



**Zure etxean zaude** Estás en tu casa

Línea V: Ayudas para estudios, proyectos y prototipos específicos sobre industrialización de procesos de construcción en edificación residencial

Memoria ejecutiva de la industrialización de la construcción residencial en la CAPV

EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

LURRALDE PLANGINTZA,  
ETXEBIZITZA  
ETA GARRAIO SAILA

DEPARTAMENTO DE PLANIFICACIÓN  
TERRITORIAL, VIVIENDA  
Y TRANSPORTES



PROGRAMA INNOVACIÓN EDIFICACIÓN

EUSKO JAURLARITZA GOBIERNO VASCO

**INDICE DE CONTENIDOS**

Análisis comparativo de la industrialización en fase de diseño .....2

- 1.2 Análisis de la incorporación de la industrialización en fase de diseño .....6
- 1.3 Desarrollo de la obra .....8
- 1.4 Contraste y conclusiones.....10

Análisis de la industrialización en estructura según materiales y componentes.....12

- 2.1 Análisis de los materiales y soluciones constructivas .....13
- 2.2 Ventajas y desventajas de cada sistema .....18
- 2.3 Conclusiones sobre los sistemas constructivos.....19

Análisis de la industrialización en fase de construcción .....21

- 3.1 Aspectos que se han considerado antes de la fase de construcción .....22
- 3.2 Aspectos que se han considerado en fase de construcción 23

Análisis de los factores financieros-económicos de la industrialización 26

- 4.1 Comparativo de costes directos .....27
- 4.2 Costes Indirectos .....32
- 4.3 Comparativo General .....34
- 4.4 Análisis Financiero Actual.....36

Análisis de la aplicación de la digitalización en Industrialización.....38

- 5.1 Empleo de la metodología BIM .....39

- 5.2 Estudio de la estandarización de soluciones constructivas 42

Análisis de sostenibilidad en la industrialización .....46



## Análisis comparativo de la industrialización en fase de diseño

## **Análisis comparativo de la industrialización en fase de diseño**

Este estudio analiza el diseño de un edificio residencial concebido para construcción tradicional, evaluando su potencial de transformación, hacia un modelo industrializado. Se toma como caso de estudio uno de los edificios del conjunto de Aldekone, en Derio (Bizkaia), diseñado originalmente para 88 viviendas de protección oficial (VPO) de 1 y 2 habitaciones.

Aunque el diseño actual responde a criterios de optimización derivados de su origen en un contexto de crisis, no contempla condicionantes propios de la construcción industrializada, como la modularidad o la repetición estructural. El edificio de referencia tiene forma rectangular (50x15), cuenta con planta baja +4 +ático, y dispone de locales, trasteros, garajes y viviendas distribuidas de manera simétrica entre dos portales.

El análisis se centra en identificar qué componentes del edificio pueden ser industrializados, a pesar de haber sido diseñado para un método constructivo tradicional.

## **Industrialización de baños**

Como parte del estudio de industrialización del edificio de Aldekone, se ha evaluado la viabilidad de prefabricar los baños, uno de los cuatro componentes seleccionados junto a cocinas, estructura y fachada.

### **Viabilidad y condicionantes:**

- **Ubicación central y cercanía a patinillos:** Los baños están situados en el eje central, lo que facilita su posible industrialización
- **Diseño original tradicional:** El diseño existente no es compatible con la prefabricación, por lo que requiere adaptaciones significativas

### **Proceso de análisis:**

Se estudiaron soluciones con varias empresas especializadas (Indushouse-Bipod, Imnove, Porcelanosa, Lignumtech y Saltoki) y se realizaron visitas a plantas de producción. Las principales conclusiones fueron:

1. Reducción de tipologías: Cuantas menos tipologías de baño, mayor viabilidad industrial. En Aldekone hay 7 tipos, lo que requiere rediseñar para unificar.
2. Simplicidad geométrica: Es necesario eliminar retranqueos para cumplir con estándares industriales y normativas.
3. Limitación geométrica: La longitud máxima para transporte es 2,40m. Algunos baños actuales superan los 3,70m, por lo que deben redimensionarse.
4. Ubicación de patinillos y espesor de tabiquería: Ideal colocar los patinillos detrás de las duchas. Se requiere mayor espesor en tabiques técnicos (mínimo 12,5cm).
5. Altura libre entre forjados: La altura en Aldekone (2,75m) permite la instalación horizontal de baños prefabricados.
6. Otras instalaciones: Deben considerarse elementos como ventilación toalleros eléctricos o de agua.

#### **Adaptaciones necesarias:**

Redistribución de espacios: Se agrupan los baños en el eje central y se eliminan zonas de lavado para reducir su tamaño, lo que afecta a la distribución general de la vivienda.

Ajuste estructural: se reposicionan pilares y patinillos, ubicándolos detrás de las duchas para facilitar las conexiones horizontales.

#### **Resultado:**

Se logra diseñar una tipología única de baño adaptable a todas las viviendas mediante simetrías, giros y cambios de acceso, cumpliendo con la normativa y requisitos técnicos. Se crea un documento llamado SET de baños, que detalla todas las unidades, calidades y ubicaciones por planta, y sirve de base para presupuestación con proveedores.

### Industrialización de cocinas

- Viabilidad limitada: se exploró la posibilidad de industrializar las cocinas, considerando soluciones como los módulos integrados “monokitchen” y “monobath” de Porcelanosa.
- **Limitaciones:** este tipo de módulo conjunto impone restricciones importantes de distribución, especialmente porque los espacios húmedos no comparten tabique.
- **Alternativa parcial:** se estudió la prefabricación del tabique técnico, una solución en desarrollo por empresas como Saltoki. Consiste en una doble estructura metálica con pladur, instalaciones integradas y revestimientos terminados.
- **Ventajas:** Menor intervención de gremios, más rapidez en obra, y mejor calidad final.
- **Restricciones:** solo viable si la cocina está en línea o en L
- **Conclusión:** Dado que el sistema aún está en desarrollo, se descarta por ahora la prefabricación de las cocinas de Aldekone.

### Industrialización de Estructura

La estructura del edificio presenta líneas rectas, lo que facilita su posible prefabricación. Aunque el sótano representa un obstáculo importante debido a la cercanía del muro del edificio colindante y la disposición de las plazas de garaje, lo que complica el uso de elementos estructurales prefabricados en esa zona.

### Fachada

La fachada tiene una geometría sencilla sin excesivos retranqueos, lo que la hace viable para ser industrializada.

Se decide usa paneles de hormigón arquitectónico prefabricado (propuesta desarrollada con Viguetas Navarra) en zonas expuestas desde la Planta primera en adelante. Se utilizará fachada tradicional de ladrillo hueco con raseo hidrófugo y pintura en zonas protegidas.

Se logra una propuesta técnica mixta (prefabricado y tradicional) que optimiza tiempos de ejecución sin comprometer la estética ni la funcionalidad. Todas las fachadas se ejecutarán como sistemas

de doble hoja con aislamiento de lana de roca y trasdosado interior  
de pladur.

## ➤ 1.2 Análisis de la incorporación de la industrialización en fase de diseño

Se plantea una reinterpretación teórica del proyecto Aldekone, adaptándolo a un sistema constructivo industrializado desde fase de diseño, a través del desarrollo de prototipos de viviendas de 1, 2 y 3 dormitorios. Estos prototipos permiten la composición de un edificio residencial completo, donde el diseño y el sistema constructivo están coordinados desde el inicio para preservar la estética arquitectónica.

### Edificio propuesto

- Ubicación y volumen: Edificio rectangular de 63,40 × 16,50 m, con planta baja más 3 niveles (B+3).
- Viviendas: 36 unidades (12 de 1 dormitorio, 20 de 2 dormitorios –2 adaptadas PMR–, 4 de 3 dormitorios).
- Accesibilidad: Núcleo vertical con escalera y 2 ascensores.
- Cubierta: No transitable, con paneles solares, antenas, y sistemas técnicos.
- Garaje: Sótano con 36 plazas, una por vivienda.

### Estructura y cimentación

- Ejes estructurales:
  - **Transversales:** Favorecen la optimización del garaje y evitan interferencias con huecos de fachada.
  - **Longitudinales:** Mayor flexibilidad interior pero menor eficiencia para garajes y vuelos.
  - **Conclusión:** Se propone estructura transversal por ser más eficiente en este caso.
- Cimentación:

Pozos arriostrados apoyados en estrato portante UG.3 a 5,80 m de profundidad. Vigas de atado y zapatas aisladas para pilares y muros prefabricados perimetrales.
- Estructura bajo rasante:

Pilares, vigas y muros prefabricados. Forjados con placas alveolares pretensadas y capa de compresión in situ.

### **Baños y cocinas prefabricadas**

- Baños: una tipología adaptable a todas las viviendas, salvo la PMR. Optimización para industrialización y transporte.
- Cocinas: Montaje en fábrica en 30 de las 36 unidades. Equipadas con electrodomésticos y mobiliario, con opciones de revestimiento que faciliten la prefabricación.

### **Estructura sobre rasante y fachadas**

- Paneles verticales portantes:
  - *Fachada*: Hormigón prefabricado EMFS (3 capas: núcleo portante, aislamiento, capa exterior).
  - *Medianeras*: Panel EBW de hormigón estructural.
- Forjados: Placas alveolares pretensadas con capa de compresión.
- Fachadas:
  - Composición homogénea con texturas moduladas (lisos y listones).

- Carpinterías, barandillas y tendederos integrados en fábrica.
- Estética unificada mediante prefabricación total, incluyendo paneles vistos de sótano.

### ➤ 1.3 Desarrollo de la obra

El desarrollo constructivo del edificio propuesto sigue una lógica secuencial basada en la ejecución con elementos prefabricados, organizados por cuadrantes. Este enfoque permite una optimización de tiempos, una mayor precisión en el montaje y una reducción significativa de los trabajos in situ. A continuación, se detallan las fases de ejecución previstas:

#### 1. **Movimiento de tierras y cimentación:**

La ejecución comienza de norte a sur, iniciando por la zona con mayor desmonte. Las zapatas se ejecutan de forma convencional con encofrado tradicional, apoyándose en una grúa torre instalada desde el inicio. Se integra el sistema de saneamiento y drenaje mediante una disposición en espina de pez.

#### 2. **Estructura y fachada:**

Superada la cimentación, se montan muros prefabricados tipo sándwich, formados por dos paneles de hormigón fabricados en taller y colocados sobre zapatas in situ con grúa autopropulsada. La ejecución estructural continúa con vigas transversales y placas

alveolares, completadas con una capa de compresión. El montaje se organiza por cuadrantes, lo que permite avanzar de forma secuencial y simultánea en distintas áreas del edificio.

#### 3. **Baños prefabricados y terrazas:**

Los módulos de baño, de aproximadamente 1.900 kg, se elevan una vez endurecida la losa de compresión, evitando interferencias con forjados superiores. Las terrazas, apoyadas sobre angulares, interrumpen el puente térmico y se montan antes del cierre del nivel superior. Se incluye un alero perimetral prefabricado como solución constructiva para proteger la fachada frente a filtraciones.

#### 4. **Terminación de cubierta:**

Una vez finalizado el alero, se procede a la ejecución de chimeneas, recrecidos de pendientes, impermeabilización, aislamiento y colocación de grava, tanto en la cubierta principal como en el casetón.

#### 5. Fachada exterior:

La carpintería exterior de PVC se fabrica con antelación gracias a la precisión de los módulos prefabricados. Las ventanas pueden integrarse en fábrica, mientras que los cierres de terrazas se colocan in situ. Las barandillas y tendederos, también prefabricados, se instalan tras la pavimentación e impermeabilización de terrazas.

#### 6. Tabiquería interior:

Tras el montaje de los baños, se procede al aislamiento y recrecido de suelos, seguidos de la colocación de gres. Las particiones interiores se realizan mediante paneles de yeso laminado, muchos de los cuales ya están integrados en los elementos estructurales y de fachada, lo que reduce significativamente la cantidad de material y mano de obra necesarios.

#### 7. Finalización de obra:

Con la tabiquería avanzada, se da inicio a las instalaciones de climatización, ventilación e instalaciones mecánicas. Finalmente, se completan los acabados interiores.

Este proceso constructivo evidencia el potencial de la industrialización aplicada al diseño arquitectónico, permitiendo una ejecución precisa, planificada y optimizada, en coherencia con los principios de la construcción modular y el uso de elementos prefabricados.

### ➤ 1.4 Contraste y conclusiones

El análisis comparativo entre un edificio inicialmente proyectado con métodos tradicionales y otro diseñado desde el inicio con criterios de prefabricación permite extraer varias conclusiones clave:

#### 1. **Facilidad de diseño y ejecución:**

La planificación de un edificio concebido desde el inicio para la prefabricación es más sencilla y eficiente. La integración de los módulos industrializados en las fases de diseño permite una ejecución más fluida, reduciendo la complejidad técnica. En cambio, adaptar un proyecto tradicional implica reconfigurar múltiples aspectos del diseño original, lo que genera dificultades adicionales.

#### 2. **Optimización de recursos y tiempos:**

El diseño específico para sistemas prefabricados permite un mejor control de recursos y una mayor previsibilidad en los plazos. Por el contrario, incorporar elementos prefabricados en un proyecto convencional puede derivar en incompatibilidades y en la

necesidad de ajustes no previstos, afectando tanto al cronograma como al presupuesto.

#### 3. **Impacto en los costos:**

La prefabricación ofrece ventajas económicas cuando se plantea desde el inicio del proyecto. En adaptaciones posteriores, los costes tienden a incrementarse debido a modificaciones estructurales, redistribución de espacios y necesidad de nuevas evaluaciones técnicas.

#### 4. **Flexibilidad y adaptabilidad:**

Mientras que los métodos tradicionales permiten mayor flexibilidad en obra, esta se reduce considerablemente al introducir prefabricación en fases avanzadas. Por el contrario, un diseño orientado desde el principio a la industrialización limita las modificaciones durante la ejecución, pero incrementa la eficiencia y la rapidez constructiva.

**Conclusión general:**

Diseñar un edificio desde su concepción con criterios de industrialización permite una ejecución más ordenada, predecible y eficiente. Aunque es viable adaptar un proyecto tradicional a soluciones prefabricadas, este proceso implica mayores retos técnicos y económicos, lo que refuerza la necesidad de considerar la prefabricación como una estrategia de diseño desde las primeras fases del proyecto arquitectónico.



Análisis de la industrialización en estructura según materiales y componentes

➤ **2.1 Análisis de los materiales y soluciones constructivas**

**HORMIGÓN 2D- VN SYSTEM**

Se estudia la aplicación del sistema prefabricado VN System desde la cimentación hasta la cubierta del edificio Aldekone.

**Componentes prefabricados analizados**

- **Muros perimetrales del sótano**

Doble muro de 30 cm de espesor. Dificultad de ejecución por interferencia con el muro colindante → prefabricación desaconsejada.

- **Paneles estructurales interiores**

Doble muro de 22 cm con hormigonado in situ. Integración posible de instalaciones, aislamiento y sistemas de fijación. Permite alta calidad de acabado y seguridad estructural.

- **Fachadas prefabricadas**

- **Estructurales o no estructurales**, según orientación estructural del proyecto.
- Paneles posibles hasta 7 m de longitud, 3,10 m de alto y 10–15 cm de espesor.

**Condicionantes de diseño según dirección estructural**

- **Estructura longitudinal**

- Fachadas estructurales viables.
- Limita diseño de terrazas, genera puentes térmicos.
- Mayor número de huecos para accesos e instalaciones.
- Dificulta disposición de plazas de garaje en sótano.

- **Estructura transversal**

- Fachadas no estructurales.

- Menor flexibilidad interior.
- Más viable para distribución de garaje.
- Terrazas laterales poco viables.

### Cumplimiento normativo

El sistema cumple con la normativa vigente de **incendios** y **aislamiento acústico**, con soluciones estándar.

### Logística y puesta en obra

- **Almacenaje:** Zona horizontal, lisa y con pendiente <5%.
- **Transporte:** En camiones LANGENDORF con RACKS.
- **Manipulación:** Con grúa torre o autogrúa.
- **Ventajas:** Reducción de movimientos de grúa en descarga.
- **Limitaciones:** Altura y accesibilidad perimetral (caso específico Aldekone). Se recomienda grúa torre sin castillete.

### STEEL FRAME- AFCA-TECCON

El sistema **Steel Frame** sustituye la estructura porticada tradicional por un entramado de perfiles metálicos ligeros, galvanizados en frío. Permite integrar estructura y cerramientos desde planta **primera hacia arriba**, optimizando tiempos y procesos. No se recomienda en planta baja por exposición a humedad y mayores cargas.

### Exigencias de diseño en el proyecto Aldekone

- **Cambio estructural** entre planta baja (pórticos de hormigón) y superiores (muros portantes).
- El diseño **interior debe ser definitivo**, sin posibilidad de modificaciones futuras que afecten al entramado.
- **Limitaciones para instalaciones**, especialmente en sentido longitudinal (cocinas y baños).
- Necesidad de prever "rígidos" estructurales en el diseño.

## Normativa de incendios y acústica

- **Incendios:**

- Requiere validación mediante ensayo REI60 (mínimo).
- Las soluciones varían según tipo de placa, perfil y aislamiento.
- Se enfatiza la protección del perfil estructural, no solo de los recintos.

- **Acústica:**

- Problemas por falta de masa en los tabiques entre viviendas.
- Las instalaciones (enchufes, etc.) reducen la capacidad aislante si atraviesan el núcleo.
- Requiere una solución compleja: doble estructura de pladur + lana de roca + lámina metálica anti-intrusismo.

- En fachadas:

- OSB de 10 mm es insuficiente para fachada ventilada o SATE → se recomienda aquapanel u otro material más duradero y resistente.

## Exigencias de puesta en obra

- Forjados deben quedar regleados con precisión (+/- 8 mm) → requiere intervención adicional en obra.
- Escaleras y ascensores autoportantes deben fabricarse previamente y montarse con medidas especiales de seguridad.
- Bastidores deben retacarse con mortero sin retracción.
- Control de oxidación de bastidores en obra.
- El cierre superior con placas debe ajustarse a la forma de la chapa colaborante.
- Lana de roca (70 kg/m<sup>3</sup>) en bastidores no permite paso de instalaciones → se trasladan a tabiques de pladur.

### MADERA – Sistema CLT de EGOIN

Se propone una estructura prefabricada de madera CLT (Cross Laminated Timber) a partir de planta baja, que se apoya sobre un zócalo de hormigón armado. La estructura incluye paneles CLT verticales y paneles Ego-Ripa en forjados para salvar luces de hasta 7 m. La madera queda no vista salvo en zonas puntuales.

#### Elementos principales:

- Paneles estructurales de pared CLT (90 mm, no vistos)
- Panel CLT para forjado (150 mm, 1 cara vista)
- Panel CLT para escaleras (peldaños macizos apilados)
- Estructura secundaria de madera laminada (pino radiata)

#### Propiedades del sistema CLT

- Compuesto por capas perpendiculares de madera seca y estructuralmente clasificada (C16–C24).

- Proporciona rigidez estructural, capacidad portante en altura, y permite preindustrialización (corte, juntas, huecos).
- Versátil: se usa para muros, forjados, techos, muebles o cerramientos.
- La madera laminada se usa para piezas lineales estructurales de gran longitud (fibra paralela, uniones encoladas en frío).

#### Exigencias de diseño en el proyecto Aldekone

- Los **paneles CLT** se **atornillan entre sí**, generando un conjunto rígido.
- La disposición de los muros transversales refuerza la **estabilidad horizontal** (funciona como un “cajón”).
- Los **pasos de instalaciones** deben planificarse en fábrica (taladrado en obra difícil).
- Las **juntas CLT no son estancas al aire** → se requiere **encintado interior/externo** para estanqueidad.

- Cuando un **forjado sale al exterior** (ej. terrazas), hay riesgo de filtraciones → debe controlarse la junta.
- El **mínimo movimiento de la madera** impide trasdosar con pladur directamente → usar materiales flexibles o con junta abierta.
- La **envolvente** requiere fachada exterior + trasdosado interior. El techo puede quedar visto.

#### Normativa: Incendios y acústica

- **Protección al fuego:** mediante barnices intumescentes o revestimientos tipo pladur.
- **Aislamiento acústico:**
  - Es necesario en paramentos y suelos (anti-impacto).
  - Se pueden considerar soluciones en seco como Fermacel, aunque incrementan el costo.

#### Exigencias de puesta en obra en Aldekone

- Hormigón de arranque (zócalo) debe estar perfectamente nivelado.
- Requiere andamiaje perimetral para seguridad durante el montaje.
- Toda la envolvente debe contar con sellado de estanqueidad.
- El hueco de ascensor de madera debe revisarse por el peso en relación con la capacidad de la grúa.
- Los huecos de ventana ya vienen definidos → permite fabricar carpinterías con antelación.
- Posibilidad de montaje de fachada prácticamente terminada, gracias a la precisión dimensional del CLT. Para ello, se usa una estructura perimetral de pilares (madera o metálicos) que no es portante.

➤ 2.2 Ventajas y desventajas de cada sistema

Criterio	Hormigón prefabricado	Steel Frame	Madera CLT
Origen de fabricación	Navarra (Berasoain, 182Km)	Cataluña	Euskadi
Inicio del sistema	Desde cimentación	Desde 1ª planta (PB en hormigón)	Desde PB, sobre zócalo de hormigón
Intervinientes	2 gremios: montadores y estructurista	4 gremios (estructura, chapa, bastidores, acabados)	1 gremio (estructura CLT)
Velocidad de ejecución	Alta: continuidad de obra desde cimentación	Media: montaje+coordinación interna compleja	Muy Alta: estructura completa en 10 semanas
Precisión dimensional	Alta: huecos definidos en proyecto	Media: ±8mm en canal base	Muy Alta: mecanización
Acabado exterior	Fachada terminada (texturas posibles)	OSB+capa exterior (requiere andamio)	Requiere lámina+revestimiento exterior
Andamiaje	No requerido para seguridad ni acabados	Requerido para fachada	Requerido para fachada y sellado exterior
Apuntalamiento	Mínimo. Permite trabajo simultáneo en plantas	Escaso	Ninguno
Paso de instalaciones	Fácil. Interior de muros hueco	Limitado: no perforable en vertical ni horizontal	Requiere diseño previo o trasdosados
Aislamiento térmico y acústico	Buena inercia térmica	Deficiente sin refuerzos adicionales	Buena, pero requiere soluciones específicas
Sostenibilidad / CO <sub>2</sub>	Media. Inercia térmica como ventaja	Baja (material industrial con huella de carbono)	Muy alta. Material renovable y bajo impacto
Seguridad en obra	Alta, sin montacargas, materiales entran por ventanas	Normal, medios auxiliares estandar	Alta, compatible con grúa torre de 2,5Tn
Estanqueidad	Buena, requiere sellado de juntas en fachada	Media. Depende del acabado de fachada	Requiere cintado interior y exterior
Flexibilidad de diseño	Alta, limitación estética en el mercado libre	Baja, limitaciones por porticidad	Media, requiere planificación temprana
Costo aproximado (relativo)	Medio-alto (mayor que estructura in situ)	Alto (superior al tradicional)	Muy alto (aunque con menos gremios)
Financiación	Anticipada, pero menor que steel frame	Muy antiipada (30%-35% antes de montaje)	Similar a steel frame: fabricación previa y acopio en seco
Logística	Accesos y grúa torre de 35 m suficientes	Control de acopios por oxidación	Control de cargas por peso de paneles (hasta 4Tn)

Sistema	Valoración general
Hormigón	Más compatible con cambios en obra, buena base para planta baja. Tiempo de ejecución más largo.
Steel Frame	Adecuado para plantas superiores repetitivas, pero con limitaciones en instalaciones, acústica y diseño interior.
CLT	Más versátil que el Steel Frame, altamente industrializado, sostenible, pero requiere planificación previa y sellado preciso. Ideal para un diseño definido y controlado.

➤ 2.3 Conclusiones sobre los sistemas constructivos

**2.3.1 Hormigón prefabricado**

- Sistema consolidado, con buena logística y ejecución rápida.
- Precisión en obra que permite adelantar trabajos como carpinterías.
- Requiere pocos gremios y medios auxiliares estándar.
- Es ligeramente más caro, pero viable y competitivo.
- Buena opción para estructuras y fachadas no portantes prefabricadas.

**2.3.2 Steel Frame**

- Sistema complejo y exigente en diseño, ejecución, protección al fuego y coordinación de gremios.

- Requiere gran precisión y anticipación en obra (replanteos,

Sistema	Ventajas clave	Desventajas /Limitaciones	Adecuación al proyecto Aldekone
<b>Hormigón prefabricado</b>	-Construcción rápida -Precisión que permite adelantar carpinterías -Menos gremios en obra -Fachada prefabricable	-Ligeramente más caro que el sistema tradicional -Requiere ajuste de precios y logística de grúa	<b>Opción viable y competitiva</b>
<b>Steel Frame</b>	-Ligeramente más superficie útil -Ahorro en cimentación -Huecos definidos de fábrica	-Alta exigencia técnica y de ejecución -Coordinación compleja -No reduce plazos -Más costoso y poco flexible	<b>No recomendable como sistema genérico</b>
<b>Madera CLT</b>	-Baja huella de carbono -Ejecución rápida -Alta precisión prefabricada -Buenas propiedades térmicas y acústicas	-Alto coste actual -Mercado limitado -Requiere planificación a medio/largo plazo	<b>Ideal ambientalmente, pero limitado por el mercado</b>

instalaciones, materiales).

- No aporta ventajas significativas en plazo respecto a sistemas tradicionales.
- Es más caro, rígido y con baja adaptabilidad a los estándares actuales del mercado.

*Tabla comparativa de conclusiones por sistema constructivo*

- No recomendable como sistema genérico en este tipo de proyectos.

### 2.3.3 Madera CLT

- Sistema óptimo desde el punto de vista ambiental (bajas emisiones de CO<sub>2</sub>).
- Necesita planificación anticipada, tanto en suministro como en ejecución.
- Su principal limitación es el alto coste y la limitada capacidad del mercado para responder a gran escala.
- Requiere inversiones estructurales para ser adoptado de forma habitual.



## Análisis de la industrialización en fase de construcción

➤ 3.1 Aspectos que se han considerado antes de la fase de construcción

Aspecto	Resumen
<b>Geotécnico y muro colindante</b>	<p>-El informe geotécnico recomienda cimentar sobre capas C o D, con al menos un 70% de roca sana.</p> <p>-El muro del edificio vecino invade ligeramente la parcela y se sitúa por encima, dificultando la ejecución</p> <p>Se descarta industrializar el muro de sótano por su complejidad y riesgo estructural</p>
<b>Altura limitada por el aeropuerto (AES)</b>	<p>-Restricción de altura de grúa por cercanía al Aeropuerto de Loiu</p> <p>Condiciona la planificación y la elección de sistemas prefabricados según peso y alcance de grúa</p>
<b>Exigencias acústicas</b>	<p>-Zona afectada por ruido de la BI-631: se declara Zona de Protección Acústica Especial.</p> <p>Se deben extremar las soluciones acústicas en fachadas, carpinterías, tabiquería y ventilación</p>
<b>Condiciones meteorológicas</b>	<p>-La lluvia y el viento pueden afectar la instalación de elementos prefabricados</p> <p>Se requieren protecciones específicas, especialmente en módulos de baño</p>
<b>Puentes térmicos en estructura prefabricada</b>	<p>-Aunque se descarta prefabricar estructura, se analizan soluciones para evitar puentes térmicos si se hubieran usado muros portantes prefabricados</p> <p>Opciones: aislamiento interior o en la prolongación del muro/viga</p>
<b>Dificultades en contratación y definición técnica</b>	<p>-Aunque se descarta prefabricar estructura, se analizan soluciones para evitar puentes térmicos si se hubieran usado muros portantes prefabricados</p> <p>Falta de precontratos o compromisos complica obtener información técnica precisa a tiempo</p>

➤ **3.2 Aspectos que se han considerado en fase de construcción**

**3.2.1 Implantación**

Se propone un plan de implantación adaptado a la prefabricación de baños y fachadas. Cada uno de los dos bloques simétricos contará con una grúa torre situada en la acera norte (carretera de Mungialde), cubriendo toda la obra sin interferir con la cimentación.

El acceso a la obra será desde el sur, dejando libre la acera más transitada. Las zonas de acopio de materiales y casetas se ubicarán en la fachada este, optimizando la descarga cerca de las autogrúas según lo coordinado con los proveedores.

**3.2.2 Transporte**

- **Baños prefabricados:**

Transportados por camiones especializados, que aseguran protección, control de humedad y temperatura. Cada camión lleva entre 5 y 6 baños. Se requiere acceso

despejado a obra y descarga cercana al punto de instalación.

- **Fachadas prefabricadas:**

Transportadas en racks sobre camiones Langendorf, que permiten descarga automática en obra. Requieren 20 m de espacio de maniobra. Cada camión puede llevar entre 8 y 10 paneles.

**3.2.3 Planificación**

- **Baños prefabricados:**

Se introducen horizontalmente mediante autogrúa tras la ejecución de los forjados, antes del montaje de la fachada. La producción es de 12 baños diarios, con entregas semanales de hasta 45 unidades y una capacidad de colocación en obra de 6 baños por día.

- **Fachadas prefabricadas:**

Se estima colocar entre 8 y 10 paneles diarios con un solo equipo de montaje. Dos camiones diarios abastecen el ritmo de instalación. El proceso se puede acelerar si se amplían los recursos.

### 3.2.4 Medios auxiliares

- **Grúas torre:**

Dos grúas con radios de 40 m y carga punta entre 1.000 y 1.600 kg, suficientes para la estructura de hormigón. No se industrializa por restricciones de altura de AESA.

- **Autogrúas:**

Utilizadas para colocar baños (hasta 2.464 kg en baños PMR) y fachadas. Los proveedores suministran las autogrúas necesarias.

- Baños: Transportados, elevados y posicionados horizontalmente con precisión mediante transpaletas. Se ajustan con tacos de neopreno.
- Fachadas: Izadas desde los racks con autogrúa, con un equipo que guía y posiciona los paneles.



## Análisis de los factores financieros-económicos de la industrialización

## Analisis de los factores financieros-económicos de la industrialización

Esta fase del estudio se centra en comparar los costes de diferentes propuestas de componentes industrializables. Aunque el coste no siempre es decisivo, las diferencias entre métodos tradicionales e industrializados son relevantes.

Se analizan tres sistemas estructurales (Hormigón armado prefabricado, Steel Frame y Madera), junto con elementos como fachadas y baños prefabricados. Tras evaluar técnica, funcional y económicamente cada opción, se redactó un Proyecto de Ejecución que permite comparar directamente con una solución tradicional. Además de los costes directos, se han valorado los costes indirectos, con indicadores como:

Coste total €/m<sup>2</sup> construido

Coste total €/m<sup>2</sup> útil vendible

Tiempo de retorno de la inversión

Margen operativo bruto (en caso de promoción)

También se contempla un análisis de alternativas de financiación para proyectos industrializados.

#### ➤ 4.1 Comparativo de costes directos

##### ESTRUCTURA

Se comparan soluciones estructurales industrializadas con participación de empresas especializadas:

- Hormigón prefabricado 2D (Viguetas Navarras y Ex Situ): rápida ejecución, precisión y ahorro de tiempo.
- Steel Frame (Afca Teccon): ligereza, eficiencia energética y sostenibilidad.
- Madera (Egoin): soluciones en CLT y laminado, con alta sostenibilidad y prestaciones térmicas/acústicas.

Una de las propuestas de hormigón 2D se basa en el sistema **VN de Viguetas Navarras**, que utiliza paneles de doble piel rellenos de hormigón in situ y fachadas integradas con cuatro capas (incluido hormigón visto interior y exterior).

- La estructura prefabricada es **151% más cara** que la tradicional, pero **integra la fachada**, compensando parte del coste.

- El coste global de ejecución material aumenta un **11%**, aunque este dato no incluye aún los costes indirectos.
- El sistema industrializado reduce los **plazos de ejecución de 22 a 16 meses (-27%)**, lo que reduce los costes indirectos en un **18%**.
- Pese a la pérdida de superficie útil por el mayor espesor de fachada (ingresos no percibidos), la reducción de plazos puede mejorar la viabilidad del proyecto.

**Conclusión:** sumando costes directos, indirectos y costes bajo y sobre rasante, el incremento final del presupuesto global sería de un **5%**, lo que debe valorarse frente a las ventajas en tiempo, calidad y eficiencia.

**Ex Situ**, empresa especializada en construcción industrializada en hormigón, propuso una solución para la ejecución de la estructura del edificio desde la planta baja (excluyendo el sótano por su complejidad técnica).

- **Sobrecoste directo inicial:** 198,27 €/m<sup>2</sup> construido

- Sin embargo, este incremento incluye la fachada acabada, eliminando partidas como el aislamiento exterior del sistema tradicional.
- **Incremento neto del coste** de ejecución material: 19,75%
- Reducción de **plazo** de obra: de 22 a 16 meses (-27%)
- **Ahorro en costes indirectos**: -7,15%
- **Sobrecoste global** estimado: 15% respecto al sistema tradicional.

**Conclusión:** La propuesta de Ex Situ ofrece una solución estructural y de fachada eficiente y sostenible, con mayores costes directos, pero compensada parcialmente por reducción de plazos y costes indirectos. Representa una opción viable en términos de calidad, tiempo y sostenibilidad, dentro de la tendencia hacia la industrialización en la edificación.

**Afca Teccon** propone un sistema industrializado de **estructura metálica ligera** (Steel Frame) a partir de **planta primera**, basado

en bastidores metálicos estandarizados prefabricados en fábrica, listos para ensamblaje en obra.

- **Sobrecoste directo sobre rasante**: 90,24 €/m<sup>2</sup> construido
- **Ahorro bajo rasante**: menor peso estructural → reducción del 9%
- **Incremento neto total del coste de ejecución**: 6%
- **Sobrecoste global estimado**: +3% respecto al sistema tradicional

**Conclusión:** La solución de Afca Teccon representa una alternativa industrializada ligera, precisa y rápida, con un sobrecoste moderado (+3%) frente a la tradicional. Su principal ventaja radica en la **reducción de cargas estructurales, versatilidad de diseño y optimización del proceso de montaje**, siendo especialmente interesante cuando se prioriza la **rapidez de ejecución y sostenibilidad**, aunque requiere considerar aparte la resolución de fachada.

La propuesta de **Egoín** plantea una estructura **mixta**:

- Zócalo de hormigón armado in situ (hasta planta baja)
- Paneles de CLT (Cross Laminated Timber) a partir de planta baja

**Consideraciones económicas y técnicas:**

- Sustituye la estructura de hormigón por CLT en plantas superiores.
- Se conserva la fachada tradicional (como en la opción Steel Frame).
- Incremento coste total: 10 %

**Conclusión:** La solución en CLT de Egoín aporta un **alto valor añadido** al proyecto gracias a su sostenibilidad, rapidez de montaje y calidez estética. Es especialmente adecuada cuando la prioridad está en la **eficiencia energética**, la **reducción de huella de carbono** y la **industrialización con calidad arquitectónica**. Su elección dependerá de la ponderación entre criterios técnicos, económicos y ambientales frente a otras soluciones como hormigón prefabricado o Steel Frame.

A partir de los condicionantes establecidos (plazo, coste, sostenibilidad, etc.), se ha elaborado una comparativa general de los costes asociados a cada sistema industrializado. Esta evaluación contempla cinco conceptos principales:

- Bajo Rasante (BR)
- Sobre Rasante (SR)
- Coste Directo (CD)
- Coste Indirecto (CI)
- Coste Total

Para garantizar una comparación justa, se ha normalizado qué elementos aporta cada sistema (estructura, fachada, montaje, medios auxiliares, etc.), eliminando distorsiones en los resultados.

Sistema	Tipo de material	Alcance	Sobrecoste sobre tradicional	Reducción plazo	Ventajas clave
Hormigón 2D-Ex Situ	Hormigón prefabricado	Estructura y fachada prefabricada desde PB	113%	27%	Alta durabilidad, ejecución incluida, menos residuos
Hormigón 2D-VN System	Hormigón prefabricado	Solo estructura prefabricada desde PB	104,70%	18%	Beneficios estructurales d conservando fachada trad
Steel Frame- Afca Teccon	Acero	Estructura metálica desde P1	103,10%	18%	Ligereza, rapidez de montaje adaptable, reducción en c
CLT- Egoín	Madera contralaminada (CLT)	Estructura CLT desde PB (zócalo de HA)	110,20%	18%	Sostenibilidad, CO <sub>2</sub> reducida, eficiencia energética, rápido ambiental

## FACHADA

### Objetivos clave del proyecto:

- Reducción del **plazo de ejecución**.
- Optimización y control de **costes**, en el marco de vivienda asequible.

La fachada industrializada se plantea como la mejor solución frente a los riesgos de retraso, defectos y escasez de mano de obra de la solución tradicional en **ladrillo caravista**.

Las ofertas recibidas varían considerablemente entre ellas, teniendo que analizar qué ofrece cada empresa muy en profundidad, valorando los costes indirectos a añadir a cada una.

El sobrecoste directo puede llegar a ser de 120.000 € sobre el coste directo de la fachada. Pero donde más se consigue beneficio es con el impacto en plazo y costes indirectos. Cuando el plazo original ronda en 22 meses, la previsión con la industrialización se reduce a 15 meses (32%).

A pesar del mayor coste por metro cuadrado, la fachada prefabricada representa una solución más fiable, rápida y eficiente para el proyecto. La decisión responde a una estrategia de industrialización que mejora el control de calidad y plazos, cruciales en proyectos de vivienda pública.

### BAÑOS PREFABRICADOS

El impacto económico con la implantación de los baños prefabricados tiene un sobrecoste directo respecto a baños convencionales de +240.000 €. En contraposición al sobrecoste hay un ahorro de costes indirectos por reducción de plazo de al menos 1 mes.

Además, se debe tener en cuenta los posibles ahorros adicionales con: menor posventa, reducción de residuos y simplificación administrativa en obra.

La aplicación de soluciones industrializadas en estructura, envolvente y núcleos húmedos permite una reducción significativa de los plazos de ejecución (hasta -32%) con un sobrecoste controlado y potenciales ahorros indirectos. La selección de los sistemas se ha basado en un equilibrio entre coste, sostenibilidad, viabilidad técnica y fiabilidad de los proveedores, consolidando una estrategia integral de industrialización para el proyecto.

## ➤ 4.2 Costes Indirectos

### Transporte, Implantación y Medios Auxiliares

#### 1. Transporte de baños prefabricados:

- Requieren camiones especializados para asegurar la protección de los módulos acabados.
- Cada camión puede transportar entre 5 y 6 baños, optimizando la logística.
- Se necesita una zona de descarga accesible y despejada, próxima al lugar de instalación.
- El montaje se realiza con autogrúas para garantizar una colocación precisa y sin daños.

#### 2. Transporte de fachada prefabricada:

- Se usan racks especiales cargados en camiones Langendorf con capacidad para 8-10 paneles.
- El camión autodescarga los racks, facilitando la logística y acortando tiempos.
- Requiere un radio de giro de 20 m, lo que condiciona el diseño del acceso a obra.

### Medios Auxiliares

#### Grúas torre:

- Las restricciones de altura por la cercanía al aeropuerto impiden el uso de grúas de gran tamaño.
- Se emplean grúas con capacidad limitada (2.000–2.500 kg), válidas para hormigón, pero insuficientes para módulos más pesados.

#### Autogrúas:

- Indispensables para la colocación de baños prefabricados (hasta 2.464 kg en casos como baños PMR).
- También necesarias para el montaje de fachada, colocando hasta 2 racks/día (8-10 paneles).

### Impacto en plazo y costes

- Las limitaciones técnicas del entorno (altura, acceso, maniobrabilidad) obligan al uso de medios más costosos como autogrúas.

- Aunque estos medios incrementan el coste directo, permiten mantener el ritmo de obra.
- Si se hubieran podido utilizar grúas torre de mayor capacidad, se habrían acelerado los plazos, reduciendo los costes indirectos, lo que mejoraría el coste global.

Este apartado evidencia cómo **las decisiones técnicas condicionadas por el emplazamiento tienen un impacto directo en la logística, los plazos y los costes**, reforzando la necesidad de una planificación integrada desde fases tempranas del diseño.

### ➤ 4.3 Comparativo General

#### Costes Directos

Incluyen materiales, fabricación, transporte y montaje en obra. Se destacan las siguientes tendencias:

- **Hormigón prefabricado 2D:** competitivo en producción masiva, pero con sobrecostes logísticos y de izado.
- **Steel Frame:** algo más costoso en materiales que el sistema tradicional, pero con tiempos de ejecución mucho más cortos.
- **Madera CLT/Laminada:** mayor coste inicial, pero instalación rápida y eficiente, con buen comportamiento térmico que aporta ahorros futuros.
- **Fachadas prefabricadas:** ligeramente más caras que las tradicionales, aunque cada vez más competitivas y versátiles.

- **Baños prefabricados:** más caros y con contratación anticipada, pero instalación muy rápida y con ventajas logísticas y operativas.

#### 2. Costes Indirectos

Incluyen reducción de plazos, menor generación de residuos, mejor coordinación en obra:

- **Steel Frame y Madera** destacan por facilitar una ejecución eficiente y bien coordinada.
- **Hormigón prefabricado** requiere más recursos logísticos y medios auxiliares, pero mejora respecto al sistema in situ.

#### 3. Cumplimiento Normativo

- Todos los sistemas analizados cumplen con el **CTE**, incluyendo aspectos estructurales, incendios, salubridad y eficiencia energética.
- Los productos industrializados seleccionados cuentan con **Marcado CE y Declaración de Prestaciones (DoP)** conforme al Reglamento de Productos de Construcción.

- Sistemas como **CLT** y **Steel Frame** están respaldados por **soluciones homologadas y casos de referencia** en España.

#### 4. Implantación y Plazos de Ejecución

- **Steel Frame y Madera** permiten iniciar obra con elementos casi terminados, reduciendo drásticamente la duración de la estructura.
- El **Hormigón 2D** y los **baños prefabricados** también acortan plazos, aunque dependen más de la logística y la especialización del equipo.
- En general, la industrialización **acelera los plazos**, reduce riesgos y residuos, mejora la gestión de obra y permite un **retorno más rápido de la inversión**.

---

Este análisis resalta cómo la industrialización impacta positivamente tanto en los **costes como en los plazos**, y cómo la elección del sistema debe considerar **una visión global** más allá del coste inicial.

#### ➤ 4.4 Análisis Financiero Actual

##### Control de costes mediante Target Value Design (TVD)

Se plantea una gestión económica basada en el coste objetivo, definido por el plan de negocio del promotor. Se incluye una **partida de contingencias** para absorber desviaciones normativas, técnicas o imprevistos durante la ejecución.

##### Industrialización: coste vs. valor añadido

Aunque ciertos sistemas industrializados suponen **mayores costes directos** (como la fachada prefabricada, estructura en hormigón y baños industrializados), estos se compensan por:

- Mayor calidad de acabados
- Reducción de riesgos postventa
- Mejor cumplimiento de plazos

Estos factores se consideran estratégicos para justificar su elección, más allá del coste inicial.

### 3. Alternativas de financiación para proyectos industrializados

Se identifican nuevas vías de financiación adaptadas a las características de la construcción industrializada:

- **Préstamo promotor tradicional:** sigue siendo el principal modelo, pero requiere adaptación a un calendario de obra más acelerado y posible aumento del capital circulante inicial.
- **Leasing o renting de elementos industrializados:** útil para módulos reutilizables o cuando se busca evitar la inmovilización de capital.
- **Vendor financing (financiación por parte del proveedor):** permite pactar pagos escalonados, descuentos por pronto pago o financiación parcial hasta la puesta en servicio. Interesante en proyectos piloto o en introducción de nuevos sistemas.

- **Fondos públicos y subvenciones:**
  - Fondos Next Generation EU (Plan de Recuperación)
  - Subvenciones regionales (vivienda pública, rehabilitación, eficiencia energética)
  - Incentivos fiscales por I+D+i (en casos de innovación constructiva)

### **Conclusión**

La financiación de proyectos con componentes industrializados **no solo es viable**, sino que **puede ser más flexible y eficiente** si se adapta el modelo financiero al sistema constructivo. Es fundamental diversificar fuentes, ajustar calendarios económicos y anticipar requerimientos documentales específicos.



## Análisis de la aplicación de la digitalización en Industrialización

### ➤ 5.1 Empleo de la metodología BIM

El objetivo general es optimizar y controlar los costes, reducir la incertidumbre y sistematizar la generación de proyecto mediante el uso de BIM y herramientas digitales en todo el proceso constructivo

#### Empleo de la metodología BIM

##### a) Sistemática y control desde fases tempranas

- Generación repetible de soluciones optimizadas.
- Modelos con alto nivel de detalle (LOD) que integran geometría, materiales, costes y tiempos.
- Simulaciones de montaje y logística para minimizar errores.

##### b) Control de costes (5D BIM)

- Estimaciones dinámicas y precisas durante todo el ciclo de vida.
- Seguimiento en tiempo real de desviaciones presupuestarias.

- Trazabilidad y transparencia entre agentes.

##### c) Reducción de incertidumbre y mejora de productividad

- Coordinación actualizada entre oficios.
- Uso de herramientas como el *Last Planner System*.
- Automatización de procesos, control de avances y detección de conflictos.

##### d) Resultados esperados

- Menores sobrecostes y errores.
- Mejora en la toma de decisiones basada en datos.
- Cumplimiento riguroso de plazos.
- Mayor eficiencia en fabricación, transporte y montaje.

## Integración práctica y resultados del proyecto

### a) Modelo digital desarrollado por Enbi

- Coordinación entre diseño y obra desde el inicio.
- Integración con plataforma NorthAnalytics.
- Extracción automática de mediciones y análisis de viabilidad.

### b) Impactos concretos

- Reducción significativa de errores en presupuestos.
- Contratación más precisa.
- Reducción de 6 meses en el plazo previsto.
- Mejora sustancial en la previsión financiera y fiabilidad del presupuesto inicial.

## Proceso estructurado en tres pasos

### 1. Modelos BIM compatibles con estructura presupuestaria

- Mediciones precisas directamente desde el modelo.

- Alineación modelo-presupuesto como base del control económico.

### 2. Integración del presupuesto global

- Complemento de partidas no modeladas.
- El modelo BIM controla aproximadamente el **60% del coste total del proyecto**.

### 3. Actualización y análisis de desviaciones

- Seguimiento continuo del avance real vs lo previsto.
- Soporte a decisiones correctivas y mejora continua.
- Generación de una base de datos útil para futuras fases, auditorías o proyectos similares.

El uso de BIM y la digitalización han sido clave para estructurar un modelo económico más eficiente, riguroso y colaborativo.

Su aplicación permite controlar los costes con mayor precisión, reducir tiempos, mejorar la coordinación técnica y facilitar decisiones estratégicas basadas en información fiable y actualizada.

## ➤ 5.2 Estudio de la estandarización de soluciones constructivas

La industria de la construcción se enfrenta a importantes retos de eficiencia, sostenibilidad y coordinación, ante los cuales la digitalización y el uso de la metodología BIM se presentan como herramientas clave para modernizar y transformar los procesos tradicionales.

### **BIM como motor de estandarización y eficiencia**

- **Estandarización:** BIM permite sistematizar soluciones constructivas a través de objetos paramétricos, catálogos digitales y documentación unificada, mejorando la repetibilidad, productividad y reduciendo errores.
- **Interoperabilidad y colaboración:** Facilita la conexión entre disciplinas y plataformas, promoviendo un entorno colaborativo entre arquitectos, ingenieros, constructores y promotores.

- **Sostenibilidad y trazabilidad:** Modelos digitales permiten un mejor control del ciclo de vida del edificio, con análisis precisos de impacto ambiental, uso de materiales y costes.
- **Apoyo a la industrialización:** BIM y los catálogos estandarizados impulsan métodos como la construcción off-site, prefabricación y diseño modular.
- **Convergencia diseño-ejecución:** La definición digital de soluciones constructivas reduce errores de interpretación y mejora la planificación y la logística en obra.

### **Retos y oportunidades**

- **Barreras actuales:** Falta de formación técnica, ausencia de estándares unificados y resistencia al cambio por parte de algunos actores.
- **Necesidad de visión estratégica:** La estandarización digital debe verse como una transformación estructural, no solo como una tendencia.

- **Rol de las administraciones:** Es esencial el impulso normativo, la formación continua y políticas públicas que promuevan el uso de BIM y la digitalización.

### **Caso Aldekone – Aplicación práctica de la industrialización y digitalización**

En el desarrollo del proyecto Aldekone se ha realizado un análisis comparativo entre construcción tradicional e industrializada, integrando aprendizajes reales y metodologías avanzadas como:

- Design for X (DfX) y Design for Manufacturing & Assembly
- (DfMA&B): Aplicados para mejorar la secuenciación, trazabilidad y eficiencia del diseño orientado a la fabricación.
- BIM: Como herramienta transversal para la coordinación técnica, seguimiento de costes y mediciones.

- Last Planner System: Metodología Lean implementada para coordinar tareas semanales y mejorar la colaboración entre gremios.

### **Resultados obtenidos:**

- Reducción significativa de errores, retrabajos y plazos de ejecución.
- Mayor precisión y fiabilidad en los costes y tiempos previstos.
- Mejora en la calidad final del producto y en el control del proceso constructivo.
- Generación de conocimiento transferible a futuros proyectos de la organización.

### **Conclusión**

La estandarización apoyada en BIM y la digitalización no solo mejora los procesos técnicos y operativos, sino que impulsa un cambio cultural y estructural en el sector. El caso Aldekone

demuestra que la verdadera mejora surge de la combinación entre industrialización, planificación estructurada y gestión digital, consolidando una nueva forma de proyectar, construir y gestionar edificaciones de manera más eficiente, sostenible y colaborativa.



## Análisis de sostenibilidad en la industrialización

### Analisis de sostenibilidad en la industrialización

Esta fase tiene como objetivo comparar los costes entre sistemas constructivos tradicionales y industrializados, reconociendo que, aunque el coste no siempre es el factor decisivo, su diferencia es clave en la toma de decisiones.

#### Sostenibilidad y Análisis del Ciclo de Vida (ACV)

- La construcción industrializada mejora la eficiencia y el control de calidad, además de reducir significativamente el impacto ambiental en todas las fases del edificio.
- El ACV, conforme a las normas ISO 14040 y 14044, evalúa el impacto ambiental desde la extracción de materias primas hasta el fin de vida del edificio, considerando indicadores como emisiones de CO<sub>2</sub>, consumo energético, generación de residuos y reciclabilidad.
- Ventajas ambientales de la construcción industrializada incluyen reducción de residuos, menor consumo de agua y emisiones, y mayor capacidad de reutilización y desmontaje.

- Esta forma constructiva facilita cumplir con certificaciones ambientales reconocidas (LEED, BREEAM, VERDE, etc.).
- Sistemas como madera certificada o Steel Frame ofrecen un desempeño ambiental superior frente a métodos tradicionales, alineándose con principios de economía circular.
- Desde los puntos de vista técnico, económico y ambiental, la industrialización se posiciona como una alternativa sólida y eficiente.

#### Circularidad y desmontaje

- La ISO 20887 promueve la incorporación de criterios de economía circular, enfocándose en eliminar residuos, aumentar la vida útil y facilitar el desmontaje y la reutilización.
- El proyecto adopta soluciones diseñadas para el desmontaje fácil, con elementos prefabricados y fijaciones accesibles que permiten la reutilización.

- Se sigue el principio de simplicidad para optimizar fabricación, montaje, mantenimiento y gestión de repuestos, mediante la modulación y reducción de complejidad técnica.
- Recomendaciones de la ISO 20887 se aplican en diseño, construcción, uso y fin de vida, enfatizando la documentación precisa y gestión digital mediante BIM o gemelos digitales para asegurar la trazabilidad y facilitar futuras intervenciones.

### **Economía circular en el proyecto**

- El proyecto fomenta la colaboración transversal entre todos los actores desde fases tempranas, aplicando estrategias como Design for Disassembly (DfD) y BIM colaborativo.
- Se desarrollarán manuales de desmontaje, fichas técnicas para trazabilidad de materiales, y se integrará información ambiental en modelos BIM.

- En obra, se gestionarán órdenes de cambio para favorecer la circularidad y se actualizará el modelo BIM as-built con información sobre reutilización y reciclaje.

### **Sistema industrializado propuesto**

- En colaboración con la empresa Ex Situ, se ha desarrollado un sistema basado en paneles prefabricados bidimensionales ensamblados in situ alrededor de un núcleo portante central de hormigón armado.
- Se integra BIM con un nivel de desarrollo LOD 5500, permitiendo un modelado detallado y trazabilidad completa para diseño, fabricación, montaje y mantenimiento.
- Ventajas del sistema incluyen reducción de tiempos de obra, control de calidad en fábrica, sostenibilidad mediante desmontaje y reutilización, y gestión integral del ciclo de vida del edificio.

Este análisis confirma que la construcción industrializada, apoyada en metodologías digitales y criterios de economía circular, es una alternativa eficiente, sostenible y estratégica para el futuro del sector.

