



Medir y Clasificar la Industrialización de los Edificios



CLÚSTER
DE LA EDIFICACIÓN

ISBN 978-84-09-66192-3

Equipo de Trabajo:



00 - Contenido:

01 - Objetivos del documento.	4
02 - Qué entendemos por Construcción Industrializada.	5
03 - Diferentes terminologías empleadas internacionalmente.	7
04 - Clasificación de sistemas constructivos en diferentes países.	9
05 - Clasificación de sistemas constructivos adaptada al caso español.	17
06 - Definición de Componente y Clasificación.	20
Bibliografía	22
Anexos	23

01- Objetivos del documento:

El presente documento elaborado por el grupo de trabajo de graduación de la industrialización del Clúster de la Edificación tiene como objeto definir, graduar, categorizar los diferentes sistemas constructivos industrializados empleados en el sector de la construcción de edificios, considerando tanto los procesos empleados como la participación de los componentes industrializados dentro de los sistemas, y como consecuencia de ello poder disponer de la capacidad de prescribir en fases tempranas de proyecto el sistema constructivo óptimo para cada operación inmobiliaria.

Al final de este documento, estos sistemas constructivos se clasificarán según el porcentaje de participación de los componentes industrializados en todo el sistema, utilizando como parámetro el coste directo de los componentes respecto al presupuesto global de ejecución material sin incluir costos indirectos, para ello se han analizado diferentes proyectos desarrollados por empresas adheridas al Cluster de la Edificación, empleándose también como guía la publicación “Estrategias para Incentivar la Industrialización de la Construcción” investigación dirigida por D Julián Salas Serrano y publicada por el ICC Eduardo Torroja.

Una mayor participación de componentes industrializados del sistema implica mejoras en parámetros como tiempo de construcción, calidad y sostenibilidad en todos sus aspectos.

Además, se propone en una siguiente fase el desarrollo de una herramienta informática que facilite esta tarea en términos de parámetros como costes directos e indirectos, tiempo de ejecución del proyecto y compromisos con la sostenibilidad ambiental y social, en línea con el contexto político y económico de la Unión Europea.

02- Que entendemos por Construcción Industrializada.

El uso de componentes industrializados en la edificación es tan antiguo como la propia industrialización en el resto de los sectores productivos y, lógicamente, ha ido evolucionando e incorporando con mayor o menor profundidad y acierto las tendencias que en cada momento se han ido presentando en el resto de actividades industriales, así y a lo largo de las décadas se ha ido evolucionando desde la fabricación en taller hasta la personalización en masa, pasando por la fabricación en masa y el lean manufacturing.

Solamente en la publicación “Prefabricación, Teoría y Práctica” referente en nuestro país encontramos 22 definiciones del término “prefabricación” recogidas del estudio internacional realizado a nivel internacional por el grupo de trabajo de la Universidad Politécnica de Madrid liderado por Dr José Antonio Fernández Ordoñez y financiado por el empresario Juan March.

Durante las últimas décadas la definición predominante ha sido la que define los sistemas de construcción industrializada como aquellos en los que los componentes que entran a formar parte del sistema para construir una edificación son fabricados industrialmente en un lugar distinto a la obra (off-site), y posteriormente son trasladados a esta para ser montados y ensamblados.

En la actualidad esta definición ha de considerarse dentro de una visión más amplia y holística, en la que dentro del entorno de la cuarta revolución industrial se han de incorporar cuestiones clave como: el enfoque a cliente/ producto; la digitalización y uso de herramientas IT; la producción en fábrica de los componentes; la estandarización de componentes, sistemas constructivos y procesos; la automatización de los procesos; las relaciones estratégicas de larga duración entre los diferentes agentes de la cadena de valor; el uso de metodologías de planificación como el Lean Manufacturing en la fabricación y el Lean Construction en el montaje de componentes; el uso de sistemas avanzados de gestión de la logística; y estrategias como la personalización en masa y las plataformas de producto, digitales, y los configuradores de producto.

Este enfoque es el utilizado en la actualidad en el contexto de la Unión Europea, tanto en los centros de investigación más destacados como el ETH de Zurich o Delf y en el norteamericano tanto en el curso de construcción industrializada como en el foro de la universidad de Stanford.

Asimismo, y como veremos más adelante en el documento el término “construcción Industrializada” y ligeras variaciones es el predominante no solamente en nuestro contexto de la Unión Europea e Hispanoamérica, sino que también lo es en los países que estando fuera de estos ámbitos desarrollan principalmente su actividad las empresas líderes a nivel tecnológico como pueden ser Japón, China o Estados Unidos.

General

Industrialized construction

Stanford University
Jerker Lessing

Stanford | ENGINEERING
Civil and Environmental Engineering

Slide de la presentación de Jerker Lessing, profesor y fundador del Foro de Construcción Industrializada de la Universidad de Stanford, en el Curso de Técnico Especialista en Construcción Industrializada en el Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Madrid.

En esta definición de construcción industrializada, en la que se considera la concurrencia de un conjunto de procesos, va implícita una graduación con la que cuantificar en qué aspectos profundizar o invertir a nivel estratégico, dependiendo de las circunstancias materiales de mercado y el enfoque de producto.

03- Diferentes terminologías empleadas internacionalmente.

En la actualidad no existe un término único, estandarizado que de forma global se refiera a lo que entendemos como “Construcción Industrializada”, si bien es este término el que desde hace décadas se viene empleando en España, así como en los países de nuestro contexto político, social y económico que es el de la Unión Europea, y en los países Hispanoamericanos con los cuales nos unen profundos lazos culturales, históricos y económicos.

El término “Construcción Industrializada” es el utilizado en las universidades que lideran la investigación en este ámbito como son el ETH de Zurich en Suiza, la Universidad de Delf en Países Bajos y la Universidad de Stanford en los EEUU.

Pueden encontrarse variaciones de este término en países como Suecia, Australia o Malasia en la que se define el término como “Edificación Industrializada” concretando el sector de la edificación frente al resto de actividades del sector de la construcción.

En la amplia literatura académica existente a lo largo de las últimas décadas podemos encontrar también numerosos términos equivalentes como Edificación Industrializada (Zhang et al., 2014); Fabricación Offsite (Nadim and Goulding, 2011); Fabricación Offsite en Construcción (Blismas and Wakefield, 2009); Edificación Prefabricada (Koklic and Vida, 2011); Construcción Modular Integrada (Wuni et al., 2020); Construcción Offsite (Pan et al., 2008, Pan and Goodier, 2012); o Métodos Modernos de Construcción Offsite (Pan et al., 2007); Sistemas constructivos por Plataforma (Halman et al., 2008); y Sistemas Constructivos Prefabricados (El-Abidi et al., 2019).

Mención aparte tiene el término “Modern Methods of Construction” que en español vendría a traducirse como “Métodos Modernos de Construcción”, este término es originario de Reino Unido y ha sido incorporado recientemente en Irlanda debido a su proximidad comercial y geográfica.

El término viene a sustituir el de Prefabricación debido a las connotaciones peyorativas que todavía persisten en algunos ámbitos, debidas a múltiples factores entre los cuales encontramos la uniformidad estética en los paisajes urbanos del pasado siglo generados por los sistemas industrializados cerrados, el uso de estos sistemas en la construcción de grandes complejos urbanísticos de vivienda asequible, algunos de los cuales tuvieron que ser demolidos debido a razones derivadas de la formación de guetos y espacios de alta conflictividad social, y por último la tragedia de Ronan Point que supuso el declive de la tecnología construcción de edificios en altura con paneles de hormigón.

Los “Modern Methods of Construction”, es un término equivalente a “Construcción Industrializada”, y su categorización induce al error de considerarlos términos distintos, por otra parte, sus detractores, que también los tiene, afirman de los métodos que a día de hoy se consideran “modernos” ¿durante cuánto tiempo lo seguirán siendo? ¿el incluir “moderno” implica poner inmediatamente caducidad al término?

En el caso español, el término “Construcción Industrializada” viene siendo utilizado sin connotación peyorativa, percibiéndose como una evolución del término “prefabricación”, quedando este circunscrito a la industria del prefabricado de hormigón.

Cuadro general según la denominación predominante en cada país:

ESPAÑA	Construcción Industrializada
EUROPA CONTINENTAL/ UNION EUROPEA.	
ALEMANIA	Industrialisiertes Bauen
FRANCIA	Construction Industrialisée
SUECIA	Industrialized House Building IHB
SUIZA	Industrialized construction
IRLANDA	Modern Methods Of Construction
EUROPA NO UE.	
REINO UNIDO	Modern Methods Of Construction
ASIA	
CHINA	Construcción Industrializada Nueva Construcción Industrializada
JAPON	Prefabricated Housing
HONG KONG	Modular Integrated Construction (MiC), Prefabricated Prefinished Volumetric Construction (PPVC)
SINGAPUR	Industrialized Building System (IBS)
MALASIA	
HISPANOAMERICA	
CHILE	Construcción Industrializada
COLOMBIA	Construcción Industrializada
CUBA	Construcción Industrializada
OTROS	
ESTADOS UNIDOS	industrialized construction modular construction
AUSTRALIA	Offsite manufacturing Industrialized housing Modular construction

04- Clasificación de sistemas constructivos y antecedentes en diferentes países.

La industrialización de la construcción de los edificios ha de considerarse como una herramienta con la que alcanzar los objetivos planteados por el promotor de la operación inmobiliaria, y ello implica que ante unos objetivos específicos habrán de plantearse estrategias muy concretas dirigidas a alcanzar estos objetivos y que nos permitirán encontrar de entre las diferentes soluciones viables, una solución óptima en términos de proporción de componentes industrializados/ coste/ plazo/ sostenibilidad.

En función de un menor o mayor grado de industrialización nos encontraremos ante diferentes escenarios en cuestiones fundamentales como costes directos, indirectos, estrategias de aseguramiento y control de calidad, plazos de ejecución, flujos de caja de la operación inmobiliaria, condiciones de financiación de la operación inmobiliaria, prestaciones del edificio, costes de mantenimiento futuros a lo largo de toda la vida útil, sostenibilidad de la operación en su conjunto considerando parámetros ambientales, económicos y sociales. Dependiendo del grado de industrialización del sistema constructivo, todas estas cuestiones tendrán una incidencia intrascendente, leve, importante o incluso decisiva.

Categorizar los diferentes sistemas constructivos en función de su grado de industrialización establece unos parámetros y un lenguaje común entre los diferentes agentes del sector inmobiliario, permitiendo a quienes no están directamente relacionados con el diseño y la construcción del edificio, comprender de una forma rápida, clara y directa la incidencia que la elección que un sistema industrializado u otro va a tener en su ámbito de actuación dentro de la operación inmobiliaria.

Establecer una categorización coherente con nuestro entorno social, político, económico y legal, que es el español y el de la Unión Europea, y acorde a nuestras circunstancias materiales, se considera una herramienta fundamental para afrontar todos los desafíos que plantea la incorporación de forma masiva de componentes industrializados en nuestros sistemas constructivos.

La categorización de estos sistemas constructivos industrializados, lógicamente, ha de ser coherente con nuestro entorno en la terminología a emplear.

Disponer de una categorización coherente con nuestras circunstancias materiales y objetivos como país permite plantear estrategias de colaboración público privada en la construcción de edificios del sector público, permitiendo crear una demanda estable de componentes que impulse la actividad de los fabricantes, pudiendo establecer objetivos claros en materia de sostenibilidad, cumpliendo las tres dimensiones ambiental, económica y social, así como estrategias claras para alcanzar estos objetivos, o disponer de la capacidad de plantear concursos públicos en los que concurren diferentes sistemas constructivos industrializados que cumplan con estos parámetros y en condiciones de pública concurrencia.

Como hemos visto los sistemas constructivos tendrán un mayor o menor grado de industrialización en función de la proporción de los componentes dentro del sistema, y que dependiendo de esta proporción tendrán un punto de industrialización/ coste u otro parámetro que se defina que los hará óptimos para el proyecto o no, si profundizamos en esta idea también veremos que en los subsistemas, estructura, cerramiento, instalaciones, también dispondremos de la capacidad de elegir componentes que dispongan de un grado de industrialización/ coste u otro parámetro, que sean óptimos para alcanzar los resultados que buscamos.

En el caso del componente baño dispondremos de la unidad de baño 3D completamente terminada y lista para conectar a las instalaciones generales del edificio, el baño formado por elementos 2D requerirán de cierta carga de trabajo en obra, y los kits de componentes que incluirán todos los elementos necesarios para el montaje del baño pero que requerirán una mayor carga de trabajo en obra.



En el caso de los cerramientos nos encontraríamos en un supuesto similar, en el que tendríamos componentes 2D completamente terminados, incluyendo el acabado exterior, carpinterías, pasos de instalaciones e incluso trasdosados, encontraríamos también componentes de cerramiento en los que se requeriría una mayor carga de trabajo en obra como la colocación de las carpinterías, trasdosados o realización de acabados exteriores, o kits de componentes con todavía un menor grado de industrialización en el que se requerirá una mayor proporción de trabajo en obra.



En la tarea de clasificar y categorizar los sistemas constructivos industrializados destacan en orden cronológico los esfuerzos presentados en el Seminario de Prefabricación dirigido por el Dr Ingeniero de Caminos José Antonio Fernández Ordoñez, que abrió el camino a investigaciones en este ámbito realizadas con mayor profundidad.

En esta categorización se distingue entre grados de industrialización cuando los sistemas se categorizan de forma cualitativa según la proporción de componentes que forman parte del sistema, y de índices de industrialización si esta categorización se realiza de forma cuantitativa asignando valores numéricos.

Asimismo, se plantea que dependiendo de esa relación del coste de los componentes frente al coste total del sistema obtendremos gráficas que nos orientarán a una prescripción del sistema constructivo óptimo.

Estas curvas se pueden plantear considerando los costes directos e indirectos, o incorporando los costes totales considerando la operación inmobiliaria en su conjunto.

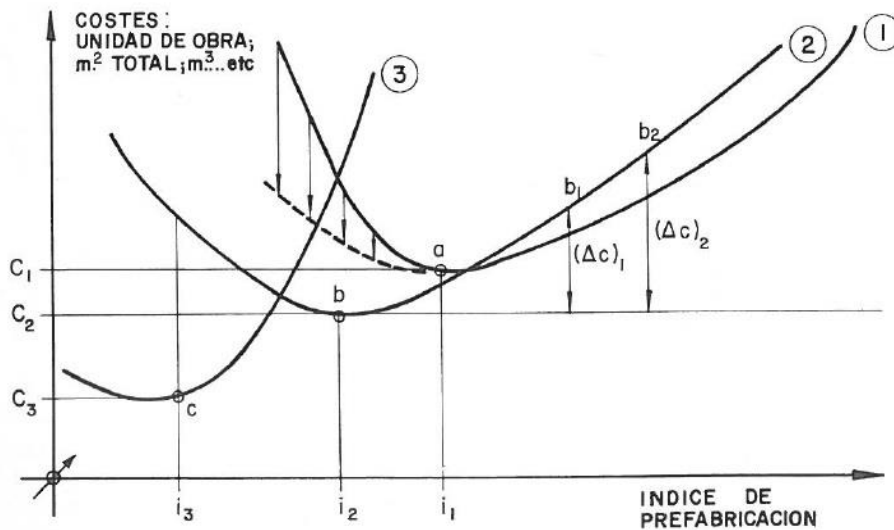


Fig. 2.21.
Tres supuestos de variación de costes con relación al índice de prefabricación.

De forma contemporánea a los estudios desarrollados por el equipo español a finales de la década de los sesenta del pasado siglo, al otro lado del telón de acero, en el Instituto de Investigaciones sobre la Construcción de Polonia, también se trabajaba en ideas y conceptos similares, con el objetivo de medir el grado o nivel de industrialización de los edificios.



Se puede definir el nivel de industrialización como la relación entre la cantidad de trabajo ejecutado por procedimientos industriales, y la cantidad de trabajo total necesario para la realización de un edificio.

La variación del nivel de industrialización en función de — los diferentes métodos de construcción está representada esquemáticamente en la fig. 1.1.1.

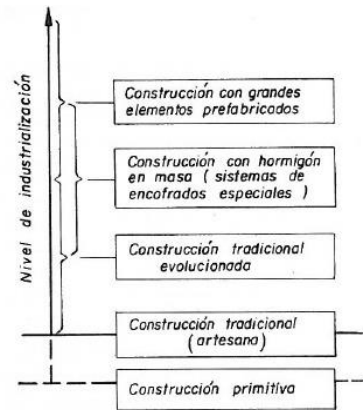
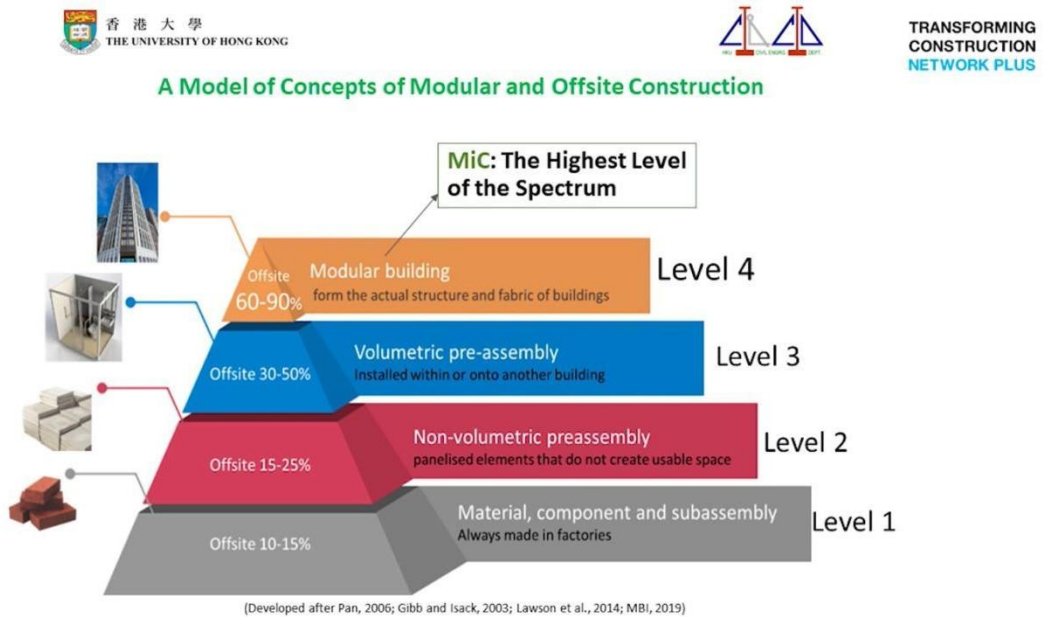


Fig. 1.1.1. Niveles de industrialización de los diferentes métodos de construcción

Recientemente continúan este tipo de trabajos a lo largo del mundo, en el caso de Hong Kong, el Dr Wei Pan, Ingeniero Civil con una dilatada carrera y prestigio internacional en el ámbito de la investigación de la industrialización de los edificios estableció la siguiente categorización de los sistemas industrializados.



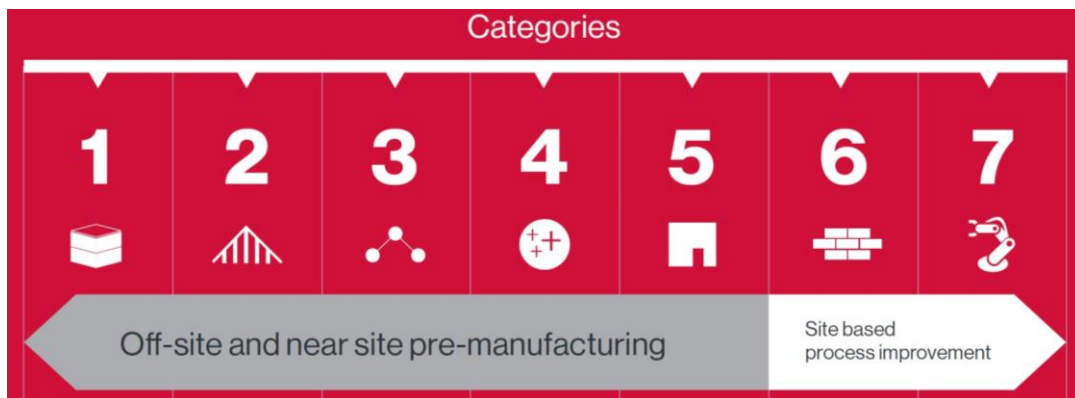
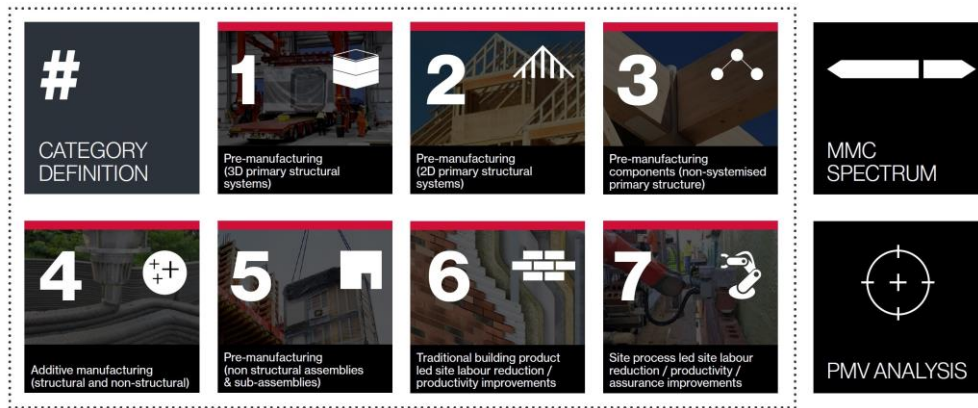
Pan, W. (2019) Modular Integrated Construction: Innovating Higher. In Proceedings of HKIE Building Division 18th Annual Seminar "Innovation and Technology for Productivity Enhancement", Hong Kong, 8 April 2019, pp. 21-24. (Invited Speech)

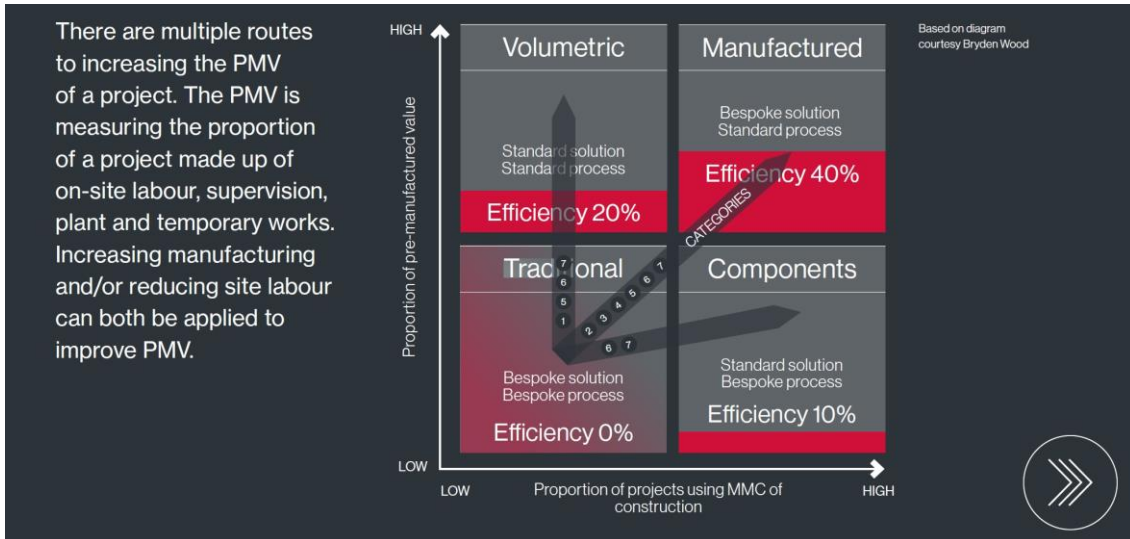
#TCNPlus

Webinar - Rethinking the business model for offsite construction

También el gobierno de Reino Unido, en colaboración con la consultora Cast Consultancy entre otros, establecieron una graduación de siete categorías dentro de los Métodos Modernos de Construcción, así como el índice PMV, que en base a los costes de los componentes industrializados respecto al coste directo total del edificio calcula un porcentaje orientativo.

Actualmente la estrategia de industrialización de la construcción de los edificios en Reino Unido se encuentra en revisión, ya que, si bien no se pone en duda los beneficios de industrializar la construcción de los edificios, si la estrategia de implementación tras la oleada de quiebras en las fábricas de construcción de edificios con componentes volumétricos.





Entre los años 2018 y 2020 el Politécnico de Zurich y la consultora ARUP redactaron el documento “Una transición sostenible hacia la edificación industrializada en las economías en desarrollo”, en él y utilizando de una forma conceptual los grados de industrialización se trata de prescribir que sistemas constructivos pueden ser los óptimos en tres países africanos, Etiopia, Kenia y Sudáfrica.



A SUSTAINABLE TRANSITION
TO INDUSTRIALIZED
HOUSING CONSTRUCTION IN
DEVELOPING ECONOMIES

ETH zürich ARUP

En el documento se analiza dependiendo de los grados de industrialización las ventajas y desventajas a nivel general de disponer de un menor o mayor grado de industrialización.

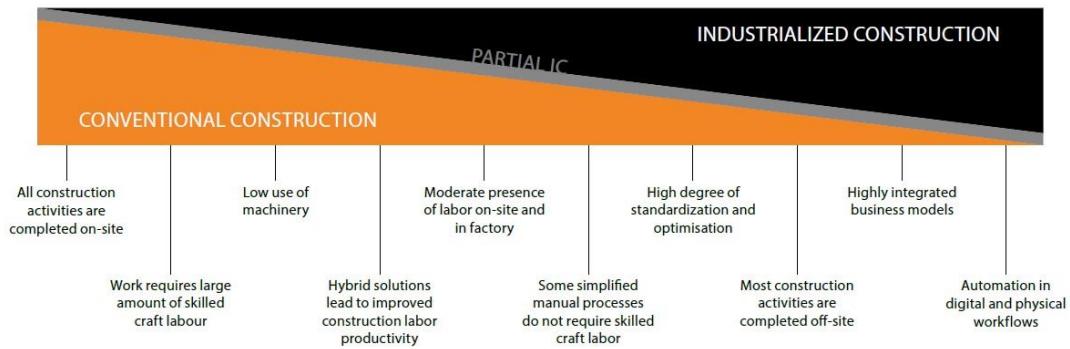
LEVELS AND ADVANTAGES OF INDUSTRIALIZED CONSTRUCTION

Implementation of IC can occur to differing degrees. The simplest approach is typically the production of prefabricated or standardized individual components of a building such as a roof or wall system. A more complex approach is factory-based production of entire volumetric units to complete the majority of construction activities off-site.

IC strategies like these frequently take place in a factory setting. But innovative methods such as 3D printing — an example of which is highlighted here — could take place on-site and transform the phases of construction in

novel ways. IC can also be integrated with conventional construction techniques, like with machine-aided masonry installations. Applications like these are considered partial (hybrid) IC construction. Partially IC offers unique advantages and challenges of its own. For the purpose of this report, the diagram gives an overview of the characteristics conventional, partial, and full industrialization of construction.

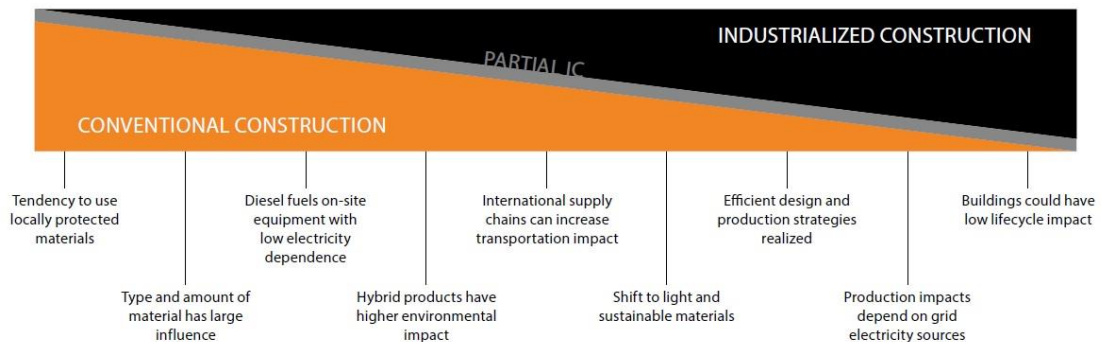
Some recent software-focused entries into the IC space aim to provide digital platforms to design and manufacture full building systems by simplifying assembly. One such company, Wikihouse, is featured here.

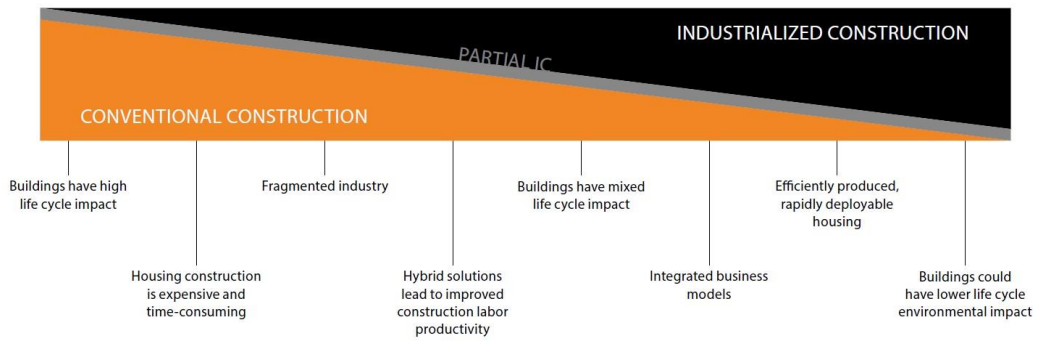
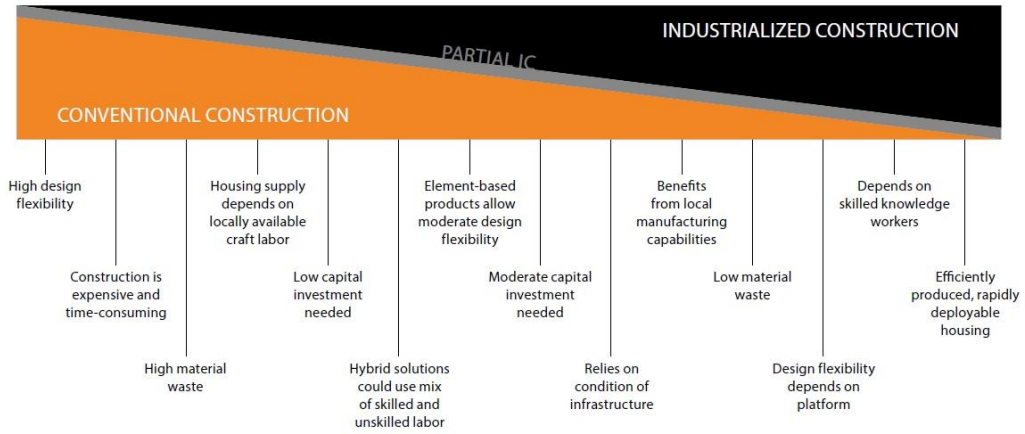


Se analiza a nivel de sostenibilidad qué consecuencias tiene un menor o mayor grado de industrialización, considerándose factores ambientales, sociales y de modelos de negocio.

KEY ENVIRONMENTAL HOTSPOTS

From analysis of the various wall and slab systems, the diagram below provides a generalized trend regarding the environmental performance of products as the level of industrialization increases. The sections that follow highlight the detailed differences in the relative environmental impact of each phase within the production and construction process. The conclusion of this section also includes a visual to show the quantitative trend across the three methods analyzed.





05- Clasificación de sistemas constructivos adaptada al caso español.

De todo lo expuesto anteriormente, plantearemos la clasificación de sistemas constructivos industrializados considerando las circunstancias materiales españolas, el sector de la construcción en España y los sistemas constructivos utilizados, teniendo también en cuenta en el uso de la terminología coherente con nuestra pertenencia a la Unión Europea.

Así se plantea una clasificación de sistemas constructivos en función de la proporción de componentes industrializados en el sistema, y el parámetro a emplear es el coste de los componentes industrializados incluyendo los costes de logística, montaje y medios auxiliares, frente al presupuesto de ejecución material global del inmueble.

Grado 0: Construcción Tradicional también denominada Convencional

Este es el estado actual en una gran mayoría de proyectos de nuestro sector, estos sistemas precisan de una elevada carga de trabajo en el emplazamiento del edificio, y pese a que aparentemente no se produce una evolución tecnológica en sus procesos, lo cierto es que este sí se produce, mejorándose los materiales, procesos, medios auxiliares y prestaciones en los edificios.

Grado 1: Sistemas Constructivos tradicionales o Convencionales en los que se implementan mejoras para la optimización de procesos y digitalización

En relación con el anterior, en este grado, encontramos proyectos en los que se añade un uso extendido de herramientas digitales, metodología BIM, procesos colaborativos y metodologías Lean Construcción.

Grado 2: Sistemas Constructivos en los que se plantea una estructura convencional y componentes industrializados como Baños Industrializados o Cerramientos Industrializados o Conjuntos de componentes de baja cuantía económica en el PEM

Los sistemas constructivos convencionales evolucionan incorporando al sistema componentes industrializados más complejos tales como baños industrializados o paneles de cerramiento, con una mayor integración horizontal de procesos y oficios. Eso supone notables mejoras en lo relativo a prestaciones, plazo de ejecución, eficiencia en uso de materiales e implica cambios en los flujos de caja de la promoción inmobiliaria, al requerir los industriales responsables de estos componentes anticipos económicos para financiar su fabricación.

Grado 3: Sistemas Constructivos en los que se plantea una estructura convencional y componentes industrializados como Baños Industrializados y Cerramientos Industrializados

Sistemas constructivos en los que incrementa la participación en el sistema de componentes industrializados, además de los procesos convencionales se incorporan al sistema baños y cerramientos de fachada.

Conforme vamos incrementando la participación de los componentes industrializados se hacen más evidentes las ventajas de su uso a nivel prestacional, prevención de riesgos, mejora en plazos de ejecución, sostenibilidad, al tiempo que incrementa su incidencia en el flujo de caja tanto a nivel de gestión de la construcción como en la gestión de la operación inmobiliaria.

Grado 4: Sistemas Constructivos Industrializados en los que se plantea una Estructura realizada con componentes industrializados y Cerramientos industrializados

Los sistemas constructivos por componentes en los subsistemas estructura y cerramiento disponen de un alto grado de industrialización, se prescriben en edificios en los que reducir el plazo de ejecución supone una ventaja económica a considerar, valorándose la temprana puesta en carga del activo inmobiliario.

En la prescripción de estos sistemas se considera como un factor esencial la sensible mejora en los parámetros de sostenibilidad, y son habituales en edificios residenciales con el objeto de ponerlos en alquiler, o ubicados en zonas con baja disponibilidad de mano de obra.

Grado 5: Sistemas Constructivos Industrializados en los que se plantea una Estructura realizada con componentes industrializados, Cerramientos industrializados e Instalaciones y Baños Industrializados

Los sistemas constructivos por componentes en los subsistemas estructura, cerramiento e instalaciones disponen de un alto grado de industrialización, son habitualmente prescritos en edificios en los que reducir el plazo de ejecución supone una notable ventaja económica a consecuencia de la temprana puesta en carga del activo inmobiliario.

Este tipo de sistemas constructivos son habituales en edificios con una alta densidad de valor tales como edificios de oficinas, hoteles, residencias de estudiantes, hospitales, residenciales dirigidos al mercado del alquiler o ubicados en zonas con baja disponibilidad de mano de obra.

Conforme incrementamos el grado de industrialización los flujos de caja cada vez están más tensionados y se hacen más evidentes los desafíos del uso de componentes industrializados.

Grado 6: Sistemas Constructivos Industrializados constituidos por Componentes Volumétricos o 3D

Los sistemas constructivos por componentes Volumétricos o 3D o son aquellos con el mayor grado de industrialización, son habitualmente prescritos cuando el cliente/ promotor dispone de un reducido plazo de ejecución, o este plazo menor al convencional supone una importante ventaja competitiva ya que el activo inmobiliario puede comenzar a generar ingresos recurrentes.

Este tipo de sistemas constructivos son habituales en edificios con una alta densidad de valor tales como centros de datos, subestaciones eléctricas, edificios de uso sanitario, edificios de uso terciario comercial hostelero, o edificios de uso educativo en los que se valora positivamente la posibilidad de realizar el montaje durante el periodo de vacaciones escolares.

En el caso de la vivienda unifamiliar el uso de estos sistemas proporciona certeza en calidad y prestaciones, costes y plazos, especialmente en zonas geográficas con escasa mano de obra disponible.

Este se considera el grado con mayor participación de componentes dentro del sistema, aquí encontraremos los sistemas 3D+3D o componentes volumétricos y la participación de estos componentes alcanza proporciones del 85-90% del PEM.

06- Definición de Componente y Clasificación:

Se entiende por Componente a toda aquella pieza o parte del edificio que una vez colocado en el lugar del sistema que le corresponde, cumple automáticamente con la labor funcional que le ha sido asignada en el edificio.

En esta definición resulta importante comprender que la escala del sistema es el edificio a construir, y que dentro de este sistema los componentes se clasifican según su función en subsistemas como Estructura, Cerramientos, Instalaciones, Distribución interior.

Analizadas las circunstancias materiales del ecosistema español, la capacidad productiva y la taxonomía de los sistemas constructivos industrializados empleados en España a lo largo de los últimos años, se establece el siguiente listado de componentes industrializados susceptibles de ser considerados como tales, e integrados dentro de un sistema constructivo industrializado.

AGRUPACION SISTEMAS- SUBSISTEMAS.
BAJO RASANTE
CIMENTACIONES
MUROS DE CONTENCION
ARQUETAS
ESTRUCTURA BAJO RASANTE
NUCLEOS
AUTOPORTANTE ACERO.
ESTRUCTURAL ACERO (ARRIOSTRA LA ESTRUCTURA)
ESTRUCTURAL HORMIGON PREFABRICADO (ARRIOSTRA LA ESTRUCTURA)
ESTRUCTURAL MADERA (ARRIOSTRA LA ESTRUCTURA)
ESCALERAS ACERO
ESCALERAS HORMIGÓN PREFABRICADO
ESCALERAS MADERA
ESTRUCTURA
ESTRUCTURA DE HORMIGON 2D+2D- LOSAS Y PANELES- INCL CERRAMIENTOS
ESTRUCTURA DE HORMIGON 1D+2D- LOSAS, VIGAS Y PILARES
ESTRUCTURA DE MADERA 2D+2D- LOSAS Y PANELES- INCL CERRAMIENTOS.
ESTRUCTURA DE MADERA 1D+2D- LOSAS, VIGAS Y PILARES
ESTRUCTURA DE ACERO- STEELFRAME 2D+2D- LOSAS Y PANELES- INCL CERRAMIENTOS.
ESTRUCTURA DE ACERO- STEELFRAME 1D+2D- LOSAS, VIGAS Y PILARES
SISTEMAS HIBRIDOS
ESTRUCTURA DE CUBIERTA DE HORMIGON PREFABRICADO.
ESTRUCTURA DE CUBIERTA DE METAL.
ESTRUCTURA DE CUBIERTA DE MADERA.
CERRAMIENTOS
<i>SE CONSIDERAN CERRAMIENTOS NO PORTANTES NI ARRIOSTRANTES</i>
CERRAMIENTOS DE MADERA, ENTRAMADO O CLT ALTO GRADO DE FINALIZACION (1)
CERRAMIENTOS DE MADERA, ENTRAMADO O CLT BAJO GRADO DE FINALIZACION
CERRAMIENTOS DE HORMIGÓN, PREFABRICADO ALTO GRADO DE FINALIZACION (1)
CERRAMIENTOS DE HORMIGÓN, PREFABRICADO BAJO GRADO DE FINALIZACION
CERRAMIENTOS DE GRC
CERRAMIENTOS DE ACERO, ALTO GRADO DE FINALIZACION (1)
CERRAMIENTOS DE ACERO, BAJO GRADO DE FINALIZACION

BALCONES INDUSTRIALIZADOS
BALCONES CON ALTO GRADO DE FINALIZACIÓN (2)
BALCONES CON BAJO GRADO DE FINALIZACIÓN
VOLADIZOS INDUSTRIALIZADOS CON ALTO GRADO DE FINALIZACIÓN
VOLADIZOS INDUSTRIALIZADOS CON BAJO GRADO DE FINALIZACION
INSTALACIONES
CUARTOS DE ACOMETIDA Y CONTADORES
BAÑOS INDUSTRIALIZADOS 2D
BAÑOS INDUSTRIALIZADOS 3D
COCINAS 2D
COCINAS 3D
NUCLEOS VERTICALES DE INSTALACIONES (PATINILLOS)
RACKS EN PASILLOS
TABIQUERIA TECNICA COCINAS
TABIQUERIA TECNICA CABECEROS HOSPITALARIOS Y SIMILARES
CHIMENEAS - REMATE CUBIERTA
DISTRIBUCIONES
SISTEMAS DE TABIQUERIA MONTABLE
SISTEMAS DE TABIQUERIA MONTABLE Y DESMONTABLE
SISTEMAS POR COMPONENTES 3D
SISTEMAS COMPONENTES 3D BAJO GRADO DE FINALIZACIÓN
SISTEMAS COMPONENTES 3D MEDIO GRADO DE FINALIZACIÓN
SISTEMAS COMPONENTES 3D ALTO GRADO DE FINALIZACIÓN
EXTERIOR DE LA FACHADA, Y AUNQUE NO DISPONE DE VENTANA PERO SI EL HUECO ESTA RESUELTO INCLUYENDO ALBARDILLAS, JAMBAS Y DINTELES, SIN INCLUIR TRASDOSADO.
(2) LOS BALCONES CON ALTO GRADO DE FINALIZACION INCLUYEN PAVIMENTOS Y CERRAJERIA

Asimismo y con el objetivo de valorar el índice de industrialización del edificio, y en consonancia con la propia definición de aquello que estamos midiendo y clasificando, se ponderará de forma positiva, pero sin que ello desvirtúe el resultado final, procedimientos industriales más inmateriales basados en la mejora de los procesos como los siguientes:

HERRAMIENTAS DE GESTION
BIM
LEAN CONSTRUCTION
REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA
EQUIPOS AUTONOMOS Y DRONES
ROBOTS DE APOYO A TAREAS DE OBRA
FOTOGRAMETRIA Y NUBES DE PUNTOS

Puede plantearse una taxonomía genérica, en base al conjunto de edificios ya construidos de forma industrializada con diferentes componentes y sistemas, con el que disponer de unos valores orientativos con los que categorizar los sistemas constructivos, pero la singularidad de cada inmueble requiere que, por ejemplo, en el caso de las licitaciones para la construcción de edificios se calculen los porcentajes de participación de componentes dentro del sistema de una forma individualizada.

En todo caso, en las fichas adjuntas, en las que se desarrolla con mayor detalle las características de los sistemas incluidos en cada grado, se marca una horquilla de porcentajes con el peso económico de los componentes en el presupuesto de ejecución material estimado en cada categoría, estos se han obtenido del análisis de proyectos desarrollados por empresas del Cluster de la Edificación, empleándose también como guía la publicación “Estrategias para Incentivar la Industrialización de la Construcción” investigación dirigida por D Julián Salas Serrano y publicada por el ICC Eduardo Torroja en el año 2012.

Dado que los grados definen el sistema constructivo de forma cualitativa y los índices de forma cuantitativa, y ante la singularidad de cada proyecto arquitectónico pueden darse casos excepcionales en los que el índice no encaje en la horquilla de valores estimada en el grado.

BIBLIOGRAFIA

- **PREFABRICACION TEORIA Y PRACTICA** - JA Fernández Ordoñez Editores Técnicos Asociados 1973.
- Lessing, Jerker & Stehn, Lars & Ekholm, Anders. (2005). **Industrialised housing: Definition and categorization of the concept**. 13th International Group for Lean Construction Conference: Proceedings.
- **Edificio de viviendas prefabricadas con elementos de grandes dimensiones**, Lewicki, Bohdan, Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del cemento, 1968.
- Daniel M. Hall, Wei Pan & Jennifer K. Whyte. 2019, **Rethinking the business model for offsite construction**, Transforming Construction Network Plus. <https://youtu.be/hURVQ7IzqfA?si=zlX0xc53F-P7vk8>
- **MODERN METHODS OF CONSTRUCTION, INTRODUCING THE MMC DEFINITION FRAMEWORK**, 2019, Mark Farmer of Cast Consultancy, the chair of the wider MMC working group, supported by representatives of Buildoffsite, Homes England, National Home Building Council (NHBC) and Royal Institute of Chartered Surveyors (RICS). https://www.cast-consultancy.com/wp-content/uploads/2021/03/MMC-I-Pad-base_GOVUK-FINAL_SECURE.pdf
- Kedir, Firehiwot & Pullen, Tyler & Hall, Daniel & Boyd, Richard & da Silva, Jo & Rupper, Thomas & Zumstein, Marco & Partl, Timothy. (2020). **A Sustainable Transition to Industrialized Housing Construction in Developing Economies**. 10.3929/ethz-b-000418072.
- **ESTRATEGIAS PARA LA INDUSTRIALIZACION DE LA CONSTRUCCION** Julián Salas Serrano ED Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento. 2014.

ANEXOS

GRADO 0 - SISTEMA CONSTRUCTIVO TRADICIONAL O CONVENCIONAL.

SISTEMAS Y COMPONENTES CON UN BAJO GRADO DE INDUSTRIALIZACIÓN.

Los sistemas constructivos convencionales también denominados tradicionales, precisan de una mayor carga de trabajo en el emplazamiento del edificio, y pese a que aparentemente no se produce una evolución tecnológica en sus procesos, lo cierto es que esta sí se produce, mejorándose los materiales, procesos, medios auxiliares y prestaciones en los edificios.

La industrialización sutil es el término empleado para describir la progresiva incorporación de mejoras en los procesos y el uso de elementos industrializados, que pese a tener normalmente un bajo grado de finalización, generan evidentes mejoras en la productividad en la construcción de edificios.

Ejemplos de este proceso los podemos encontrar en numerosas unidades constructivas, pero su bajo grado de finalización no supone cambios a nivel financiero en el flujo de caja de la promoción inmobiliaria. En esta clasificación de sistemas constructivos industrializados se considera que en el GRADO 0 la participación de los componentes industrializados es la mínima y necesaria para cumplir con el código técnico de edificación.



PAVIMENTOS.



CARPINTERIAS EXT.



CARPINTERIAS INT.



FLUJO DE CAJA CONVENCIONAL, LAS UNIDADES DE OBRA SE CONSTRUYEN IN SITU Y SE CERTIFICAN AL RECIBIR EL VISTO BUENO DE LA DIRECCIÓN FACULTATIVA.

GRADO 1- SISTEMA CONSTRUCTIVO CONVENCIONAL EN EL QUE SE IMPLEMENTAN MEJORAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS Y DIGITALIZACIÓN.



INDUSTRIALIZACIÓN DE LOS PROCESOS, HERRAMIENTAS TIC, BUILDING INFORMATION MODELING.

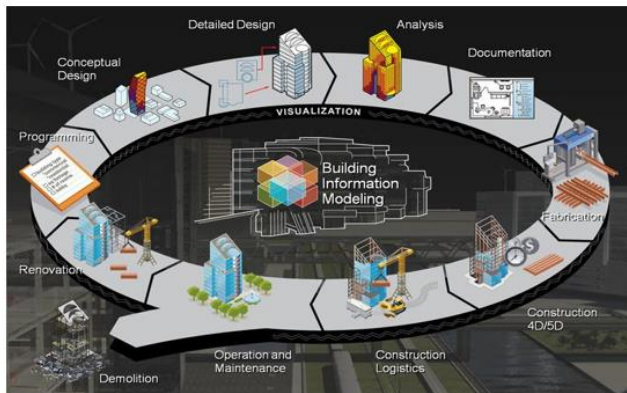
En el presente grado, los sistemas constructivos convencionales, además de ir progresivamente incorporando elementos y componentes industrializados, evolucionan incorporando procesos de digitalización como el BIM que permiten la optimización en la mejora de calidad, plazos y costes.

Asimismo, el uso de la metodología Lean Construction permite coordinar de forma óptima a los industriales que participan en el proyecto, generando reducciones de plazo y consecuentemente de coste, al reducirse las partidas de costes indirectos. Metodologías como el BIM y el Lean Construction permiten medir los resultados obtenidos en la construcción de los edificios y por tanto establecer procesos de mejora continua y evaluar el alcance de estas mejoras.

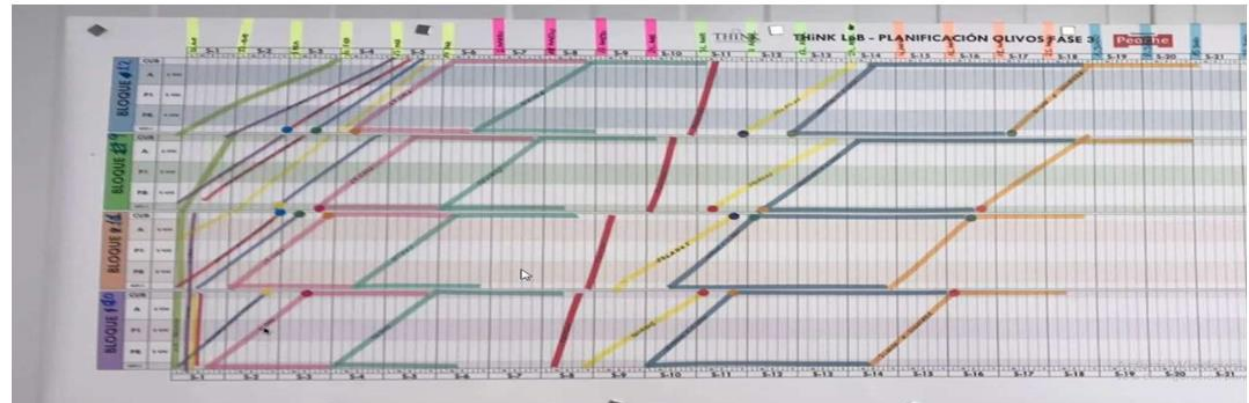
FLUJO DE CAJA CONVENCIONAL, LAS UNIDADES DE OBRA SE CONSTRUYEN IN SITU EN EL MOMENTO DE LA PLANIFICACION. SE OBSERVA UNA REDUCCION DE PLAZO DEL 10%.



AXIAL EL CAÑEVERAL/ MADRID – NEINOR HOMES/ACR.



BUILDING INFORMATION MODELING



LEAN CONSTRUCTION

GRADO 2 - ESTRUCTURA CONVENCIONAL, BAÑOS INDUSTRIALIZADOS O CERRAMIENTOS, O CONJUNTO DE COMPONENTES INDUSTRIALIZADOS DE BAJA CUANTIA ECONOMICA EN EL PEM (5-15% PEM)



Los sistemas constructivos convencionales evolucionan incorporando componentes industrializados más complejos tales como baños industrializados o paneles de cerramiento, con una mayor integración horizontal de procesos y oficios, y al tiempo que suponen notables mejoras en lo relativo a prestaciones, plazo de ejecución, y eficiencia en uso de materiales y procesos, implican cambios en los flujos de caja de la promoción inmobiliaria, al requerir los industriales responsables de estos componentes anticipos económicos para financiar su fabricación.

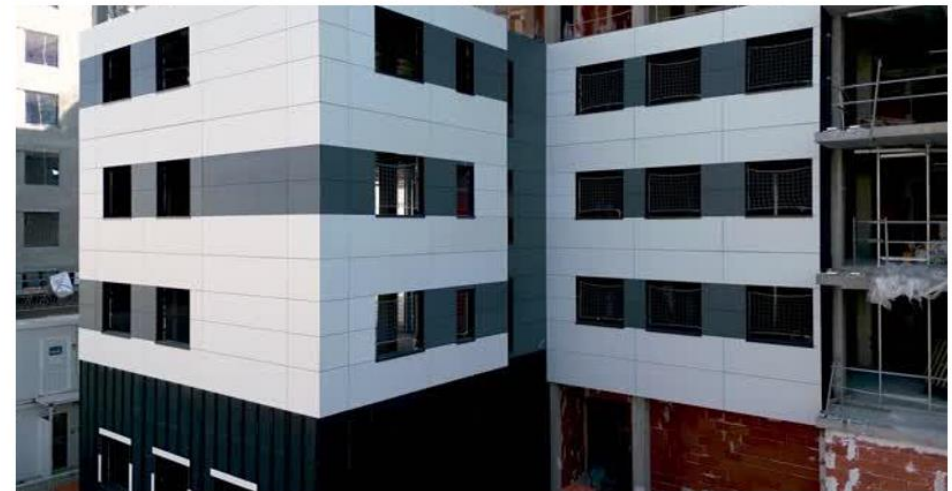
El grado 2 incluye proyectos en los que la estructura del edificio se construye de manera convencional, incorporando ya sea fachadas industrializadas o baños industrializados, o un conjunto de Componentes de bajo impacto económico en el costo total de construcción.

SE OBSERVA QUE EL PESO DE LOS COMPONENTES INDUSTRIALIZADOS OSCILA ENTRE UN 5 Y UN 15%.

Características del Sistema	Ejemplos en el Mercado	Cuestiones Clave
Estructura Convencional Hormigón Armado. + Cerramiento Metalico/ Panel Sandwich.	Numerosos edificios de oficinas, de uso comercial, colegios.	Calidad final del producto y Sostenibilidad.
Estructura Convencional Hormigón Armado + Cerramiento de Madera, Entramado/ CLT.	Aedas Homes Valdebebas- Lignum Tech.	Calidad final del producto y Sostenibilidad.
Estructura Convencional Hormigón Armado + Cerramiento de Hormigón Prefabricado/ GRC.	148 viviendas sociales VPO en Carabanchel - Madrid/ Arata Isozaki. Ciudad de la Justicia en Córdoba/ Isolux Corsan. Edificio del Parque de Ingenieros en Madrid/ Inmoglacial- Avintia.	Calidad final del producto y Sostenibilidad.
Estructura Convencional Hormigón Armado + Baños Industrializados.	Numerosos Hospitales, Hoteles, Edificios de oficinas en altura, Residencias de ancianos y Residencias de estudiantes.	Calidad final de producto y <u>velocidad de ejecución.</u>



HOSPITAL CLINICO VALENCIA- BUTECH.



AEDAS HOMES VALDEBEBAS- LIGNUM TECH.

GRADO 3 - ESTRUCTURA CONVENCIONAL + INDUSTRIALIZACIÓN DE BAÑOS + CERRAMIENTOS (15-25% PEM)

BAÑOS Y CERRAMIENTO INDUSTRIALIZADOS.

Los sistemas constructivos convencionales evolucionan incorporando componentes industrializados más complejos tales como baños industrializados y paneles de cerramiento. En el GRADO 3 se encuentran sistemas constructivos dotados de estructura de hormigón realizada de forma convencional y cerramientos y baños industrializados.

Conforme incrementa la participación de los componentes industrializados se hacen más evidentes las ventajas de su uso a nivel prestacional, prevención de riesgos, mejora en plazos de ejecución, sostenibilidad, al tiempo que incrementa su incidencia en el flujo de caja tanto a nivel de gestión de la construcción como en la gestión de la operación inmobiliaria.

SE OBSERVA QUE EL PESO DE LOS COMPONENTES INDUSTRIALIZADOS ESTÁ EN EL RANGO DE 15 - 25% DEL PRESUPUESTO DE EJECUCION MATERIAL, LA PROPORCIÓN DE COMPONENTES YA TIENE UN IMPACTO A CONSIDERAR EN EL FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO.

Características del Sistema	Proyectos	Cuestiones Clave
Estructura tradicional, fachada con base de Metal y Baños Industrializados.	Hospital Infanta Leonor- Madrid. Ampliacion Hospital 12 de Octubre/ Sacyr. Hospital Clinico de Valencia.	Velocidad de ejecucion, Flexibilidad arquitectonica, Calidad de acabados.
Estructura tradicional, fachada con base de Madera y Baños Industrializados.	Edificio Via Agora Madrid Rio/ Via Agora Edificio Via Agora Valdebebas/ Via Agora.	Calidad de acabados, sostenibilidad en el proceso de construcción.
Estructura tradicional, fachada con base de Hormigón Prefabricado y	Proyecto Espai Natura/ Barcelona/ Neinor Homes.	Calidad de acabados, sostenibilidad en el proceso de construcción, velocidad de



INFANTA LEONOR HOSPITAL / VILLA DE VALLECAS- MADRID.



VIA AGORA MADRID RIO/ MADRID – LIGNUM TECH.

GRADO 4 - INDUSTRIALIZACIÓN DE ESTRUCTURA + CERRAMIENTOS (25-35% PEM)



ESTRUCTURA Y CERRAMIENTO INDUSTRIALIZADOS.

Los sistemas constructivos por componentes en los subsistemas estructura y cerramiento disponen de un alto grado de industrialización, se prescriben en edificios en los que reducir el plazo de ejecución supone una ventaja económica a considerar, valorándose la temprana puesta en carga del activo inmobiliario.

En la prescripción de estos sistemas se considera como un factor esencial la sensible mejora en los parámetros de sostenibilidad. Este tipo de sistemas constructivos son habituales en edificios residenciales con el objeto de ponerlos en alquiler, o ubicados en zonas con baja disponibilidad de mano de obra. Habrá que hacer una diferenciación en fachada si está terminada o no por el exterior.

SE OBSERVA QUE EL PESO DE LOS COMPONENTES INDUSTRIALIZADOS ES DEL ORDEN DE 25-35% DEL PRESUPUESTO DE EJECUCION MATERIAL, LA PROPORCIÓN DE COMPONENTES YA TIENE UN IMPACTO A CONSIDERAR EN EL FLUJO DE EFECTIVO DEL PROYECTO.

Características del Sistema	Proyectos	Cuestiones Clave
Estructura industrializada y fachada con base de Metal	Viviendas Unifamiliares - Stalart. Stay Torrejon Kronos Homes.	Velocidad de ejecución, Flexibilidad arquitectónica, Calidad de acabados.
Estructura y fachadas de Madera.	Edificio Tomas Breton- Woodea, Viviendas Unifamiliares Modulab.	Calidad de acabados, sostenibilidad en el proceso de construcción.
Estructura y fachadas de Hormigón Prefabricado.	Poliseda Alcalá de Henares- Viguetas Navarras. Edificio Socrates- Gonsi-	Calidad de acabados, sostenibilidad en el proceso de construcción, velocidad de



STAY TORREJON- MADRID/ KRONOS HOMES- ACR



TOMÁS BRETÓN BUILDING– MADRID/ WOODEA



POLISEDA- ALCALÁ DE HENARES- MADRID. /AEDASHOMES- VIGUETAS NAVARRAS.

GRADO 5 - INDUSTRIALIZACIÓN DE ESTRUCTURA + CERRAMIENTOS + BAÑOS (35-50% PEM)



ESTRUCTURA Y CERRAMIENTO E INSTALACIONES INDUSTRIALIZADAS.

Los sistemas constructivos por componentes en los subsistemas estructura, cerramiento e instalaciones disponen de un alto grado de industrialización, son habitualmente prescritos en edificios en los que reducir el plazo de ejecución supone una ventaja económica, a consecuencia de la temprana puesta en carga del activo inmobiliario.

En la prescripción de estos sistemas se considera como un factor esencial la sensible mejora en los parámetros de sostenibilidad. Este tipo de sistemas constructivos son habituales en edificios con una alta densidad de valor tales como edificios de oficinas, hoteles, residencias de estudiantes, hospitales, residenciales dirigidos al mercado del alquiler, o ubicados en zonas con baja disponibilidad de mano de obra.

SE OBSERVA QUE EL PESO DE LOS COMPONENTES INDUSTRIALIZADOS ES DEL ORDEN DE 35 - 50% DEL PRESUPUESTO DE EJECUCION MATERIAL. LA PROPORCIÓN DE COMPONENTES YA TIENE UN IMPACTO A CONSIDERAR EN EL FLUJO DE EFECTIVO DEL PROYECTO.

Características del Sistema	Proyectos	Cuestiones Clave
Estructura industrializada y fachada con base de Metal	Residencia de Estudiantes Urbania Malaga-Afca Tecon.	Velocidad de ejecución, Flexibilidad arquitectónica, Calidad de acabados.
Estructura y fachadas de Madera.	Edificio Fioresta Alicante- 011H/ Aedas Homes.	Calidad de acabados, sostenibilidad en el proceso de construcción.
Estructura y fachadas de Hormigón Prefabricado.	Hotel B&B en Tres Cantos Grupo Casais y ACR, Residencia de Estudiantes en Salamanca ACR/ Precon.	Calidad de acabados, sostenibilidad en el proceso de construcción, velocidad de ejecución.



EDIFICIO FIORESTA ALICANTE/ AEDAS HOMES 011 H.



HOTEL B&B TRES CANTOS- GRUPO CAS AIS - ACR.

GRADO 6 - SISTEMAS POR COMPONENTES VOLUMÉTRICOS O 3D+3D (> 50% PEM)



ESTRUCTURA Y CERRAMIENTO E INSTALACIONES INDUSTRIALIZADAS.

Los sistemas constructivos por Componentes 3D o Volumétricos son aquellos con un mayor grado de industrialización, son habitualmente prescritos cuando el cliente/ promotor dispone de un reducido plazo de ejecución, o este plazo menor al convencional supone una ventaja competitiva importante ya que el activo inmobiliario puede comenzar a generar ingresos recurrentes. Este tipo de sistemas constructivos son habituales en edificios con una alta densidad de valor tales como centros de datos, subestaciones eléctricas, edificios de uso sanitario, edificios de uso terciario comercial hostelero, o edificios de uso educativo en los que se valora positivamente la posibilidad de realizar el montaje durante el periodo de vacaciones escolares.

En el caso de la vivienda unifamiliar el uso de estos sistemas proporciona certeza en calidad y prestaciones, en mayor medida si estas se ubican en la gama superior, costes y plazos, especialmente en zonas geográficas con escasa mano de obra disponible .

SE OBSERVA QUE EL PESO DE LOS COMPONENTES INDUSTRIALIZADOS ES SUPERIOR AL 50% DEL PRESUPUESTO DE EJECUCION MATERIAL. LA PROPORCIÓN DE COMPONENTES YA TIENE UN IMPACTO A CONSIDERAR EN EL FLUJO DE EFECTIVO DEL PROYECTO.

Características del Sistema	Ejemplos en el Mercado	Cuestiones Clave
Estructura del Componente 3D de Hormigón.	Viviendas Unifamiliares/ Casas Homm.	Velocidad de ejecución, Calidad de acabados.
Estructura del Componente 3D de Madera.	Viviendas Unifamiliares/ Modulab.	Calidad de acabados, sostenibilidad en el proceso de construcción.
Estructura del Componente 3D con Metal.	Residencia futbolistas Real Madrid-Valdebebas/ Modultec. Viviendas Unifamiliares/ Casas Inhaus. Ampliaciones de	Calidad de acabados, sostenibilidad en el proceso de construcción, velocidad de



VIVIENDAS UNIFAMILIARES Y EDIFICACIÓN EN ALTURA ZERO HOUSING.