



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE MATERIAL LIGERO DENTRO DE UNA OBRA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PATRICIO ANTONIO HEVIA VEGA

PROFESOR GUÍA:

OSCAR SOTOMAYOR LILLO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

JORGE PULGAR ALLENDES

DAVID CAMPUSANO BROWN

SANTIAGO DE CHILE

2021

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
POR: **PATRICIO ANTONIO HEVIA VEGA**
FECHA: 19/01/2021
PROF. GUÍA: OSCAR SOTOMAYOR LILLO

AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE MATERIAL LIGERO DENTRO DE UNA OBRA

La construcción industrializada está llegando a Chile y para quedarse, empresas como BauMax y MultiAceros están siendo pioneras en las nuevas tecnologías de construcción que involucran elementos prefabricados, principalmente de hormigón armado y acero estructural. Pero la construcción industrializada no solo se puede implementar para elementos estructurales, sino también para todo tipo de elementos de material liviano, como ventanas, tabiquerías, puertas, instalaciones y mobiliario.

Actualmente en Chile, no existen empresas que realicen elementos prefabricados de material ligero de forma automatizada, por ello, este trabajo busca dar a conocer los diferentes procesos y las tecnologías involucradas para la correcta implementación de prefabricados no estructurales, para poder así, sacar el máximo de beneficios que conlleva su implementación, tales como, mayor precisión en los plazos y una reducción de estos, menores costos, mayor calidad de terminaciones, menor cantidad de residuos, mejor calidad de empleos, aumento de capacidad de obras en simultaneo, entre muchos otros.

El estudio se divide principalmente en un marco teórico donde se detallan todos los conceptos importantes que se deben conocer previo a la implementación, metodologías BIM, sistemas de medición, sistemas de etiquetados, estándares, maquinarias CNC y softwares BIM, que se pueden utilizar durante el proceso constructivo. Luego, se realiza una guía de implementación con la experiencia adquirida por la lectura bibliográfica y con lo investigado de empresas chilenas que están comenzando a implementar sistemas de prefabricados. En esta guía se detallan aspectos relacionados con el diseño, que incluye los Niveles de Información requeridos en los modelos, nomenclatura de archivos, sistemas de clasificación, gestión documental, entre otros. Continúa con el sistema de medición de obra gruesa a través de un escáner láser y sus recomendaciones a la hora de realizar la medición y generación de modelos As-Built, los cuales, detallan las mediciones reales construidas. También se profundiza en los sistemas de comunicación de la información, en especial con los proveedores, a los cuales se recomienda enviar la información con planillas estandarizadas, como COBie y modelos en formato IFC. Para entender el proceso de fabricación fuera de obra, se muestra un ejemplo del proceso constructivo en fábrica de una ventana de PVC realizada en la fábrica española de Bersa PVC. Finalmente, se dan recomendaciones para el proceso de logística, transporte, montaje y operación.

Por último, se realizan algunas estimaciones generales de costos y beneficios que puede dar como resultado de la implementación de procesos constructivos automatizados de material ligero, dando como resultado la recuperación de la inversión en aproximadamente un año y trayendo un sinnúmero de mejoras en la construcción.

Con mucho cariño para mi familia y las futuras generaciones.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a mis padres Irelba Vega Fajardo y Patricio Hevia Rojas por otorgarme todas las herramientas y el apoyo necesario para terminar mis estudios.

Agradecer a todos mis familiares que estuvieron siempre presentes en este largo proceso, especialmente a mis abuelitas Marina Rojas y Juana Fajardo que fueron un apoyo fundamental a lo largo de toda la carrera y mis hermanas Jaqueline Hevia y Constanza Hevia.

Agradecer a mis amigos de la infancia y colegio que siempre estuvieron presentes diciéndome como dar el siguiente paso y nunca perder el camino, Diana Salfate, Roberto Ábalos, Pablo Zamora y Felipe Salamanca.

Agradecer Oscar Sotomayor Lillo por su disposición a trabajar conmigo y orientarme en cómo hacer este trabajo, agradecer también a Mauricio Márquez por recibirme en la Unidad de Hospitales del DGC y a todo el personal de la mencionada.

Agradecer a Jorge Pulgar y David Campusano por su buena voluntad y disposición durante este proceso.

Finalmente, agradecer a todos mis amigos que forme durante este proceso en la ciudad de Santiago, ellos fueron un pilar muy grande para formarme como profesional y gracias a ellos cada día de este largo proceso estuvo siempre lleno de alegrías y sin ellos nada hubiera sido lo mismo, con especial mención a Gustavo Aracena, Karim Hizmeri, Felipe Contreras, Rafael Fernández e Ismael Alfaro.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.2	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3	OBJETIVOS GENERALES	3
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.5	ALCANCES	3
1.6	METODOLOGÍA DE TRABAJO	3
2	MARCO CONCEPTUAL	5
2.1	CONCEPTOS Y DEFINICIONES	5
2.1.1	CONCEPTOS GENERALES	5
2.1.2	CLASIFICACIONES DE MÓDULOS DE MATERIALES PARA PREFABRICACIÓN	9
2.1.3	SISTEMAS DE MEDICIÓN AUTOMATIZADA	10
2.1.3.1	Fotogrametría	10
2.1.3.2	Medición Laser	11
2.1.3.3	Medición ultrasónica	13
2.1.4	SOFTWARE	14
2.1.4.1	Tekla Structures	14
2.1.4.2	Autodesk Revit	15
2.1.4.3	ArchiCAD	16
2.1.4.4	Tricalc	17
2.1.4.5	OpenBuilding Designer	18
2.1.4.6	ProjectWise y ProjectWise365	18
2.1.5	MÁQUINAS CNC	19
2.1.5.1	Aplicaciones de las máquinas CNC	21
2.1.5.2	Tipos de máquinas CNC	21
2.1.6	PREFABRICADOS	23
2.1.6.1	Clasificación de los elementos prefabricados	24
2.1.6.2	Beneficios de los elementos prefabricados	25
2.1.7	IFC Y SISTEMAS DE ETIQUETAS	25
2.1.7.1	Sistemas de etiquetas	27
2.1.8	TECNOLOGÍA AIDC	27
2.2	CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA	28
2.2.1	CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA INTERNACIONAL	29
2.2.1.1	Vector Praxis	29
2.2.1.2	Design & Make (Timber Technologies)	30
2.2.2	CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA EN CHILE	31
2.2.2.1	Timber	31
2.2.2.2	Baumax	32
2.2.2.3	MultiAceros	33

3	IMPLEMENTACIÓN	34
3.1	DISEÑO	35
3.1.1	MODELOS BIM	35
3.1.2	DISEÑO MODULAR	36
3.1.3	COMUNICACIÓN	37
3.1.3.1	Nomenclatura	37
3.1.3.2	Sistemas de clasificación	38
3.1.4	GESTOR DE ARCHIVOS Y COORDINACIÓN DE PROYECTO	38
3.1.4.1	Gestor Documental GD-CES	39
3.1.4.2	ProjectWise	41
3.1.5	NDI	44
3.2	MODELO AS BUILT OBRA GRUESA	49
3.2.1	OBRA GRUESA PREFABRICADA	49
3.2.2	OBRA GRUESA CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL	49
3.2.2.1	Determinación de las posiciones óptimas del escáner láser	49
3.2.2.2	Determinación de las posiciones óptimas de los puntos de referencia	50
3.2.2.3	Toma de datos	50
3.2.2.4	Procesamiento de datos	51
3.2.3	ACTUALIZACIÓN ENTIDADES BIM	51
3.3	PREFABRICACIÓN	51
3.3.1	TRASPASO DE INFORMACIÓN AL PROVEEDOR	52
3.3.2	PREFABRICACIÓN	52
3.4	LOGISTICA Y TRANSPORTE	56
3.5	MONTAJE	57
3.6	OPERACIÓN	57
4	ANÁLISIS DE PRESUPUESTOS E IMPACTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN	59
4.1	ANÁLISIS DE PRESUPUESTOS	59
4.1.1	COSTO DE IMPLEMENTACIÓN	59
4.1.2	AHORRO EN OBRA	60
4.1.3	ANALOGÍA CON MUROS CORTINAS	61
4.2	IMPACTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN	63
5	CONCLUSIONES	69
6	BILBIOGRAFÍA	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Modelo final utilizando fotogrametría y photomodeler.....	11
Ilustración 2: Laser escáner 3D Leica RTC 360, en obra, referencial.	12
Ilustración 3: Medición ultrasónica, imagen referencial.....	13
Ilustración 4: Logo Tekla Structures.....	14
Ilustración 5: Logo Autodesk Revit.....	15
Ilustración 6: Logo ArchiCAD.....	16
Ilustración 7: Logo Tricalc.....	17
Ilustración 8: Logo OpenBuilding Designer.....	18
Ilustración 9: Logo de ProjectWise.....	19
Ilustración 10: Primera fresadora CNC creada en Cincinnati, MIT, 1955.....	20
Ilustración 11: Torno CNC Romi C 510.....	21
Ilustración 12: Fresadora ELECNC-1530.....	22
Ilustración 13: Enrutador CNC RKMB30.....	22
Ilustración 14: Cortadora de Plasma Hyzont Átomo Cut-8200.....	22
Ilustración 15: Impresora 3D BEM 1 PRO.....	23
Ilustración 16: Logo IFC.....	26
Ilustración 17: Logo Vector Praxis.....	29
Ilustración 18: Máquina CNC robotizada para soldar elementos de acero.....	30
Ilustración 19: Logo Design & Make.....	30
Ilustración 20: Brazo robótico CNC para el fresado en madera.....	31
Ilustración 21: Logo Timber.....	31
Ilustración 22: Máquina CNC para el procesamiento de madera.....	31
Ilustración 23: Logo Baumax.....	32
Ilustración 24: Casa prefabricadas de hormigón.....	32
Ilustración 25: Logo MultiAceros.....	33
Ilustración 26: GD-CES pestaña de búsqueda de documentos.....	39
Ilustración 27: GD-CES, información completa del documento.....	40
Ilustración 28: GD-CES, reporte de documentos.....	41
Ilustración 29: Diagrama de traspaso de información a través de ProjectWise.....	42
Ilustración 30: Ciclo de vida de un archivo.....	42
Ilustración 31: Trazabilidad en ProjectWise.....	43
Ilustración 32: Entorno de trabajo de ProjectWise.....	43
Ilustración 33: Computador.....	53
Ilustración 34: Etiquetado de elementos.....	53
Ilustración 35: Perfiles pasando a través del centro del mecanizado.....	54
Ilustración 36: Máquina fresadora CNC perforando perfiles reforzados.....	54
Ilustración 37: Unión de perfiles mediante termofusión.....	55
Ilustración 38: Proceso de limpieza y acabado.....	55
Ilustración 39: Acristalamiento de una ventana.....	56
Ilustración 40: Muros cortina tipo Stick. (Fuente: Issuu.com/)	62
Ilustración 41: Muros cortina tipo Frame. (Fuente: issuu.com/)	62

1 INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

Uno de los grandes retos que deberá enfrentar la economía durante las próximas décadas, para aumentar la productividad de las actividades, es la automatización de procesos de toda índole. En términos de construcción, en los últimos años (hasta 2015) la productividad en Chile se ha expandido en torno a 0¹, hay años que aumenta y otros que decae, pero siempre en valores ínfimos, esto en comparación con los países desarrollados que expanden su productividad entre un 1% a un 1,5% al año, dejando en evidencia una necesidad de cambiar algunos aspectos dentro de la construcción en Chile, ya que esta representa más del 7% de la economía del país².

Debido a lo anterior, en Chile, en el ámbito de la construcción, se están adoptando un conjunto de nuevas tecnologías que se agrupan en un concepto llamado “IV Revolución Industrial en la Construcción”, en la cual, uno de sus ejes principales es la llamada Construcción Industrializada.

La Construcción Industrializada es un sistema constructivo de edificación que utiliza técnicas y procesos automatizados, innovadores y muy organizados. La mayor parte de este proceso consiste en la producción de componentes estructurales desarrollados en un taller o fábrica, lo que implica, que son procesos muy controlados. Posteriormente, estos elementos se transportan a su ubicación definitiva, donde se realiza su montaje.

Un ejemplo de construcción industrializada, que fue noticia a nivel mundial, se construyó en China, en donde se inauguró el Hospital Huoshenshan, en la ciudad de Wuhan, con una superficie de 34 mil metros cuadrados, en tan solo 10 días desde el inicio de su construcción, asombrando al mundo y demostrando la gran efectividad de la construcción industrializada, modalidad que apunta a la eficiencia y productividad, que está basada en metodologías que usan tecnologías de la información, BIM³.

Actualmente en Chile, la Construcción Industrializada alcanza sólo un 1% del total de procesos constructivos, en comparación al 25% que es alcanzado en algunos países desarrollados⁴, por este motivo, en nuestro país hay un impulso al uso de este sistema a través de iniciativas que están trabajando por aumentar su uso, como es el caso del Consejo de la Construcción Industrializada (CCI), liderado por el Programa Estratégico Construye2025.

Los beneficios que conlleva el uso de este tipo de procesos automatizados, además de aumentar la productividad y eficiencia de la construcción, mejora la calidad en la construcción, ya que al usar tecnología computacional es mucho más precisa, además, cumple con todas las normas de calidad exigida y el uso de materiales de calidad, y los controles realizados en las fábricas, hacen de las edificaciones industrializadas estructuras seguras, confiables y duraderas.

Por otro lado, genera un requerimiento menor de mano de obra en el sitio, algo que será de vital importancia en los próximos años, debido a la llegada del COVID-19, eso implica que, con la misma

¹ Informe Macroeconomía y Construcción 2016, MACH 45.

² Balance 2019 – Proyecciones 2020 Cámara Chilena de la Construcción, Dic 2019.

³ Building Information Modeling.

⁴ Consejo de la Construcción Industrializada (CCI) en conjunto con Construye2025

cantidad de personas, en vez de construir 1 obra en un tiempo determinado, se construyan 2 o incluso 3. Otro aspecto para destacar de la Construcción Industrializada es que los residuos generados corresponden a menos de 1,5% en comparación al 10% de la construcción tradicional. Se puede lograr alcanzar hasta un 30% de ahorro en generación de escombros y 29% en ahorros de costos reparación a lo largo de todo el ciclo de vida de la estructura⁵.

Además, uno de los beneficios económicos más importantes, es que se reduce de forma sustancial los tiempos de construcción, al existir trabajo simultaneo en la obra y fábrica. Al mismo tiempo, se aumenta la certeza de los plazos entregados de términos de proyectos.

Como consecuencia de aplicar la construcción industrializada en Chile, se podrían generar ahorros de costos e inversión en cada obra, lo que se traduce en la ejecución de un mayor número de obras con el mismo capital.

Por otra parte, los procesos constructivos asociados al material ligero dentro de una obra representan entre un 10% y un 30% del costo total, por eso, también es importante buscar la forma de automatizar la construcción de material ligero, como es el caso de puertas, ventanas y/o terminaciones de cualquier índole, el cual, hoy en día no tiene desarrollo relevante en Chile.

Por lo tanto, el presente Trabajo de Título propone la implementación de procesos constructivos automatizados que se puedan desarrollar luego de estar terminada la obra gruesa, por lo que es de vital importancia la coordinación de cada etapa, los proveedores y la calidad de fabricación e instalación de estos para garantizar una ejecución en calidad, plazos y costos previstos.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La Construcción Industrializada en Chile, actualmente, corresponde alrededor del 1% de los trabajos que se realizan, lo que resulta en obras muy artesanales y con procesos ineficientes. Además, los avances y estudios del país en industrialización de la construcción están enfocados principalmente en hormigones y estructuras de acero prefabricadas.

En la misma dirección que la Cuarta Revolución de la Construcción en Chile, este trabajo busca elaborar métodos de automatización de procesos constructivos para material ligero dentro de una obra y así aumentar la productividad de esta, entre otros muchos beneficios.

Específicamente, el uso de procesos automatizados en la construcción de material ligero resolverá una gran cantidad de problemas que podemos encontrar con la construcción tradicional, tales como, las imperfecciones entre el contacto de obra gruesa y el material ligero que evita un sellado perfecto, tiempos excesivos de construcción, gran cantidad de material residual, mayor necesidad de espacio de almacenaje, entre otros.

⁵ Concejo de la Construcción Industrializa (CCI).

1.3 OBJETIVOS GENERALES

Este Trabajo de Título pretende elaborar métodos de automatización disponibles para la prefabricación, transporte y montaje de elementos de material ligero a través del uso de nuevas tecnologías de medición, metodología BIM y Máquinas CNC⁶.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

En primer lugar, se propone investigar aquellos elementos de material ligero de diferentes obras que abarquen la mayor cantidad de recursos dentro de sus correspondientes presupuestos. Luego, realizar una investigación de procesos automáticos de construcción aplicables a estos elementos en otros países. Finalmente, proponer un proceso automatizado en la prefabricación de elementos y su montaje, el cual, abarcaría la toma de datos a través de instrumentos láser, metodologías BIM para el diseño, logística, Máquinas CNC, entre otros.

1.5 ALCANCES

La propuesta de proceso automatizado tendrá las siguientes limitaciones:

- Los procesos constructivos estarán enfocados en elementos de material ligero, tales como puertas, ventanas, tabiquerías, o similares.
- La propuesta deberá ir en concordancia con los pilares de la IV revolución Industrial de la Construcción.
- La propuesta deberá incluir el uso de metodologías y estándares BIM en Chile.
- Se realizará una propuesta, recomendaciones y una estimación de costos y beneficios, pero no se incluirá la realización de ningún tipo prueba o implementación.

1.6 METODOLOGÍA DE TRABAJO

El estudio principalmente se basa en revisión bibliográfica referente a implementación de procesos automatizados de construcción en países desarrollados, en los que se incluyen aspectos, tales como, medición, modelamiento, fabricación, logística y montaje. Además, se realizará un estudio de procesos automatizados de construcción ya utilizados en Chile por empresas privadas. Si es posible, se realizará un trabajo conjunto con alguna de ellas. Finalmente, se realizará una propuesta de implementación como conclusión del estudio.

Los principales aspectos se mencionan a continuación:

- Analizar presupuestos de obra para determinar los elementos de material ligero que tengan un mayor impacto en el costo total.

⁶ Control Numérico por Computadora.

- Buscar y proponer las metodologías de medición que permitan exportar datos de forma rápida y sencilla a modelos BIM para esos elementos.
- Estudiar y proponer los software que utilizan metodología BIM enfocados en elementos de material ligero.
- Buscar y proponer los sistemas de etiquetado de elementos, que funcionen con el software BIM utilizado y cumpla los estándares nacionales o internaciones.
- Buscar y proponer los métodos de prefabricación de elementos a través del uso de máquinas CNC.
- Propuesta de proceso de construcción automatizado que abarque todo lo mencionado anteriormente.
- Estimación costo/beneficio que se genera a corto y largo plazo.
- Conclusiones del estudio.

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 CONCEPTOS Y DEFINICIONES

Dentro de la Construcción Industrializada hay varios conceptos, definiciones, procesos, software y características que hay que tener en conocimiento para un correcto entendimiento y profundización del tema, algunos de ellos se abordan en los siguientes capítulos.

2.1.1 CONCEPTOS GENERALES

Los conceptos más generales de lo que es la industrialización, en el ámbito de la construcción, son los siguientes:

- **Racionalización:** Es el conjunto de estudios que buscan perfeccionar los métodos de producción, la gestión y la tecnología, ya sea de procesos artesanales o industriales, con el fin de mejorar la productividad y la rentabilidad. Hay que tener en cuenta que la racionalización no implica industrialización, pero sí, al contrario.

Sus principales pilares son la coordinación modular y la coordinación dimensional:

- **Coordinación Modular:** Es la técnica que permite relacionar las medidas del proyecto con medidas modulares por medio de un reticulado espacial modular de referencia.
- **Coordinación Dimensional:** Es un sistema racional para establecer y coordinar las dimensiones y disposiciones de los elementos que intervienen en una construcción.
- **Mecanización:** Es un proceso de elaboración de elementos donde se emplea un conjunto de técnicas industriales para dar forma a piezas sin trabajar, con tamaños y formas muy precisos. Generalmente, el trabajo se realiza desgastando el material de forma minuciosa y controlada, en él suele predominar la materia prima metálica.

Existen diferentes tipos de mecanizados, entre lo más usados están:

- **Mecanizado sin arranque de viruta:** Transforma piezas metálicas sin desprender ninguna partícula mediante deformación plástica y con ayuda de golpes, troqueles o rodillos. Mejora la dureza y tenacidad del material y no genera residuos.
- **Mecanizado por arranque de viruta:** Elimina parte del material por capas y, mediante un elemento mecánico, desbasta la pieza poco a poco. A veces requiere la asistencia de un operario. Permite fabricar piezas de alta precisión.
- **Mecanizado por abrasión:** Este método utiliza la fricción, usa el rozamiento de un elemento abrasivo para desgastar la materia prima, con el objetivo de moldear la superficie a gusto del fabricante. Sus ventajas es que es preciso, requiere poco tiempo y consigue una textura excelente, por lo que no requiere acabado.

- **Máquina herramienta:** es un tipo de máquina que se utiliza para dar forma a piezas sólidas, principalmente metales. Su característica principal es su falta de movilidad, ya que suelen ser máquinas estacionarias. El moldeado de la pieza se realiza por la eliminación de una parte del material, que se puede realizar por arranque de viruta, por estampado, corte o electroerosión.
- **Prefabricación:** Es la fabricación industrial fuera de la obra de parte de la construcción, apta para ser utilizada mediante distintas acciones de montaje. Sólo se considera prefabricado a un elemento o un sistema que pudiendo ser realizado en obra, lo es en fábrica.
- **Automatización de procesos:** Persigue el objetivo de reducir los costes utilizando la integración de aplicaciones que sustituyen procesos manuales, acelerando el tiempo de ejecución de las tareas y eliminando los posibles errores humanos que se pueden cometer a la hora de trabajar de forma manual. Además, permite la posibilidad de obtener informes de manera rápida y permite la trazabilidad del proceso en todo momento.
- **Industrialización:** Es la organización que aplica los mejores métodos y tecnologías al proceso integral de la demanda, diseño, fabricación y construcción. En resumen, es la unión de la mecanización o prefabricación con la racionalización y automatización de procesos.
- **Tipificación:** Es la producción masiva o en serie, de un tipo de elemento cuando pueda:
 - ser empleado en obras de distinta índole;
 - desempeñar distintas funciones;
 - ser fabricado mecánicamente;
 - ser fácilmente transportado;
 - ser almacenable, para asegurar la continuidad de la producción.

Algunos ejemplos de tipificación son la producción de barras de acero, tabloneros de madera y mallas.

- **BIM⁷:** es un conjunto de metodologías, tecnologías y estándares que permiten diseñar, construir y operar una edificación o infraestructura de forma colaborativa en un espacio virtual. Por otra parte, las metodologías, basadas en estándares, permiten compartir esta información de manera estructurada entre todos los actores involucrados, fomentando el trabajo colaborativo e interdisciplinario, agregando así, valor a los procesos de la industria. BIM viene a replantear la forma tradicional de trabajo individual y fragmentado, proponiendo una metodología de trabajo colaborativo. Esta metodología pone en el centro de interés la generación de información concisa de un proyecto y el intercambio fluido de ésta entre los diferentes actores involucrados a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto.

Posee 7 dimensiones diferentes, y cada una con distintos niveles de información. A continuación, se describen estas dimensiones:

⁷ Estándar BIM de Proyectos Públicos.

- 1° Dimensión: Localización e información de las condiciones iniciales del proyecto.
- 2° Dimensión: Primer modelo del proyecto (Boceto, ingeniería básica), donde se plantean materiales, cargas estructurales y dimensión energética.
- 3° Dimensión: Modelo de visualización geométrica tridimensional del proyecto, en esta dimensión ya se incluye ingeniería de detalle.
- 4° Dimensión: Temporalidad del proyecto, abarca cada etapa del proceso de construcción y operación.
- 5° Dimensión: Análisis y estimación de costos del proyecto.
- 6° Dimensión: Simulación de alternativas con sus respectivos análisis, con el fin de mejorar la sostenibilidad del proyecto.
- 7° Dimensión: Gestión y organización de la información del proyecto, durante la operación.



Figura 1: 7 dimensiones de BIM.
(Elaboración: Propia).

- **Objeto BIM:** un objeto BIM es la réplica virtual de un producto real. Esta réplica virtual contiene toda la información relevante sobre el producto, desde información geométrica como dimensiones, forma, etc., hasta información como la enlace a la web del fabricante o el manual de uso y mantenimiento.

Los objetos BIM se pueden crear directamente en el modelo o descargar desde diferentes páginas webs, los cuales, se pueden insertar directamente en los modelos BIM.

- **NDI⁸**: son los grados de profundidad que puede tener tanto la información geométrica como no geométrica contenida en las entidades de los modelos BIM, según el estado de avance de la Información de los modelos.

A través de los NDI se puede saber el nivel de datos, parámetros y geometría de los que está dotado un modelo BIM. Esto, de forma directa, puede hacerse evidente en el aspecto visual del modelo resultante en 3D, pero no todos los parámetros son visibles observando el modelo virtual, pudiendo ser necesario interactuar con el mismo para conocer la profundidad del nivel de desarrollo.

Están establecidos los siguientes NDI:

- **NDI-1**: Información inicial general, puede ser estimativa, acerca de área, altura, volumen, localización y orientación de los elementos generales.
- **NDI-2**: Información básica aproximada del tamaño, forma, localización, cantidad y orientación de los sistemas y elementos generales y su ensamble.
- **NDI-3**: Información detallada del tamaño, forma, localización, cantidad y orientación que sea relevante para el montaje de los elementos.
- **NDI-4**: Información detallada y coordinada respecto del tamaño, forma, localización, cantidad, orientación e interacción entre los sistemas de construcción y sus elementos de montaje específico.
- **NDI-5**: Información detallada de la fabricación y montaje, considerando el tamaño, localización, cantidad, orientación e interacción entre los elementos.
- **NDI-6**: Información detallada del tamaño, forma, localización, cantidad, orientación y de la puesta en marcha de los elementos construidos.

Es importante aclarar que el nivel de desarrollo de un modelo BIM es el promedio de NDI de los diferentes elementos que componen el modelo, es decir, puede que no todos los elementos necesiten o simplemente no tengan el mismo nivel de desarrollo y, por tanto, debe tenerse en cuenta la suma de elementos y sus respectivos niveles de desarrollo para promediar el verdadero NDI del modelo en su conjunto.

- **Clash Detection**: Es la capacidad de detectar interferencias entre los modelos de las diferentes especialidades, permitiendo eliminar los conflictos en la obra.
- **CAD⁹**: Diseño Asistido por Computadora.
- **CAM¹⁰**: Fabricación Asistida por Computadora.

⁸ Niveles de Información, Estándar BIM de Proyectos Públicos.

⁹ Computer-Aided Design.

¹⁰ Computer-Aided Manufacturing.

- **CAD-CAM:** Proceso que consiste en diseñar a través de software de ordenar una pieza, dándole ciertos parámetros necesarios para ello, para luego realizar un proceso de fabricación asistida que también se encarga una computadora.
- **BIM Manager**¹¹: Persona responsable de liderar el proceso de Implementación BIM dentro de la organización y apoyar a la misma en el desarrollo / ejecución de nuevos servicios BIM y eficiencias basadas en el modelo.
- **i-Models**¹²: Archivo que permite compartir información de proyectos asociados con el ciclo de vida de activos de la infraestructura. Tendrá la seguridad de que la información fluye de forma sencilla, íntegra y precisa en los entornos de diseño, obra u operaciones. Permite compartir toda la información relativa a los componentes, tales como, las propiedades de la empresa, la geometría, los gráficos y las interrelaciones en un formato inteligente y abierto con una interfaz estándar para aplicaciones comerciales, de ingeniería, de obra y de operaciones de múltiples proveedores.
- **Sistema de Gestión Documental**¹³: es un software para gestionar el almacenamiento, recuperación y flujo de trabajo de recursos electrónicos (en sus formatos nativos/originales) y sus metadatos mediante un repositorio central. En general el flujo de trabajo incluye reglas que cubren permisos, registros de entrada y salida y procesos de aprobación.
- **COBie**¹⁴: Estándar internacional que define las expectativas para el intercambio de información a lo largo del ciclo de vida una edificación o infraestructura.
- **IFC:** Esquema de bases de datos ampliable que representa información de la construcción para el intercambio entre distintos software para arquitectura, ingeniería y construcción¹⁵.
- **As-Built**¹⁶: Registro del proyecto tal como se ha construido en el lugar, incluyendo los cambios de diseño ocurridos en el curso de trabajo.
- **Entidad:** Elemento virtual que representa un objeto físico o abstracto de construcción.

2.1.2 CLASIFICACIONES DE MÓDULOS DE MATERIALES PARA PREFABRICACIÓN

Durante los últimos años se han desarrollado diversos sistemas de prefabricados con elementos modulares volumétricos, de los cuales, Alkmim, en el año 2012, realiza un estudio donde identifica y divide a los elementos de acuerdo con su peso de la siguiente forma:

- **Elementos de material ligero:** Son aquellos elementos que utilizan materiales livianos como, la madera y plásticos como estructura principal, que pueden tener algún tipo de reforzamiento, tales como, el aluminio y el acero. Son por consecuencia más susceptibles a la automatización y robotización del ensamblaje de sus componentes.

¹¹ BIMdictionary.

¹² Definición extraída de Bentley.

¹³ BIMdictionary.

¹⁴ Construction Operations Building information Exchange, Estándar BIM para Proyectos públicos.

¹⁵ Industry Foundation Class, Estándar BIM para Proyectos públicos.

¹⁶ Estándar BIM de Proyectos Públicos.

- Elementos de materiales pesados: Tienen como principal componente el hormigón y el acero como estructura principal, además aportan al conjunto mejores prestaciones térmicas y acústicas.

Para este trabajo de título, se considera como elementos de material ligero, aquellos elementos que, cumplen la clasificación de Alkmim, además, pueden ser maniobrados por, a lo más, 4 personas y un maquinaria pequeña, por ejemplo, una transpaleta. Estos elementos no sobrecargan la estructura principal de hormigón del edificio, en general, no superan los 100 kg/m².

2.1.3 SISTEMAS DE MEDICIÓN AUTOMATIZADA

Hoy en días existen diversos sistemas de medición que son útiles en el área de la construcción, los cuales, se clasifican en 2 tipos diferentes:

- **Medición directa:** Corresponde cuando la comparación de magnitud y el patrón es en forma directa. Generalmente el patrón es una unidad de medida, como centímetros, pies etc. Los métodos para medir distancia de forma directa van desde el uso de partes del cuerpo, como pulgadas o pies, hasta el uso de instrumentos como una guincha de medir.
- **Medición indirecta:** Es aquella que una magnitud buscada se estima midiendo una o más magnitudes diferentes, y se calcula indirectamente la magnitud deseada mediante el uso de geometría u otro tipo de matemáticas.

Dentro de esta última, existen diversos métodos que son automatizados, los cuales, permiten una integración de los datos a software que funcionan mediante metodología BIM de modelamiento de estructuras, tales como, Autodesk Revit, Recap Pro u OpenBuilding Designer. Los métodos más conocidos y utilizados son los mostrados a continuación.

2.1.3.1 Fotogrametría

La fotogrametría es una técnica que permite crear modelos 3D a partir de múltiples fotografías realizadas desde diferentes ángulos, usando alguno de los software especializados que son capaces de interpretar las variaciones de perspectiva y crear una nube de puntos tridimensionales.

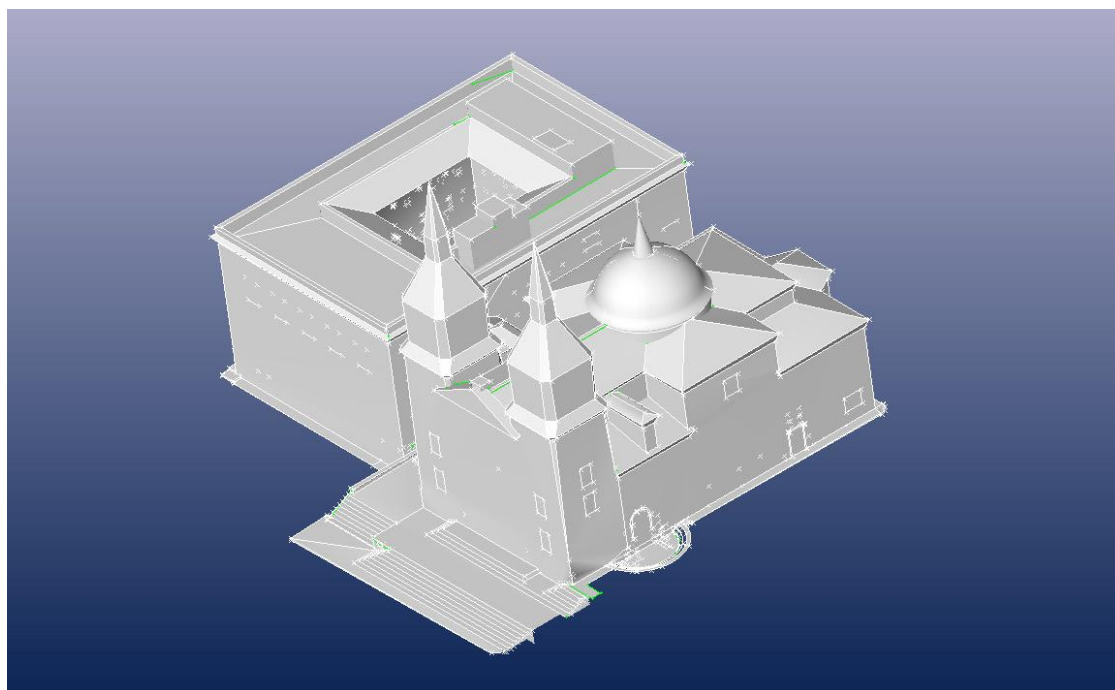


Ilustración 1: Modelo final utilizando fotogrametría y photomodeler.
 (Fuente: Levantamiento fotogramétrico y modelación tridimensional del Santuario de Nuestra Señora de la Fuentesanta, Emilio Soler Alemán, 2013).

Para la creación de modelos en interiores, que es lo que interesa para este trabajo, la fotogrametría es muy adecuada, ya que la su precisión puede alcanzar hasta los 0,18 milímetros por píxel cuando se capturan datos a una distancia de 30 centímetros, algo que fácilmente se puede lograr en una obra.

Además, las fotografías las puede realizar un dron, lo que puede ser fácilmente programable para que recorra un edificio en construcción.

Hay que tener en consideración algunas desventajas o dificultades que puede tener la fotogrametría, los que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Entornos favorables y desfavorables para el uso de fotogrametría.

Entornos Favorables	Entornos Desafiantes
Rocas naturales	Muro de hormigón con alta uniformidad
Paredes de ladrillo	Pintura homogénea y/o brillante
Pintura antigua, grietas y corrosión	Superficie metálica brillante, acero inoxidable
Superficies sucias, algas	Ventanas de cristal

Como se puede notar de la Tabla 1, el uso de la fotogrametría es perfecta para la renovación de edificios, no así, para una construcción nueva donde las imperfecciones son mínimas.

2.1.3.2 Medición Laser

Un medidor de distancia láser o “Laser escáner” funciona utilizando la medición del tiempo que tarda un pulso de luz láser en reflejarse en un blanco y volver al remitente, comúnmente conocido

como “tiempo de vuelo” o “pulso”, esto se puede lograr ya que la luz láser viaja una velocidad bastante constante a través de la atmosfera terrestre.

En el interior del medidor, hay una computadora que calcula rápidamente la distancia al objetivo, siendo capaz de medir incluso la distancia de la Tierra a la Luna, con un error de unos pocos centímetros.



Ilustración 2: Laser escáner 3D Leica RTC 360, en obra, referencial.
(Fuente: Leica-geosystem.com).

Los láseres son rayos enfocados e intensos de luz, generalmente en una sola frecuencia, los cuales, son muy útiles para medir distancias ya que pueden alcanzar grandes distancias sin que se debilite el rayo de luz, y existe una casi nula posibilidad que esta se disperse. La característica más importante respecto a un rayo de luz blanca es que la luz láser conserva gran parte de su intensidad original al reflejarse en el objetivo, lo cual, es de vital importancia para realizar el cálculo de la distancia¹⁷.

La exactitud de un medidor láser depende del pulso original que vuelve al dispositivo de envío. A pesar de que los rayos láser son muy estrechos y tienen altas energías, pueden estar sujetos a distorsiones atmosféricas, las cuales, provocan que sea difícil obtener una lectura precisa de la distancia de un objeto cercano a zonas verdes o sobre largas distancias de más de un kilómetro desértico.

Los materiales que tiende a absorber o dispersar la luz reducen la probabilidad de que el pulso láser original se refleje de nuevo para el cálculo. En los casos en que el objetivo tiene la reflexión difusa, se debe utilizar un medidor de distancia láser utilizando un método de desplazamiento de fase.

Con un distanciómetro a láser se puede medir incluso:

- Con la presencia de obstáculos, tales como, árboles, matorrales, cables, caños o mobiliario en el trayecto que deseamos medir.
- Cuando la solidez, textura o inclinación del objeto a medir es muy homogénea.
- Cuando el grado de luminosidad del ambiente o la hora del día para efectuar una medición en exteriores es alta o baja.

¹⁷ Sensores e Instrumentación GUEMISA S.L <http://guemisa.com>

- En condiciones climatológicas desfavorables (lluvia, viento, nieve, etc.) en el momento de efectuar la medición.
- Sin subir escaleras o pendientes empinadas y peligrosas para medir una distancia al techo o hasta la terraza de un edificio de varios pisos.

Si existe una línea de visión hasta nuestro objetivo y este se encuentra dentro del rango de alcance del aparato, siempre podremos saber exactamente a qué distancia se encuentra. Incluso podemos medir el ancho o la altura de un edificio desde la vereda de enfrente o desde una distancia razonable.

El inconveniente más grande, es su alto costo, aunque teniendo en cuenta que con un aparato se puede medir uno o más edificios sin requerir mantención, se puede considerar como una buena inversión a largo plazo.

2.1.3.3 Medición ultrasónica

Los medidores ultrasónicos se utilizan como método no destructivo, rápido, fiable y versátil, a diferencia de un micrómetro o un calibre, que solo requiere el acceso solamente de una pared de un material para medir. Es por ello, que se utiliza ampliamente para determinar el espesor de materiales, tales como, caños, tubos, válvulas, tanques, calderas, cascos y otros materiales sujetos a corrosión y desgaste¹⁸.

Prácticamente cualquier material común de ingeniería se puede medir por ultrasonido, por ende, es posible configurar el medidor de espesor para metales, plásticos, vidrios, cerámicos, materiales compuestos, etc. También se puede efectuar la medición en línea o en proceso de plásticos o metales laminados. Otra aplicación interesante de estos instrumentos son la medición de líquidos y muestras biológicas.



Ilustración 3: Medición ultrasónica, imagen referencial.
(Fuente: FINILAGER, servicios de ingeniería, <http://finilager.bo>).

El ultrasonido es la energía del sonido a frecuencias que sobrepasan el límite del oído humano. La mayoría de las pruebas de ultrasonido se realizan en el rango de frecuencia entre 500 KHz y 20 MHz, aunque algunos instrumentos especializados pueden operar a 50 KHz o menos y a 100 MHz o más.

El funcionamiento de los medidores de espesor por ultrasonido se basa en determinar con gran precisión lo que se denomina, al igual que en la medición láser, “tiempo de vuelo”, es decir, el tiempo que tarda un pulso de sonido generado por una pequeña sonda llamada transductor ultrasónico en atravesar una pieza y regresar al dispositivo. El transductor contiene un elemento

¹⁸ FINILAGER, servicios de ingeniería.

piezoeléctrico que es excitado por un impulso eléctrico corto para generar una ráfaga de ondas ultrasónicas. Éstas se acoplan dentro del material y lo atraviesan hasta que encuentran una pared posterior u otro límite. Luego, las reflexiones vuelven hacia el transductor, que convierte la energía acústica en energía eléctrica.

2.1.4 SOFTWARE

Dentro de la metodología BIM se puede encontrar una gran diversidad de software que permiten procesar los datos importados desde el sistema de medición utilizado y elaborar modelos tridimensionales listos para su prefabricación. Los siguientes Software son algunos de los más utilizados en el mercado de hoy en día que se pueden usar de forma independiente o de forma colaborativa.

2.1.4.1 Tekla Structures

Tekla Structures es una plataforma BIM de diseño asistido por ordenador y fabricación asistida por computadora en 3D para el diseño, detallado, despiece, fabricación y montaje de todo tipo de estructuras para la construcción, desarrollada por la empresa Trimble.



Ilustración 4: Logo Tekla Structures.
(Fuente: <https://Tekla.com>).

Este software interactúa con otros, líderes en diseño y análisis de la industria, haciendo posible la coordinación entre arquitectos, consultores y contratistas.

La solución de Tekla está totalmente automatizada y cuenta con muchas características únicas para el diseño optimizado de edificios de concreto y acero, permite el modelamiento de elementos de diferentes materiales, incluyendo la madera. Permite comparar esquemas de diseño alternativos, administrar cambios fácilmente y colaborar sin problemas con otras plataformas BIM.

- Algunos de los beneficios que ofrece son:
- Reducción de errores y simplificación en la coordinación de diseños.
- Integración de modelo, diseño y análisis.
- Generación de documentación de la construcción de forma sencilla.
- Implementación de cambios de forma simplificada.
- Permite incluir todos los materiales en el modelo.

2.1.4.2 Autodesk Revit

Autodesk Revit es un software de diseño inteligente de modelado BIM para arquitectura e ingeniería, que facilita las tareas de diseño de proyecto y los procesos de trabajo. Lo más característico de este software es que todo lo que se modela es mediante objetos inteligentes (familias paramétricas) y obtenidos en 3D sobre la marcha a medida que vamos desarrollando el proyecto desde la planta baja hacia las plantas superiores.



Ilustración 5: Logo Autodesk Revit.
(Fuente: <https://latinoamerica.autodesk.com>).

Con Revit no sólo se dibuja, sino que se construye virtualmente en 3D, lo que se llama modelar en BIM. Se puede ver y revisar el edificio en 3D, y se construye virtualmente en base a familias (objetos) de muros, ventanas, puertas, de diferentes materiales. Almacenar toda esta información es posible gracias a su base de datos relacional que coordina la información durante todo el proceso. Además, en caso de realizarse algún cambio de proyecto, Revit tiene la capacidad de coordinarse automáticamente para mostrar la última versión trabajada, sin que los cambios influyan a todo el proceso, lo que agiliza el tiempo de trabajo y minimiza el riesgo de cometer errores durante la ejecución del proyecto.

Algunas de las ventajas que ofrece el uso de Revit son:

- Ofrece una interfaz muy cuidada y ordenada, donde todos y cada uno de los elementos cuentan con un fácil acceso.
- Es un programa muy flexible, en tanto que resulta perfectamente válido tanto para pequeños proyectos arquitectónicos como para construcciones de gran envergadura.
- No sólo sirve para arquitectura, también para ingeniería e instalaciones industriales.
- Como herramienta de trabajo colaborativo, ofrece gran potencia y rendimiento; los cambios introducidos por un usuario actualizan todos los elementos a los que afectan están disponibles en tiempo real para el resto.
- Abarca la totalidad del proyecto, desde su más temprana fase de estudio hasta su entrega al cliente, lo que facilita una gestión y control más eficiente, optimizando tiempos, costos y asegurando la calidad.

- Desde el primer momento, todos los elementos del proyecto se conciben en 3D, lo que permite asociar cantidades, materiales, costes y así crear de forma automática el presupuesto

Para el uso de prefabricados, Revit cuenta con Autodesk Structural Precast, un plugin gratuito, que permite convertir elementos de Revit en piezas prefabricadas. Y que, además, realiza de una manera muy rápida, planos de prefabricación de cada pieza.

Lo que hace es, convertir los elementos en piezas y colocarle familias que carga el propio plugin. Y a la vez, se crea un montaje para poder sacar vistas de cada una de ellas para obtener planos automáticos.

Solo se necesita configurar como se prefiera que se conviertan los muros, suelos y las piezas genéricas y a partir de ahí, se seleccionan los elementos que se quieren convertir.

También, este plugin permite, desde la misma configuración, preestablecer un armado propio por tipo de piezas. De este modo, una vez creada la pieza, se puede armar.

2.1.4.3 ArchiCAD

ArchiCAD de Graphisoft es la segunda solución de software BIM más utilizada entre los profesionales del sector AEC. Sus usuarios destacan su interfaz intuitiva y la gran flexibilidad entre el modelado y el detallado de un proyecto.

Permite al usuario trabajar con objetos paramétricos con datos que contienen el ciclo de vida completo de la construcción, desde el concepto hasta la edificación y con parámetros básicos, tales como altura, largo, espesor y elevación, en el caso de muros, y altura, ancho, largo y elevación en el caso de objetos. Todo ello con representaciones 2D y 3D en pantalla.



Ilustración 6: Logo ArchiCAD.
(Fuente: <https://graphisoft.com>).

Algunas de sus características son las siguientes:

- En ArchiCAD la importación y exportación de datos desde y hacia Excel es nativa, los datos del proyecto como planilla de ventanas, mobiliario, etc. se exportan gracias a que ArchiCAD posee un potente motor de medición y cálculo que asocia directamente elementos a una base de datos y entrega cantidades y costos basados en el modelo.
- BIMCLOUD permite el trabajo de varias personas al mismo tiempo en un mismo archivo, ArchiCAD es pionero en el teamwork.
- ArchiCAD ofrece herramientas de modelado inteligente para la creación de elementos de construcción, muebles y elementos personalizados y de forma libre. Con la ayuda de

Morph (herramienta gratuita y de código abierto para crear diseños, animaciones o visualizaciones interactivas a partir de datos) y Shell Tools (herramienta de ARCHICAD que permite a los diseñadores desatar sus mentes creativas y crear formas arquitectónicas enriquecidas) cualquier objeto, o forma puede modelarse y documentarse de acuerdo con los estándares arquitectónicos.

- El diseño sostenible y la comprobación del rendimiento energético son ahora una parte inevitable del trabajo del arquitecto. Los propietarios están cada vez más exigentes con el cuidado medioambiental y el ahorro energético como parte del ahorro de costos de mantenimiento de las estructuras, es por eso por lo que el análisis energético de ARCHICAD se ha vuelto una herramienta muy utilizada.
- ArchiCAD incluye una extensa librería de objetos que contiene los componentes típicos de diseño, así como también, componentes específicos de diseño gracias al lenguaje GDL único (lenguaje de descripción geométrica) de GRAPHISOFT, los elementos ArchiCAD son mucho más inteligentes y paramétricos que cualquier otro objeto de los fabricantes de BIM.
- El motor de importación/exportación IFC permite a ArchiCAD intercambiar modelos arquitectónicos y estructurales con fines de coordinación con un solo clic del ratón.

2.1.4.4 Tricalc

Tricalc calcula estructuras de acero, de hormigón y de cualquier material, incluso estructuras de hormigón con cerchas de acero, y naves de acero con forjados, losas, muros resistentes y muros de contención o pilotes; en un único programa, con una misma forma de trabajo y con todas sus prestaciones, sin necesidad de cambiar de programa y de forma de trabajo dependiendo del material de la estructura.



Ilustración 7: Logo Tricalc.

(Fuente: <http://www.arktec.com/tricalc>).

Tricalc permite la definición de las estructuras sobre cualquier plano, no sólo horizontal en planta, sino también, vertical en alzado o sección e inclinado, y globalmente, reduciéndose el riesgo de cometer errores en la definición de la geometría.

Este software se puede conectar con Revit de manera sencilla, ya que también trabaja con archivos IFC, de esta manera, se pueden exportar los elementos a Tricalc prácticamente de forma automática, con la ventaja de que no hay que volver a definir las propiedades de los elementos o materiales, y siendo una conexión bidireccional, es decir Tricalc permite la exportación a Revit de forma similar.

2.1.4.5 OpenBuilding Designer

Este software de la empresa Bentley permite diseñar, analizar, documentar y visualizar edificios de cualquier tamaño, forma y complejidad.

Además, permite comunicar el propósito del diseño y superar los obstáculos que se generan al interactuar las distintas especialidades dentro del diseño y construcción, aun cuando los equipos de trabajo se encuentren distribuidos geográficamente en diferentes países.



Ilustración 8: Logo OpenBuilding Designer.
(Fuente: <https://www.bentley.com>).

OpenBuilding Designer impulsa el BIM para que pueda ejecutar edificios de alto rendimiento más rápido y con más confianza en sus diseños, flujos de trabajos, herramientas y entregables.

Sus principales características se mencionan a continuación:

- **Multidisciplinar:** Aumenta la colaboración entre arquitectos, ingenieros mecánicos, eléctricos y civiles con una serie de herramientas y flujos de trabajo compartidos.
- **Interoperabilidad:** Integra la información que tiene en múltiples formatos y permite trabajar fácilmente en proyectos de cualquier tamaño.
- **Entregables llenos de información:** Permite comunicar claramente el propósito de diseño con entregables fiables que se pueden personalizar fácilmente.
- **Entorno de diseño sin restricciones:** Permite modelar lo que sea con total libertad, desde edificios sencillos hasta construcciones con formas y diseños muy complejos.
- **Rendimiento de los edificios:** Permite simular edificios y calcular el rendimiento del activo en tiempo real de forma rápida y precisa para explorar las diferentes opciones de mejora iterativa.

2.1.4.6 ProjectWise y ProjectWise365

ProjectWise y ProjectWise365 son herramientas de coordinación de proyectos elaboradas por Bentley que tienen todas las funcionalidades necesarias para que un grupo de usuarios de diferentes empresas y/o especialidades puedan trabajar de forma colaborativa. En su últimas

versiones se agregaron las funcionalidades de “Deliverables Management”, cuya funcionalidad es coordinar las entregas de productos y el traspaso de información de éstos.

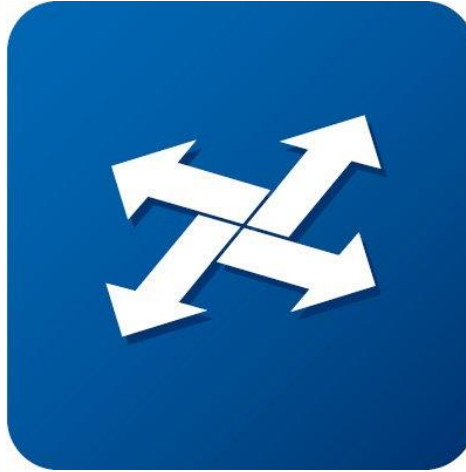


Ilustración 9: Logo de ProjectWise.

(Fuente: <http://Bentley.com>)

Estas herramientas tienen como estructura principal el trabajo dentro de un gestor documental basado en nubes de información en distintos servidores, permitiendo un flujo de trabajo continuo, coordinado y eficaz y sin pérdidas ni duplicados de información.

2.1.5 MÁQUINAS CNC

Las máquinas CNC son dispositivos controlados vía computadora habilitados para tratar materiales, tales como, madera, foami, plástico, MDF, metal, entre muchos otros.

Es un sistema de automatización de máquinas herramienta que son operadas mediante comandos programados en un medio de almacenamiento, en comparación con el mando manual mediante volantes o palancas. El surgimiento de las máquinas CNC ha optimizado el proceso técnico de creación industrial y artística.

Las primeras máquinas de control remoto numéricos se construyeron en los años 50, basadas en las máquinas existentes con motores desmodificados cuyos números se relacionan manualmente siguiendo las instrucciones dadas en un microscopio de tarjeta perforada. Estos servomecanismos iniciales se desarrollaron rápidamente con los equipos analógicos y digitales.

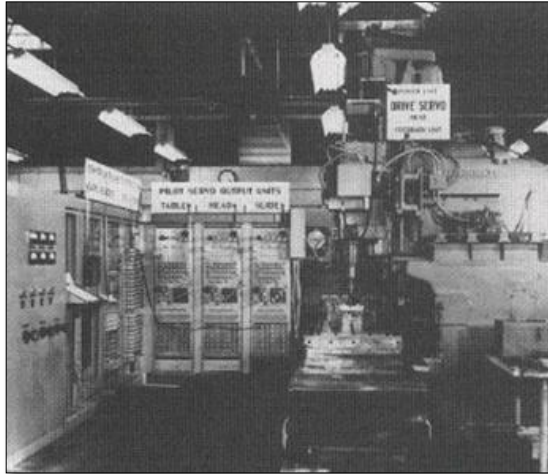


Ilustración 10: Primera fresadora CNC creada en Cincinnati, MIT, 1955.

El abaratamiento y miniaturización de los procesadores ha generalizado la electrónica digital en los toros herramienta, lo que dio lugar a la denominación de control numérico computarizado (CNC), para diferenciarlas de las máquinas que no tenían computadora.

Las máquinas CNC funcionan por medio de la lectura de códigos digitales de software de Diseño de Apoyo Computacional (CAD por sus siglas en inglés) o Manufactura de Apoyo Computacional (CAM), las máquinas CNC logran seguir una ruta dirigida por computadora a medida que cortan una pieza en orden de convertirla en lo deseado.

Durante el proyecto, el elemento a tratar es aferrado a la mesa para que se mantenga firme durante el proceso. Según la naturaleza del trabajo, varios objetos cortantes pueden ser utilizados.

En comparación directa con la artesanía convencional, los procesos ejecutados por máquinas CNC son notablemente más rápidos y efectivos en la producción de bordes suaves. Estos dispositivos aceptan opciones personalizadas por parte del operador, lo que permite satisfacer las demandas de cualquier cliente.

El controlador CNC, que es el componente que interpreta los códigos del programa CNC en uso, posibilitando el accionar de la máquina según un orden secuencial, trabaja en conjunto con una serie de motores y componentes de accionamiento para el desplazamiento de los ejes de la máquina y ejecución de los movimientos planeados.

Podemos decir que una máquina CNC está compuesta de estos seis elementos fundamentales:

1. Dispositivo de entrada.
2. Unidad de control o controlador.
3. Máquina herramienta.
4. Sistema de accionamiento.
5. Dispositivos de realimentación (solo en sistemas servomotores).
6. Monitor.

2.1.5.1 Aplicaciones de las máquinas CNC

Las aplicaciones que se le pueden dar a una máquina CNC parecen ser interminables, dependen en gran medida de la creatividad del usuario y del tipo de máquina que sea, pues existen diferentes tipos que se ajustan en mayor o menor medida a las diferentes necesidades.

Son usadas por pequeños y grandes empresarios, pero también en talleres personales de aficionados.

Sus usos no se restringen a un sector del mercado, pues tienen utilidad en el mundo de la ebanistería, carpintería, interiorismo, diseño industrial, industria textil, en fabricación de piezas, en publicidad, etc.

Las máquinas CNC se encargan de realizar labores de alta precisión, como trabajos de corte, moldeo o mecanizado de metales, maderas, plásticos y otros materiales. Esto es posible gracias a que un sistema computarizado controla milimétricamente los movimientos y la velocidad de una herramienta de corte o mecanizado, y así trabaja las piezas con márgenes de error mínimos o nulos. Por medio de una computadora y el modelado en 3D, ahora es posible fabricar piezas complejas de una precisión tan alta que anteriormente no había tecnología con tal capacidad para realizarlas.

2.1.5.2 Tipos de máquinas CNC

Entre las máquinas que más frecuentemente suelen operar por CNC, podemos encontrar:

- **Torno:** es una máquina herramienta que permite mecanizar piezas de forma geométrica (cilindros, conos). Estas máquinas se encargan de hacer girar la pieza mientras las herramientas de corte son empujadas contra su superficie, cortando las partes sobrantes en forma de viruta.



Ilustración 11: Torno CNC Romi C 510.

- **Fresadora:** Una fresadora es una máquina herramienta con un eje horizontal o vertical sobre el que gira una herramienta de corte llamada "fresa", y que tiene una mesa horizontal en la que se coloca o fija una pieza de trabajo a la que daremos forma con la fresa.



Ilustración 12: Fresadora ELECNC-1530.

- **Enrutador:** Es una máquina de corte controlada por computadora relacionada con el enrutador de mano que se utiliza para cortar varios materiales duros, como madera, compuestos, aluminio, acero, plásticos, vidrio y espumas. Los enrutadores CNC pueden realizar las tareas de muchas máquinas de carpintería, como la sierra de paneles, la tupí y la mandrinadora. También pueden cortar mortajas y espigas.



Ilustración 13: Enrutador CNC RKMB30.

- **Cortadora de plasma:** Es una máquina herramienta que utiliza una boquilla, con un orificio para la circulación de gas ionizado a alta temperatura, de tal forma que se obtiene un rayo que se puede utilizar para cortar secciones de metales, tales como, el acero al carbono, acero inoxidable, aluminio y otros metales conductores de la electricidad. Por medio del uso de esta técnica, el arco de plasma funde el metal, y el gas elimina el material fundido.



Ilustración 14: Cortadora de Plasma Hyzont Átomo Cut-8200.

- Impresoras 3D: Es una máquina herramienta capaz de imprimir figuras con volumen a partir de un diseño hecho por ordenador. Con volumen quiere decir que tiene ancho, largo y alto.

Una impresora 3D lo que realmente hace es producir un diseño 3D creado con el ordenador en un modelo 3D físico real. Es decir, si hemos diseñado en nuestro ordenador, por ejemplo, una simple taza de café por medio de cualquier programa CAD (Diseño Asistido por Computador), podremos imprimirla en la realidad por medio de la impresora 3D y obtener un producto físico que sería la propia taza de café.



Ilustración 15: Impresora 3D BEM 1 PRO.

Sin embargo, los tipos de maquinaria CNC se clasifican según la manera en que realizan sus funciones. Es decir, en su particular procedimiento para cortar o perforar. Entonces, los tipos de equipo CNC se dividen en:

- Máquinas de control punto a punto: Mecanizan en el material en cuestión exclusivamente los puntos iniciales y finales, pero no la trayectoria entre un punto y otro. Puede tratarse de taladradoras o punteadoras, que no controlan trazado ni velocidad.
- De control pariaxial: Por su parte, las máquinas de control pariaxial, a diferencia de las de control punto a punto, sí pueden programarse en cuanto desplazamientos y velocidad a lo largo de una trayectoria. Un claro ejemplo de este tipo de equipo CNC son los tornos.
- Máquinas de control interpolar o continuo: Las máquinas de control interpolar o continuo pueden realizar mecanizados en trayectorias de cualquier tipo, a diferencia de las de control pariaxial, cuyas trayectorias deben ser paralelas a sus ejes. Estos equipos de control interpolar, por lo tanto, se dice que son polivalentes.

2.1.6 PREFABRICADOS

El prefabricado es una manera inteligente e industrializada para construir cualquier tipo de edificación de alta calidad y eficiencia energética, no sólo en un corto período de tiempo, sino también de manera rentable y segura. Prefabricado significa trasladar el trabajo desde el sitio a los procesos controlados de una fábrica, lo que proporciona una calidad alta y constante y mejora significativamente la productividad.

Los elementos prefabricados pueden ser de madera, metálicos, además de los materiales tradicionales como el hormigón, y todos estos tipos garantizan una alta estabilidad y un ahorro considerable en los costes de la construcción final.

Las estructuras prefabricadas se construyen en un sólo modulo, en caso de pequeños modelos, o pieza por pieza en las grandes instalaciones, para luego ensamblarlas en el lugar establecido. Esto también implica un transporte, instalación o ensamble.

Generalmente los elementos prefabricados se construyen con el uso de máquinas herramientas del tipo CNC, ya que sus geometrías y dimensiones se realizan a través de modelos BIM.

2.1.6.1 Clasificación de los elementos prefabricados

En el mercado existen diferentes modelos y tipos, debido a esto se pueden clasificar de muchas maneras, por ejemplo:

- **Según peso y dimensiones**

- Prefabricados livianos: Son los pequeños elementos prefabricados o ligeros, de peso inferior a los 30 kg, destinados a ser colocados de forma manual por uno o dos operarios.
- Prefabricados semipesados: Su peso es inferior a 500 kg, destinados a su puesta en obra utilizando medios mecánicos simple a base de poleas, palancas, malacates y barretas.
- Prefabricados pesados: Su peso es superior a 500 kg, requiriéndose para su puesta en obra maquinaria pesada como grúas.

- **Según forma**

- Bloques: Son elementos para construcción de muros. Son auto estables, es decir, no necesitan apoyos auxiliares para su colocación.
- Paneles: Estos elementos se caracterizan debido a que su relación entre grosor y superficie es significativa.
- Elementos lineales: Son piezas muy esbeltas, de sección transversal reducida en relación con su longitud.

- **Según sus materiales**

- Hormigón armado.
- Hormigón pretensado.
- Hormigón postensado.
- Acero.
- Aluminio.
- Madera.
- Plástico.
- Elementos compuestos (Combinación de materiales).

2.1.6.2 Beneficios de los elementos prefabricados

La construcción en base elementos prefabricados tiene un sin número de beneficios, algunos de los más destacados son los siguientes:

- **Alta velocidad de ejecución**

La superposición de trabajos en obra (movimientos de tierras y ejecución de cimentaciones) con trabajos en instalación industrial (prefabricación de paneles) desemboca en un plazo global de ejecución de la vivienda sorprendentemente rápido.

La industrialización de procesos redundante en una reducción de los costes de mano de obra (asociados tanto a un menor número de horas como a un coste por hora menor). La mayor planificación de los trabajos y la menor probabilidad de imprevistos (por ejemplo, inclemencias meteorológicas) redundante en un menor plazo de ejecución generando una optimización económica de la obra.

- **Óptima calidad**

La fabricación industrializada prefabricada consigue unos acabados de altísima calidad, tanto en geometría como en calidad de las superficies.

- **Estructura monolítica y de alta resistencia**

El funcionamiento estructural de todos los paramentos verticales como vigas de gran canto junto al efecto placa de los forjados, así como el sistema de unión entre paneles, confiere a la estructura resultante de una gran solidez ante cargas verticales, así como un excelente comportamiento frente a esfuerzos horizontales (sismo).

- **Reducción de riesgos laborales**

Las actividades realizadas en la instalación industrial pueden planificarse y controlarse mejor que las realizadas en obra redundando en una mejora de las condiciones de trabajo para el operario.

2.1.7 IFC Y SISTEMAS DE ETIQUETAS

El IFC¹⁹ es un particular formato de datos que permite el intercambio de un modelo informativo sin pérdida o distorsión de datos o informaciones, a lo que actualmente se le conoce como interoperabilidad.

¹⁹ Industry Foundation Classes.



Ilustración 16: Logo IFC.

Se trata de un formato abierto, neutro, no controlado por los productores de software, nacido para facilitar la interoperabilidad entre varios operadores.

El IFC ha sido pensado para elaborar todas las informaciones del edificio a lo largo de todo su ciclo de vida, desde el anteproyecto hasta la ejecución y su mantenimiento, pasando por las distintas fases de diseño y planificación.

La arquitectura IFC basa su propia estructura sobre:

- **Semántica:** Es conjunto de palabras o expresiones que guardan una relación estrecha, cualquiera que esta sea. Por ejemplo, viga, muro, columna, losa... forman un solo campo semántico al referirse a "Elementos Estructurales".
- **Relaciones:** Forma de asociar 2 tipos de elementos entre ellos o entre diferentes niveles de jerarquía, por ejemplo, una viga tiene una jerarquía superior, al tener una relación al tipo de elemento, que sería un elemento "Estructural" y, además, debe tener una jerarquía inferior como puede ser su "geometría".
- **Propiedades:** Cada objeto BIM tiene diferentes propiedades, tales como, ID, tipo, altura, espesor, material, geometría, etc., los cuales, van variando según las necesidades del modelo.

Los elementos están pensados para describir los componentes de los edificios, como, por ejemplo, las instalaciones, espacios, zonas, mobiliario, elementos estructurales (pilares, vigas, paredes, forjados etc.), incluyendo las propiedades específicas de cada objeto, tales como:

- Forma.
- Costes.
- Necesidad de mantenimiento.
- Posición.
- Prestación energética.
- Conexión con otros objetos.
- Seguridad.
- Características físicas y mecánicas.

El buildingSMART International ha definido un proceso de certificación que asegura la exactitud de la importación y de la exportación de los datos IFC con la garantía de conformidad al estándar.

Todos los software certificados IFC son capaces de leer, escribir e intercambiar informaciones con otros programas. Según los datos proporcionados por buildingSMART, el estándar IFC está soportado por más de 140 plataformas software.

2.1.7.1 Sistemas de etiquetas

Las etiquetas son esos elementos tipo rótulo, que vemos frecuentemente en las plantas y en láminas constructivas de edificios. Nos identifican la tipología de algún elemento o acabado. Antes de la llegada de los modelos BIM, En AutoCAD, por ejemplo, lo que se hace para etiquetar cosas generalmente es usar un leader con un texto simple, o insertar un tag usando un bloque. Y es muy difícil mantener todo actualizado, ya que al cambiar un elemento hay que modificar manualmente las etiquetas correspondientes.

Pero en modelos BIM, no se ocupa dibujar etiquetas “a pie”. La etiqueta, o también llamado tag, es un elemento automático: simplemente se da la orden de poner la etiqueta sobre un elemento, y aparece.

La información que da origen al texto viene del elemento que estamos etiquetando, de sus propiedades, semántica o relación que está guardada en el formato IFC. Por ejemplo, si un muro que está configurado como tipo MC1, la etiqueta dirá “MC1”. Del mismo modo, si una puerta es del piso 1, habitación 3, número 2”, la etiqueta se puede colocar fácilmente como “P_P1_H3_N2”, por ejemplo. Además, el tag dentro del modelo cambiará de formato de acuerdo con el elemento que estemos etiquetando.

Se puede tener diferentes formas y formatos de tags para cada categoría de nuestro modelo. Un rombo para paredes, un cuadrado para pisos, un círculo para puertas, y así sucesivamente, como se quiera definir para ese modelo en particular.

Hay que tener en cuenta que el tag es una familia, y la familia depende de la categoría de elemento que estoy etiquetando. Hay familias de tags para muros, familias para pisos, familias para vigas, etc. No puedo usar una familia de tag para vigas, para etiquetar un muro. Ni puedo usar un tag de puertas para etiquetar un piso.

Dentro de las etiquetas nosotros podemos mostrar lo que nos interese, siempre y cuando, lo que queremos mostrar corresponde a la familia del elemento. Por ejemplo, podemos mostrar la ID del elemento, el espesor, el piso, la fecha de mantención, etc.

2.1.8 TECNOLOGÍA AIDC

AIDC es un proceso que se utiliza para identificar y recopilar datos. Una vez que se completa la recopilación, los datos se almacenan automáticamente en un sistema informático, donde luego se clasifican y, según el software, se agregan. El proceso de AIDC se realiza sin el uso de un teclado y generalmente se integra para rastrear elementos, inventario, herramientas, activos e incluso trabajadores.

AIDC se refiere a un espectro relativamente amplio de tecnologías específicas que lo emplean como un atributo, las cuales se muestran en la **Figura 2**.

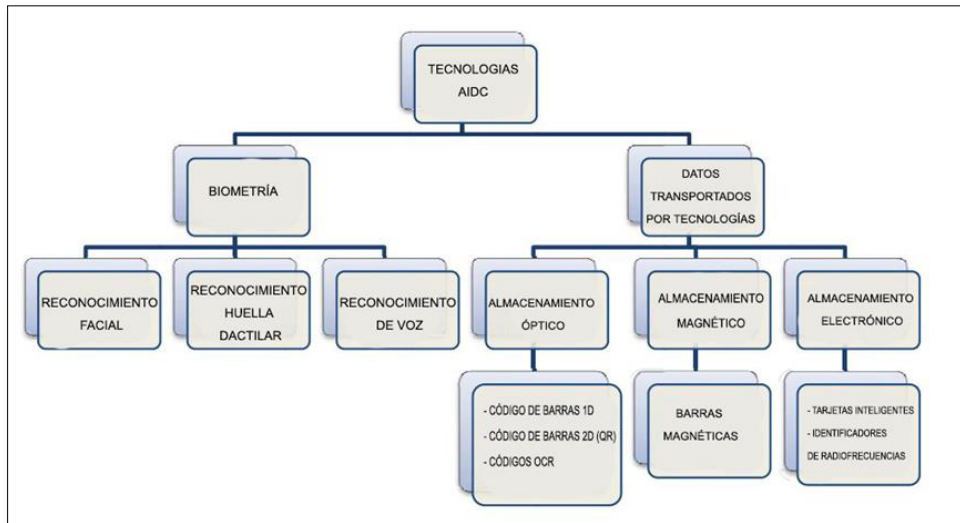


Figura 2: Clasificación tecnologías AIDC.

Todas estas tecnologías utilizan AIDC de formas únicas, pero se sintetizan de manera diferente según los entresijos de los procesos.

Sin embargo, normalmente, el dispositivo toma imágenes, sonidos o videos del objetivo y captura los datos con la ayuda de un transductor. Los transductores difieren según la aplicación de la tecnología, ya sea un código de barras, una tarjeta inteligente, una RFID o cualquier otra cosa, pero el objetivo principal es el mismo: convertir el sonido, la imagen o el video en un archivo digital.

A partir de ahí, los datos capturados se guardan en una base de datos o se transfieren automáticamente a un sistema basado en la nube. Es entonces cuando los datos pueden ser analizados y/o categorizados. Este paso es algo que está determinado por el software y cómo funciona para integrarse con el dispositivo de captura, sea lo que sea.

Aunque AIDC cubre un amplio alcance, la tecnología se utiliza principalmente para una de estas tres cosas:

1. Identificación y validación
2. Seguimiento de activos
3. Interfaces con otros sistemas

2.2 CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA

La Construcción Industrializada se centra en la automatización de sus procesos constructivos, pensar como una industria manufacturera y tratar los procesos constructivos actuales como procesos susceptibles de industrializar para incorporar a estos las tecnologías existentes.

Al respecto, SERVIU Biobío, define “se entenderá por viviendas y construcciones industrializadas aquellas cuando alguno de sus componentes principales, tales como, fundaciones, estructura vertical interior y exterior, techumbre, instalaciones, etc., sean preparados en un local o fábrica, empleando procedimientos repetitivos o seriados, que transportados posteriormente a la ubicación definitiva, sean

armados siguiendo trazados y diseños tipificados con anterioridad, constituyendo la vivienda terminada.”²⁰

Entre estas tecnologías antes mencionadas, se encuentra BIM, proceso de generación y gestión de datos de un edificio durante su ciclo de vida utilizando software dinámico de modelado de edificios en 3D. Este modelo ofrece un marco común y aceptado por todos los actores del proceso de construcción y simula diversos escenarios que permiten la toma de decisiones. Se diseñarán equipos computarizados que reducirán los índices de siniestralidad, mejorándose sustancialmente la productividad en la construcción.

La incorporación de tecnologías en el diseño de los proyectos permite un mayor detallamiento de los mismos, por lo tanto, una mayor precisión en los procesos y una mejor integración y coordinación entre las especialidades. Una alta definición del proyecto a través del uso de tecnologías permite una planificación más rigurosa, en beneficio de las etapas de fabricación y montaje, así como, una mayor certeza en costos y plazos.

Hoy en día la tecnología facilita trabajar con Modelos de Información de la Construcción (BIM), permitiendo diseñar, presupuestar, resolver la ingeniería y obtener procesos productivos a través de modelos que incorporan un gran nivel de detalles, lo que permite flujos de trabajos más eficientes. Además, esta tecnología provee software especializados para la prefabricación en madera, acero y hormigón.

La tecnología CAD-CAM, diseño y manufactura asistidos por computador, integra el diseño con la fabricación. La incorporación de estas tecnologías permite mejorar la productividad y sustentabilidad en la construcción. Esta tendencia también se asocia al concepto de industrialización abierta, donde incluye desde componentes complejos a componentes 3D de producción avanzada posibilitando la fabricación industrializada personalizada o por encargo. A continuación, algunos ejemplos de esta tendencia en el ámbito internacional y nacional.

2.2.1 CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA INTERNACIONAL

En esta sección se indican algunas empresas internacionales más reconocidas por incorporar la industria al sector de la construcción:

2.2.1.1 Vector Praxis



Ilustración 17: Logo Vector Praxis

(Fuente: <http://www.vectorpraxis.com>)

Esta empresa estadounidense, miembro de la institución Modular “Institute”, se especializa en el uso de diseño paramétrico (BIM), tecnología de visualización 3D para la resolución de

²⁰ Informe final industrialización y Prefabricación, Construye2025.

problemáticas de arquitectura de alta gama, "cualquier material a cualquier escala". Ellos enfrentan desafíos en cuanto a fabricación de materiales y procesos, desarrollo, detallamiento y entrega. Poseen experiencia en multiprocesos, integrando diseño y producción oportuna a proyectos. Los materiales utilizados regularmente son estructuras de acero pesado, acero inoxidable finamente trabajados, vidrio estructural, materiales compuestos, piedra, madera, iluminación y sistemas electrónicos, en general todo tipo de materiales.

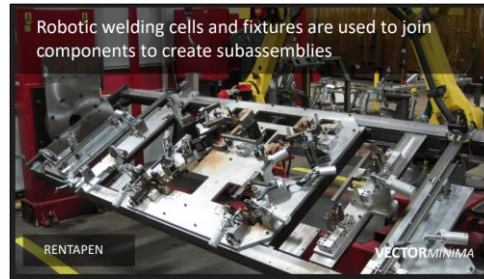


Ilustración 18: Máquina CNC robotizada para soldar elementos de acero.

(Fuente: <http://www.vectorpraxis.com>)

2.2.1.2 Design & Make (Timber Technologies)

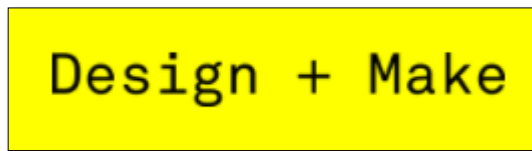


Ilustración 19: Logo Design & Make.

(Fuente: <https://www.designandmake.com/>)

Empresa de la Asociación de Arquitectura Parque Hooke, Inglaterra, se basa en la creación de prototipos y construcción de edificios como vehículo para la investigación aplicada en diseño y desarrollo de formas arquitectónica a gran escala. Los cursos se emplazan en un contexto único de bosques ingleses. La investigación consiste en tecnologías aplicadas a madera, considerando una arquitectura rural alternativa en un contexto rico en tradición artesanal. Las investigaciones se estructuran en dos vertientes: el diseño ambiental innovador probado a través del diseño integral de edificios, y el desarrollo de sistemas de construcción que utilizan las nuevas tecnologías de fabricación y la madera disponible de los bosques de los alrededores.

La forma natural inherente del árbol y su capacidad estructural son transferidos y explotados dentro de la estructura entramada utilizando técnicas 3D de escaneado y fresado robótico para formar las conexiones. Cada árbol se caracteriza, enumera y fotografía usando teodolito²¹, el que luego es catalogado y analizado utilizando el software Rhino y Grasshopper scripts.

²¹ Instrumento topográfico de precisión para medir ángulos de distintos planos.



Ilustración 20: Brazo robótico CNC para el fresado en madera.

(Fuente: <https://www.designandmake.com/>)

2.2.2 CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA EN CHILE

2.2.2.1 Timber



Ilustración 21: Logo Timber.

(Fuente: <https://www.timber.cl/>)

La empresa Timber ubicada en Lautaro, utiliza tecnología CAD-CAM en su proceso de fabricación, cuenta con maquinaria de control numérico (CNC) que le permite elaborar cada elemento con todos los ajustes necesarios para el ensamblaje y unión con el resto de la estructura, de tal forma que se minimizan los trabajos en obra. Cada elemento lleva una numeración que permite localizarlo en todo momento.



Ilustración 22: Maquina CNC para el procesamiento de madera.

(Fuente: <https://www.timber.cl/>)

2.2.2.2 Baumax



Ilustración 23: Logo Baumax.

(Fuente: <https://www.baumax.cl/>)

El sistema prefabricado BauMax consiste en la fabricación robotizada de paneles de hormigón, incorpora diseño integrado (BIM) y con la aplicación de CAD-CAM permite dimensionar directamente los elementos para su fabricación bajo un proceso controlado. Disminuye plazos, reduce mermas y residuos, y considera un alto control que garantiza su calidad. La ventaja de esta tecnología es que permite adaptar la fabricación a los requerimientos de un diseño flexible y de alta calidad.

Es la única empresa en Chile que utiliza un innovador sistema de construcción robotizada y de impresión 3D en hormigón armado para levantar casas y edificios. Gracias a su tecnología de punta, proveniente de Alemania, es capaz de construir directamente desde una plataforma BIM.

El sistema, rápido y de calidad controlada, permite reducir en un 30% los tiempos de construcción (en un día se pueden producir 6 casa de 140 m² y cada una de ellas, se puede montar en 3 días). Asimismo, genera un ahorro de 50% en mano de obra, y posee características ecoamigables, ya que reduce en un 65% los escombros disminuyendo la contaminación ambiental.



Ilustración 24: Casa prefabricadas de hormigón.

(Fuente: <https://www.baumax.cl/>)

2.2.2.3 MultiAceros



Ilustración 25: Logo MultiAceros.

(Fuente: <https://multiaceros.cl/>)

MultiAceros, en conjunto con su socio estratégico FRAMECAD de Nueva Zelanda, realizan la primera innovación importante después de la introducción hace 20 años de los perfiles estructurales galvanizados livianos.

Esta empresa cuenta con un proceso constructivo que automatiza la panelización de los muros exteriores e interiores, cerchas, techos, estructuras, entresijos, escaleras y fachadas. Lo que implica una instalación de la estructura mucho más rápida, precisa y confiable con relación a los sistemas “artesanales” existentes en Chile.

Toda la estructura es diseñada y detallada con el software Framacad. El archivo completo y listo para la producción se envía electrónicamente al equipo de fabricación.

Los paneles se fabrican milimétricamente y de manera automatizada, conservan su integridad superficial, ya que los tornillos de unión quedan bajo relieve. El equipo de producción crea cada uno de los componentes de la estructura individualmente, luego los etiqueta según su ubicación en la estructura para un ensamblaje sin errores.

Los paneles, vigas y cerchas terminados se transportan hasta la obra, en forma de estructura lista para el montaje o en forma de kit. Por otro lado, el proceso de ensamble puede tener lugar en la fábrica de MultiAceros in situ. Las estructuras se ensamblan y se atornillan para formar paneles, vigas y cerchas.

Una vez en el sitio de construcción, los paneles, vigas y cerchas se colocan para un levantamiento de la construcción de manera rápida y precisa. A continuación, las paredes exteriores e interiores, el piso y el techo se unen para completar la edificación y así proporcionar la solución más avanzada de principio a fin para la construcción con estructuras de acero.

3 IMPLEMENTACIÓN

La propuesta de automatización de los procesos constructivos para material ligero que se elaboró en este trabajo consta de diversos subprocesos, los cuales, se muestran en el Figura 3.

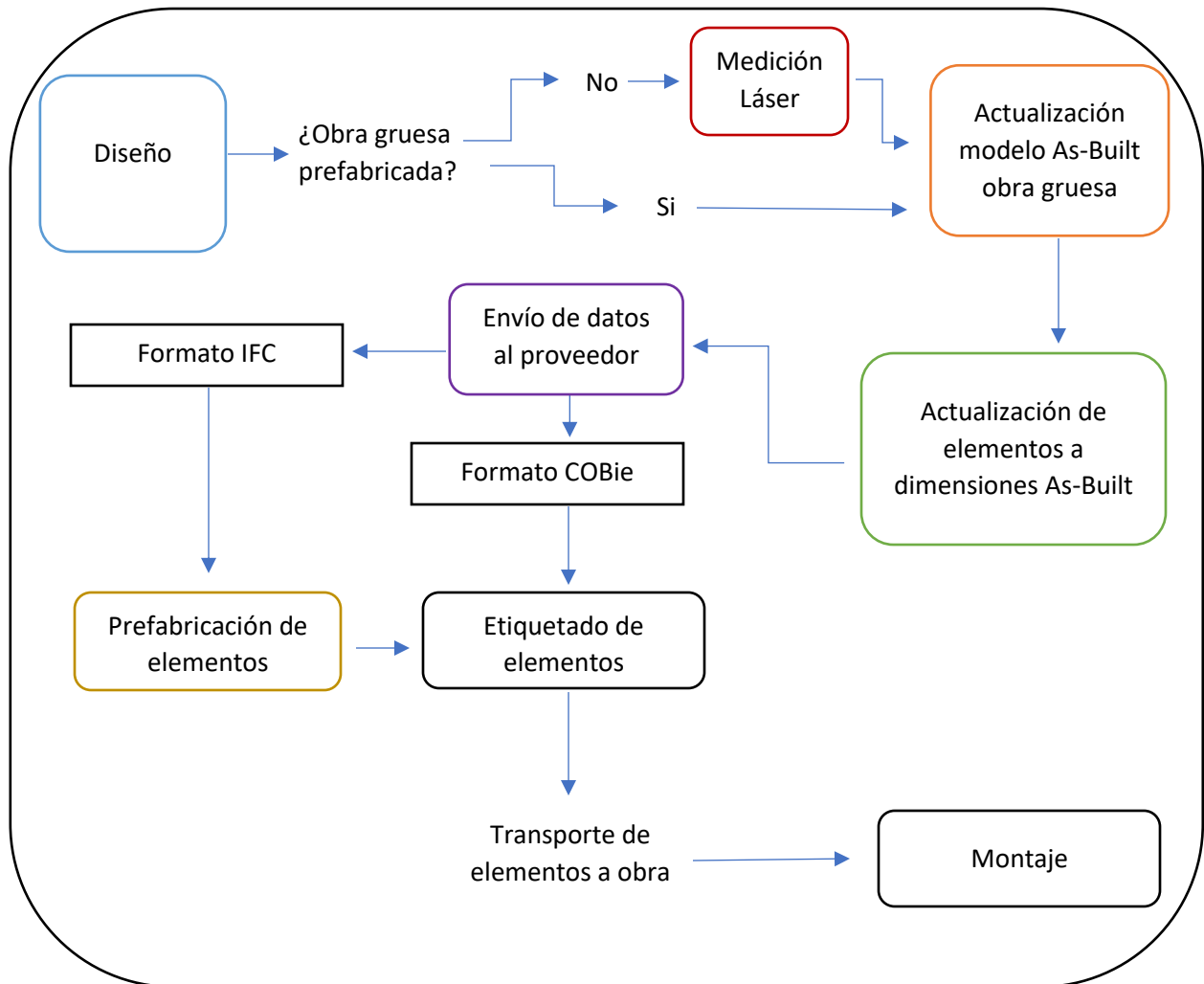


Figura 3: Diagrama de flujo. (Elaboración: Propia)

Cada uno de estos subprocesos, que se profundizan en los subcapítulos siguientes, al momento de implementarse, requieren un estudio elaborado de la metodología a utilizar, ya que existe una gran cantidad de opciones en el mercado actual que se pueden adaptar a cada una de las necesidades según el tipo de obra a construir, la que pueden variar en tamaño, materiales, presupuestos, etc.

En este capítulo se entregan recomendaciones y consideraciones mínimas que se deben tener en cuenta en cada uno de los subprocesos al momento de implementar un proceso automatizado.

En general, se debe tener en cuenta que la mala implementación de alguno de estos subprocesos puede significar la pérdida de los beneficios que se obtienen al automatizar el proceso y hacer uso de estructuras

prefabricadas, por lo tanto, es de vital importancia asegurar que ningún subproceso sea descuidado por más sencillo que parezca.

3.1 DISEÑO

La metodología de diseño que permite la utilización de estructuras prefabricadas es la metodología BIM a través de software de modelado 3D. Ésta permite que el diseño sea integrado entre las diversas especialidades que se involucran en el proyecto, desde el cálculo estructural, hasta detalles como instalaciones de corrientes débiles, fachada u elementos no estructurales, con lo cual, el diseño definitivo de los elementos no deberá ser modificado en obra debido a, por ejemplo, el paso de una tubería que no estaba considerada en los planos de obra gruesa.

Sin el uso de esta metodología, es prácticamente imposible una buena coordinación para el diseño de elementos prefabricados, por ende, se debe escoger algún software de diseño que trabaje con la metodología BIM. Existen diversas opciones en el mercado actualmente para la elaboración de modelos 3D, los más utilizados, son Revit (Autodesk), ArchiCAD (Graphisoft), y OpenBuilding Designer (Bentley Systems). Para la coordinación entre disciplinas existen otros software más completos y específicos para ello, tales como, BIM 360, Navisworks y ProjectWise365. Es importante la utilización de este tipo de herramientas ya que permiten una comunicación y coordinación más eficiente entre disciplinas, mandante y proveedor.

Si bien estos últimos softwares de proyecto tienen un costo bastante elevado y requieren de ingenieros con un grado de especialización en BIM que elevan los costos del diseño respecto a al diseño tradicional, el ahorro que se genera durante la construcción y la operación de las estructuras hace que su alto costo sea rentable al largo plazo, por ende, todas las grandes empresas a nivel mundial usan la metodología BIM como metodología de trabajo, la cual, se encuentra en constante crecimiento y actualización generando cada día obras más y más optimizadas.

Utilizando la metodología BIM se minimiza a valor 0 la posibilidad de error humano dentro del diseño ya que, como principio fundamental, la información dentro de los modelos es siempre coherente. Por otro lado, estos modelos cuentan con control de versiones, lo que significa que se reduce a 0 la posibilidad de pérdida de información.

3.1.1 MODELOS BIM

Un modelo BIM es una representación digital en 3 dimensiones basada en entidades, que cuentan con una gran cantidad de datos, que puede ser creado con diversos softwares BIM.

Existen diversos tipos de Modelos que se pueden generar en la actualidad, los cuales son:

1. Modelo de Sitio: En este tipo de modelos se plasman las características del sitio donde se emplazará la estructural, en el cual, se pueden incluir:
 - a. Topografía
 - b. Mecánica de suelo
 - c. Estudios Hidrogeológicos
 - d. Estructuras aledañas (elementos civiles y geográficas)

- e. Fundaciones
 - f. Zonificaciones
2. Modelo Volumétrico: Define a grandes rasgos los espacios y distribuciones que tendrá la edificación dentro del sitio de emplazamiento.
 3. Modelo de Arquitectura o Diseño de Infraestructura: Como su nombre lo indica, en este modelo se incluyen el diseño arquitectónico de la estructura, la cantidad de muros, vigas, columnas, losas, y elementos no estructurales que tendrá la obra.
 4. Modelo estructural: En el modelo Estructural se agregan las cargas, características de materiales, armaduras, etc.
 5. Modelo Mecánico – Eléctrico – Sanitario: Este modelo incluye todos los elementos que requiere la estructura para la operación, tales como, tuberías, canaletas, cableados, luces, sistema de ventilación, etc.
 6. Modelo de Coordinación: En este modelo es el resultado de la unificación de todos los modelos anteriores, requiere al menos del modelo de arquitectura, modelo estructural y Modelo M-E-S.
 7. Modelo de Construcción: En el modelo de construcción se puede incluir la más maquinarias, personal, materiales, etc., que se requieren para la construcción de la obra.
 8. Modelo As Built: El Modelo As-Built es aquel que indica las dimensiones reales de la obra ya construida, que no siempre es igual a los modelos de diseño, por diversas situaciones.
 9. Modelo de operación: Este es uno de los modelos más importantes de un proyecto, contiene toda la información que se genera durante la vida operativa de la estructura, como las fallas, mantenciones, gastos, estado de elementos, etc.

Para la inclusión de estructuras prefabricadas de material ligero se requiere el modelo As Built y el modelo de Coordinación con el mayor Nivel de Información posible.

3.1.2 DISEÑO MODULAR

La construcción es una actividad que se encuentra limitada por las restricciones espaciales y temporales de un lugar concreto y de una obra determinada, lo cual, puede acarrear consigo importantes trabas en el desarrollo de un proyecto.

Debido a esto se debe escoger la implementación de arquitectura modular, la cual, es una arquitectura muy versátil y personalizable. Versátil en el sentido de que es utilizable en instalaciones permanentes y temporales y es capaz de llegar a lugares en los que construir un edificio convencional no sería posible. Y es personalizable porque su sistema constructivo permite agregar, sustituir y eliminar módulos que ya no necesitamos.

La modularidad significa usar el mismo modelo de módulo en múltiples configuraciones, que permiten una gran variedad de diseños sin usar muchos tipos de componentes.

A través de la modularidad, pueden lograrse varios diseños, al tiempo que se logra un bajo coste para su desarrollo, así como un ahorro de costes en diseño, construcción y tiempo.

Esto simplifica de gran manera la producción en fábrica de los elementos, ya que implica no modificar demasiado la configuración de las máquinas CNC y planificar diseños con anterioridad.

3.1.3 COMUNICACIÓN

En el caso de documentación, planos, planillas, modelos u otros, se debe generar una nomenclatura, clasificación, unidades de medida, coordenadas y estructuración de modelos que facilite la búsqueda de éstos y la comunicación entre todas las partes involucradas en el proyecto.

3.1.3.1 Nomenclatura

El Estándar BIM recomienda que los archivos estén nombrados mediante la unión de diversos códigos mediante un guion medio (-).

Cada proyecto debe definir, al comienzo de este, la codificación de estos archivos y carpetas para tener todos los documentos guardados de la misma forma.

Para dar un ejemplo de esto, utilizaré la nomenclatura que se implementó en para proyectos de concesión de Establecimientos de Salud en el Ministerio de Obras Públicas.

El archivo se llamará de la siguiente forma: **RLRLL-134-HLL-AP-AA-PC-PLA-01-R0.PDF**

RLRLL: Hace referencia al nombre del proyecto, en este caso es el “Red Los Ríos – Los Lagos”.

134: Hace referencia al artículo de las Bases de Licitación en que se entrega a este documento, el artículo 1.3.4.

AP: Hace referencia a Antecedentes Proyecto.

AA: Hace referencia a que es un documento del Anteproyecto de Arquitectura.

PC: Hace indica que es un Plano de Cubiertas.

PLA: Indica que el archivo es un plano.

01: Indica que el que es el primer archivo de esta categoría

R0: Hace referencia a la revisión del archivo, en este caso es su primera versión.

De esta forma se puede realizar una búsqueda sencilla de cada documento, simplemente buscando mediante el uso de estos códigos en un software de gestión de archivos, como puede ser Aconex o en el caso de ejemplo que se verá más adelante GD-CES.

Para los elementos prefabricados es muy importante la utilización de esta nomenclatura ya que es vital para la comunicación entre las diversas partes del proyecto y como se verá más adelante, permite que la logística sea más eficiente.

3.1.3.2 Sistemas de clasificación

La naturaleza humana siempre ha tenido la necesidad de agrupar o clasificar las cosas, esto debido a que nos ayuda a mantener un orden y estructural mental. Debido a lo anterior, dentro de la construcción, se utilizan diversos sistemas de clasificación según las necesidades de cada proyecto.

Un sistema de clasificación es la forma en cual se organizan los elementos, basado en criterios comunes que tengan esos elementos. Es importante entender que no hay una forma buena o mala de clasificar, siempre que sea algo lógico. Además, dentro de proyecto puede haber más de un sistema de clasificación, incluso subsistemas dentro de cada categoría.

Un sistema de clasificación, por ejemplo, puede ser definir un elemento dependiendo si se encuentra sobre el nivel de aislación o por debajo, diferenciando entonces, elementos de la subestructura, tal como las fundaciones, de la superestructura, tales como losas, vigas, entre pisos, entre otros.

Dentro de los sistemas de clasificación más conocidos y utilizados se encuentran:

- **Masterformat:** Enumera los títulos y los números de sección para organizar los datos sobre los requisitos de construcción, productos y actividades.
- **Uniformat:** Permite mejorar la gestión del proyecto y los informes en todos los estados del ciclo de vida de la construcción de un edificio.
- **Omniclass:** Está basado en una clasificación por códigos ordenados en diferentes tablas según su función, forma, etc. Su objetivo principal es la combinación de múltiples sistemas de clasificación existentes en uno sólo basado en la ISO 12006-2.
- **Uniclass:** Es un sistema de clasificación que tiene por objetivo estructurar la información a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto.

Para la utilización de elementos prefabricados se recomienda el uso de cualquiera de los sistemas nombrados anteriormente, con la única condición de ser utilizada desde el comienzo del proyecto y utilizada por todos los agentes del proyecto.

3.1.4 GESTOR DE ARCHIVOS Y COORDINACIÓN DE PROYECTO

Dentro de un proyecto la cantidad de archivos y personas involucradas es enorme, por ende, es necesario contar con un gestor documental para la coordinación del proyecto, en el que se incluyan todo tipo de documentos como contratos, modelos, planos, planillas, etc. Estos archivos deben estar clasificados según lo indicado en el capítulo 3.1.2 y nombrados según lo indicado en el capítulo 3.1.1.

El gestor de archivos debe permitir la búsqueda de documentos de manera sencilla y rápida, mediante diversos campos de búsqueda que faciliten esta tarea.

3.1.4.1 Gestor Documental GD-CES

Para la coordinación de proyectos de concesiones de Establecimientos de Salud se elaboró un gestor documental para el envío documentos por parte del Servicio de Salud hacia la Dirección General de Concesiones en el Ministerio de Obras Públicas, la revisión de documentos por parte de la Unidad de Hospitales y la entrega de documentos a los Licitantes. En la Ilustración 26 se muestra una pantalla de búsqueda en el gestor documental que se desarrolló en base las funcionalidades de herramientas de gestión similares, como Aconex y ProjectWise.

La Unidad de Hospitales está encargada de la Concesión de más de 20 hospitales durante su segunda etapa de concesiones, por lo tanto, la cantidad de documentos y archivos que debe gestionar es gigante y no es posible de lograr de forma eficaz sin un gestor documental.

El cambio que se generó luego de la utilización del GD-CES (Gestor Documental para Concesiones de Establecimientos de Salud) es enorme. Este software permite tener el control de cada archivo que ha llegado a la DGC, verificar los estados, los archivos que falta y todo en tiempo real y coordinado.

Para la elaboración de este gestor documental se utilizó Python como lenguaje de programación basado en PyQt5 como sistema de interfaz gráfica y Firebase como nube de información (Herramienta para elaboración de aplicaciones de Google).

The screenshot shows the 'Control Documental del Proyecto: Red Los Ríos-Los Lagos' interface. The header includes 'Ministerio de Obras Públicas' and 'Segundo Programa de Concesiones de Establecimientos de Salud'. The user is identified as 'Patricio Hevia' with the role 'Admin'. The interface features a search bar, a sidebar with filters for 'Responsable', 'Estado', 'Tipo', 'Oficio Ord.', and 'Fecha', and a main table of documents. The table columns are Hospital, Nombre, Tipo, Estado, Responsable, Revisión, Gestor, Última Modificación, Observaciones, Ord., and Tamaño. The table contains six rows of document entries, all with 'Estado' 'Pendiente' and 'Responsable' 'Servicio de Salud'. Below the table are buttons for 'Descargar Todo', 'Descargar Documento', 'Abrir', and 'Volver a Proyectos'.

Hospital	Nombre	Tipo	Estado	Responsable	Revisión	Gestor	Última Modificación	Observaciones	Ord.	Tamaño
Los Lagos	RLRLL-134-HLL-AP-AA-PUPE-PLA-E01-R0.DWG	Plano	Pendiente	Servicio de Salud	0	Patricio Hevia	11/27/20	Se debe arreglar encuadre		7M
Los Lagos	RLRLL-134-HLL-AP-AA-PUPE-PLA-E01-R0.PDF	Plano	Pendiente	Servicio de Salud	0	Patricio Hevia	11/27/20	Se debe arreglar encuadre		1M
Los Lagos	RLRLL-134-HLL-AP-AA-ARQ-PLA-PLANTA 01-R0.DWG	Plano	Pendiente	Servicio de Salud	0	Patricio Hevia	12/01/20	Arreglar encu...e y Versión ...		27M
Los Lagos	RLRLL-134-HLL-AP-AA-ARQ-PLA-PLANTA 02-R0.DWG	Plano	Pendiente	Servicio de Salud	0	Patricio Hevia	12/01/20	Arreglar encu...e y Versión ...		27M
Los Lagos	RLRLL-134-HLL-AP-AA-PC-PLA-01-R0.DWG	Plano	Pendiente	Servicio de Salud	0	Patricio Hevia	12/01/20	Arreglar encu...e y versión ...		7M
Los Lagos	RLRLL-134-HLL-AP-AA-PC-PLA-01-R0.PDF	Plano	Pendiente	Servicio de Salud	0	Patricio Hevia	12/01/20	Arreglar encuadre		757K

Ilustración 26: GD-CES pestaña de búsqueda de documentos.
(Elaboración: Propia)

En la Ilustración anterior se muestra cómo se puede hacer una búsqueda según el responsable, estado, tipo, oficio que se envió el documento (si se envió) y fecha. Los documentos salen nombrados según la nomenclatura del proyecto y se puede ver quién es el responsable actual, la revisión y la persona que subió el documento (el gestor).

Una vez se selecciona un documento, se puede ver toda la información referente al mismo y se puede descargar, abrir y modificar el estado de este. En ningún caso un documento se puede

eliminar ya que eso genera pérdidas de información, en caso de pasar a un estado no válido o ser reemplazado por otro, se debe cambiar el estado a “Archivado”.

Control Documental del Proyecto: Red Los Ríos-Los Lagos

Ministerio de Obras Públicas
Segundo Programa de Concesiones de Establecimientos de Salud

Proyecto: Red Los Ríos-Los Lagos
Usuario: Patricio Hevia
Tipo: Admin

Buscar | Agregar | Reportes | Administrador

Busqueda avanzada
Responsable: Servicio de Salud
Estado: Pendiente
Tipo: Todos
Oficio Ord.: Todos
Fecha: Todos

Artículo 1.3.4
Principal: 1. Antecedentes Proyecto
Secundario: 1.1 Anteproyecto de Arquitectura
Terciario: 1.1.1 Planta de Ubicación y Planos de Emplazamiento

Datos del archivo
Nombre: RLRL-134-HLL-AP-AA-PUPE-PLA-E01-R0.DWG
Hospital: Los Lagos
Referencia: Artículo 1.3.4

Anexo I
Anexo:
Artículo 1.3.2
Literal:
Observaciones:
Se debe arreglar encuadre

Hospital	Nombre	Tipo	Estado	Responsable	Revisión	Gestor	Última Modificación	Observaciones	Ord.	Tamaño
Los Lagos	RLRL-134-HLL-AP-AA-PUPE-PLA-E01-R0.DWG	Plano	Pendiente	Servicio de Salud	0	Patricio Hevia	11/27/20	Se debe arreglar encuadre		7M
Los Lagos	RLRL-134-HLL-AP-AA-PUPE-PLA-E01-R0.PDF	Plano	Pendiente	Servicio de Salud	0	Patricio Hevia	11/27/20	Se debe arreglar encuadre		1M
Los Lagos	RLRL-134-HLL-AP-AA-ARQ-PLA-PLANTA 01-R0.DWG	Plano	Pendiente	Servicio de Salud	0	Patricio Hevia	12/01/20	Arreglar encu...e y Versión ...		27M
Los Lagos	RLRL-134-HLL-AP-AA-ARQ-PLA-PLANTA 02-R0.DWG	Plano	Pendiente	Servicio de Salud	0	Patricio Hevia	12/01/20	Arreglar encu...e y Versión ...		27M
Los Lagos	RLRL-134-HLL-AP-AA-PC-PLA-01-R0.DWG	Plano	Pendiente	Servicio de Salud	0	Patricio Hevia	12/01/20	Arreglar encu...e y versión ...		7M
Los Lagos	RLRL-134-HLL-AP-AA-PC-PLA-01-R0.PDF	Plano	Pendiente	Servicio de Salud	0	Patricio Hevia	12/01/20	Arreglar encuadre		757K

Descargar Todo | Descargar Documento | Abrir | Volver a Proyectos

Ilustración 27: GD-CES, información completa del documento.
(Elaboración: Propia)

Para la elaboración de GD-CES se generó un sistema de usuarios, los cuales, dependiendo del tipo tienen diferentes permisos. Por ejemplo, para el usuario tipo “Servicio de Salud” sólo se le permite la visualización, descarga y subida de archivos a la nube, pero no se le permite la modificación de archivos.

Un gestor documental adecuado entregará información importante de manera rápida y sencilla, por ejemplo, indicará todos los archivos que se encuentran pendientes hasta la fecha, aprobados o enviados a otra institución. Mientras más completo un gestor documental, mejor y más fácil será la coordinación del proyecto, por lo tanto, se recomienda la elaboración de un software similar que sea específico para la empresa o el uso de los ya mencionados software BIM de coordinación.

Control Documental del Proyecto: Red Los Ríos-Los Lagos

Ministerio de Obras Públicas
Segundo Programa de Concesiones de Establecimientos de Salud

Proyecto: Red Los Ríos-Los Lagos
Usuario: Patricio Hevia
Tipo: Admin

Buscar Agregar Reportes Administrador

Mostrar Aprobados Mostrar En revisión Mostrar Pendientes Mostrar Todos

Antecedentes Referenciales	Ruta	Estado
A. LOS LAGOS		
A.1 ANTECEDENTES PROYECTO		
A.1.1 ANTEPROYECTO ARQUITECTURA		
A.1.1.1 Planta de Ubicación y Plano de Empl	Red Los Rios-Los Lagos/Articulo 1.3.4/A Los Lagos/A1. Antecedentes Proyecto/A1.1 Anteproyecto de Arquitectura/A1.1.1 Planta d...	Pendiente
RRLRL-134-HLL-AP-AA-PUPE-PLA-E01-R0.DWG	Red Los Rios-Los Lagos/Articulo 1.3.4/A Los Lagos/A1. Antecedentes Proyecto/A1.1 Anteproyecto de Arquitectura/A1.1.1 Planta d...	Pendiente
RRLRL-134-HLL-AP-AA-PUPE-PLA-E01-R0.PDF	Red Los Rios-Los Lagos/Articulo 1.3.4/A Los Lagos/A1. Antecedentes Proyecto/A1.1 Anteproyecto de Arquitectura/A1.1.1 Planta d...	Pendiente
A.1.1.2 Planos de Cierre Perimetral		
A.1.1.3 Planos de Arquitectura		
RRLRL-134-HLL-AP-AA-ARQ-PLA-PLANTA 01-R0.DWG	Red Los Rios-Los Lagos/Articulo 1.3.4/A Los Lagos/A1. Antecedentes Proyecto/A1.1 Anteproyecto de Arquitectura/A1.1.3 Planos ...	Pendiente
RRLRL-134-HLL-AP-AA-ARQ-PLA-PLANTA 02-R0.DWG	Red Los Rios-Los Lagos/Articulo 1.3.4/A Los Lagos/A1. Antecedentes Proyecto/A1.1 Anteproyecto de Arquitectura/A1.1.3 Planos ...	Pendiente
A.1.1.4 Cortes Generales		
RRLRL-134-HLL-AP-AA-CG-PLA-01-R0.DWG	Red Los Rios-Los Lagos/Articulo 1.3.4/A Los Lagos/A1. Antecedentes Proyecto/A1.1 Anteproyecto de Arquitectura/A1.1.4 Cortes ...	Pendiente
A.1.1.5 Elevaciones		
RRLRL-134-HLL-AP-AA-EL-PLA-01-R0.DWG	Red Los Rios-Los Lagos/Articulo 1.3.4/A Los Lagos/A1. Antecedentes Proyecto/A1.1 Anteproyecto de Arquitectura/A1.1.5 Elevacio...	Pendiente
A.1.1.6 Plantillas de Diseño de Recintos Tipo		
A.1.1.7 Maqueta Electrónica y/o Imágenes 3D		
A.1.1.8 Planos de Cubiertas		
RRLRL-134-HLL-AP-AA-PC-PLA-01-R0.PDF	Red Los Rios-Los Lagos/Articulo 1.3.4/A Los Lagos/A1. Antecedentes Proyecto/A1.1 Anteproyecto de Arquitectura/A1.1.8 Planos ...	Pendiente
RRLRL-134-HLL-AP-AA-PC-PLA-01-R0.DWG	Red Los Rios-Los Lagos/Articulo 1.3.4/A Los Lagos/A1. Antecedentes Proyecto/A1.1 Anteproyecto de Arquitectura/A1.1.8 Planos ...	Pendiente
A.1.1.9 Cuadro de Superficies		
A.1.1.10 Otros Archivos Complementarios		
RRLRL-134-HLL-AP-AA-OAC-PLA-DISO.MEC.V.IARDI...	Red Los Rios-Los Lagos/Articulo 1.3.4/A Los Lagos/A1. Antecedentes Proyecto/A1.1 Anteproyecto de Arquitectura/A1.1.10 Otros...	Pendiente

Vista Previa Exportar a PDF Imprimir Volver a Proyectos

Ilustración 28: GD-CES, reporte de documentos.
(Elaboración: Propia)

Si todas las personas involucradas en el proyecto tienen acceso al gestor de archivos, que contiene los documentos en una nube de información, se logra que todos tengan la información actualizada y ordenada durante todas las fases del proyecto, evitando información duplicada, incorrecta y pérdidas de información.

3.1.4.2 ProjectWise

ProjectWise al ser un software mucho más complejo, avanzado y enfocado en proyectos a nivel de ingeniería y no solo coordinación es el software más adecuado si el objetivo es la automatización de procesos constructivos que involucren diversos proveedores y empresas, tanto a nivel local como a nivel internacional inclusive.

Ofrece un sistema en la nube, que gracias a su convenio con Microsoft se adecua a los diferentes lugares alrededor del mundo, ofreciendo rapidez y seguridad.

Bentley Cloud permite el traspaso de información a las diversas partes que forman el proyecto, permitiendo a los coordinadores BIM del proyecto enviar y compartir las diversas carpetas a través de sistemas de usuarios o incluso con servidores locales a través de carpetas compartidas sin la necesidad de que todos tengan instalado ProjectWise, además genera respaldos a diario para poder recuperar información en caso de que algún servidor tenga problemas.

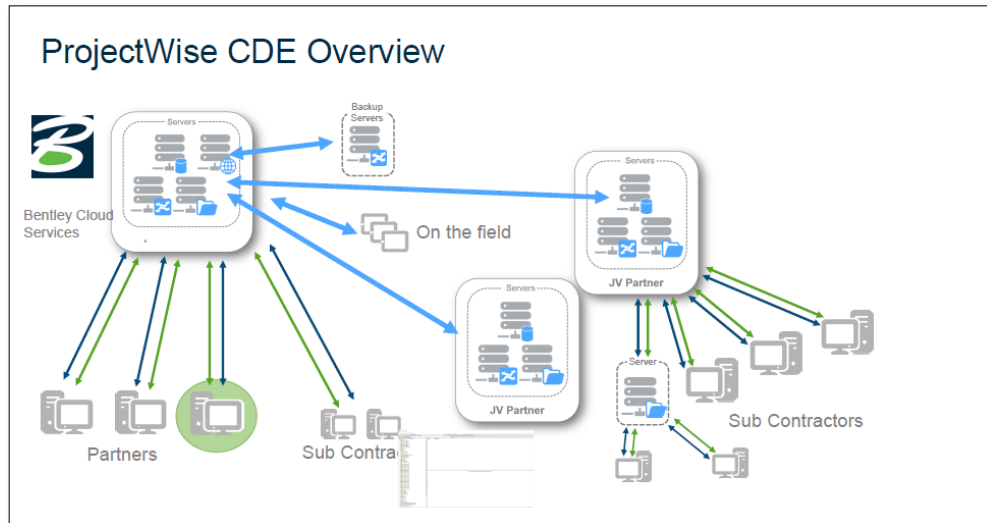


Ilustración 29: Diagrama de traspaso de información a través de ProjectWise.
 (Fuente: Bentley Systems: Connection Seminar Madrid 2019)

Por otro lado, ProjectWise se integra con las herramientas de diseño como Revit, ETABS o OpenBuilding Designer, es decir que un modelo se puede abrir directamente desde ProjectWise, bloquear el uso de este modelo por otro usuario mientras se realizan cambios y guardar los cambios como una nueva revisión de forma automática.

ProjectWise trabaja a través de sistemas de dependencias, es decir si un modelo depende de otro automáticamente carga la dependia al cargar el primer archivo, permitiendo reordenar la información libremente y sin referencias perdidas, ahorrando tiempo y denegando la posibilidad de corromper relaciones entre documentos.

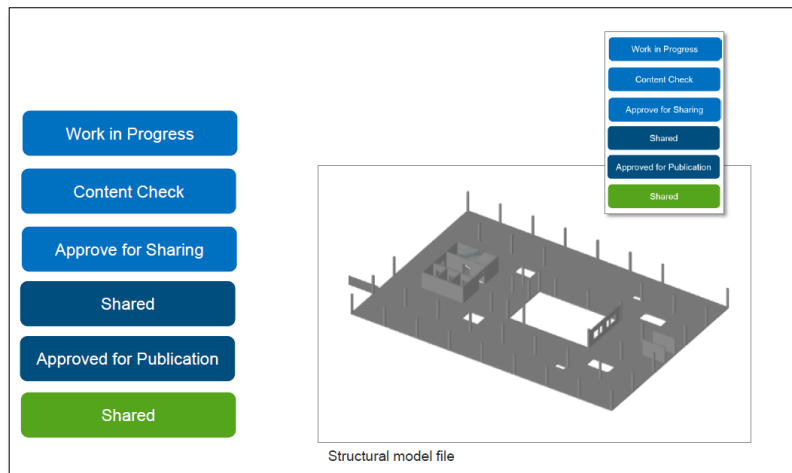


Ilustración 30: Ciclo de vida de un archivo.
 (Fuente: Bentley Systems: Connection Seminar Madrid 2019)

Los archivos cargados en ProjectWise pueden pasar por 6 estados a medida que se trabaja con ellos, desde trabajo en progreso, verificaciones, aprobaciones hasta que se comparte el archivo con otros usuarios, así cualquier usuario que trabaja con ese archivo puede saber en qué estado se encuentra y por qué usuario está siendo trabajado en cada momento.

Object Type	Object Name	Action Name	Date/Time	User Name	
Folder	3D Model	Created	7/8/2015 6:00:43 AM	admin	
Document	Architecture.i.dgn	Copied	7/8/2015 6:29:12 AM	eva.cantarero	In folde
Document	Architecture.i.dgn	Attributes	7/8/2015 6:29:12 AM	eva.cantarero	New Sh
Document	OfficeBuildingMaster.i.dgn	Copied	7/8/2015 6:29:14 AM	eva.cantarero	In folde
Document	OfficeBuildingMaster.i.dgn	Attributes	7/8/2015 6:29:14 AM	eva.cantarero	New Sh
Document	Building_location.dgn	Copied	7/8/2015 6:29:14 AM	eva.cantarero	In folde
Document	Building_location.dgn	Attributes	7/8/2015 6:29:14 AM	eva.cantarero	New Sh
Document	Building_location.i.dgn	Copied	7/8/2015 6:59:35 AM	eva.cantarero	Copied
Document	Building_location.i.dgn	Copied	7/8/2015 6:59:35 AM	eva.cantarero	Source 'BIM4In Scheme'

Ilustración 31: Trazabilidad en ProjectWise.
(Fuente: Bentley Systems: Connection Seminar Madrid 2019)

Otro aspecto muy importante que ofrece ProjectWise es la trazabilidad automatizada, donde los usuarios de mayor jerarquía pueden revisar cada aspecto y fase por la que ha pasado un archivo en específico, si fue descargado, copiado, editado, etc.

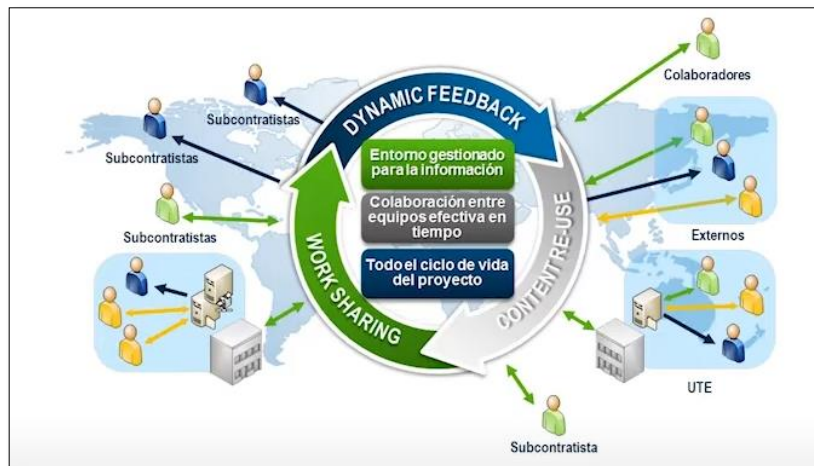


Ilustración 32: Entorno de trabajo de ProjectWise.
(Fuente: Bentley Systems: Connection Seminar Madrid 2019)

Al unir todo lo anterior, se genera un entorno de trabajo con información dinámica, colaborativa y universal durante todo el ciclo de vida del proyecto, facilitando tareas de automatización y coordinación, perfecto para procesos industrializados que requieren la mayor precisión y comunicación posible en todas las etapas del proyecto.

3.1.5 NDI

Durante la etapa de diseño es necesario que las entidades que se prefabricarán cuenten con el mayor nivel de información posible, las cuales, previo a la elaboración de los modelos As-Built deben ser de, al menos, un Nivel de Información 5 (NDI-5). En este nivel se encuentra la información detallada y coordinada respecto al tamaño, forma, localización, cantidad, orientación e interacción entre sistemas de construcción. Además, considera toda la información de la fabricación y montaje, incluyendo costos y tiempos.

Tomando de ejemplo que se va prefabrican una ventana, el objeto en el modelo debe incluir la siguiente información:

Tabla 2: Información requerida en NDI-1 (Elaboración: Propia, basado en Estándar BIM).

NDI-1	Propiedades Físicas de Objetos y Elementos	Ancho
		Alto
		Área
		Perímetro
		Estado del Elemento
	Propiedades Geográficas y de Localización Espacial de Objetos & Elementos	De Uso en Exterior / Interior
		Tipo de Posición
		Restricciones de Ubicación
		Código de Restricción
	Requerimientos de Costos	Costo Conceptual
		Unidad Costo Conceptual
		Costos Futuros supuestos

Como primeros valores a establecer, se deben ajustar las geometría básica de la entidad, como son las dimensiones de ancho, alto, áreas, perímetros u otros, en caso de no contar con una geometría rectangular, como puede ser un radio, diagonal, etc.

Además, se debe dejar claro el tipo de elemento que se colocará, en el caso de elementos prefabricados su valor de estado siempre será “Nuevo”.

Por otro lado, se debe indicar una localización preliminar del elemento, si corresponde a un elemento exterior o interior y el tipo de posición de este, por ejemplo, si es fijo, móvil, anclado, etc. Así mismo, se deben indicar las restricciones que tiene el elemento, como el límite máximo de apertura, ángulo máximo de inclinación, entre otros.

Tabla 3: Información requerida en NDI-2 (Elaboración: Propia, basado en Estándar BIM).

Nivel de Información	Tipo de Información	Parámetro
NDI-2	Propiedades Físicas de Objetos y Elementos	Espacio mínimo requerido
	Propiedades Geográficas y de Localización Espacial de Objetos & Elementos	Número de piso
	Requerimientos Específicos de Información para el Fabricante	Tipo
		Tipo por función
	Requerimientos de Costos	Valor en que se basa el Costeo (ej:valor m2)
	Requerimientos de Fases, Secuencia de Tiempo y Calendarización	Secuencia de Tiempo
		Orden de Hitos de Proyecto

A medida que se avanza el diseño del modelo, se deben establecer requerimientos más específicos, como espacio requerido para su montaje y colocación e información que será relevante para el fabricante, como el tipo del elemento, y el tipo de elemento por función, por ejemplo, tipo: ventana, tipo por función: ventana deslizante horizontal. Además, se deben hacer estimaciones de costo para cubicación, por ejemplo, por metro cuadrado, por piso, etc. En este punto, ya se deben establecer las secuencia a seguir desde su fabricación a montaje, estableciendo en qué momento se deben solicitar al proveedor y en cuando tiempo se deben transportar para su montaje, si deben permanecer en bodegas, etc.

Tabla 4: Información requerida en NDI-3 (Elaboración: Propia, basado en Estándar BIM).

Nivel de Información	Tipo de Información	Parámetro
NDI-3	Propiedades Geográficas y de Localización Espacial de Objetos & Elementos	Coordenadas eje X
		Coordenadas eje Y
		Coordenadas eje Z
	Requerimientos Específicos de Información para el Fabricante	Material
		Disponibilidad (en el mercado)
		Identificación de Componente
		Nombre de Componente
		Descripción del componente
	Especificaciones de detalle	Identificación del atributo
		Nombre del atributo
		Descripción del atributo
		Valor de atributo
		Unidad de atributo
	Requerimientos Energéticos	Valor en reposo
		Valor en Uso
		Valor de absorción
	Estándar sostenible	Salida de calor radiante
	Validación de Cumplimiento de Programa	Clasificación acústica
	Cumplimiento Normativo y Requerimientos de Seguridad de Ocupantes	Altura de acceso
		Ancho de acceso
Resistencia al fuego		
Salida de emergencia		
Logística de Construcción y Secuencia	Material	

Ya en etapas más avanzadas del proyecto se deben establecer las coordenadas precisas de los elementos y lo principal, un análisis de mercado de estos. Para ello se debe evaluar el tipo de material en el que serán construidos y verificar si está disponible en el mercado local. Se deben identificar cada uno de los componentes del elemento, por ejemplo, marco, el vidrio, bisagras, tornillos, aisladores acústicos, entre otros.

Una vez que se tienen definidos los componentes, se debe realizar un análisis de los atributos de estos, por ejemplo, si se utilizarán marcos de acero galvanizado, se deben establecer la masa, coeficientes de dilatación, resistencias, capacidad de aislación, etc.

Para los nuevos proyectos es importante definir los requerimientos energéticos, pensando en que el 80% de los costos están asociados a la operación, por ende, establecer los valores de consumo en el diseño puede ahorrar costos en el futuro. Es necesario generar proyectos lo más sostenibles posibles y para ello se debe realizar un análisis exhaustivo de las propiedades de los materiales.

Ya con todo lo anterior definido, se debe verificar el cumplimiento normativo de los elementos, según la Normativa Chilena y requerimientos que establezca el mandante.

Tabla 5: Información requerida en NDI-4 (Elaboración: Propia, basado en Estándar BIM).

Nivel de Información	Tipo de Información	Parámetro
NDI-4	Requerimientos Específicos de Información para el Fabricante	Nombre del Fabricante (originario de la garantía)
		Fabricante (Contacto)
		Número de Sistema de Clasificación
	Requerimientos de Costos	Costo Base de Ensamblaje
		Costo de Unidad / Costeo basado en Unidad
		Costo de Transporte
		Impuestos Adicionales
		Costo Total de Propiedad (TCO)
		Precio sugerido por el fabricante
		Costo estimado del ciclo de vida
		Valor R
	Valor U	
	Requerimientos Energéticos	Fase del Ciclo de Vida
		Expectativas de Vida Útil
		Contenido Reciclado (porcentaje)
		Contenido Reciclado Post-Industrial
		Contenido Reciclado Pre-cliente
		Contenido Reciclado Post-cliente
	Cumplimiento Normativo y Requerimientos de Seguridad de Ocupantes	Seguridad
	Requerimientos de Fases, Secuencia de Tiempo y Calendarización	Tiempo de Espera
Orden de Tareas Menores		
Orden de construcción de ensamblajes		
Duración de la actividad		

Posteriormente, se debe establecer la información más relevante respecto a la construcción tradicional y es la información del fabricante o proveedor. Se requiere establecer el contacto del fabricante para que quede para la operación en caso de fallas, mantenimiento y reposición. Se deben estudiar los costos de ensamblaje, transporte, impuestos, costos de propiedad, el precio que entrega el proveedor por unidad y los costos que tendrá a lo largo de todo su ciclo de vida, esto incluye mantención. Adicionalmente, se puede analizar si la materialidad es sostenible y si es posible su reciclaje.

Ya en este punto del diseño, es muy importante que se calendarice las fases de fabricación, esperas, transportes, ensamblajes y otros con el mayor detalle posible. Siempre se verificar si el proveedor tiene esos tiempos disponibles y la capacidad para fabricar el total de elementos requeridos.

Tabla 6: Información requerida en NDI-5 (Elaboración: Propia, basado en Estándar BIM).

Nivel de Información	Tipo de Información	Parámetro
NDI-5	Propiedades Geográficas y de Localización Espacial de Objetos & Elementos	Tiempo de Entrega
		Ubicación de Almacenamiento en Sitio (almacenamiento temporal previo a instalar)
	Requerimientos Específicos de Información para el Fabricante	Número de Inventario
		Número de Modelo
		Numero de Orden de Compra
		Identificación del Producto
		Nombre del Producto
		Año del producción
	Especificaciones de detalle	Peso de Transporte
	Requerimientos de Costos	Información de Compra
		Costo del Item / Costo Retail
		Costo de Instalación
		Costo de Ensamblaje
	Requerimientos Energéticos	Infiltración de aire
	Estándar sostenible	Localización de la fábrica
	Requerimientos de Fases, Secuencia de Tiempo y Calendarización	Actividad de Calendario
		Duración de la fase
		Fase en que se ejecuta
		Descripción de Hitos
		Fecha de Hito
		Tiempo de Instalación
		Secuencia de Instalación
		Fecha de Inicio de Instalación
		Fecha de término de Instalación
		Retraso de transporte
		Identificación de calendario (cuando llega)
		Aprobado por
		Entregado Por
		Gestión de Activos e Información Interna
	Esperanza de Vida	
Unidad de Esperanza de Vida		
Descripción de la Garantía		
Comienzo de Garantía		

Finalmente, los últimos detalles establecer son los del NDI-5, los cuales incluye toda la información relevante que se incluirá en las planillas COBie que se enviarán al proveedor y quedarán disponibles para la operación. Estos son, las duraciones de cada una de las fases, actividades, hitos, tiempos de instalación, secuencias precisas que se realizarán. Además de la información que será vital para la logística, la cual incluye: Localización de la fábrica, tiempos de transporte, números de inventarios, pesos, números de modelo, etc.

Adicionalmente se incluye la información de la garantía, costos de reemplazo si se acordó con el proveedor, esperanza de vida, entre otros.

En casos de ser necesario, para elementos de grandes dimensiones, se pueden realizar diseños de piezas menores, que se unen una vez están obra a través de uniones prefabricadas. Softwares como

Revit, OpenBuilding Design, Tekla, entre otros, incluyen complementos especiales para este tipo de fabricación, en madera y en acero son muy utilizados.

3.2 MODELO AS BUILT OBRA GRUESA

Una parte importante de la automatización del proceso constructivo es la elaboración del modelo As-Built luego de construir la obra gruesa de edificación.

Para este punto se distinguen dos procesos diferentes según la metodología de construcción realizada para los elementos principales de la estructura, los cuales pueden ser construcción tradicional o mediante la construcción industrializada y elementos prefabricados.

Si bien para ambos casos se toman caminos diferentes, el resultado buscado es común y obtener las dimensiones reales de todos los elementos que se encuentran *in-situ* para actualizar el modelo que se generó en la etapa de diseño.

3.2.1 OBRA GRUESA PREFABRICADA

En el caso de la obra gruesa prefabricada, al ser una construcción controlada, al momento de hacer el control de calidad se obtienen las mediciones exactas de cada elemento, por ende, se debe ajustar el modelo a estos valores. Además, se debe realizar la verificación de calidad en las juntas y unión de elementos, que sea igual a lo indicado en los modelos de diseño y lo indicado por los Ingenieros a cargo de la construcción.

3.2.2 OBRA GRUESA CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL

Cuando la obra gruesa se construye por el método tradicional, es necesario realizar las mediciones de cada uno de los elementos que afectan la colocación de los elementos prefabricados, por ejemplo, los muros y espacios necesarios para la colocación de los elementos no estructurales como las ventanas, puertas y muros interiores. La metodología más rápida y adecuada es la medición a través un escáner laser.

3.2.2.1 Determinación de las posiciones óptimas del escáner láser

Una vez que se selecciona la zona del sitio a realizar las mediciones y elegido el escaneado láser como la mejor técnica posible para ello, hay que planificar el emplazamiento del equipo láser escáner, así como los puntos de referencia.

Estas posiciones de estacionamiento del equipo deben ser las óptimas para que puedan garantizar una máxima cobertura y precisión y, en simultáneo, logre minimizar el número de inicializaciones o mediciones realizadas en total.

La precisión del equipo de medición depende del diámetro de la huella láser y por otro lado el ángulo de incidencia y el alcance del equipo son de gran importancia para determinar la posición del escáner. A continuación, se mencionan recomendaciones mínimas que se deben tomar para una correcta medición:

- Comprobar que las posiciones cubren la mayor área posible sin obstáculos en la línea de vista y que se producen las menor cantidad de sombras posibles.
- Comprobar que se cumplen los alcances mínimos y máximos para alcanzar la precisión requerida. Cuanto mayor sea la distancia al objeto, menor será la precisión y la resolución.
- Minimizar la aparición de pequeños ángulos de intersección. Con ángulos muy agudos el haz láser no se refleja tan bien, por lo que la precisión del escáner es menor.
- Intentar reducir el número de posiciones en la que se realizarán mediciones.
- Ocupar una elevación del escáner sobre el suelo tal que se puedan obtener las mediciones horizontales en los vanos para ventanas u otros espacios para elementos no estructurales.

3.2.2.2 Determinación de las posiciones óptimas de los puntos de referencia

Junto a las posiciones óptimas del escáner, los tipos de puntos de referencia y sus posiciones y/o configuración geométrica también son importantes. Los puntos de referencia se usan principalmente para registrar los escaneados realizados desde diferentes posiciones. Actualmente hay una gran variedad de dianas disponibles: retroreflectantes, esféricas, de papel, prismas, entre otros.

Uno de los puntos más importantes cuando se utilizan las dianas es que tienen que estar esparcidas lo más ampliamente posible, no sólo en las direcciones de los ejes X e Y, sino también en la dirección del eje Z. Esto se olvida frecuentemente y todas las dianas se colocan simplemente en el suelo. Algunas configuraciones de las dianas no producen una solución única cuando se realiza el registro. Por ejemplo, si todas las dianas están en una línea, tenemos un grado de libertad, la rotación en torno a esa línea.

Frecuentemente las compañías de los escáneres proporcionan dianas especiales retroreflectantes y esféricas. Estas dianas están diseñadas para reflejar la mayor parte del haz láser. El escáner puede, entonces, detectar automáticamente estas dianas y, tras un escaneado de mayor resolución, determinar el centro exacto ajustando una superficie primitiva a la nube de puntos medida.

Algunas veces se emplean dianas de papel dado su bajo coste. En otras ocasiones, se coloca un prisma retroreflectante sobre el escáner. Conociendo la distancia entre el espejo del escáner y el prisma, se puede determinar la posición del escáner midiendo el prisma con una estación total.

3.2.2.3 Toma de datos

Una vez se ha determinado el campo de visión y se ha fijado la resolución más adecuada, se puede empezar a escanear. El proceso de escaneado es totalmente automático. Tras apretar el botón de control en el programa de control del escáner o directamente en el control del escáner, el escáner se mueve al punto de inicio y empieza a tomar puntos. Estos puntos se almacenan en el ordenador portátil o en la memoria interna del escáner. Cuando en ordenador portátil está conectado al escáner, los puntos se visualizan directamente en tres dimensiones en la pantalla y dan una vista del área que se está escaneando. Después del escaneado, es bueno comprobar el escaneado realizado por si hubiera obstrucciones imprevistas que provoquen zonas ocultas en los datos.

Según la resolución elegida y el área escaneada, el proceso de escaneo puede durar desde los 5 hasta 120 minutos o incluso más. Durante este tiempo es apropiado tomar notas del levantamiento o hacer un croquis del entorno, si no se hicieron en la fase de planificación. El croquis y las notas del levantamiento deberían mostrar y describir los objetos escaneados, las posiciones de las dianas numeradas y los estacionamientos del escáner, así como condiciones externas específicas que puedan influenciar el escaneo y los ajustes establecidos.

3.2.2.4 Procesamiento de datos

Antes de procesar las nubes de puntos, los escaneados afectados por condiciones ambientales extremas o los escaneados erróneos ocasionados por fallos humanos se eliminan del conjunto de datos. Las nubes que no se eliminen se deben priorizar según las “mejores vistas”. El orden de prioridad se establece a partir de los croquis y las notas de campo.

En algunos casos, también hace falta limpiar las nubes de puntos antes de registrarlas. Cuando las dianas se han colocado muy lejos del escáner o cuando las condiciones ambientales son malas, los escaneados a alta resolución de las dianas pueden estar llenos de ruido. Este ruido se debe eliminar antes de realizar del registro, ya que, en caso contrario, afectará a la precisión del registro.

Generalmente, el procesamiento de una nube de puntos 3D, se puede dividir en dos categorías. Los resultados finales se pueden extraer directamente de la nube de puntos sin más procesamiento, o creando primero un modelo 3D de la superficie a partir de la nube de puntos y extrayendo los resultados de este modelo.

Para el caso de estudio, es recomendable actualizar el modelo de Diseño con el modelo 3D entregado de la medición láser sólo en los sectores específicos que se requiera ya que si no el modelo puede ser muy pesado para el procesamiento de datos.

3.2.3 ACTUALIZACIÓN ENTIDADES BIM

Luego de que se obtiene un modelo As-Built actualizado por cualquiera de los 2 métodos mencionados anteriormente, es momento de actualizar las entidades BIM que requieran actualización.

Gracias a que los modelos automáticamente nos indican si un elemento atraviesa otro en el modelo es fácil identificar aquellos elementos que necesitan reducir su tamaño, no así aquellos elementos que deben ser más grandes al tamaño original. Para ello se debe verificar que los que se realizarán a través de prefabricación cuentan con uniones completas y en caso de no ser así modificar sus dimensiones para que si lo sean. Para el caso de las ventanas, el vano debe tener un ancho y alto mayor a 0,5 cm a las dimensiones de la ventana para facilitar su colocación y dejar espacio para el escurrimiento de agua, que luego será cubierto con silicona para sellar la unión interior.

3.3 PREFABRICACIÓN

En esta etapa del proyecto es momento de obtener la información de los elementos a prefabricar de los modelos y compartirla con los proveedores. Para ello, se debe realizar mediante un formato estándar, el más utilizado y recomendado a nivel mundial es COBie, el cual, también es recomendado por el Estándar BIM de Proyectos Públicos. Cuanto más antes se realice, más ganará en visibilidad el

fabricante y se hará una idea de su volumen y podrá realizar un seguimiento del proyecto con más detalle. De ahí la importancia para un fabricante de suministrar objetos provistos de información. Durante la etapa de diseño se debe haber enviado ya la información respectiva al volumen y cantidad de elementos, quedando pendiente las dimensiones de estos hasta finalizar con la obtención del modelo As-Built.

3.3.1 TRASPASO DE INFORMACIÓN AL PROVEEDOR

COBie significa “Construction Operation Building Information Exchange” y se trata de un formato de datos no patentado para la publicación de familias en la maqueta digital, centrado en las ventajas de los datos suministrados de forma independiente a la información geométrica.

El documento COBie se presenta en forma de archivo Excel con varias pestañas que se exporta directamente desde los modelos 3D. Entre la información que se indica en estas planillas se encuentran las instalaciones, pisos, espacios, componentes, tipos, sistemas, zonas, atributos (geométricos, mecánicos, eléctricos, etc.), contactos, documentos, trabajos, herramientas, ensambles, entre muchos otros datos que requiera el fabricante y el encargado de logística.

Es imprescindible que cada elemento tenga una ID de modelo exclusivo para evitar confusión a la hora de la fabricación o transporte de los elementos.

Si la cantidad de elementos es muy grande, se recomienda la división de planillas en subplanillas más pequeñas, cosa de simplificar la tarea del fabricante.

Dentro de la planillas COBie se deben indicar las dimensiones y coordenadas actualizadas de los elementos, que serán procesadas por la maquinaria CNC del proveedor para su fabricación.

3.3.2 PREFABRICACIÓN

Dependiendo del tipo de elemento, material, geometría y precisión requerida el proveedor ocupará diferentes tipos de maquinarias para dar la forma necesaria a los elementos. A medida que se realizan los cortes de las piezas se deben etiquetar inmediatamente para luego no perder el control de a que elemento pertenecen. Generalmente se ocupa el mismo ID del elemento añadiendo una letra al final para indicar a que pieza hace referencia.

Siguiendo con el ejemplo de una ventana, a continuación, se muestra de ejemplo el proceso de fabricación de una ventana de PVC con refuerzo de acero galvanizado.

Primero todas las máquinas de la fábrica reciben la información completa de cada pedido a través de programas informáticos en la fase de despiece.



Ilustración 33: Computador.
(Fuente: Bersa PVC)

De esta manera cada elemento lleva asociado un código de barras, código QR, u otro tipo de código AIDC que utilice la fábrica que determinará la correcta fabricación de los diferentes elementos. Además, esto servirá para llevar un control al momento de transporte y montaje de los elementos.

Luego, lo primero que se hace realizar los cortes del marco de PVC de la ventana con la máquina CNC, la que puede ser por ejemplo una cortadora Láser. Estos cortes se hacen de tal manera que se maximice el aprovechamiento del material y reducir la emisión de residuos. Cada perfil cortado, se debe etiquetar inmediatamente después de realizado el corte. Esta etiqueta lleva toda la información necesaria para su fabricación.



Ilustración 34: Etiquetado de elementos.
(Fuente: Bersa PVC)

Paralelamente al corte de los perfiles de PCV se realiza el corte del refuerzo de acero galvanizado que se insertará en la cámara más ancha del interior del perfil. También estos refuerzos se deben etiquetar.

El siguiente paso es introducir el refuerzo de acero en los perfiles de PVC, adicionalmente se puede agregar frescaca para la aislación térmica y acústica si es necesario, se debe verificar primero mediante las etiquetas que el refuerzo corresponde al perfil seleccionado. Una vez que se introduce el refuerzo, los elementos pasan por el centro de mecanizado, donde el refuerzo es unido y fijado al perfil.



Ilustración 35: Perfiles pasando a través del centro del mecanizado.
(Fuente: Bersa PVC)

Ya con las piezas reforzadas, se procede a realizar las perforaciones a través de una máquina de perforación o fresadora CNC, la que realiza agujeros de diferentes dimensiones y tipos según las características de la ventana y del tipo de movimiento que permitirá al abrir, estos orificios también se utilizan para las salidas de agua, marcas de bisagras, cerraderos, entre otros.

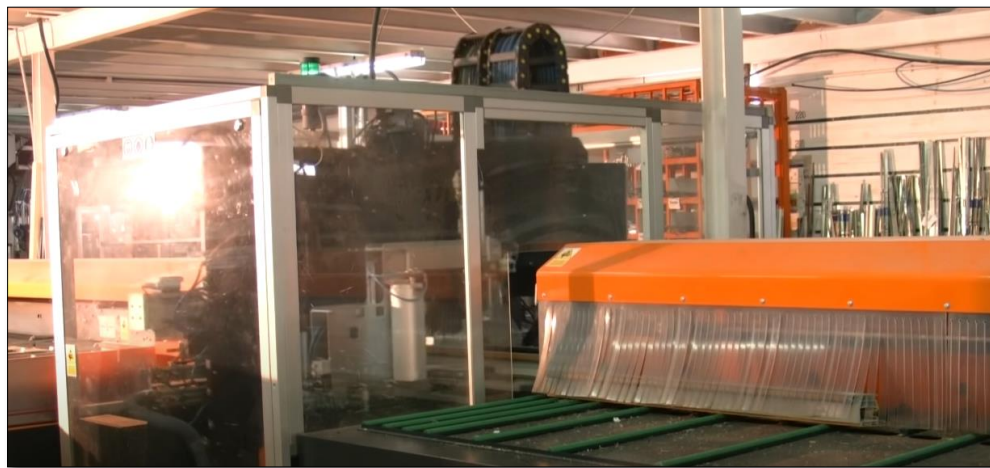


Ilustración 36: Máquina fresadora CNC perforando perfiles reforzados.
(Fuente: Bersa PVC)

El siguiente paso es unir los perfiles, este proceso, para el caso de las ventanas de marco de PVC se lleva a cabo mediante soldadura de termofusión, nuevamente en un proceso automatizado. En el caso de ventanas de marcos de aluminio las uniones se realizan a través de pernos y escuadras en las esquinas.



Ilustración 37: Unión de perfiles mediante termofusión.
(Fuente: Bersa PVC)

Ya con el marco unido el marco pasa por un proceso de limpieza y acabado que le otorga el aspecto estético y elegante.



Ilustración 38: Proceso de limpieza y acabado.
(Fuente: Bersa PVC)

Luego, se cortan y se colocan los cerrajes que permiten obtener las distintas formas de apertura de la ventana, que irán variando según el diseño de esta. Tras la colocación del herraje se ponen los cerraderos sobre los que se ajustará la hoja ventana (pieza donde se fija el vidrio) al cerrar la ventana. Finalmente se colocan las Bisagras y la pieza está completa para la unión con la hoja.

Todo los procesos anteriores se realizan también en forma paralela para la hoja de la ventana que se unirá al marco a través de las bisagras. Siempre se deben comprobar que los cierres de apertura estén bien colocados.

Ya con la ventana armada, se cortan los junquillos que cubrirán la unión de la hoja y el vidrio, y se pasa al proceso de acristalamiento.

El primer paso del acristalamiento consiste en nivelar la ventana, encuadrar la hoja y colocar el cristal en el espacio disponible para el en la hoja. Luego, se ajusta con calzos y se fijan los junquillos previamente cortados. El cristal debe contener el mismo código que el resto de los componentes de la ventana que se debe verificar previo a la colocación. Este proceso se puede realizar de forma manual como de forma robotizada.



Ilustración 39: Acristalamiento de una ventana.
(Fuente: Bersa PVC)

Ya con la ventana completamente armada, se le coloca una nueva etiqueta que indicará a que ventana corresponde en el modelo, facilitando la tarea de los encargados de montaje. En este paso se recomienda la utilización de código QR para que cualquier persona con su celular sea capaz de leer el código y verificar a que piso, que zona y en qué posición debe ir esa ventana u otro elemento que se haya prefabricado.

3.4 LOGISTICA Y TRANSPORTE

Dentro de todo el proceso constructivo, la logística y transporte es la que más requiere atención ya que si no se hace de la manera correcta se pueden llegar a perder la mayoría de los beneficios de automatizar.

Es de vital importancia que se coordine con el proveedor o fabricante el día exacto para la entrega de los elementos para evitar tiempos de espera, acumulación de elementos en obra y cualquier tipo de contratiempos que se pueden generar debido a eventos no previstos.

Dentro del modelo BIM y programas de planificación se deben establecer las horas de salidas desde la fábrica y calcular el tiempo de traslado hasta la obra, para estimar la hora de llegada y tener al personal preparado para recibir la carga, descargarla y llevarla a las zonas correspondientes.

Desde la fábrica cada elemento debe llevar una etiqueta AIDC que al ser visualizada la información se indique la información y características del elemento, el piso, la zona, posición, observaciones, indicaciones de montaje, etc.

Al momento de descargar los elementos se deben seguir las indicaciones del fabricante para apilarlos, ordenarlos por piso y zona para que sea más fácil luego transportarlos al sitio correspondiente. Para facilitar el proceso, se recomienda el uso de etiquetas QR, las cuales, se pueden leer desde un smartphone o Tablet, que deben ser entregados para ese uso específico en obra. Cada elemento descargado se debe revisar por si no se dañó durante el traslado y comprobar que está en las condiciones para ser ensamblado.

Una vez que se descargan todos los elementos, se deben trasladar a las zonas correspondientes para su montaje. Durante la etapa de diseño se definen las metodologías de traslado de los elementos en obra, si es necesaria una grúa, carro u otro elemento, por lo que se deben seguir las indicaciones del modelo a la hora de mover los elementos, éstas, deben aparecer al momento de leer el código QR.

Una vez que se trasladan los elementos se debe verificar nuevamente que estén en el estado adecuado para su montaje.

3.5 MONTAJE

Durante la etapa de diseño, para cada elemento se debe especificar las instrucciones para el montaje, que se deben coordinar con lo indicado por el proveedor. El montaje para elementos prefabricados se diseña de tal forma que minimice el tiempo de ejecución en la obra, por tanto, en general los tiempos usados para ello varían entre los 5 a 30 minutos por elemento.

Para el caso de elementos de una sola pieza, el tiempo es mínimo y basta con colocar el elemento en el lugar correspondiente y anclarlo a la obra gruesa, estos casos corresponden a las ventanas y puertas, entre otros.

Para el caso de las ventanas de PVC con refuerzo de acero galvanizado, se deben colocar en el vano del muro existentes para ellas, luego, verificar la alineación y el plomado. Una vez que se encuentra en el lugar correcto, se debe marcar el muro en los orificios correspondientes para los pernos de sujeción. En caso de ser necesario, se pueden utilizar cuñas plásticas para corregir la alineación de la ventana.

En el siguiente paso se debe retirar la ventana para perforar el muro con brocas para hormigón en los lugares marcados anteriormente, después, se deben colocar los tarugos en estas perforaciones.

Finalmente se coloca nuevamente la ventana, y se fija con los tornillos específicos para ello. Para evitar filtraciones, escape de temperatura u otros, es recomendable sellar el marco con silicona tanto desde el interior como del exterior.

Por otro lado, para elementos de 2 o más piezas, antes de fijarlo a la obra gruesa se deben unir las piezas con lo indicado en los modelos, ya sean estas de madera, acero, aluminio u otro material. Las uniones entre piezas deben ser apernadas o de encaje, pero en ningún caso soldadas.

3.6 OPERACIÓN

Uno de los grandes beneficios de implementar sistemas automatizados en los procesos constructivos, es que durante la operación del edificio se simplifica el sistema de mantenciones correctivas, mantenciones predictivas y remplazo de los elementos.

Al tener toda la información dentro de los modelos BIM de cada uno de los elementos, permite identificar rápidamente el elemento, sus características, sus dimensiones y el fabricante para la hora de necesitar cambiar el elemento, enviar el número de serie y la información si es necesaria al proveedor y este fabricarlo y enviarlo para su montaje.

Todo la información de la operación al ser diseñada en modelos BIM y llevar gran cantidad de información, se puede agregar al BMS y Modelos 3D de Operación para llevar un control total durante su ciclo de vida.

4 ANÁLISIS DE PRESUPUESTOS E IMPACTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN

4.1 ANÁLISIS DE PRESUPUESTOS

Al realizar el análisis de costo beneficio de en valor económico que detalla a continuación, se consideraran las principales variables que tienen un cambio significativo en el costo, es decir, no se considera la energía y el transporte, ya que tanto para la construcción tradicional como para la construcción en obra se tienen estos gastos.

4.1.1 COSTO DE IMPLEMENTACIÓN

Para estimar el costo de implementación para una fábrica pequeña se presenta el siguiente presupuesto de máquinas CNC, Escáner Láser y un Gestor Documental, que son indispensables para la prefabricación de elementos.

- **Cortadora Láser CNC de fibra Modelo 2513SFG 1300 x 25000 mm de hasta 6 mm acero precisión 0,05 mm:**
CPL \$ 20.000.000.
- **CNC Router 3D R7 para madera, PVC y acero presión 0,05 mm, 2300 x 3600 mm:**
\$15.000.000
- **Fresadora CNC VMC 850 CNC + Centro de Mecanizado Vertical, 2500 x 2260 mm:**
CPL \$ 10.000.000
- **Escáner Láser 3D S30A-6011CA SICK:**
CPL \$ 3.500.000

Presupuesto Total de maquinarias mínimo: CPL \$ 48.500.000

Estimación valor terreno: CPL \$200.000.000

Estimación valor galpón y mobiliario: CPL \$150.000.000

TOTAL INVERSIÓN: CPL \$ 395.684.081

A este valor se le debe agregar los costos de mantención y el costo de terreno para emplazar la fábrica. Además, se debe incluir el gasto del personal.

Estimando la necesidad de 10 trabajadores planta, un encargado de coordinación y un encargado de fábrica, se tienen los siguientes valores:

Tabla 7: Estimación gastos mensuales fábrica.

Personal	Sueldo mensual
Encargado fábrica	\$1.800.000
Personal fábrica	\$900.000

Encargado de coordinación	\$1.200.000
---------------------------	-------------

Presupuesto Total personal: CPL \$ 12.000.000 /mes = CPL \$ 144.000.000 /año.

Considerando mantenciones anuales de un 15% de la inversión se estima:

Presupuesto Total Mantención: CPL \$ 7.200.000 /año.

TOTAL GASTOS OPERACIÓN: \$151.200.000 / año.

4.1.2 AHORRO EN OBRA

Para estimar el valor de ahorro que se obtiene en la obra se analizaron 2 edificios construidos en entre 2015 y 2017, un edificio de oficina y un hospital, facilitado por la universidad para la investigación.

En las tablas siguiente se muestran la partidas con su porcentaje de costo al respecto al total de la inversión.

Tabla 8: Presupuesto general edificio de oficina. (Elaboración: Propia)

PARTIDA	COSTO [CPL]	PORCENTAJE %
Generalidades	\$ 1.305.278.110	7,00
Obras preliminares	\$169.012.150	0,91
Demolición y desarme	\$42.257.890	0,23
Trazados	\$4.141.359	0,02
Obra gruesa	\$5.797.064.169	31,10
Terminaciones	\$5.177.607.596	27,77
Instalaciones	\$6.147.573.338	32,98
Total costo directo	\$18.642.934.612	100
IVA	\$3.542.157.576	
TOTAL	\$22.185.092.188	

Tabla 9: Presupuesto partidas generales hospital. (Elaboración: Propia)

PARTIDA	COSTO [CPL]	PORCENTAJE %
Generalidades	\$ 818.701.600	1,94
Obras preliminares	\$1.822.877.140	4,31
Demolición y desarme	\$55.970.858	0,13
Trazados	\$25.465.454	0,06
Obra gruesa	\$15.190.913.627	31,10
Terminaciones	\$9.757.924.905	35,92
Instalaciones	\$14.615.745.147	23,08
Total costo directo	\$42.287.598.731	100
IVA	\$8.034.643.759	

TOTAL	\$50.322.242.490	
--------------	-------------------------	--

De las terminaciones, se obtiene el valor de las puertas, ventanas y tabiques para hacer la estimación, se destacan los valores en las tablas siguientes.

Cabe destacar que la implementación de elementos prefabricados se puede realizar para más tipos de elementos.

Tabla 10: Resumen costo de elementos en el estudio para edificio de oficina. (Elaboración: Propia)

Elemento	Costo CPL	Porcentaje %
Puerta	\$ 567.222.285	3,04
Ventana	\$ 757.889.282	4,07
Tabiques	\$ 751.295.694	4,03
TOTAL INFLUENCIA	\$2.076.457.261	11,14

Tabla 11: Resumen costo de elementos en el estudio para hospital. (Elaboración: Propia)

Elemento	Costo CPL	Porcentaje %
Puerta	\$ 907.089.109	2,15
Ventana	\$ 166.327.483	0,39
Tabiques	\$ 2.705.112.259	6,40
TOTAL INFLUENCIA	\$3.778.528.851	8,94

Luego, considerando sólo un ahorro del 2%, entre material y personal del total de gastos de cada una de las obras se obtiene un ahorro de:

Ahorro edificio de oficina: CPL \$ 41.529.144

Ahorro hospital: CPL \$ 75.570.570

Si bien la estimación es bien general, está subvalorando los ahorros ya que no considera el ahorro de tiempo y sólo considera 2% en ahorro de personal, lo cual, debería ser muy superior según los estudios y resultados internacionales.

Si consideramos CPL \$ 50.000.000 de ahorro por cada obra de gran envergadura, y generar todos los elementos de una obra al mes, en un año se generan CPL \$ 600.000.000, valor que supera los gastos, por ende la inversión de debiera recuperar en aproximadamente 1 año. Esto considerando que existen empresas en Europa que generan más de 400 ventanas al día.²²

4.1.3 ANALOGÍA CON MUROS CORTINAS

El muro cortina como sistema, también llamado fachada ligera, puede definirse como la envolvente externa autoportante compuesta por elementos lineales, unidos entre sí y anclados a la estructura principal del edificio. Este sistema, puede servir como analogía para analizar el ahorro de tiempo y

²² Capacidad fábrica Bersa PVC

las ventajas de usar elementos prefabricados, ya que los muros cortinas cuentan principalmente con 2 tipos de soluciones, los muros cortinas Stick o también llamado tradicionales, los cuales, constan de una estructura interior de montantes y columnas verticales unidas entre sí mediante travesaños horizontales, creando la retícula autoportante donde posteriormente se fijan los elementos ligeros del cerramiento. Es un sistema que se instala pieza por pieza en obra.



Ilustración 40: Muros cortina tipo Stick. (Fuente: Issuu.com/)

Por otro lado, está el sistema Frame o montaje en paneles, el cual, se reciben los paneles complementa mente armados y se fijan a anclajes previamente colocados en el hormigón.



Ilustración 41: Muros cortina tipo Frame. (Fuente: issu.com/)

Si bien los muros cortinas tipo Frame son elaborados en fábrica, estos no requieren del proceso por el cual pasan los elementos prefabricados a los cuales se está enfocando este Trabajo de Título ya que sus dimensiones no se ven afectados por las pequeñas diferencias que puede existir entre lo construido y lo modelado de la obra gruesa. Además, considerando la complejidad de instalación de los mismos, no genere un gran ahorro en su utilización. Pero, de igual forma, tienen en común con los prefabricados que se proponen el ahorro de tiempo que existe en la obra y la mejor calidad de terminaciones. Además se instalan una vez que ha finalizado la obra gruesa.

Para la comparación se usará presupuestos recibidos para un hospital de 2000 m² y muros cortina de 1,2 x 4.8 m con un valor promedio de 8 UF/m². Además se considera un 20% de utilidad, gastos generales e IVA para ambos casos. Los paneles tipo Frame tienen un 80 % de su proceso de fabricación en fabrica y un 20% en obra, totalmente opuesto al sistema Stick que un quinto de su tiempo es en fabrica y resto en obra, cuyos procesos además, son más lentos al ser realizados por personas y no maquinarias.

Tabla 12: Comparativa Muros Cortinas Frame vs Stick (Fuente: Unidad Hospitales, DGC)

		Material y Armado				Maquinaria				Mano de obra				Utilidad, GG, IVA	
		23,04 UF 50%				2,304 UF 5%				11,52 UF 25%				9,216 UF 20%	
		116.000 m2				11.600 m2				58.000 m2				46.400	
		Fábrica		Obra		Fábrica		Obra		Fábrica		Obra			
Frame	80%	18,432 UF	20%	4,608 UF	50%	1,152 UF	50%	1,152 UF	50%	5,76 UF	50%	5,76	20%	1,8432	
stik	20%	4,608	80%	18,432	30%	0,6912	70%	1,6128	30%	3,456	70%	8,064	20%	1,8432	

Por otro lado, el costo de mano de obra pasa a ser de un 30% en la fábrica para los elementos tipo Stick a ser un 50% para los elementos tipo Frame, siendo este un trabajo de mayor calidad y generalmente de mejores condiciones laborales, es un beneficio a los trabajadores.

Como ejemplo de la cantidad de muros cortinas que se utiliza en una obra de gran envergadura se tomaron en consideración los valores obtenidos en la Obra Pública del Hospital de La Florida, cuyo recinto tiene una superficie de 11.587 m² y utilizó 665 m² de muros cortinas para su fachada, representando un 13% de la superficie total, con un valor aproximado de UF 5.320.

Para este proyecto se utilizaron muros cortina tipo Frame, que para los 8 pisos que tiene el hospital, su instalación en obra duró solo 3 días, 2 de instalación 1 día de remates. Si se hubiera realizado con sistema Stick, pudo tardar semanas, incluso meses, siendo está la gran diferencia entre usar sistemas tradicionales de construcción y prefabricados.

4.2 IMPACTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN

La industrialización y prefabricación, como se mencionó anteriormente, desarrolla soluciones en elementos 3D, partes y piezas, y subsistemas. La fabricación de estos componentes necesariamente pasa por un proceso industrial realizado en fábrica, donde el sector manufacturero juega un rol predominante. En consecuencia, parte de la producción de un edificio construido en forma tradicional, obra en terreno, pasa a ser parte de un proceso que incorpora la aplicación de tecnologías con el fin de mejorar la productividad y competitividad, así como la sustentabilidad de las edificaciones.

Sin embargo, a la hora de analizar y proyectar la industrialización en el sector construcción, la adopción de tecnologías es una brecha importante para facilitar la transformación productiva y la conversión de la industria. No obstante, se reconocen avances como es el caso de la empresa BauMax, que cuenta como socio estratégico a la Inmobiliaria Manquehue, proyecto realizado con el aporte de Corfo.

En cuanto a los procesos constructivos, al automatizar los sistemas, se modifica la cadena de valor a partir del diseño, fabricación y montaje. En la Figura 4, se muestra un esquema sintetiza lo que implica implementar industrialización en la construcción.

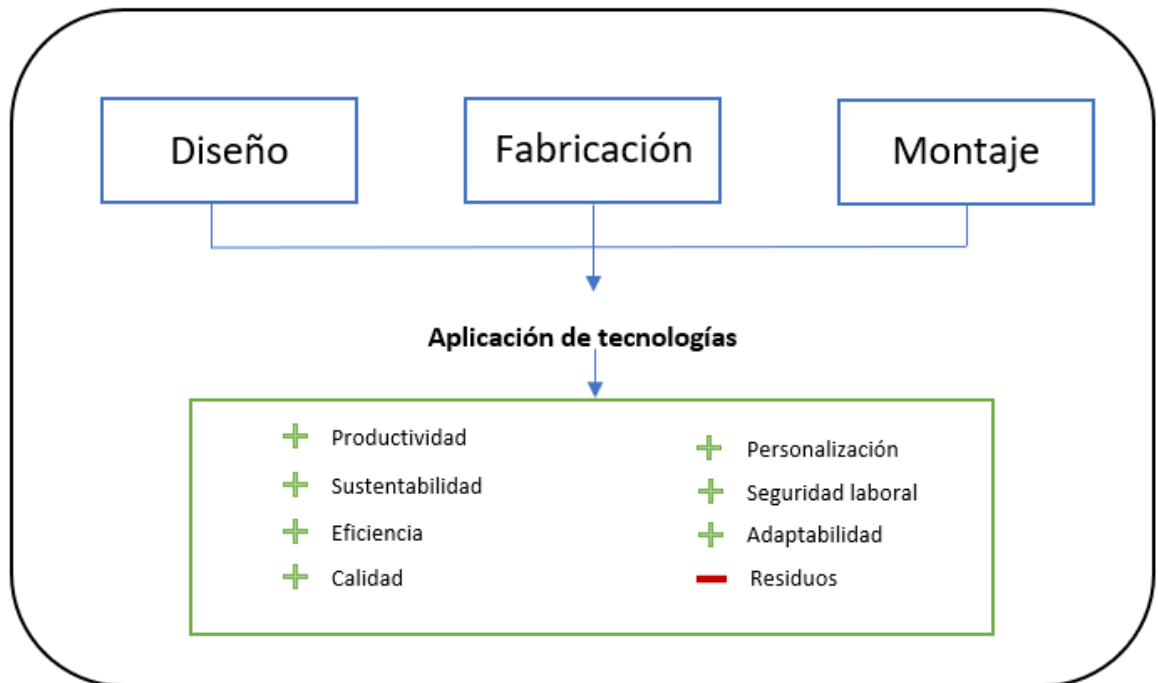


Figura 4: Esquema de impacto de la industrialización.

En cuanto a sus pilares, se pueden desglosar de la siguiente manera:

1. **Diseño:** Al utilizar un diseño con las nuevas tecnologías BIM, se pueden obtener los siguientes beneficios:
 - **El diseño por desempeño:** es una forma de plantear los criterios de aceptación, para el análisis y diseño de estructuras, haciendo énfasis en el comportamiento esperado, el control de daños estructurales y no estructurales y los niveles de seguridad.
 - **Diseño integrado:** Permite una comunicación en tiempo real de todas las especialidades que están involucradas en el diseño, por lo tanto, disminuye sustancialmente la probabilidad de error.
 - **Personalización:** Al tener modelos 3D que son más fácil de visualizar que planos 2D para el dueño del proyecto, sea hace más cercano al diseño permitiendo que tenga un mayor grado de personalización.
 - **Materiales sustentables (madera):** Con la industrialización, la madera es uno de los materiales que tomará mayor participación respecto al sistema tradicional, debido a que los nuevos software permiten un mayor control sobre este material.
2. **Fabricación:** La fabricación de elementos prefabricados, utilizando las nuevas tecnologías BIM, permite obtener los siguientes beneficios:
 - Calidad controlada
 - Estándares controlados

- Verificación de desempeño
 - Reducción de residuos: El uso de prefabricados permite un control mucho mayor del material, reduciendo residuos y aprovechando de mejor manera la geometría de las materias primas.
 - Mayor control sobre costos: Los costos se podrán estimar de mejor manera desde el diseño del proyecto, al incorporarse directamente en los modelos BIM.
 - Mayor seguridad laboral: Los trabajadores en fábrica contarán con menos riesgos que los trabajadores en una obra tradicional, además, permite una mayor participación de la mujer en procesos de fabricación.
3. **Montaje:** La fabricación de elementos prefabricados, y sus conexiones, simplifica la tarea de ensamble, ya que estos elementos al tener un código y una geometría particular, permite un montaje sencillo y logra obtener los siguientes beneficios:
- Calidad controlada.
 - Estándares controlados.
 - Verificación de desempeño.
 - Reducción de residuos.
 - Mayor control sobre costos.
 - Mayor seguridad laboral.

En general, automatizar procesos constructivos y la utilización de prefabricados tiene las siguientes implicancias:

A. Reducción de costos

Si bien la experiencia internacional apunta a que la incorporación de sistemas industrializados reduce costos de construcción, en general, esto sucede en contextos en que la mano de obra es escasa y costosa. Para el caso de Chile, donde se cuenta con mano de obra poco calificada y de bajo costo, creciente incorporación de inmigrantes; en los casos actuales la adopción de la industrialización y prefabricación no ha considerado una reducción de costos importante, pero no implica en ningún caso un costo mayor.

B. Mayor certeza en costos

La construcción con elementos industrializados considera en un principio un mayor tiempo en la etapa de diseño en comparación a una obra tradicional, no obstante, supone un mayor nivel de precisión en detalles y especificaciones técnicas, por tanto, una alta planificación. Un proyecto mejor definido desde su etapa de diseño se traduce en costos más controlados y mayor certeza en los resultados finales.

C. Reducción de plazos

La ejecución de obras a partir de elementos prefabricados puede disminuir los plazos de un proyecto en, al menos un 30%, para el caso de elementos de material ligero de acuerdo con la experiencia internacional. No obstante, es importante considerar que la optimización de plazos ocurre cuando todo el proceso, desde su inicio a su fin es ejecutado por una sola entidad responsable, dado que, de igual manera a las obras tradicionales, la fragmentación de etapas en una obra puede estar dada por la falta de coordinación entre los agentes, y en consecuencia incurrir en un aumento de plazos, perdiéndose los beneficios de la prefabricación.

D. Calidad controlada

Por tratarse de procesos estandarizados, y fabricados bajo condiciones más o menos estables, la experiencia internacional y nacional dan como resultados una mejor calidad de la construcción. No obstante, dependerá de cada caso, de los procedimientos, controles de calidad y tecnologías empleadas.

E. Alta calidad en las terminaciones

La experiencia internacional refleja que, en los casos más avanzados como Australia y Nueva Zelandia, las construcciones prefabricadas se diferencian por una alta calidad en las terminaciones. Sin embargo, esta situación ha sido dada por objetivos planteados a nivel sectorial a través una hoja de ruta en común.

F. Mejora de la productividad con uso de BIM

Esta tecnología facilita el diseño integrado, permite la comunicación entre las especialidades y una mejor coordinación, obteniendo resultados aplicables a todo el ciclo de vida de la edificación. Incluso, según la experiencia internacional, permite hacer partícipe al usuario en el producto final.

G. Incorporación de tecnología CAD-CAM y otras herramientas.

La tecnología CAD-CAM, diseño asistido y manufactura asistida por computador, integra el diseño con la fabricación y la gestión de información asociada a proyectos (PDM) y gestión integrada de procesos productivos (ERP). La incorporación de estas tecnologías permite mejorar la productividad y la calidad de la construcción reduciendo considerablemente los servicios de postventa, en algunos casos incluso a un valor nulo.

H. Empleo de mejor calidad.

Los procesos industrializados, requieren de personal calificado por tanto el acceso a mejores remuneraciones. Por otra parte, considera mejores condiciones laborales al trabajar en lugares habilitados y protegidos del clima exterior. A incorporar condiciones más controladas, de acuerdo con la experiencia internacional, es también posible una mayor incorporación de la mujer al trabajo.

I. Mayor seguridad para los trabajadores

El ejecutar componentes en fábrica, las condiciones de trabajo son más controladas, de esta forma se reduce la tasa de accidentes laborales.

J. Se adapta a las necesidades del cliente.

Gracias a la incorporación de tecnologías BIM, la estandarización de piezas y partes, y la modulación de componentes, es posible incorporar al usuario en etapas tempranas, en la decisión de ciertas variables de diseño sin alterar la productividad en los procesos.

K. Rápida respuesta a viviendas de emergencia.

Debido a la reducción de plazos y optimización de los costos, contar con una industria consolidada permitiría generar una rápida respuesta a la demanda de vivienda producto de emergencias y catástrofes.

L. Menores impactos en el sitio de construcción que afecten a la comunidad.

Generalmente la construcción de edificios en el terreno altera el entorno y a sus habitantes, producto de la polución y ruido producidos por las faenas. La construcción prefabricada desplaza gran parte de las faenas molestas a la fábrica reduciendo el impacto en el lugar y acorta la etapa de montaje *in situ*.

M. Menor irrupción en el entorno.

La construcción in situ no solo afecta a las personas que viven en el entorno inmediato a la obra, sino que también puede alterar el medioambiente a través de la contaminación del aire, del terreno y ruidos. El reducir las faenas in situ disminuye el impacto en el sitio.

N. Reducción de residuos.

La fabricación en fábrica permite disminuir las mermas, gastos en bodegaje y administrativos, así como reducir los residuos debido a la optimización de materiales según procesos de producción, realizando una mejor gestión de los mismos.

O. Reducción de consumo de energía.

La gestión en fábrica permite tener mayor control en el consumo de energía, permitiendo implementar medidas de control y gestión, así como la incorporación de ERNC, situación que es muy difícil de implementar in situ en la etapa de construcción.

P. Reducción de impactos en el ciclo de vida

La prefabricación de elementos permite estudiar sus impactos en el ciclo de vida de la edificación de manera más precisa a través del prototipado para estudiar distintos flancos, desde mediciones de productividad en materia de construcción, hasta su impacto en eficiencia energética, confort ambiental, emisiones GEI, incorporación de ERNC, consumo de agua, entre otros aspectos en su operación, e incluso hasta su demolición.

Q. Urbanizaciones sustentables, construcción en media y alta altura.

Los avances tecnológicos actuales en materia de prefabricación permiten construir tanto viviendas como edificios de media y alta altura. Va a depender de las características dimensionales de los componentes y sus limitaciones.

R. Trazabilidad.

Al utilizar la metodología BIM y un gestor documental es posible realizar la trazabilidad en todo momento de todo el proyecto, desde cualquier lugar.

5 CONCLUSIONES

La necesidad de la industrialización en la construcción es indiscutible, además, ya ha comenzado a implementarse en Chile, principalmente en elementos de hormigón armado y acero estructural y está siendo fomentada por el Consejo de la Construcción Industrializada, del programa Construye 2025 que a su vez es impulsado por CORFO. Para proyectos públicos, ya se encuentra en marcha la Ordenanza Municipal del plan BIM, lo cual, es un indicador de la necesidad y de la exigencia por parte del estado de incorporar estas nuevas tecnologías en el mercado e intentar suplir ese déficit de productividad que se tiene en el ámbito de la construcción. Este trabajo, fue confeccionado, primero, para poder guiar al lector en los aspectos más relevantes que debe tener en cuenta al momento de ejecutar un sistema automatizado de construcción de elementos de material ligero y segundo, para dar a conocer los grandes e importantes beneficios que conlleva la implementación de sistemas de construcción automatizados.

La tecnología en la construcción avanza cada vez más rápido y el país se debe adaptar a estos cambios y metodologías de trabajo, como lo es la metodología BIM, con el fin de aumentar la productividad en la construcción y generar mayor cantidad obras, en menor tiempo y con un menor costo, reduciendo al mismo tiempo la emisión de residuos. Para hacer uso de los beneficios de estas nuevas tecnologías se deben automatizar los procesos constructivos, tanto en obra gruesa como en instalaciones, terminaciones y la fabricación del mobiliario de los edificios. Incorporarse al mundo de los prefabricados, es un paso importante para aumentar la productividad, ya que la fabricación de elementos fuera de obra permite la construcción simultánea de elementos, que, de la forma tradicional, se debe realizar uno a la vez. Gracias a los Modelos BIM que usan formatos estandarizados como IFC y COBie, la comunicación entre los diferentes software se realiza de forma simple y rápida, lográndose la coordinación entre las diferentes disciplinas y agentes que forman parte de los distintos proyectos de construcción, algo que es muy necesario para poder implementar de forma eficaz, los prefabricados.

Para lograr reducir en gran medida los costos de construcción de las obras es necesario invertir más en la etapa de diseño. Un diseño bien elaborado conlleva reducción de costos debido a plazos, resolución de problemas, construcciones optimizadas, entre muchos otros beneficios. En el caso de querer automatizar procesos constructivos es requisito fundamental el uso de modelos 7D, es decir, que se incluya además de la geometría de los elementos, toda la información referente a costos, eficiencia energética, ciclo de vida, proveedores, etc. Esto requiere gran cantidad de personal en el diseño y la utilización de software que tienen costos elevados, como lo son Revit, OpenBuilding Design, entre muchos otros, pero, los beneficios que se obtienen al terminar la obra y durante la operación hacen que sea rentable. Incluir toda esta información en un solo Modelo hace que sea muy difícil llevar el control de toda la documentación y archivos que se están utilizando en el proyecto, por ello, se debe hacer uso de gestores documentales, tales como Aconex, de la empresa Oracle o ProjectWise de la empresa Bentley, o en algunos casos generar sus propios gestores documentales, cuyos objetivos son, mejorar la comunicación y la coordinación de las partes. El uso de estándares facilita, en gran medida, la comunicación, por lo que se recomienda el uso de nomenclaturas y sistemas de clasificación estandarizados y fijos para todo el proyecto, ya que facilita la búsqueda y optimiza los flujos de trabajo.

La automatización de los procesos constructivos para elementos de material ligero requiere, en primer lugar, uso de modelos 7D, como se mencionó anteriormente, que, previo a la construcción de la obra gruesa, se debe tener en el diseño de los elementos a prefabricar en un Nivel de Información mayor o igual a 5. Esto significa, realizar previamente un estudio de mercado, cotizaciones, contactar y definir proveedores, determinar los materiales y sus propiedades, etc. Una vez que ya se tiene el diseño definido con todas las variables necesarias y la obra gruesa se ha construido es necesario actualizar la información de los modelos

a los valores que se encuentran en la obra, ya que, generalmente, hay variaciones en algunos centímetros o milímetros respecto al diseño. Realizar las mediciones reales de todos los vanos y muros donde irán los elementos prefabricados es un trabajo largo, tedioso y que requiere mucho tiempo con la metodología tradicional. Por ello, el resultado de este estudio recomienda la utilización de sistemas de medición que usen las nuevas tecnologías, en particular, la utilización de escáner láser que con tan solo un botón puede medir cientos de metros cuadrados en unos cuantos segundos y con una precisión menor a un milímetro. Si se realiza de la manera adecuada, en un día se puede realizar las mediciones de todo un edificio y para el procesamiento de datos para actualizar el modelo BIM es un proceso simple y rápido.

Cuando se tienen las dimensiones finales de los elementos, al actualizar el modelo BIM, se debe traspasar la información a los proveedores, para ello es necesario que la información nuevamente tenga un estándar, para facilitar el traspaso de información desde las diferentes empresas a los fabricantes. A nivel internacional, se definieron los formatos IFC y COBie para el traspaso de información, permitiendo que la recepción y el uso de los datos no cueste más allá de un par de clic en una computadora. Para la prefabricación de los elementos, basta con traspasar la información proveniente en planillas COBie a las computadoras de las máquinas CNC e ir realizando las piezas con las máquinas que realizan los cortes y uniones de los elementos de forma automatizada.

La coordinación en la fabricación y traslado de elementos es de vital importancia en el proceso, por ello, el proveedor debe etiquetar los elementos con sistemas AIDC, como, por ejemplo, código de barra o QR, de tal forma que cada elemento lleve toda la información del modelo incluida, y al momento del transporte y recepción de los estos, no se generen equivocaciones. El detalle del montaje también se debe incluir en la información que llevará al ser leída la etiqueta, para que ante cualquier duda, los encargados de las etapas posteriores puedan revisar las indicaciones elaboradas en la etapa de diseño.

Toda la información que se genera en las etapas de diseño, fabricación y montaje y la que se va generando durante la operación se puede añadir a un modelo 3D de Operación, al cual, se puede acceder en cualquier momento para revisar la información de los elementos en caso de falla o requerir un mantenimiento, incluso, para diseñar mantenimientos predictivos.

Generar procesos automatizados de construcción no está muy distante a lo que se hace hoy en Chile, es decir, la etapa de diseño ya se genera con modelos BIM en gran cantidad de obras y es lo más difícil de implementar de todo el proceso, por eso, existe la factibilidad de utilizar elementos prefabricados de material ligero actualmente en Chile, pero se encontrarán con algunas barreras o limitaciones que se deben resolver entre proveedores y empresas de ingeniería, tales como, el de gestores documentales y nomenclaturas estandarizadas para la comunicación y la creación de sistemas de planificación de producción de los elementos para no atrasar las obras, ya que la mayoría de los trabajadores no está acostumbrado a su utilización. La implementación de maquinarias CNC y su programación para trabajar con la información proveniente de planillas COBie es de bajo costo respecto a las ganancias que se obtienen al utilizar los elementos prefabricados ya que se generan ahorros en material y se optimiza el trabajo de las personas que fabrican y realizan los montajes. Una vez que se optimizan estos procesos y se resuelven todos los problemas de logística y coordinación entre todas las partes involucradas que se pueden encontrar en las primeras pruebas de los procesos automatizados, tanto de obra gruesa como terminaciones e instalaciones, se pueden lograr innumerables beneficios económicos. Pero mirando más allá de lo importante para las empresas, se puede mejorar la calidad de los trabajadores del país, generando empleos que son fijos en fábricas, con mayores ingresos y menor trabajo físico. Por otro lado, se optimiza el uso de los materiales, generando menos contaminación y reducción en consumos de agua y energía. Finalmente, se obtienen construcciones más rápidas, generando menor irrupción del entorno y con mejor calidad de terminaciones.

6 BIBLIOGRAFÍA

[Pedro Ortiz 2015] Pedro Ortiz, Beatriz del Pino, 2015. *Digitalización 3D automática con láser escáner, fotogrametría y videogrametría.*

[Javier Conte 2017] Javier Conte, 2017. *Desarrollo y verificación de procedimientos de modelado cinemático y técnicas de calibración de laser trackers basadas en medición de red de reflectores.*

[Emilio Jiménez 2004] Emilio Jiménez, 2004. *Técnicas de automatización avanzadas en procesos industriales.*

[Carolina Soto 2019] Carolina Soto, Sebastián Manríquez, Paulina Godoy, 2019. *Estándar BIM para proyectos públicos, Intercambio de Información entre Solicitantes y Proveedores*

[BIM Forum Chile 2017] BIM forum Chile, CChC, Tanny Aguilera, 2017. *Guía inicial para implementar BIM en las organizaciones.*

[Mónica Yesenia 2015] Sistema constructivo modular con materiales alternativos que favorezca a la flexibilidad en la construcción de vivienda

[José Lerna 2008] José Luis Lerna, Josep Miquel Biosca, 2008. *Teoría y práctica del Escaneado Láser Terrestre Material de aprendizaje basado en aplicaciones prácticas*

[Mateos Viera 2019] Mateos Viera Rodríguez, 2019. *Diseño de metodología de trabajo para el escaneo con tecnología láser 3D, aplicada a la arquitectura patrimonial.*

[1] *Informe Macroeconomía y Construcción 2016, MACH 45.*

[2] *Balance 2019 – Proyecciones 2020 Cámara Chilena de la Construcción, Dic 2019.*

[7] *Estándar BIM para Proyectos Públicos, Plan BIM.*