: Estudio de los sectores económicos en los que se recurre habitualmente a la contratación y subcontratación de obras y servicios. INSST

Tamaño de empresa

El estudio realizado por Niciejeska, Idzikowski, y Škurková (2021), analizan cómo los factores técnicos, organizativos y humanos afectan a la tasa de accidentes en pequeñas empresas. Este estudio destaca **el impacto directo del tamaño de la empresa** en la gestión de la seguridad, sugiriendo que las pequeñas empresas enfrentan desafíos particulares debido a recursos limitados, falta de formación adecuada en seguridad y una organización del trabajo menos rigurosa. Estos elementos contribuyen a una mayor incidencia de accidentes en comparación con empresas más grandes, que generalmente disponen de mejores sistemas de gestión de la seguridad y recursos más robustos.

Ozmec et al. (2014) destacan cómo el tamaño de una empresa puede influir significativamente en la práctica de seguridad en la construcción. En pequeñas empresas constructoras, donde el equipo suele consistir en individuos o pequeños grupos que trabajan en diferentes sitios, las prácticas de seguridad tienden a ser menos formalizadas y más dependientes de la autoadministración de los empleados en comparación con las grandes empresas.

Construcción industrializada

La construcción industrializada, al avanzar hacia un mayor grado de automatización y estandarización, **disminuye la dependencia de la subcontratación en comparación con la construcción tradicional**.

Court et al. (2009) señalaron que con la **adopción de soluciones modulares se alcanza una reducción del 35% en la necesidad de mano de obra en el sitio de construcción**, lo que resultaría en una disminución significativa de la congestión de trabajadoras/es en obra y la necesidad de subcontratación se reduce. Esta mejora en la gestión del espacio y la eficiencia no solo optimiza el flujo de trabajo, sino que **disminuye el número de trabajadoras/es expuestos a los riegos** propios de la actividad y contribuye a un entorno más seguro y productivo, ya que al disminuir el volumen de actividades concurrentes se producen un **menor número de interferencias y conflictos entre equipos o subcontratistas y facilita la organización segura de los trabajos.**

Cuando el **grado de industrialización** es elevado **las empresas constructoras optan por gestionar internamente con fuerza laboral propia una mayor parte del proceso de construcción** debido a la necesidad de mantener un mayor control sobre la calidad del trabajo, la eficiencia operativa, el requerimiento de trabajadoras/es con formación específica o mantener la confidencialidad de procesos o características propias. Centralizar en gran medida la actividad productiva ayuda a establecer estándares comunes y promover culturas de seguridad coherentes en toda la cadena de suministro.

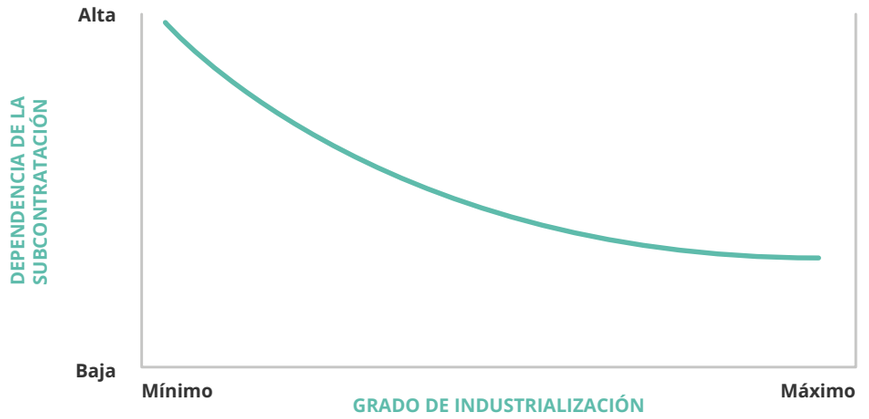


TABLA 4.10.5. Curva de influencia del Grado de industrialización en la necesidad de subcontratación. Fuente: Elaboración propia.

En resumen, el factor industrialización contribuye a una menor necesidad de subcontratación en comparación con la construcción tradicional. Al gestionar internamente más aspectos del proceso de construcción, las empresas pueden mejorar la eficiencia, la calidad y la seguridad de sus proyectos, al tiempo que reducen su dependencia de terceros y los riesgos asociados con la subcontratación.

Cambios en el Entorno Laboral: Entorno controlado y Reducción de Riesgos

Identificación de riesgos y tiempo de exposición

En la construcción tradicional, las/los trabajadoras/es están sujetos a una variedad de riesgos inherentes a la naturaleza dinámica y a menudo impredecible del entorno laboral. La constante evolución de las obras de construcción debido a diversos factores como el avance de las fases de construcción, la introducción de nuevos equipos y materiales, cambios en los equipos de trabajo, y las condiciones climáticas complica la identificación y gestión de los riesgos, aumentando la probabilidad de accidentes y lesiones laborales.

La adopción de métodos de construcción industrializada, donde los componentes se fabrican en entornos controlados, presenta una reducción significativa de las tareas consideradas de alto riesgo en la construcción tradicional como trabajar en alturas, no sólo por la reducción del tiempo de exposición en obra, sino porque la necesidad de un diseño detallado permite la identificación más eficaz de los riesgos y la integración de las medidas preventivas necesarias en obra desde la fase de fabricación.

En este sentido, por Rubio-Romero et al. (2014) evalúa cómo la industrialización afecta a la tasa de accidentes en el sector de la construcción en España. Los autores indican que la industrialización del sector, especialmente a través de sistemas modulares, puede reducir significativamente las tasas de accidentes en comparación con los métodos tradicionales. Ellos sugieren que la reducción del tiempo de trabajo en el sitio es un factor clave que contribuye a la disminución de la tasa de accidentes. Este menor tiempo en el sitio de construcción reduce la exposición de las personas a condiciones peligrosas, lo que resulta en un entorno de trabajo más seguro y eficiente.

Riesgos inherentes a la propia actividad

En ocasiones se puede pensar que las tareas de riesgo que se evitan en la obra son trasladados a la fábrica generando los mismos riesgos. Los entornos controlados en los que se fabrican los componentes **proporcionan condiciones de trabajo más estables y predecibles**, facilitando la identificación de riesgos y la implementación efectiva de protocolos de seguridad, lo que asegura un entorno laboral consistentemente más seguro.

Por ejemplo, la instalación de componentes finales, como ventanas en los huecos de fachadas, directamente en la fábrica elimina la necesidad de realizar estas tareas en el sitio de construcción, minimizando de manera efectiva los riesgos asociados y por tanto los accidentes laborales.

La estandarización de tareas y la necesidad de optimizar el volumen del componente para asegurar que no exceda los límites de tamaño que pueden ser manejados y transportados de manera segura y económica incide en que las caídas desde alturas en tales entornos suelen ser desde alturas mucho menores, En los casos estudiados por Ahn et al. (2020), estas caídas suelen ocurrir alrededor de dos metros debido a la necesidad de limitar el tamaño de los componentes a la capacidad de fabricación y al transporte.

La construcción industrializada no solo optimiza el uso de materiales y componentes, sino que también reduce significativamente la cantidad de residuos y desperdicios generados en la obra, los cuales pueden constituir un riesgo para la seguridad en el lugar de trabajo.

Además, la construcción industrializada reduce las exigencias ergonómicas sobre las/los trabajadoras/es al limitar las tareas que requieren esfuerzo físico extenuante en la obra. Introducir sistemas automatizados y asistidos para el manejo de materiales en la fábrica y en el sitio de construcción puede ser otra innovación para mejorar aún más la ergonomía y la seguridad. Estos sistemas pueden incluir desde tecnologías robóticas avanzadas que manejan cargas hasta exoesqueletos diseñados para apoyar a las/los trabajadoras/es durante tareas físicamente demandantes, reduciendo la fatiga y el riesgo de lesiones a largo plazo.

Además, la reducción de diferentes actividades a ejecutar en la obra conlleva una minoración del uso de elementos auxiliares y maquinaria que pueden ser origen de accidentes y lesiones. Sin embargo, la instalación y el montaje de los componentes en el sitio de construcción aún requieren el uso de maquinaria pesada y equipos especializados de elevación de cargas y suele conllevar riesgos de caída desde altura entre otros. A pesar de esto, existen diferencias significativas en los riesgos asociados con el uso de maquinaria en la construcción industrializada. El manejo de cargas de mayor volumen y el uso más intensivo de equipos de elevación exigen procedimientos avanzados para asegurar la precisión en los ensamblajes o montajes de componentes. La planificación detallada de la instalación o ensamblaje de los elementos en la obra, apoyada en ocasiones por simulaciones virtuales del proceso de ensamblaje utilizando tecnología de modelización en 3D, facilita una mejor identificación y mitigación de los riesgos.

En resumen, aunque la construcción industrializada no elimina por completo los riesgos graves en las etapas posteriores en obra, **reduce la exposición a** estos riesgos **mediante la disminución del tiempo de exposición y la estandarización de los procesos**. Esta naturaleza controlada y sistemática de los métodos industrializados contribuye de manera significativa a establecer un entorno de trabajo más seguro, demostrando ser un avance crucial en la mejora continua de las condiciones de seguridad laboral en la industria de la construcción.



IMAGEN 4.10.1 Entorno de trabajo en planta de fabricación. Fuente_U.S. Department of Agriculture (USDA)

Exposición a condiciones climáticas extremas

La exposición de las/los trabajadoras/es de la construcción a condiciones climáticas adversas es una preocupación importante debido no sólo a las condiciones penosas de trabajo, sino también a los riesgos que conlleva para la salud y seguridad a corto y largo plazo.

Karthick et al. (2023) realizan un análisis y recopilación exhaustiva de las diferentes investigaciones en la materia resaltando que en la construcción las trabajadoras/es expuestos a temperaturas frías extremas pueden sufrir entre otros hipotermia, problemas respiratorios y vasoconstricción de los vasos sanguíneos. Además, se indica que la exposición prolongada al frío también puede aumentar el riesgo de lesiones musculoesqueléticas debido a la rigidez muscular y la disminución de la destreza. Por otro lado, trabajar bajo altas temperaturas puede causar golpes de calor, deshidratación, agotamiento por calor y quemaduras solares. La exposición prolongada al calor extremo también puede aumentar el riesgo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como provocar fatiga.

Además, en determinadas fases o tareas realizadas a la intemperie los riesgos pueden verse agravados por la climatología, o pueden producirse accidentes como consecuencia de esta, por ejemplo, el hielo o lluvia pueden provocar caídas por resbalones o los vientos fuertes caídas de objetos o cargas sobre las trabajadoras/es.

Es innegable que las trabajadoras/es dedicados a la **construcción off site estarán expuestos a un menor grado de condiciones climáticas adversas** en comparación con sus homólogos en la construcción convencional. Esta disminución en la exposición es consecuencia de la reubicación de parte de las operaciones de producción hacia instalaciones cerradas. Esto será especialmente evidente cuando las **fases o tareas del proceso constructivo que están más expuestas a los elementos naturales sean llevadas a cabo en mayor medida mediante métodos industrializados fuera del sitio de construcción.**

Higiene y bienestar

En la **construcción convencional, las condiciones de higiene a menudo son deficientes debido en gran medida a la falta de infraestructura adecuada** en el lugar de trabajo. Los sitios de construcción pueden carecer de baños apropiados, áreas de lavado de manos y espacios de descanso limpios y cómodos. Esto puede resultar en condiciones poco higiénicas e insalubres que comprometen el bienestar de estos.

Por otro lado, la **construcción off site** ofrece **instalaciones de higiene más satisfactorias y controladas**; las fábricas y plantas de producción suelen estar equipadas con baños adecuados, así como áreas de descanso bien mantenidas. Además, al estar ubicadas en entornos cerrados y controlados, se pueden implementar medidas más efectivas para mantener la limpieza y la higiene en todas las áreas de trabajo.

La influencia de la industrialización en la mejora de las condiciones higiénicas en el sitio de construcción puede ser bidireccional. Cuando las instalaciones de fabricación off-site implementan estándares estrictos de higiene y bienestar, esto puede **influir positivamente en la conciencia y las expectativas de las personas en el sitio de construcción**.

Por otro lado, la adopción de prácticas y tecnologías modernas en la construcción, como la prefabricación y la industrialización, puede facilitar el mantenimiento de altos niveles de higiene. La estandarización de procesos y la fabricación en entornos controlados pueden **reducir la exposición a condiciones insalubres** en la obra, contribuyendo así a mejorar las condiciones de trabajo y la salud de las personas.

Riesgos psicosociales

Diversos estudios señalan que, en general, el sector de la construcción expone a las personas trabajadoras a un mayor número de estresores en comparación con otros sectores. Estos estresores incluyen la naturaleza dinámica e inestable del entorno laboral, las exigencias físicas intensas, la presión de cumplir plazos estrictos y la falta de estabilidad del empleo debido a las fluctuantes necesidades de los/las clientes. Estos factores, combinados con la exposición a condiciones climáticas adversas y la falta de apoyo psicosocial adecuado, contribuyen significativamente a los riesgos psicosociales en la construcción tradicional.

La industrialización del sector podría incidir positivamente en la reducción de los factores que afectan la salud mental de las personas trabajadoras. En este sentido, la investigación realizada por Fagbenro et al. (2023), "Influence of Prefabricated Construction on the Mental Health of Workers: Systematic Review", evalúa cómo la construcción prefabricada puede impactar positivamente en la salud mental de las trabajadoras/es en la industria de la construcción. Las autoras y autores indican que la prefabricación reduce significativamente el tiempo de trabajo en el sitio y la exposición a condiciones adversas, mejorando así la seguridad y el bienestar físico. Este enfoque reduce la presión laboral y los conflictos interpersonales, promoviendo un mejor equilibrio entre la vida laboral y personal. La estandarización de procesos y la reducción de la superposición de tareas en el sitio de construcción disminuyen la sobrecarga de trabajo y la fatiga, lo que mitiga los efectos negativos del estrés laboral y mejora la salud mental. Fagbenro et al. (2023) destacan que, aunque la construcción prefabricada no elimina completamente todos los riesgos psicosociales, su **capacidad para reducir los factores de estrés** relacionados con la naturaleza del trabajo de construcción es significativa. La evidencia empírica sugiere que estos beneficios psicosociales pueden traducirse en una menor incidencia de problemas de salud mental entre las personas trabajadoras de la construcción. Al abordar de manera proactiva los factores de estrés inherentes a la industria mediante métodos prefabricados, se puede lograr una mejora notable en la salud mental y el bienestar general de las personas trabajadoras, lo que a su vez puede conducir a una mayor productividad y satisfacción laboral.

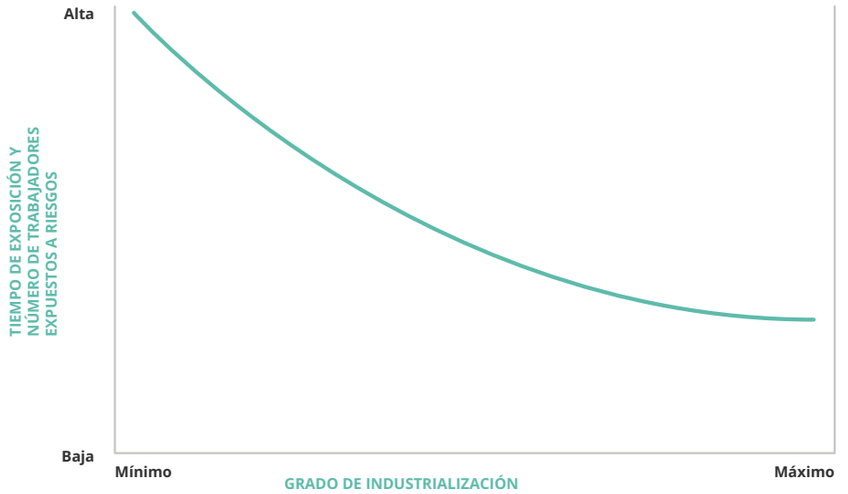


Tabla 4.10.6. Curva de influencia del Grado de industrialización en el tiempo de exposición y número de trabajadores/as expuestos a riesgos. Fuente: Elaboración propia.

En resumen, aunque la **construcción industrializada** no elimina por completo los riesgos en las etapas posteriores en obra, **reduce el tiempo de exposición y el número de trabajadoras/es afectadas/os**. Esta naturaleza controlada y sistemática de los métodos industrializados contribuye de manera significativa a establecer un entorno de trabajo más seguro, demostrando ser un **avance crucial** en la mejora continua de las condiciones de seguridad laboral en la industria de la construcción.

Cambios en la Fuerza Laboral: Competencias, Polivalencia y Centralización de la Producción

Porcentaje de Contratos según nivel de estudios 2023



TABLA 4.10.7. Distribución de contratos según nivel de estudios año 2023. (Datos SEPE)

Según los datos estatales del año 2023, la construcción parece ser más accesible para aquellos con educación básica o ninguna, mientras que la industria muestra una mayor demanda de educación formal, especialmente secundaria y técnica profesional. Estas tendencias pueden ser reflejo de las habilidades y conocimientos requeridos en cada sector y de los ámbitos de contratación. Aun así, el sector de la construcción enfrenta desafíos notables en la contratación de trabajadoras/es con las competencias necesarias, una situación que repercute en la calidad, la eficiencia y la seguridad en el ámbito laboral.

Nuñez y Prieto (2024) analizan cómo la **falta de habilidades adecuadas** (under-skilling) de las/los trabajadoras/es para el desarrollo de su trabajo impacta en la seguridad laboral. Este estudio revela que las personas con habilidades insuficientes sufren más accidentes y tienen periodos más largos de baja por enfermedad. Además, explora cómo las respuestas organizativas a la falta de habilidades, como la formación en el puesto de trabajo, el trabajo en equipo y la provisión de información de seguridad, pueden atenuar la relación entre la falta de habilidades y los accidentes laborales.

En la construcción tradicional, los procesos de selección de personal suelen ser informales y basados en las necesidades a corto plazo (Lockyer y Scholarios, 2007), especialmente en las actividades intensivas en mano de obra. En estos contextos, donde la labor humana predomina sobre el uso de maquinaria avanzada o tecnología, existe una mayor probabilidad de contratar a trabajadores/as que no disponen de las habilidades o la experiencia requeridas. En contraposición a este modelo, la industria de **la construcción industrializada adopta enfoques más estructurados y exigentes en la selección de personal**. Esta rigurosidad asegura que las/los trabajadoras/es estén mejor preparadas/os y capacitadas/os para cumplir con las demandas tecnológicas del sector.

La demanda de trabajadoras/es con habilidades técnicas específicas hace que las empresas prefieran mantener internamente ciertas funciones que antes podrían haber sido subcontratadas. En lugar de depender de empresas proveedoras externas para determinadas tareas o procesos, las empresas pueden invertir en el desarrollo de su propia fuerza laboral, lo que les permite tener un mayor control sobre la calidad y la eficiencia de sus operaciones. Esto impulsa la retención de trabajadoras/es competentes y programas de formación continua y especializada. Además, fomenta la creación de colaboraciones a largo plazo que faciliten la capacitación de las/os trabajadoras/es en procesos especializados, siendo especialmente beneficioso para pequeñas empresas subcontratistas ya que contribuye a superar las limitaciones de sus propios recursos y conocimientos. Este enfoque proactivo en la capacitación contribuye significativamente a reducir los accidentes laborales (Nuñez y Prieto, 2024). Las empresas con un capital humano más desarrollado tienden a invertir significativamente en programas de seguridad y protección (Nuñez y Prieto, 2019).

En la construcción industrializada, los equipos de trabajo se benefician de estar compuestos por trabajadoras/es polivalentes, capaces de desempeñar diversas funciones con competencia (Arashpour et al., 2018). Esta polivalencia no solo optimiza la eficiencia del proyecto, sino que también fomenta un ambiente laboral más seguro y productivo. La capacidad de las/los trabajadoras/es para realizar múltiples tareas reduce la dependencia de subcontratistas externos y la necesidad de introducir constantemente nuevas trabajadoras/es al sitio, lo que a su vez estabiliza el entorno laboral y disminuye la probabilidad de accidentes (Nuñez y Prieto, 2024).

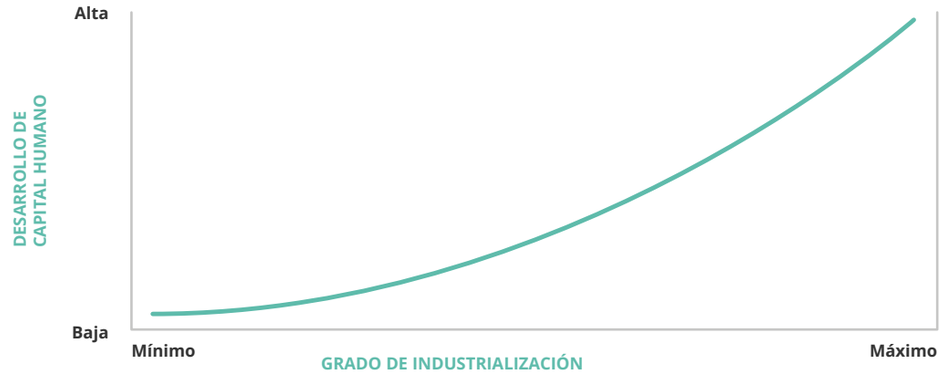


FIGURA 8. Curva de influencia del Grado de industrialización en el desarrollo de capital humano. Fuente: Elaboración propia.

El concepto de "**Desarrollo de Capital Humano**" es crucial y multidimensional en el contexto de la construcción industrializada. Se refiere al enriquecimiento progresivo de las competencias, habilidades y conocimientos de la fuerza laboral en paralelo con la evolución tecnológica y los métodos avanzados de producción. Este desarrollo es esencial ya que la industrialización en la construcción no solo demanda una mano de obra más instruida y adaptativa, sino que contribuye a su propio desarrollo, mediante una inversión continua en formación y desarrollo profesional, asegurando que las trabajadoras/es estén preparados para adaptarse a las exigencias futuras del sector.

La construcción industrializada no solo demanda una fuerza laboral más instruida y adaptativa, sino que también impulsa su desarrollo continuo a través de inversiones significativas en formación y desarrollo profesional. Este enfoque no solo prepara a las trabajadoras/es para enfrentar las exigencias futuras del sector, sino que también establece un modelo de operaciones más seguro y eficiente. Al implementar procesos de selección rigurosos y fomentar la polivalencia laboral, se mejora significativamente tanto la seguridad como la calidad del trabajo realizado, abordando directamente los desafíos planteados por la escasez de trabajadoras/es cualificadas/os.

Cambios en Trabajos Intensivos en Mano de Obra: hacia la Digitalización y Automatización

El hecho de que una actividad sea intensiva en mano de obra puede tener un impacto significativo en la siniestralidad laboral. En entornos como la construcción convencional, las/os trabajadoras/es están sujetos a labores físicamente exigentes que aumentan el riesgo de lesiones. Tareas como levantar cargas pesadas, trabajar en espacios confinados y realizar movimientos repetitivos no solo conducen a un desgaste físico inmediato, sino también a lesiones a largo plazo. La falta de automatización y dependencia de procesos manuales en la construcción tradicional magnifican estos riesgos, colocando a las trabajadoras/es en situaciones donde la fatiga, el error humano y la exposición a condiciones peligrosas son comunes.

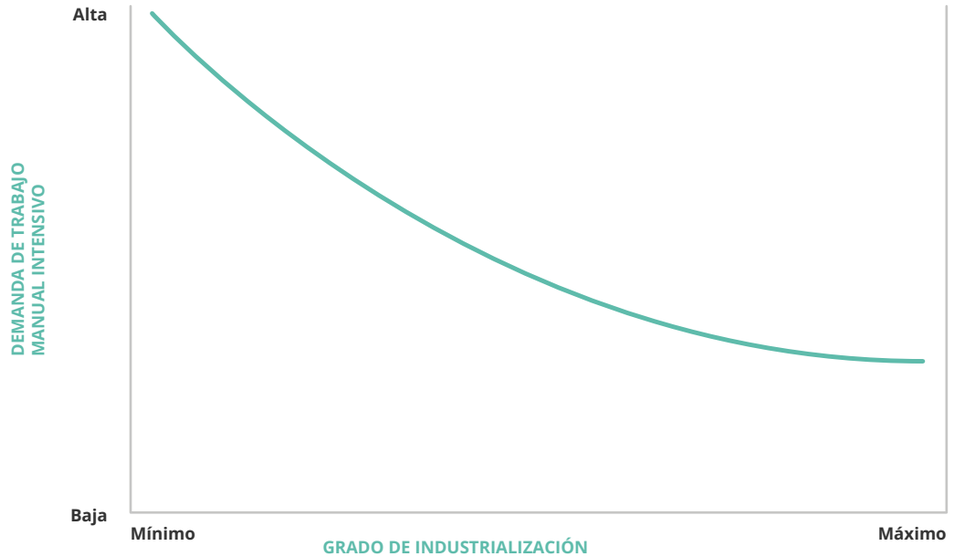


Tabla 4.10.9. Curva de influencia del Grado de industrialización en la demanda de trabajo manual intensivo. Fuente: Elaboración propia.

Estandarización de tareas

La industrialización de la construcción se presenta como una solución potencial para estos desafíos. Mediante la estandarización de procesos y productos, y la centralización de la producción, la posibilidad de errores humanos, la improvisación y accidentes se reduce. Los procedimientos estandarizados permiten la repetición y familiarización con las tareas, lo que **facilita la identificación y mitigación de riesgos**. La previsibilidad de las tareas y un entorno de trabajo no dinámico o menos dinámico contribuyen a un control más riguroso y a la posibilidad de supervisión directa, tanto en la fábrica como en el sitio de construcción. Esto mejora la coordinación y comunicación entre equipos, llevando a un ambiente laboral más seguro y eficiente.

Digitalización

La digitalización juega un papel crucial en este proceso, permitiendo la introducción de tecnologías como el Modelado de Información del Edificio (BIM) y la realidad virtual (VR). Estas herramientas **mejoran la colaboración y coordinación** durante la fase de proyecto, y permiten integrar la prevención de riesgos desde el diseño hasta la ejecución.

En el estudio realizado por Zhang et al. (2015) se centra en cómo el Modelado de Información de Edificación (BIM) puede mejorar la planificación de la seguridad en la construcción, particularmente en la identificación y prevención de riesgos de caídas. Los autores describen el desarrollo y la prueba de un marco que integra algoritmos automáticos de verificación de reglas de seguridad en BIM. Utilizando casos de estudio en Finlandia, el artículo explica cómo estos sistemas automatizados pueden detectar de forma temprana riesgos de caídas en la fase de planificación de un proyecto de construcción, contrastando métodos manuales con automatizados para modelar sistemas de protección contra caídas.

El Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) aborda en profundidad cómo la **metodología (BIM)** puede integrarse en las diferentes etapas del ciclo de vida de una construcción para mejorar la prevención de riesgos laborales (PRL) en la guía **"Metodología BIM: oportunidades para integrar la PRL a lo largo del ciclo de vida de una construcción"** La metodología BIM ofrece múltiples ventajas en la prevención de riesgos en la construcción, destacándose por permitir la identificación temprana de riesgos ya desde las fases de diseño, mejorando significativamente la comunicación y la documentación entre todos las personas involucradas gracias a la centralización de información. Además, facilita la visualización tridimensional y la simulación del proyecto, lo que es clave para detectar y planificar preventivamente frente a posibles problemas de seguridad. La constante actualización y mantenimiento de registros detallados que permite BIM aseguran el cumplimiento de las normativas de seguridad y optimizan el seguimiento y evaluación de las medidas preventivas.

La metodología BIM es una herramienta esencial para la capacitación del personal, proporcionando simulaciones y modelos que ayudan a las/os trabajadoras/es a comprender mejor los riesgos y las medidas de seguridad antes de iniciar la labor en el sitio.

Robotización

La robotización lleva esta transformación un paso más allá. En la construcción offsite, se pueden introducir tecnologías robóticas y sistemas asistidos tanto en la fábrica como en el lugar de construcción, lo que **mejora la ergonomía y la seguridad**. Estos incluyen desde robots que manejan materiales pesados hasta exoesqueletos que soportan a las trabajadoras y los trabajadores en tareas exigentes, reduciendo la fatiga y los riesgos de lesiones crónicas.comunicación entre equipos, llevando a un ambiente laboral más seguro y eficiente.

Tecnologías de seguridad avanzadas

La construcción industrializada mejora la implementación de tecnologías de seguridad avanzadas. Es más factible integrar **sistemas de monitoreo, detección de riesgos y dispositivos de seguridad automatizados**, aumentando significativamente su efectividad. Los sistemas de monitoreo utilizan cámaras y sensores para detectar situaciones peligrosas, como el acercamiento indebido a maquinaria peligrosa o condiciones ambientales inseguras. La inteligencia artificial analiza estos datos para prever y alertar sobre riesgos potenciales.

Cambios en la Integración de Proyectos: superando desajustes entre Diseño y Ejecución

La construcción convencional frecuentemente presenta una clara división entre las fases de diseño y ejecución. En este modelo, es común que las personas encargadas de la coordinación en materia de seguridad y salud no coincidan, lo que puede llevar a discrepancias y falta de uniformidad en los criterios de seguridad aplicados. Además, l**os proyectos se diseñan sin una consideración exhaustiva de las capacidades y procedimientos técnicos de la ejecución de la obra**, ya que, usualmente, la constructora se incorpora en una etapa posterior. Esta desconexión puede resultar en una falta de definición y detalle en algunos proyectos, lo que eleva los riesgos de seguridad. Además, la indefinición de procesos y la falta de claridad en determinados detalles del proyecto, puede conducir a interpretaciones erróneas y a la necesidad de improvisación en el sitio de construcción (Goh y Loosemore, 2017), factores que incrementan considerablemente los riesgos de seguridad.

En este sentido, numerosos estudios han encontrado una relación directa entre las decisiones de diseño tomadas durante la fase de proyecto y la seguridad laboral durante la ejecución de las obras. Por ejemplo, el informe Lorent (1991) y otras investigaciones internacionales han demostrado que una parte significativa de los accidentes en obras de construcción podría haberse evitado si se hubieran implementado medidas de seguridad desde la etapa de diseño (Lorent, 1991; Behm,2005; Arévalo, 2013). Arévalo, C. (2013) proporciona una visión general de la relación entre la integración de la prevención en el diseño de obras de construcción y la siniestralidad laboral, así como un análisis de la regulación normativa y el desarrollo internacional en este campo. Estudios realizados en el Europa, Australia y EE. UU. indican que **entre el 30% y el 60% de los accidentes graves y mortales podrían haberse prevenido mediante mejoras en el diseño de la obra** (Behm, 2005; Driscoll et al,2008; Lorent, 1991). Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar la seguridad desde el inicio del proyecto. Una adecuada planificación durante la etapa de diseño puede prevenir una cantidad considerable de accidentes. Por tanto, Integrar la prevención de riesgos desde la fase de diseño emerge como una estrategia fundamental para mejorar la seguridad laboral y reducir la incidencia de accidentes en obras de construcción (Hinze y Wiegand, 1992; Toole y Gambatese, 2008).

En contraposición a este enfoque tradicional, la construcción industrializada debe integrar el diseño del proyecto con las capacidades de fabricación desde el principio, lo que requiere una colaboración estrecha y continua entre proyectistas, fabricantes, responsables de seguridad y clientes. Esta interdependencia asegura que el diseño esté completamente alineado con las capacidades técnicas de producción, lo que provoca una coordinación y una comunicación constante. Este modelo no solo promueve la innovación y la eficiencia, mejorando así la satisfacción del cliente, sino que fomenta la **integración la seguridad** de los proyectos.

Este enfoque integrado de la construcción industrializada permite abordar proactivamente los riesgos de seguridad que podrían surgir durante la fabricación y la instalación. Al anticipar y solucionar problemas desde la fase de diseño, se evitan las complicaciones que comúnmente emergen en la construcción tradicional debido a la falta de preparación y a la necesidad de cambios o adaptaciones de última hora que pueden suponer un coste elevado en este tipo de construcción. Además, al asegurar que todos los componentes del proyecto se fabrican bajo estándares de calidad controlados y predefinidos, se minimiza el potencial de la improvisación y se mejora significativamente la seguridad en el sitio de construcción.

Herramienta para integración de la seguridad y salud en fase de proyecto: adecuación a la construcción off site

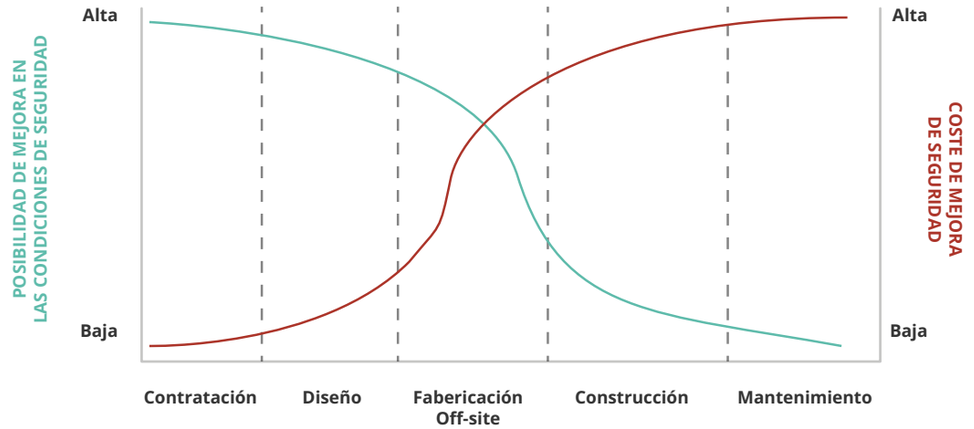


TABLA 4.10.9. Curva de Influencia: Seguridad del trabajo en función del avance del proceso en construcción off-site. Adaptada Szymberski (1997) e (INSHT, 2018)

El Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (2018) indica que la influencia que se puede ejercer en la prevención de riesgos laborales disminuye significativamente a medida que nos alejamos de la fase de diseño y nos acercamos a la de ejecución, como se ilustra en la curva de influencia en la seguridad a lo largo del ciclo de vida de un proyecto propuesta por Szymberski (1997) y adaptada a las fases de un proyecto de construcción industrializada, recogido en la Figura 10. Además, propone un sistema para la integración basado en las técnicas de **Prevención a través del diseño (PtD)** originadas en el sector industrial y aplicadas por los países anglosajones en el sector de la construcción. Estas herramientas se enfocan en identificar y aplicar medidas preventivas durante la fase de diseño de una actividad. El estándar ANSI/AIHA Occupational Health and Safety Management Systems Z10-2012, define seis niveles de prioridad al diseñar un proceso, equipo o lugar de trabajo que permiten una correcta integración de la seguridad. La versatilidad de esta herramienta permite su aplicación tanto en la construcción tradicional como en la industrializada, permitiendo en esta última tipología la integración de la prevención tanto en los trabajos de fabricación fuera de la obra, como en los trabajos posteriores de ejecución y ensamblaje en obra, extendiendo su alcance a los trabajos posteriores de mantenimiento en ambos casos.

En la tabla 4.10.10 se propone una adaptación a la construcción industrializada para poder ver la amplitud de opciones que nos ofrece esta **sistemática en la integración de la seguridad** en el proyecto. En la toma de decisiones durante la etapa de diseño, la máxima prioridad recae en identificar y eliminar por completo los riesgos laborales, mediante la industrialización no sólo podemos eliminar los riesgos mediante una solución en el producto final, sino que podemos eliminarlos transfiriendo la producción a la fábrica. Para ilustrar este caso podemos poner como ejemplo los riesgos de caída de distinto nivel producidos por el diseño de terrazas en el edificio. La construcción modular en fábrica permite que trabajos en terrazas como impermeabilización y solado se realicen sin riesgo de caídas a distinto nivel frente a la construcción in situ con riesgos graves de caída desde altura. Es decir, no sería necesario la eliminación de terrazas en el edificio acabado para eliminar los riesgos en dichas tareas.

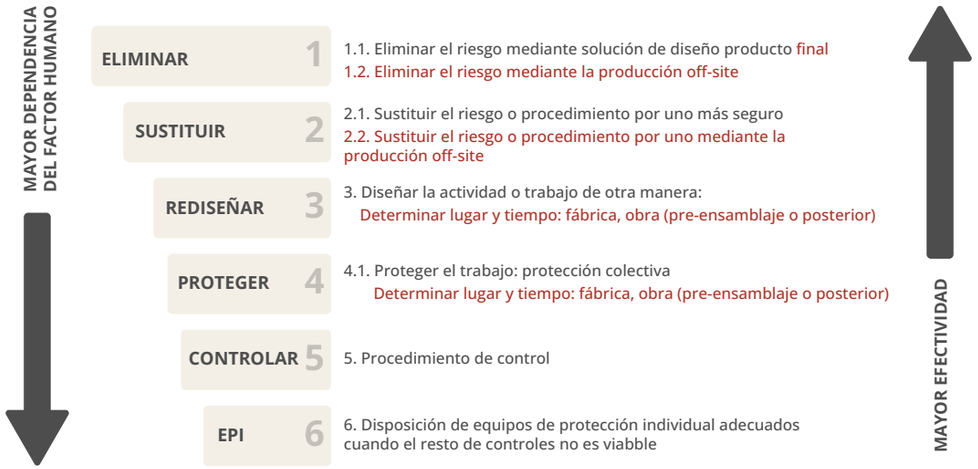


Tabla 4.10.10. Jerarquía de Controles adaptada a la Construcción Industrializada: Prioridades de actuación preventiva en la toma de decisiones en la etapa de diseño. Fuente: Adaptado Nota Técnica de Prevención 1.126 (INSST, 2018).

Cuando no es posible eliminar completamente los riesgos, la siguiente prioridad es sustituir el riesgo generado o el procedimiento de trabajo por uno más seguro. Siguiendo con el ejemplo anterior, si instalamos la iluminación en las terrazas durante la fase de prefabricación, las/os trabajadoras/es pueden realizar esta tarea con un riesgo de caída desde menor altura, posiblemente menor de dos metros aumentando la seguridad.

Diseñar la actividad de otra forma conlleva una visión más allá de la obra pudiendo distribuir las actividades en ambos centros de trabajo por ejemplo la colocación de vidrios de ventanas en la construcción modular en la propia fábrica o la colocación de las barandillas de terraza en la propia obra previamente al ensamblaje en cota 0, evitando defectos causados por el transporte, pero reduciendo los riesgos al determinar el momento de montaje en función de la prevención. La colocación de protecciones colectivas conllevaría un proceso similar definiendo las medidas que pueden ser implementadas o montadas desde fábrica y en obra, previamente al montaje o ensamblaje de componentes industrializados o posteriormente, como por ejemplo protecciones de borde o incluso elementos derivados de la última prioridad puntos de anclaje para uso de Equipos de Protección Individual (EPIs).

Mientras que la construcción convencional puede estar en ocasiones plagada de incertidumbres y riesgos de seguridad por la falta de integración temprana de la empresa contratista y por la posible indeterminación en los detalles del proyecto, la construcción industrializada ofrece un marco de trabajo donde la seguridad y la eficiencia son mejoradas sustancialmente a través de una planificación y colaboración tempranas y efectivas. Este enfoque no solo asegura la integridad proyectos más sostenibles y exitosos, sino que también facilita la integración de la prevención de forma efectiva desde fases iniciales del proyecto.

Conclusiones

En resumen, **la construcción industrializada ofrece una serie de beneficios que pueden mejorar significativamente la seguridad de las/os trabajadoras/es en comparación con los métodos de construcción tradicionales**. Al trasladar parte del proceso de construcción a entornos controlados y estandarizados, se reducen los riesgos y se crea un entorno de trabajo más seguro y predecible para las personas empleadas y se reducen riesgos y tiempo de exposición en la obra.

La construcción industrializada ofrece la oportunidad de mitigar muchos de los riesgos asociados con la subcontratación en la construcción tradicional al centralizar la producción, estandarizar procesos y por la alta definición requerida en el proyecto.

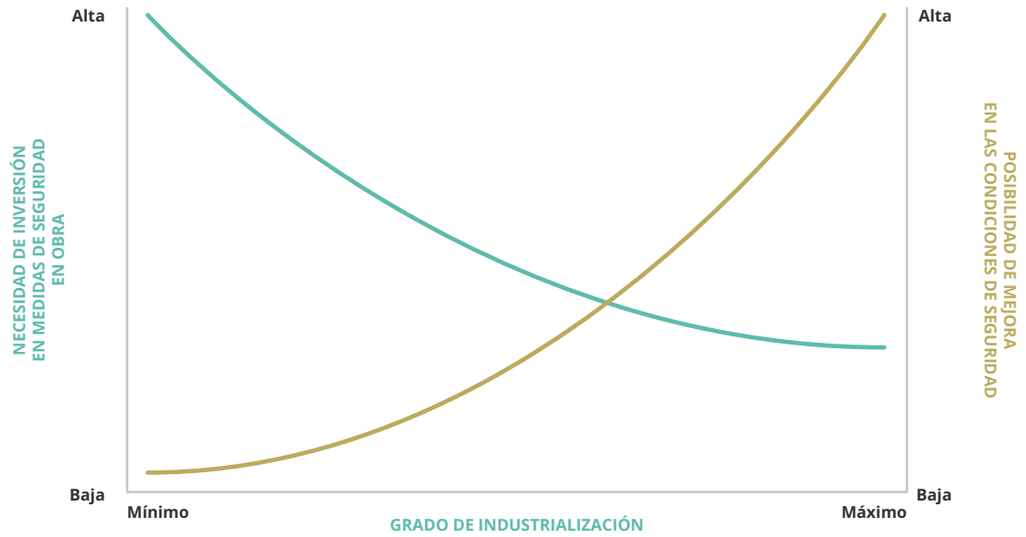


Tabla 4.10. Influencia del Grado de Industrialización en la posibilidad de necesidad de medidas preventivas en obra y en la posibilidad de mejora de las condiciones de seguridad. FUENTE: Elaboración propia.

4.10.2 Inclusión. Equidad de género

4.10.2.1 PERSISTENCIA Y DESAFÍOS DE LA BRECHA DE GÉNERO EN LA CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL

El sector de la **construcción**, tradicionalmente percibido y caracterizado por su naturaleza intensiva en mano de obra y por entornos de trabajo físicamente exigentes, **se ha mantenido a lo largo de los años como un ámbito predominantemente masculinizado**. Esto se evidencia en la composición de su fuerza laboral, donde la presencia femenina ha sido históricamente mínima.

Los datos del año 2023, proporcionados por el Observatorio Industrial de la Construcción, reflejan esta realidad, mostrando que, a pesar de los avances significativos en la incorporación de **mujeres** al sector, aún **representan un 11.2% del total de las personas asalariadas del sector**.

Evolución de las mujeres afiliadas a la Construcción

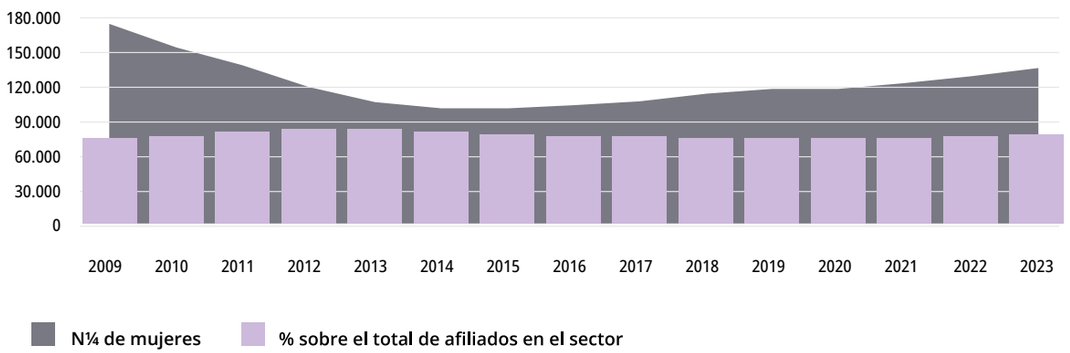


Tabla 4.11. Evolución de las mujeres afiliadas a la construcción. Fuente: Observatorio Industrial de la Construcción (2023)

A pesar de las fluctuaciones, hay una tendencia positiva en la afiliación de las mujeres al sector de la construcción en términos de números absolutos y la proporción de mujeres dentro del sector ha mostrado estabilidad en la última década, con un leve incremento en los últimos años. Sin embargo, su actividad se centra en trabajos perfil administrativo 50,2% y **sólo suponen el 0,8 % de la población que trabaja a pie de obra** (Observatorio de la Construcción, 2023).

Esta baja participación femenina en trabajos a pie de obra es debido a un fenómeno multifacético influenciado por dinámicas sociales y culturales arraigadas. Según el exhaustivo estudio editado por Emakunde **"La ausencia de las mujeres en el sector de la construcción en los trabajos a pie de obra" (Alonso, 2022)** entre las posibles causas se encuentran:

Estereotipos de género
Los roles tradicionalmente asignados a hombres y mujeres influencian la elección profesional desde una edad temprana, desincentivando a las mujeres a ingresar en campos dominados por hombres.

Discriminación laboral
La segregación ocupacional se mantiene por prejuicios sobre la capacidad de las mujeres para realizar trabajos físicos, lo que puede influir en las decisiones de contratación y ascenso profesional.

Factores educativos
Desde el sistema educativo y en el entorno familiar, se incentiva poco o nada a las mujeres a explorar oportunidades laborales en la construcción, lo que perpetúa la brecha de género.

Falta de referentes femeninos
La escasez de mujeres en posiciones visibles dentro de los trabajos manuales en la construcción refuerza la percepción de que no es un ámbito apropiado para ellas.

Retos para la conciliación
La percepción de que es más difícil equilibrar la vida laboral y personal en trabajos de construcción puede ser un obstáculo para que las mujeres busquen empleo en este sector.

Imagen del sector
La construcción aún se asocia con fuerza bruta, suciedad y un ambiente de trabajo poco acogedor para las mujeres, lo que desalienta su participación.

Barreras de acceso y condiciones laborales
Las prácticas de selección y las condiciones de trabajo en la construcción a menudo no están adaptadas para fomentar la inclusión femenina.

La industrialización del sector de la construcción, especialmente a través de enfoques como la construcción modular, por su alto grado de industrialización, tiene el potencial de mejorar significativamente la inclusión de las mujeres en el sector, disminuyendo el efecto de alguna de las causas planteadas.

4.10.2.2 LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA: UN CAMINO HACIA UNA MAYOR INCLUSIÓN

Según los "Principales indicadores estadísticos de igualdad" del Ministerio de Igualdad (2024), basados en la Encuesta de Población Activa (EPA), la representación de las mujeres trabajadoras en la industria manufacturera en el año 2023 (T4 28,3%), aun siendo bajo, es tres veces mayor que en el sector de la construcción 2023 (T4 9,00%). Este dato revela que **las estrategias empleadas en la manufactura y las características inherentes a este sector resultan ser más efectivas, facilitadoras o atractivas para la inclusión** femenina en comparación con las prácticas actuales en la construcción.

Ocupados por sexo y rama de actividad. Valores absolutos y porcentajes respecto del total de cada sexo
Encuesta de Población Activa (EPA), Rama de actividad CNAE 2009, Mujeres, Valor absoluto

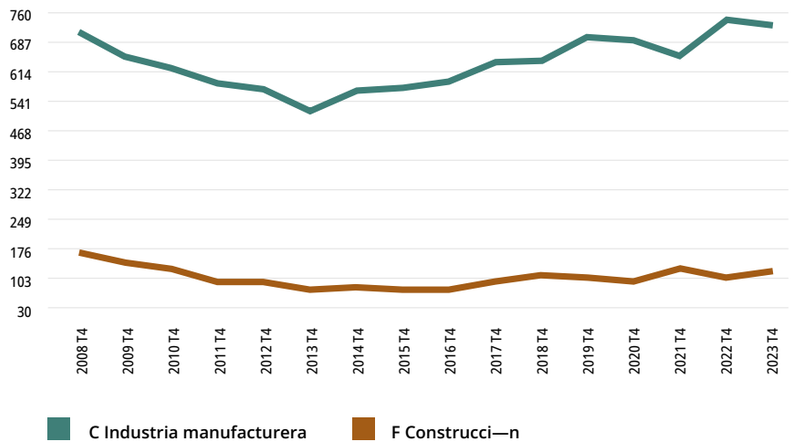


Tabla 4.12. Comparativa de mujeres trabajadores ocupadas en valores absolutos en los sectores de la Construcción y la Industria Manufacturera. Fuente: Instituto Nacional de Estadística

La mayor **automatización** y el uso de **tecnologías avanzadas** en la construcción industrializada son atractivos para un grupo más amplio y diverso de trabajadores. En este sentido, Salaheen et al. (2024) exploran cómo la Cuarta Revolución Industrial (IR 4.0) influye en la carrera de las mujeres en la industria de la construcción. La investigación destaca las barreras principales que enfrentan las mujeres en este sector y evalúa tecnologías de IR 4.0 como la modelación de información de construcción (BIM), la realidad aumentada (AR), la realidad virtual (VR) entre otros, en su capacidad para superar estas barreras. Los hallazgos indican que estas tecnologías pueden abordar efectivamente varios de los desafíos enfrentados por las mujeres en la construcción, destacando su potencial para mejorar las condiciones laborales y fomentar una mayor inclusión de género en la industria, aunque se deban producir cambios más profundos en otros aspectos arraigados en la construcción tradicional.

En este sentido, Fagbenro et al. (2023) destacan que la construcción prefabricada tiene un **potencial significativo para mejorar la inclusión** en el sector de la construcción. Aunque el enfoque principal del estudio es la salud mental, los beneficios que aporta la construcción modular también implican un entorno laboral más inclusivo. La reducción de estresores y la mejora de las condiciones laborales pueden atraer a un mayor número de trabajadoras/es.

Los entornos de fábrica permiten **horarios de trabajo** más regulares y predecibles, así como controlables, en contraste con los posibles horarios prolongados en las obras de construcción. Esta flexibilidad es especialmente beneficiosa para que las personas trabajadoras puedan equilibrar responsabilidades laborales con las personales. Además, la industrialización puede ayudar a redefinir el sector de la construcción, alejándolo de la imagen de dominio masculino y enfocándose en roles que son físicamente menos exigentes y más centrados en la tecnología y manufactura, incrementándose más la necesidad de habilidades de precisión y planificación que de la fuerza física, lo cual puede convertirlo en un sector que ofrezca más oportunidades de empleos más cualificados y programas de formación continua.

Es decir, **la construcción industrializada supone una ocasión excelente para abordar las barreras de género tradicionales y promover una mayor inclusión de mujeres en el sector.** Con enfoques centrados en la seguridad, flexibilidad, capacitación y tecnología, será posible atraer y retener a más mujeres en la industria de la construcción, enriqueciendo el sector con una diversidad de perspectivas y habilidades. No obstante, aunque se han dado pasos significativos, las mujeres en la construcción aún se enfrentan a desafíos considerables, como la discriminación persistente, el acoso y las barreras culturales que limitan su pleno acceso y progreso en la industria. Se **requiere un esfuerzo continuo y coordinado** de todos los actores del sector, incluyendo políticas públicas, iniciativas de las empresas y el compromiso de toda la comunidad laboral, para asegurar que estos esfuerzos resulten en un cambio duradero y significativo. Solo a través de un enfoque sostenido y multifacético se podrá lograr una verdadera inclusión y equidad de género en la construcción industrializada.

4.10.3 Análisis de las propuestas para el proyecto piloto (fase 2): SOPELA-ASU 33VPOa

4.10.3.1 INTEGRACIÓN DE LA PREVENCIÓN EN EL DIÁLOGO COMPETITIVO 33 VPOA SOPELA-ASU

El diseño de la estrategia de licitación del Diálogo Competitivo para el proyecto y la construcción de las 33 VPO en Sopela-Asu ha incorporado **importantes innovaciones que responden a la necesidad de integrar la prevención de riesgos laborales no solo desde la fase de diseño, sino también durante la evaluación de las ofertas presentadas.**

Incorporación de la figura del Coordinador/a de Seguridad y Salud en fases previas a la contratación.

Para promover la seguridad y la prevención de riesgos laborales de manera proactiva, es clave **la incorporación del coordinador/a de seguridad y salud desde la etapa inicial de selección de la empresa adjudicataria**. Esta estrategia refleja un compromiso serio con la **seguridad laboral como elemento esencial** en todas las fases del proyecto, incluyendo la licitación y adjudicación

Dentro de la **solvencia técnica exigida**, se definieron **competencias más allá de las exigidas por normativa**, que pudiesen garantizar los conocimientos necesarios en la materia mediante la exigencia de **conocimientos preventivos avanzados**, exigiendo la titulación de técnico/a superior en prevención de riesgos laborales, y el curso de "Coordinador/a de Seguridad y Salud en obras de construcción" propuesto por el INSST en la guía de desarrollo del Real Decreto 1627/97, así como contar con **experiencia** tanto en obras de edificación como en industrializadas.

Sub-fase	Función	Descripción
1ª Sub-fase de diálogo	Elaboración de Consideraciones Específicas de Prevención	Desarrollar un documento con recomendaciones y consideraciones de seguridad específicas para los sistemas industrializados de la construcción, asegurando la integración de medidas preventivas.
	Asistencia a Reuniones de Diálogo Competitivo	Participar en reuniones con los licitadores, para aportar mejoras de seguridad en las propuestas presentadas.
	Elaboración de un Informe Valorativo de las Propuestas Definitivas	Crear un informe que evalúe la adecuación de las propuestas finales a la normativa de seguridad y salud, describiendo el grado de industrialización de las medidas preventivas.
2ª Sub-fase de negociación	Asistencia a reuniones y presentación del Informe Valorativo de las Propuestas Definitivas	Participar en reuniones con los licitadores, para aportar mejoras de seguridad en las propuestas presentadas.

Tabla 4.12. Funciones del Coordinador/a de Seguridad y Salud

Estas funciones resaltan la importancia de una participación activa y temprana del coordinador/a de seguridad y salud en el proceso de contratación, asegurando que **la prevención de riesgos laborales no sea una consideración posterior, sino un componente integrado y fundamental del proyecto desde su inicio.**

Para evaluar las propuestas finales en el contexto del diálogo competitivo, se facilitó al Coordinador/a de Seguridad y Salud unos puntos de análisis orientativos con un enfoque estructurado que contempla varios criterios clave:

Propuesta Técnica
Evaluar si las medidas de seguridad están bien integradas y si se proponen mejoras significativas para la ejecución y el mantenimiento.

Propuesta Arquitectónica
Foco en cómo la propuesta de arquitectura o industrialización afecta la seguridad, especialmente en procedimientos de trabajo que puedan ser únicos o innovadores.

Organización y Planificación de Obras
Revisar el plan de obra para identificar posibles conflictos o desafíos preventivos, incluyendo la logística que podría afectar la seguridad.

Grado de Industrialización
Valorar cómo la introducción de procesos industrializados puede reducir riesgos, incluyendo la implementación anticipada de protecciones colectivas, que pueden ser diseñadas y fabricadas para ser instaladas de forma más segura y eficiente.

Este marco de evaluación asegura que cada propuesta se examine exhaustivamente desde múltiples aspectos de seguridad y salud, proporcionando una base sólida para tomar decisiones informadas y seleccionar la propuesta que ofrezca la mejor relación calidad-precio mientras se maximiza la seguridad en el proyecto.

Área de evaluación	Puntos de análisis
1. Propuesta Técnica, Planificación y Otros	a. Análisis de las disposiciones de seguridad integradas en el diseño para la ejecución de obra y mantenimiento posterior.
	b. Evaluación de mejoras propuestas en medidas de seguridad y consideraciones para la seguridad en trabajos de mantenimiento.
1.A. Propuesta Arquitectónica o de Industrialización	a. Evaluación del grado de seguridad en los procedimientos de trabajo específicos definidos en la propuesta.
1.B. Organización y Planificación de Obras	a. Detección de incompatibilidades preventivas en la planificación propuesta, considerando la logística de medios auxiliares de obra.
2. Grado de Industrialización	a. Análisis de cómo los procesos industrializados propuestos contribuyen a mejorar la seguridad y salud.
	b. Identificación de medidas preventivas no incluidas en la oferta que deberían considerarse en las fases de industrialización propuestas y detección de posibles incompatibilidades con la seguridad durante la ejecución o disposición en obra.
	c. Evaluación de la posible industrialización de protecciones colectivas y su seriación.

Tabla 4.13. Evaluación de Propuestas en el Diálogo Competitivo (sustituye a la lista de arriba)

Integración de la prevención en fase de proyecto

Como se ha mencionado anteriormente, la integración de la prevención de riesgos en la fase de proyecto es un aspecto fundamental para la eliminación y mitigación de riesgos desde el mismo diseño del proyecto, lo cual contribuye significativamente a la reducción de accidentes en el sitio de construcción. Por esta razón, una vez finalizado el diálogo competitivo, al coordinador/a de seguridad y salud se le atribuyen responsabilidades críticas que incluyen la coordinación de la aplicación de principios generales de prevención en la elaboración del proyecto y la redacción del Estudio de Seguridad y Salud. Estas tareas son esenciales para garantizar que todas las medidas preventivas se implementen de manera efectiva, asegurando un entorno de trabajo seguro para todas las trabajadoras/es desde el comienzo y a lo largo de toda la ejecución del proyecto. La visión proactiva del coordinador/a en esta etapa inicial es clave para identificar potenciales peligros y trabajar en soluciones innovadoras que integren la seguridad como un elemento esencial del proceso constructivo.

Código	Función	Descripción
B1.01	Coordinación de principios generales de prevención	Coordinar la aplicación de los principios de prevención en la elaboración del proyecto, integrándose en el equipo de proyecto para proporcionar soporte necesario, realizando propuestas en la redacción del proyecto con el objeto de mejorar o garantizar la seguridad de las trabajadoras y trabajadores, incluyendo a los operarios de trabajos posteriores
B1.02	Redacción del Estudio de Seguridad y Salud	Redactar el Estudio de Seguridad y Salud de manera realista y completa, adaptada a las características específicas del proyecto de construcción industrializada.
B1.03	Elaboración de Informe valorativo del Proyecto Edificatorio	Crear un informe evaluando la adecuación del proyecto a los criterios y normativas de seguridad y salud,

Tabla 4.14. Integración de la Prevención en Fase de Proyecto: Tareas asignadas.

4.10.3.2 PROPUESTAS PARA EL DIÁLOGO COMPETITIVO 33 VPOa SOPELA-ASU

El análisis de las propuestas ofertadas resalta el patrón esperado en la industria de la construcción: aquellas **soluciones con un alto grado de industrialización y componentes modulares presentan una menor exposición a riesgos laborales**. Esto se debe a que la prefabricación en un entorno controlado minimiza los escenarios de riesgo comúnmente asociados con la construcción in situ, como es el caso del trabajo en altura.

Por ejemplo, las propuestas que incorporan forjados prefabricados evidencian una reducción en la exposición al riesgo para las/os trabajadoras/es durante las etapas de encofrado, lo que implica un avance significativo en la prevención de accidentes. Del mismo modo, la utilización de escaleras prefabricadas y pilares de sótano preconstruidos continúa esta tendencia hacia una mayor seguridad laboral.

Destaca particularmente la propuesta que introduce módulos de habitación prefabricados, ya que posibilita realizar la mayoría de las labores constructivas dentro de un entorno más seguro y regulado. Este enfoque **no solo es una mejora en términos de seguridad, sino que también refleja una visión progresista de las metodologías constructivas**, donde la seguridad laboral es un pilar central del proceso constructivo.

REFERENCIAS

Álvarez Domínguez, T. (1974). La prefabricación de viviendas en España: una corta experiencia. Cercha, (14), tercer trimestre, pp. 18-22.

IHOBE. (2021). Guía de Construcción Industrializada Sostenible del País Vasco.

N.J. Habraken (1972). Supports: An Alternative to Mass Housing.

Reyes, J.M. (2011). Sistemas de construcción Estándar. Universidad nacional de educación a distancia. Fundación Escuela de la edificación.

Ruiz-Larrea Cangas, C., Prieto, E., & Gómez, A. (2008). Arquitectura, Industria y Sostenibilidad. Informes de la Construcción, 60(512), 35-45.

Ruiz-Larrea Cangas, C., Prieto, E., Gómez, A., & Bugueño, H. (2009). El Proyecto Manubuild: una propuesta de la aplicación de sistemas industrializados a la vivienda colectiva en España. Informes de la Construcción, 61(513), 47-58.

Alimarket. (2023). Informe sobre Sistemas de Construcción Industrializada en España.

Construction Hub UK. (2023). The Value of Platforms in Construction.

Deliotte. (2015). Consumer Review Made to order. The rise of mass personalisation.

Gu, X., & Koren, Y. (2024). Smart Factories for Mass Individualization. Encyclopedia, 4(1), 415-429.

Brandt S. (1999). The Clock of the Long Now.

Girimscheid, G. (2005). Industrialization in building construction: Production technology or management concept?. In *Understanding the Construction Business and Companies in the New Millennium: Proceedings of the 11th Joint Cib International Symposium: Combining Forces-Advancing Facilities Management and Construction through Innovation* (Vol. 1, pp. 427-441). VTT Technical Research Centre of Finland and RIL University of West Indies.

Huang, J., & Krawczyk, R. (2006). Integrating mass customization with prefabricated housing.

Schodek, D., et al. (2009). Digital Fabrications: Architectural and Material Techniques. New York: Princeton Architectural Press.

Habraken, N.J. Soportes: Una alternativa al alojamiento de masas. Barcelona: Ed. Gustavo Gili, 1975.

Robert, Eguchi, T., & Gibb, A. (2010). What is the meaning of adaptability in the building industry.

Schneider, T. y Till, J. Flexible housing: opportunities and limits. Architectural Research Quarterly, 2005a, nº 9.

Brand, S. (1994). How buildings learn: what happens after they’re built. Viking.

Green Growth. (2020). Manual para formadores. La economía circular aplicada al sector de la construcción.

Código Técnico de la Edificación. (2019). “Documento Básico de Seguridad en caso Incendio”. MIVAU.

Código Técnico de la Edificación. (2022). “Documento Básico de Seguridad de Utilización y Accesibilidad”. MIVAU.

Decreto 68/2000, de 11 de abril, por el que se aprueban las normas técnicas sobre condiciones de accesibilidad de los entornos urbanos, espacios públicos, edificaciones y sistemas de información y comunicación.

Decreto 80/2022, de 28 de junio, de regulación de las condiciones mínimas de habitabilidad y normas de diseño de las viviendas y alojamientos dotacionales en la Comunidad Autónoma del País Vasco.

GALARRAGA, P., & VIVES, M. (2023). Diseño y creación de viviendas más accesibles: Documento de recomendaciones. Publicado por Alokabide.

Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

British Standard Institution. BSI. (2019). The role of Standards in offsite construction. A review of existing practice and future need.

Cercha. (2021, febrero). El marcado CE de los productos de construcción. 147, 64-69.

Marcado CE de los productos de construcción (Reglamento (UE) nº 305/2011) ¿Cómo se comprueba? Versión 16, julio 2022. Subdirección General de Calidad y Seguridad Industrial. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.

Salas, J. (1987). Elementos de edificación. Construcción Industrializada y prefabricación. UNED.

Salas Serrano, J., Blázquez, A., de Oteiza San José, I., Monjó Carrió, J., & Vega, L. (2013). Informes de la construcción, 65(531), 275-288.

Salas, J. (2008). De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico. Informes de la Construcción, 60(512), 19-34.

Building and Construction Authority. (2022, abril). Enhancements to Code of Practice on Buildability to accelerate adoption of Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) technologies. Autoridad de Construcción y Edificación de Singapur.

Lu, W., Tan, T., Xu, J., Wang, J., Chen, K., Shang, G., & Xue, F. (2020). Design for Manufacture and Assembly (DfMA) in construction: The old and the new. Architectural Engineering and Design Management.

Rankoki, S., et al. (2013). Developing a Construction-Oriented DfMA Deployment Framework. Buildings, 2013.

Reed, D. (2019). How construction needs to change to reap the benefits of both processes.

AN/UNE-EN 1993-1-1. Referente al Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero.

Anejo Nacional AN/UNE-EN 1995-1-1. Eurocódigo 5.

Canadian CLT Handbook. (2019). Chapter 7: “Vibration Controlled Designs for Mass Timber Floors and Tall Wood Buildings”. FPInnovation.

CTE Código Técnico de la Edificación. (2019). "Documento Básico Seguridad Estructural". Ministerio de Fomento.

CTE Código Técnico de la Edificación. (2019). "Documento Básico Protección frente al ruido". Ministerio de Fomento.

CTE Código Técnico de la Edificación. "Documento Básico Seguridad Estructural – Acero". Texto modificado por RD 1371/2007, de 19 de octubre (BOE 23/10/2007) y corrección de errores (BOE 25/01/2008).

CTE Código Técnico de la Edificación. "Documento Básico Seguridad de utilización y accesibilidad DB-SUA 4 Seguridad frente al riesgo causado por iluminación inadecuada.

CTE Código Técnico de la Edificación. "Guía de aplicación DBHE 2019". Versión de junio de 2022.

Código Estructural. Real Decreto 470/2021, de 29 de junio.

"Design of floors for vibration: a new approach". (2009). Steel Construction Institute (SCI), SCI Publication P354. ISBN 10: 1-85942-176-8.

"Design of timber structures" Vol 1 edition 3. (2022). Swedish Wood.

"Guía de diseño para el análisis de las vibraciones en forjados". (2009). Arcelor Mittal Europe.

Toratti T, Talja A. (2006). Classification of Human Induced Floor Vibrations. Building Acoustics, 13(3), 211-221. doi:10.1260/135101006778605370.

Torres Machí, C. (2008). Análisis y evaluación del confort en las edificaciones a partir de criterios vibratorios. Universidad Politécnica de Valencia.

UNE-EN 1995-1-2:2016. Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera.

Wei, W., Mandin, C., & Wargocki, P. (2021). TAIL categories for dwellings (Proposal v5, 02/04/2021).

Odriozola-Maritorena, M., Hernández-Cruz, P., Flores-Abascal, I., Nicolle, J., & Allard, F. (2020, December 2). The suitability of the TAIL Index in social housing of the Basque Country for the evaluation of the Indoor Environment Quality. Presented at Sala EESAP.

Green Building Council España, 2022. Hoja de Ruta para la descarbonización del sector de la edificación.

Buildings Performance Institute Europe (BPIE). (2022, enero). Implementing the Paris Agreement and reducing greenhouse gas emissions throughout the life cycle of buildings: European Public Policies, tools and market initiatives.

One Click LCA. (2022, octubre). Construction carbon regulations in Europe. Review and best practices.

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) & Arup. (2021, julio). Net-zero buildings. Where do we stand?.

UN Environment Programme. (2022). Informe sobre la situación mundial de los edificios y la construcción en 2022: Hacia un sector de los edificios y la construcción con cero emisiones, eficiente y resistente. Nairobi.

Word Green Building Council. (2021). Status Report 2021.

Kouhirostami, M., & Chini, A. R. (2022). Carbon emissions comparison in modular and site-built residential construction. MOC Summit, University of Florida.

Sullcapuma Morales, M. A. (2023). Modular construction: A sustainable solution for carbon emission reduction in the construction industry. International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology, 8(1), 393-401.

Instituto Nacional de Estadística. (2023). Cuentas medioambientales: Cuentas de residuos. Nota de prensa. INE.

Loizou, L.; Barati, K.; Shen, X.; Li, B. Quantifying Advantages of Modular Construction: Waste Generation. Buildings 2021, 11, 622.

INE Instituto Nacional de Estadística. (2022, 27 de julio). Estadística sobre el Suministro y Saneamiento del Agua. Notas de prensa.

Pomponi, F., & Stephan, A. (2021). Water, energy, and carbon dioxide footprints of the construction sector: A case study on developed and developing economies. Journal of Water Research. Université catholique de Louvain.

Gerbens-Leenes, P.W., Hoekstra, A.Y. & Bosman, R. (2018) The blue and grey water footprint of construction materials: Steel, cement and glass. Water Resources and Industry, 19: 1-12.

Rivero-Camacho, C., & Marrero, M. (2022). Water Footprint of the Life Cycle of Buildings: Case Study in Andalusia, Spain. En J. Ren (Ed.), Advances of Footprint Family for Sustainable Energy and Industrial Systems (pp. 135-161). Springer Nature Switzerland AG.

Wei, W., Mandin, C., & Wargocki, P. (2021). TAIL categories for dwellings.

Odriozola-Maritorena, M., Hernández-Cruz, P., Flores-Abascal, I., Nicolle, J., & Allard, F. (2020). The suitability of the TAIL Index in social housing of the Basque Country for the evaluation of the Indoor Environment Quality.

ALDREN (n.d.). Methodology Note Health Wellbeing.

García Erviti, F., Armengot Paradinas, J., & Ramírez Pacheco, G. M. (2015). El análisis del coste del ciclo de vida como herramienta para la evaluación económica de la edificación sostenible. Estado de la cuestión. *Informes de la Construcción*, 67(537), 1-8.

European Commission. (2020, July 20). Banking on construction materials for eco-benefits. Research and Innovation.

Green Building Council España (GBCe). (2021). Economía circular en la edificación.

Batlle, T., & Pich-Aguilera, F. (2023). Material. Memoria, fabricación, información, proyecto. Ediciones Asimétricas.

Loizou L, Barati K, Shen X, Li B. Quantifying Advantages of Modular Construction: Waste Generation. Buildings. 2021; 11(12):622.

Ahn, S., Crouch, L., Kim, T. W., & Rameezdeen, R. (2020). Comparison of Worker Safety Risks between Onsite and Offsite Construction Methods: A Site Management Perspective. Journal of Construction Engineering and Management, 146(9).

Arashpour, M., Wakefield, R., Abbasi, B., Arashpour, M., & Hosseini, R. (2018). Optimal process integration architectures in off-site construction: Theorizing the use of multi-skilled resources. Architectural Engineering and Design Management, 14(1–2), 46–59.

Arévalo, C. (2013). Integración de la prevención en el diseño de obras de construcción: relación con la siniestralidad laboral, análisis de su regulación normativa, bases conceptuales y desarrollo internacional. Informes de la Construcción, 65(531), 325-334.

Behm, M. (2005). Linking construction fatalities to the design for construction safety concept. Safety Science, 43(8), 589-611.

Court, P. F., Pasquire, C. L., Gibb, A. G. F., & Bower, D. (2009). Modular Assembly with Postponement to Improve Health, Safety, and Productivity in Construction. Practice Periodical on Structural Design and Construction, 14(2), 81.

Driscoll, T. R., Harrison, J. E., Bradley, C., & Newson, R. S. (2008). The role of design issues in work-related fatal injury in Australia. Journal of Safety Research, 39(2), 209-214.

Fagbenro, R. K., Sunindijo, R. Y., Illankoon, C., & Frimpong, S. (2023). Influence of Prefabricated Construction on the Mental Health of Workers: Systematic Review. European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education, 13(2), 345-363.

García Páramo, D., Limón García, E., & Peiteado Peiteado, M. Á. (Coord.). (2023). Metodología BIM: oportunidades para integrar la PRL a lo largo del ciclo de vida de una construcción. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST).

Goh, E., & Loosemore, M. (2017). The impacts of industrialization on construction subcontractors: a resource based view. Construction Management and Economics, 35(5), 288-304.

Hinze, J., & Wiegand, F. (1992). Role of Designers in Construction Worker Safety. Journal of Construction Engineering and Management, 118(4), 677-684.

Nuñez I. & Prieto M. (2019)The effect of human capital on occupational health and safety investment: An empirical analysis of Spanish firms. Human Resource Management Journal, 29 (2019), pp. 131-146.

Jaillon, L., & Poon, C. S. (2008). Sustainable construction aspects of using prefabrication in dense urban environment: A Hong Kong case study. Construction Management and Economics, 26(9), 953-966.

Karthick, S., Kermanshachi, S., Pamidimukkala, A., & Namian, M. (2023). A review of construction workforce health challenges and strategies in extreme weather conditions. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 29(2), 773–784.

Lawson, R. M., Ogden, R. G., & Bergin, R. (2012). Application of Modular Construction in High-Rise Buildings. Journal of Architectural Engineering, 18(2).

Lockyer, C. & Scholarios, D. (2007), "The “rain dance” of selection in construction: rationality as ritual and the logic of informality", Personnel Review, Vol. 36 No. 4, pp. 528-548.

Lorent, P. (1991). From drawing board to building site: working conditions, quality and economic performance, p.64. European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions.

Mohammadi, A., Tavakolan, M., & Khosravi, Y. (2018). Factors influencing safety performance on construction projects: A review. Safety Science, 109, 382-397.

Niciejewska, M., Idzikowski, A., & Škůrková, K.L. (2021). Impact of Technical, Organizational and Human Factors on Accident Rate of Small-Sized Enterprises. Management Systems in Production Engineering, 29, 139 - 144.

Nuñez, I., & Prieto, M. (2024). The impact of skills mismatches on occupational accidents: An analysis of the effectiveness of organizational responses. Safety Science, 170, 106349.

Ozmec, M. N., Karlsen, I. L., Kines, P., Andersen, L. P. S., & Nielsen, K. J. (2014). Negotiating safety practice in small construction companies. Safety Science, 70, 89-96.

Rubio-Romero, J. C., Suárez-Cebador, M., & Abad, J. (2014). Modeling injury rates as a function of industrialized versus on-site construction techniques. Accident Analysis and Prevention, 66, 8-14.

Szymberski, R.T. (1997). Construction project safety planning. Tappi Journal, 80, 69-74.

Toole, T. M., & Gambatese, J. (2008). The trajectories of prevention through design in construction. Journal of Safety Research, 39(2), 225-230.

Zhang, S., Sulankivi, K., Kiviniemi, M., Romo, I., Eastman, C. M., & Teizer, J. (2015). BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. Safety Science, 72, 31-45. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.08.001.

Zimmermann Verdejo, M., & Pinilla García, F. J. Estudio de los sectores económicos en los que se recurre habitualmente a la contratación y subcontratación de obras y servicios. Departamento de Investigación e Información, INSHT. NIPO 792-11-080-8.

ANDECE. (2019). Guías técnicas, Estructuras prefabricadas de hormigón.

ANDECE. (2019). Guías técnicas, Fachadas prefabricadas de hormigón.

ANDECE (2019). El marcado en los productos prefabricados de hormigón estructurales (Versión 11).

ANDECE. (2020). Autodeclaración ambiental de producto para elementos estructurales lineales de hormigón prefabricado.

ANDECE. (2022). Guías técnicas, Forjados prefabricados de hormigón.

Asociación Latinoamericana del Acero. (s.f.). Manual de Ingeniería de Steel Framing.

Basterra Otero, A., López Rodríguez, G., Vallelado, P., García, I., Baño, V., Moltini, G., & Cabrera, G. (2022). Aplicación y difusión de la innovación para la promoción de la construcción en altura con madera en el espacio sudoe. Universidad de Valladolid, Burón, M., & Fenández-Ordoñez, D. (1997).

Burón, M., & Fenández-Ordoñez, D. (1997). Evolución de la prefabricación para la edificación en España. Medio siglo de experiencia. Informes de la Construcción, 48(448).

Building and Construction Authority. (s.f.). Design for Manufacturing and Assembly (DfMA): Connections for Advanced Precast Concrete System.

Canadian Sheet Steel Building Institute. (2005). The Lightweight Steel Frame House Construction Handbook.

Canada Mortgage and Housing Corporation. (2016). Canadian Wood-Frame House Construction.

Canadian Wood Council and Wood Works. (2019). Mid-Rise Best Practice Guide: Proven Construction Techniques for Five-and Six-Storey Wood-Frame Buildings.

European Commission Forestry. European Enviroment (2023) Agency The European biomass puzzle. Challenges, opportunities and trade-offs around biomass production and use in the EU.

Instituto de la Construcción en Seco. (2018). Manual de recomendaciones técnicas para la construcción con estructuras de perfiles de acero galvanizado liviano conformados en frío (Steel Framing).

Knauf. (2021). Sistemas de fachada Knauf AQUAPANEL.

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2021). Código Estructural 2021. Anejo 2. Índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad.

The Steel Construction Institute. (2015). The Light Steel Framing in Residential Construction.

U.S. Department of Housing and Urban Development Office of Policy Development and Research. (2017). Residential Structural Design Guide: A State-of-the-Art Engineering Resource for Light-Frame Homes, Apartments, and Townhouses.

Mass Madera. (2024). Informe 2023-2024: Mass Madera Built by Nature.

- Observatorio Industrial de la Construcción. (2023). Mujeres en el Sector de la Construcción.
- Alonso Méndez, A. (2022). La ausencia de las mujeres en el sector de la construcción en los trabajos a pie de obra. Emakunde - Instituto Vasco de la Mujer.
- Ministerio de Igualdad. (2024). Principales indicadores estadísticos de igualdad. Secretaría de Estado de Igualdad y para la Erradicación de la Violencia contra las Mujeres.
- Al Salaheen, M., Alaloul, W. S., Musarat, M. A., Johari, M. A. B., Alzubi, K. M., & Alawag, A. M. (2024). Women career in construction industry after industrial revolution 4.0 norm. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 10(100277).
- Fagbenro, R. K., Sunindijo, R. Y., Illankoon, C., & Frimpong, S. (2023). Influence of Prefabricated Construction on the Mental Health of Workers: Systematic Review.
- Gavilanes Pérez, C., & Merayo Sánchez, A. (2018). Integración de la PRL en el diseño de obras de construcción (I): fundamentos. Notas Técnicas de Prevención, 1.126. Laneko Segurtasun eta Osasunerako Institutu Nazionala (INSST).



05

Procesos de apoyo a la industrialización

- **5.1.** Financiación y Aseguramiento
  - **5.1.1**. Modelo de Gestión
  - **5.1.2**. Financiación
  - **5.1.3.** Aseguramiento, Garantías y Riesgos
- **5.2.** Contratación Pública
  - **5.2.1**. Metodología colaborativa de trabajo
  - **5.2.2**. Criterios de valoración
- **5.3.** Digitalización
- **5.4.** Innovación. Investigación Aplicada y Formación
- Referencias

5.1 Financiación y Aseguramiento

La construcción industrializada en el ámbito de la vivienda social destinada al alquiler presenta una serie de ventajas económico-financieras, desafíos en la gestión de riesgos y garantías, cambios significativos en las estructuras de financiación y oportunidades en la digitalización del proceso. Su adopción permite reducir los tiempos de ejecución, incrementar la velocidad de rotación del capital circulante y optimizar los costes a lo largo del ciclo de vida del proyecto, desde el diseño hasta el fin de vida, si bien requiere de **adaptaciones en el modelo de financiación y una gestión adecuada de los nuevos riesgos**.

5.1.1 Modelo de Gestión

Reducción de plazos y costes

Como cuestión más evidente, la industrialización de la construcción permite una reducción significativa del plazo ejecución de las obras, lo que comporta un **menor coste de financiación** y una mejor correlación temporal entre la inversión y los ingresos del proyecto. Por otra parte, la industrialización de procesos como estrategia transversal en todas las fases de desarrollo de una promoción puede tener un impacto positivo en la necesaria premisa de optimización de costes en el **ciclo de vida** del proyecto. La mejora en ámbitos como el control de calidad y la estandarización de componentes debe traer consigo un ahorro en costes de posventa, operación y mantenimiento y mayor valor residual del edificio. A su vez, y desde la perspectiva de la vivienda social destinada al alquiler, el ahorro en el ciclo de vida se integra en el **coste total de la inversión** en vivienda social pública, cuyo alquiler protegido a futuro está ligado al proyecto constructivo. El modelo ha de considerar estas variables juntamente con los presupuestos de honorarios técnicos y ejecución propios del proyecto y obra.

Concentración de costes

A diferencia del modelo tradicional, en la construcción industrializada la mayor parte de las actividades productivas se realizan en fábrica y los **costes se concentran en la adquisición de materiales, transformación y fabricación de los componentes** en planta (hasta un 70-80% frente al 30% de la construcción tradicional, según recoge el informe "**La construcción industrializada: palanca para la sostenibilidad y la asequibilidad de la vivienda**" de la fundación ICO. Esta circunstancia conlleva una mayor necesidad de financiación a corto plazo para dar respuesta a esta concentración de costes. Como contrapartida, la mayor rapidez en la construcción permite incorporar los activos a fase de explotación en un plazo menor y poner las viviendas a disposición de las personas demandantes de manera anticipada.

5.1.2 Financiación

Estructura de financiación

La concentración de costes en el proceso de manufactura exige un enfoque renovado de la financiación. Ante la alternativa de que la financiación recaiga en su totalidad en la capacidad de consignación de fondos por parte del promotor o del industrial involucrados en el proyecto, resulta imprescindible que los agentes tradicionalmente responsables de la financiación se sumen al modelo, con las entidades bancarias a la cabeza.

Este **cambio de modelo** requiere un análisis desde el punto de vista financiero que permita la liberación de fondos contra una **monitorización del avance del proyecto en fábrica** y/o contra el cumplimiento total o parcial, en plazo y forma, de los compromisos de entregas por parte del industrial. A este servicio de monitoreo se le denomina Project Monitoring.

En la actualidad se está produciendo un debate sobre cuáles serían los instrumentos financieros más adecuados para hacer frente a las necesidades financieras del nuevo modelo y si se debiera o no modificar o adaptar alguna normativa de las que se aplican para la tradicional financiación vía préstamo promotor (Orden ECO/805/2003, Ley Hipotecaria, LOE...). Este nuevo planteamiento precisará de un significativo **control, monitorización y trazabilidad** de la fabricación de componentes para certificar que los fondos se destinan específicamente al proyecto en cuestión.

Incentivos y fiscalidad

En materia de subvenciones, y de forma paralela a las ya existentes para vivienda pública, sería de interés que se desarrollasen **líneas subvencionables** que reconozcan los beneficios de la industrialización, y que faciliten tanto la financiación de procesos industrializados como que premien su implantación.

La situación financiera general de las empresas industriales dedicadas la fabricación de componentes industrializados para la construcción es frágil (en los últimos meses hemos sido testigos de la quiebra de distintos proyectos empresariales prometedores vinculados con la construcción off-site) y el sector debe buscar su fortalecimiento para dar respuesta a la creciente demanda de vivienda asequible. Para ello es necesaria una mayor capitalización de las empresas y el robustecimiento de sus balances. La combinación de incentivos fiscales y garantías públicas en forma de avales propiciarían su transformación en una actividad atractiva para la inversión y la financiación.

A nivel europeo, la **UE** ha establecido el marco normativo para la presentación **de información no financiera relativa a la sostenibilidad**. Con la idea de alcanzar los objetivos climáticos y energéticos recogidos en el "Pacto Verde Europeo" para el año 2030 y lograr las "Emisiones Netas Cero" en 2050, se ha considerado que las inversiones se deben dirigir hacia proyectos y actividades económicas que estuviesen en consonancia con dichos objetivos. Para ello, la UE ha desarrollado tanto la taxonomía para actividades sostenibles como la **Directiva sobre informes de sostenibilidad corporativa (CSRD)**, transpuesta posteriormente al marco legal de cada país miembro.

La **taxonomía** de la UE trata de ser una herramienta de **transparencia en el mercado**, un marco que proporcione un lenguaje común y una definición clara de lo que es sostenible. Con ello, se protege a los inversores privados y se evitan prácticas como el greenwashing (ver **Green Claims Directive**).

Por su parte, la **Directiva sobre informes de sostenibilidad corporativa (CSRD)**, que entró en vigor en 2023 y aplicará progresivamente a diferentes entidades hasta el ejercicio 2029, establece unas **exigencias de presentación de información no financiera en materia de sostenibilidad**, de forma que sea accesible para los inversores. Su ámbito de aplicación será, principalmente, en empresas cotizadas y de gran tamaño, determinados por su definición legal en cuanto a número de empleados, volumen de negocio, etc.

La implantación de las mencionadas normativas favorecerá que la financiación de proyectos tenga en cuenta la sostenibilidad en su conjunto y deberá **canalizar la inversión hacia actividades más sostenibles**. Las entidades sujetas a esta normativa verán en ello un incentivo y una necesidad de orientarse hacia este tipo de inversiones de manera natural. A este respecto, la industrialización, en tanto actividad alineada con los objetivos de sostenibilidad, ofrece una oportunidad de crecimiento y de atracción de inversión. Más allá de la ventaja competitiva que pueda presuponerse actualmente, la sostenibilidad corporativa puede llegar a considerarse a futuro como un requerimiento para la obtención de financiación de proyectos en territorio UE y, por lo tanto, puede entenderse como una lógica transición del sector.

Por último, cabe destacar que, en lo que respecta a Visesa y demás entidades no cotizadas y sin consideración de empresas de gran tamaño, no están obligadas a la publicación de información no financiera. A pesar de ello, el cambio global del sector y el poder de tracción de las grandes empresas y los mercados financieros puede propiciar que la generalidad de los proyectos se trate en base al marco común que establece la taxonomía de la UE y su aplicación se amplíe también a las entidades “no obligadas”.

Paralelamente, un **marco fiscal** adecuado, que incluyera tanto deducciones fiscales como otras medidas en los ámbitos nacional e internacional, permitiría un mejor desarrollo del modelo. De nuevo, refiriéndonos al caso de la UE, el régimen de comercio de derechos de emisión vigente a través de las directivas europeas podría establecer beneficios a la implantación de modelos industrializados que favorezcan la descarbonización. A nivel Estatal y autonómico, se podrían plantear estímulos fiscales a través de desgravaciones en el impuesto de sociedades para empresas que integren de manera conjunta la metodología de construcción industrializada y el fomento de promociones VPO destinadas al alquiler. Adicionalmente, se podrían reducir las cargas fiscales en impuestos como el IVA de materiales, ICIO y tasas municipales. De este modo se incentivaría la inversión privada canalizada a través de la construcción industrializada, fomentando a su vez la accesibilidad a la vivienda a colectivos vulnerables.

Colaboración Público-Privada

Otro aspecto clave en la financiación de los procesos industrializados es el origen de los fondos. Si bien, como se ha mencionado anteriormente, la participación de la banca es fundamental, resulta pertinente lograr una adecuada colaboración público-privada que posibilite extender el modelo y **aumentar la capacidad productiva de vivienda protegida**. Sin olvidar el papel tractor que debe adoptar la Administración en este aspecto, no podemos obviar su **limitada disponibilidad de recursos propios y posibilidades de endeudamiento**, sobre la que rigen los principios de estabilidad presupuestaria y sostenibilidad financiera. La colaboración de ambos sectores, público y privado, permitirá escalar la demanda de los sistemas industrializados y ajustar costes.

Cabe destacar el actual interés a nivel autonómico y estatal que las Administraciones públicas españolas muestran en la colaboración público-privada en el sector de la construcción industrializada. En concreto entidades públicas como el Instituto de Crédito Oficial (ICO), analizan a través de su fundación el papel que las entidades públicas podrían desempeñar en el reto que actualmente supone la falta de instrumentos financieros afines a la construcción industrializada (ver informe "**La construcción industrializada: palanca para la sostenibilidad y la asequibilidad de la vivienda**").

Por un lado, este tipo de entes públicos podrían contribuir directamente en la financiación de proyectos de construcción industrializada a través de la creación de líneas de crédito específicas acordes a las necesidades del sector, ofreciendo tipos de interés más competitivos que los del mercado privado o plazos de amortización más flexibles. Por otro lado, además de la financiación habitual, los entes públicos pueden proporcionar garantías en forma de **avales** asociados a los préstamos para proyectos de construcción industrializada.

Ofreciendo este tipo de financiación y garantías se conseguiría hacer frente a los elevados desembolsos iniciales que requiere la construcción industrializada durante las fases de compra de materiales y premontaje. De este modo disminuyen los riesgos financieros para los entes involucrados en el proyecto de industrialización, generando así una mayor confianza en el sector y facilitando la financiación rápida y eficiente necesaria para que los industriales del sector ganen robustez.

Esta colaboración público-privada deberá conciliar la eficacia y rapidez en la gestión con los principios de transparencia, seguridad y buena administración (valor por dinero). A este respecto, cabe resaltar la publicación "**EPEC Guide to Public-Private Partnerships**" del EIB. En este documento se resalta la necesidad de adoptar estrategias de supervisión y evaluación rigurosas para garantizar la eficiencia y eficacia en la ejecución de los Contratos de Colaboración Público-Privada (CPP). Entre estas estrategias se incluyen:



Benchmarking del sector público

Se refiere al proceso de comparar los servicios, procesos o prácticas de gestión de un proyecto CPP con los estándares del sector público o con las mejores prácticas de otros proyectos similares, tanto dentro como fuera del país. Esta comparación ayuda a identificar áreas de mejora y a establecer metas de rendimiento realistas pero exigentes para el proyecto CPP, garantizando que se alcancen altos niveles de calidad y eficiencia.



Análisis de valor por dinero ("Value for Money" - VfM)

Esta técnica consiste en evaluar si el proyecto CPP ofrece una relación costo-beneficio favorable comparada con otras opciones de inversión. El objetivo es determinar si el gasto público en el proyecto CPP genera los máximos beneficios posibles para la sociedad, teniendo en cuenta no solo el costo inicial sino también los gastos operativos, de mantenimiento y los riesgos a lo largo del ciclo de vida del proyecto



Presencia de un órgano fiscalizador independiente

La creación de una entidad o mecanismo independiente con la autoridad para supervisar y auditar los proyectos CPP es fundamental, máxime teniendo en cuenta la advertencia que señala el **Tribunal de Cuentas Europeo**: "La posibilidad de registrar proyectos de APP como partidas fuera de balance puede afectar a la transparencia y la relación calidad-precio". Este órgano debe tener la capacidad de evaluar la gestión del proyecto, el cumplimiento de los contratos y la eficacia en la entrega de servicios. Su independencia asegura una fiscalización objetiva, previene conflictos de interés y contribuye a la transparencia y la rendición de cuentas en la administración de los recursos públicos.

5.1.3 Aseguramiento, Garantías y Riesgos

Aseguramiento

La adopción de sistemas industrializados conlleva en, muchos casos, la incorporación de **soluciones innovadoras**, no tradicionales, que deben demostrar su acuerdo con las normativas vigentes. Para justificar el cumplimiento de las exigencias del Código Técnico de Edificación, las soluciones deben acompañarse de un documento que evalúe la **idoneidad técnica** del producto o sistema constructivo innovador por parte de un **organismo autorizado para la concesión de evaluaciones técnicas de la idoneidad de productos o sistemas innovadores** (DIT-IETcc, DAU-ITeC y TC-Tecnalia) y la Evaluación Técnica Europea, ETA, y marcado CE para productos que vengan de Europa. La rápida evolución de las tecnologías de construcción puede superar la velocidad a la que se actualizan las normativas, lo que puede llevar a desafíos en el cumplimiento y la certificación de nuevos métodos o materiales.

Por otra parte, la falta de datos históricos dificulta la capacidad de las aseguradoras para evaluar los riesgos asociados con las nuevas tecnologías y métodos constructivos. Esto puede llevar a una percepción de mayor riesgo, lo que se traduce en **primas de seguro más altas o en la exclusión de ciertas coberturas** para proyectos que incorporen estas innovaciones. Resulta prudente el contraste de los sistemas a prescribir en el proyecto con los Organismos de Control Técnico (OCTs) y compañías aseguradoras para verificar las condiciones a cumplir para su aseguramiento (hay compañías aseguradoras que limitan el listado de OCTs homologadas para el aseguramiento de una obra de construcción industrializada).

Garantías

Como se ha expuesto en apartados anteriores, la adaptación a un modelo industrializado requiere nuevas formas de financiación que conllevan una necesaria adaptación de las garantías asociadas. Respecto a las garantías por las cantidades entregadas a cuenta para la adquisición de materia prima y transformación y fabricación de componentes industrializados, y a falta de productos más específicos, una fórmula a la que recurrir puede ser la del **aval bancario**. Hay que tener en cuenta que esta solución supone un mayor coste financiero por la necesidad de avalar gran parte del proyecto hasta su puesta a disposición en obra. Tal como se ha mencionado anteriormente respecto a este tema, las administraciones públicas podrían jugar un papel importante proveyendo avales a industriales y constructores a través de fórmulas como las que se utilizaron con las Líneas de Avales ICO COVID-19 en 2020.

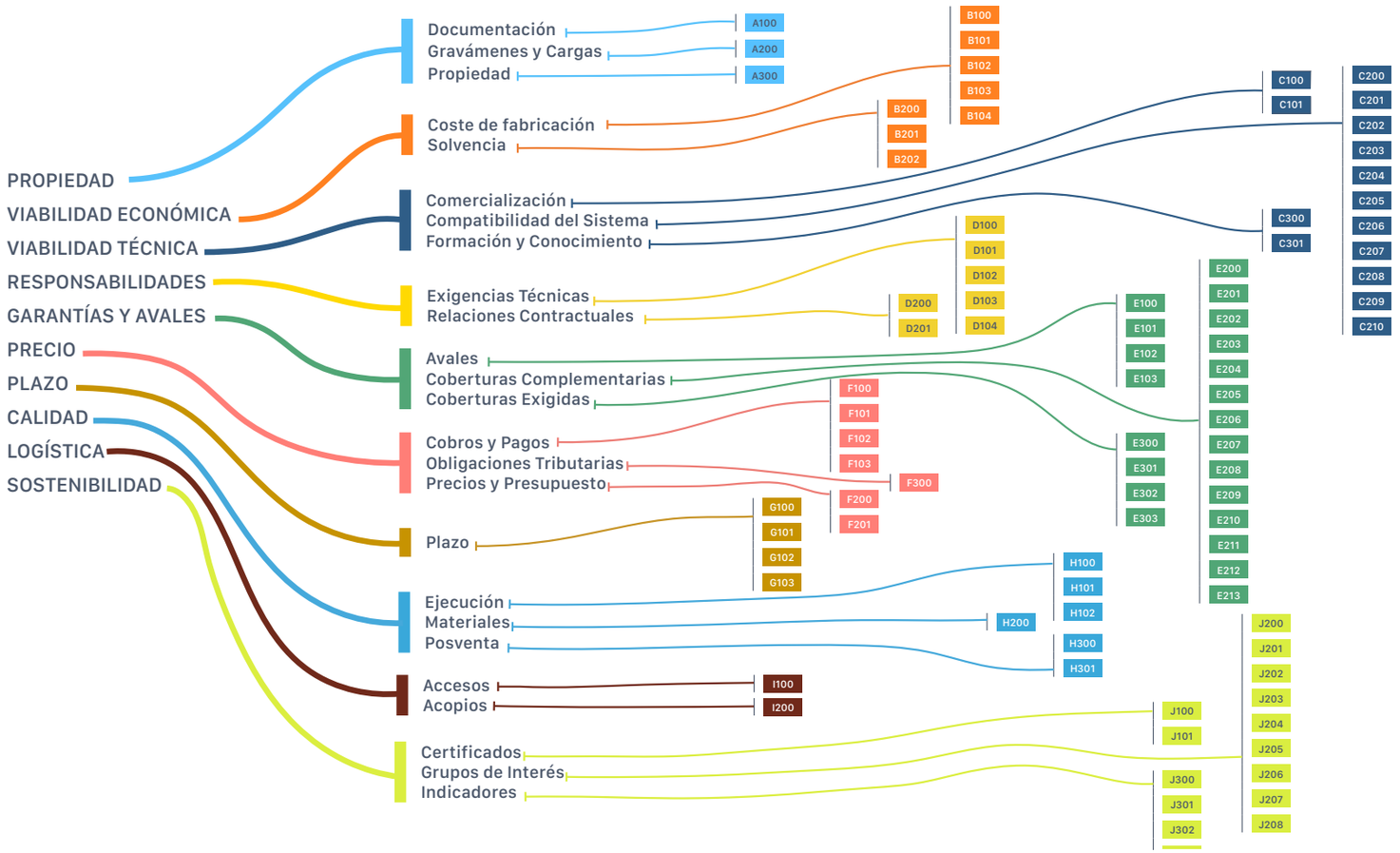
Una fórmula alternativa o complementaria es la del **seguro de caución**, y cuya póliza, además, no computa como riesgo en la Central de Información de Riesgos del Banco de España (CIRBE) de modo que el perfil crediticio de la empresa no se resiente a la hora de solicitar financiación. Este seguro de caución puede servir de garantía para el sector financiero, facilitando la concesión de préstamos o créditos.

Mapa de Riesgos

La otra vertiente del riesgo a considerar tiene que ver con la parte habitualmente cubierta por las compañías aseguradoras. El cambio de modelo hacia la industrialización reduce algunos riesgos del modelo tradicional, pero también aumenta otros o, incluso, surgen riesgos nuevos. Por lo tanto, se hace necesario que las entidades aseguradoras definan y pongan a disposición del sector **nuevos productos de seguro específicos** que otorguen las adecuadas garantías a las partes. Entre los riesgos más significativos a mencionar en este apartado cabría destacar: transferencia de propiedad, material en consigna en la planta, transporte y quiebra (valor intrínseco).

- La **transferencia de la propiedad** está estrechamente ligada a la trazabilidad del proyecto y la definición de qué parte asume qué riesgo en cada momento. En contraposición a un modelo tradicional, en el que la transferencia se realiza con la progresiva puesta a disposición y la certificación en obra, en este caso es necesario delimitar claramente la titularidad de los elementos en fábrica, bien se trate de acopios, producto en curso o producto terminado, y bien estén o no en consigna, de manera que los elementos queden asegurados por quien ostente la propiedad en cada fase del proceso.
- Independientemente de la transferencia de riesgos mencionada en el apartado anterior, **mientras el producto se encuentre en la planta**, esté en consigna o pertenezca aún al industrial, deberá asegurarse contra eventualidades distintas a las que pudieran acontecer estando instalado en el suelo de la promotora, y definir adecuadamente las coberturas y beneficiarios de esos riesgos entre las partes implicadas, promotora e industrial.
- Otro riesgo principal es el del **transporte**. Si bien se da durante un período reducido, el valor del producto transportado y el impacto en los plazos del proyecto será mucho mayor. Por lo tanto, el transporte deberá estar adecuadamente asegurado y esos valores repercutirán en el coste de la obtención de esta garantía por parte de quien la otorgue.
- Por último, y dado el actual momento del sector, cabe destacar el **riesgo de paralización, quiebra o insolvencia**, tanto por el propio riesgo de quiebra de la empresa proveedora, algo ya presente en el modelo anterior, como por el valor intrínseco de los bienes ante la incompatibilidad de tecnologías. El modelo industrializado comporta una exigente necesidad de coordinación y cumplimiento de plazos críticos, y puede suponer riesgos añadidos en caso de paralización o quiebra por el impacto en todos los actores y en diferentes proyectos. En este contexto, la **sustituibilidad** de los elementos industrializados, es decir, la capacidad de reemplazar componentes con alternativas equivalentes sin comprometer la obra, se vuelve crítica. La diversidad tecnológica de los sistemas industrializados puede limitar la disponibilidad de empresas proveedoras alternativas. Por tanto, el valor intrínseco de los bienes enfrenta un mayor riesgo que en el modelo tradicional en el que, en caso de quiebra de algún proveedor, existen más opciones para completar la obra y, por lo tanto, el valor certificado en el solar es más fácilmente justificable y presenta menores riesgos. En cambio, la menor sustituibilidad en sistemas industrializados, debido a su singularidad tecnológica, genera mayores dudas sobre su valor certificado, complicando la finalización del proyecto por parte de terceros.

Un interesante análisis que contempla todas estas cuestiones se recoge en el nuevo mapa de riesgos asociado a la construcción industrializada elaborado por el Clúster de la Edificación:



https://clusteredificacion.com/documentos/220622-Presentacion-Mapa-de-Riesgos-Financaicion-Industrializada.pdf

Por su parte, **Alkora** correduría de seguros, está elaborando el proyecto "**Desarrollo de la Gestión de Riesgos Aseguradores para la Construcción Industrializada**", seleccionado por Build-Inn, clúster de la construcción de País Vasco, dentro de su iniciativa "**Call for Digital and Green Ideas**".

5.1.4 Digitalización

La digitalización cobra una importancia crucial en el apartado financiero de procesos industrializados. Solo la digitalización puede dar respuesta a la necesidad, ampliamente comentada, de contar con herramientas que permitan la correcta **trazabilidad del avance del proyecto**, así como su adecuado control. Herramientas como etiquetas, sensores y localizadores y tecnologías como la geolocalización o blockchain pueden contribuir a la mejora de la seguridad para todas las partes en las transacciones y la facilidad de verificación de los costes incurridos, la certificación de avance del proyecto, o las transferencias de riesgos. De este modo se podría obtener una garantía inequívoca de los materiales y los procesos productivos de cara a obtener financiamiento bancario (ver 5.3)

5.1.5 Análisis de las propuestas para el proyecto piloto (fase 2): Sopela-Asu 33VPOa

El diseño de la estrategia de licitación del Diálogo Competitivo para el proyecto y la construcción de la promoción de las 33 VPOa de Sopela-Asu ha respondido a la necesaria innovación de soluciones implícitas en un proceso de Compra Pública de Innovación, también desde el punto de vista de la financiación y aseguramiento del contrato. Estas novedades recogidas en el pliego de licitación se han tratado desde la voluntad de entendimiento de las necesidades de los agentes implicados en la construcción industrializada, que aún no disponen de un marco normativo favorable a su implantación, y garantizando, en última instancia, la cobertura de los riesgos asumidos por el promotor.

Reducción de plazos

Como era de esperar, las propuestas finalistas del Diálogo Competitivo ofertan una reducción sustancial de los plazos estándar para una promoción de viviendas. Frente a los 24 meses (104 semanas) de plazo tipo de una construcción tradicional, el plazo de ejecución ofertado por los 6 licitadores finalistas está en una horquilla de entre 57 y 60 semanas. Esta **reducción en plazo de hasta el 45% de tiempo** permite un ajuste de los costes indirectos, gastos de estructura y costes financieros de las empresas constructoras.

Estructura de Financiación

En esta promoción, proyecto piloto del plan de industrialización, Visesa ha optado por financiar la inversión con recursos propios, ante las dificultades para encontrar instrumentos financieros que encajen mejor en el nuevo modelo.

Esta decisión ha permitido ofrecer a los licitadores la posibilidad de diseñar un calendario de pagos acorde a las necesidades del proceso industrial, con **abonos anticipados** por acopios, transformación y fabricación off-site.

De esta manera, se ha recibido propuestas de **anticipos de hasta el 64% del total del importe de la obra**, en el caso de la propuesta con mayor grado de industrialización.

Aseguramiento, Riesgos y Garantías

Además de las garantías habituales para asegurar el cumplimiento de todas las obligaciones contractuales, en este caso, se ha contemplado como garantía de las cantidades entregadas durante el proceso productivo de la fase industrializada un **aval bancario** cuyo alcance se fija en la fase de negociación del diálogo competitivo. El plazo del aval se extiende hasta que se complete el montaje en obra de los componentes avalados, de manera que quedan cubiertas la práctica totalidad de los riesgos expuestos en apartados previos. Es probable que, en la medida que se avance en el conocimiento de los riesgos por parte del sector, se puedan encontrar soluciones más idóneas para el caso.

Por otra parte, todas las ofertas técnicas has sido evaluadas por un OCT (Organismo de Control Técnico) en un **Informe previo sobre Aseguramiento** en el que se recogen las condiciones a cumplir para el aseguramiento de cada una de las propuestas.

5.2 Contratación Pública

Visesa, sociedad pública adscrita al Departamento de Vivienda y Agenda Urbana del Gobierno Vasco, tiene carácter de poder adjudicador no Administración Pública, de conformidad con el artículo 3 de la **Ley de Contratos del Sector Público (LCSP)**. Este régimen jurídico goza de cierta flexibilidad en la configuración contractual con respecto a la Administración Pública, si bien sigue estando dentro del marco legal aplicable de la LCSP.

En consecuencia, los poderes adjudicadores que no tienen la condición de Administración Pública deben respetar las normas contenidas en los artículos 115 a 187 de la LCSP, propias a las actuaciones relativas a la contratación por parte de las Administraciones Públicas. Para adjudicar un contrato sujeto a regulación armonizada aplican las Secciones 1ª y 2ª del Capítulo I del Título I del Libro II de la LCSP, y en cuanto a los efectos y extinción, los artículos 319 y 320 de la LCSP.

A continuación, se procede a analizar el proceso de industrialización a través de distintas posibilidades en la configuración del proceso de **contratación pública** y los distintos factores a tener en cuenta.

5.2.1 Metodología colaborativa de trabajo: Esquemas de contratación y elección de la tipología de contrato

La adopción de un modelo constructivo industrializado supone un cambio significativo respecto a los procesos constructivos tradicionales acostumbrados en las promociones de vivienda de protección pública ya que se precisa de la participación de todos los agentes participantes en el proceso de edificación (ver 4.4.1). Por ello, resulta necesario el desarrollo de **modelos de trabajo colaborativo** entre los agentes como mecanismo para cumplir los objetivos de la promoción y del interés general, como son, reducir los plazos de redacción de proyecto y ejecución de obra, optimizar costes y mejorar la calidad del parque residencial de vivienda protegida en alquiler.

En la medida en la que en el proceso tradicional un proyecto de ejecución recoge unas soluciones constructivas específicas, sobre las que las empresas licitadoras realizan propuestas que pueden incorporan distintos sistemas industrializados con vistas a la optimización técnico-económica de la obra, se corre el **riesgo de tener que reelaborar el proyecto** durante la fase de ejecución para adaptar sus soluciones, procedimientos constructivos, evaluación de riesgos laborales, así como condiciones de pago y necesidades de financiación.

Para corregir esta disfunción, el modelo de trabajo colaborativo plantea la incorporación temprana de la empresa constructora e industrial a la fase de redacción del proyecto, como consultora de apoyo al equipo proyectista para aportar su conocimiento en los procesos de obra, en las soluciones constructivas particulares del sistema constructivo y en los costes reales de mercado. De esta manera se consigue la mayor optimización del proyecto en todos los aspectos, coste, plazo, calidad, sostenibilidad y seguridad.

La definición del esquema de licitación para la incorporación de una metodología colaborativa de trabajo debe responder a los siguientes objetivos:

Participación temprana de los agentes clave
En un proyecto industrializado colaborativo, los principales agentes están involucrados desde el momento más temprano y práctico posible. Su conocimiento y experiencia crea mayor valor durante las primeras etapas del proyecto, donde las decisiones informadas tienen el mayor impacto.

Definición temprana de los objetivos
Los objetivos del proyecto se han desarrollado en una fase temprana y han sido acordados por todos los participantes.

Planificación intensificada
El enfoque colaborativo busca un mayor esfuerzo en la planificación y con ello un resultado de una mayor eficiencia y ahorro durante la ejecución del proyecto. Así, la idea clave del enfoque colaborativo es mejorar en gran medida los resultados del diseño, racionalizando y reduciendo el esfuerzo de construcción, que es mucho más caro.

Este enfoque de la construcción conlleva una transformación de los modelos de contratación Desing-Bid-Build hacia modelos Design-Build.

A continuación, se exponen **dos alternativas de estrategias de contratación pública** que favorecen los entornos de trabajo colaborativos frente al proceso de contratación ordinario que se desarrolla en dos fases, sucesivas e independientes.



5.1 Informe AFI. Fundación ICO

5.2.1.1 CONTRATO ÚNICO, MIXTO DE PROYECTO Y OBRA

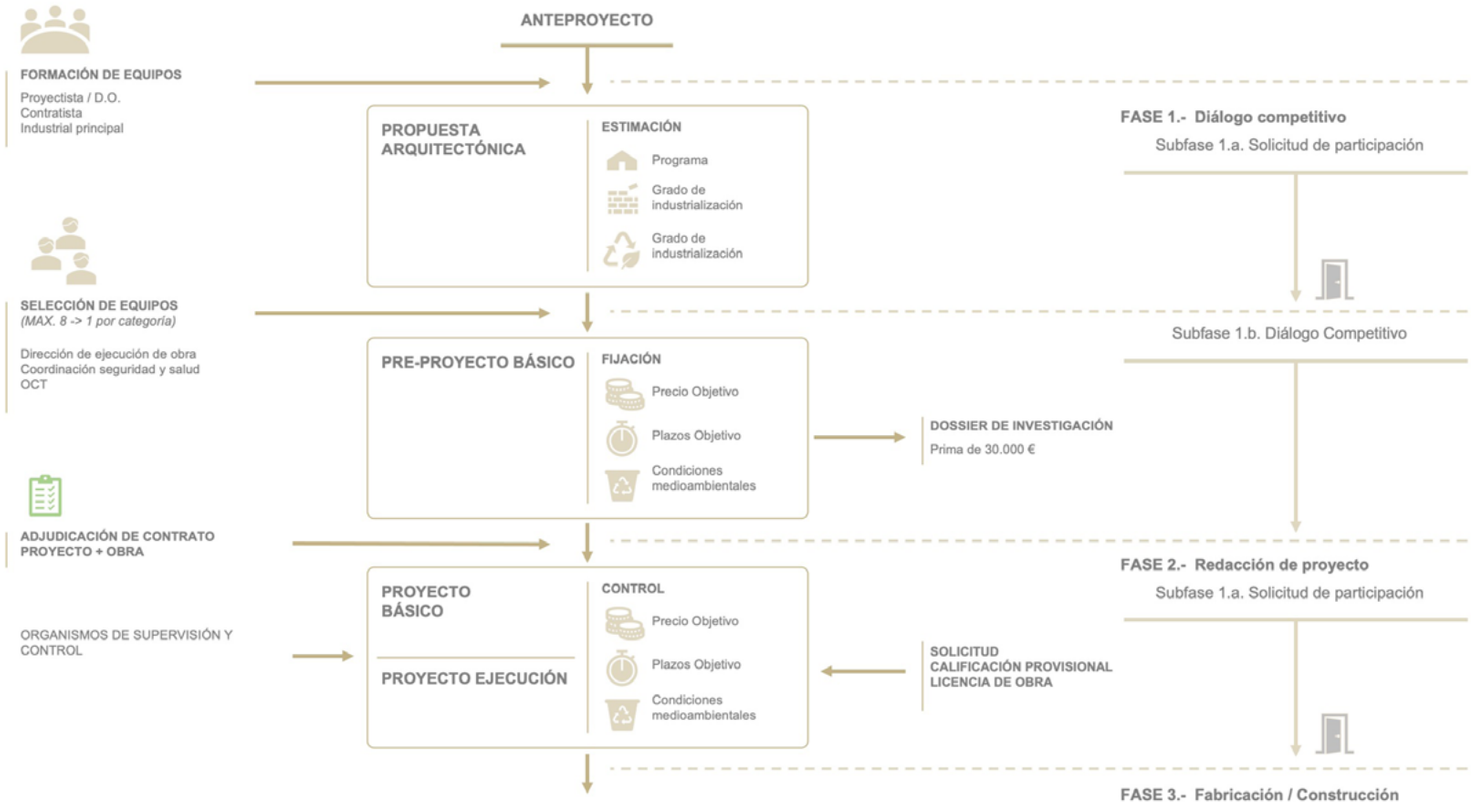


FIGURA 5.1. Esquema de contrato único empleado en el Diálogo Competitivo de la promoción 33VPOa Sopela-Asu (Incluye fase de investigación). Elaboración propia.

El esquema de contratación mixta de proyecto y obra es una alternativa de contratación con esquema colaborativo para los poderes adjudicadores no Administración Pública.

En este punto cabe señalar que el artículo 234 de la LCSP, que considera una excepcionalidad la contratación conjunta de la elaboración del proyecto y la ejecución de las obras, no resulta de aplicación a los poderes adjudicadores que, como Visesa, no tienen la condición de Administración Pública. Tampoco la Directiva 2014/24/UE considera que la citada contratación conjunta sea excepcional o esté sujeta a la concurrencia de circunstancias específicas cuya existencia deba justificarse, si bien debe motivarse adecuadamente su conveniencia en el expediente de contratación.

> *...dada la diversidad que presentan los contratos públicos de obras, es conveniente que los poderes adjudicadores puedan prever tanto la adjudicación por separado como la adjudicación conjunta de los contratos para el proyecto y la ejecución de las obras*
>
> para concluir que la citada Directiva *"no pretende imponer una adjudicación separada o conjunta".*

Esta modalidad de contrato único, mixto de proyecto y obra, ha sido la estrategia seguida por Visea en la licitación del "Diálogo competitivo para la investigación de procesos y sistemas industrializados y la redacción de proyecto, dirección facultativa y ejecución de las obras de la promoción de 33 VPOA, B-133, Parcela G, Sector ASU de Sopelana".

Características

Contrato mixto de Proyecto y Obra

Anteproyecto y bases técnicas
La documentación de licitación incluye un anteproyecto básico y las bases técnicas redactadas por Visesa, permitiendo a los licitadores desarrollar sus propuestas sobre una base sólida para presentar las ofertas técnico-económica.

Redacción de Proyecto Básico y Proyecto de Ejecución
Durante la fase de redacción del proyecto básico y de ejecución, el equipo proyectista, la contrata y el industrial trabajarán de manera colaborativa sin que sea impedimento para que el contrato se ejecute atendiendo a las funciones y competencias de los diversos agentes de acuerdo con las que establece la ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación (LOE).

El/la arquitecto/a redactor/a del proyecto y director/a facultativo/a de las obras, en asunción de las obligaciones y responsabilidades atribuidas por la LOE atendiendo a su titulación académica y profesional habilitante, debe liderar el proceso de edificación residencial, dentro del ámbito de sus competencias, para garantizar el principio de la calidad en la arquitectura del edificio y su entorno, independientemente de la relación contractual entre los agentes.

Para asegurar la independencia del equipo redactor, las bases del Diálogo Competitivo de la promoción 33 VPOa Sopela-Asu prevén el abono directo de los honorarios facultativos por parte de Visesa.

El precio de adjudicación del contrato es un precio determinado que, durante el desarrollo del proyecto básico y del proyecto de ejecución, sólo puede modificarse dentro del marco de los artículos 204 y 205 de la LCSP.

Ejecución de Obra, Fabricación y Montaje in-situ
En la fase de obra, tanto la Dirección de Ejecución de Obra como la persona coordinadora de seguridad y salud designados por Visesa forman parte del equipo de Dirección Facultativa, junto con el/la directora/a Facultativo/a y demás técnicos/as propuestos por el equipo adjudicatario para cumplir la misión. Previamente, durante la fase de redacción del proyecto, participarán en el análisis de las soluciones propuestas dentro del ámbito de su competencia con objeto de facilitar la ejecución de obra.

5.2.1.2 CONTRATO DOBLE, DE SERVICIOS Y DE SERVICIOS Y OBRA, CON PARTICIPACIÓN TEMPRANA DE CONSTRATISTA E INDUSTRIAL/INDUSTRIALES

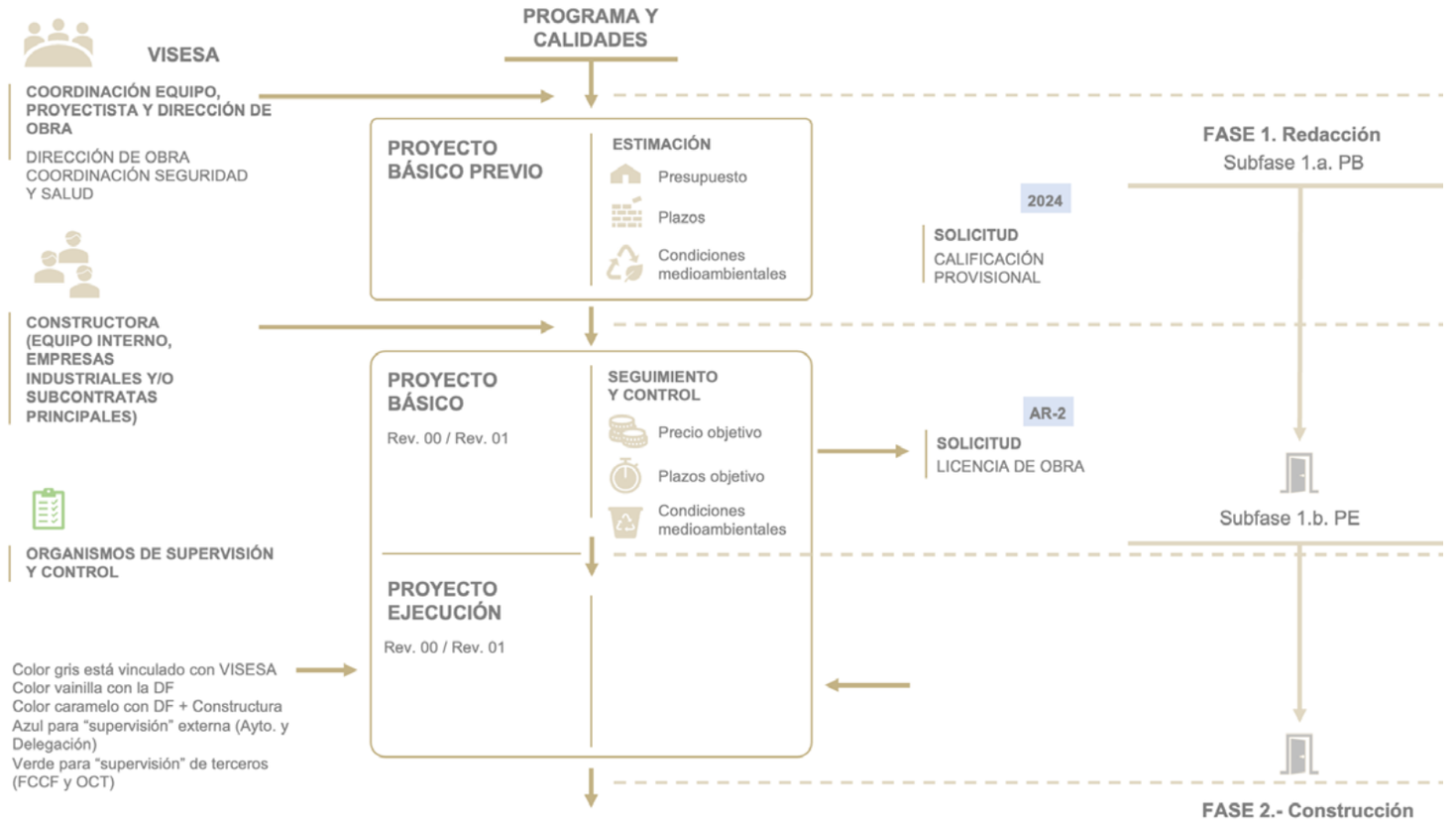


FIGURA 5.2. Esquema de contrato único empleado en la promoción de 29 VPOa Llodio-Goikoplaza.

En este segundo planteamiento, primeramente se licita el contrato de servicios entre el **promotor y el proyectista**. Este contrato abarca la redacción del proyecto, la solicitud y gestión de calificaciones, licencias y permisos y la dirección facultativa de las obras.

Una vez que se ha completado el proyecto básico previo, se procede a licitar un contrato mixto de servicios y obra entre **la promotora y el contratista**, **que también incluye al industrial / industriales**. Este contrato tiene dos alcances principales:

Servicio de consultoría
Durante la fase de redacción del proyecto básico y del proyecto de ejecución.

Ejecución de obra y garantía
Durante la fase de construcción de lo proyectado en la etapa anterior.

Esta segunda modalidad ha sido la estrategia seguida por Visesa en la licitación de la promoción A-047 de 29 viviendas de protección oficial en régimen de alquiler en la Parcela AR.3 del ámbito Goiko Plaza del municipio de Laudio.

Características



Contrato de servicio de redacción de Proyecto por fases y Dirección Facultativa

Redacción de Proyecto Básico Previo

El equipo proyectista redactará el Proyecto Básico Previo con el siguiente alcance: memoria descriptiva, justificativa y constructiva; planos de ubicación, plantas generales, secciones, alzados y definición constructiva; presupuesto desglosado por capítulos; planificación, general y por capítulos, de las obras.

El Proyecto Básico Previo servirá como documento técnico para la licitación de la empresa constructora, la cual, además de la ejecución de las obras, será contratada como asesora de la promotora para su incorporación al equipo de trabajo en el desarrollo del Proyecto Básico y el Proyecto de Ejecución.

Redacción de Proyecto Básico y proyecto de Ejecución

Durante la fase de redacción del proyecto básico y de ejecución, se incorporará al equipo de redacción de proyecto el equipo asesor designado por la empresa constructora que resulte adjudicataria, que incluirá al industrial/industriales, el cual colaborará en la concreción de las soluciones y propondrá alternativas para el desarrollo o modificación, en su caso, del Proyecto Básico Previo con base en su conocimiento y para el cumplimiento del precio objetivo.



Contrato mixto de Servicio y Obra

Servicio de soporte técnico en fase de redacción de Proyecto Básico y Proyecto de Ejecución de Obra, Fabricación y Montaje in-situ

El objeto del contrato, en su parte de servicio, es dar soporte técnico a la promotora y al equipo proyectista durante el desarrollo del Proyecto Básico y del Proyecto de Ejecución , asesorando en lo relativo a soluciones de sistemas constructivos e instalaciones, alternativas de industrialización y prefabricación, y selección de materiales para cumplir con los objetivos de la promoción.

Igualmente, presupuestará las variantes y opciones propuestas validadas por el equipo proyectista con el objetivo de cumplir los objetivos fijados por la promotora, tales como, optimizar costes, reducir plazos de redacción, minimizar las incertidumbres y los riesgos, así como reducir el impacto medioambiental, tanto en fase de construcción como en la de mantenimiento y vida útil del edificio.

En la parte de obra, el contrato comprenderá la ejecución de las obras de edificación de vivienda con procesos y sistemas industrializados de la promoción con los objetivos acordados, tanto en su parte off-site como on-site, fabricación y montaje.

Dado el alcance complejo de este objeto de contrato y su vinculación a la oferta económica resulta crucial dotar a la licitación de un plazo de presentación de ofertas más que adecuado que permita a las empresas el correcto estudio de cara a la presentación de las mismas. Si bien, lo antedicho puede resultar obvio, es necesario señalarlo por su importancia y nexo directo con el éxito de la convocatoria.

Presupuesto, valor estimado, y precio del contrato mixto de servicios y obra. Precio Objetivo y precio Cierto

Una cuestión con una incidencia fundamental para el órgano de contratación y la contratista en este tipo de procedimiento es la determinación de un presupuesto de ejecución de obra con base en un proyecto básico previo calculado conforme a ratios de los diferentes capítulos: estructura, fachadas, instalaciones, estimación de las cimentaciones según los resultados del estudio geotécnico, presencia de contaminantes,...

El precio de adjudicación del contrato es un precio determinado que, durante el desarrollo del proyecto básico y del proyecto de ejecución, sólo puede modificarse dentro del marco de los artículos 204 y 205 de la LCSP.

Por lo tanto, si en el seguimiento de las fases de diseño colaborativo y antes del inicio de las obras, la contratista señala que el presupuesto de ejecución es superior al precio de adjudicación, precio objetivo, esta podrá desistir de la ejecución de las mismas, correspondiéndole únicamente el pago de los trabajos de servicio de consultoría realizado, y pudiendo establecerse medidas compensatorias para la promotora.

5.2.1.3 CONSIDERACIONES SOBRE AMBOS PLANTEAMIENTOS

A continuación, se recogen una serie de consideraciones de ambas estrategias de cara a su elección para el cumplimiento de los objetivos del órgano de contratación:

a) En un contrato mixto de proyecto y obra, contrato único, la determinación de las normas de adjudicación atiende a la prestación principal, en este caso, a la obra, debido a su cuantía económica. En términos de solvencia técnica, **la empresa licitadora debe contar obligatoriamente con una clasificación de obras** (art. 77.1.a LCSP) y los demás agentes (proyectista e industrial) deben ser incorporados como adscripción de medios (art. 76.3 LCSP). Esta clasificación de obras no puede ser complementada con recursos externos, permitiéndose únicamente la integración del subgrupo y la categoría de la clasificación exigida.

- El planteamiento del contrato único facilita que los licitadores presenten **equipos con mayor conocimiento e integración** entre los agentes (equipo redactor, contratista e industrial) para trabajar en la optimización de un proyecto basado en un sistema concreto, mientras que en la licitación doble el equipo de trabajo se constituye sin conocimiento previo entre agentes.
- Sin embargo, el hecho de que en un contrato único el equipo facultativo se encuentre integrado en el equipo de la contrata o sea una subcontrata de la misma, aconseja que las labores de dirección de ejecución de la obra se realicen por un/a técnico/a independiente que garantice al órgano de contratación la existencia de **una figura que otorgue independencia de criterio** frente a los agentes redactores del proyecto y ejecutores de la obra.

b) El contrato único permite mayor **flexibilidad para el desarrollo de propuestas con distintos sistemas industrializados**, sin privilegiar sistemas ni materiales, mientras que en el contrato doble resulta casi obligada la elección de un sistema a priori para que el equipo redactor pueda desarrollar un proyecto básico previo para la contratación de contratista e industrial.

- En cuanto a los **plazos de licitación**, el hecho de desarrollar una única licitación supone un ahorro de plazo frente a los plazos de dos licitaciones públicas separadas.

5.2.2 Posibles criterios de valoración a considerar en ambos modelos de contratación

Seguidamente se reproducen los criterios de valoración establecidos en las dos licitaciones de ejemplo de contrato único y contrato doble de las promociones B-133 33VPOa Sopela-Asu y A-047 29 VPOa Laudio-Goikoplaza.

5.2.2.1 CONTRATO ÚNICO. CRITERIOS DE VALORACIÓN RELATIVOS AL CONTRATO MIXTOS DE REDACCIÓN DE REDACCIÓN DE PROYECTO Y EJECUCIÓN DE OBRA, FABRICACIÓN Y MONTAJE (B-133 33VPOA SOPELA-ASU)OS

A. Criterios cualitativos sometidos a juicio de valor

VI.- PROPUESTA TÉCNICA, PLANIFICACIÓN Y OTROS

VI.1. PROPUESTA ARQUITECTÓNICA Y DE INDUSTRIALIZACIÓN

VI.1.A.- CONOCIMIENTO DEL ÁMBITO Y ADECUACIÓN AL ENTORNO URBANO

- Conocimiento del Ámbito, con análisis de los servicios urbanísticos de la parcela, del proyecto de urbanización del entorno y de la coherencia y adecuación de los mismos con la promoción propuesta, haciendo especial referencia a los problemas de acceso, acopios y logística que puedan plantearse respecto al sistema industrializado que pueda proponer, incluyendo propuestas de resolución.
- Estudio y propuesta de Implantación Urbana, atendiendo a criterios medioambientales, arquitectónicos, urbanísticos, etc. y valorando volumetría, elementos compositivos y constructivos con relación a la situación y al entorno urbano en que se asienta el edificio.
- Propuestas relativas al encaje de la edificación con la urbanización general del ámbito, atendiendo a criterios arquitectónicos, funcionales, económicos, de seguridad e integración de la perspectiva de género, etc. y valorando la Organización General, así como a la disposición del acceso a sótano, Portales y Espacios Exteriores vinculados a la actuación, incluso tratamiento de estos últimos.

VI.1.B.- CALIDAD ARQUITECTÓNICA

- Propuestas en relación con la organización general del edificio y de sus elementos comunes, en el cumplimiento de los objetivos establecidos para la promoción, especialmente con relación a los sistemas industrializados propuestos.
- Propuestas en relación con las propias viviendas, incluyendo su distribución, funcionalidad, espacios exteriores, etc., y con relación al soleamiento, al ruido y al aprovechamiento de los sistemas industrializados propuestos.
- Propuestas en relación con las Fachadas y Cubiertas, incluyendo composición y materiales, espacios exteriores, huecos de iluminación, estanqueidad y otras propuestas en relación con la industrialización, puesta en obra, mantenimiento, costes, reducción de la demanda energética del edificio y evitación de ruido en el interior de las viviendas.
- Propuestas en relación con los sótanos, incluyendo su funcionalidad, así como la construcción de estos en evitación de patologías, incluso reducción de costes de ejecución y mantenimiento.

VI.1.C.- ANALISIS y ADECUACION AL PROGRAMA DE ALQUILER

- Análisis y propuesta con relación al programa de la promoción establecido como objetivo en el Documento de Condiciones Técnicas, teniendo en cuenta el cumplimiento del Proyecto de Decreto de Habitabilidad y de la normativa urbanística en vigor.
- Análisis y propuesta con relación al objetivo de promoción de vivienda protegida destinada al alquiler público, relativas a la facilidad de gestión y mantenimiento de la promoción.
- Propuestas de distinto tipo, a mayores del resto de objetivos y que permitan optimizar y reducir los costes de promoción.

VI.1.D.- ASPECTOS INDUSTRIALES Y DE SOSTENIBILIDAD

- Propuestas relativas a economía circular; montaje, desmontaje, reutilización, reciclaje.
- Propuestas relativas a la modulación o seriación para la optimización de la posible industrialización de distintas unidades de obra.
- Propuestas en relación con las instalaciones y su incorporación en la propuesta de posible industrialización, incluyendo previsiones respecto a energías renovables y costes de ejecución y de uso y mantenimiento.

VI.2.- ESTUDIO DE PUNTOS CRÍTICOS Y ACREDITACIONES DE CALIDAD

a. El equipo licitador señalará los que entiende como puntos críticos con el objetivo de minimizar incidencias y/o patologías futuras: juntas entre elementos prefabricados, encuentros fachadas y cubiertas, encuentros fachada y huecos ventana, salidas a terrazas, muros de sótano y cámaras bufas, etc., reseñando el estudio particular realizado en cada caso, justificando sus propuestas en dichos puntos e indicando las posibles alternativas consideradas.

b. Se valorarán las propuestas respecto al control de ejecución que propone aplicar en esas unidades identificadas como críticas, incluso procedimientos de trabajo particulares, puntos de parada e inspección, criterios de aceptación y rechazo, etc.; todo ello sin perjuicio de las decisiones que Visesa pueda adoptar respecto a la ejecución de otros controles complementarios.

c. Se valora el estudio de aquellos puntos en los que puedan producirse fugas de aire o infiltraciones no deseadas y una propuesta de medidas concretas para evitarlos.

d. Se valoran las propuestas para la reducción de la transmisión por puentes térmicos, justificada mediante estudio realizado al efecto, incluso propuestas para el de control durante el proceso de ejecución y para la verificación final.

e. Se valora la acreditación de calidad en las distintas fases de promoción, especialmente mediante sellos y sistemas de gestión reconocidos. Muy especialmente se tendrán en consideración las referencias a los DIT, DITE, ETA, ETAG o similares de las principales unidades de obra y de aquellas señaladas como puntos críticos.

VI.3.- ORGANIZACIÓN Y PLANIFICACIÓN DE OBRAS

a. Se valora teniendo en consideración las propuestas de optimización del sistema constructivo por simultaneidad y organización de distintas unidades de obra, especialmente reflejando la secuenciación y/o simultaneidad de los trabajos en realizado en obra y de aquellos realizados por prefabricación, teniendo en cuenta la logística de los medios auxiliares de obra.

b. Podrá incluir gráficos y esquemas del planning de obra, recogiendo el desarrollo secuencial de los distintos capítulos de obra, pero sin que de ello pueda deducirse el plazo total de obra ofertado (contenido propio del sobre 3)

VI.4.- MEJORAS EN ATENCIÓN POSVENTA

Se valora el ofrecimiento de un servicio postventa que aporte mejoras concretas respecto a uno o varios de los siguientes aspectos:

- Dotación de medios y de personal asignado, indicando el número de personas, puesto (equipo facultativo, coordinador, electricista...) así como la dedicación mínima que se va a prestar al servicio posventa de esta promoción, así como su duración tras la recepción de la obra.
- Procedimiento de atención propuesto.
- Tiempos de atención y respuesta (la respuesta no necesariamente debe llevar aparejada la resolución, pero sí la primera información/ comunicación al cliente), diferenciando en función de la urgencia:
  - Atención y respuesta a incidencias no urgentes (en este caso el inicio de la atención se producirá en días laborables): Entre 24 y 48 horas
  - Atención y respuesta a incidencias urgentes (en este caso la atención se debe producir en el día natural en el que se produzca la incidencia): Entre 2 y 4 horas.
  - Cobertura horaria, tanto para la recepción de incidencias y comunicación con el responsable posventa del constructor como la cobertura horaria para la realización física de eventuales reparaciones más allá del horario laboral.
  - Otros

VI.5.- GARANTÍAS DE PRODUCTO Y MANTENIMIENTO

Se valoran las ofertas en cuanto a los plazos de garantía de los elementos que componen la obra y el compromiso de disponibilidad de stock para la fase de uso del edificio.

Igualmente, se valoran las propuestas de mantenimiento preventivo de los ascensores y de las instalaciones de protección contra el fuego.

VI.6 GRADO DE INDUSTRIALIZACIÓN

VI.6.A.- Cimentación, las propuestas de industrialización de la cimentación, considerando:

- Porcentaje de volumen de hormigón de cimentación que se dispone en obra de forma industrializada o prefabricada.
- Volumen de hormigón correspondiente a la cimentación vertido en obra.

VI.6.B.- Semisótano, las propuestas de industrialización en los semisótanos, considerando:

- Porcentaje de la superficie de muros que son industrializados y se disponen en obra con una reducción considerable del volumen de hormigón vertido, o sin la necesidad de utilizar encofrados en su ejecución in situ.
- Pilares del semisótano industrializados.
- Forjado del semisótano compuesto por elementos industrializados y que se disponen en obra con una reducción considerable del volumen de hormigón vertido, o sin la necesidad de utilizar encofrados en su ejecución in situ.
- Presencia de juntas verticales de unión en los muros

VI.6.C.- Estructura por encima de la cota de suelo del primer nivel de vivienda, las propuestas de industrialización de la estructura, considerando:

- Porcentaje de industrialización de la estructura.
- Volumen de hormigón vertido in situ sobre los elementos industrializados de los forjados frente al volumen total de los mismos.
- Módulo industrializado para el hueco del ascensor.
- Módulos de escalera industrializados.

VI.6.D.- Fachadas en viviendas y cubierta, las propuestas de industrialización de las fachadas, con los siguientes subcriterios:

- Grado de prefabricación de la fachada, se valora hasta 2,0 puntos
- Medios auxiliares para la ejecución y montaje de la fachada in situ, referidos a la accesibilidad del personal de obra por el exterior: Se valora hasta 0,4 puntos

VI.6.E.- Particiones y acabados, las propuestas de industrialización de las particiones y acabados interiores. En función del grado de prefabricación y de los acabados finales que presenten.

VI.6.F.- Cubiertas, las propuestas de industrialización de las cubiertas.

VI.6.G.- Instalaciones, las propuestas de industrialización de las instalaciones del edificio, con las siguientes consideraciones:

- Dispone de preinstalaciones eléctricas y de telecomunicaciones en paredes.
- Dispone de preinstalaciones eléctricas y de telecomunicaciones en techos.
- Incorpora acabados e instalaciones industrializadas en cocinas.
- Incorpora mobiliario de cocina en la industrialización offsite.
- Incorpora acabados e instalaciones industrializadas en baños y aseos.
- Incorpora aparatos sanitarios en baños y aseos industrializados offsite.
- Los patinillos de instalaciones en cada planta están industrializados, incluyendo las conducciones de las propias instalaciones.
- Los elementos industrializados cumplen con los requisitos necesarios para que, en las operaciones de mantenimiento de las instalaciones, estas sean accesibles para su montaje, desmontaje y/o sustitución.

VI.6.H.- Otros aspectos relacionados con la industrialización, relacionados con la gestión y con la estandarización y repetitividad

VI.6.H.1 Aspectos relacionados con la gestión:

- Aplicación de la metodología VDC (Virtual Design and Construction) integrada con el modelo BIM y con sistemas de gestión avanzada (Lean) para mejorar la productividad off-site e in-situ
- Adopción de sistemas de gestión avanzada (Lean) para mejorar la productividad off-site e in-situ

VI.6.H.2 Aspectos relacionados con la estandarización y con la repetitividad:

- La repetitividad de elementos se valora en estructura y fachadas y se realiza en base a las familias de elementos utilizados con las mismas dimensiones y características mecánicas. Se valora con hasta 0,7 puntos

B. Criterios cualitativos automáticos

VII. COSTES DE LA OBRA

VIII. AVAL BANCARIO DE CANTIDADES ENTREGADAS A CUENTA

- Un aval bancario de hasta el 50% de las cantidades entregadas a cuenta durante el proceso productivo de la fase industrializada, previo a su certificación final a la incorporación en obra: 1 punto.
- Un aval bancario de hasta el 75% de las cantidades entregadas a cuenta durante el proceso productivo de la fase industrializada, previo a su certificación final a la incorporación en obra: 2 puntos.
- Un aval bancario de hasta el 100% de las cantidades entregadas a cuenta durante el proceso productivo de la fase industrializada, previo a su certificación final a la incorporación en obra: 3 puntos.

IX.- PLAZO DE REDACCIÓN DE PROYECTO

Se valora con 0´25 puntos cada semana de reducción del plazo total previsto (21 semanas), hasta el máximo de 1,5 puntos (propuestas de reducción superiores a 6 semanas se valoran con el máximo de 1,5 puntos).

X.- PLAZO DE LAS OBRAS

Se valora con 0´25 puntos cada semana de reducción del plazo total, hasta el máximo de 6,5 puntos (propuestas de reducción superiores a 26 semanas se valoran con el máximo de 6,5 puntos)

XI.- SOSTENIBILIDAD

XI.1.- Sostenibilidad en fase de producto

e.

XI.1.A.- Kg de CO_2 equivalentes. (hasta 7 puntos): Del ACV se obtienen los kg CO_2 del indicador del potencial de calentamiento global, GWP, de cada una de las propuestas.

La valoración de este apartado se realiza en función del resultado obtenido por la propuesta más ventajosa en este aspecto, de forma que aquella que presente el valor más reducido obtendrá 7 puntos. La valoración del resto se obtiene de la fórmula siguiente:

$MP \times (KgCO_2MV)^{1,5} / (KgCO_2)^{1,5}$
MP: máxima puntuación
$KgCO_2$: Kg de CO_2 propuesta
$KgCO_2MV$: Kg de CO_2 propuesta más ventajosa
(Se redondeará a 1 decimal)

XI.2.- Sostenibilidad en el proceso de construcción

XI.2.A.- Consumo de energía primaria no renovable. Del ACV se obtienen los MJ, valor calorífico neto, del indicador de uso de recursos energía primaria no renovable utilizados como materia prima, de cada una de las propuestas.

La valoración de este apartado se realiza en función del resultado obtenido por la mejor propuesta en este aspecto, de forma que aquella que presente el valor más bajo obtendrá 1 punto. La valoración del resto se obtiene de la formula siguiente:

$MP \times (MJMV)^{1,5} / (MJ)^{1,5}$
MP: máxima puntuación
MJ: MJ propuesta
MJMV: MJ propuesta más ventajosa
(Se redondeará a 1 decimal)

XI.2.B.- Consumo de agua en la ejecución. Del ACV se obtienen los m^3 del indicador de uso neto de agua corriente utilizada en cada una de las propuestas.

La valoración de este apartado se realiza en función del resultado obtenido por la mejor propuesta en este aspecto, de forma que aquella que presente el valor más bajo obtendrá 1 punto. La valoración del resto se obtiene de la formula siguiente:

$MP \times (M3MV)^{1,5} / (M3)^{1,5}$
MP: máxima puntuación
M3: M3 propuesta
M3MV: M3 propuesta más ventajosa
(Se redondeará a 1 decimal)

XI.2.C.- Sostenibilidad en fase de vida útil:

Compromiso de reducción del valor límite del consumo de energía primaria no renovable establecido para el edificio en CTE (sobre el 20% del requisito, ya establecido en el Pliego):

Del programa de certificación energética se obtendrá el Consumo de energía primaria no renovable (kWh / m^2 año), que se compara con el valor establecido como mínimo en el pliego y a partir del % de mejora se realiza la siguiente valoración. Sólo puntuarán aquellas propuestas que igualen o mejoren el compromiso declarado en fase 1.

- Reducción superior al 20 e igual o inferior al 30%: 0,25 puntos
- Reducción superior al 30 e igual o inferior al 40%: 0,50 puntos
- Reducción superior al 40 e igual o inferior al 50%: 0,75 puntos
- Reducción superior al 50 e igual o inferior al 60%: 1 punto
- Reducción superior al 60 e igual o inferior al 70%: 1.5 puntos
- Reducción superior al 70 e igual o inferior al 80%: 2 puntos
- Reducción superior al 80 e igual o inferior al 90%: 2.5 puntos
- Reducción superior al 90 e igual o inferior al 100%: 3 puntos
- Edificio con balance energético positivo: 4 puntos

XI.2.D.-Sostenibilidad en fase de fin de vida basado en indicadores que describen información ambiental adicional, y describen las categorías de residuos y los flujos de salida:

- **Produccion de residuos** (hasta 0,5 puntos): Del ACV se obtienen los KG del indicador de: residuos peligrosos vertidos en las fases C1 a C4.

  La valoración de este apartado se realiza en función del resultado obtenido por la mejor propuesta en este aspecto, de forma que aquella que presente el valor más bajo obtendrá 0,5 puntos. La valoración del se obtiene de la formula siguiente:

  $MP \times (KgMV)^{1,5} / (Kg)^{1,5}$
  MP: máxima puntuación
  Kg: Kg propuesta
  KgMV: Kg propuesta más ventajosa
  (Se redondeará a 1 decimal)

- **Material reciclable** (hasta 0,5 puntos): Del ACV se obtienen los KG del indicador de: materiales para reciclaje, en las fases C1 a C4.

  La valoración de este apartado se realiza en función de los resultados obtenidos por la mejor propuesta en este aspecto, de forma que aquella que presente el valor más bajo obtendrá 0,5 puntos. La valoración del resto se obtiene de la formula siguiente:

  $MP \times (KgMV)^{1,5} / (Kg)^{1,5}$
  MP: máxima puntuación
  Kg: Kg propuesta
  KgMV: Kg propuesta más ventajosa
  (Se redondeará a 1 decimal)

XII.- MEJORAS DE LAS GARANTÍAS

XII.1.- La Ampliación de Plazos de Garantías. se valora con hasta un máximo de 3 puntos, la mejora de los plazos de garantía posventa respecto a los mínimos indicados en el Documento Descriptivo, únicamente en alguno de los alcances que seguidamente se detallan (son escalables, no acumulables y no se admiten conceptos ni plazos diferentes a éstos):

Alcance 0: las propuestas que no incrementen los plazos de garantía respecto de lo establecido en la LOE obtendrán 0 puntos en este apartado.

Alcance 1: la atención de incidencias de acabados (1 año según LOE) hasta los 2 años desde la recepción de la obra sin reservas; este alcance se valora con 1,5 puntos.

Alcance 2: la atención de incidencias de acabados (1 año según LOE) hasta los 2 años desde la recepción de la obra sin reservas y atención de incidencias de habitabilidad (3 años según LOE) hasta los 5,5 años desde la recepción de la obra sin reservas; este alcance se valora con 3 puntos.

XII.2.- La Ampliación de recargo por gastos de gestión de reparaciones posventa. se valoran con hasta un máximo 2 puntos, las mejoras ofrecidas por los licitadores en relación con la ampliación del porcentaje del 10 % de incremento sobre el importe de la reparación cuando ésta sea realizada por VISESA, la máxima puntuación corresponderá al porcentaje de recargo más alto conforme a la siguiente tabla (son escalables, no acumulables y no se admiten cuantías diferentes a éstas):

% de Recargo	Puntos
10% (No se podrán presentar ofertas con porcentaje inferior al 10%)	0
20%*	1
30%*	2

5.2.2.1 CONTRATO DOBLE, DE SERVICIOS Y DE SERVICIOS Y OBRA, CON PARTICIPACIÓN TEMPRANA DE CONTRATISTA E INDUSTRIAL/INDUSTRIALES (A-047 29 VPOA LAUDIO-GOIKOPLAZA)

5.2.2.1.1 Criterios de valoración relativos al contrato de servicios de proyecto y dirección de obra:

A. Criterios cualitativos automáticos

I.- PROPUESTA TÉCNICA

I.1. PROPUESTA ARQUITECTÓNICA Y DE INDUSTRIALIZACIÓN:

VI.1.A.- CONOCIMIENTO DEL ÁMBITO Y ADECUACIÓN AL ENTORNO URBANO

- I.1.A.- CONOCIMIENTO DEL ÁMBITO E IMPLANTACIÓN URBANA
- I.1.B.- CALIDAD ARQUITECTÓNICA
- I.1.C.- ADECUACION AL PROGRAMA DE ALQUILER
- I.1.D.- CALIDAD CONSTRUCTIVA E INSTALACIONES
- I.1.E.- ASPECTOS INDUSTRIALES DE LA PROPUESTA ARQUITECTÓNICA
- I.1.F.- ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES Y DE SOSTENIBILIDAD
- I.1.G.- REDUCCIÓN DE INCIDENCIAS Y EVITACIÓN DE PATOLOGÍAS

B. Criterios cualitativos sometidos a juicio de valor

II.- EXPERIENCIA EN INDUSTRIALIZACIÓN

Se valorará que la persona designada como Proyectista y/o Dirección de obra haya redactado un proyecto de ejecución y/o ejecutado la dirección de obra con sistemas constructivos en madera aplicada a la estructura (estructura portante; vertical y horizontal) de al menos una edificación de obra nueva o que acredite haber realizado uno o varios cursos de especialización en Estructuras, Construcción y Diseño de Madera (hasta 4 puntos):

- Si se trata de un edificio residencial plurifamiliar de **más de 4 plantas** con estructura portante de madera o, alternativamente, acredita formación especializada en Estructuras, Construcción y Diseño de Madera por **más de 1.200 horas**: 4 puntos

- Si se trata de un edificio residencial plurifamiliar o terciario/ equipamental, de más de 3 plantas con estructura portante de madera o, alternativamente, acredita formación especializada en Estructuras, Construcción y Diseño de Madera por **más de 800 horas**: 3 puntos
- Si se trata de un edificio residencial plurifamiliar o terciario/ equipamental, de más de 2 plantas con estructura portante de madera o, alternativamente, acredita formación especializada en Estructuras, Construcción y Diseño de Madera por **más de 400 horas**: 2 puntos
- Si se trata de un edificio residencial o terciario/ equipamental, con elementos estructurales y/o forjados en madera o, alternativamente, acredita formación especializada en Estructuras, Construcción y Diseño de Madera por **más de 200 horas**: 1 punto

III.- EXPERIENCIA EN MÉTODOS DE TRABAJO COLABORATIVO

Se valorará la experiencia de la persona designada como Proyectista y/o Dirección de obra en la participación de un proyecto de edificación desarrollado mediante contratos colaborativos con establecimiento de precio, plazo y calidades objetivo, según puntuación agregada:

- Si se ha contado con la colaboración de la Contrata para el diseño desde el Proyecto Básico: 1 punto
- Si se ha contado con la colaboración de la Contrata para el diseño desde el Proyecto de Ejecución: 0,5 puntos

A presentar por la propuesta adjudicataria: certificado de buena ejecución emitido por la promotora, el cual deberá tener el detalle necesario para acreditar la puntuación.

Se valorará la experiencia de la persona designada como Proyectista y/o Dirección de obra, si se ha trabajado con metodologías colaborativas para la planificación y control de producción de la obra (Lean Construction o similares):

- cuando la respuesta sea SI: 1 punto
- cuando la respuesta sea NO o no se responda: 0 puntos

A presentar por la propuesta adjudicataria: para acreditar la puntuación se presentará certificado de buena ejecución emitido por la promotora, el cual deberá tener el detalle y descripción de las técnicas de trabajo colaborativo empleadas.

5.2.2.2.2 Criterios de valoración relativos al contrato mixto de servicios de consultoría de proyecto y ejecución de obra, fabricación y montaje:

A. Criterios cualitativos sometidos a juicio de valor

VI.2.- A. RIGOR DE LA OFERTA, ESTUDIO DE PUNTOS CRÍTICOS Y ACREDITACIONES DE CALIDAD

a. Rigor de la oferta (hasta 3 puntos)

Se valorará la profundización de la oferta técnica en el estudio del documento de proyecto y su coherencia con lo ofertado. Al efecto, se detallarán las deficiencias, indefiniciones o disparidades observadas en los diferentes documentos.

Se valora teniendo en consideración las propuestas de optimización del sistema constructivo por simultaneidad y organización de distintas unidades de obra, especialmente reflejando la secuenciación y/o simultaneidad de los trabajos realizados en obra y de aquellos realizados por prefabricación, teniendo en cuenta la logística de los medios auxiliares de obra.

Podrá incluir gráficos y esquemas del planning de obra, recogiendo el desarrollo secuencial de los distintos capítulos de obra. También se podrá acompañar la adscripción de medios y equipos a la obra, su implicación en el cumplimiento de los plazos o incluso su reducción.

En ningún caso, se indicarán datos referentes a plazos y precios que permitan deducir el plazo total y precio total ofertado (contenido propio del sobre 3).

b. Estudio de los puntos críticos del proyecto y propuestas de mejora para minimizar las incidencias futuras posventa (hasta 3 puntos)

La oferta de la contratista, en el ejercicio de sus funciones como tal, deberá presentar un estudio en el que se analice el proyecto, se identifiquen los puntos considerados como críticos y se realicen propuestas de mejora, con el objetivo de minimizar las incidencias durante la ejecución de la obra, así como las posibles patologías futuras.

El estudio se centrará, como mínimo, en los sistemas y las unidades de obra industrializadas, encuentros fachadas y cubiertas, encuentros fachada y huecos ventana, salidas a terrazas, cimentaciones y en todas las unidades que la contratista identifique como críticas.

Adicionalmente al estudio de puntos críticos, se valorarán las propuestas respecto al control de ejecución que se propone aplicar en esas unidades identificadas como críticas, incluso procedimientos de trabajo particulares, puntos de parada e inspección, criterios de aceptación y rechazo, etc.

Todas las mejoras propuestas se entenderán incluidas en la oferta de la licitadora sin que ello implique ninguna modificación al alza de la oferta presentada. La decisión final de adoptar o no dichas medidas corresponderán al equipo facultativo previo visto bueno de Visesa.

c. Propuesta plan de control unidades críticas (hasta 3 puntos)

En este apartado se valorará la presentación de un plan de control específico de las unidades identificadas como críticas en el apartado del estudio. El plan de control deberá de especificar y detallar las medidas concretas que se van a adoptar en el control de ejecución de todas las unidades definidas como críticas y analizadas en el apartado anterior, con el objetivo de asegurar la calidad de lo construido.

Con independencia al plan de control de las unidades críticas, la empresa adjudicataria desarrollará un Plan de Control de Calidad en el que se desarrollan los procedimientos de trabajo de las diferentes unidades de obra, el modo de llevarlos a cabo, los puntos de Parada e Inspección (check-list), la frecuencia de estos y los criterios de aceptación y rechazo de la unidad de obra ejecutada afectada.

La supervisión de las medidas de control señaladas anteriormente la realizará la Dirección Facultativa conforme se vayan ejecutando los trabajos en obra.

Mensualmente, la dirección facultativa entregará al Responsable de obra de VISESA, los resultados de estas y para ello la empresa constructora está obligada a facilitar y poner a disposición del facultativo toda la documentación precisa para su chequeo, incluidos los registros de las inspecciones y controles realizados por parte de la contrata. En ningún caso, la dirección facultativa certificará partida alguna que no disponga de los resultados favorables de dichos controles.

Así mismo, VISESA se reserva el derecho de, en su caso, incorporar otros chequeos complementarios tanto a los definidos en este apartado como en el plan de control de calidad correspondiente y exigir en su momento al contratista a llevar a cabo dichos controles a su coste y reportando de forma periódica de su resultado.

d. Acreditaciones de calidad (hasta 1 punto)

En este apartado se valorará la presentación de un plan de control específico de las unidades identificadas como críticas en el apartado del estudio. El plan de control deberá de especificar y detallar las medidas concretas que se van a adoptar en el control de ejecución de todas las unidades definidas como críticas y analizadas en el apartado anterior, con el objetivo de asegurar la calidad de lo construido.

VI.3.- B. MEJORAS EN RELACIÓN CON SISTEMAS Y UNIDADES DE OBRA INDUSTRIALIZADAS

Se valorarán las propuestas para la inclusión de sistemas, unidades constructivas o unidades completas de obra industrializadas, como pueden ser:

- Aseos
- Fachadas y huecos

Se valorarán las propuestas de industrialización de las fachadas, teniendo en consideración aspectos como: si la estructura portante de la fachada se propone mediante un sistema industrializado, si la capa de acabado exterior se dispone off-site en más de un 80% de la superficie; si la capa de acabado interior (o la que sirva de soporte a la pintura o al alicatado final) se dispone off-site en más de un 80% de la superficie; si las carpinterías de los huecos de fachada se disponen off-site, etc.

Particiones y acabados interiores:
Se valorarán las propuestas de industrialización de las particiones y acabados interiores, teniendo en consideración aspectos como: si las particiones interiores son prefabricadas; si incorporan los acabados; si incorporan la preinstalación de las instalaciones, etc.

- Cimentaciones y contenciones,
- Estructura de hormigón donde apoya la estructura de madera,
- Terrazas,
- Cubiertas,
- Instalaciones,
- Etc.

Las propuestas deberán ajustarse y respetar las condiciones técnicas particulares, así como los criterios de diseño y construcción que se recogen en el correspondiente documento técnico de la presente convocatoria [doc proyecto y condiciones particulares + criterios de diseño y construcción].

Así mismo, deberán añadir valor añadido al desarrollo de la obra y a la calidad de la promoción, consiguiendo: una reducción de tiempos y control de plazos; mejora de la calidad constructiva y control de la ejecución; mejora de gestión y costes de mantenimiento futuro; reducción de los impactos medioambientales; mejora de las condiciones de trabajo y seguridad en obra; minimización de la afección al entorno urbano y edificios colindantes; etc.

Por ello, las propuestas detallarán, al menos, las mejoras en el proceso constructivo y calidad de ejecución, e incluirán una justificación del ahorro económico y/o de reducción de plazos especifico.

La decisión de su inclusión durante la fase de redacción del proyecto corresponderá a Visesa, previo visto bueno de la Dirección Facultativa y Alokabide.

Las propuestas se entenderán incluidas en el Precio, Plazo y condiciones Medioambientales, sin que ello implique modificación alguna al alza de la oferta presentada.

VI.4.- MEJORAS MEDIOAMBIENTALES Y DE SOSTENIBILIDAD

Se valorarán las sobreprestaciones o la mejora de calidades del Proyecto Básico Previo encaminadas a la mejora medioambiental, eficiencia energética o circularidad, tanto del edificio como de la ejecución de las obras, como pueden ser:

- Condiciones de estanqueidad al aire:

Se valorarán las propuestas de mejora encaminadas a la reducción de la transmisión por puentes térmicos, justificada mediante estudio realizado al efecto, incluso propuestas para el de control durante el proceso de ejecución y para la verificación final.

• Puentes térmicos:

Propuestas de mejora para evitar puntos en los que puedan producirse fugas de aire o infiltraciones no deseadas, así como propuestas para la reducción de la transmisión por puentes térmicos, justificada mediante estudio realizado al efecto y presentado junto con la oferta, que incluya propuestas concretas de posibles mejoras para minimizar dichos puentes, así como un plan de control durante el proceso de ejecución de esas medidas y el compromiso de verificación posterior de su implementación mediante termografías del exterior del edificio en, al menos, las siguientes zonas:

- Encuentro forjado-fachada
- Encuentro cubierta-fachada
- Encuentro forjado inferior-fachada
- Pilar
- Hueco de ventana: Jamba / Alfeizar / Cabezal
- Otros posibles

El plan de control y el compromiso de obtención del resultado final deberán presentarse junto con el anexo de mejoras de sostenibilidad.

- Calidad del aire interior:

Se valorará la utilización de revestimientos de suelos, revestimientos de paredes, pinturas y barnices que cumplan con el criterio relativo a compuestos orgánicos volátiles de alguna etiqueta tipo I como la etiqueta ecológica europea, ángel azul o equivalente, sin que las propuestas alteren las prestaciones de acabado definidas en el proyecto.

- Otras propuestas de mejora medioambientales o de sostenibilidad

Todas las sobreprestaciones o mejoras propuestas deberán estar descritas y justificadas adecuadamente, incluyendo el estudio y resolución de las posibles afecciones que directa o indirectamente puedan afectar a otras unidades de obra, sobre lo definido previamente en el proyecto o sobre el cumplimiento normativo.

En ningún caso se alterará la configuración arquitectónica del edificio, ni se modificará el programa ni se verán minorizadas las prestaciones y las calidades del edificio.

Todas las mejoras y medidas concretas propuestas se entenderán incluidas en la oferta económica de la licitadora sin que ello implique modificación alguna al alza de la oferta presentada.

La decisión de su inclusión en obra corresponderá a Visesa, previo visto bueno de la Dirección Facultativa y Alokabide.

Las propuestas se entenderán incluidas en la oferta económica sin que ello implique modificación alguna al alza de la oferta presentada.

VI.5.-MEJORAS PARA LA REDUCCCIÓN DE LOS COSTES EN EL CICLO DE VIDA COMPLETO DE LA PROMOCIÓN

Se estudiarán y analizarán propuestas cuya adopción permita la reducción de los costes de mantenimiento de las viviendas, de sus gastos de utilización, de la reducción de los consumos previstos e incluso que permitan la mejora de sus ratios de la Calificación Energética, así como mejoras en el proceso constructivo, en su seguridad de construcción y/o en su uso y mantenimiento.

Todas las mejoras y medidas concretas propuestas se entenderán incluidas en la oferta económica de la empresa licitadora, sin que ello implique modificación alguna al alza de la oferta presentada. La decisión de su inclusión en obra corresponderá a Visesa, previo visto bueno de la Dirección Facultativa y Alokabide.

VI.5.- MEJORAS RELATIVAS AL SERVICIO POSVENTA

Se valora el ofrecimiento de un servicio posventa que aporte mejoras concretas respecto a los siguientes aspectos:

- Dotación de medios y personal asignado. En el tema del personal asignado se deberá indicar número de personas, puesto (coordinador, albañil, ...) así como la dedicación mínima que se va a prestar al servicio posventa de esta promoción, así como su duración tras la recepción de la obra.
- Procedimiento de atención propuesto.
- Tiempos de atención y respuesta (la respuesta no necesariamente debe llevar aparejada la resolución, pero sí la primera información/ comunicación al cliente), con diferenciación en función de la urgencia:
- Atención y respuesta a incidencias no urgentes (en este caso el inicio de la atención se producirá en días laborables): Entre 24 y 48 horas.

- Atención y respuesta a incidencias urgentes (en este caso la atención se debe producir en el día natural en el que se produzca la incidencia): Entre 2 y 4 horas.
- Cobertura horaria. Se deberá indicar la cobertura horaria tanto para la recepción de incidencias y comunicación con la persona designada en la oferta como Responsable posventa, así como la cobertura horaria para la realización física de las eventuales reparaciones más allá del horario laboral.
- Otros

B. Criterios cualitativos automáticos

VII. COSTES DE CONSTRUCCIÓN

VIII. ORGANIZACIÓN Y PLANIFICACIÓN DE LAS OBRAS

Se valora el plazo (en semanas) propuesto para la 2ª Fase, de ejecución de las obras de edificación y urbanización vinculada, desde la validación del proyecto y de la oferta por parte de Visesa, hasta el acta de final de obra, incluyendo los siguientes conceptos:

I. Preparación y ejecución off-site

II. Logística y transporte

III. Preparación y ejecución en Obra, incluyendo: Enrasado de Cimientos, Final del Cota 0, Final de Estructura, Terminación de Cubierta, Cierre de Fachadas, Terminación de Tabiquería, Instalaciones y Finalización de las Obras

Se valora con 0´50 puntos cada semana de reducción del plazo total, hasta el máximo de 5 puntos (propuestas de reducción superiores a 10 semanas se valoran con el máximo de 5 puntos). La valoración de este apartado se realiza en unidades enteras de semana.

X.-CRITERIOS MEDIOAMBIENTALES Y DE SOSTENIBILIDAD

Se valorará la propuesta con relación a los siguientes indicadores de sostenibilidad, así como la declaración de compromiso que sobre los mismos realice la empresa licitadora y según los siguientes criterios de puntuación:

a. Kg de CO_2 en la composición de los elementos correspondientes a la estructura y las fachadas (hasta 2 puntos)

Se valorará la profundización de la oferta técnica en el estudio del documento de proyecto y su coherencia con lo ofertado. Al efecto, se detallarán las deficiencias, indefiniciones o disparidades observadas en los diferentes documentos.

- La estructura; entendiendo como tal los elementos de cimentación, muros estructurales de cualquier tipo, pilares, vigas, y forjados.
- Las fachadas; incluyendo tanto el aislamiento hacia el interior, el soporte resistente, aislamiento exterior, laminas impermeabilizantes, así como el revestimiento de acabado exterior.

La valoración de este apartado se realizará en función del porcentaje de reducción respecto del Total de $KgCO_2$ estimado en proyecto (conforme a tabla “A047_KgCO2 PROYECTO” que se adjunta a la licitación):

- Si la propuesta de reducción del Total KgCO2 es igual a 0: 0 puntos
- Si la propuesta de reducción del Total KgCO2 es menor o igual al 10%: 1 punto
- Si la propuesta de reducción del Total KgCO2 es superior al 10%: 2 puntos

El total de $KgCO_2$ ofertados formará parte de los objetivos medioambientales de la promoción y, por tanto, no podrá incrementarse durante la fase de redacción del proyecto ni la ejecución de la obra. Así mismo, el valor se deberá justificar considerando los Kg totales y parciales de cada material del proyecto teniendo en cuenta el impacto ambiental indicado en las DAP de cada uno de los materiales que se prescriban. Cuando no se disponga de DAP, se tomarán de referencia los valores promedio considerados en el proyecto.

b. Uso de materiales reciclados (hasta 2 puntos)

Se valorará la propuesta de incremento del valor de Material Reciclado (Kg) del Total de la edificación respecto al valor de la tabla de MATERIALES RECICLADOS que se adjunta a la licitación:

- Si el porcentaje de incremento es igual al 0 %: 0 puntos
- Si el porcentaje de incremento está entre el 1% y 5%: 1 punto
- Si el porcentaje es superior al 5%: 2 puntos

El valor total de Kg de Material Reciclado ofertado formará parte de los objetivos medioambientales de la promoción y, por tanto, no podrá reducirse, ni durante la fase de redacción del proyecto ni la ejecución de la obra.

Los valores reales se deberán justificar considerando los Kg totales y parciales de cada material del proyecto teniendo en cuenta el porcentaje de material reciclado indicado en las DAP de cada uno de los materiales que se prescriban. Tanto a la finalización de la obra como durante el seguimiento de la redacción del proyecto se realizará siguiendo la metodología desarrollada por IHOBE en la “Guía para el uso de materiales reciclados en la construcción”. Estos cálculos serán revisados y validados por la dirección facultativa.

c. Kg de CO_2 en la composición de los elementos correspondientes a la estructura y las fachadas (hasta 2 puntos)

Se valorará compromiso de superar el objetivo del 85% de los RCDs no peligrosos generados en la obra.

- Aquellas que respondan SÍ: 2 puntos
- Aquellas que respondan NO: 0 puntos

XI.-EXPERIENCIA EN CONSTRUCCIÓN CON MADERA E INDUSTRIALIZACIÓN

Se valorará la experiencia, en tareas propias de su perfil, de la persona designada como Responsable General, Delegado/a de Obra o Jefe/a de Grupo en la construcción de un edificio de 2 o más plantas realizado con estructura en madera industrializada:

- Cuando se trate de un edificio residencial plurifamiliar: 2 puntos
- Cuando se trate de otro tipo de edificio: 1 punto
- Cuando se responda NO o no se responda: 0 punto

Se valorará la experiencia, en tareas propias de su perfil, de la persona designada como Responsable General, Delegado/a de Obra o Jefe/a de Grupo en la construcción de un edificio de 2 o más plantas, realizado con técnicas industrializadas aplicadas a contenciones, las fachadas o las unidades de obra de aseos:

- Cuando la experiencia se justifique con las tres aplicaciones: 1 punto
- Cuando la experiencia se justifique con dos de ellas: 0,75 puntos
- Cuando la experiencia se justifique con una de ellas: 0,25 puntos
- Cuando se responda NO o no se responda: 0 punto

Se valorará la experiencia, en tareas propias de su perfil, de la persona designada como Jefe/a de Obra en la construcción de un edificio de 2 o más plantas, realizado con estructura en madera industrializada:

- Cuando se trate de un edificio residencial plurifamiliar: 1 punto
- Cuando se trate de otro tipo de edificio: 0,5 puntos
- Cuando se responda NO o no se responda: 0 punto

Se valorará la experiencia, en tareas propias de su perfil, de la persona designada como Jefe/a de Obra en la construcción de un edificio de 2 o más plantas con técnicas industrializadas aplicadas a contenciones, las fachadas o a las unidades de obra de aseos:

- Cuando la experiencia se justifique con las tres aplicaciones: 1 punto
- Cuando la experiencia se justifique con dos de ellas: 0,75 puntos
- Cuando la experiencia se justifique con una de ellas: 0,25 puntos
- Cuando se responda NO o no se responda: 0 punto

XII.-MEJORAS RELATIVAS A LAS GARANTÍAS OFRECIDAS

a. Ampliación de plazos de garantías (hasta 2 puntos)

- Se puntuará en este apartado la mejora de los plazos de garantía posventa respecto a los mínimos indicados en el Pliego, no admitiéndose conceptos ni plazos diferentes a la misma:
- Atención de incidencias de acabados (1 año según LOE) hasta los 2 años desde la recepción de la obra sin reservas; atención de incidencias de habitabilidad (3 años según LOE) hasta los 5,5 años desde la recepción de la obra sin reservas: 2 puntos
- Atención de incidencias de acabados (1 año según LOE) hasta los 2 años desde la recepción de la obra sin reservas: 1 puntos
- Las propuestas que no incrementen los plazos de garantía respecto de lo establecido en la LOE obtendrán en este apartado: 0 puntos.

b. Ampliación recargo por gastos de gestión por reparaciones posventa (hasta 2 puntos)

- Se puntuará en este apartado las mejoras ofrecidas en relación con la ampliación del porcentaje del 10 % de incremento sobre el importe de la reparación o indemnización (bien mediante acuerdo, bien por sentencia judicial) cuando ésta sea realizada o abonada por Visesa.
- La máxima puntuación corresponderá al porcentaje de recargo MÁS ALTO conforme a la siguiente tabla:

% de Recargo	Puntos
% 10	0
% 20*	1
% 30*	2

* No acumulativos

No se podrán presentar ofertas con porcentaje inferior al 10%

XIII.- IGUALDAD Y FOMENTO DEL EMPLEO

a. Se valorará con un máximo de 2 puntos el compromiso de emplear 1 o más mujeres en la plantilla adscrita durante toda la ejecución de la obra. Se adjudicará 1 punto a razón de cada mujer adscrita, hasta un máximo de 2 puntos.

b. Se valorará con 1 punto más, cuando el perfil de Responsable General, Delegado/a de Obra o Jefe/a de grupo se designe a una mujer.

c. Se valorará con 1 punto el disponer y aplicar a la ejecución del contrato un convenio colectivo de empresa con cláusulas específicas para la igualdad de mujeres y de hombres; o el disponer y aplicar medidas de conciliación de la vida personal, laboral y familiar para la plantilla que ejecute el contrato que supongan una ampliación o mejora con respecto a los derechos reconocidos legalmente, tales como:

- Mejora o ampliación de los permisos, licencias o excedencias establecidas por la normativa legal vigente.
- Flexibilización y/o adecuación de la jornada u horario de trabajo.
- Servicios de apoyo a la conciliación.

En fase de licitación se acreditará mediante declaración del convenio colectivo de aplicación o descripción de las medidas de conciliación aplicables; la adjudicataria deberá mantenerlo durante la ejecución del contrato como condición especial de ejecución.

d.Se valorará con 1 punto el compromiso de emplear a una persona menor de 30 años (a la fecha de presentación de ofertas) como persona colaboradora de alguno de los perfiles adscritos a la plantilla que ejecutará el contrato, y durante toda la prestación contractual. Preferiblemente, como colaboradora de los perfiles de Jefe/a de Obra, Responsable de Calidad/Seguridad, Responsable de Medio Ambiente, Responsable Posventa o Encargado/a de Obra

5.3 DIGITALIZACIÓN

A diferencia de décadas pasadas, en las cuales las propuestas de construcción mediante componentes industrializados apenas disponían de una asistencia digital que facilitase el control de compatibilidad, trazabilidad, fabricación avanzada, planificación e integración de procesos, actualmente el desarrollo de las tecnologías digitales resulta un **apoyo imprescindible** para dar soporte al nuevo modelo industrializado. El desarrollo de herramientas como **CAD** (Computer Aided Design) y **CAM** (Computer Aided Manufacture) ha permitido la evolución hacia una visión integrada y colaborativa entre diseñadores y fabricantes para garantizar que los proyectos sean factibles desde el punto de vista constructivo, y que los elementos puedan ser fabricados y ensamblados de manera eficiente.

Desde la incorporación del modelado de información de construcción (**BIM**) en las primeras décadas del 2000, los procesos constructivos han avanzado a hacia su **digitalización** de modo exponencial. A medida que avanzamos en el siglo XXI, el sector sigue enfrentándose a nuevos retos que requieren de una **adaptación continua** a las innovaciones tecnológicas emergentes, tales como la **inteligencia artificial**, para mantener la competitividad y maximizar los beneficios de la digitalización. Además, la **ciberseguridad** se presenta como un desafío creciente dadas las repercusiones de las interferencias no deseadas en un entorno digital cada vez más interconectado. La capacidad del sector de la construcción industrializada para abordar estos desafíos determinará su éxito en la próxima era digital.

Un área clave en esta transformación es la Fabricación Digital (**DFAB**), la cual engloba el uso de tecnologías avanzadas como la impresión 3D, la fabricación robótica y la automatización, para crear componentes de construcción de manera más eficiente y precisa. Instituciones de reconocimiento internacional, como el **National Centre of Competence in Research (NCCR) Digital Fabrication del ETH de Zürich**, cuyo director general, el **Dr. Russell Loveridge**, participa en el prólogo de este libro, están liderando esta transformación digital. Centros como el ETH Zürich desarrollan y ponen en práctica tecnologías avanzadas que sirven de base para la evolución del sector. La DFAB no solo optimiza el uso de recursos, sino que también mejora la sostenibilidad y la calidad de los proyectos constructivos, permitiendo una integración más fluida de los procesos de diseño, fabricación y construcción.

En este contexto, el concepto de Construcción 4.0 emerge como un paradigma que integra la digitalización, la automatización y la inteligencia artificial en todas las fases del ciclo de vida de la construcción. El concepto de Construcción 4.0 se refiere a la aplicación de tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT), la realidad aumentada (AR), la realidad virtual (VR), el análisis de datos y los sistemas ciberfísicos para crear entornos de construcción inteligentes y conectados.

A continuación, analizamos el proceso de promoción de vivienda protegida industrializada desde diversas perspectivas, destacando la notable influencia de la digitalización en cada una de ellas.

5.3.1 Desde el punto de vista del proceso de promoción

La cadena de valor de una promoción inmobiliaria se puede dividir en cinco grandes fases, y en cada una de ellas, la digitalización juega un papel fundamental, apoyada principalmente en la metodología BIM y la Fabricación Digital (DFAB):

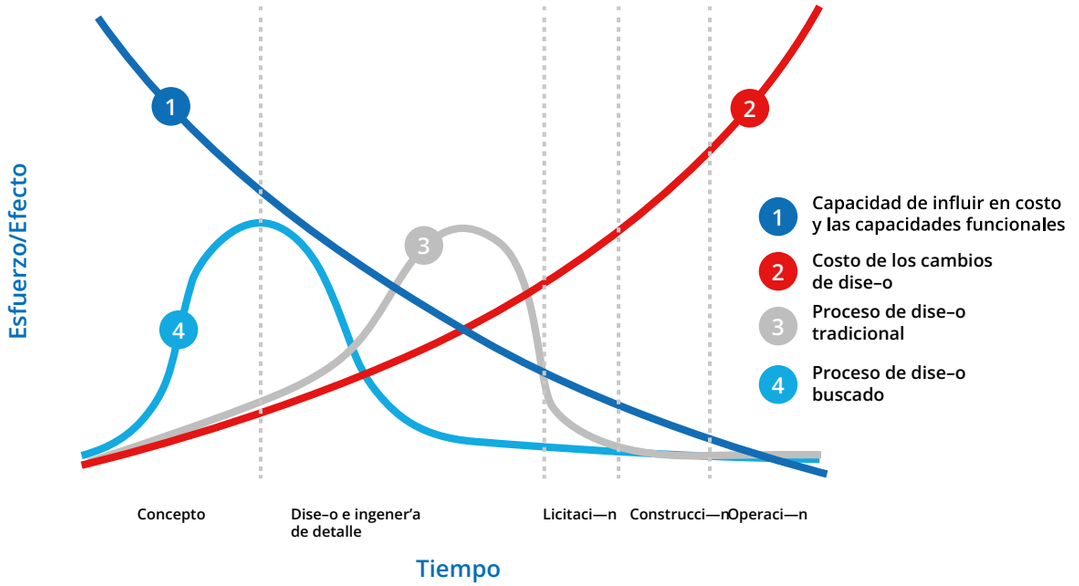
- Diseño
- Fabricación
- Construcción (transporte y montaje)
- Operación y mantenimiento
- Fin de vida

El arquitecto **Patrick Macleamy** acuñó el término **"BIM, BAM, ¡BOOM!"** como recurso didáctico para expresar la necesidad de evolucionar la naturaleza fragmentada de la industria de la construcción a lo largo de esas cinco fases hacia un sistema integrado vertical más cercano a los modelos de fabricación industriales. En esta expresión, el **BIM** (Building Information Modelling) representa el modelado inicial del proyecto, el **BAM**, el montaje del edificio (Building Assembly) y el **BOOM** la fase de operación y mantenimiento (Building Operation). La integración de DFAB en estas fases refuerza aún más la necesidad de un enfoque cohesivo, optimizando cada etapa desde el diseño hasta el mantenimiento a través de tecnologías avanzadas de fabricación.

Patrick MacLeamy asegura que por cada dólar invertido en la fase de diseño se gastan otros veinte durante la fase de ensamblaje o construcción y sesenta durante el período de vida útil del edificio, considerándose unos cincuenta años de vida útil. Dicho de otra manera, si aplicamos la metodología BIM para el diseño y construcción de una promoción de viviendas, obtendremos un rendimiento del 20% con respecto los sistemas tradicionales, pero si lo aplicamos a la fase de operaciones y mantenimiento (BOOM) el rendimiento será mucho mayor (80%) pues lo estamos aplicando a un periodo mucho más largo de explotación del activo (50 años o más).

En última instancia, lo que pretende expresar MacLeamy es que las metodologías colaborativas apoyadas en herramientas digitales suponen una mejora diferencial del proceso constructivo en cuanto a eficiencia y sostenibilidad, permitiendo aprovechar los recursos de la manera más eficaz posible con un enfoque de ciclo de vida completo del edificio que permita optimizar los esfuerzos en cada fase del mismo. Más aún en un paradigma de construcción industrializada.

Esta visión quedó reflejada en la siguiente curva:



Una vez establecido el marco teórico, se expone, a continuación, cuál puede ser la **aportación de las tecnologías digitales** en cada una de las fases del proceso de construcción, en el cual **la construcción industrializada plantea un ecosistema favorable para su implantación efectiva**.

5.3.1.1 DISEÑO



Modelado de Información de Construcción (BIM)
La metodología BIM es esencial en esta etapa, permitiendo la creación de modelos digitales 3D que integran información sobre diseño, costes y plazos de ejecución. Facilita la colaboración entre equipos multidisciplinarios y proporciona una visión completa del proyecto desde su concepción hasta su finalización con un enfoque de ciclo de vida completo. Permite además implementar un BEP (BIM Execution Plan), documento que define las pautas y métodos de trabajo común que sirve como base y guía de trabajo.



Realidad Virtual (VR) y Realidad Aumentada (AR)
Estas tecnologías permiten a los agentes del proyecto visualizar y experimentar el diseño de manera inmersiva antes de la construcción, lo que facilita la toma de decisiones y la identificación temprana de posibles problemas.



Arquitectura Paramétrica y Generativa
La arquitectura paramétrica y generativa optimizan la fase de diseño al permitir la creación de modelos que se adaptan a diferentes requisitos de manera rápida y eficiente. La arquitectura paramétrica utiliza variables ajustables para modificar el diseño en tiempo real, facilitando la adaptación a necesidades específicas del proyecto. Por su parte, la arquitectura generativa emplea algoritmos que generan soluciones adaptativas, integrando condiciones como eficiencia energética o simulaciones ambientales.

5.3.1.2 FABRICACIÓN



Automatización de Procesos
La automatización de la fabricación mediante tecnologías como robots y maquinaria controlada por ordenador garantiza la precisión y eficiencia en la producción de elementos prefabricados.



Internet de las cosas (IoT)
Sensores y dispositivos conectados permiten monitorear en tiempo real el proceso de fabricación, asegurando la calidad y permitiendo ajustes inmediatos ante variaciones.



Sistemas de gestión de datos y software de trazabilidad
Herramientas específicas de software diseñadas para registrar y gestionar información sobre materiales y productos, incluyendo datos sobre su origen, características, transporte, uso y destino final. Estos sistemas facilitan la recopilación, el análisis y el seguimiento de la información relevante y en tiempo real. Incluye el Pasaporte Digital de Producto, que será clave en el fin de vida y circularidad.

5.3.1.3 CONSTRUCCIÓN (TRANSPORTE Y MONTAJE)



Gestión de la Cadena de Suministro Digital
Sistemas digitales para la gestión de la cadena de suministro garantizan la entrega oportuna de componentes prefabricados al sitio de construcción.



Drones y Tecnología de Localización
Facilitan la supervisión del transporte y montaje, mejorando la eficiencia logística y proporcionando datos en tiempo real sobre el progreso del proyecto.

5.3.1.4 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO



Sensores y IoT
Integrar sensores en la infraestructura permite monitorear el rendimiento en tiempo real, anticipar necesidades de mantenimiento y optimizar la eficiencia operativa.



Plataformas de Gestión de Activos
Facilitan la programación y supervisión de tareas de mantenimiento preventivo, prolongando la vida útil de los edificios y garantizando un rendimiento continuo.

5.3.1.5 FIN DE VIDA



Evaluación y Planificación Digital de Desmantelamiento
Utilizando modelos BIM actualizados, se puede planificar y simular el desmantelamiento del edificio, identificando los materiales y componentes que pueden ser reciclados o reutilizados. Esto permite una planificación precisa y reduce el impacto ambiental de la demolición.



Automatización y Robótica en Demolición
La utilización de robots y maquinaria automatizada puede mejorar la eficiencia y seguridad de la demolición. Estos sistemas pueden ser programados para desmantelar estructuras de manera selectiva, recuperando materiales valiosos y minimizando residuos.



Pasaporte Digital de Producto (DPP)
El DPP proporciona un registro detallado de todos los materiales y componentes del edificio, incluyendo su origen, composición y vida útil. Esta información es imprescindible al final de la vida útil del edificio para asegurar que los materiales se gestionen de manera responsable y sostenible.

5.3.2 Desde el punto de vista de la gestión de activos. Alokabizi

Dentro de las fases de ciclo de vida del edificio, la relativa a la operación y mantenimiento es especialmente importantes por ser la que mayor alcance temporal tiene y por concentrar buena parte de los impactos económicos y medioambientales. Alokabide, sociedad pública dependiente del Gobierno Vasco, tiene el encargo de gestionar el parque público de vivienda a través del marco estratégico “Alokabizi”. Este marco plantea un modelo de vivienda protegida de alquiler social más sostenible, inclusiva y digital, cuyo alcance está disponible en el portal digital de Alokabide. Se extractan las cuestiones relativas a la digitalización de la gestión del parque:

5.3.2.1 GEMELOS DIGITALES Y BMS

El **Gemelo Digital (BIKIA)**, tal y como se entiende desde Alokabide, es un modelo digital del edificio en tiempo real que permite a las personas responsables de la gestión del edificio, simular, prever y evitar situaciones de riesgo antes de que se produzcan. Esta tecnología **facilita la gestión y resolución de problemas** relacionados con el consumo energético, la accesibilidad y otras necesidades de la población inquilina de la vivienda protegida de alquiler social.

El gemelo digital **BIKIA ofrece una representación digital del edificio** para poder aplicar:

- Sistemas de simulación y analítica avanzada que se traducen en una toma de decisiones optimizada.
- Técnicas de inteligencia artificial para optimizar la situación del edificio.

Los beneficios del gemelo digital para el operador del edificio son de diverso alcance:

- **Escala territorial del parque:** el gemelo digital BIKIA de Alokabide supone la oportunidad de gestionar un amplio parque de viviendas protegidas de alquiler social de forma eficaz con el fin de dar respuesta a tiempo a las necesidades de la población inquilina.
- **Facilita el acceso a la información:** gracias a este soporte, se mejora la

transparencia en la comunicación, el control del consumo energético y la igualdad de condiciones entre la población inquilina.

- **Mayor seguridad:** este sistema permite simular, prever y corregir situaciones de riesgo antes de que se produzcan.

Para obtener todas las ventajas de los gemelos digitales es necesario contar con la infraestructura digital precisa y un sistema que la gestione, conocido como **BMS o Building Management System**.

El **BMS Social** permite comprender el comportamiento de los edificios para gestionarlos de manera inteligente, logrando mayor **ahorro y eficiencia**. El BMS constituye una tecnología complementaria al Gemelo digital BIKIA y, junto con la representación virtual mediante modelos BIM y el sistema de mantenimiento GMAO de los edificios, permite integrar información en un entorno 3D, facilitando el análisis y la toma de decisiones.

Los Gemelos Digitales ofrecen una representación digital completa del edificio y su información relacionada, mientras que los BMS se centran en la gestión y control en tiempo real de los sistemas que componen el edificio. La integración de ambos puede proporcionar un enfoque más holístico y eficiente para la construcción y gestión de edificaciones. Algunas claves de la mencionada complementariedad son las siguientes:

- **Integración de datos:** los Gemelos Digitales pueden integrarse con sistemas existentes, como los BMS, para obtener datos en tiempo real sobre el rendimiento de los sistemas del edificio. Esta integración permite una toma de decisiones más informada y una gestión más eficiente.
- **Simulación y análisis:** en los Gemelos Digitales se pueden simular y analizar escenarios de rendimiento del edificio, y los resultados de estas simulaciones pueden ser utilizados para mejorar la configuración y la eficiencia de los sistemas controlados por el BMS.
- **Optimización de operaciones:** la información del Gemelo Digital puede ser utilizada para optimizar la operación del edificio a través del BMS. Por ejemplo, los datos del Gemelo Digital pueden indicar cuándo es necesario realizar mantenimiento preventivo o ajustar la configuración de los sistemas para mejorar la eficiencia energética. Asimismo, la consecución de la automatización de los edificios es una realidad que ayuda a conseguir el mayor confort con el menor gasto. Los datos obtenidos permiten optimizar las instalaciones para conseguir los ahorros deseados, y ofrecer formación energética a las personas usuarias.



IMAGEN 5.2 BIM Social. Alokabide

5.3.2.2 PASAPORTE DIGITAL DEL EDIFICIO

El avance de la integración de las tecnologías digitales en la fase de operación y mantenimiento permites la incorporación a las promociones de vivienda protegida de alquiler social del **Pasaporte del Digital de Edificio**, que proporciona una plataforma centralizada y actualizada para la gestión eficiente de información, activos y operaciones, mejorando así la eficiencia, sostenibilidad y vida útil del edificio.

Contar con un Pasaporte Digital del Edificio permite influir positivamente en las siguientes áreas dentro de la fase de operación y mantenimiento:



Trazabilidad y acceso a la información
Proporciona una plataforma centralizada para almacenar información relevante sobre el edificio, incluyendo detalles de diseño, especificaciones de materiales, instalaciones y sistemas. Facilita la trazabilidad completa de los componentes del edificio, permitiendo un acceso rápido y fácil a la información esencial para las operaciones y el mantenimiento.



Gestión eficiente de activos
La información detallada en el Pasaporte Digital del Edificio incluye la identificación y estado de los activos del edificio, desde sistemas mecánicos hasta equipos eléctricos. Facilita la gestión eficiente de activos al proporcionar datos en tiempo real sobre su rendimiento, programación de mantenimiento preventivo y la capacidad de anticipar y abordar problemas antes de que se conviertan en fallos importantes.



Mantenimiento predictivo y preventivo
Al integrar sensores y datos en tiempo real en el Pasaporte Digital del Edificio, se puede implementar un enfoque de mantenimiento predictivo basado en condiciones reales y no en estimaciones. Mejora la eficiencia de las operaciones al prever y programar el mantenimiento antes de que ocurran fallos, reduciendo así el tiempo de inactividad y los costes asociados.



Gestión de documentación
El Pasaporte Digital del Edificio actúa como un repositorio centralizado para documentos importantes relacionados con la operación y el mantenimiento, como manuales de uso, garantías y certificaciones. Simplifica la gestión de documentación, mejorando la accesibilidad y la precisión de la información necesaria para las operaciones diarias y el mantenimiento a largo plazo.



Integración con Sistemas de Gestión de Edificios (BMS)
Permite una supervisión más eficiente y la toma de decisiones informada sobre el rendimiento de los sistemas del edificio. Proporciona una visión integral que combina la información del diseño con los datos operativos en tiempo real, mejorando la capacidad para optimizar la eficiencia energética y el confort de las/os ocupantes.



Planificación de renovaciones y mejoras
El historial del Pasaporte Digital del Edificio puede incluir información sobre renovaciones y mejoras anteriores, así como sugerencias para futuras actualizaciones basadas en el rendimiento pasado. Facilita la planificación estratégica de renovaciones y mejoras, ayudando a la propiedad a tomar decisiones informadas sobre inversiones a largo plazo.

Alokabide tiene su propia visión del Pasaporte Digital del Edificio al que ha llamado "**alokaPASS**". Lo que busca alokaPASS es la traslación del modelo de pasaporte del edificio de la Comisión Europea a la realidad de la vivienda protegida de alquiler social de la Comunidad Autónoma Vasca para su estandarización y replicabilidad en el conjunto del parque y concebido como una **hoja de ruta individualizada de cada edificio**.

El pasaporte se adapta, de manera individual, a las necesidades de las personas usuarias y a las condiciones de cada inmueble para acompañar a la comunidad en los pasos necesarios para usar y mejorar su edificio.

Esta hoja de ruta tendrá tres líneas de trabajo fundamentales:

- Descriptivo-conceptual: indicadores que definen un estado inicial y un estado final objetivo.
- Hitos: un plan de rehabilitación por fases y un componente social.
- Herramientas que permiten cumplir los hitos: gemelo digital y plan de acompañamiento.

La finalidad última es alcanzar una situación normativamente aceptable y socialmente deseable para cada uno de los ámbitos sobre los que trabaja el Pasaporte, es decir, los tres ámbitos de calidad relacionados con la generación de habitabilidad:

- la calidad técnica de los sistemas constructivos y las instalaciones.
- la calidad funcional de las viviendas.
- la eficiencia en el uso de los recursos, especialmente los energéticos y los hídricos.

5.3.3 Desde el punto de vista económico – financiero

La tecnología **blockchain** puede aportar transparencia, eficiencia y seguridad en las operaciones económico-financieras de una promoción de vivienda, mejorando la confianza entre las partes involucradas y optimizando los procesos financieros a lo largo de toda la cadena de valor. Blockchain es una base de datos distribuida que permite registrar transacciones de manera segura e inmutable, garantizando que la información almacenada no pueda ser alterada ni eliminada. Esta tecnología es la base para la **tokenización**, un proceso que convierte un activo físico o derecho económico en unidades digitales (tokens) que se registran en una cadena de bloques.

La tokenización permite representar un **valor o un derecho** (derechos de cobro, flujos de caja, ingresos futuros, acciones,...). Estos tokens son inimitables, auditables y pueden transferirse entre los nodos de la red de manera segura y eficiente. La principal ventaja de la tokenización es que facilita transacciones más ágiles y seguras, eliminando la necesidad de intermediarios y permitiendo el **fraccionamiento de activos** en unidades más pequeñas y manejables. Esto no solo aumenta la liquidez de los activos, sino que también democratiza el acceso a la inversión, permitiendo que más personas participen en el mercado. Como aplicación de la tokenización en la construcción, podemos citar:



Transferencia de la propiedad de los componentes

En el contexto de la construcción industrializada, la tokenización permite **transferir la propiedad de los componentes de construcción de manera digital y fraccionada**. La tokenización facilita el seguimiento del estado de avance del proyecto, monitorización del proyecto (ver 5.1), al realizar una certificación inequívoca y trazable de los componentes desde el fabricante hasta la promotora y permite una clara delimitación y seguimiento del traspaso de propiedad.



Financiación alternativa

La tokenización ofrece un canal alternativo de financiación para proyectos de construcción industrializada. Al digitalizar y fraccionar derechos económicos, se pueden crear tokens que representan ingresos futuros o derechos de cobro, los cuales **pueden ser negociados en mercados P2P sin intermediarios**. Este modo de financiación supone una alternativa para a las pequeñas y medianas empresas (PYMEs) que no pueden acceder a los mercados tradicionales.



Contratos inteligentes (Smart Contracts)

Los contratos inteligentes (smart contracts) son programas que se ejecutan automáticamente cuando se cumplen ciertas condiciones predefinidas. En el ámbito de la construcción industrializada, los smart contracts pueden utilizarse para **automatizar y ejecutar acuerdos financieros**, eliminando la necesidad de intermediarios y reduciendo el tiempo de ejecución. Estos contratos no solo mejoran la eficiencia, sino que también minimizan los riesgos de errores humanos y proporcionan mayor transparencia en los términos contractuales.

Por ejemplo, en la transferencia de propiedad y financiación, los smart contracts pueden **automatizar los pagos** con el **cumplimiento de ciertos hitos** en el proyecto de construcción. De esta manera se asegura una mayor confiabilidad y rapidez en las transacciones, mejorando la gestión del flujo de caja y reduciendo los riesgos financieros.

El **31 de diciembre de 2024**, entrará en vigor la **regulación sobre mercados de criptoactivos** en **la Unión Europea** (MiCA, por sus siglas en inglés). MiCA proporcionará un marco legal claro para la emisión y negociación de tokens y facilitará su adopción. Además, la inminente introducción del euro digital promete revolucionar el sector, permitiendo una mayor supervisión y control de los fondos destinados a proyectos específicos.

5.3.4 Desde el punto de vista de la contratación pública

La digitalización y las tecnologías de la información y comunicación (TIC) también ofrecen numerosas ventajas en el proceso de contratación. La incorporación de **plataformas digitales** para la publicación de licitaciones públicas mejora la transparencia y accesibilidad del proceso. La automatización de los procesos de licitación mediante sistemas digitales disminuye la carga administrativa y la gestión manual de documentos físicos, agilizando el proceso de contratación y reduciendo los costes operativos.

Además, las plataformas digitales permiten un **seguimiento en tiempo real** del estado de las licitaciones, proporcionando una visibilidad constante a las promotoras públicas y a los participantes, además de permitir la identificación temprana de posibles problemas y una comunicación más ágil para la resolución de incidencias. La incorporación de medidas de seguridad digital garantiza la **confidencialidad e integridad** de la información sensible asociada a las licitaciones y protege los datos de los licitadores. Todo esto redunda en una **competencia más equitativa**.

Por su parte, la **metodología BIM** también tiene reflejo en las normas de contratación pública: el 27 de junio de 2023, el Consejo de Ministros ordenó a través del Plan de Incorporación de la Metodología BIM en la contratación pública de la Administración General del Estado y sus organismos públicos el uso de BIM en ciertos tipos de contratos públicos relacionados con la construcción.

5.3.5 Retos para la digitalización

Si bien la implantación de tecnologías digitales en el sector es un avance irrenunciable y con un impacto cierto en el desarrollo de promociones de viviendas, no podemos dejar de lado el hecho de que su implantación acarrea una serie de **retos a abordar** en el futuro cercano. Los retos que se vislumbran a día de hoy tienen que ver con las siguientes cuestiones:



Integración de la Inteligencia Artificia
La incorporación de la IA en las distintas fases de una promoción inmobiliaria requiere el desarrollo de la interoperabilidad de sistemas y la gestión de grandes volúmenes de datos. Además, la IA implica una transformación en los procesos tradicionales y en la toma de decisiones, lo que supone una adaptación cultural y la capacitación del personal en nuevas metodologías.



Interoperabilidad
Asegurar la interoperabilidad entre diversas tecnologías y plataformas es esencial para una cadena de valor completamente integrada.



Ciberseguridad
Con el aumento de la conectividad, proteger los sistemas digitales contra posibles amenazas cibernéticas se vuelve crítico para garantizar la integridad y la seguridad de los datos.



Formación y capacitación
Asegurar que los y las profesionales de la construcción estén debidamente capacitados para utilizar y aprovechar al máximo las tecnologías digitales es un desafío clave.



Normativas y estándares
Desarrollar normativas y estándares globales que guíen la implementación y garantía de calidad en el uso de tecnologías digitales en la construcción industrializada.



Adopción cultural
Superar la resistencia cultural y tradicional en la industria de la construcción, fomentando una mentalidad proactiva hacia la digitalización y la innovación, capaz de impulsar la eficiencia y rentabilidad de los procesos industrializados.

5.4 Innovación. Investigación aplicada y formación

La transición hacia un modelo industrializado en el ámbito de la construcción es una tarea desafiante, por cuanto se trata de una actividad históricamente poco propicia a los grandes cambios. Para lograr avances en la **transformación** y en la implantación progresiva de procesos industrializados se requiere del trabajo y la implicación del **sector empresarial** de la construcción, pero, también, del **ámbito académico**.

La l**ínea estratégica 4 del Pacto Social por la Vivienda de Euskadi 2022-2036**, propone afianzar un sector de la construcción atractivo, competitivo e innovador a través de la intensificación de la **colaboración con los centros tecnológicos y el sistema educativo**, tanto a nivel universitario como de formación profesional, e incide de forma específica en la industrialización del sector.

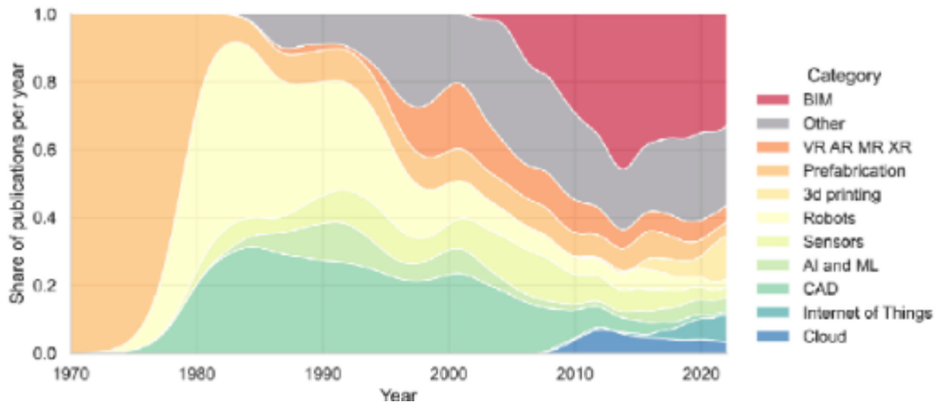


FIGURA 5.3. Tendencia de tecnologías investigadas en el sector AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción).

Según se ha puesto de manifiesto a lo largo del recorrido histórico de la construcción industrializada, el desarrollo de soluciones innovadoras requiere del soporte de líneas de investigación que permitan optimizar su rendimiento desde una concepción sostenible de la construcción y que permitan la **aplicación efectiva de nuevas tecnologías** en la industria de la construcción.

Por su parte, la **formación de profesionales** que estén capacitados para entender las particularidades, tecnología y procesos, asociadas a la construcción industrializada debe involucrar a **toda la cadena de valor** de la producción de los edificios.

5.4.1 Investigación aplicada

5.4.1.1 CENTROS TECNOLÓGICOS

Los **centros tecnológicos** juegan un papel fundamental en la modernización de la industria de la construcción, promoviendo la adopción de nuevas tecnologías y metodologías que mejoran la eficiencia, sostenibilidad y calidad de los proyectos constructivos. Particularmente, la construcción industrializada se apoya en todas estas líneas de investigación:

- Desarrollo de Nuevos Materiales
- Certificados de Evaluación Técnica
- Innovación en Procesos
- Digitalización de Procesos
- Automatización y Robótica
- Sostenibilidad y Eficiencia Energética

Como ejemplo de las líneas de trabajo de un centro tecnológico de referencia mundial como el **ETH de Zürich**, se reproduce el mapa de la hoja de ruta de la investigación en el ámbito de la construcción industrializada:

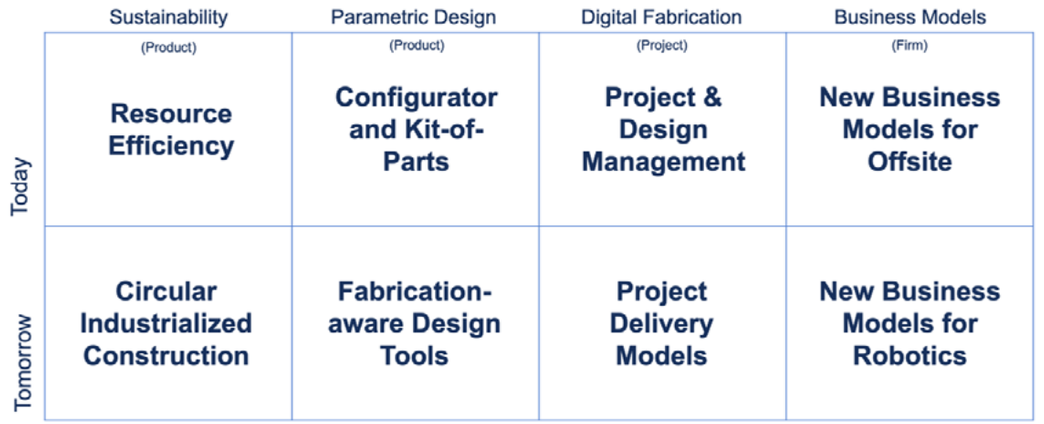


Figura 5.4: Research Agenda for Industrialized Construction

Además de la importancia de los centros tecnológicos, merece la pena reconocer las iniciativas de empresas PYME privadas, como **Picharchitects**, en el avance de la arquitectura sostenible. A través de su departamento de innovación, este estudio de arquitectura ha realizado importantes aportaciones a la investigación aplicada en la construcción industrializada mediante el desarrollo de técnicas innovadoras como el ensamblaje en seco y el uso de componentes prefabricados.

Es necesario poner en valor estas iniciativas privadas, máxime teniendo en cuenta que el informe del sector de la construcción 2023 de la Fundación Laboral señala la importancia de la I+D para mejorar la competitividad del sector, a la par que recoge el dato de que **el sector de la construcción solo concentró el 1% del gasto total en I+D a nivel nacional**, lo que muestra que es un ámbito que admite amplio margen de mejora. Las empresas que lideren en innovación tendrán la capacidad de adoptar nuevas tecnologías y métodos para sumarse a transformar el sector, haciéndolo más eficiente y sostenible en el largo plazo.

En el entorno territorial del País Vasco, el Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación del Gobierno Vasco desempeña un papel clave como **colaborador estratégico** de los centros tecnológicos, el sector académico y el sector de la construcción en general. El laboratorio tiene entre sus cometidos principales investigar, innovar, formar y coordinar otros laboratorios privados y regular la actividad del sector para la mejora continua de la calidad y sostenibilidad de los edificios.

5.4.1.2 PROGRAMAS DE AYUDA A LA INNOVACIÓN

Por su parte, programas públicos de apoyo a la innovación como Eraikal, iniciativa del Departamento de Vivienda y Agenda Urbana del Gobierno Vasco, tienen la voluntad de transformar el sector de la edificación para convertirlo en un sector sólido, competitivo y eficiente.

El programa Eraikal reconoce la **capacidad de la construcción industrializada para transformar el sector**, y lograr que sea más sostenible y seguro, y destina la mayor dotación económica del programa a la innovación en estudios, proyectos y prototipos específicos sobre industrialización de procesos de construcción en edificación residencia.

Este trabajo del Libro Blanco de la Vivienda Social Industrializada se enmarca dentro de la línea V del programa Eraikal 2022, enfocada específicamente a estudios, proyectos y prototipos específicos sobre industrialización de procesos de construcción en edificación residencial.

Sin embargo, la necesidad de investigación para la industrialización del sector no sólo se circunscribe a las disciplinas tradicionalmente asociadas a la construcción, arquitectura e ingeniería, sino que según se ha apuntado en la introducción, debe abarcar toda la cadena de valor de la promoción. Así lo entienden iniciativas como "Call for Digital and Green Ideas", impulsada por **Build:Inn**, clúster de la construcción de país Vasco, que han premiado el trabajo de la correduría de seguros **Alkora** en el proyecto "Desarrollo de la Gestión de Riesgos Aseguradores para la Construcción Industrializada". De igual manera, entidades financieras, compañías aseguradoras, promotoras, gestoras,...deben investigar y analizar las repercusiones del modelo industrializado en el ámbito de su participación para la completa transformación del sector.

5.4.2 Formación

Como se ha apuntado anteriormente (ver 4.4.1), uno de los mayores retos de la construcción industrializada es la necesaria **adaptación de los procesos tradicionales**. En este contexto, la formación juega un papel crucial para la capacitación de las personas en las nuevas técnicas y tecnologías. Mediante programas de formación específicos, se pueden abordar las resistencias al cambio, mejorar las competencias en el uso de herramientas digitales y automatizadas, y asegurar que todos los agentes involucrados comprenden y aplican las mejores prácticas de la industria.

Una de las principales preocupaciones en la formación universitaria y profesional es la disminución del alumnado, motivada por la evolución demográfica pero, también, por la percepción de la construcción como un sector poco atractivo. La construcción industrializada podría cambiar esta percepción al acercar el sector a metodologías y tecnologías más modernas, asimilables a la industria manufacturera.

A continuación, se recoge una relación de los itinerarios curriculares existentes y las tendencias en el ámbito formativo para abordar las necesidades del nuevo modelo.

5.4.2.1 FORMACIÓN PROFESIONAL

Atendiendo a las necesidades manifestadas por los fabricantes de componentes industrializados, los perfiles demandados difieren de las capacidades adquiridas a través de las titulaciones tradicionales. Para la fase de producción en las instalaciones, las empresas precisan de **profesionales polivalentes**, con conocimientos de varios oficios, como fontanería y electricidad, que puedan abordar distintas operaciones de la cadena de producción.

Esto supone un cambio en el enfoque de la formación y las competencias necesarias en el sector de la construcción: en lugar de especializarse profundamente en un solo oficio, los/as trabajadores/as deben tener una comprensión general y práctica de múltiples disciplinas para adaptarse a diversas tareas y contribuir eficazmente en diferentes etapas del proceso de producción.

Por otra parte, en el modelo de construcción industrializado cobra preponderancia otro rol, tanto en el trabajo en planta como in-situ: el de los/as **montadores/as**. Este oficio es esencial para el ensamblaje de componentes en taller, así como para el montaje de los módulos en la propia obra. La formación para estas tareas incluye capacitación en técnicas de montaje, uso de herramientas especializadas y comprensión de los planos y especificaciones técnicas, y resulta fundamental para garantizar la calidad final y la rapidez de la construcción.

5.4.2.1.1 Fundación Laboral de la Construcción

La **Fundación Laboral de la Construcción** realiza una labor relevante para la transformación del sector, como dan muestra iniciativas como el proyecto europeo "Women can Build" para fomento de políticas para una mayor incorporación de las mujeres en la construcción, puesto en marcha en 2017, y que completó en 2020 con la elaboración del primer plan de igualdad del sector.

Actualmente, la Fundación está coordinando el proyecto europeo "**BuildOffsiteEU**" sobre construcción industrializada, con la participación de 5 países (Macedonia del Norte, Italia, Grecia, Eslovenia y España) y que finalizará en 2024. Este proyecto está dirigido a desarrollar herramientas para elaborar propuestas formativas que suplan las carencias competenciales de la mano de obra del sector, faciliten su (re)cualificación y ayuden en la **transición de la construcción tradicional a la construcción industrializada**.

Además, la Fundación Laboral de la Construcción participa en la iniciativa **Pact4Youth**, una alianza a nivel europeo que promueve la cooperación entre empresas, instituciones educativas y autoridades públicas para **mejorar las oportunidades de empleo y formación de las/os jóvenes en el sector de la construcción**. Pact4Youth tiene como objetivo principal abordar el desafío del desempleo juvenil mediante la creación de más y mejores oportunidades de aprendizaje en el lugar de trabajo y la promoción de la formación profesional dual. Esta iniciativa busca también fomentar la inclusión y la diversidad en el mercado laboral, promoviendo un **entorno de trabajo más inclusivo y equitativo**.

5.4.2.1.2 Formación Profesional en Euskadi

FP Euskadi-Lanbide Heziketa oferta un gran número de grados formativos que abarcan también un amplio número de campos de conocimiento. El Instituto Vasco de Conocimiento de la Formación Profesional (IVAC-EEI) agrupa todos los grados que oferta FP Euskadi en veintiséis 'Familias Profesionales'. Cuatro de ellas tienen algún tipo de vinculación con la construcción industrializada: Edificación y Obra Civil, Fabricación Mecánica, Instalación y Mantenimiento, y Madera, Mueble y Corcho.

Familia Profesional: Edificación y Obra Civil

En la actualidad se ofertan seis grados en la familia profesional de Edificación y Obra Civil, el grado básico de 'Profesional Básico en Reforma y Mantenimiento de Edificios', los grados medios de 'Técnico en Construcción' y 'Técnico en Obras de interior, Decoración y Rehabilitación', y los grados superiores de 'Técnico Superior en Proyectos de Edificación', 'Técnico Superior en Proyectos de Obra Civil' y 'Técnico Superior en Organización y Control de Obras de Construcción'. Las asignaturas impartidas en estos grados se centran fundamentalmente en la construcción tradicional 'húmeda', como la ejecución de fábricas, revestimientos, hormigón armado, solados, alicatados o chapados. También existen asignaturas donde el alumnado adquiere competencias en la ejecución de revestimientos continuos, pintura, impermeabilizaciones y aislamientos.

Familia Profesional: Fabricación Mecánica

La familia profesional de Fabricación Mecánica abarca un gran campo formativo, por lo que las personas que cursan los grados de esta familia profesional pueden encontrar un nicho laboral en la construcción industrializada. En la actualidad se ofertan trece grados en la familia profesional de Fabricación Mecánica, de los cuales diez tienen algún tipo de relación con la construcción industrializada. Tres de estos grados son básicos, tres medios y cuatro superiores. Además de estos grados, se oferta un curso de especialización en fabricación aditiva.

Familia Profesional: Instalación y Mantenimiento

En la actualidad se ofertan ocho grados en la familia profesional de Instalación y Mantenimiento, de los cuales siete tienen algún tipo de relación con la construcción industrializada. Dos de estos grados son básicos, tres medios y dos superiores. Además de estos grados, se ofertan dos cursos de especialización.

Familia Profesional: Madera, Mueble y Corcho

La familia de Madera, Mueble y Corcho ha estado tradicionalmente ligada a la ebanistería. Sin embargo, en la última década, la formación se ha ido ampliando, para abarcar competencias relacionadas con la construcción en madera. En la actualidad se ofertan cinco grados en la familia profesional de Madera, Mueble y Corcho, que tienen algún tipo de relación con la construcción industrializada. Uno de estos grados es básico, tres medios y uno superior.

5.4.2.2.1 Títulos de postgrado

La oferta de enseñanza universitaria en España ofrece una serie de cursos de postgrado que tienen adaptado su programa específicamente a la construcción industrializada, como, por ejemplo:

- Máster Construcción Industrializada y Prototipado en el Proyecto Arquitectónico Universidad Politécnica de Madrid.
- Postgrado de Experto Universitario en Arquitectura Industrializada MArch de la Universidad Europea de Valencia.
- Curso Técnico Especialista en Construcción Industrializada de la Universidad Francisco de Vitoria.
- Máster en Construcción Industrializada de la Universidad Internacional de la Rioja

Por su parte, en la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea, además de los títulos de grado relacionados con la arquitectura, la ingeniería y la construcción, ofrece una serie de cursos de postgrado que, si bien no están directamente enfocados a ella, tienen relación con la construcción industrializada, como son:

- Máster Universitario en Arquitectura
- Máster en Ingeniería de la Construcción
- Máster en Estructuras, Construcción y Diseño en Madera
- Máster de Arquitectura en Fachadas Ligeras

Además de los títulos de postgrado, cada vez es más extensa la oferta de cursos de formación continua como:

- Programa Profesional en Edificación Industrializada con Madera, organizado por el Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña (IAAC)
- Curso online ‘Construcción industrializada sostenible 4.0’ organizado por COADE+COAM
- Curso sobre construcción industrializada y eficiente con madera, organizado por el Clúster da Madeira e o Deseño de Galicia y la Fundación Laboral de la Construcción

La oferta cada vez más extensa de cursos relacionados con la construcción industrializada en una muestra más de la necesidad e interés del sector.

REFERENCIAS

Gimeno Feliu, J. M. (2024, febrero 14). Estudios y Comentarios: La colaboración público-privada en un contexto de moderna gobernanza económica al servicio de la ciudadanía.

Banco Europeo de Inversiones. (2021). Guía EPEC para las PPP.

Tribunal de Cuentas Europeo (2018) Asociaciones público-privadas en la UE: Deficiencias generalizadas y beneficios limitados.

Clúster de Edificación. (2022, junio 22). Presentación Mapa de Riesgos Financiación Industrializada.

Cercha. (2021, febrero). El marcado CE de los productos de construcción. 147, 64-69.

Marcado CE de los productos de construcción (Reglamento (UE) nº 305/2011) ¿Cómo se comprueba? Versión 16, julio 2022. Subdirección General de Calidad y Seguridad Industrial. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.

Fundación ICO y Afi (2024) La construcción industrializada: palanca para la sostenibilidad y la asequibilidad de la vivienda.

Ponencia “Patrick MacLeamy on the Future of the Building Industry”, Patrick MacLeamy, HOK Network.2010.

Conferencia “BOOM Digital Twin: datos para gestionar construcciones”. Fernando Morales, BIM 6D / POWERBIM. Rebuild 2020.

Adaptación de la curva de MacLeamy.

Ponencia “Trazabilidad: gestión de la información de materiales y productos a lo largo de su ciclo de vida”. David García Estévez. Plataforma Tecnológica de Trazabilidad Circular. Tecnalia. Vitoria – Gasteiz, 16/11/2023.

Entregable LH2.2 Pasaporte del Edificio. Especificaciones del Pasaporte del edificio para la Rehabilitación, Gestión y Mantenimiento del parque de Vivienda de alquiler social. Borja Izaola. GBCE Green Building Council España.

Brozovsky, J., Labonnote, N., & Vigren, O. (2024). Digital technologies in architecture, engineering, and construction. Automation in Construction, 158, 105212.

García del Valle Lajas, M. (2024). Digitalización e industrialización en e ldiseño y ejecución de fachadas de geometrías complejas. Presentación de un ejemplo construido. Interesmpresas.net.

McKinsey & Company. "Modular Construction: From Projects to Products". 2020.

Fundación Laboral de la Construcción. "Informe sobre el sector de la construcción". 2023.

Salas, J., Blázquez, A., Oteiza, I., Monjo, J., Vega, L., & Camps, I. P. (2013). Los documentos de idoneidad técnica como potenciales incentivadores de la industrialización de la construcción. Informes de la Construcción, 65(531), 275-288.



06

Prescripción de sistemas

- **6.1.** Adaptabilidad del sistema a los condicionantes de la parcela
- **6.2.** Trasporte y Logística
  - **6.2.1**. Medios de transporte
  - **6.2.2**. Logística. Accesos
  - **6.2.3.** Logística. Acopios in situ
- **6.3.** Montaje
  - **6.3.1**. Cimentación de los diferentes sistemas constructivos utilizados
  - **6.3.2**. Medios de elevación en obra
  - **6.3.3**. Otros componentes: baños industrializados
- **6.4.** Plazo de Ejecución
- **6.5.** Sostenibilidad Ambiental
- **6.6.** Coste Económico
  - **6.6.1**. Coste de ejecución
  - **6.6.2**. Coste de ciclo de vida
- **6.7.** Alturas de edificios
- **6.8.** Resumen
- Referencias

Uno de los objetivos de este Libro es el de servir de guía orientativa para la aplicación de los distintos sistemas y componentes industrializados en futuras promociones de vivienda pública de alquiler social. Con ese ánimo en este capítulo se realiza **una aproximación a los límites y rangos óptimos actuales de utilización** de los distintos sistemas, en su actual desarrollo y aplicación para vivienda social, para tener mejor conocimiento sobre los rangos razonables de su aplicación, sin que deba considerarse más que una orientación preliminar sujeta al análisis de las particularidades de cada caso y del desarrollo tecnológico y normativo del momento.

6.1 Adaptabilidad del sistema a los condicionantes de la parcela

La flexibilidad de las propuestas industrializadas y su capacidad de adaptación a distintos volúmenes y geometrías está **condicionada por su grado de industrialización**.

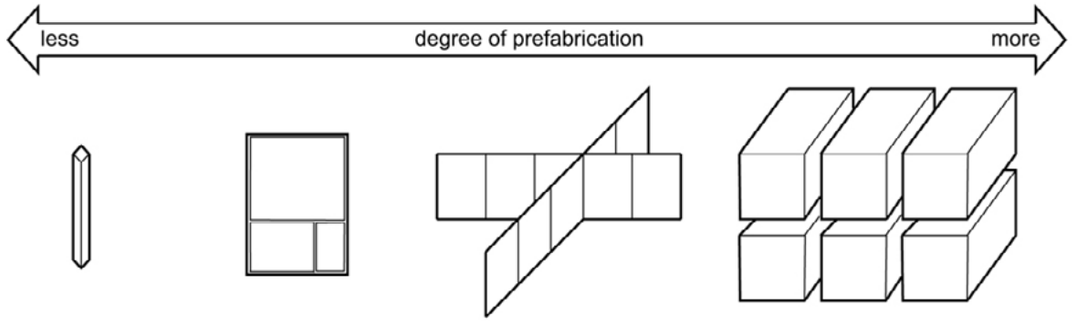


Figure 6.1 Prefabrication can be classified by the extent to which elements are completed prior to assembly onsite. *From left to right: materials, components, panels, and modules.* Generally, the benefits of prefabrication can be realized as projects move to increasingly greater degrees of prefabrication.

6.1 Grados de prefabricación en el edificio. Prefab Architecture_A Guide to Modular Design and Construction. Ryan Smith

Las soluciones industrializadas basadas en elementos lineales permiten una mayor flexibilidad para resolver la materialización de la forma del edificio, ya que los elementos estructurales se pueden componer espacialmente con menores limitaciones. La composición con base en módulos tridimensionales plantea mayores restricciones formales. La intención del diseño y el proceso de producción deben entenderse y encontrar el equilibrio entre singularidad y la razón industrial que el proyecto requiera.

La **hibridación de sistemas** ayuda a ampliar las posibilidades de los sistemas puros manteniendo la utilización de elementos seriados. La combinación de sistemas y materiales permite asignar a cada uno la resolución de funciones específicas. De esta manera, es habitual encontrar ejemplos de edificios en los que los núcleos de comunicaciones verticales se resuelven en estructura hormigón ejecutada in-situ, que sirve como elemento arriostrante frente a los esfuerzos horizontales, mientras que la resolución de las plantas se lleva a cabo con diferentes soluciones industrializadas, tanto módulos 3D de acero o madera como elementos planos y lineales.



IMAGEN 6.2 Hormigón, madera CLT y acero. Hondarribia. Archivo de Visesa

6.2 Trasporte y Logística

Una parte importante del proceso de construcción con sistemas industrializados tiene que ver con el transporte y la logística, en tanto se trabaja con c**omponentes de mayores dimensiones y de mayor peso** que los elementos que se utilizan para trabajar en la construcción tradicional.

La optimización de la etapa de transporte requiere de zonas de acopio y de montaje y la programación coordinada de las operaciones para que el traslado de los componentes se adecúe a la capacidad de montaje in-situ, de modo que la construcción del edificio se pueda resolver con el menor número de portes y operaciones posible.

6.2.1 Medios de transporte

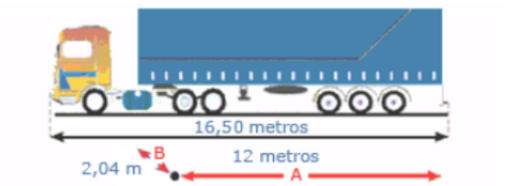
El medio de transporte a utilizar en el desplazamiento de los sistemas industrializados es uno de los factores limitantes a la hora de diseñar las dimensiones de las piezas para su traslado, ya que la superación de las dimensiones máximas estándar conlleva la necesidad de autorizaciones especiales de transporte, con el sobrecoste y complicación en la gestión asociada que ello comporta.

Según el **Reglamento General de Vehículos**, la longitud máxima permitida para un camión articulado es de 16,5 metros y su anchura no debe exceder los 2,55 metros. Cuando se transporta una mercancía que supera estos límites, es necesario solicitar una **Autorización Complementaria de Circulación (ACC), vehículos especiales,** para garantizar la seguridad vial. Las dimensiones máximas que pueden alcanzar para cada una de las categorías de ACC son:

Tipo de Autorización	Longitud Máxima (metros)	Anchura Máxima (metros)	Altura Máxima (metros)	Peso Máximo (toneladas)
General	16.5	2.55	4.0	40
ACC Especial. Genérica	20.55	3	4.5	45
ACC Especial. Específica	40	5	4.7	110
ACC Especial. Excepcional	>40	>5	>4.7	>110

Tabla 6.2.1. Especificaciones y requisitos para las diferentes autorizaciones. Reglamento General de Vehículos

Longitud máxima autorizada para los vehículos, trailer, 16,50 m



A.- La distancia máxima entre el pivote de enganche y la parte trasera del semirremolque no podrá ser superior a **12,00 metros**.

B.- La distancia entre el pivote de enganche y un punto cualquiera de la parte delantera del semirremolque no podrá superar los **2,04 metros**.

Figura 6.2.1. Longitud de vehículos articulados. Reglamento General de Vehículos

Todos los transportes especiales deben ir acompañados por vehículos piloto. Dependiendo de las dimensiones de la carga, el vehículo piloto puede ir delante, detrás o en ambos lugares.

Si el vehículo de transporte supera los 5 metros de anchura o los 50 metros de longitud, debe ser escoltado por agentes de la Guardia Civil de Tráfico.

Un sistema 3D se optimiza para resolver la construcción de un edificio con el menor número de módulos a través de piezas de grandes dimensiones, si bien este planteamiento puede complejizar la fase de transporte en la medida en la que los módulos requieran ser **transportados mediante vehículos especiales**. En última instancia, si las condiciones de acceso limitaran la utilización de transportes especiales, se podrían reducir las dimensiones de los módulos a expensas de aumentar en número de módulos y de juntas en el edificio.

En cuanto al número total de transportes requeridos para la ejecución de la obra, la ejecución de la fase de acondicionamiento del terreno y movimiento de tierras es similar tanto se trate de una obra tradicional o industrializada. A partir de esta fase de ejecución de la obra, Lawson (ASCE. 2012) justifica que las propuestas con mayor grado de industrialización, modular 3D, puede **reducir el número de vehículos de obra** en el entorno del solar hasta en un 70%.

6.2.2 Logística. Accesos

La **accesibilidad a la parcela** es un factor muy importante que puede condicionar la selección del sistema y su despiece. Los transportes especiales, debido a sus mayores dimensiones, presentan mayores problemas de accesibilidad en zonas urbanas. Los radios de giro son críticos para determinar la accesibilidad y maniobrabilidad de diferentes tipos de vehículos en entornos urbanos, especialmente en áreas residenciales con espacios menos desahogados y curvas cerradas. El radio de giro para vehículos con una longitud máxima de 16.5 metros (como la mayoría de los camiones articulados de tres ejes), no debe exceder los 12.5 metros. Camiones más pequeños y vehículos de reparto tiene un radio de giro de aproximadamente 9 metros, mientras que para los vehículos ligeros el valor es de 6 metros y para vehículos de reparto asciende a 9 metros.

6.2.3 Logística. Acopios in situ.

Cuanto mayor es el nivel de acabado del sistema industrializado hay una **menor necesidad de espacio de acopio de materiales en obra**, no sólo porque los elementos vienen ensamblados desde fábrica en un componente jerárquicamente mayor (por ejemplo, carpinterías ya instaladas en los paneles de fachada), sino también porque, en muchos casos, es posible realizar la operación de montaje de esos componentes directamente en su ubicación definitiva en el edificio si necesidad de su acopio intermedio. Este es el caso de los **sistemas modulares 3D**, cuya llegada a la obra se puede coordinar con la disponibilidad de la autogrúa para su montaje directo.

El **factor peso** de los elementos 2D también tiene importancia en la necesidad de acopio en la parcela. Los paneles de **estructuras ligeras**, bien de acero o madera, tienen unos pesos muchos menores que los paneles de hormigón. Estos componentes se pueden montar con la utilización de los medios auxiliares de la obra (grúa torre) y ofrecen la posibilidad de ser **instalados directamente** del camión sin la necesidad de realizar un acopio intermedio.

En el caso de los **paneles de hormigón** es habitual su **acopio** en obra para su posterior montaje con medios específicos (autogrúa). Para facilitar las operaciones de descarga y acopio en obra, existen camiones especiales de plataforma baja equipados con un sistema de racks de carga y descarga rápida independiente. Este sistema permite que el camión deposite el rack en la obra de manera autónoma, sin necesidad de utilizar la autogrúa, de modo que los racks con los muros quedan acopiados para el momento en que se requiera su montaje y se reduce el tiempo de disponibilidad de la grúa.



IMAGEN 6.3 Rack para acopio de paneles de hormigón. Viguetas Navarras. Fuente Cluster Aric

6.3 Montaje

6.3.1 Cimentación de los diferentes sistemas constructivos utilizados

A los efectos del análisis de los sistemas industrializados, consideraremos la cimentación como parte de los requisitos de montaje de cada sistema.

Una de las ventajas de las estructuras ligeras de madera y acero a la hora de diseñar la cimentación es el peso de la propia estructura. Al **reducirse la carga que debe soportar el terreno** el volumen de hormigón a utilizar en los elementos de transmisión de las tensiones al terreno también se minimiza, bien se trate de cimentación superficial o profunda.

Cuando el edificio crece en altura y en esbeltez, sin embrago, la magnitud de las acciones horizontales aumenta y es necesario considerar otros esfuerzos actuantes. En el caso de los edificios en altura de estructura de hormigón, su mayor peso aporta una carga muy importante a la cimentación, pero también favorece la estabilización del edificio. En cambio, los edificios de estructura ligera presentan unos momentos de vuelco mayores que pueden necesitar de subestructuras de hormigón, como podios y núcleos rigidizadores, para aumentar el peso total de la estructura y ayudar a su estabilización.

6.3.2 Medios de elevación en obra

La manipulación en obra de los elementos y sistemas constructivos cobra una mayor importancia con las unidades industrializadas debido a que estas presentan soluciones con grandes volúmenes y mayores pesos. En una obra tradicional, los medios de elevación se utilizan para la manipulación de elementos más o menos sencillos que luego se montan, ensamblan y solidarizan in-situ a través de técnicas húmedas. La industrialización plantea realizar el ensamblaje de los elementos en una planta industrial, favoreciendo las uniones en seco, de forma que una parte importante de ese montaje se realiza previamente a su traslado a obra. De esta forma, los medios de elevación en este tipo de construcción deben ser capaces de manipular sistemas constructivos más pesados y de mayores dimensiones.

Los medios auxiliares a considerar en la elevación y montaje de los componentes industrializados son, principalmente:

Torre grúa
Es el sistema de elevación tradicional que nos encontramos en las obras de edificación. Un requisito habitual para trabajar con componentes industrializados, paneles y módulos baños, es disponer de una grúa con una carga en punta igual o superior a los 2.000 kg.

Autogrúa
Las autogrúas permiten grandes capacidades de carga de 120, 250 o 500 toneladas, aunque la utilización de este recurso tiene una repercusión económica muy importante, por lo que su disponibilidad se debe reducir al mínimo imprescindible.

La utilización de un medio u otro depende tanto del peso de las piezas a elevar como de la distancia a la que debe desplazar dicha pieza, en horizontal y en vertical, desde el punto de descarga o acopio hasta su montaje en su posición final. La grúa torre tiene su radio de acción limitado y, por otra parte, una grúa autopropulsada tiene un mayor rango de carga que una grúa torre.

La masa media de un módulo 3D está en un orden de unas 20 toneladas y el peso de los paneles de hormigón estructurales también supera la capacidad estándar de una grúa torre, con lo que para este tipo de sistemas se requiere la utilización autogrúas. En el caso de paneles de madera CLT, los paneles pueden permitir su desplazamiento y montaje con la grúa torre, si bien, para los paneles de mayor dimensión y con más componentes integrados puede ser necesario recurrir a una autogrúa. Los paneles de estructuras ligeras, por peso, se pueden montar con la propia grúa torre de la obra.

Un factor económico importante es la disponibilidad de la autogrúa, lo que hace necesaria una adecuada planificación de la obra para limitar al máximo su utilización. Según se ha indicado en el apartado 6.2.3. Logística. Acopios, las soluciones que presentan un mayor nivel de industrialización (módulos 3D) tienen la capacidad de resolver el montaje del edificio con un menor número de operaciones de elevación, al componerse de unidades más pesadas pero menores en número, y, por lo tanto, acortar el tiempo de disponibilidad de la autogrúa.

Otro factor a tener en cuenta es la logística para el acceso e implantación de la autogrúa, la cual debe considerarse desde la fase de proyecto, en función de la estrategia de montaje que se plantee.



IMAGEN 6.4 Montaje de paneles de CLT. Hondarribia. Archivo de Visesa

En cualquier caso, la r**educción de los plazos** de ejecución de cualquiera de los sistemas industrializados respecto a la construcción tradicional hace que la disponibilidad necesaria de las grúas se reduzca a prácticamente la mitad.

6.3.3 Otros componentes: baños industrializados

Otro de los componentes industrializados que más volumen y peso presenta son baños modulares (pod de baños).

La evolución en el diseño de estas unidades está condicionada, precisamente, por la búsqueda de una mayor facilidad en el montaje. Las propuestas más avanzadas favorecen la utilización de estructuras ligeras, con paneles de polímero o entramado ligero de madera o acero, de modo que garantizan una ligereza que facilita su montaje con una grúa torre, frente a soluciones en hormigón que penalizan su maniobrabilidad.

6.4 Plazo de Ejecución

La puesta en obra de las diferentes soluciones industrializadas depende del **sistema estructural**. En principio, las soluciones que se basan en el uso de elementos lineales requieren un mayor tiempo de montaje frente a las soluciones basadas en elementos de 2 dimensiones y de 3 dimensiones, respectivamente, por el hecho de tener que colocar y ensamblar en obra un mayor número de piezas.

Además, hay que considerar el **nivel de terminación** de las unidades industrializadas, que pueden incorporar un mayor valor añadido de modo que minimice las actuaciones una vez montados. De igual manera, las propuestas modulares en 3D permiten un mayor nivel de acabado que en 2 dimensiones, siendo las propuestas en 1D las que menor nivel de acabado permiten incorporar.

R. Lawson analiza en su estudio "**Application of Modular Construction in High-Rise Buildings, Journal of Architectural Engineering**" la construcción de tres edificios modulares en Wolverhampton, Inglaterra, que tienen entre 8 y 25 pisos. Los edificios fueron construidos en un plazo total de 59 semanas, con la instalación de los módulos en 32 semanas y la **reducción del periodo de construcción se estimó en un 45% en comparación con la construcción tradicional**.

Esta reducción de plazo respecto a la construcción tradicional se ajusta sensiblemente a las propuestas recibidas para la promoción de 33 VPOa de Sopela-Asu, en las cuales se proponen 57 semanas para la ejecución de la obra en las propuestas en acero 3D, entramado ligero de madera y hormigón 2D, 58 semanas en Steel Frame y 60 semanas en madera CLT.

6.5 Sostenibilidad Ambiental

Si analizamos los principales materiales de construcción – madera, acero y hormigón - la **madera** presenta un menor impacto ambiental, huella de carbono, medido en kg/CO_2 equivalente, ya que es un material natural y renovable que actúa como sumidero de carbono, carbono biogénico, que almacena durante su crecimiento. Si bien es cierto que al final de la vida útil de la madera se considera que el carbono capturado puede ser liberado nuevamente a la atmósfera, la baja energía necesaria en su proceso de producción hace que resulte, en cualquier caso, comparativamente más sostenible.

La producción de una tonelada de **acero** genera alrededor de dos toneladas de CO_2, aunque hay que tener en cuenta que el acero es un material que tiene una revalorización asegurada, ya que el propio sector recicla más del 90% del material. Esta es una ventaja competitiva del acero que puede hacer compensar la energía necesaria para su transformación.

El **hormigón** es uno de los materiales más utilizados en la construcción tradicional. La industria del hormigón está llevando a cabo una serie de adaptaciones en su proceso de producción con objeto de minimizar los impactos asociados a la generación de CO_2 en el propio proceso de fabricación del cemento, el consumo de agua, o el consumo de energía en la obtención de las materias primas necesarias para su fabricación (actualmente, cada tonelada de cemento produce aproximadamente una tonelada de CO_2). De este modo, se está buscando reducir el contenido de clinker (el componente más intensivo en carbono) utilizando aditivos como cenizas volantes y escorias. Además, se están desarrollando tecnologías de captura de carbono, promoviendo el uso de áridos reciclados y adoptando mejoras en la eficiencia energética de la producción. A pesar de estas mejoras, la capacidad de reutilización del hormigón al final de su vida útil sigue teniendo una limitación normativa en comparación con el acero.

En el caso de las propuestas para el Diálogo Competitivo para el proyecto piloto de las 33 VPOa de Sopela-Asu, y analizando **exclusivamente el impacto de la estructura del edificio**, las soluciones que han utilizado la **madera** como material estructural han presentado un valor más bajo en la huella de carbono generada, con un valor medio en torno a los **400 kgCO_2eq / m^2**. En las propuestas que han utilizado el **hormigón**, el valor de la huella de carbono asciende hasta los **495 kgCO_2eq / m^2** mientras que las propuestas que realizan su solución estructural en **acero** presentan valores algo superiores encontrándose en el entorno de loa **550 kgCO_2eq / m^2**.



IMAGEN 6.5 DFAB HOUSE sobre NEST (Next Evolution in Sustainable Building Technologies). ETH Zürich. Photo Roman Keller

6.6 Coste Económico

Al abordar el análisis económico de la construcción industrializada, es crucial diferenciar entre el **coste de ejecución** de la obra y el coste de **ciclo de vida del edificio**. Mientras que el coste de ejecución se centra en los gastos inmediatos asociados con la construcción, el coste de ciclo de vida incorpora consideraciones a largo plazo, como los costes operativos y las externalidades ambientales. Esta distinción permite una evaluación más completa y precisa de la viabilidad económica de los proyectos, especialmente cuando se utilizan sistemas constructivos industrializados.

6.6.1 Coste de ejecución

El coste de ejecución de la obra, en lo relativo a los sistemas industrializados, está supeditado al coste de la **materia prima** y al coste de la **energía** necesaria para su transformación y fabricación de los elementos estructurales. Hay tener en cuenta, que el peso del capítulo de la estructura del edificio suele representar entre un 15% -20% del total del edificio, en función de la tipología del edifico y del material estructural.

El **hormigón** es tradicionalmente uno de los materiales más económicos en términos de coste de ejecución. Sin embargo, su producción es intensiva en energía, particularmente debido al proceso de fabricación del cemento. A pesar de esta circunstancia, su disponibilidad y la madurez de la industria hacen que siga siendo una opción competitiva.

Por su parte, el **acero**, aunque más costoso que el hormigón, ofrece ventajas en términos de rapidez de construcción y reducción de costes de mano de obra debido a la posibilidad de prefabricación.

La **madera**, particularmente la madera laminada cruzada (CLT), es más cara en términos de coste de material. Sin embargo, su ligereza y las menores necesidades energéticas en su transformación pueden compensar estos costos en proyectos enfocados en la sostenibilidad y la reducción de la huella de carbono.

Atendiendo a las ofertas económicas para la promoción de Sopela-Asu, presentadas en marzo del 2022, la opción más competitiva para el coste de ejecución de la obra ha sido el hormigón, seguido del acero y, en último término, la madera.



IMAGEN 6.7 Edificio Ten Degree. Londres. CC Sludge G

6.6.2 Coste de ciclo de vida

Si, como hemos indicado, al propio coste de la construcción añadimos la visión del coste del ciclo de vida, habría que analizar el valor monetario que se debe imputar a las externalidades ambientales de cada solución. la Ley de Contratos del Sector Público 9/2017 en su artículo 148.b, al respecto del **cómputo del coste de ciclo de vida**, indica que incluirá:

> *los costes imputados a externalidades medioambientales vinculadas al producto, servicio u obra durante su ciclo de vida, a condición de que su valor monetario pueda determinarse y verificarse; estos costes podrán incluir el coste de las emisiones de gases de efecto invernadero y de otras emisiones contaminantes, así como otros costes de mitigación del cambio climático.*

A día de hoy no existe una regulación al respecto que permita determinar el valor monetario de las externalidades medioambientales, pero, a medida que el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) se incorpore de modo en la evaluación de los proyectos, resultará más sencillo calcular el coste de ciclo de vida de cada sistema.

En el apartado 6.1.6. se recogen las consideraciones sobre la sostenibilidad ambiental de cada material.

6.7 Alturas de edificios

Los sistemas industrializados no son ajenos a la carrera por la altura que ha caracterizado el desarrollo tecnológico en la construcción de edificios, y cada edificio que alcanza un record en su categoría se convierte en referente mundial como ejemplo superación de sus propios límites. No obstante, la singularidad de estas propuestas técnicamente desafiantes no suele obedecer a las necesidades de la construcción de viviendas sociales, sino que obedece a otros retos e intereses que, en cualquier caso, sirven para evolucionar las posibilidades de los sistemas que, en proyectos de grandes alturas, suelen beneficiarse de la hibridación de materiales y sistemas (1D,2D,3D).

En nuestro caso, hay que tener en cuenta que en España la construcción industrializada no se encuentra en una fase de desarrollo tan avanzado como en otros países, por lo que, los ejemplos de edificios construidos presentan unas alturas más modestas. A efectos de tomar referentes de los límites razonables de los sistemas de aplicación, resulta prudente y oportuno atenernos a los límites tecnológicos alcanzados por nuestras empresas y considerar las alturas máximas conseguidas en nuestro entorno. De esta manera, podemos identificar las siguientes referencias:

Módulos 3D	**IMHAB.** 2024. Barcelona	PB+8
Madera CLT	**IMHAB.** 2024. Barcelona	PB+8
Hormigón 2D	**TECTUM** 20214 Móstoles	PB+6
Hormigón 1D+2D	**VISESA.** 2009. Vitoria-Gasteiz	PB+8
Steel Frame	**KRONOS**. 2023. Torrejón de Ardoz	PB+5
Entramado	**UMBRATARIA**. 2024. Madrid	PB+2



IMAGEN 6.6 Montaje de módulos 3D, Barcelona. Promotora IMHAB. Arquitectura EXE + Vivas. Constructora_ Aro+Cardoner. Industrial_ Compact Habit. Foto José Hevia

A nivel mundial todas estas alturas están ampliamente superadas. Como muestra la siguiente relación de ejemplos:

Hormigón 3D	**Enclave Tower.** 2023. Londres, UK	**50 plantas**
Hormigón 3D	**Ten Degree. 2021.** Londres, UK	**44 plantas**
Hormigón 3D	**Clement Canopi.** 2019, Singapur	**40 plantas**
Hormigón 3D+2D	**Collins House,** 2019, Melbourne. Australia	**60 plantas**
Hormigón 2D	**De Zalmhaven.** 2022. Roterdam. Países Bajos	**55 plantas**
Hormigón 2D + 1D	**Breaker tower.** 2014. Baréin	**35 plantas**
Acero+Hormigón 3D	**Soho Tower**,2015. Darwin, Australia	**29 plantas**
Acero 2D + 1D	**J 57 Mini Sky city tower.** 2015. Changsha, China	**57 plantas**
Steel Frame	**Tresah.** 2024 Victoria, Canadá	**12 plantas**
Hormigón + CLT	**Ascent.** 2023. Milwaukee, EE. UU.	**25 plantas**
Hormigón + CLT	**HoHo.** 2019. Viena, Austria	**24 plantas**
Hormigón + CLT	**Haut.** 2022. Amsterdam, Países Bajos	**21 plantas**
Hormigón + Glulam	**Brook Commons**, 2021, Vancouver, Canadá	**18 plantas**
Glulam + CLT	**Sara Cultural Centre.** 2021. Skellefteå, Suecia,	**20 plantas**
Glulam + CLT	**Mjøstårnet.** 2019. Brumunddal, Noruega	**18 plantas**
Glulam + CLT	**Treet.** 2015. Bergenl, Noruega	**14 plantas**

6.8 Resumen

A modo de resumen de los aspectos analizados, el siguiente cuadro recoge de forma gráfica el análisis cualitativo de los distintos sistemas con base en la experiencia del Diálogo Competitivo de la promoción de 33 VPOa de Sopela-Asu y las experiencias y los estudios referenciados.

	1. ADAPTABILIDAD A LA PARCELA	2. TRANSPORTE Y LOGÍSTICA				3. MONTAJE		4. PLAZO DE EJECUCIÓN	5. SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL	6. COSTES	
		Transporte	Logística. Acceso	Logística. Acopios in situ	Nº Vehículos	Cimentación	Elevación			Ejecución	Ciclo de Vida
		Observación (1)					Observación (2)			Observación (3)	
Hormigón 2D	SIMILAR	FAVORABLE +	SIMILAR	FAVORABLE +	FAVORABLE +	SIMILAR	FAVORABLE +	FAVORABLE +	FAVORABLE +	SIMILAR	FAVORABLE +
Steel Frame	SIMILAR	FAVORABLE +	SIMILAR	FAVORABLE +	FAVORABLE +	FAVORABLE ++	FAVORABLE ++	FAVORABLE +	FAVORABLE +	SIMILAR	FAVORABLE +
Módulos 3D Acero	FAVORABLE -	FAVORABLE ++	FAVORABLE -	FAVORABLE ++	FAVORABLE ++	FAVORABLE +	FAVORABLE ++	FAVORABLE ++	FAVORABLE +	FAVORABLE -	FAVORABLE +
Madera CLT	SIMILAR	FAVORABLE +	SIMILAR	FAVORABLE +	FAVORABLE +	FAVORABLE +	FAVORABLE +	FAVORABLE +	FAVORABLE ++	FAVORABLE -	FAVORABLE ++
Entramado ligero de madera	SIMILAR	FAVORABLE +	SIMILAR	FAVORABLE +	FAVORABLE +	FAVORABLE ++	FAVORABLE ++	FAVORABLE +	FAVORABLE ++	FAVORABLE -	FAVORABLE ++

- **FAVORABLE ++:** Cualitativamente muy favorable respecto a la construcción tradicional
- **FAVORABLE +:** Cualitativamente favorable respecto a la construcción tradicional
- **SIMILAR:** Cualitativamente similar respecto a la construcción tradicional
- **FAVORABLE -:** Cualitativamente desfavorable respecto a la construcción tradicional

(1) El número de camiones se reduce sensiblemente en cualquier caso
(2) El plazo de disponibilidad de grúas se reduce sensiblemente en cualquier caso
(3) Según los datos del Diálogo Competitivo de la B-133 Sopela-Asu

REFERENCIAS

Schodek, D., Bechthold, M., Griggs, K., Kao, K., & Steinberg, M. (2009). Digital Fabrications: Architectural and Material Techniques. Princeton Architectural Press.

Lawson, R., Ogden, R., & Bergin, R. (2012). Application of modular construction in high-rise buildings. Journal of Architectural Engineering, 18(2).

Thai, H.-T., Ngo, T., & Uy, B. (2020). A review on modular construction for high-rise buildings. Structures, 28, 1269–1281.

Lawson, R. M., Lim, J. B. P., Johnston, R., & Roy, K. (2019). Stability of light steel walls in compression with plasterboards on one or both sides. ICE Proceedings Structures and Buildings, 172(11), 838–849.

Building and Construction Authority Singapore. (n.d.). Design for Manufacturing and Assembly (DfMA).

Bhandari, S., Gurunathan, B., Rajeev, P., & Yeoh, D. (2023). A review of modular cross laminated timber construction: Implications for temporary housing in seismic areas. Journal of Building Engineering, 61, 105485.

Perampalam, G., Poologanathan, K., Gunalan, S., & Gunawardena, T. (2020). Optimised cold-formed steel beams in modular building applications. Journal of Building Engineering, 32, 101607.

Liew, J. Y. R., Chua, Y. S., & Dai, Z. (2019). Steel concrete composite systems for modular construction of high-rise buildings. Structures, 20, 74–89.

Smith, R. E. (2010). Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction. John Wiley & Sons.

Collings, D. (2020). Carbon footprint benchmarking data for buildings. The Structural Engineer.

Wood WORKS! BC. (2015). Mid-rise wood-frame residential construction in B.C.

Canadian Precast/Prestressed Concrete Institute. (2020). CPCI Technical Information Bulletin: Total Precast Concrete High-Rise Construction and Provincial Building Codes.

Astiz Suárez, M. A. (2014). Los esquemas estructurales de los edificios altos. Revista de Obras Públicas: Órgano Profesional de los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 3552, 77–84.

Rondinel-Oviedo, D. R., & Keena, N. (2022). Embodied Carbon: A call to the building industry. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1122, 012042.

Pilathottathil, S. N., & Rauf, A. (2024). Barriers to the use of Cross-Laminated Timber for mid-rise residential buildings in the UAE. Sustainability, 16(16), 6837.

visesa
PROMOTORA PÚBLICA VIVIENDA
EUSKO JAURLARITZA GOBIERNO VASCO