



METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA



CCI

CONSEJO CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA

METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA



SECRETARÍA EJECUTIVA



PATROCINADOR



Agradecimientos

En el desarrollo y redacción de este documento, trabajaron varios autores representando a distintas empresas y organizaciones socias y patrocinadoras del Consejo de Construcción Industrializada, mediante la conformación, a principios del año 2021, de un petit comité en el grupo técnico del CCI denominado "Metodología para la Construcción Industrializada".

A todos quienes participaron les agradecemos por su aporte, además de compartir experiencias y conocimientos que fomentan la colaboración en pos de impulsar el desarrollo de la construcción industrializada.

Se reconoce la autoría y validación de este documento a:

Autores:

- Mikel Fuentes, Desarrollos Constructivos Axis
- Alejandro Vásquez, CIPYCS & GEPUC
- Jesús Ortega, CIPYCS & GEPUC
- Pablo Pulgar, Universidad Tecnológica Metropolitana
- Daniela Bertín, Socovesa
- Ítalo Sepúlveda, Universidad Autónoma

Colaboradores:

- Eduardo Jiménez, socio profesional
- Mauricio Molina, Boetsch
- Marcos Brito, Construye 2025
- Sebastián Parada, CIM UC-CENAMAD
- Benjamín Vergara, Copec S.A.
- Fernando Urra, socio profesional
- Leonardo Caamaño, Corporación de Desarrollo Tecnológico



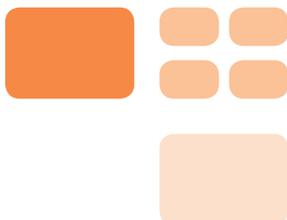
Índice

1. PRESENTACIÓN	5
2. INTRODUCCIÓN	7
3. CONTEXTO	11
4. GLOSARIO	15
Términos y definiciones	16
5. PROPUESTA DE METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA	18
Fase de definición	19
1. Análisis de potencial	19
1.1. Objetivo	20
1.2. Metodología	20
1.2.1. Implementaciones exitosas anteriores	21
1.2.2. Desempeño de proyectos anteriores	21
1.2.3. Características de las partidas/procesos	22
1.2.4. Viabilidad de implementación	23
2. Definición de objetivos	24
3. Definición de equipo	25
3.1. Objetivo	25
3.2. Directriz	26
3.3. Metodología	27
3.3.1. Escenario N°1 Inmobiliarias y constructoras integradas - Contrato diseño y construcción (integración vertical)	27
3.3.2. Escenario N°2 Inmobiliaria y Contratos Fragmentados30 Contrato Diseño y Licitación De La Construcción	30
3.3.3. Matriz de roles y capacidades CCI	32
Fase de diseño	35
4. Planificación del diseño	35
5. Generación de ideas	37
6. Evaluación de ideas	43
7. Diseño	48
8. Evaluación diseño	50
Fase de construcción	64
9. Evaluación KPI 's	64
6. BIBLIOGRAFIA	65



1

Presentación



Este documento presenta una propuesta de metodología paso a paso de cómo incorporar construcción industrializada en un proyecto, obra o empresa.

Esta iniciativa nace desde el grupo técnico del Consejo de Construcción Industrializada llamado "Metodología para la Construcción Industrializada", que luego de casi un año y medio de preguntarse cómo desarrollar una metodología que permitiera visualizar el proceso de cómo industrializar un proyecto de construcción, llega a este resultado desde lo más simple a lo más complejo, en relación a definir la industrialización y diferenciarla de la prefabricación, dos conceptos muy usados hoy en día.

Luego de muchas sesiones de trabajo, material de lectura y experiencias del equipo, el grupo llegó a una metodología de industrialización a través de 9 pasos, donde se integran tanto elementos prefabricados como la estandarización de procesos. Esta metodología aportará con la visión de socios del CCI y entidades colaboradoras en trazar un camino para llegar a la Industrialización.

A través del desarrollo de estos 9 pasos el grupo cuestionó otras definiciones, o más bien, comenzó a necesitar otros conceptos que aportarían a clarificar y alcanzar el concepto de grado de industrialización. Desde aquí el cuestionamiento de Integración Temprana, que está definida en mucha bibliografía, y se refiere a la colaboración durante todo el ciclo de vida del proyecto, asociatividad organizacional, automatización y estandarización de procesos y productos, prefabricación, entre otros. A través de los conceptos anteriores, se logró acuñar una definición para la metodología.

Las oportunidades de integración temprana en un proyecto, obra, proceso o actividad, pueden ser muchas a lo largo de un ciclo de vida y depende además de los distintos actores necesarios. El número de integraciones tempranas en un proyecto dependerá de la necesidad que manifieste el mismo, es decir, en qué minuto debe entrar o incorporarse un nuevo actor al trabajo. Es importante definir a "los actores", quiénes, cuántos y con qué perfil e industria.

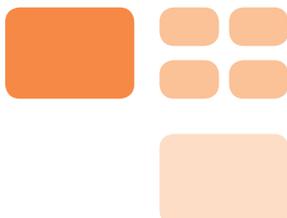
Por otra parte, basados en la "Matriz de Roles y Capacidades para la construcción industrializada" es que nace la "Matriz de actores involucrados en la construcción industrializada" que señala la incorporación de cada actor bajo 2 escenarios durante el ciclo de vida de un proyecto.

Finalmente, como Consejo de Construcción industrializada nos es muy grato poner a disposición este documento "Paso a paso" desarrollado con mucha responsabilidad y basado en experiencias del equipo desarrollador, el análisis de los procesos y desde una perspectiva de uso práctico para quienes busquen avanzar hacia la construcción industrializada y mejorar el desempeño de sus proyectos.



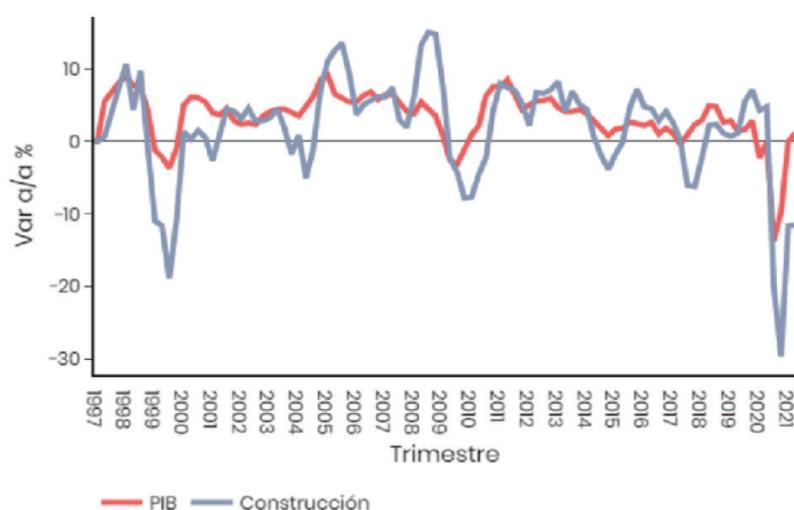
2

Introducción



La Industria de la Construcción cumple un rol significativo en el producto interno bruto (PIB) de los países (Hasan et al., 2018), el cual es una magnitud macroeconómica que expresa el valor monetario de la producción de bienes y servicios de demanda final de un país para un periodo determinado, en términos de porcentaje el aporte realizado se posiciona en el rango de un 3% y un 8% (Arditi & Mochtar, 2000). En el caso de Chile la Industria de la Construcción aporta en torno a un 6,6% del PIB anualmente, esto tomado desde los años 90 en adelante (Valladares, 2021), siendo la pandemia un factor dañino que bajó este porcentaje a un 5.7% por la detención de proyectos en ejecución.

FIGURA N°1: DESARROLLO DEL PIB



Fuente: (Valladares, 2021)

Como se aprecia, la industria de la construcción es un actor relevante dentro de la estructura económica de un país. El Instituto Zukunft de Alemania establece 12 líneas que condicionan a la industria de la construcción, estas son; Desarrollo Tecnológico, Negocios, Cultura y Sostenibilidad (Zilic et al., 2019), estas líneas tributan directamente sobre factores tan importantes como; Calidad de Vida, Cero Desechos, Big Data, Sociedad Sostenible, Salud, Migración y Economía Circular (Zilic et al., 2019),

La industria de la construcción posee una característica de transversalidad y su desarrollo va de la mano con la forma de cómo asumir los desafíos actuales, dentro de los cuales encontramos; Cambio Climático, Cambio Demográfico, Revolución Tecnológica, Trabajo, Crisis Económica, Energía, Globalización, Recursos Naturales y Desarrollo Urbano (Zilic et al., 2019). Por lo tanto, es fundamental identificar las formas en que se puede desarrollar la Industria de la Construcción.

En términos de los desafíos que se plantean, la Construcción Industrializada puede proveer mejores soluciones para aportar en reducir la generación de residuos (Tam & Tam, 2006), disminución de plazos (Peng, 1986) y ahorro de costos (Bing et al.1992).

Asimismo, la construcción se torna en un ambiente controlado en fábrica (Peng, 1986), lo cual permite un salto en calidad al reducir la mano de obra no calificada (Warszawski, 2003), aporte en flexibilidad en el diseño y la construcción (Zaini, 2000). Desde la arista medioambiental la CI ofrece varias ventajas que ayudan a ser más sostenibles desde una triple mirada, la cual es; económica, ambiental y social (Kamali & Hewage, 2017).

Pero la CI también tiene barreras para su desarrollo, tales como el rechazo del cliente por mala percepción de la Construcción Industrializada (Gao et al., 2018), necesidad de un compromiso temprano y buena comunicación entre diversas partes interesadas (Zhu et al., 2018), mayores requisitos organizacionales e inversión (Abueisheh et al., 2020) y déficit de coordinación y colaboración entre las partes interesadas (Gosling et al., 2016), esto enfatiza la necesidad de generar un trabajo temprano e integrado entre los actores de la Industria de la Construcción para lograr concretar los beneficios que se proponen desde la CI y no quedar en un desaliento producto de las barreras.

Por otra parte, el Consejo de Construcción Industrializada (CCI) durante el 2022, colaboró en la elaboración del documento "IMPACTO DE BARRERAS PRESENTES EN LA ADOPCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN FUERA DE SITIO EN CHILE" desarrollado por Ortega (2022), donde las principales barreras se identifican como:

- **"Barreras culturales"**: Industria conservadora y/o resistencia al cambio.
- **"Barreras de calidad"**: Falta de estandarización de protocolos de calidad para la producción.
- **"Barreras de mercado"**: Limitado número de proveedores de fabricación fuera de sitio.
- **"Barreras de costos y finanzas"**: Falta de reconocimiento del impacto de los costos indirectos de obra.
- **"Barreras de diseño y desarrollo"**: Falta de estandarización en el diseño.
- **"Barreras de innovación y tecnología"**: Falta de incentivos para innovación.
- **"Barreras asociadas a las habilidades de las personas"**: Incapacidad para evaluar los beneficios que ofrece la Construcción Fuera de Sitio.
- **"Barreras de normativa y estado"**: Falta de incentivos por parte del estado.
- **"Barreras de difusión"**: Falta una adecuada promoción de la Construcción Fuera de Sitio.
- **"Barreras de logística"**: Falta de trabajo colaborativo entre los interesados.

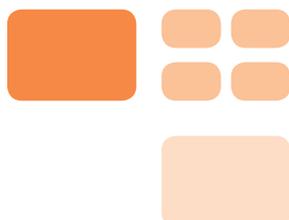
Dado lo expuesto anteriormente, si bien la construcción industrializada no es la única alternativa para resolver los desafíos del sector, sí puede complementar los esfuerzos transversales que se están realizando por diversos actores para mejorar la industria.

El contar con herramientas que faciliten la adopción de la industrialización puede aportar a su correcto desarrollo, por lo cual este documento cobra especial relevancia, buscando ser un apoyo a los actores que busquen industrializar.



3

Contexto



La Construcción Industrializada puede parecer un concepto nuevo o una innovación de nuestros días que está tratando de ser desarrollada, pero esto no es así, su origen surge bajo la influencia de la producción de automóviles, la cual genera el primer llamado para industrializar la construcción, concluida la Segunda Guerra Mundial la idea de industrializar volvió a recibir atención, destacando bondades como ahorro de la mano de obra, mayor velocidad en los procesos de construcción y mejor calidad de los componentes. Sin embargo, a pesar de un gran número de intentos, ha habido una relativa falta de éxito de los métodos de construcción industrializados. La proporción de componentes prefabricados ha aumentado gradualmente, pero aún no se ha producido un gran avance esperado para la construcción industrializada (Koskela, 2003), como ejemplo se presenta que en 1930 se organizó una fábrica de casas con una cinta móvil en Estados Unidos, sin embargo, no tuvo el éxito esperado.

Constantemente surgen iniciativas internacionales para promover el cambio en la industria de la construcción, dentro de las cuales se destacan:

TABLA N°1: INICIATIVAS INTERNACIONALES DE INDUSTRIALIZACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

PAÍS	AÑO	INICIATIVA
United Kingdom	1962	Greater integration of the design and construction process
United States	1994	National Construction Goals
United Kingdom	1994	Constructing the team (Ltham report) to review contractual and procurement arrangements
Ireland	1997	Building our future together
South Africa	1997	Creating an enabling environment for reconstruction growth and development in the construction industry
Japan	1998	Future directions of the construction, industry, coping with structural changes of the market
United Kingdom	1998	Construction task force (rethinking construction), committed leadership, focus on consumer, integrated process and teams, quality driven agenda, commitment to people
Australia	1999	Building for growth
Singapore	1999	Construction 21, Reinventing Construction
Malaysia	1999	IBS Strategic Plan 1999
Finland	2002	Reengineering the construction process using IT
Malaysia	2003	IBS Roadmap 2003-2010
United Kingdom	2004	Construction Client Group CCG, to support private and public clients
Malaysia	2006	Construction Industry Master Plan (CIMP 2006-2015)
Malaysia	2010	IBS Roadmap 2011-2015
Malaysia	2015	Construction Industry Transformation Program (CITP 2016-2020)

Fuente: Adaptado de Industrialized Construction Chronology (Rashidi & Ibrahim, 2017)

En Chile el programa Construye 2025 es una iniciativa financiada por la Corporación de Fomento de la Producción del Gobierno de Chile, donde se busca una industria de la construcción sustentable y competitiva a nivel global, líder en la región, comprometida con el desarrollo del país a través de la incorporación de innovación, nuevas tecnologías y fortalecimiento del capital humano, teniendo como foco el bienestar de los usuarios y el impacto a lo largo del ciclo de vida de las edificaciones. Para dichos objetivos se establecen 4 pilares:

- Construcción Industrializada
- Construcción Sustentable
- Innovación y Mejora Continua (I+D+i+e)
- Transformación Digital

Para abordar la Construcción Industrializada se crea el Consejo de Construcción Industrializada (CCI) en el 2017 en el cual participan personas y representantes de entidades Públicas, Privadas y Universitarias (Zaccarelli, 2019).

El CCI de Chile es una entidad de carácter técnica y permanente, que convoca a los principales profesionales e instituciones relacionadas, con el fin de canalizar las inquietudes, el conocimiento y la información, constituyéndose en una instancia de desarrollo técnico, difusión y buenas prácticas para la promoción de la industrialización en el mercado de la construcción nacional.

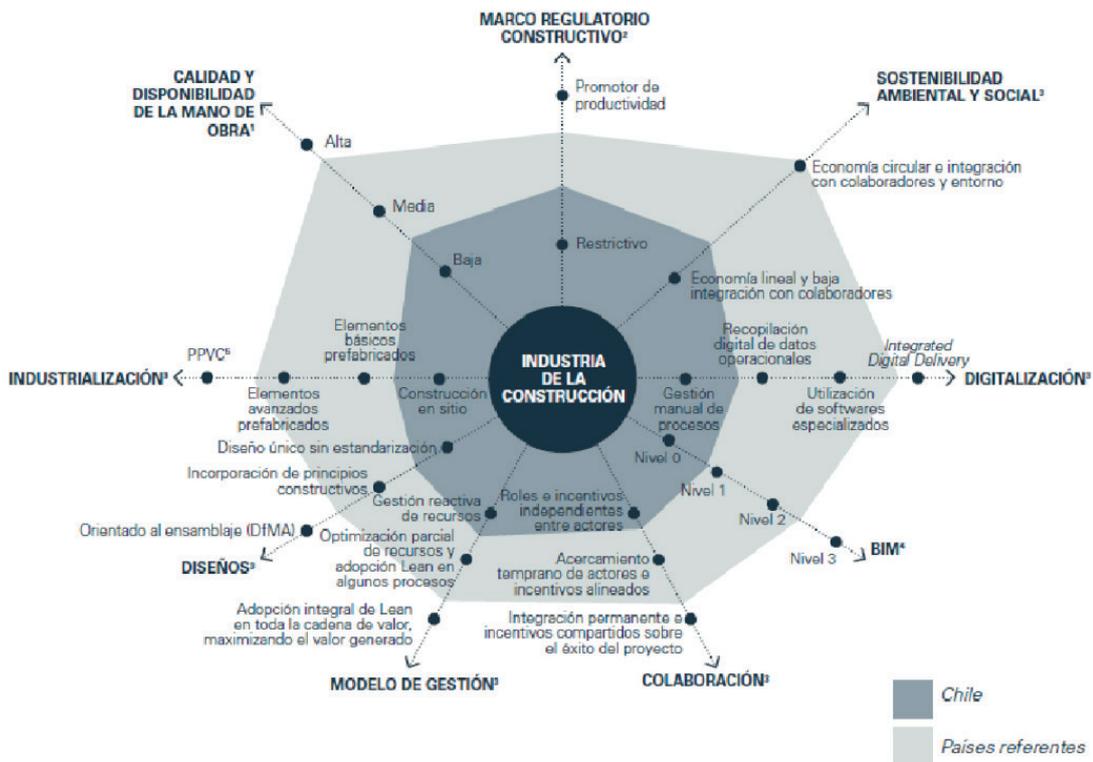
El CCI es un grupo abierto y convocante, que en su etapa inicial desde el año 2017 agrupa a más de 60 actores del mundo público y privado, que puedan aportar sus conocimientos y experiencias al mejoramiento de las técnicas relacionadas con industrialización, teniendo como su objetivo central: *“Promover el desarrollo de soluciones industrializadas, prefabricadas y modulares que mejoren la calidad, productividad, y sustentabilidad en la edificación, incorporando mejores prácticas, tecnología e innovación en toda su cadena de valor”*.

A partir del segundo semestre de 2019, el CCI amplía su convocatoria con el apoyo de la Secretaría Ejecutiva de la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT), invitando a ser socios y participar a toda empresa o entidad -pública o privada- que mantenga operaciones en Chile y que forme parte de la cadena de valor de la construcción e industrialización, desde proveedores de productos y materiales, soluciones constructivas, prefabricadores, servicios de ingeniería y diseño para manufactura y ensamblaje, especialidades, constructoras, montajistas, inmobiliarias, etc.

Asimismo, aquellos organismos que se relacionan de manera secundaria con la industria, tales como proveedores, clientes, academia, industrias complementarias, entre otros.

Durante el 2020 la consultora Matrix Consulting realiza un estudio sobre la productividad en la construcción para la Cámara Chilena de la Construcción, donde se busca impulsar la productividad de la construcción en Chile a estándares mundiales, a continuación, se ve la figura 7, que posiciona a Chile en comparación con países referentes bajo ciertas variables, de las cuales destacaremos a industrialización.

FIGURA N°2: DIAGNÓSTICO DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN DE CHILE POR DIMENSIONES



Fuente: Estudio de Productividad en la Construcción (Matrix Consulting, 2020)

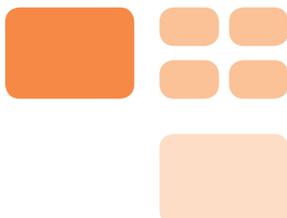
Como se aprecia en la dimensión Industrialización de la figura 3 la construcción chilena se encuentra en un sector medio entre construcción en sitio y elementos básicos prefabricados, los países referentes se posicionan en una zona que tiene como base los elementos avanzados prefabricados y construcciones, prefabricadas y predeterminadas fuera de sitio, es importante considerar que la inclusión en Singapur significó costos 15% mayores que metodologías tradicionales. Pero luego de 6 meses de prueba y error, lograron un costo global de proyectos un 5% menor (Matrix Consulting, 2020).

El informe de Matrix Consulting presenta la Industrialización como una palanca que se debe accionar para mejorar en productividad la industria de la construcción, fomentado un diseño pensado en la productividad, la integración temprana, y la digitalización de la mano de BIM, para confluir hacia la Industrialización de la Construcción (Matrix Consulting, 2020).



4

Glosario



Términos y definiciones

A continuación, se presentan una serie de términos y conceptos presentados en el “Anteproyecto de Norma: Industrialización – Principios y Definiciones Generales” desarrollado por un Comité Técnico convocado por el Instituto de la Construcción en el marco del Convenio de Colaboración suscrito entre el Ministerio de Vivienda y Urbanismo y el Instituto de la Construcción y aprobado por Resolución Exenta N° 13751 en su plan de trabajo 2020 de fecha 01 de julio de 2020. Elaborados para poder establecer “un lenguaje común respecto a términos y definiciones de Diseño y Construcción Industrializada, de forma que todos puedan hablar bajo los mismos conceptos consensuados”.

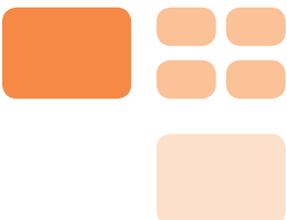
- **Construcción industrializada:** forma de construir que busca mejorar el desempeño de la construcción en distintas etapas de un proyecto, que puede o no incluir prefabricados. Son objetivos de la construcción industrializada, mejorar productividad, plazos, costos, entre otros. Son áreas de la construcción industrializada, el diseño integrado, la producción que puede ser seriada, repetitiva, rítmica y estandarizada, procesos, materiales, equipamiento, métodos constructivos, tecnología, digitalización, metodología BIM, entre otros.
- **Industrialización de la construcción:** Acción de desarrollar las obras de construcción con distintos grados de industrialización.
- **Prefabricación:** proceso constructivo que incorpora a la construcción diferentes elementos y componentes, fabricados antes de su montaje en su posición definitiva en la obra.
- **Constructabilidad:** integración temprana y óptima del conocimiento desde el diseño y experiencia en construcción, en todo el ciclo de vida del proyecto, para alcanzar todos los objetivos
- **Estandarización de productos:** aunar características, dimensiones, proceso constructivo y/o de fabricación de elementos y componentes en un proyecto
- **Componente:** producto destinado a la construcción que, antes de su instalación, presenta su forma definitiva y es considerado una unidad aislada que forma parte de un elemento.
- **Componente industrializado:** componente fabricado mediante un proceso industrial.
- **Componente modular:** componente cuyas dimensiones son modulares.
- **Componente prefabricado:** componente fabricado en un lugar distinto de su localización final de uso, que no requiere transformaciones adicionales previo al montaje.

- **Elemento:** parte de una construcción en base a componentes o materiales, o combinaciones de ambos.
- **Elemento industrializado:** elemento fabricado mediante un proceso industrial
- **Elemento modular:** elemento cuyas dimensiones son modulares.
- **Elemento prefabricado:** elemento fabricado mediante sistema de prefabricación.
- **Recinto básico:** elemento tridimensional que constituye una unidad en sí mismo o puede ser agrupado con otros, que puede ser habitable o no habitable.
- **Montaje:** proceso de instalación en obra de elementos y componentes.

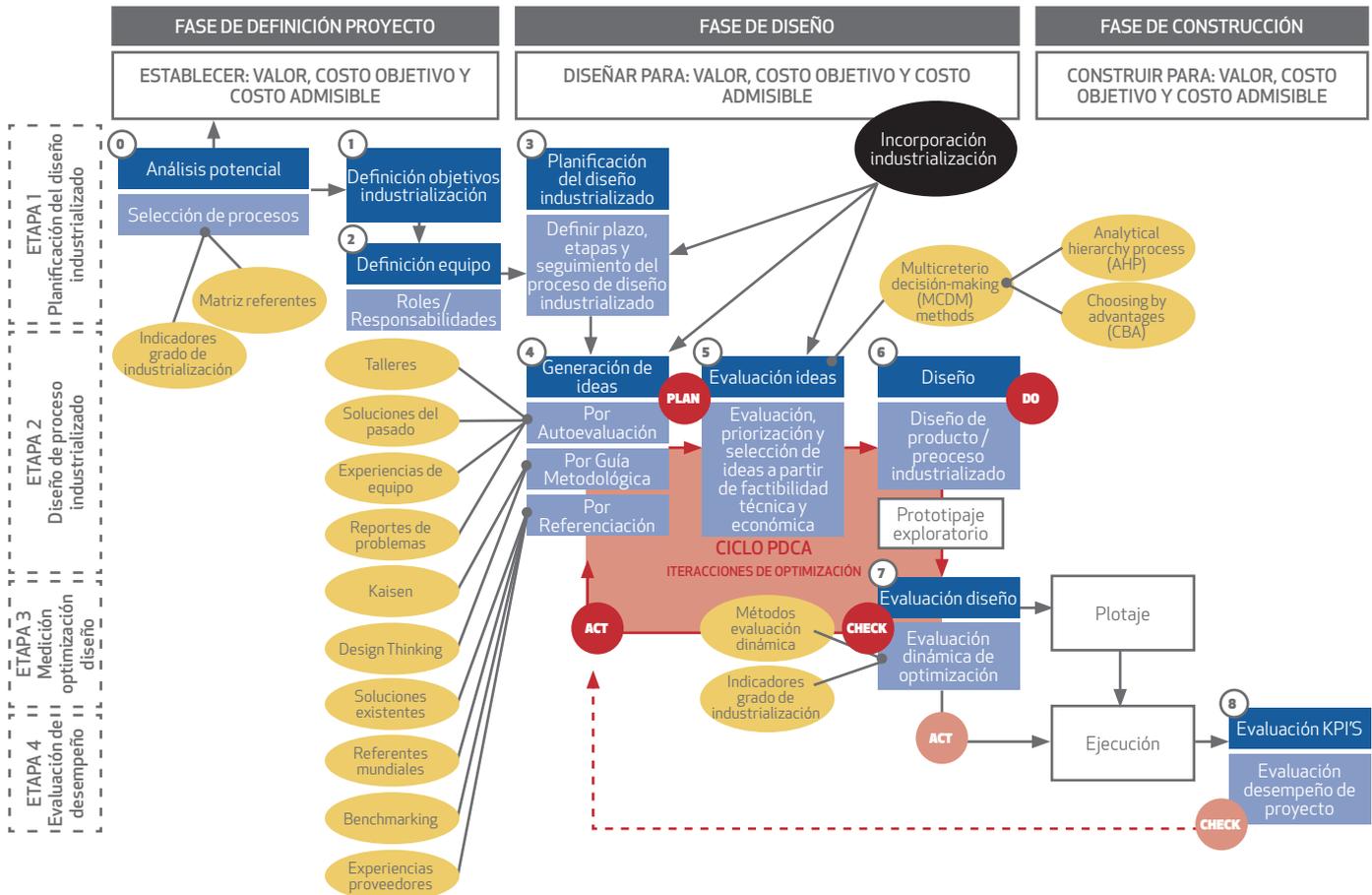


5

Propuesta metodología de construcción industrializada



A continuación se presenta la metodología propuesta, que considera 9 pasos que se consideran fundamentales para poder incorporar industrialización en los proyectos, desde la etapa de definición hasta la ejecución del mismo.



FASE DE DEFINICIÓN

1. Análisis de potencial

Un primer paso, antes de la concepción del proyecto, es tener estudiado y analizado el potencial de industrialización que tiene la organización según la experiencia tanto propias como de otros, así como también según la gestión del conocimiento que se genera en la documentación y casos de éxito tanto nacionales como internacionales.

1.1. OBJETIVO

Identificar las partidas, procesos y/o actividades cuya estandarización, modulación y/o prefabricación, tiene el potencial de aportar en mayor medida a la mejora del desempeño del proyecto, en términos de los indicadores de interés para cada caso específico (costo, tiempo, impacto ambiental, accidentalidad, procesos ineficientes, entre otros), con la finalidad de direccionar los esfuerzos de industrialización hacia estas actividades y establecer las estrategias y procedimientos de edificación requeridos para ejecutar la obra.

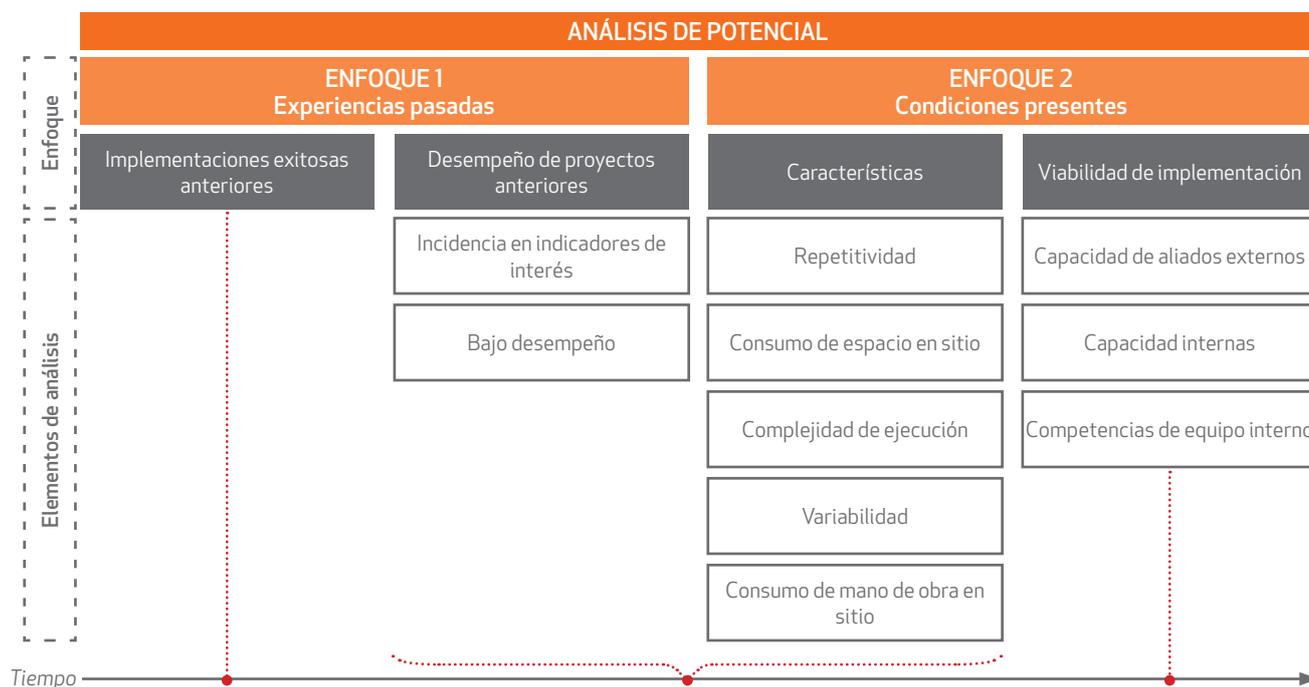
La identificación del potencial de industrialización permitirá dirigir los esfuerzos hacia las partidas que generen mayor beneficio.

La selección de procesos críticos a industrializar permitirá establecer un diseño adecuado para la producción en serie, lo que reducirá variabilidad e incertidumbre en el proyecto.

Buscamos poder analizar proyectos desde etapas de la conceptualización, para poder incorporar la industrialización a través de un diseño estandarizado que apunte a la fabricación masiva ya sea on/off site. En esta etapa inicial es importante que las empresas comprendan el potencial de industrializar las partidas con el fin de optimizar resultados de productividad en el proyecto y reducción de incertidumbres y variabilidad.

1.2. METODOLOGÍA

El análisis de potencial que se propone está orientado a la identificación de partidas/procesos/actividades a industrializar, partir de dos enfoques temporales: Experiencias pasadas y Condiciones presentes, y cuatro líneas de aproximación: Implementaciones exitosas anteriores, Desempeño de proyectos anteriores, Características de las partidas/procesos/actividades y Viabilidad de implementación. Éstos, al igual que sus elementos de análisis asociados, se presentan a continuación:



1.2.1. Implementaciones exitosas anteriores

Revisar implementaciones exitosas asociadas a modulación, estandarización y prefabricación de productos/procesos, realizadas en proyectos anteriores de la empresa.

Al respecto, se recomienda llevar registro de las implementaciones de industrialización llevadas a cabo, tanto en los proyectos de la empresa como en los llevados a cabo con empresas aliadas, en función de las partidas/procesos intervenidos y con mediciones del desempeño de la implementación. Esto no solo posibilita un análisis ágil de implementaciones pasadas, sino, además, a disminuir la fragmentación entre proyectos y a la mejora continua de las implementaciones.

1.2.2. Desempeño de proyectos anteriores

Analizar el desempeño de proyectos anteriores similares, en términos de los indicadores de interés para cada caso específico (costo, tiempo, impacto ambiental, accidentalidad, procesos ineficientes, entre otros). El análisis debe estar orientado a la identificación de:

- Procesos/partidas/actividades con mayor incidencia en los indicadores de interés (costo, tiempo, entre otros) específicos del proyecto presente.
- Procesos/partidas/actividades de bajo desempeño en proyectos anteriores (KPI's).

1.2.3. Características de las partidas/procesos

Analizar procesos/partidas/actividades aún no integradas en implementaciones pasadas, en función del potencial asociado a sus características. Las características a considerar se presentan a continuación:

A. Repetitividad: Número de veces que debe ejecutarse la partida o llevarse a cabo un proceso específico.

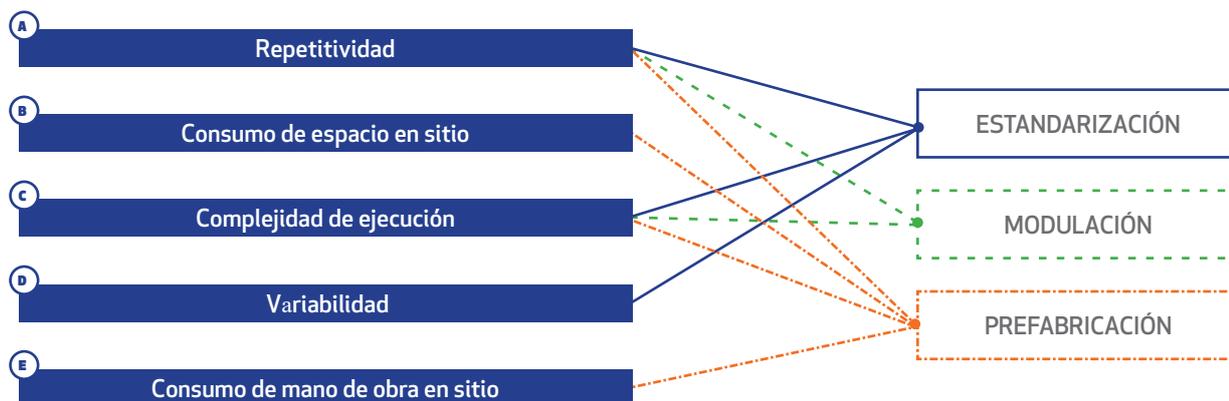
B. Consumo de espacio en sitio: Espacio total requerido en sitio de construcción para la ejecución del proceso/partida. Dicho espacio no solo integra el área asociada a labores de instalación, sino, además, aquellas vinculadas al almacenamiento y transportes de elementos/materiales relacionados con la ejecución del proceso/partida.

C. Complejidad de ejecución: Es el resultado del grado de dificultad asociado a las actividades de ejecución del proceso/partida (transformación/instalación, transporte, almacenamiento e inspección) y del grado de precisión demandada, según las tolerancias establecidas para el proceso/partida.

D. Variabilidad: Disparidad de resultados asociados a los indicadores de desempeño (costo, tiempo, calidad, entre otros) de las diferentes ejecuciones de un mismo proceso/partida.

E. Consumo de mano de obra en sitio: Cantidad de horas-hombre requeridas para ejecución del proceso/partida. Debe ser considerada la intensidad de mano de obra demandada no solo en función de horas totales, sino, además, de la densidad asociada. Es decir, el número de trabajadores que estarán en un área específica, de manera simultánea.

El potencial asociado a las anteriores características emerge en función de su relación con los ítems de industrialización integrados en la presente metodología: estandarización, modulación y prefabricación.



El análisis de las anteriores características, vinculadas con los ítems de industrialización, se propone con la finalidad de suscitar un análisis en dos direcciones:

- Priorizar en el análisis las características asociadas al ítem de industrialización que se desea integrar (e.g. En análisis tendientes a estandarización, se deben identificar los procesos/partidas/actividades que presenten alta repetitividad, complejidad de ejecución y variabilidad).
- Identificar el ítem de industrialización que es oportuno implementar en cada proceso/partida, en función de sus características (e.g. Para un proceso/partida/actividades que presente alta variabilidad por ambiente de trabajo y alto consumo de mano de obra, es oportuno revisar posibilidades de prefabricación).

1.2.4. Viabilidad de implementación

Revisar la viabilidad de implementación de acciones ligadas a los ítems de industrialización abordados, integra el análisis de:

- **Capacidad de aliados externos:** Apoyo externo, en el entorno local, necesario para la implementación, en términos de:
 - Oferta de soluciones existentes en el mercado local (ver Matriz de soluciones).
 - Capacidad de producción de proveedores de soluciones. Debe ser capaz de satisfacer la demanda de abastecimiento, definida en función del ritmo de avance del proyecto.
 - Posibilidad de elección variada de proveedores.
 - Disponibilidad de métodos de transporte, acordes a las normativas locales.

- **Capacidades internas:** Soporte interno necesario para la implementación, en términos de:
 - Capacidad interna de producción.
 - Capacidad de financiación.
 - Disponibilidad de espacio en sitio de construcción, para almacenamiento, transportes internos e izada.
- **Competencias de equipo interno:** Soporte interno necesario para la implementación, en términos de:
 - Disponibilidad de equipo humano de trabajo que cuente con los roles y capacidades asociados a la construcción industrializada (ver Matriz de roles y capacidades).
 - Disponibilidad de mano de obra capacitada, en función de las demandas de la implementación.

2. Definición de objetivos

OBJETIVO 1 Definir metas asociadas a industrialización en la etapa de diseño del proyecto, como % de modulación, % de estandarización y % de prefabricación, para cada uno de los procesos o partidas seleccionados en el análisis de potencial de industrialización.

Para lo anterior, se debe establecer los siguientes parámetros en cada partida o proceso industrializado:

- % de modulación de componentes.
- % de estandarización del diseño.
- % de prefabricación.

El valor meta definido en cada uno de estos aspectos debe ser establecido según parámetros que se definirán como línea base, que permitirán verificar qué tan industrializadas se diseñaron las partidas analizadas.

OBJETIVO 2 Junto con las metas relacionadas a un diseño industrializado, se debe definir el costo objetivo del proyecto. Este costo objetivo debe ser logrado mediante diversas iteraciones, donde la industrialización de los procesos será una de las líneas de acción con mayor impacto en el logro de dicho objetivo.

Hipótesis: un diseño industrializado (estandarizado, modular y con elementos prefabricados) permitirá producir y construir en serie, lo que implica aumentar la productividad en la etapa de construcción.

METODOLOGÍA

- Opción 1: A partir de diseño conceptual del proyecto
- Opción 2: A partir de proyecto referente
 - Medir % de modulación de las diferentes partidas del proyecto.
 - Medir % de estandarización de las diferentes partidas del proyecto.
 - Medir % de prefabricación de las diferentes partidas del proyecto.
 - Dichas medidas serán el punto de referencia para establecer las metas del proyecto y la posterior evaluación de beneficio en Plazo, costo, calidad, seguridad.
- **Definición de equipo**

3.1. OBJETIVO

El objetivo de este paso es identificar y determinar los actores necesarios y relevantes que estén involucrados en las fases de definición, diseño y construcción de un proyecto industrializado. Así como también en la dinámica de interacción entre ellas, fomentando la integración temprana a nivel de Inmobiliaria, Constructora y Proveedores.

La propuesta de integración temprana de actores de este documento expone la necesidad de lograr un mejor producto y un cliente totalmente satisfecho con la participación de la experiencia del desarrollo del negocio, la ejecución del producto y las materias primas (materiales y equipos). La integración tanto de soluciones, como problemas traídos de otras experiencias permitirán la eliminación de desperdicios, minimizar riesgos y mejorar la productividad, que generalmente ocurren en etapa de construcción.

Para el desarrollo de la metodología de industrialización la definición de equipo (actores) y su participación temprana es necesaria para la evaluación de industrialización de un proyecto junto con la evaluación del resultado y margen.

3.2. DIRECTRIZ

El análisis de la definición de equipos propuesto parte desde la correlación a través de las siguientes etapas:

- **Ciclo de vida de un proyecto:** Se refiere a las etapas de planificación, diseño, construcción, deconstrucción y mantención de un proyecto industrializado haciendo mención de aquellas capacidades teóricas y técnicas que requieren los profesionales en base a los 5 Roles definidos por la “*Matriz de Roles y Capacidades para la Construcción Industrializada*” (producido por el Grupo Técnico de Trabajo: “*Capital Humano*”, impulsado por el CCI, en junio de 2021).
- **Propuesta metodológica de industrialización:** Se refiere a los pasos metodológicos que requieren los proyectos para poder incorporar la industrialización en etapas de diseño y construcción (Desarrollo de este documento).
- **Etapas de un proyecto:** Se refiere a la distribución cronológica de las etapas del ciclo de vida de un proyecto relacionado al concepto, desarrollo e implementación considerando las siguientes etapas; inicio, estudio, anteproyecto, presupuesto, preconstrucción y construcción del proyecto bajo una mirada referencial de la construcción tradicional.

Esta correlación viene a establecer una nueva mirada sobre cómo debemos construir proyectos que busquen incorporar la industrialización donde es fundamental lograr la integración y colaboración entre los distintos actores para esto se buscó y se estableció una definición sobre cómo vamos a interpretar el concepto de integración temprana.

¿QUÉ ES INTEGRACIÓN TEMPRANA?

De acuerdo con la definición de la RAE integración es Hacer que algo o alguien pase a formar parte de un todo y temprana es que está en una fase inicial de su desarrollo, por tanto, podemos definir integración temprana como:

“Hacer que algo o alguien pase a formar parte de un todo en una fase inicial de desarrollo”.

La integración aquí está en relación con el proceso y el contenido de la información, conocimiento, entre y dentro de las etapas del proyecto, de todas las tecnologías y herramientas utilizadas en el proceso de desarrollo del producto.

¿CUÁNDO SE PRODUCE LA INTEGRACIÓN TEMPRANA?

Se produce más de una integración a lo largo del proyecto dependiendo de la necesidad de información. Para estos casos presentados existen 2 y 3 hitos de integración temprana de actores. Lo determina la forma en que se programan las tareas y las interacciones entre los diferentes actores (personas y herramientas) en el proceso de desarrollo del producto.

3.3. METODOLOGÍA

Para la definición de equipos se diseña el mapa “*Actores y definición de equipos para la CI*”, se realiza un análisis del documento “*Matriz de Roles y Capacidades para la Construcción Industrializada*” donde se relevan los roles que intervienen en las etapas de un proyecto para correlacionarse con los pasos metodológicos de este documento para identificar la integración temprana en base a la intervención de los actores en relación con su posición como inmobiliaria constructora o proveedor.

Dentro del marco de lo mencionado anteriormente se analizaron 2 escenarios posibles a la realidad de nuestro país, en función de la forma de concebir un proyecto y contratar su desarrollo. A continuación, se presentan:

- **Escenario N°1:** Inmobiliarias y constructoras integradas - Contrato diseño y construcción (integración vertical).
- **Escenario N°2:** Inmobiliaria y contratos fragmentados - Contrato diseño y licitación de la construcción.

Como tercer resultado que no será estudio de este documento es referido a los contratos relacionales a través de IPD (Integrated Project Delivery)

(*) Entendiendo que pudiera existir al menos uno o más escenarios a considerar (IPD).

3.3.1. Escenario N°1 Inmobiliarias y constructoras integradas - Contrato diseño y construcción (integración vertical)

3.3.1.1. Contexto

Este escenario parte desde la base que el dueño del proyecto es la Inmobiliaria y dentro de ella se encuentra integrada la Constructora. La Inmobiliaria es dueña tanto del diseño como de la construcción del proyecto sin la necesidad de salir a licitar ninguna etapa. Desde esa premisa la Inmobiliaria analiza el terreno, estudia la cabida, realiza los análisis financieros del proyecto, estudia los riesgos y luego toma la decisión de ejecutarlo.

En el desarrollo del proyecto el equipo que construirá se integra a partir del desarrollo del diseño o en la definición de equipo desde la mirada del “*Análisis de industrialización*”. Participa desde el diseño general de espacios, desarrollo de especialidades, aportando su experiencia en procesos constructivos con el fin de minimizar errores o desperdicios que pudieran producirse en la ejecución por algún error del diseño.

Algo más avanzado el proyecto desde la planificación del diseño, análisis de definición de espacios y desarrollo de especialidades se integran desde a la conversación “*los proveedores*”, ellos al igual que la constructora aportarán con experiencia y nuevas tecnologías con el fin de mejorar calidad, plazo, minimizar perdidas o desperdicios provocados por algún error en el diseño, además de aportar con nuevas tecnologías.

Es importante destacar que la participación de los proveedores en etapas anteriores a la ejecución va de la mano con que sean ellos mismos los que construyen para poder traspasar el conocimiento en cada etapa del proyecto. Esto provocará como consecuencia que se conviertan en *partner* de la Inmobiliaria y Constructora. Dentro de sus contratos ahora no sólo existirá la ejecución de una actividad, sino que también una consultoría integrada en la etapa de planificación del diseño, siendo parte de los pasos de análisis de industrialización.

Se integrará a cada actor en etapas de planificación en busca de resolver problemas cotidianos por la integración tardía de la gestión.

3.3.1.2. Análisis de participación de actores

Con los actores identificados para este escenario (Inmobiliaria o Mandante, Constructora, Proveedores) se analiza su participación de acuerdo con cada Rol.

Los tres actores inician con el rol de Dirección que es el liderazgo y mirada estratégica.

El rol de Gestión para la constructora inicia en la etapa de la planificación del diseño y para proveedores en la generación de ideas.

Los roles de coordinación y ejecución ven la experiencia del desarrollo y conocimientos técnicos y normativa.

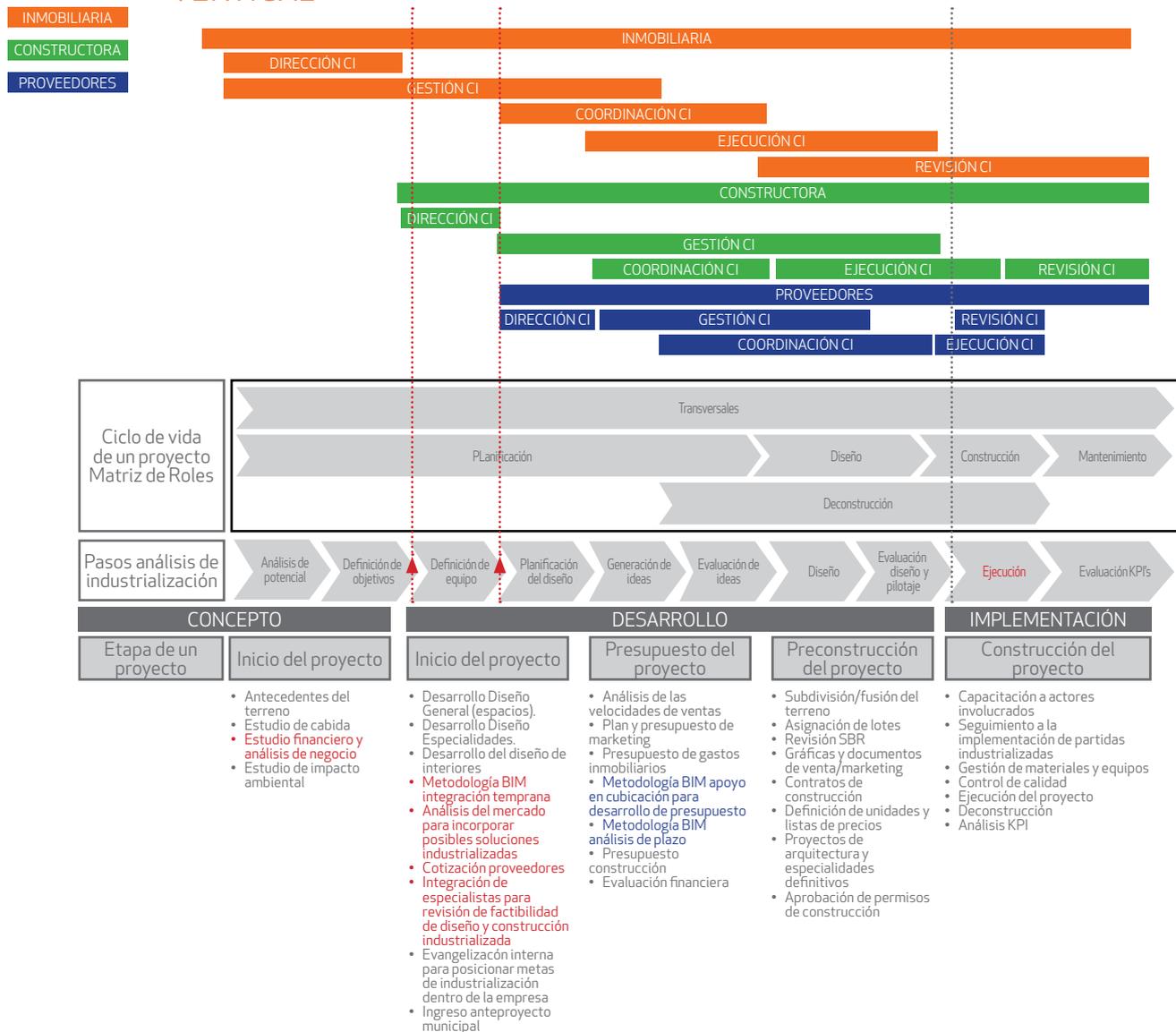
Por último, el rol de revisión en este escenario de “*integración vertical*” quedará ubicado terminada la ejecución e incluso en parte del tiempo dedicado al mantenimiento ya que deberá fiscalizar, cotejar y/o ejecutar.

3.3.1.3. Integración Temprana

La entrada al proyecto de cada actor dependerá del aporte que puede realizar desde su experiencia para minimizar posibles desperdicios que pueden aparecer en la ejecución. Cada uno tendrá su tiempo de entrada para generar un aporte y es esto lo que será la integración temprana, es decir, dependiendo de la necesidad que tenga el proyecto serán las entradas de los actores.

Para este caso quedan definidas 2 integraciones tempranas en el tiempo.

FIGURA N°3: MATRIZ DE ACTORES INVOLUCRADOS EN LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA - ESCENARIO N°1 INTEGRACIÓN VERTICAL



3.3.2. Escenario N°2 Inmobiliaria y Contratos Fragmentados - Contrato, Diseño y Licitación de la Construcción

3.3.2.1. Contexto

En este caso el mandante y contratista (Inmobiliaria y Constructora) no se encuentran integrados, para hacerlo requieren un proceso de licitación de construcción y/o licitación del diseño.

Como el objetivo de este documento es definir equipos integrados en fases tempranas que estén correlacionados a las diferentes etapas del proyecto, es aquí donde surge la necesidad de incorporar otro actor que llamaremos de ahora en adelante el Consultor. Nace a raíz de la incorporación de experiencia de construcción en el desarrollo del diseño, planificación y generación de ideas.

Este Consultor es un profesional, o varios, dedicados a aportar su experiencia al proceso a través de los diferentes roles desde una integración temprana. Este nuevo actor es necesario hasta que llegue el constructor final el cual depende una licitación para su integración.

El Consultor igual dependerá de una licitación o cierre de un precio por sus servicios que deberá ser consignado en etapas previas a su participación.

3.3.2.2. Análisis de participación de actores

Con los actores identificados para este escenario (Inmobiliaria o Mandante, Constructora, Proveedores) se analiza su participación de acuerdo con cada Rol.

En este escenario se reemplaza la entrada de la constructora por el consultor, los proveedores ingresan en la misma etapa que en escenario anterior y la constructora que depende de un proceso de licitación define al menos su llegada en la etapa de evaluación de ideas donde podrá entregar alguna opinión del proyecto que va a construir y nuevamente ir en la búsqueda de eliminar desperdicios de información de proyectos.

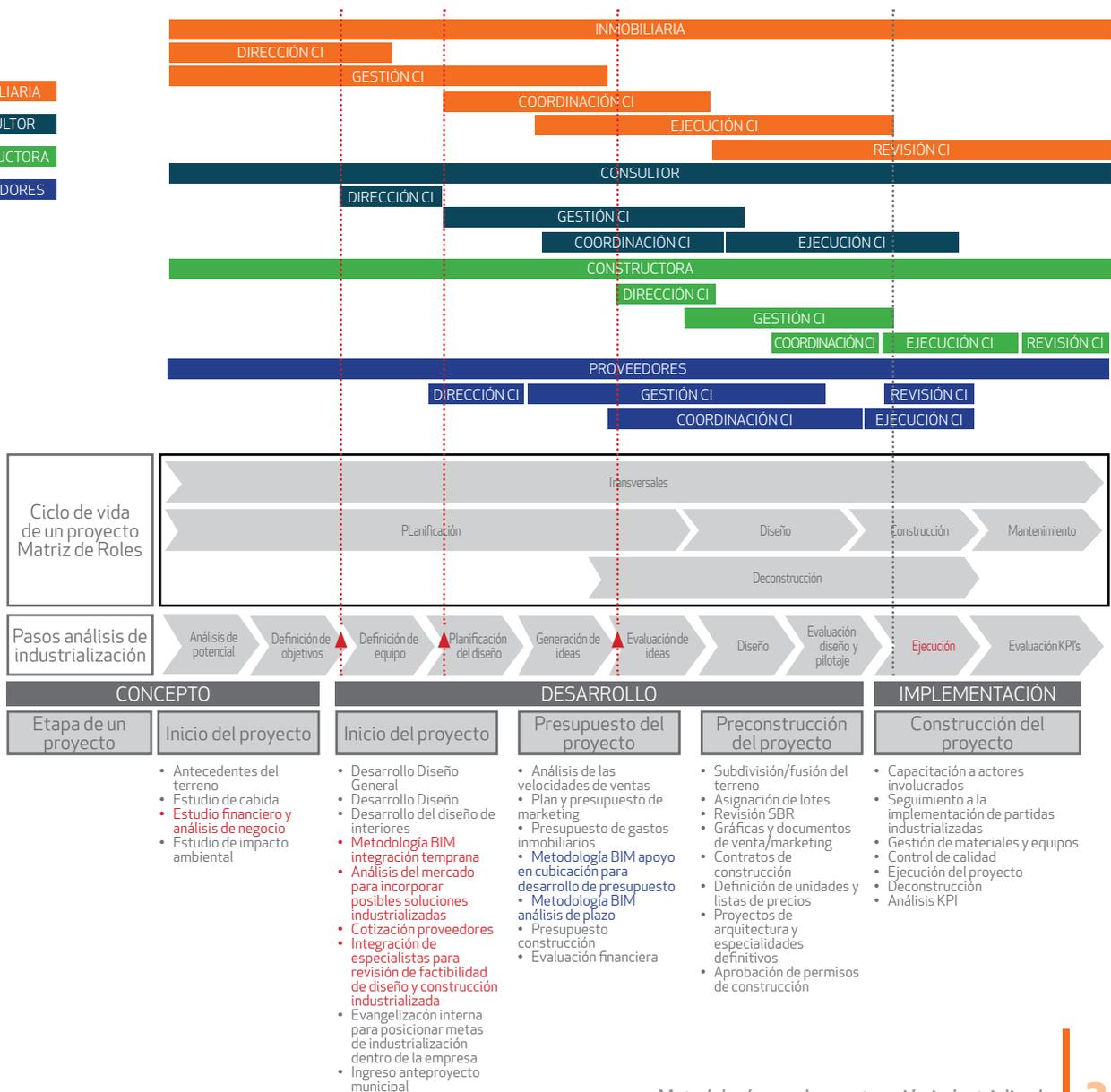
Los roles que participan para cada actor con los mismo que en el escenario anterior.

3.3.2.3. Integración Temprana

La entrada al proyecto de cada actor dependerá del aporte que puede realizar desde su experiencia para minimizar posibles desperdicios que pueden aparecer en la ejecución. Cada uno tendrá su tiempo de entrada para generar un aporte y es esto lo que será la integración temprana, es decir, dependiendo de la necesidad que tenga el proyecto serán las entradas de los actores.

Para este caso quedan definidas 3 integraciones tempranas en el tiempo ya que a diferencia del escenario anterior se agrega un actor.

FIGURA N° 4: MATRIZ DE ACTORES INVOLUCRADOS EN LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA - ESCENARIO N°2 INMOBILIARIA Y CONTRATOS FRAGMENTADOS - CONTRATO DISEÑO Y LICITACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN



3.3.3. Matriz de roles y capacidades CCI

A continuación, se presenta un extracto de las definiciones de los roles de la matriz de roles y capacidades del CCI.

¿QUÉ ES UN ROL DE CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA (CI)?

Función que ejerce en alguna etapa del ciclo de vida de un proyecto de CI.

FIGURA N°5: ROLES EN CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA – MATRIZ DE ROLES CCI



¿POR QUÉ UN ROL Y NO UN CARGO?

Porque un Rol asigna funciones y responsabilidades a un equipo relacionados a la generación y gestión de los proyectos.

Una persona puede ejercer más de un Rol. Un Rol lo pueden ejercer varias personas.

En cambio, un cargo puede ser ejercido por una persona. Los nombres de los cargos no son transversales en la Industria de la Construcción, es decir, un mismo cargo puede tener diferentes funciones en dos empresas distintas.

En relación con las dos preguntas planteadas en los párrafos anteriores es que el comité Metodologías de industrialización consideró la Matriz de roles como representación transversal para la definición de equipos de esta metodología.

Para el proceso de industrialización los equipos que participarán deberán ser multidisciplinarios, compuestos por el mandante, el contratista y los proveedores para los casos de donde el mandante y contratista se encuentren integrados (Inmobiliaria y Constructora) o consideren contratos de diseño y construcción.

El mandante (Inmobiliaria) será siempre el primer interesado en incorporar un proceso industrializado en el desarrollo de un proyecto ya que reducirá la variabilidad de procesos artesanales.

Tanto el mandante, contratista y proveedores estarán compuestos por áreas de difusión, de venta del negocio (producto), de ejecución del bien o servicio y de análisis para retroalimentación. Esto en la matriz de roles presentada el 2021 queda definido de la siguiente manera:

- **Dirección CI:** Definición estratégica y toma de decisión en organizaciones y proyectos. **Liderar y Fomentar.**
- **Gestión CI:** Experiencia en el liderazgo del equipo. Gestionar la planificación, el diseño, comunicación, programación, y/o la producción on site y/o off site. **Liderar.**
- **Coordinación CI:** Experiencia en el desarrollo y la ejecución de proyectos. Conocimiento técnico y normativo de procesos proyectuales y constructivos. Integrar, comunicar el flujo de información entre diferentes especialidades. **Implementa y Coordina.**
- **Ejecución CI:** Conocimiento y competencias sobre los alcances técnicos normativos, de procedimientos y procesos. **Desarrollar** proceso según especialidad en cada etapa.

- **Revisión CI:** Examinar y Verificar el cumplimiento detallado de la información, procesos y/o elementos.

FIGURA N°6: ROLES Y CAPACIDADES EN ETAPAS TRANSVERSALES - MATRIZ DE ROLES CCI

MATRIZ DE ROLES Y CAPACIDADES EN CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA						
ETAPA (*)	CAPACIDADES	DIRECCIÓN EN CI	GESTIÓN EN CI	COORDINACIÓN EN CI	EJECUCIÓN EN CI	REVISIÓN EN CI
TRANSVERSALES	1 Estudios de casos internacionales y referentes nacionales sobre implementaciones exitosas o fallidas de la Construcción Industrializada, con énfasis en etapas tempranas de diseño.	EVALUAR	EVALUAR	APLICAR	ENTENDER	NO APLICA
	2 Futuras tendencias y prospección tecnológica de Construcción Industrializada e Industria 4.0.	EVALUAR	EVALUAR	ANALIZAR	NO APLICA	NO APLICA
	3 Modelo productivo de la Construcción Industrializada versus el modelo tradicional y las nuevas oportunidades de negocio y mejora en la productividad y sustentabilidad.	PLANEAR	EVALUAR	APLICAR	ENTENDER	ENTENDER
	4 Impactos y fundamentos de la Construcción Industrializada relacionados con: estándares, procesos onsite (en sitio) y offsite (fuera de sitio), tecnologías, capital humano, procesos y sustentabilidad, disminuyendo variables de incertidumbre.	EVALUAR	EVALUAR	ANALIZAR	ENTENDER	ENTENDER
	5 Los roles de la Construcción Industrializada, desde su caracterización de capacidades hasta las responsabilidades que deben ser asumidas por el capital humano de una organización.	ENTENDER	EVALUAR	EVALUAR	ENTENDER	NO APLICA
	6 Los desafíos y cambios que implica implementar una cultura de Construcción Industrializada en una organización, sus condiciones de éxito y las responsabilidades para cada sector: público, privado y academia.	PLANIFICAR	PLANIFICAR	ORGANIZAR	ENTENDER	NO APLICA
	7 Herramientas digitales para el proyecto a lo largo de todo su ciclo de vida.	ENTENDER	PLANIFICAR	ORGANIZAR	APLICAR	APLICAR
	8 Análisis de Ciclo de Vida (ACV) que evalúe el impacto ambiental y social de un proyecto, garantizando un desarrollo sostenible.	ENTENDER	EVALUAR	EVALUAR	APLICAR	ENTENDER
	9 Impacto e incidencia de la Construcción Industrializada en sistemas de certificación sustentable, tanto nacionales como internacionales.	ENTENDER	EVALUAR	EVALUAR	APLICAR	ENTENDER
	10 Metodologías de gestión temprana y colaborativa de proyectos, para el flujo continuo y correcto de información, junto con la evaluación de rendimientos indicadores y predictores que permitan garantizar la mejora continua.	ENTENDER	PLANIFICAR	ORGANIZAR	APLICAR	INSPECCIONAR
	11 Metodologías de evaluación que miden el grado de industrialización de un proyecto, en relación con variables de costos, durabilidad, plazos, recursos humanos, huella de CO2, estética, calidad y prevención de riesgos, como el índice de Constructibilidad de Singapur, el IBS Score de Malasia, entre otros.	ENTENDER	PLANIFICAR	ORGANIZAR	APLICAR	INSPECCIONAR
	12 Pilotaje y prototipado de sistemas de Construcción Industrializada para la optimización de diseños y procesos.	ENTENDER	PLANIFICAR	ORGANIZAR	APLICAR	INSPECCIONAR
DISEÑO	20 Condiciones y especificaciones técnicas de los productos, procesos y sistemas constructivos, articulando partidas industrializadas y tradicionales.	NO APLICA	EVALUAR	ORGANIZAR	APLICAR	INSPECCIONAR
	21 Marco regulatorio según especialidad, nomenclaturas, codificaciones técnicas, sistemas de clasificación internacional y específica sobre industrialización, fabricación y montaje.	NO APLICA	IMPLEMENTAR	ORGANIZAR	APLICAR	INSPECCIONAR
	22 Modelos BIM para diseño de arquitectura y especialidades con entidades (familias o componentes) de construcción repetibles y modularizadas.	NO APLICA	IMPLEMENTAR	ORGANIZAR	CREAR	INSPECCIONAR
	23 Modelos BIM para coordinar, prever y subsanar colisiones o posibles fallas.	NO APLICA	IMPLEMENTAR	ORGANIZAR	CREAR	INSPECCIONAR
	24 Modelos BIM para planificar y optimizar procesos de: montaje, ensamble y desmontaje.	NO APLICA	IMPLEMENTAR	ORGANIZAR	CREAR	INSPECCIONAR
25 Grados de precisión de componentes y elementos según materialidad.	NO APLICA	PLANIFICAR	INTEGRAR	APLICAR	INSPECCIONAR	

La definición de equipo es categorizada en base a la etapa del proyecto y está vinculada con los pasos de metodología. Parte de esta propuesta es proponer en base a los roles de la “*Matriz de capacidades para la CI*” quienes son los encargados o responsables involucrados en cada etapa.

FASE DE DISEÑO

En el marco de la planificación del diseño industrializado, se sugiere definir los siguientes hitos, para orientar y guiar el proceso:

- Definición de equipo de trabajo (paso 3).
- Definición y selección de partidas con mayor potencial de industrialización (paso 1).
- Planificación del diseño.
- Generación de ideas para industrializar el proceso o partida seleccionada.
- Primera validación del diseño industrializado (% de modulación, % de estandarización y % de prefabricación) y costo objetivo.
- Validación final del diseño industrializado y costo objetivo.

4. Planificación del diseño

Objetivo: definir fechas, hitos relevantes y plazos necesarios para lograr el diseño industrializado. Además, se debe definir cómo se llevará a cabo el control y seguimiento del cumplimiento de dichos plazos e hitos.

LINEAMIENTOS

- Identificar plazos asociados a la fase de diseño y sus distintas etapas.
- Identificar dentro de la fase de diseño, el plazo disponible o necesario para el proceso de incorporación de industrialización. Es decir, identificar el tiempo disponible para iteraciones de optimizaciones que permitan aumentar el porcentaje de modulación, estandarización y prefabricación de los procesos industrializados.

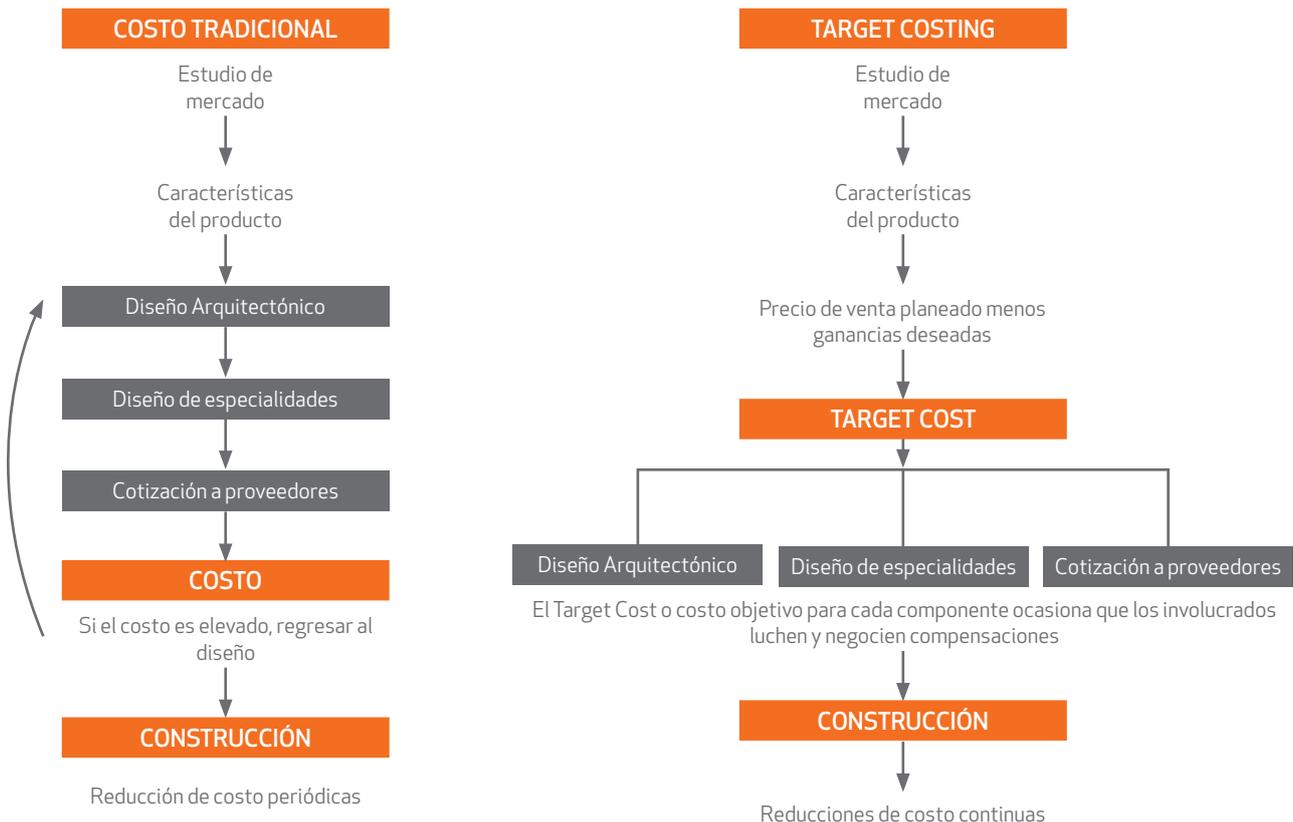
A diferencia de un diseño tradicional, realizar un diseño industrializado requiere de mayores plazos de diseño, ya que se necesitan más iteraciones y coordinaciones en arquitectura, cálculo y especialidades, además de la participación de mandante, constructores y proveedores, para lograr los objetivos de industrialización y de costos planteados desde un inicio.

Por lo anterior, esta metodología propone considerar un plazo más holgado para el desarrollo de la industrialización. Se propone comenzar a incorporar ideas y soluciones industrializadas en etapas tempranas, desde los primeros modelos de arquitectura y cálculo, ya que hacer cambios en esa etapa requiere menos esfuerzos que en etapas posteriores. Para esto, se recomienda incorporar desde entonces a constructores y proveedores de soluciones industrializadas, quienes con su experiencia recomendarán acciones a seguir para mejorar el diseño en pos de la industrialización.

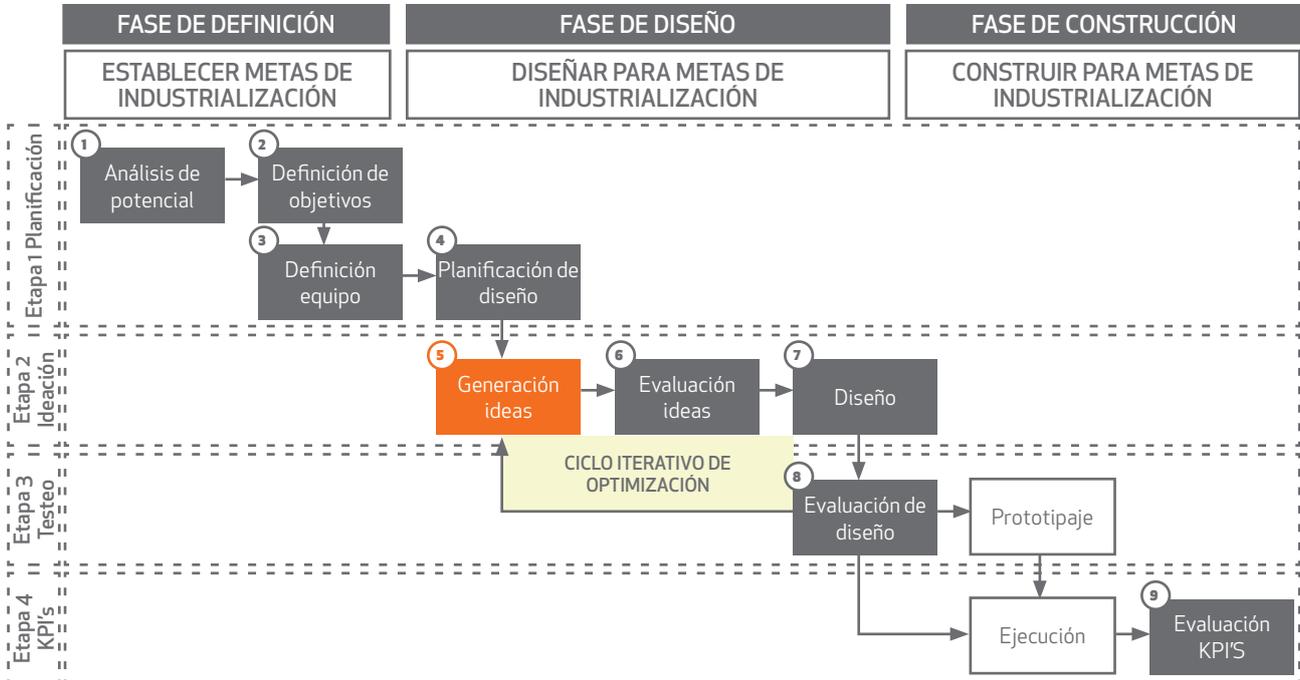
A modo de ejemplo, incorporar escaleras o baños prefabricados en un proyecto diseñado de manera tradicional, requiere entre 3 y 4 meses de iteraciones para lograr adaptar el diseño a estas soluciones prefabricadas. Si el diseño viene concebido de manera industrializada (pensado de forma modular, estandarizada y prefabricada), y las soluciones prefabricadas se incorporan desde una etapa temprana del diseño, es muy probable que ese plazo de iteraciones (entre 3 y 4 meses) se reduzca considerablemente.

- **Hipótesis:** la definición de fechas, hitos, plazos, control y seguimiento permitirá planificar y anticipar el tiempo necesario para el proceso de diseño industrializado, verificando su cumplimiento de manera metódica, para tomar acciones correctivas de manera oportuna y lograr los objetivos planteados.

FIGURA N°7: COSTEO TRADICIONAL VS TARGET COSTING EN LA CONSTRUCCIÓN (FIEL ET AL., 2004)



5. Generación de ideas



OBJETIVO

Generar ideas para incorporar la industrialización en el diseño enfocado en las partidas/procesos/actividades con mayor potencial para ser industrializados.

DIRECTRIZ

- Contar con un proyecto básico al cuál será incorporado las ideas generadas.
- Entender las capacidades de innovación de la organización.
- Incorporar a proveedores en la etapa de ideación para conocer sus soluciones, la capacidad productiva, procesos de fabricación, requerimientos logísticos y productivos.

METODOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DE IDEAS

La generación de ideas está orientada a crear un banco/set de soluciones/acciones que permitan incorporar la industrialización de manera efectiva en el diseño referente/conceptual y/o básico del proyecto, a aquellas partidas/procesos/actividades que fueron seleccionadas en el análisis de potencial (Ver Paso 1), mediante tres ejes fundamentales: (1) Generación de ideas por autoevaluación, (2) Generación de ideas por referenciación y (3) Generación de ideas por guía metodológica.



GENERACIÓN DE IDEAS POR AUTOEVALUACIÓN

El presente eje principal propuesto, está conformado por 4 elementos/actividades: (A) Talleres enfocados a evaluar la constructabilidad e industrialización del diseño, (B) Identificación de soluciones del pasado, (C) Experiencias del equipo interdisciplinario del proyecto y (D) análisis de reportes de problemas en los proyectos.

- Talleres de constructabilidad e industrialización:** En este punto la organización debe evaluar si ha aplicado criterios de constructabilidad e industrialización, durante el diseño. Para ello, la organización debe establecer un set de criterios que estén contenidos dentro de ambas variables (constructabilidad e industrialización), los cuales deberán ser revisados y actualizados de forma periódica considerando el contexto global evolutivo de la industria y de las condiciones locales de construcción. Lo anterior, tiene como finalidad identificar cual(es) criterios se han considerado y cual(es) no en el diseño a nivel de procesos y producto, para luego, generar un análisis integrado entre los diferentes actores del proyecto que permita explorar si existe un espacio para la mejora en los criterios incorporados, así como, justificar y/o reevaluar la posibilidad de incorporación de aquellos que no se tomaron en consideración.

- **Reporte A3:** Se propone el uso de la herramienta A3, como facilitador para la resolución de problemas que aquejan a la organización habitualmente en el desarrollo de los proyectos, haciendo especial énfasis en la fase de diseño. El reporte A3 ofrece una descripción concisa de las opciones y compensaciones asociadas a un determinado problema o decisión, que se logra exponer a través de un diálogo continuo y abierto entre el EIP, además de servir como método para documentar el proceso de mejora continua que se desea lograr. La materialización de esta actividad va a consistir en: (1) escoger un problema que sea producto de la priorización de un conjunto de estos atingentes al proyecto, (2) describir el problema escogido, (3) analizar el problema, describiendo su situación actual, resaltando dificultades y oportunidades de mejora representadas de manera cualitativa y cuantitativa (utilizar p. ej. gráficos de dispersión, histograma, diagrama causa-efecto, mapa de flujo de valor, etc.), en este punto se debe incluir la condición objetivo (estado futuro deseable) que se desea alcanzar, posteriormente (4) desarrollar un plan de acción con resultados previsto que aborde quién se ocupará, cuándo y dónde, y qué elementos (factores de influencia) están asociadas a las contramedidas sugeridas en el análisis. Finalmente, (5) se deberá aprobar el plan en conjunto con el EIP, haciendo una evaluación continua de los resultados. El proceso de desarrollo del Reporte A3, no debe ser visto como un proceso en el cual se van a generar cambios disruptivos en el diseño del proyecto, sino al contrario, debe ser abordado como un proceso iterativo y ágil, que aborde problemas específicos y manejables por el EIP.
- **Experiencias del equipo interdisciplinario:** promover espacios de trabajo colaborativo donde principalmente se haga énfasis en las capacidades del EIP, compartiendo buenas prácticas e información de interés, de otros proyectos industrializados en donde estos estuvieron vinculados en el pasado y que sean atingentes al proyecto en desarrollo.
- **Análisis de reportes de problemas:** La intención es revisar con el EIP, todos los informes formales de problemas con los que cuente la organización (p. ej. los informes de postventa) de proyectos anteriores, para luego, priorizar en base aquellos incidentes que: (1) presentan mayor recurrencia en los usuarios finales y (2) los que generen mayor afectación directa o indirecta en el proceso constructivo a causa de falencias a nivel de proceso y/o producto en el diseño del proyecto. Finalmente, sirviéndose de la priorización generada, se deben idear soluciones concretas a los problemas detectados.
- **Benchmarking:** Comparación de desempeño (indicadores de interés) entre organizaciones para encontrar gaps de desempeño y poder compartir iniciativas exitosas en proyectos.

GENERACIÓN DE IDEAS POR REFERENCIACIÓN

Consiste en el desarrollo y análisis de acciones/soluciones basadas en lo que ya se ha ideado e implementado en los diferentes proyectos de construcción industrializados a nivel global y local. Lo anterior, obedece a 4 estrategias de referenciación:

- **Soluciones existentes:** Búsqueda periódica y actualización de aquellos sistemas constructivos/materialidades/prácticas y procesos industrializados relevantes a nivel local (en Chile) que han sido puesto en práctica exitosamente. Lo anterior, tiene la intención de generar una ficha técnica que facilite la utilización de la oportunidad detectada (Ver matriz de soluciones).
- **Referentes mundiales:** Está asociado a realizar vigilancia tecnológica periódica a nivel de producto y procesos industrializados en la industria de la AEC (Arquitectura, ingeniería y construcción, representado AEC por sus siglas en inglés) que han sido puestos en práctica exitosamente a nivel global.
- **Experiencias con proveedores:** Revisar experiencias de proveedores, principalmente con los que la organización trabaja de manera recurrente, sin embargo, no se debe limitar ello, pudiéndose considerar experiencias que han tenido otras organizaciones con diferentes proveedores, siempre que se cuente con accesibilidad a información acabada.

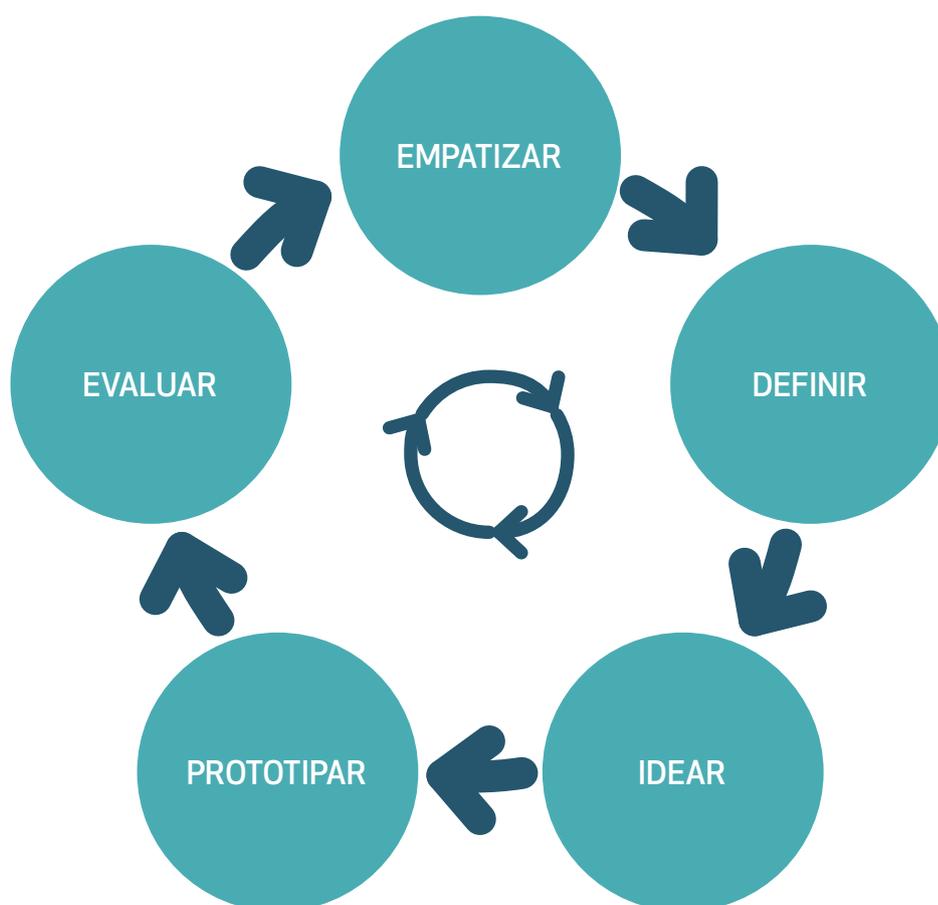
GENERACIÓN DE IDEAS POR GUÍA METODOLÓGICA

Los ejes principales anteriores, fueron desarrollados inspirados en metodologías que describen la actitud y estimulan el pensamiento durante la fase de diseño. En este sentido, se propone la aplicación de algunas de ellas que han sido consideradas en las últimas décadas para desarrollar y/o optimizar la industrialización en el sector construcción, como el método Design Thinking y los procesos de mejora continua basado en eventos Kaizen, respectivamente.

- **Design Thinking (DT):** es un modelo que estimula a los diseñadores a nuevas formas de pensar e idear, para que puedan encontrar diseños óptimos. Este enfoque está basado en tres espacios que interactúan unos con otros, donde se incluyen: espacios de inspiración, ideación e implementación, que requieren cierta cantidad de ciclos entre ellos para que una nueva dirección en el producto/proceso sea alcanzada. Existirían restricciones dentro de estos tres espacios para que el método sea eficaz, p. ej. de no existir restricción alguna, la inspiración pudiera ser desenfrenada. En esta línea, el espacio de ideación incluye tres principios, factibilidad, deseabilidad y viabilidad. Por otra parte, es importante destacar que el ser humano es el centro de *Design Thinking*, es por ello que, aplicar el método de manera profunda implica determinar las demandas y comprender las necesidades reales de las personas para poder darle solución a sus problemas. Finalmente, la escuela de diseño

de la Universidad de Stanford divide el proceso de *Design Thinking* en 5 pasos fundamentales: empatizar, definir, idear, prototipar y evaluar.

- **Empatizar:** consiste en observar el comportamiento de los usuarios, entrevistando a los usuarios y experimentando como un usuario.
- **Definir:** describir la observación por simpatía, considerando la percepción y la demanda.
- **Idear:** partir del desarrollo de una idea e identificar las soluciones más adecuadas para los usuarios.
- **Prototipar:** convertir los resultados de la ideación en productos o interfaces tangibles.
- **Evaluar:** permitir a los usuarios operar por sí mismos y corregir los errores de forma continua, con el fin de encontrar el producto más adecuado para los usuarios.



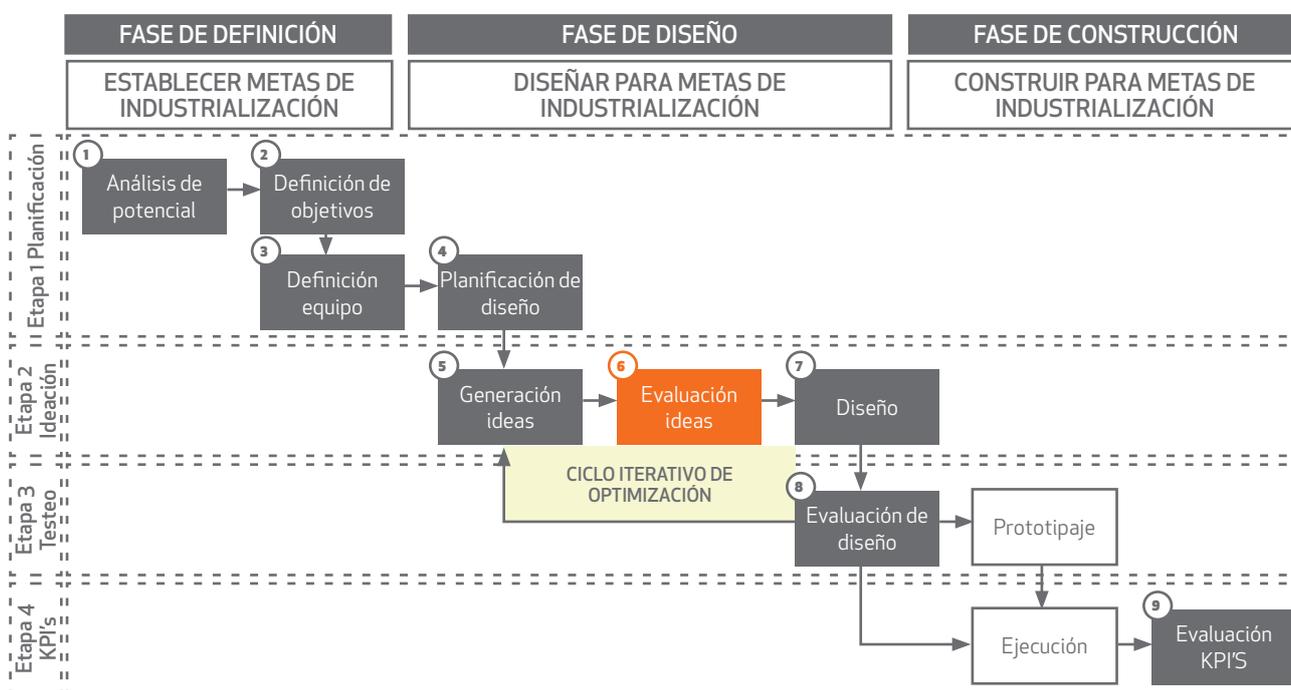
- **Kaizen:** uno de los factores fundamentales en la industrialización de la construcción es lograr estandarizar y racionalizar el proceso o producto deseado. El método *Kaizen*, se ocupa de reducir los desperdicios en un proceso concreto mediante eventos cortos incrementales de mejora continua que abordan el proceso existente antes de que se produzcan o cuando se produzcan dichos desperdicios. Principalmente, *Kaizen* hace hincapié en el conocimiento empírico y el pensamiento lógico de los trabajadores, más que en el producto del proceso en el que estén implicados. Los beneficios de aplicar *Kaizen* evidenciados han sido: mejora en la productividad, reducción de residuos, mayor satisfacción del cliente, mayor calidad y aumento de ventaja competitiva. Para una efectiva aplicación, es necesario que la organización esté alineada con los principios del método, en el que destaca la disposición al “*mejoramiento continuo*”, creación de equipos interfuncionales, una comunicación bidireccional desde la línea más baja hasta la alta dirección e invertir en el recurso humano antes de enfocarse en la adquisición de tecnologías. Las etapas que se proponen para la aplicación del método *Kaizen* son: etapa 0 pre-evento de mejora, etapa 1 identificación de problema, etapa 2 generación de propuesta de mejora, etapa 3 implementación propuestas de mejora y etapa 4 (Post evento).
 - **Etapla 0**, pre-evento de mejora: se toman medidas para contratar, instruir y motivar al personal, es importante lograr la estabilidad del proceso antes de iniciar el proceso de mejora.
 - **Etapla 1**, identificación de problemas: esta etapa comienza con la observación y el análisis del proceso actual, mediante la observación directa, en donde la gerencia debe liderar el proceso, generando incentivos y apoyando a identificar las áreas donde se requieren las mejoras.
 - **Etapla 2**, generación de propuesta de mejora: se proponen soluciones a los problemas mediante procesos técnicos (equipos, comunicaciones, diseños, etc.) y/o procesos creativos (*brainstorming*, talleres, entre otros) que luego, se sintetizan, cuantifican y clasifican. Es importante destacar que la solución debe estar alineada con los conocimientos técnicos de los participantes, la viabilidad económica.
 - **Etapla 3**, implementación propuestas de mejora: se proponen métricas de rendimiento para evaluar el progreso y la eficiencia de la solución. Estas métricas pueden ser cuantitativas o cualitativas, dependiendo del objetivo de mejora y deben ser documentadas, permitiendo demostrar si el problema fue mitigado o eliminado. Finalmente, las buenas prácticas deben ser registradas y presentadas al equipo.

- **Etapa 4**, post-evento: comprende el análisis de las mejores prácticas logradas durante el evento Kaizen a través de gráficos, hojas de cálculo, etc. Permitiendo, identificar oportunidades de mejora y aquellos puntos negativos del proceso, dando pie, a planificar y estructurar el próximo evento Kaizen.

CONSIDERACIONES GENERALES

- Se recomienda tomar la decisión de vincular la(s) soluciones/ideas/ acciones/experiencias a las partidas/procesos/actividades presentes al plan del proyecto, solo cuando estas hayan sido evaluadas (Ver Paso 6) y posteriormente establecer su incorporación una vez determinado su impacto positivo directo o indirecto en los indicadores de interés (Ver Punto 7)
- Para el punto 1.3.2 sección B “Referentes mundiales”, en caso de presentarse atractivo el o los referentes identificados, se recomienda contextualizar al ámbito local con análisis de prefactibilidad y factibilidad antes de gestionar su implementación dentro del diseño y posterior ejecución del proyecto.

6. Evaluación de ideas



OBJETIVO

Evaluar técnica y económicamente las ideas generadas, orientadas a la estandarización, modulación y/o prefabricación de las partidas, procesos y/o actividades definidas, a partir de un método de toma de decisión multicriterio.

METODOLOGÍA

Se propone la evaluación de las ideas generadas, alternativas, a partir del método de toma de decisión multicriterio Choosing by Advantages (CBA). Para ello, deben llevarse a cabo los siguientes pasos:

- Identificar las alternativas a evaluar.
- Definir los factores sobre los cuales se evaluarán las alternativas.
- Definir los criterios deseados y exigidos por factor
- Definir la escala de importancia de los factores.
- Resumir los atributos de cada alternativa.
- Realice la evaluación comparativa de las alternativas, en función de los atributos y factores definidos (importancia técnica).
- Determine el costo inicial y de operación de sus alternativas.
- Graficar comparativamente: Costos vs Importancia.

IDENTIFICAR LAS ALTERNATIVAS A EVALUAR

Por alternativa se entiende dos o más soluciones de diseño, construcción o planes, de los cuales uno debe ser elegido. No todas las ideas generadas son alternativas a evaluar, priorice y filtre las ideas, y defina las alternativas que harán parte del análisis comparativo.

DEFINIR LOS FACTORES SOBRE LOS CUALES SE EVALUARÁN LAS ALTERNATIVAS

Se entiende por factor a cada uno de los componentes de una decisión. En función de los intereses asociados a la solución particular buscada, se deben definir los factores. Se recomienda incluir aspectos ambientales y sociales, además de técnicos. Describa los factores, si lo considera necesario, para garantizar que todos los actores participantes del proceso de evaluación tienen claridad del factor evaluado.

A continuación, se presenta, a manera de ejemplo y de propuesta, los siguientes factores vinculados a los intereses de la industrialización.

TABLA N°2: DISTRIBUCIÓN PUNTAJE INDICADOR RECICLABILIDAD AL FINAL DEL CICLO.

ID	FACTOR	DESCRIPCIÓN
1	Consumo de mano de obra in-situ	Horas hombre asociadas a ejecución de la actividad
2	Estandarización	Disminución de tipologías del proceso abordado
3	Modularización	Acople de las medidas al módulo definido
4	Nivel de prefabricación	Ver anteproyecto de norma de industrialización
5	Tiempo de ejecución	Tiempo asociado a la ejecución de la actividad
6	Simplicidad técnica de labores de ejecución	Simplicidad de labores logísticas (montaje, transporte, almacenamiento)
7	Simplicidad técnica de labores logísticas	Simplicidad de labores de ejecución

DEFINIR LOS CRITERIOS DESEADOS Y EXIGIDOS POR FACTOR

Se entiende por criterio cualquier estándar en el que se basa un juicio deseado o exigido.

A continuación, se presenta, a manera de ejemplo y de propuesta, los criterios asociados a los factores definidos anteriormente.

ID	FACTOR	DESCRIPCIÓN
1	Consumo de mano de obra in-situ	A menor mano de obra en sitio mejor
2	Estandarización	A mayor estandarización mejor
3	Modularización	A mayor modularización mejor
4	Nivel de prefabricación	A mayor nivel de prefabricación mejor
5	Tiempo de ejecución	A menor tiempo mejor
6	Simplicidad técnica de labores de ejecución	A mayor simplicidad mejor
7	Simplicidad técnica de labores logísticas	A mayor simplicidad mejor

DEFINIR LA ESCALA DE IMPORTANCIA DE LOS FACTORES

Pondere la importancia de cada factor, asignándole un lugar entre 0 y 100. Un factor debe ocupar el valor 100 y dos factores no pueden ocupar el mismo valor. Por lo anterior, se trata no solo de un análisis individual sino, además, referencial.

ID	FACTOR	IMPORTANCIA		
		MIKEL	JESÚS	ALEJANDRO
1	Consumo de mano de obra in-situ	1	1	1
2	Nivel de prefabricación	3	5	3
3	Tiempo de ejecución	2	2	2
4	Complejidad técnica de labores logísticas	4	4	5
5	Complejidad técnica de labores de ejecución	5	3	4

IMPORTANCIA	FACTOR
100	Consumo de mano de obra in-situ
90	Tiempo de ejecución
80	
70	Nivel de prefabricación
60	
50	Simplicidad técnica de labores de ejecución
40	Simplicidad técnica de labores logísticas
30	
20	
10	
0	
0	

RESUMIR LOS ATRIBUTOS DE CADA ALTERNATIVA

Por resumir los atributos de cada alternativa, se entiende la concreción de las características cuantitativas y/o cualitativas de cada alternativa, para cada factor definido. Por ejemplo, si un factor considerado en un caso específico es “densidad”, el atributo es el valor de densidad de cada alternativa.

REALICE LA EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS, EN FUNCIÓN DE LOS ATRIBUTOS Y FACTORES DEFINIDOS (IMPORTANCIA TÉCNICA)

La evaluación comparativa de las alternativas consiste en definir la alternativa que posee ventaja frente a las demás, en lo relacionado a un factor específico, en función de los criterios definidos. Por ventaja, se entiende la diferencia beneficiosa entre los atributos de dos alternativas.

Asigne un valor de importancia a la alternativa que posee la ventaja en el factor considerado. El valor de importancia asignado se corresponde con el lugar definido en la escala de importancia para dicho factor.

FACTOR (CRITERIO)	ALTERNATIVA 1 (A1)		ALTERNATIVA 2 (A2)		ALTERNATIVA 3 (A3)	
Factor 1 (Criterio 1)	Atributo Vent:	Imp:	Atributo Vent:	Imp:	Atributo Vent:	Imp:
Factor 2 (Criterio 2)	Atributo Vent:	Imp:	Atributo Vent:	Imp:	Atributo Vent:	Imp:
Factor 3 (Criterio 3)	Atributo Vent:	Imp:	Atributo Vent:	Imp:	Atributo Vent:	Imp:
Factor 4 (Criterio 4)	Atributo Vent:	Imp:	Atributo Vent:	Imp:	Atributo Vent:	Imp:
Factor 5 (Criterio 5)	Atributo Vent:	Imp:	Atributo Vent:	Imp:	Atributo Vent:	Imp:
Factor 6 (Criterio 6)	Atributo Vent:	Imp:	Atributo Vent:	Imp:	Atributo Vent:	Imp:
Factor 7 (Criterio 7)	Atributo Vent:	Imp:	Atributo Vent:	Imp:	Atributo Vent:	Imp:
TOTAL						

DEFINIR LA ESCALA DE IMPORTANCIA DE LOS FACTORES

ALTERNATIVAS	COSTO INICIAL	COSTO OPERATIVO
Alternativas 1		
Alternativas 2		
Alternativas 3		

DEFINICIONES

Los siguientes son los términos base del método Choosing by Advantages (CBA) (Paz Arroyo, 2014):

- **Alternativa:** Dos o más personas, cosas o planes, de los cuales uno debe ser elegido.
- **Factor:** Elemento, parte o componente de una decisión.
- **Criterio:** Cualquier estándar en el que se basa un juicio deseado o exigido.
- **Atributo:** Característica, cantidad o cualidad de una alternativa.
- **Ventaja:** Diferencia beneficiosa entre los atributos de dos alternativas.

7. Diseño

- **Objetivo:** Desarrollar el diseño del proyecto industrializado

USO DE UN MODELO DE CONSTRUCCIÓN VIRTUAL PARA INDUSTRIALIZAR EN UN PROYECTO

- Cuando planteamos la “*intención*” de industrializar partidas de construcción debemos pensar en el modelo BIM como un habilitante para la toma de decisiones sobre industrializar o prefabricar. El desarrollo de un proyecto en etapa de diseño normalmente no considera una mirada constructiva, esto dificulta la posibilidad de hacer análisis prácticos para buscar soluciones industrializadas. El proyecto modelado desde un inicio del diseño considerando las partidas constructivas del mismo van a permitir tener una mirada holística de la futura ejecución del proyecto, y esto a su vez permitirá buscar soluciones o plantear nuevas ideas para resolver la partida ya sea off-site o in-situ pero a un nivel de construcción y montaje en obra. Para esto son 8 puntos los que deben ser estudiados y analizados una vez que se tenga modelado a nivel constructivo el proyecto de Arquitectura.

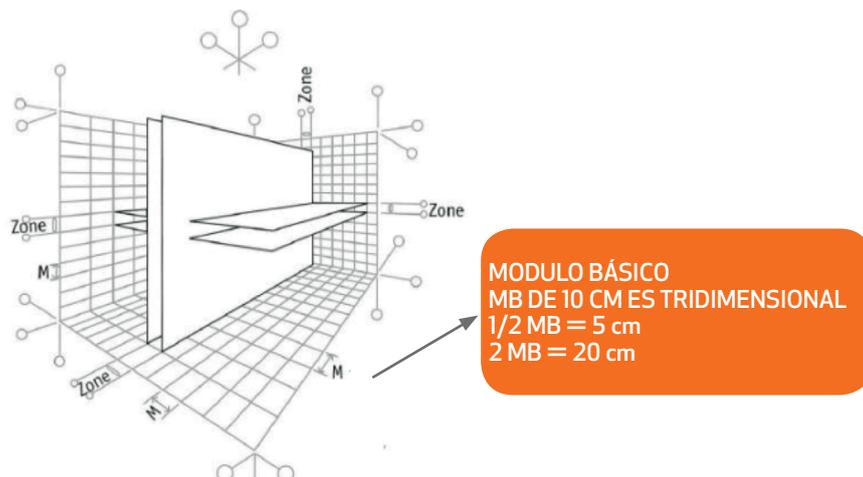
- **Apuntar a la producción seriada:** El proyecto va a tener varias repeticiones de zonas, por ejemplo, los tipos de baños, los tipos de departamentos, las terrazas, las cocinas, etc. Estos deben ser analizados en el modelo buscando cual es la cantidad de repeticiones.
- **Definir los procesos constructivos (partidas):** Teniendo en cuenta las repeticiones de una zona, se debe hacer una revisión de todas las partidas concatenadas, esto permitirá poder revisar y analizar el proceso de ejecución de esta zona ya que el modelo mostrará las partidas imprescindibles y se podrá determinar cuáles partidas secundarias pueden ser descartadas o prefabricadas.
- **Estandarizar el producto o zona:** la estandarización busca que el producto definido se pueda simplificar y busca que en todo el proyecto estas partidas estén estandarizadas.
- **Definir los tiempos de desarrollo:** Cuando las partidas son estandarizadas se puede tener claro cuál es el tiempo que requerirá la ejecución de esta, esto permite en el modelo poder revisar los tiempos de ejecución y medirlos.
- **Establecer un orden de producción:** dentro del modelo se puede ver cuál es la partida anteriormente construida y cuál es la siguiente a construir por eso en este paso es bueno definir el orden de actividades, como un ejemplo claro cuando nosotros decidimos industrializar tabiques, sabemos que primero debemos tener la O.G. ejecutada, pero en el modelo podemos revisar qué partidas van posterior a la O.G. y que se ejecutan o afectan a la partida de tabiques.
- **Disminuir los reprocesos:** En este punto se analiza lo que está modelado por cada partida y se revisa el proceso completo para buscar en conjunto los procesos que normalmente se deben rehacer o re-ejecutar por el sistema constructivo que se usa.
- **Realizar una revisión preventiva:** Cuando el modelo cuenta con toda la información del producto industrializado se puede revisar que no falte ningún elemento o que no se esté ocupando más material del realmente necesario.
- **Garantizar la condición de satisfacción:** La revisión de un modelo BIM que puede considerar ejecución, tiempos, costos y procesos permite al equipo de obra una garantía de lo que se va a ejecutar posteriormente, esta es una garantía de que si la zona o producto se ejecuta siguiendo los pasos anteriores el resultado será el esperado al minuto de la ejecución real, levantando los requerimientos y tolerancias necesarias para que exista un flujo continuo en el proyecto.

A continuación, se agregan los 8 puntos en un diagrama:



8. Evaluación diseño

- Objetivo:** Evaluar, según los objetivos propuestos en un principio, cual es el nivel de modulación, estandarización y su impacto en la tecnología constructiva que resulta de las decisiones tomadas en la etapa de diseño.
- Directriz:** Evaluar el diseño a partir de una herramienta simplificada que permita determinar el nivel de modulación de los componentes de la construcción, el nivel de estandarización del diseño y la tecnología constructiva utilizada para la ejecución del proyecto, cada uno de los indicadores deberían ser establecidos como metas en las etapas anteriores, de manera que los resultados de la evaluación guíen al equipo de trabajo en sus iteraciones.
- Fundamentos:** La coordinación modular exige que las dimensiones de los componentes del edificio estén relacionadas entre sí, es decir, coordinadas tridimensionalmente (Ejes X, Y, Z), a través de su unidad de medida y factor numérico denominado como "MÓDULO". A nivel nacional el Módulo Básico está basado en 10 cm desde 1955, pero también se utiliza el BS actualmente que funciona en Pulgadas y sus múltiplos.



Las ventajas que proporciona la coordinación modular (IDIEM 2018), se encuentran:

- Los componentes producidos en rangos de tamaños normalizados se pueden intercambiar, cualquiera sea su materialidad o método de manufactura.
- Las operaciones in-situ se simplifican debido al dimensionamiento, trazado, posicionamiento y montaje racionalizado de los componentes.

FIGURA N°8: ESTANDARIZACIÓN DE MEDIDAS

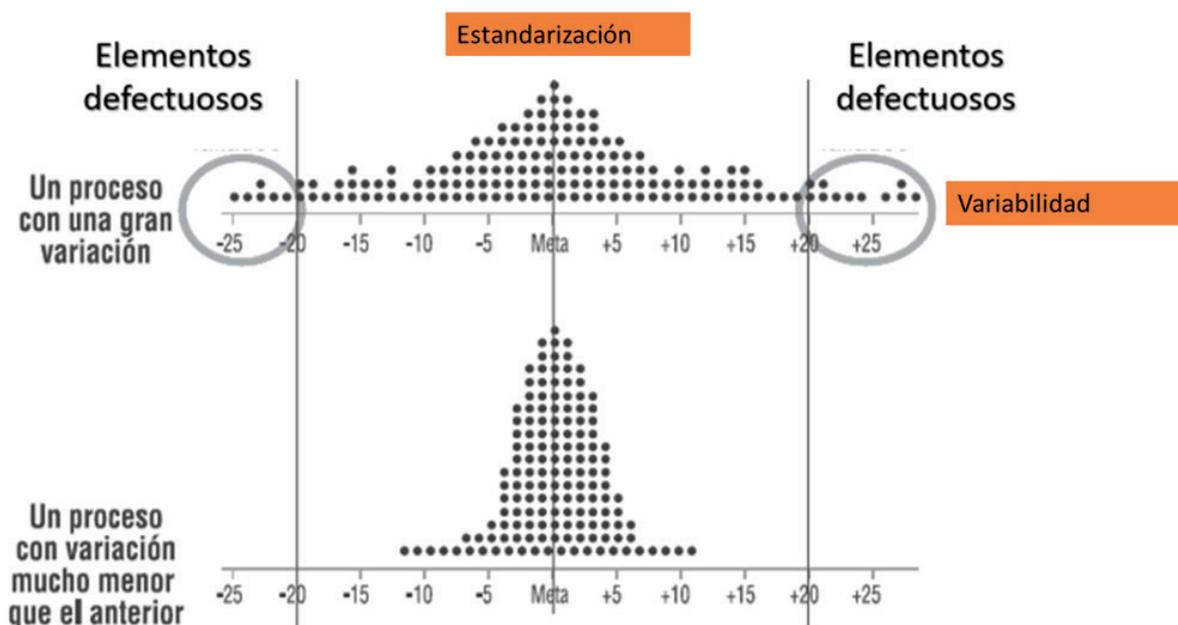


FIGURA N°9: ESTANDARIZACIÓN DE MEDIDAS



La estandarización del diseño es una estrategia de mejoramiento de constructividad que se fundamenta en el principio de reducción de variabilidad (Loyola, 2018). A mayor cantidad de características de diseño que respeten un mismo estándar o norma, menor variabilidad en la tarea de construcción asociada y mayor productividad, esto habilita la repetitividad, por lo tanto, la producción seriada y masiva.

FIGURA N°10: REDUCCIÓN DE VARIABILIDAD Y DEFECTOS A PARTIR DE LA ESTANDARIZACIÓN DE SOLUCIONES



METODOLOGÍA DE CÁLCULO

A continuación, se explica el método para determinar cada uno de los indicadores propuestos.

- **Indicador del componente modular**

Se refiere a cuántas son las medidas tridimensionales (Ejes X, Y, Z) de los elementos existentes en el diseño que utilizan el Módulo Básico de 10 cm y sus múltiplos.

Para el estándar Británico se usarán pulgadas y sus múltiplos.

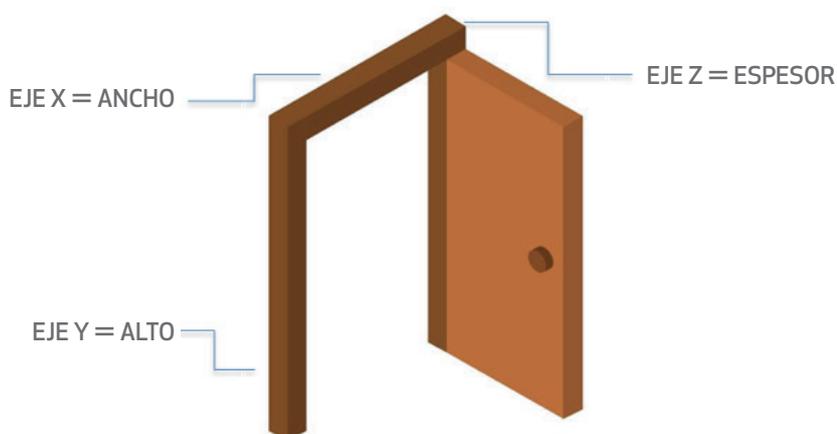
Definición del indicador:

$$\text{Indicador} = \frac{(MM_x + MM_y + MM_z)}{(MNM_x + MNM_y + MNM_z) * 10}$$

MM= Medida Modular, definida en base al Módulo Básico utilizado MB, sus divisores y múltiplos.

MNM= Medida No Modular, es decir, NO respeta el módulo básico, en sus divisores y múltiplos.

TABLA N°3: EVALUACIÓN PROPUESTA PARA DETERMINAR EL NIVEL DE MODULACIÓN DEL DISEÑO



INDICADOR DEL COMPONENTE MODULAR (PARA ISO EN 10 CM Y PARA BS EN PULGADAS)					
	COMPONENTE	EJE	MM	MNM	INDICADOR
	PUERTA	X	1		0,2
		Y	1		
		Z	0		
CÓDIGO	PA0001	TOTAL	2	2	

• **Indicador de estandarización de los componentes**

Se refiere a una evaluación simplificada de los componentes y sus tipologías, donde a mayor cantidad de tipologías es mayor la variabilidad de partes y piezas, por lo que es más difícil la estandarización, es decir aunar características, dimensiones, proceso constructivo y/o de fabricación de elementos y componentes en un proyecto.

Definición del indicador por elemento:

$$\text{Indicador} = \frac{PCM}{CT}$$

PCM= Promedio componente modular

CT= Cantidad de Tipologías del componente

Definición del indicador promedio de los elementos:

$$\text{Indicador} = \frac{(\sum PM) / CEE}{CT}$$

PCM= Promedio componente modular

CT= Cantidad de Tipologías del componente

CEE= Cantidad de elementos evaluados

TABLA N° 4: EVALUACIÓN PROPUESTA PARA DETERMINAR EL NIVEL DE ESTANDARIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS



PANELIZADO PUERTAS VENTANAS

MOBILIARIO



MODULO TRIDIMENSIONAL

INDICADOR DE ESTANDARIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS				
CANTIDAD DE ELEMENTOS EVALUADOS (5)	PROMEDIO COMPONENTE MODULAR (PCM)	CANTIDAD DE TIPOLOGÍAS (CT)	ESTANDARIZACIÓN POR COMPONENTE (PCM/CT)	ESTANDARIZACIÓN PROMEDIO DEL PROYECTO (PCM/CT/CEE)
1 PUERTA				0,2
2 VENTANAS				
3 MOBILIARIO				
4 MURO PANELIZADO				
5 MODULO HABITABLE TRIDIMENSIONAL				

• **Indicador de Modulaci3n del recinto**

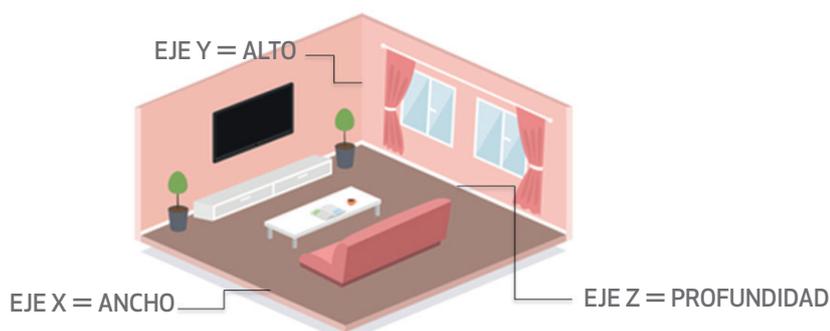
Se refiere a cu3ntas son las medidas tridimensionales existentes (Ejes X, Y, Z) en el dise1o en planta y en elevaci3n (espacio habitable) utilizan el M3dulo B3sico.

Definici3n del indicador por recinto:

$$\text{Indicador} = \frac{(MM_x + MM_y + MM_z)}{(MNM_x + MNM_y + MNM_z) * 10}$$

MM= Medida Modular, definida en base al M3dulo B3sico utilizado MB, sus divisores y m3ltiplos.

MNM= Medida No Modular, es decir NO respeta el m3dulo b3sico, en sus divisores y m3ltiplos.



INDICADOR DEL RECINTO MODULAR (PARA ISO EN 10 CM Y PARA BS EN PULGADAS)					
	RECINTO	EJE	MM	MNM	INDICADOR
	ESTAR	X	1	0	0,2
		Y	1	0	
		Z	0	1	
C3DIGO	E0001	TOTAL	2	1	

• **Indicador de Estandarizaci3n Recintos**

El nivel de estandarizaci3n del dise1o se refiere a una evaluaci3n simplificada de cantidad de departamentos y pisos tipo, donde a mayor cantidad de tipolog3as es mayor la variabilidad del dise1o por lo que es m3s dif3cil la estandarizaci3n, es decir aunar caracter3sticas, dimensiones, proceso constructivo y/o de fabricaci3n de elementos y componentes en un proyecto.

Definición del indicador por recinto:

$$\text{Indicador} = \frac{\text{PMR}}{\text{CT}}$$

PMR= Promedio de modulación de recintos

CT= Cantidad de Tipologías

Definición del indicador promedio de los recintos:

$$\text{Indicador} = \frac{(\sum \text{PMR}) / \text{CEE}}{\text{CT}}$$

PMR= Promedio de modulación de recintos

CT= Cantidad de Tipologías del componente

CEE= Cantidad de elementos evaluados



INDICADOR DE ESTANDARIZACIÓN DE RECINTOS				
CANTIDAD DE ELEMENTOS EVALUADOS (6)	PROMEDIO MODULACIÓN DEL RECINTO (PMR)	CANTIDAD DE TIPOLOGÍAS (CT)	ESTANDARIZACIÓN POR TIPO DE RECINTOS (PCM/CT)	ESTANDARIZACIÓN PROMEDIO DEL PROYECTO ((\sum PCM/CT)/CEE)
1 BAÑO				0,2
2 COCINA				
3 COMEDOR				
4 ESTAR				
5 DORMITORIO				
6 CLOSET				

- **Indicador de Edificabilidad o Diseño edificable**

El concepto de “*Edificabilidad*” se inventó en el Reino Unido durante las décadas de 1960 y 1970, cuando la asociación de Información e Investigación de la Industria de la Construcción (CIRIA, 1983) definió:

“La edificabilidad es la medida en que el diseño de un edificio facilita la construcción, sujeto a los requisitos generales del edificio terminado”.

El sistema de evaluación de “*Diseño Edificable*” según la BCA de Singapur tiene como objetivo la medición de eficiencia y productividad basado en 3 pilares principales:

1. Sistemas estructurales.
2. Sistemas de muros.
3. Tecnologías de diseño para fabricación y ensamblaje.

Se debe realizar un análisis comparativo entre las soluciones tipo tradicional y la propuesta industrializada tomando en cuenta principalmente, la reducción de plazos, costos y mano de obra in-situ.

Plan de trabajo y rendimiento para una solución tradicional NO industrializada:

- Plazo total (diagrama de hitos y Gantt en semanas).
- Cantidad de máquinas y herramientas en obra para edificación tradicional.
- Cantidad de participantes en obra para edificación tradicional.
- Costo total (Uf/m²).
- Cantidad de residuos generados teóricamente (0,35m³* cada m² de proyecto).

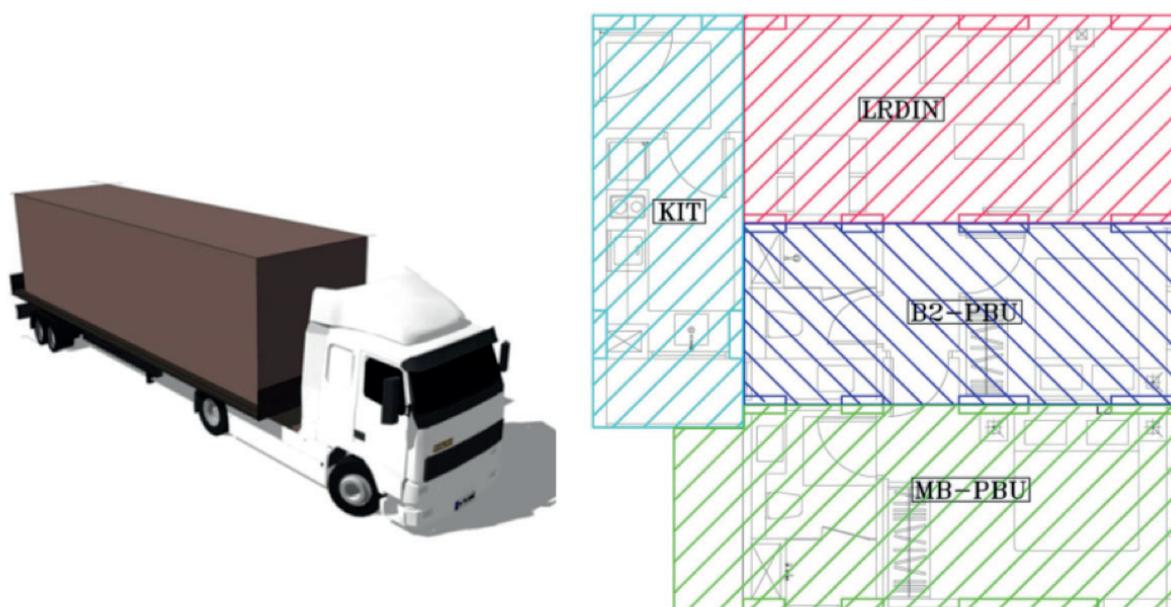
Plan de trabajo y rendimiento para la solución Industrializada propuesta pudiendo ser panelizados o modulares según defina el equipo de trabajo, buscado la reducción de:

- Plazo total (diagrama de hitos y Gantt en semanas).
- Cantidad de máquinas y herramientas en obra para edificación.
- Cantidad de participantes en obra para Montaje.
- Costo total (Uf/m²).
- Cantidad de residuos generados a botadero autorizado.

- **Módulo de transporte**

Se debe analizar la configuración vial existente alrededor del sitio para maniobrar y sujetar los módulos. Las entregas deben planificarse y coordinarse para evitar la congestión fuera del sitio, especialmente en áreas urbanas construidas.

Referencia 2,5m Ancho * 6m Largo * 2,5m Alto (Volumen para estibación y transporte).



- **Nivel de Innovación Tecnológica en la construcción**

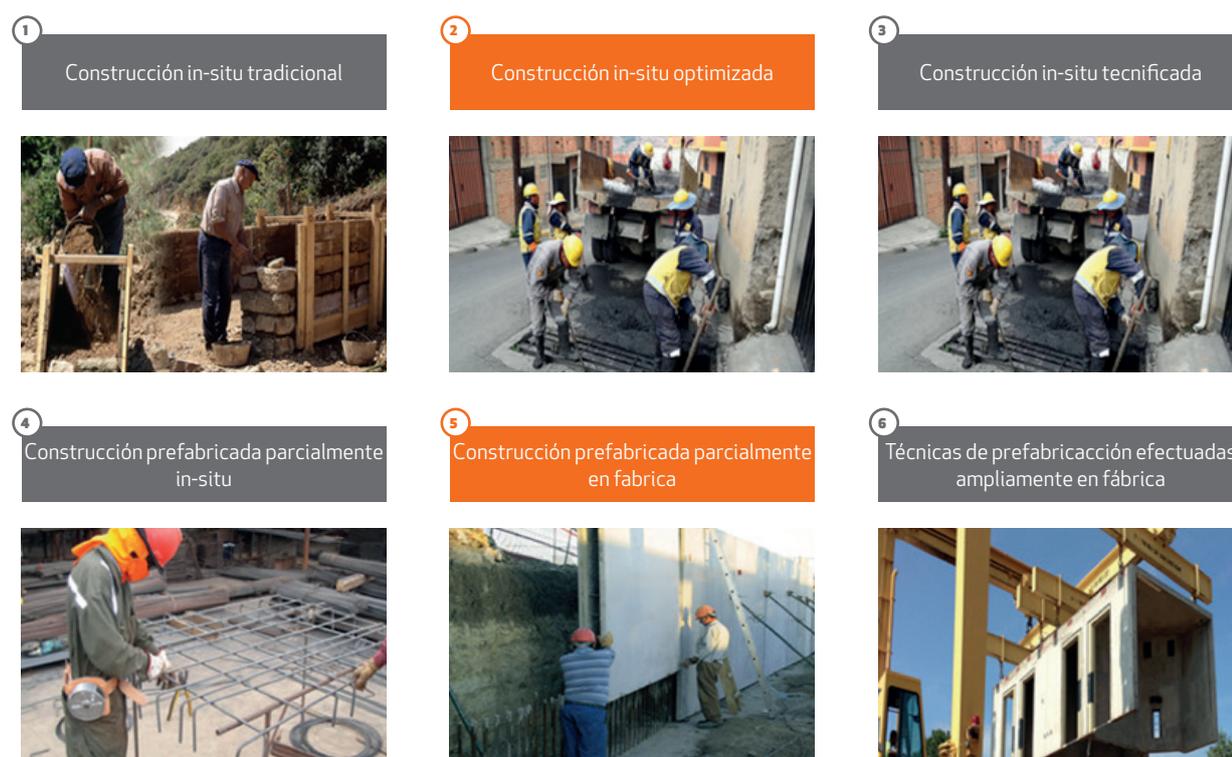
El nivel de innovación tecnológica para la construcción está determinado principalmente por la etapa de diseño y los sistemas constructivos seleccionados por el consultor responsable, es posible que la empresa constructora pueda determinar algunos factores que mejoren la eficiencia, por ejemplo, el uso de elementos prefabricados para ensamblaje en terreno, lo cual disminuye notablemente la mano de obra, plazos de ejecución, costos y externalidades ambientales.

FIGURA N°11: ANTECEDENTES A RECOPILAR



Para poder determinar el nivel de tecnologías utilizadas en las operaciones de construcción Virgilio Ghio (1997) propone diferentes etapas de innovación tecnológica en la construcción, desde la construcción in-situ hasta la construcción ampliamente industrializada, donde los niveles avanzan progresivamente rescatando lo mejor de las distintas etapas anteriormente avanzadas y descritas a continuación:

FIGURA N°12: NIVELES DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN LA CONSTRUCCIÓN



1. Construcción In-Situ Tradicional

Esta técnica descansa, en gran medida, en el uso extensivo de mano de obra. Y en la destreza de los obreros para desarrollar labores artesanales. En este sentido, Serpell (1995) clasifica las pérdidas relativas al nivel de actividad de la mano de obra en dos categorías principales:

- **Inactividad:** tiempo de espera, tiempo de espera por método, viajes, descanso, necesidades fisiológicas.
- **Trabajo inefectivo:** trabajo rehecho, trabajo lento, trabajo “inventado”.

2. Construcción In-Situ Optimizada

Se caracteriza por presentar una mejora mediante el enfoque de reducción de pérdidas en los procesos, mediante la optimización del diseño, planificación y control de los procesos de transformación, flujo y valor (Orihuela, 2008).

Se medirán los siguientes niveles:

- Análisis de los métodos constructivos.
- Control de calidad en obra.
- Medición de rendimientos.
- Existencia de capacitaciones.
- Existencia de bonificaciones a los trabajadores o profesionales por cumplimiento de objetivos a metas a plazo por partida, calidad u otros.

3. Construcción In-Situ Tecnificada

Se caracteriza porque adicionalmente incorpora el uso de herramientas livianas, equipos especiales, materiales innovadores y mano de obra tecnificada (Orihuela, 2008)..

- El proyecto contempla uso de maquinarias y herramientas livianas tales como: Atornilladores, Martillo Neumático, Sistema de perforación y percusión, Esmeriladoras, Sierra eléctrica.
- El proyecto contempla Equipos de transporte y montaje de materiales tales como: Horquillas, Grúa Torre para izar cargas o contenedores, función de montaje, movimiento e izaje de materiales, Levantar carga moderadas, elevar y trasladar cargas verticales o también Grúas pórtico.
- El proyecto contempla moldajes modulares por su funcionalidad: Moldajes modulares, Moldajes monolíticos, Moldajes de una sola fase (túneles), Moldajes deslizantes.
- Contempla andamios: Andamios colgantes con vigas, andamios colgantes construidos en base a una estructura metálica.
- Utilización de materiales innovadores como Hormigones especiales, materiales provenientes de desechos industriales, Polímeros con compuestos poliméricos.
- Existe un encargado de calidad interno y externos, además la empresa se rige bajo la ISO 9001, registro y evaluación para el mejoramiento de los procesos conducidos in-situ.
- Existe la utilización del BIM en esta etapa.
- Existe un encargado de prevención de riesgos.
- La mano de obra está acreditada en cuanto a sus competencias técnicas

4. Construcción Parcialmente Prefabricada In-Situ:

Se caracteriza por la prefabricación de ciertos elementos al pie de obra, lo cual no implica grandes inversiones de capital (Orihuela, 2008)..

- Existen elementos prefabricados, así como también módulos prefabricados.
- Existe estandarización en cuanto a las medidas.
- Hay un seguimiento y control de residuos.
- La participación de mano de obra en el sitio se ha reducido notablemente.
- BIM es una herramienta de gestión de la construcción.

5. Construcción Parcialmente Prefabricada en Fábrica:

Se caracteriza por la elaboración de componentes en una fábrica, los cuales después son transportados al sitio para ser incorporados a la obra (Orihuela, 2008)..

- Existen elementos prefabricados, así como también módulos prefabricados.
- Existe estandarización en cuanto a las medidas.
- Hay un seguimiento y control de residuos.

6. Construcción Ampliamente Industrializada:

Se caracteriza por limitar la mano de obra en el terreno al mínimo necesario para montajes, confiando a la fábrica una mayor parte de elementos producidos con técnicas tecnológicamente industrializadas (Orihuela, 2008)..

- Existencia de prefabricación en 2D (estructuras planas) o 3D (estructuras tridimensionales) o módulos integrados completamente.
- El uso de BIM/ VDC está completamente integrado a la gestión de la construcción.
- **Prefabricación:** Fabricación de una parte de la estructura final en un sitio diferente al de su posición definitiva (Novas, 2010).
- **Pre ensamblaje:** Proceso de prefabricación de una unidad compuesta de varios elementos principales (Novas, 2010).
- **Modularización:** Proceso final que da como resultados una unidad o módulo funcional completo que comprende estructuras, equipos, instrumentos y terminaciones, de tal modo, que en la práctica está en condiciones de ser trasladada a su lugar final para ser conectada con el sistema constructivo (Novas, 2010).
- **Automatización:** La edificación está siendo desarrollada en plantas automatizadas con altos estándares de productividad, sustentabilidad y calidad, en entornos controlados basados en tecnologías de industria 4.0 (Novas, 2010).

TABLA N°5: CUADRO RESUMEN PARA DETERMINAR EL NIVEL INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

Nivel 1	Actividad
Nivel 1	Trabajadores
Nivel 2	Actividad
Nivel 2	Análisis de los métodos constructivos
Nivel 2	Análisis del diseño edificable
Nivel 2	Control de calidad en obra
Nivel 2	Planificación
Nivel 2	Medición de rendimientos
Nivel 2	Control de inventario
Nivel 2	Existen capacitaciones, charlas, entre otros.
Nivel 2	Existe bonificación a los trabajadores
Nivel 3	Actividad
Nivel 3	Mecanización
Nivel 3	Implementación de BIM
Nivel 3	Digitalización de la construcción
Nivel 3	Software de gestión
Nivel 3	Planificación diaria y semanal
Nivel 3	Tecnología constructiva
Nivel 3	Prevención de riesgos
Nivel 3	Moldajes
Nivel 3	Andamios
Nivel 4	Actividad
Nivel 4	Prefabricación de armaduras in-situ
Nivel 4	Taller de fabricación de armaduras en obra
Nivel 4	Elementos premoldeados
Nivel 4	Elementos precortados
Nivel 4	Análisis de tecnología constructiva
Nivel 4	Control de residuos
Nivel 4	Sistema constructivo "Tilt-up"
Nivel 5	Actividad
Nivel 5	Prefabricación de paneles y otros elementos
Nivel 5	Prefabricación de módulos
Nivel 5	Estandarización
Nivel 5	Análisis de innovación
Nivel 5	Separación de residuos
Nivel 6	Actividad
Nivel 6	Prefabricación
Nivel 6	Modularización
Nivel 6	Preensamblaje
Nivel 6	Automatización

• **Indicador de Constructabilidad**

Se refiere a un método de optimización de uso de recursos orientado a beneficiar al contratista en la ejecución y reducir incertidumbres al mandante en la etapa de operación, este recoge los conocimientos acumulados para lograr la mejor manera de ejecutar una obra, implicando la retroalimentación hacia la etapa de diseño y la mirada hacia la operación y mantenimiento, donde todos los participantes se alinean en función de la productividad de una obra. Loyola (2010), hace la diferencia con el concepto de Constructividad, el cual se resume en la siguiente figura:

FIGURA N°13: CONSTRUCTIVIDAD VS CONSTRUCTABILIDAD

CONSTRUCTIVIDAD	CONSTRUCTABILIDAD
Atributo del diseño	Enfoque de administración
Se define en la etapa de diseño	Involucra a todas las etapas del proyecto
Depende principalmente de los arquitectos, ingenieros y otros diseños	Depende principalmente de los administradores de proyecto y de los constructores
Ambas tienen como propósito lograr la facilidad de construcción a fin de optimizar los recursos productivos y cumplir con los objetivos de proyectos de la forma más eficiente posible.	

Instituto de la Industria de la Construcción (Construction Industry Institute, 1986) define, en 1986, la constructabilidad como:

“La constructabilidad es un sistema para lograr una integración óptima del conocimiento y experiencia en construcción en la planificación, diseño, logística y operaciones de obra para alcanzar todos los objetivos del proyecto”.

El sistema de evaluación de “Constructabilidad” según la BCA de Singapur tiene como objetivo la medición de eficiencia y productividad basado en 3 pilares principales:

- Sistemas Estructurales:
 - Sistemas de acceso externo.
 - Sistemas de moldajes.
 - Sistemas estructurales innovadores.
- Sistemas Arquitectónicos, Mecánicos, Eléctricos y de Plomería.
- Buenas Prácticas de la Industria.

Se deberá realizar una evaluación en cuanto a la reducción de Plazos y costos totales a partir de los 3 pilares enunciados anteriormente.

FASE DE CONSTRUCCIÓN

9. Evaluación KPI 's

Objetivo: Evaluar KPI's en la etapa de construcción para verificar coherencia con el diseño del proyecto industrializado.

Para este paso es necesario revisar el Set de indicadores para medir la construcción industrializada desarrollado por el CCI en el siguiente [enlace](#).

Este set de indicadores desarrollados permite medir las ventajas en cuando a productividad y sustentabilidad en obras de construcción en las que se utilice partidas de sistemas constructivos, elementos prefabricados y/o herramientas de gestión, de tipo industrializado, frente a obras que se realizan bajo sistemas tradicionales de construcción.



- Abueisheh, Q., Manu, P., Mahamadu, A. M., & Cheung, C. (2020). Design for safety implementation among design professionals in construction: The context of Palestine. *Safety Science*, 128(March), 104742. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104742>
- Arditi, D., & Mochtar, K. (2000). Trends in productivity improvement in the US construction industry. *Construction Management and Economics*, 18(1), 15–27. <https://doi.org/10.1080/014461900370915>
- Bing, L., Yip, W. K., & Khoo, J. H. (1992). Seismic Behaviour of Connections Between Precast Concrete Elements. Department of Civil Engineering, PhD Disser(15), 412.
- Gao, S., Low, S. P., & Nair, K. (2018). Design for manufacturing and assembly (DfMA): a preliminary study of factors influencing its adoption in Singapore. *Architectural Engineering and Design Management*, 14(6), 440–456. <https://doi.org/10.1080/17452007.2018.1502653>
- Gosling, J., Pero, M., Schoenwitz, M., T., R., D., & Cigolini, R. (2016). Defining and categorizing modules in building projects: An international perspective. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Hasan, A., Baroudi, B., Elmualim, A., & Rameezdeen, R. (2018). Factors affecting construction productivity: a 30 year systematic review. In *Engineering, Construction and Architectural Management* (Vol. 25, Issue 7, pp. 916–937). Emerald Group Holdings Ltd. <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2017-0035>
- Jesús Ortega. (2022). Impacto de Barreras Presentes en la Adopción de la Construcción Fuera de Sitio en Chile.
- Kamali, M., & Hewage, K. (2017). Development of performance criteria for sustainability evaluation of modular versus conventional construction methods. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3592–3606. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.108>
- Koskela, L. (2003). Is structural change the primary solution to the problems of construction ? Is structural change the primary solution to the problems of construction ? January 2015, 37–41. <https://doi.org/10.1080/09613210301999>
- Matrix Consulting. (2020). Estudio de Productividad.
- Novas, Joel (2010). Sistemas constructivos prebriados aplicables a la construcción de edificaciones en países en desarrollo
- Peng, C. S. (1986). The scenario of industrialised building systems in Malaysia. UNESCO/FEISEAP Regional Workshop.
- Rashidi, A., & Ibrahim, R. (2017). Industrialized Construction Chronology: The Disputes and Success Factors for a Resilient Construction Industry in Malaysia. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 11(1), 286–300. <https://doi.org/10.2174/1874836801711010286>
- Tam, V. W. Y., & Tam, C. M. (2006). A review on the viable technology for construction waste recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 47(3), 209–221. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.12.002>
- Valladares, R. (2021). Informe Sector Construcción e Inmobiliario.

- Warszawski, A. (2003). Industrialized and Automated Building Systems. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203223697>
- Zaccarelli, O. (2019). Industrialización sin Industria: Prefabricación sin fábrica (Editorial Académica Española, Ed.).
- Zaini, O. (2000). Malaysian construction industry: challenges and demands. In Malaysian Structural Steel Association Convention.
- Zhu, L., Shan, M., & Hwang, B.-G. (2018). Overview of Design for Maintainability in Building and Construction Research. Journal of Performance of Constructed Facilities, 32(1), 04017116. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cf.1943-5509.0001116](https://doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0001116)
- Zilic, F., Elissetche, J. P., & Hernandez, V. (2019). Manufactura Avanzada Para La Construcción En Madera. www.polomadera.cl
- Building and Construction Authority (2017), Code of Practice on Buildability. Singapur. Disponible en: www1.bca.gov.sg/about-us/news-and-publications/publications/codes-acts-and-regulations.
- CII (1990-1992), Constructability Implementation, Obtenido de: www.construction-institute.org/resources/knowledgebase/best-practices/constructability/topics/rt-034.
- Echeverría Izquierdo (2019), Índice de Constructabilidad, Guía del Usuario EIE. Santiago, Chile.
- GÓMEZ GALLEGOS, F. (2012), Análisis y diagnóstico de los componentes de la constructabilidad y evaluación para su aplicabilidad en Chile. Universidad Austral de Chile. Obtenido de: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/bmfcig633a/doc/bmfcig633a.pdf>.
- CCHC (2020), Estudio de productividad: Impulsar la productividad de la industria de la Construcción en Chile a estándares mundiales. Santiago, Chile.
- DAVID W CHEETHAM y JOHN K LEWIS. (2004), Productivity, Buildability and Constructability: Is work study the missing link? School of Architecture and Building Engineering, University of Liverpool, Liverpool, UK.
- FRANKY W.H. WONG, PATRICK T.I LAM, EDWIN H.W. CHAN y L.Y SHEN (2006), A study of measures to improve constructability, Department of Building and Real Estate, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong.
- Informe Final Programa Estratégico Nacional Construye 2025 CORFO PMG
- LOYOLA, Mauricio y GOLDSACK, Luis. Constructividad y Arquitectura, 2010
- Reinventing construction: A route to higher productivity, McKinsey Global Institute. Estudio que busca facilitar una comprensión profunda de la evolución de la economía mundial, de sus principales desafíos y oportunidades.
- ZOLFAGHARIAN S., NOURBAKHS M., HUSSEIN MYDIN S., MOHAMAD ZIN R. y IRIZARRY J. (2012), A Conceptual Method of Constructability Improvement, LACSIT International Journal of Engineering and Technology, Vol. 4, No. 4.

METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA



SECRETARÍA EJECUTIVA



PATROCINADOR

