

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**OPTIMIZACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN CON ELEMENTOS
PREFABRICADOS A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA BIM**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Jhosue Roberth Renzo Reynaga Bellido

ASESOR:

Jaime Francisco Zapata Carreño


Lima, Julio, 2024

Informe de Similitud

Yo, **Jaime Francisco Zapata Carreño**, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis de investigación titulada **“Optimización de la Construcción con Elementos Prefabricados a través de la Metodología BIM”**, tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil del autor **Jhosue Roberth Renzo Reynaga Bellido** dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 12%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 13/11/2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y confirmo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio alguno.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lima, 13 de noviembre de 2024

Apellidos y nombres del asesor: <u>Zapata Carreño, Jaime Francisco</u>	
DNI: 08271914	 Firma:
ORCID: 0000-0001-7662-8329	

RESUMEN

En el contexto específico de Perú, es evidente la falta de indicadores claros sobre cómo BIM puede optimizar la construcción con elementos prefabricados. Por lo tanto, el objetivo central de esta tesis es analizar y demostrar de manera concreta cómo la metodología BIM puede efectivamente optimizar este tipo de construcción en el país. Esto implica abordar los principales problemas y factores que afectan la adopción de prefabricados, así como evaluar exhaustivamente su impacto en términos de tiempo, costo, calidad, productividad y seguridad en el contexto de la industria de la construcción peruana.

A través de un enfoque riguroso que incluye la revisión de literatura especializada, el análisis de casos de estudio relevantes y la realización de entrevistas con profesionales del sector, esta investigación aspira a proporcionar una comprensión integral y fundamentada sobre el potencial de BIM en la optimización de la construcción con elementos prefabricados en Perú.

Entre los principales hallazgos, se identifican los problemas más comunes en los proyectos de prefabricados sin la integración de BIM. Estos incluyen la falta de comunicación efectiva entre los diferentes actores, planificación inadecuada, interferencias entre los prefabricados y las instalaciones sanitarias, planos de producción deficientes, falta de mano de obra capacitada y problemas logísticos. Además, si bien según los entrevistados, BIM tiene un impacto positivo en términos de tiempo, costo, calidad y productividad, aún no perciben de manera significativa su impacto en la seguridad del proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, cuyo inquebrantable apoyo y sacrificio hicieron posible que alcanzara este logro académico.



ÍNDICE

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Industrialización de la construcción.....	1
1.2 Objetivo general y específicos	3
1.3 Justificación e hipótesis	3
1.4 Metodología de la investigación	4
Capítulo 2: Marco teórico	6
2.1 Prefabricados.....	6
2.1.1 Tipos de prefabricados	6
2.1.2 Ventajas y desafíos de la prefabricación	8
2.1.3 Factores que influyen en la adopción de prefabricados	9
2.2 Building Information Modeling	14
2.2.1 Definición de BIM	14
2.2.2 Niveles de Capacidad BIM y Dimensiones BIM.....	14
2.2.3 Nivel de información necesaria	17
2.2.4 Plataforma de objetos BIM	20
Capítulo 3: Situación actual de la construcción en el Perú	22
3.1 Panorama general del sector construcción.....	22
3.2 Construcción tradicional	26
3.3 Construcción industrializada.....	27
3.3.1 Antecedentes de prefabricados	27
3.3.2 Antecedentes de las viviendas modulares.....	29
3.4 Adopción BIM en el Perú	31
3.4.1. Plan BIM Perú.....	31
3.4.2. Adopción BIM en el Perú	32
3.4.2.1. Usos de Modelos BIM en proyectos	32
3.4.2.2. Percepción del impacto BIM	34
3.4.2.3. Motivos por los que no se implementa BIM en proyectos	35
Capítulo 4: Beneficios de usar BIM en la construcción con prefabricados.....	37
4.1. BIM, BAM, BOOM.....	37
4.2. Curva de MacLeamy.....	38
4.3. Garantizar la calidad del proyecto	39
4.4. Integración de BIM con sistemas ERP	41
4.5. Fases de la construcción prefabricada usando BIM.....	42
4.5.1. Concepto	42
4.5.1.1. Estudio de Factibilidad	42
4.5.1.2. Visualización y modelado arquitectónico	43
4.5.2. Diseño y modelado	44
4.5.2.1. Modelado estructural y de otras especialidades.....	44

4.5.2.2. Metrados y estimación de costos	44
4.5.2.3. Interoperabilidad con otras plataformas.....	46
4.5.2.4. Automatización de procesos	46
4.5.3. Planificación del proyecto.....	47
4.5.3.1. Programación del proyecto mediante simulación 4D	47
4.5.3.2. Diseño del Layout de obra	48
4.5.3.3. Planificación y gestión de la seguridad.....	48
4.5.4. Producción	49
4.5.4.1. Planos para la prefabricación	49
4.5.4.2. Planos de montaje	50
4.5.5. Logística.....	51
4.5.5.1. Planificación de entrega y seguimiento de prefabricados.....	51
4.5.6. Montaje y construcción.....	52
4.5.6.1. Seguimiento de los procesos constructivos.....	52
4.5.6.2. Generación de modelos “As Built”	53
4.5.7. Operación y mantenimiento	53
4.5.7.1. Nivel de mantenimiento y gestión de los equipos	53
4.5.7.2. Sistema de rendición de cuentas	54
Capítulo 5: Casos de éxito	55
5.1. Caso de éxito internacional.....	55
5.2. Caso de éxito nacional	61
Capítulo 6: Entrevista a ingenieros con experiencia en BIM y prefabricados.....	69
6.1. Diseño de la investigación	69
6.1.1. Tipo de investigación	69
6.1.2. Población y muestra.....	69
6.1.3. Recopilación de datos	71
6.1.4. Procedimiento para el análisis de datos	74
6.1.5. Limitaciones.....	74
6.2. Análisis de datos de las entrevistas.....	76
Capítulo 7: Conclusiones.....	98
Bibliografía	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los métodos de industrialización.....	2
Figura 2. Capacidad BIM.....	15
Figura 3. Dimensiones BIM.....	17
Figura 4. Articulación de los requisitos de información y los entregables de información.....	18
Figura 5. Nivel de detalle.....	19
Figura 6. Porcentaje de accidentes de trabajo notificados por actividad económica.....	24
Figura 7. Agricultura y Construcción detrás de la digitalización.....	27
Figura 8. Núcleo se coloca en el encofrado del módulo.....	31
Figura 9. Montaje de las viviendas modulares.....	31
Figura 10. Resumen de acciones Plan BIM Perú.....	32
Figura 11. Usos de Modelos BIM en proyectos.....	33
Figura 12. Percepción del impacto de BIM.....	35
Figura 13. Motivos por los que no se implementa BIM en proyectos.....	36
Figura 14. BIM, BAM, BOOM.....	38
Figura 15. Curva de MacLeamy.....	38
Figura 16. Flujo de trabajo de BIM, BOQ y QTO.....	46
Figura 17. Programación del proyecto mediante simulación 4D.....	47
Figura 18. Layout de Obra.....	48
Figura 19. Máquinas CNC funcionando con Revit.....	50
Figura 20. Seguimiento de elementos prefabricados.....	52
Figura 21. Realidad aumentada de elemento prefabricado.....	53
Figura 22. Chip RFID en el armado antes de ser vaciado con concreto.....	54
Figura 23. Estructura de Grupo Avintia.....	55
Figura 24. Partners de ÁVIT-A.....	56
Figura 25. BIM en el grupo ÁVIT-A.....	57
Figura 26. Flujo de trabajo de ÁVIT-A.....	59
Figura 27. Arquitectura del proyecto.....	59
Figura 28. Vista en planta del proyecto.....	60
Figura 29. Unión de elementos.....	61
Figura 30. Flujo de trabajo de ACEDIM.....	64
Figura 31. Ciclo de la confiabilidad de Steel Track.....	65
Figura 32. Rendimiento por método de construcción.....	66
Figura 33. Proceso VDC para los prefabricados.....	66
Figura 34. Modulación base de los prefabricados.....	67
Figura 35. Junta 1 para prefabricados.....	67
Figura 36. Junta 2 para prefabricados.....	68
Figura 37. Ganchos de izaje.....	68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Factores que afectan el avance de un proyecto de construcción con prefabricados	9
Tabla 2. Factores que influyen en la calidad de una construcción prefabricada durante la fase de diseño	11
Tabla 3. Factores que afectan el costo de capital de la prefabricación durante el diseño	12
Tabla 4. Factores que afectan el costo de capital de la prefabricación durante la producción y transporte.....	13
Tabla 5. Factores que afectan el costo de capital de la prefabricación durante la instalación in situ.....	14
Tabla 6. Ubicación geográfica de las obras paralizadas y costos de inversión.....	25
Tabla 7. Obras paralizadas según causal de paralización.....	26
Tabla 8. Perfil de los entrevistados del primer grupo	70
Tabla 9. Perfil de los entrevistados del segundo grupo.....	71
Tabla 10. Percepción general sobre los prefabricados - Grupo 1.....	76
Tabla 11. Nivel y dimensión BIM - Grupo 2	77
Tabla 12. Tiempo - Grupo 1.....	79
Tabla 13. Tiempo - Grupo 2.....	81
Tabla 14. Costos - Grupo 1	83
Tabla 15. Costos - Grupo 2	84
Tabla 16. Calidad - Grupo 1.....	86
Tabla 17. Calidad - Grupo 2.....	87
Tabla 18. Productividad - Grupo 1.....	89
Tabla 19. Productividad - Grupo 2.....	90
Tabla 20. Seguridad - Grupo 1.....	92
Tabla 21. Seguridad - Grupo 2.....	93
Tabla 22. Desafíos y limitaciones de los prefabricados en el Perú- Grupo 1	95
Tabla 23. Desafíos y limitaciones de implementar BIM- Grupo 2	96

Capítulo 1: Introducción

1.1 Industrialización de la construcción

La industrialización en la construcción, Alfonso del Águila (1973) la define como “el proceso productivo que, de forma racional y automatizada, implica la aplicación de tecnologías avanzadas al proceso de diseño, producción, fabricación y gestión, empleando materiales, medios de transporte y técnicas mecanizadas en serie para obtener una mayor productividad.” Cabe resaltar que la tendencia actual alrededor del mundo sugiere que la industrialización desempeñará un papel cada vez más importante en la construcción. Hay algunos países donde su industria está bastante avanzada y desarrollada como es el caso de Estados Unidos, China o España y por tanto sirven como referencia para países con una industrialización menos desarrollada como es el caso de Perú.

Existen edificaciones que tienen más elementos prefabricados que otras. Cuanto mayor sea el grado de industrialización, se tendrán mayor cantidad de elementos prefabricados y menor cantidad de trabajo in situ. El grado de industrialización se define de la siguiente manera:

$$G. I. = \frac{100}{t_2 * (t_1 + t_2)}$$

Donde:

G.I. = Grado de industrialización

t1= tiempo en fábrica y transporte (horas hombre/m² de superficie habitable)

t2= tiempo en obra considerando la puesta en obra y detalles de terminación (horas hombre/m² de superficie habitable)

Siendo:

G.I. < 20%, poco industrializado

G.I. entre 20% y 60%, industrializado

G.I. > 60%, altamente industrializado

Existen muchos métodos para construir industrialmente o de manera no convencional. Además, la construcción industrializada se puede dividir en sistemas abiertos y cerrados. Los sistemas cerrados resuelven todo un edificio y sus elementos no pueden compartirse con otras fábricas. Por otro lado, los sistemas abiertos tienen componentes industrializados que pueden ser compartidos. De esta manera, para que exista compatibilidad entre elementos prefabricados, es necesario que exista una compatibilidad de juntas y una coordinación dimensional y modular aceptada por todos los agentes que participan en el proceso constructivo. Por tal motivo, es importante que se aplique BIM en las obras que utilizan prefabricados, ya que esta metodología puede optimizar el proceso de construcción de varias maneras.



Figura 1. Clasificación de los métodos de industrialización.

Tomado de "Manual de Construcción Industrializada", por Mac Donnell (Argentina), 1999.

1.2 Objetivo general y específicos

El objetivo general es analizar y demostrar cómo la metodología BIM puede optimizar la construcción con elementos prefabricados, abordando los principales problemas y factores que afectan su adopción, así como evaluando su impacto en términos de tiempo, costo, calidad, productividad y seguridad en el contexto de la industria de la construcción en Perú.

Asimismo, los objetivos específicos son:

- Investigar los factores que afectan la adopción de elementos prefabricados en la industria de la construcción
- Evaluar el grado de adopción de la metodología BIM en el sector de la construcción en el Perú, identificando barreras y desafíos en su implementación.
- Identificar y describir cómo el uso de BIM puede optimizar diferentes etapas del proceso de construcción con elementos prefabricados.
- Presentar casos de éxito internacional y nacional en la implementación de la metodología BIM en la construcción con elementos prefabricados, resaltando los flujos de trabajo de estas empresas y los beneficios que han tenido al implementar BIM.
- Analizar los datos recopilados de las entrevistas para identificar las ventajas y desventajas percibidas por los ingenieros en la utilización de prefabricados con y sin BIM

1.3 Justificación e hipótesis

Justificación:

La construcción con prefabricados es una técnica cada vez más usada en la industria de la construcción debido a sus múltiples beneficios. Por otro lado, la metodología BIM se ha

destacado como una herramienta prometedora para mejorar la planificación, diseño y ejecución de proyectos de construcción. Sin embargo, a pesar del creciente interés por la construcción con prefabricados y la metodología BIM, la investigación detallada sobre cómo BIM puede optimizar la construcción con prefabricados y los desafíos que se tienen sigue siendo muy limitada.

Hipótesis:

La implementación de la metodología BIM en proyectos de construcción con elementos prefabricados mejora la eficiencia de la planificación y ejecución de los proyectos de construcción, reduce costos, mejora la calidad y aumenta la seguridad.

1.4 Metodología de la investigación

La investigación va a tener un enfoque mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos para obtener una comprensión integral de la adopción de elementos prefabricados y la metodología BIM. Esto permitirá una exploración detallada de los principales problemas de las construcciones con prefabricados y los beneficios de la implementación de BIM en las diversas etapas del proceso constructivo industrializado.

Se va a tener datos cuantitativos de 3 fuentes externas sobre los factores que influyen en la adopción de prefabricados y un estudio externo sobre la adopción BIM en proyectos de edificación en Lima. De esta manera, se busca explorar los problemas que tienen las construcciones con prefabricados, el grado de adopción BIM en el Perú y los motivos por los que no se implementa BIM en los proyectos.

También, se va a realizar una revisión literaria exhaustiva sobre los principales beneficios de BIM en todas las etapas de la construcción con prefabricados. Esta revisión proporcionará un marco teórico sólido para contextualizar los hallazgos del estudio.

Se analizarán casos de éxito tanto a nivel nacional como internacional en la implementación de BIM en proyectos de construcción con elementos prefabricados. Estos

casos proporcionarán ejemplos concretos de cómo la metodología BIM ha contribuido a mejorar diferentes aspectos del proceso constructivo.

Por último, se van a realizar entrevistas con un enfoque cualitativo a dos grupos de ingenieros. El primer grupo son ingenieros que no han aplicado BIM a construcciones con prefabricados. El segundo grupo son ingenieros que sí lo han hecho. En base a las respuestas del primer grupo, se busca analizar los problemas que han tenido las construcciones con prefabricados sin BIM en relación a estas métricas: tiempo, costo, calidad, productividad y seguridad. Por otro lado, en base a las respuestas del segundo grupo, se busca analizar los principales beneficios que han percibido los ingenieros al implementar BIM con relación a las mismas métricas.

Al contrastar los hallazgos de las entrevistas con la revisión literaria, se podrá verificar la coherencia y validez de los resultados obtenidos, proporcionando una perspectiva más completa y fundamentada sobre la situación actual de la construcción con elementos prefabricados y la adopción de BIM en el país.

Capítulo 2: Marco teórico

2.1 Prefabricados

2.1.1 Tipos de prefabricados

La prefabricación es la producción de elementos que van a formar parte de una estructura para luego ser transportados a obra y ser finalmente ensamblados. Esta es una industria de gran interés en el mundo que ha ido evolucionando y perfeccionando sus métodos de trabajo a través de los años. Los prefabricados se pueden clasificar por uso, peso, tipo de refuerzo, forma y tecnología de fabricación. Además, cabe resaltar que los prefabricados pueden ser de varios materiales como concreto armado, acero, madera, aluminio, madera, etc.

Uso:

- Mobiliario urbano: losetas, sardineles, portillos, cajas de agua, cajas electrica, cajas de paso, etc.
- Edificaciones: prelosas, previgas, viguetas pretensadas, columnas prefabricadas, escaleras prefabricadas, etc.
- Acueducto y alcantarillado: tuberías prefabricadas, bóvedas y pozos de inspección, estaciones de bombeo prefabricadas, etc.
- Infraestructura: muros New Jersey, vigas pretensadas o postensadas para puentes peatonales, barandillas y vallas prefabricadas, etc.

Peso:

- Livianos: Peso menor a 30kg. Pueden ser cargados por uno o dos obreros. Algunos ejemplos son: paneles de yeso, paneles de aislamiento, losetas, etc.
- Medianos: Peso menor a 500kg. Generalmente, requieren de ciertos equipos para su carga y montaje como grúas o montacargas. Algunos ejemplos son: paneles de concreto, tuberias de PVC, previgas de edificios, etc.

- Pesados: Peso mayor a 500kg. Se requieren equipos de carga más potentes y que soporten más peso. Algunos ejemplos de prefabricados pesados son vigas de concreto pretensado para puentes, losas macizas de concreto armado, grandes componentes estructurales de acero, etc.

Tipo de refuerzo:

- Sin refuerzo
- Reforzado estandar
- Pretensado y postensado

Forma:

- Bloques: Se utilizan para la construcción de muros. Generalmente estos bloques son de concreto o de ladrillo hueco.
- Paneles: Estos componentes pueden tener una variedad de formas y tamaños. Algunos ejemplos son: muros de contención, paneles de pared, paneles de techo, prelosas, etc.
- Elementos lineales: Son piezas esbeltas, cuya sección transversal es pequeña en relación a su longitud. Algunos ejemplos son previgas, columnas prefabricadas, pilotes prefabricados, etc.

Tecnología de fabricación:

- Simple: El proceso de prefabricación puede ser manual o semi automatizado. Son elementos prefabricados poco complejos y económicos.
- Intermedia: El proceso de prefabricación incluye máquinas especializadas y una automatización moderada. Los elementos prefabricados son más complejos que los de tecnología simple pero menos complejos que los de alta tecnología.
- Alta tecnología: Para la prefabricación de estos elementos, se utiliza tecnología de vanguardia y procesos altamente automatizados. Los procesos de prefabricación

pueden incluir el uso de impresión 3D, brazos robóticos u otras tecnologías igual de avanzadas.

2.1.2 Ventajas y desafíos de la prefabricación

Las razones por la cual la prefabricación de elementos beneficiaría al sector construcción son múltiples. La productividad y eficiencia aumentaría porque se reduce el trabajo in situ y se puede obtener una planificación más precisa y una programación más eficiente del proyecto. Además, la construcción con prefabricados también permite tener una mayor calidad y sostenibilidad. Esto se debe gracias al mejor control que se tiene en fábrica y a la gran precisión que esta tiene para disminuir los desperdicios y mejorar el ahorro energético. Además, en fábrica se trabaja en condiciones ideales y no está afectado por la climatología, la cual afecta la resistencia del concreto. Otro beneficio de la industrialización es el mejoramiento de las condiciones laborales, ya que el personal que trabaja en una planta industrial tiene menor riesgo de sufrir accidentes o condiciones extremas de clima, ruidos y calidad de aire. Por último, se disminuyen los plazos de entrega, pues no se está expuesto a condiciones climáticas extremas ni a errores generados por la mano de obra. También, los trabajos se pueden realizar en simultáneo mientras que, en la construcción tradicional, la mayoría de actividades se realizan de manera secuencial.

Por otro lado, los actuales desafíos que enfrenta la prefabricación son: costo de transporte y empaque muy elevado, tamaño y formas limitados, poca mano de obra altamente calificada, requieren mucha tecnología y equipos pesados para el montaje. Además, es importante resaltar que las conexiones de los prefabricados con otros elementos estructurales se deben supervisar cuidadosamente para garantizar el comportamiento previsto de la conexión (simples, semirrígidas o rígidas).

En el Perú, la construcción sigue siendo mayoritariamente artesanal y sus acabados presentan muchos defectos. Solo la industrialización de elementos prefabricados puede acercarnos a una construcción que tienda a tener menor cantidad de imperfecciones. A pesar de que en algunas edificaciones se usan elementos prefabricados, la industria de prefabricados no está completamente desarrollada en el país.

2.1.3 Factores que influyen en la adopción de prefabricados

Es muy importante descubrir qué factores hacen que los proyectos de construcción con prefabricados se retrasen en su cronograma. Un estudio llevado a cabo en el año 2018 por Ji, Qi, Liu y Li, utiliza dos herramientas especiales para ello. El primero, llamado DEMATEL, muestra cómo los problemas están conectados entre sí. Es decir, como algunos factores influyen en otros factores. El segundo, llamado ANP, prioriza estos problemas en función de su importancia.

Tabla 1. Factores que afectan el avance de un proyecto de construcción con prefabricados

Dimensión	Peso influyente	Clasificación	Factor	Peso influyente	Clasificación
Técnicas de construcción	0.11456	3	Técnicas de instalación de baja precisión	0.00018	16
			Operaciones de elevación inadecuadas	0.00026	14
			Espacio insuficiente para disposición	0.00026	15
Mano de obra	0.23992	2	Experiencia laboral inadecuada	0.00016	17
			Baja productividad	0.14886	3
			Falta de competencia suficiente	0.00006	19
Recursos	0.11316	4	Escasez y retraso en el suministro de materiales	0.08545	6
			Daños a los componentes almacenados	0.00466	9
Maquinaria	0.08698	5	Fallo de equipos	0.00005	20
			Indisponibilidad de vehículos y equipos	0.05462	7
Clientes	0.05011	6	Toma de decisiones ineficiente	0.00074	13
			Requisitos adicionales	0.00003	21
Contratistas	0.36358	1	Planificación de la construcción y diseño del cronograma inadecuados	0.08933	5
			Requisitos y rutas de entrega incorrecto	0.00225	10
			Diseño deficiente del sitio	0.00121	12
			Falta de comunicación entre los participantes	0.10703	4
			Brechas de información entre las empresas	0.00222	11
			Remanipulación de componentes	0.19158	2
			Conexiones estructurales ineficientes	0.27701	1
			Devolución a los fabricantes por errores de diseño	0.00014	18
Condiciones externas	0.03169	7	Refabricación por daños en componentes	0.03391	8
			Incertidumbre política	0.00001	23
			Clima severo	0.00002	22
			Fallo en el suministro de energía y agua, perturbación del transporte	0.00001	24

Tomado de "Assessing and Prioritising Delay Factors of Prefabricated Concrete Building Projects in China", Ji et al, 2018

Al observar los resultados, se evidencia que los contratistas juegan un papel crítico en la planificación y diseño del cronograma. La falta de una planificación adecuada, junto con errores en el diseño y la comunicación deficiente entre los participantes, puede provocar retrasos significativos en el proyecto. Aspectos como la remanipulación de componentes y las conexiones estructurales ineficientes se identifican como factores clave que pueden causar demoras considerables en la construcción.

Por otro lado, la mano de obra también emerge como una dimensión importante, donde la baja productividad y la falta de experiencia pueden impactar negativamente en el avance del proyecto. Es crucial que los trabajadores cuenten con la formación y la capacitación necesarias para realizar las tareas de manera eficiente y precisa.

Además, los recursos y la maquinaria también desempeñan un papel relevante. La escasez o retraso en el suministro de materiales, daños en los componentes almacenados, así como el fallo de equipos y la indisponibilidad de vehículos, pueden generar obstáculos significativos en la ejecución del proyecto. Por lo tanto, es necesario gestionar estos aspectos de manera efectiva para garantizar un flujo de trabajo sin contratiempos.

Por último, las condiciones externas son las que menos impacto tienen en los retrasos de la construcción con prefabricados, ya que estos problemas son poco probables de que ocurran. Además, la incertidumbre política tampoco tiene un impacto significativo ya que aunque puedan surgir cambios en las regulaciones que afecten al proyecto, puede pasar un tiempo antes de que esos cambios tengan un impacto significativo en la construcción prefabricada.

Asimismo, Zhou, Wang, Yu & Chen (2024), basados en la revisión de literatura, investigaciones de campo de construcciones con prefabricados y entrevistas con expertos, encontraron 17 factores que influyen en la calidad de los edificios prefabricados durante la fase de diseño. Los factores que más influyen en la calidad son: Profesionalismo de los diseñadores, comunicación y coordinación entre las diferentes especialidades y la asociación entre los datos de calidad y el modelo de diseño.

Tabla 2. Factores que influyen en la calidad de una construcción prefabricada durante la fase de diseño

Capa objetivo	Capa de índice	Peso	Capa de esquema	Peso	Peso integral	Clasificación
Factores que influyen en la calidad de una construcción prefabricada durante la fase de diseño	Factores Humanos	0.3319	Grado profesional de los diseñadores	0.2212	0.0734	4
			Formación en calidad y seguridad del diseñador	0.2183	0.0725	5
			Nivel de operación de software del diseñador	0.2577	0.0855	2
			Nivel de experiencia de los diseñadores	0.3028	0.1005	1
	Factores de gestión	0.0964	Eficiencia y cohesión de la inspección de calidad de la tarea de diseño	0.3546	0.0342	15
			Sistema de gestión de calidad interno de la unidad de diseño	0.4735	0.0456	13
			Diseñar el sistema de supervisión de calidad	0.1719	0.0166	17
	Factores técnicos	0.2476	Normalización del diseño	0.1835	0.0454	14
			Constructibilidad del diseño	0.2053	0.0508	12
			Construir la racionalidad de la división	0.1371	0.0339	16
			El nivel de información del diseño	0.2217	0.0549	10
			Los requisitos de calidad del diseño no están claros	0.2524	0.0625	8
	Factores de información	0.3241	Falta de comunicación y coordinación entre varias especialidades de las unidades de diseño	0.1755	0.0569	9
			Falta de comunicación y coordinación entre la unidad de diseño y el componente de manufactura	0.2131	0.0691	6
			Falta de comunicación y coordinación entre la unidad de diseño y la unidad de construcción	0.2053	0.0665	7
			Puntualidad en la entrega de cambios en el diseño	0.2437	0.079	3
			El modelo de diseño no está asociado con los datos de calidad	0.1624	0.0526	11

Tomado de "A Quality Management Method for Prefabricated Building Design Based on BIM and VR-Integrated Technology", Zhou et al, 2024

Un estudio realizado por Xue, Zhang, Su y Wu determinó los elementos clave que influyen en el costo inicial de la prefabricación. Para lograr este objetivo de investigación, se realizaron entrevistas semiestructuradas con 11 expertos para desarrollar el cuestionario. Luego, se llevó a cabo una encuesta de cuestionario para investigar la importancia de 49 factores relacionados con el costo de capital de la prefabricación.

En la etapa de diseño, el factor más crítico es la especificación y los estándares para el diseño de edificios prefabricados, clasificado en primer lugar. Esto sugiere que establecer especificaciones claras y estándares adecuados desde el principio es fundamental para el éxito del proyecto. Además, la racionalidad de los componentes prefabricados, la coordinación entre el diseñador y el fabricante de componentes prefabricados, la capacidad colaborativa entre los diseñadores y la experiencia de los mismos también son importantes para asegurar la calidad durante la fase de diseño.

Tabla 3. Factores que afectan el costo de capital de la prefabricación durante el diseño

Etapa	Factor	Clasificación
Diseño	Especificaciones y estándares para el diseño de edificios prefabricados	1
	Racionalidad de la división de componentes prefabricados	3
	Coordinación entre el diseñador y el fabricante de componentes prefabricados	7
	Capacidad colaborativa entre diseñadores profesionales	8
	Coordinación de nodos de conexión de componentes prefabricados	9
	Experiencia relacionada del diseñador	10
	Coordinación de nodos entre componentes prefabricados y en sitio	12
	Tasa de reutilización de componentes estándar	14
	Nivel de trabajo en equipo de diseño	16
	Coordinación entre diseñador y constructor	21
	Catálogo de componentes estándar de edificios prefabricados	24
	Coordinación entre diseñador y contratista	25
	Patrón de diseño de edificios prefabricados	27
	Diversidad de estructuras de edificios prefabricados	32
	Tipo de estructura de edificio	38
Organización de auditoría de dibujos de terceros	49	

Tomado de "Factors affecting the capital cost of prefabrication – A case study of China", Xue et al, 2017

En la etapa de producción y transporte, la capacidad de la línea de producción de componentes prefabricados se destaca como el factor más crítico. La capacidad de la línea de producción es esencial para garantizar la producción suficiente de componentes prefabricados para satisfacer la demanda del proyecto. Asimismo, se debería hacer un correcto plan de diseño para la línea de producción y se deberá tener en cuenta la cantidad óptima de componentes prefabricados que se pueden utilizar en el proyecto. Además, si se estandarizan los componentes prefabricados, la tasa de reutilización del molde va a ser mayor y por lo tanto la tasa de error sería menor.

Tabla 4. Factores que afectan el costo de capital de la prefabricación durante la producción y transporte

Etapa	Factor	Clasificación
Producción y transporte	Capacidad de la línea de producción de componentes prefabricados	4
	Cantidad de pedido de componentes prefabricados	6
	Plan de diseño para la línea de producción de componentes prefabricados	13
	Tasa de reutilización del molde para componentes prefabricados	15
	Distancia de transporte	17
	Especificaciones y estándares para la producción de componentes prefabricados	18
	Eficiencia del trabajador de producción	20
	Tecnología de producción de componentes prefabricados	22
	Tipos y especificaciones en el molde para componentes prefabricados	23
	Sistema de normas técnicas de edificios prefabricados	26
	Cantidad de desechos del molde	29
	Selección de maquinaria de transporte utilizada para componentes prefabricados	34
	Número de profesionales	35
	Formas de transporte y envío de componentes prefabricados	36
	Costo de almacenamiento de componentes prefabricados en la planta prefabricada	37
	Mantenimiento de la instalación mecánica	39
	Condiciones de curado para componentes prefabricados	41
	Tasa de desgaste de componentes prefabricados durante el transporte	42
	Tasa de rotación del trabajador de producción	43
	Depreciación de activos fijos	44
Refuerzo adicional debido a puntos de conexión	46	
Tasa de desgaste del refuerzo	47	
Costo de capacitación de los trabajadores de producción	48	

Tomado de "Factors affecting the capital cost of prefabrication – A case study of China", Xue et al, 2017

En la etapa de instalación in situ, la experiencia del gerente se identifica como el factor más crítico. La experiencia del gerente en la instalación in situ es crucial para garantizar que el proceso se lleve a cabo de manera eficiente y segura. Además, el nivel operativo del personal de instalación juega un papel importante en la calidad y precisión de la instalación de los componentes prefabricados. Por último, la coordinación de los trabajos en sitio y el correcto procedimiento de instalación son fundamentales para garantizar la integridad estructural y funcional del edificio prefabricado.

Tabla 5. Factores que afectan el costo de capital de la prefabricación durante la instalación in situ

Etapa	Factor	Clasificación
Instalación in situ	Experiencia del gerente	2
	Nivel operativo del personal de instalación	5
	Coordinación de todos los tipos de trabajo en el sitio	11
	Eficiencia mecánica de la grúa torre	27
	Redundancia del proceso de instalación	28
	Procedimiento de izado de los componentes prefabricados	30
	Escala del proyecto de construcción prefabricada	31
	Especificaciones técnicas y estándares para la instalación de componentes prefabricados	33
	Tarifa de alquiler del equipo de instalación	40
	Condición de almacenamiento de los componentes prefabricados en el sitio	45

Tomado de “Factors affecting the capital cost of prefabrication – A case study of China”, Xue et al, 2017

2.2 Building Information Modeling

2.2.1 Definición de BIM

Building Information Modeling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativa que sirve para la creación y la administración o gestión de un proyecto de construcción. El objetivo de BIM es unificar toda la información relacionada de un proyecto en una única base de datos digital durante todo su ciclo de vida desde la fase de diseño y planificación hasta la construcción, operación y mantenimiento de una infraestructura. La información contenida en los modelos tridimensionales puede ser consultada o corregida en múltiples plataformas y además, a pesar de usar distintos softwares, se puede intercambiar información a través de los formatos de interoperabilidad como IFC (Industry Foundation Classes) o BCF (BIM Collaboration Format).

2.2.2 Niveles de Capacidad BIM y Dimensiones BIM

Los niveles de capacidad BIM se refieren a los hitos de rendimiento que una organización puede lograr si aplica determinadas tecnologías, procesos y políticas. Además, esta es una buena métrica para ver los servicios BIM que una organización puede ofrecer. Antes de la implementación de BIM, hay una etapa de PRE-BIM donde las empresas solo usan CAD 2D o softwares similares. El primer nivel de BIM es un modelado basado en objetos, donde se implementan herramientas como Revit,

Tekla, Archicad o similares. En este nivel se pueden obtener modelados 3D, planos 2D generados a partir del modelo 3D, tablas de cuantificación, especificaciones y modelos para el análisis estructural. En el nivel 2, los agentes involucrados colaboran entre sí e intercambian modelos a través de formatos cerrados como RVT y NWD o formatos abiertos como IFC. Sin embargo, la colaboración es de uno a uno. Es decir, no todos trabajan en el mismo modelo al mismo tiempo, sino que tienen que trabajar a partir del modelo que otro especialista le mandó. En el nivel 3, los modelos se crean, comparten y mantienen en un entorno común de datos (CDE) durante todo el ciclo de vida del proyecto. Finalmente, en la fase post-BIM se integra virtualmente el diseño, construcción y operación (ViDCO).



Figura 2. Capacidad BIM.

Tomado de "Matriz de madurez BIM", por BIM Excellence (Australia), 2016.

Si bien los niveles de capacidad BIM evalúan la capacidad y madurez que tiene una empresa para utilizar BIM en sus proyectos, el nivel de detalle y la información que se tiene en un modelo BIM es descrito por los distintos niveles de las dimensiones BIM. A medida que se agrega mayor información y funcionalidad al modelo BIM, la dimensión es mayor. Actualmente existen siete dimensiones BIM y las dimensiones BIM 8D, 9D y 10D son propuestas innovadoras y vanguardistas que todavía no están tan difundidas. A continuación, se procederá a describir cada una de las dimensiones:

Dimensiones estándar:

1D: Concepto de diseño y se establece el plan de ejecución.

2D: Se generan los planos tradicionales 2D, se definen los materiales y el ciclo de vida del proyecto.

3D: Se genera un modelo tridimensional colaborativo que contiene información que puede ser corregida o actualizada.

4D: Gestión del tiempo. Planificación de tiempos y actividades.

5D: Gestión de costos. Los componentes de un modelo BIM tienen asignado una serie de partidas y costos, que se pueden actualizar a medida que avanza el proyecto.

6D: Evaluación de la sostenibilidad y rendimiento energético. Simula el comportamiento energético y de rendimiento de las edificaciones, lo cual permite tomar mejores decisiones antes de que se inicie la construcción.

7D: Mantenimiento y gestión del activo inmobiliario. Se refiere al correcto funcionamiento de todos los equipos mecánicos y los protocolos de operación y mantenimiento.

Nuevas dimensiones:

8D: Seguridad y Salud. Se predicen los posibles riesgos que pueden suceder durante la construcción.

9D: Lean Construction. Se optimizan todos los procesos durante la construcción, se aprovecha al máximo los materiales, se minimizan los residuos y se mantiene dentro del plazo y presupuesto previsto al proyecto.

10D: Industrialización de la construcción.



Figura 3. Dimensiones BIM.

Tomado de “Dimensiones BIM vs Usos BIM”, por Salvador Moret (España), 2020.

2.2.3 Nivel de información necesaria

La norma ISO 19650 define el proceso de gestión de información, pues la información requerida varía de acuerdo al área y el ciclo de vida del proyecto. Esta norma debe especificar el tipo de información requerida, cuando se tiene que presentar y cómo se debe presentar esta información y quien la debe producir. Para esto, se necesita recopilar diferentes categorías de información, que están relacionadas entre sí. Estas se definen a continuación:

- Requerimientos de información organizacional (OIR): Se refiere a la información que se necesita para cumplir los objetivos estratégicos de la organización.
- Requerimientos de información del proyecto (PIR): Se refiere a la información requerida para cumplir los objetivos del proyecto. Se debe acordar qué información se debe entregar en cada etapa del proyecto.
- Requerimientos de información del activo (AIR): Se refiere a la información requerida para cumplir los objetivos del activo construido, su gestión y procedimientos de mantenimiento.
- Requerimientos de intercambio de información (EIR): Se refiere a los modelos a usar, el formato, software, entregables, el nivel de información para cada área del proyecto.

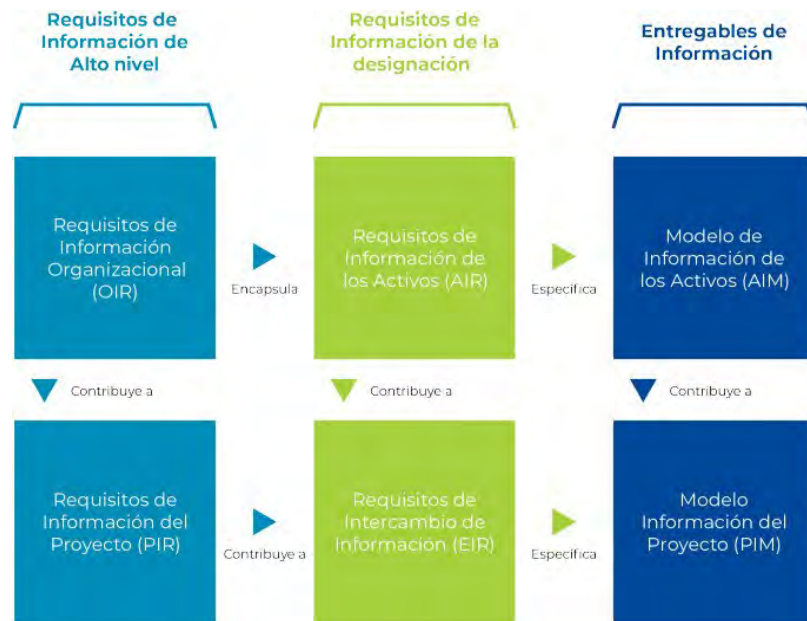


Figura 4. Articulación de los requisitos de información y los entregables de información.
Tomado de “Guía Nacional BIM”, por el Ministerio de Economía y Finanzas (Perú), 2021.

El nivel de información necesaria (LOIN- Level of information needed) que contiene un proyecto depende del propósito del mismo, ya que tener demasiada información para un proyecto que no lo requiere, es considerado un desperdicio. Además, el nivel de información va aumentando a medida que avanza el proyecto. LOIN está compuesto por el nivel de detalle (LOD- Level of detail) y el nivel de información (LOI-Level of information). En un modelado de la información para la construcción, LOD es la información geométrica de los objetos y LOI es la información alfanumérica y documentación. Estos dos modelos se complementan y están definidos por niveles, que son los siguientes:

LOI 1: Suficiente información para la identificación y la prefactibilidad.

LOI 2: Suficiente información para la investigación y la factibilidad.

LOI 3: Suficiente información para el diseño.

LOI 4: Suficiente información para la construcción.

LOI 5: Suficiente información para la gestión de activos.

LOD 1: El modelo es representado por un símbolo que muestra la existencia de un componente, pero no lo representa geoméricamente.

LOD 2: El modelo es un objeto genérico con una aproximación de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación.

LOD 3: El modelo es un objeto específico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación.

LOD 4: El modelo es un LOD 300 pero adicionalmente tiene información de detalles, manufactura, fabricación e instalación.

LOD 5: Este nivel de información no es una indicación de progreso de mayor información geométrica o no geométrica del elemento. Solo es una representación verificada del campo en términos de tamaño, forma, localización, cantidad y orientación.






LEVEL of DEVELOPMENT				
LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 400	LOD 500
				
Concept (Presentation)	Design Development	Documentation	Construction	Facilities Management
DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 100 DEPTH: 1100 HEIGHT: 1100 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 100	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 700 DEPTH: 450 HEIGHT: 1100 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 200	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 700 DEPTH: 450 HEIGHT: 1100 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 300	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 685 DEPTH: 430 HEIGHT: 1085 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc MODEL: Mirra LOD: 400	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 685 DEPTH: 430 HEIGHT: 1085 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc MODEL: Mirra PURCHASE DATE: 01/02/2013
(Only data in red is useable)			practicalBIM.net © 2013	

Figura 5. Nivel de detalle.

Tomado de "BIM and LOD", por Mc Phee (Australia), 2013.

2.2.4 Plataforma de objetos BIM

Generalmente las construcciones industrializadas tienen la fama de ser poco estéticas, cuadradas y con una arquitectura poco atractiva. Es decir, tienen poca flexibilidad en el diseño. Hoy en día, hay plataformas en línea que almacenan objetos BIM que pueden ser utilizados tal como están, pero también ofrecen la posibilidad de seleccionar un objeto BIM y personalizarlo, cambiando su configuración y realizando ediciones según sea necesario. Sin embargo, muchas de estas bibliotecas contienen pocos componentes prefabricados o módulos aptos para la construcción industrializada. Algunas de estas plataformas de objetos BIM más conocidas son: BIMobject, RevitCity, ArchiCad, entre otras.

“Algunas nuevas empresas constructoras industrializadas, como DMD Modular, Project Frog, CIMC MBS, etc., comienzan a desarrollar sus propias bibliotecas de módulos como productos principales o catálogo de productos.” (Cao, J, 2022, p.1). Los elementos u objetos BIM en las bibliotecas se pueden dividir de la siguiente manera:

- Modular Volumétrico: Unidades completamente prefabricadas o donde la gran mayoría de elementos son fabricados y ensamblados fuera de sitio.
- Flat-Pack: Elementos completos como paredes enteras o losas. Estos elementos también pueden incluir sistemas MEP.
- Kit de Piezas: Piezas individuales fabricadas fuera de sitio, pero ensambladas en obra. Un ejemplo de Kit de piezas es el siguiente: paneles de madera, tornillos y herrajes, instrucciones de ensamblaje y otras herramientas necesarias para facilitar el ensamblaje.

Cabe resaltar que cada objeto BIM en estas plataformas tiene un determinado nivel de información necesaria (LOIN) y es responsabilidad de los diseñadores

verificar ese nivel antes de usar ese objeto y verificar si se adapta al proyecto. En Perú, estos objetos BIM que se pueden encontrar en línea generalmente se usan para representar el modelo 3D, mas no lo usan para el proceso de diseño. Además, encontrar en línea todos los objetos BIM para el desarrollo de un proyecto con el nivel de información necesaria puede ser bastante complicado ya que estas bibliotecas no son tan amplias y no pueden satisfacer todos los requerimientos de todos los proyectos ya que los proyectos son únicos. Por tal razón, muchas empresas que se dedican a la construcción industrializada prefieren tener su propia biblioteca, la cual se adapta a sus necesidades como empresa.



Capítulo 3: Situación actual de la construcción en el Perú

3.1 Panorama general del sector construcción

El sector construcción es muy importante para el país, ya que, según la Cámara de Comercio de Lima (2022), durante la pandemia, su aporte económico fue 6.7% del producto bruto interno, que sería aproximadamente 16 500 millones de dólares americanos. Además, la revista también informa que se generaron 211 455 puestos de trabajo a nivel nacional, siendo Lima el departamento donde se concentra el 50% de estos puestos de trabajo. Esto demuestra que la construcción es una actividad vital para la economía del país y por eso es importante que se optimicen los procesos constructivos que actualmente presentan deficiencias.

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2024) informó que el sector construcción registro un crecimiento del 7.02%, en abril del 2024 y el consumo interno de cemento en 7.46%. A pesar de este crecimiento, el déficit habitacional también crece cada año. Según datos del año 2021, el déficit habitacional aumentó un 0.2% respecto al año anterior. A nivel nacional, 2.3% de hogares presentan déficit cuantitativo de vivienda y 8.9% presentan déficit cualitativo (INEI, 2021, p.188). El primero se refiere a la carencia de viviendas aptas para vivir y el segundo se refiere a las deficiencias en la calidad de la vivienda.

El hecho de que cerca del 9% de viviendas en el país tengan una calidad inadecuada es altamente preocupante, ya que Perú es un país sísmico y también sufre cada cierto tiempo de fenómenos naturales importantes como el Fenómeno del Niño, el cual siempre arrasa con un montón de viviendas siendo los departamentos costeros los más afectados. Sin embargo, los departamentos selváticos como San Martín, Ucayali y Amazonas son los que tienen la mayor cantidad de viviendas inadecuadas.

Por otro lado, el Perú es un país cuyo material predominante de las viviendas es el ladrillo o bloque de cemento con un 55.8%, seguido del adobe o tapia con un 27.9%

(INEI,2017, p.23). Además, si solo se toma en cuenta las zonas urbanas, la preferencia por el ladrillo o bloque de cemento aumenta. Muchos de estas viviendas son construcciones tradicionales y están construidas informalmente, es decir, sin la supervisión ni el asesoramiento de un profesional capacitado como un ingeniero civil y con malas prácticas constructivas.

Además de la informalidad en el sector construcción, otro dato preocupante es la cantidad de accidentes laborales que existen en la construcción. Según la Organización Internacional del Trabajo (OIT), desde el año 2011 hasta el 2021, el 15% de los accidentes de trabajo mortales y el 12% de los accidentes de trabajo no mortales son del sector construcción. (p.5). A pesar de que los accidentes en la construcción son menos frecuentes que en el siglo 20, las cifras anteriormente mencionadas siguen siendo considerables. La construcción es considerada un trabajo de alto riesgo y es por eso que es necesario mitigar esos riesgos lo más posible. La construcción industrializada al tener menos personal en obra y más personas trabajando en un fabrica bajo un sistema controlado, definitivamente es una alternativa muy eficaz para reducir los accidentes en la construcción.

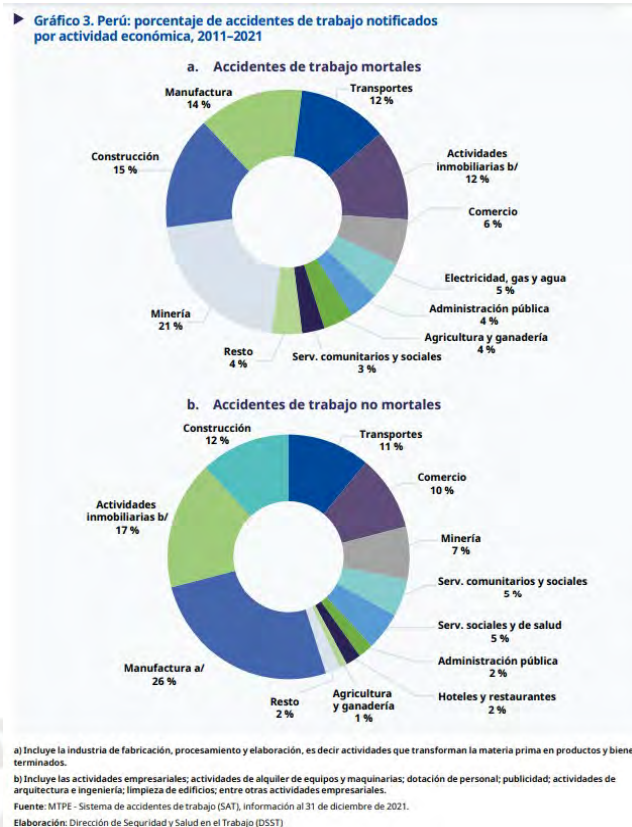


Figura 6. Porcentaje de accidentes de trabajo notificados por actividad económica.

Tomado de "La seguridad y salud en el trabajo en Perú", por la Organización Internacional del Trabajo, 2022.

Otro punto a destacar del panorama general de la construcción en el Perú es la cantidad de obras paralizadas. Esto se puede deber a muchos factores como falta de recursos financieros y liquidez, conflictos sociales, mala gestión, corrupción, incumplimiento de contrato, discrepancias, problemas de planificación y diseño, etc. Según la Contraloría General, en su Reporte de Obras paralizadas en el territorio nacional a Mayo 2023, hay un total de 1609 obras paralizadas por un monto de inversión superior a los S/ 22 mil 648 millones. (p.9). Las principales causales de paralización son incumplimiento de contrato y discrepancias, controversias y arbitraje. A continuación, se presentan dos tablas que publicó la Contraloría General de la República y que detalla más profundamente lo expuesto.

Tabla 6. Ubicación geográfica de las obras paralizadas y costos de inversión

Departamento	Costo actualizado		Obras paralizadas		Saldo de inversión por ejecutar S/
	S/.	%	Nº	%	
LA LIBERTAD	4,455,784,584	19.7%	54	3.3%	2,901,507,658
PIURA	2,169,596,671	9.6%	70	5.3%	924,944,488
LIMA	2,112,241,713	9.3%	105	7.3%	757,379,325
CAJAMARCA	1,717,764,080	7.6%	88	5.2%	1,090,338,236
CUSCO	1,349,065,923	6.0%	254	13.5%	390,356,710
ANCASH	1,256,130,398	5.5%	107	7.7%	743,755,502
TACNA	1,162,949,420	5.1%	35	2.5%	658,146,100
UCAYALI	1,161,169,264	5.1%	15	0.9%	344,683,127
PUNO	1,076,284,004	4.8%	213	14.3%	533,972,766
HUANUCO	1,012,843,906	4.5%	57	3.1%	538,456,321
AREQUIPA	841,546,943	3.7%	65	4.4%	450,066,902
HUANCAVELICA	645,344,769	2.8%	73	3.9%	237,454,095
APURIMAC	618,329,774	2.7%	92	6.4%	196,696,033
AYACUCHO	611,341,120	2.7%	93	6.2%	326,675,145
LORETO	512,680,147	2.3%	36	2.1%	261,606,063
JUNIN	443,864,192	2.0%	55	3.3%	236,644,979
AMAZONAS	389,091,548	1.7%	28	1.4%	88,107,747
MOQUEGUA	220,612,742	1.0%	33	1.6%	142,914,842
LAMBAYEQUE	203,379,736	0.9%	37	2.3%	67,773,379
ICA	167,586,605	0.7%	26	1.0%	121,718,431
TUMBES	153,807,343	0.7%	8	0.6%	115,489,989
SAN MARTIN	142,312,091	0.6%	23	1.2%	34,992,711
PASCO	115,574,863	0.5%	26	1.4%	51,924,757
MADRE DE DIOS	79,153,257	0.3%	13	0.8%	34,314,610
P. C. DEL CALLAO	30,494,808	0.1%	3	0.3%	14,644,073
Total	22,648,949,901	100.0%	1609	100.0%	11,264,563,990

Fuente: Sistema Nacional de Obras Públicas - Infobras

Elaboración: Subgerencia de Seguimiento y Evaluación del Sistema Nacional de Control (SESNC).

Fecha: 31/05/2023

Nota. Tomado de “Reporte de obras paralizadas en el territorio nacional a Mayo 2023” por la Contraloría General de la República del Perú

Tabla 7. Obras paralizadas según causal de paralización

Causales de paralización declarada por la entidad	N° obras paralizadas	Porcentaje %	Costo actualizado S/	% Costo Actualizado	Saldo de inversión S/	% de Saldo de Inversión
Falta de Recursos Financieros y Liquidez	118	9.7%	555,437,635	2.5%	212,965,574	1.9%
Incumplimiento de contrato	167	12.0%	7,834,652,657	34.6%	4,171,502,793	37.0%
Discrepancias, Controversias y Arbitraje	65	3.9%	5,263,977,135	23.2%	2,915,733,951	25.9%
Conflictos Sociales	10	0.7%	333,135,070	1.5%	216,748,964	1.9%
Eventos Climáticos	14	1.2%	180,347,606	0.8%	45,906,684	0.4%
Deficiencia en el Expediente Técnico	27	1.9%	489,389,497	2.2%	295,111,775	2.6%
Abandono de Obra	22	1.7%	115,054,612	0.5%	61,243,238	0.5%
Falta de Permisos, Licencias y Autorizaciones	8	0.7%	1,396,963,727	6.2%	533,512,721	4.7%
Disponibilidad de Terreno	11	0.9%	177,732,289	0.8%	30,939,165	0.3%
Interferencias	6	0.5%	43,667,090	0.2%	29,449,713	0.3%
Otros (*)	1161	67.0%	6,258,592,583	27.6%	2,751,449,412	24.4%
Total	1609	100%	22,648,949,901	100%	11,264,563,990	100%

Nota. Tomado de “Reporte de obras paralizadas en el territorio nacional a Mayo 2023” por la Contraloría General de la República del Perú

3.2 Construcción tradicional

La construcción tradicional es aquella donde las actividades para construir una edificación se hacen “in situ”. Hoy en día, este sigue siendo el sistema constructivo más usado en todo el mundo, sobre todo en países no industrializados como el Perú. Si bien este sistema ha sido utilizado desde inicios de la humanidad, la construcción tradicional presenta muchos problemas que solo pueden ser solucionados con la tecnología que se tiene en la actualidad. Lamentablemente, el sector construcción es una de las industrias con peor productividad y con menor índice de digitalización, mientras otras industrias que sí han innovado la superan ampliamente. En el gráfico mostrado a continuación, se puede ver la correlación que existe entre el crecimiento de la productividad y el índice de digitalización.

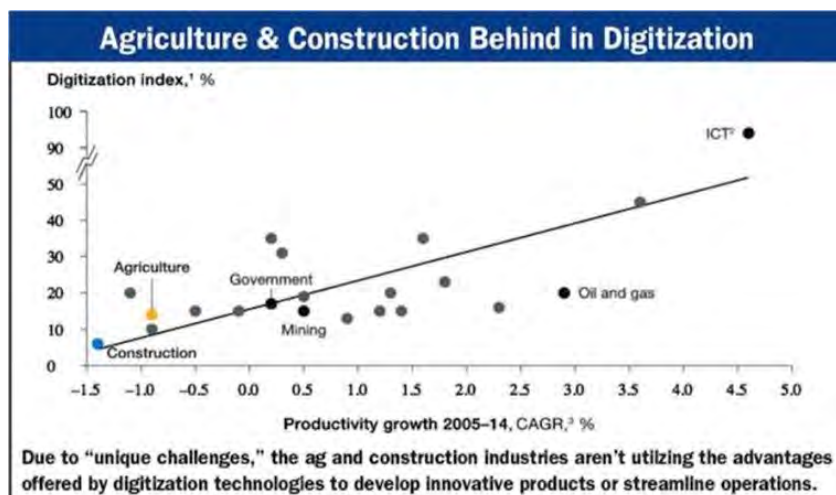


Figura 7. Agricultura y Construcción detrás de la digitalización.

Tomado de Mckinsey Global Institute Analysis, 2017

El sistema tradicional utilizado para construir una edificación está muy fragmentado, lo cual conlleva a muchos errores como incompatibilidades e interferencias entre planos de diferentes especialidades, falta de detalles de instalaciones, mala coordinación entre los agentes involucrados, retraso de plazo de entrega, peligro de sobrecostos, etc. “La insatisfacción del cliente también es un problema a resolver, ya que las personas ven a los proyectos de construcción como impredecibles en términos de entrega a tiempo dentro del presupuesto y con los estándares de calidad esperados” (John Egan, 1998, p.7). Como consecuencia de la baja productividad de la construcción respecto a otras industrias, la falta de innovación y tecnología y la pobre reputación que este sector tiene con las personas, se hace imprescindible que en esta industria se realicen mejoras.

3.3 Construcción industrializada

3.3.1 Antecedentes de prefabricados

En el Perú, existen muchas obras importantes que se han realizado con prefabricados. Además, estos se utilizan desde hace bastante tiempo, solo que cada vez los prefabricados y el proceso de prefabricación es más complejo.

En 1975, para la construcción del techo de “Manufacturas La Libertad” en Trujillo, se prefabricaron vigas “T” de concreto armado postensadas con una luz de 18 metros. Cabe resaltar que las vigas “T” fueron prefabricadas a pie de obra, con el objetivo de minimizar costos de transporte y tiempo de ejecución. Esto demuestra que en el país, en esos tiempos, todavía no era común que una empresa de prefabricados formara parte del proyecto.

En 1979, se usaron vigas doble “T” pretensadas con una luz de 20 metros para 5000 metros cuadrados de techo. Debido a que el brazo de la grúa no llegaba hasta el techo, se usó un sistema donde las vigas se deslizaban sobre un ángulo de fierro colocado con su arista hacia arriba. Con tecles instalados en ambos extremos, se movieron las vigas una a una hasta posicionarlas correctamente. Esto demuestra que a pesar de las situaciones adversas, los ingenieros han podido llevar a cabo exitosamente el montaje del techo prefabricado en un plazo razonable y sin usar equipos demasiados costosos y sofisticados.

En 1984, la minera Buenaventura construyó edificios de vivienda en Uchucchacua con elementos como placas, entresijos y uniones que se fabricaron en el mismo campamento. En esta época, se puede notar un avance sustancial de la prefabricación en el Perú ya que ahora están uniendo diferentes elementos estructurales a través de uniones prefabricadas. Tiempo después, en 1993, se construye la Fábrica San Jacinto con elementos verticales y horizontales prefabricados, la cual es una edificación más compleja que los edificios de vivienda de Uchucchacua.

En el siglo 20, ya se pueden ver obras más complejas donde se utilizaron prefabricados como el Colector Norte de Lima, construido en el año 2004. En una parte de esta obra, se empleó el Sistema Pipe Jacking, que consiste en un método de

construcción de túneles subterráneos que se utilizó para instalar las tuberías sin necesidad de excavar una zanja.

3.3.2 Antecedentes de las viviendas modulares

Uno de los proyectos más grandes donde se construyeron viviendas modulares en Perú fue en el proyecto “Las Piedras de Buenavista”, ubicado en los Aquijes, Ica. La empresa peruana de desarrollo urbanístico “Llaxta” quería desarrollar un proyecto inmobiliario de manera no tradicional. Para esto, contrató los servicios de dos empresas alemanas, “Ratec” y “Reymann Technik”, las cuales construyeron viviendas modulares mediante su tecnología “Upcrete”. “Ratec” es una empresa líder en innovación tecnológica de encofrados magnéticos y soluciones de moldes para la producción de prefabricados de concreto. Por otro lado, “Reymann Technik” es una empresa con más de 40 años de experiencia planificando y asesorando plantas de prefabricados de concreto armado en todo el mundo. Estas dos empresas trabajaron de manera conjunta para poder satisfacer los requisitos de “Llaxta”, su cliente.

Los requisitos de “Llaxta” eran los siguientes:

- En un terreno de 1 millón de metros cuadrados, debían construir 3600 viviendas en un plazo de 60 meses.
- Cada vivienda debía tener 3 habitaciones, 70m² de superficie habitable, dos plantas, patio propio y jardín.
- Viviendas deben ser antisísmicas y soportar tormentas
- Paredes delgadas, calidad excelente y minimizar el uso de materiales.

Se realizó una fabricación monolítica de módulos de ambientes que incluían paredes portantes, losas, vigas e instalaciones eléctricas y sanitarias. Cabe resaltar que cada módulo de ambiente fue fabricado de una sola colada. El resto de elementos, como los techos, tabiques, escaleras y balcones fueron fabricados aparte. Este método

de construcción utiliza un sistema de industrialización integrado y cerrado, ya que todos los elementos fueron coordinados, diseñados y planificados previamente.

Para realizar la fabricación, se instaló una nave de producción de 25x12x110m, que incluía lo siguiente:

- 3 encofrados modulares upcrete de 3x6x3m
- 1 encofrado en batería con 6 bolsillos (8x3m)
- 2 encofrados de escaleras
- 2 encofrados de balcones
- 2 Pump Cars en base a la UPP 100

Primero, dentro de los encofrados modulares, se realizaba el armado de acero y los trabajos de instalación eléctrica y sanitaria. Luego, se realizaba el encofrado de esta armadura de acero. Después, mediante el uso de los Upcrete Pump Cars, se bombeaba el concreto autocompactante desde abajo hacia el interior del encofrado. Este procedimiento permite la fabricación en posición de montaje, lo cual posibilita un ahorro en espacio y tiempo, ya que en los procedimientos tradicionales, donde se bombea desde una posición contraria a la de montaje, el módulo de ambiente debe ser volteado tras el fraguado.

El módulo de ambiente se desencofra después de 7 a 9 horas y finalmente el módulo es levantado y transportado a obra. Se producían dos viviendas completas por día y el proyecto se desarrolló de manera exitosa, lo cual ha marcado un precedente en Perú para construir viviendas modulares de manera industrializada y de esta manera poder solucionar el déficit habitacional que actualmente se tiene.



Figura 8. Núcleo se coloca en el encofrado del módulo.

Tomado de “De la visión a la realidad: sistema modular de viviendas para crear un espacio habitable antisísmico”, por Reymann Technik (Alemania), 2014.



Figura 9. Montaje de las viviendas modulares.

Tomado de “De la visión a la realidad: sistema modular de viviendas para crear un espacio habitable antisísmico”, por Reymann Technik (Alemania), 2014.

3.4 Adopción BIM en el Perú

3.4.1. Plan BIM Perú

El gobierno peruano implementó el “Plan BIM Perú” en el año 2019, cuyo objetivo final es la obligatoriedad de esta metodología en el sector público para el año 2030. Para cumplir con las metas propuestas, se establecieron cuatro líneas estratégicas:

1. Establecer el liderazgo público
2. Construir un marco colaborativo

3. Aumentar la capacidad de la industria
4. Comunicar la visión



Figura 10. Resumen de acciones Plan BIM Perú.

Tomado de “Plan BIM Perú”, por Ministerio de Economía y Finanzas (Perú), 2019.

3.4.2. Adopción BIM en el Perú

En los últimos años se ha observado un progresivo avance de la metodología BIM en el Perú, al igual que en muchas otras partes del mundo. El “Tercer Estudio de Adopción BIM en proyectos de edificación en Lima” (Murguía et Al, 2023) resulta en varios gráficos sobre la situación actual de la implementación BIM en el Perú, que se detallaran a continuación:

3.4.2.1. Usos de Modelos BIM en proyectos

Los resultados de este estudio muestran que los encuestados valoran principalmente los aspectos relacionados con el diseño y la coordinación de los proyectos. La visualización de modelos 3D, la detección temprana de conflictos o limitaciones constructivas y la compatibilización de especialidades son las funciones más utilizadas, lo que sugiere una preocupación por la representación visual y la coordinación entre disciplinas durante la fase de diseño.

Aunque hay un porcentaje significativo de empresas que abordan aspectos de ejecución y gestión, como el control de avance de obra y la extracción de metrados, estas funciones tienen porcentajes más bajos de adopción. Esto puede indicar que, si bien hay interés en estas aplicaciones de BIM, aún existe un margen de mejora en la aplicación de BIM para la gestión y ejecución eficientes de los proyectos.

Las respuestas también revelan áreas específicas donde la adopción de BIM puede mejorar. Por ejemplo, la simulación de la construcción (4D), la estimación de costos y presupuestos (5D) y la prefabricación de componentes MEP. Por lo tanto, hay oportunidades para aprovechar más completamente el potencial de BIM en aspectos como la planificación logística, la gestión eficiente de recursos y la optimización de procesos constructivos, lo que permitiría una ejecución más coordinada, precisa y rentable de los proyectos en el sector de la construcción peruano.

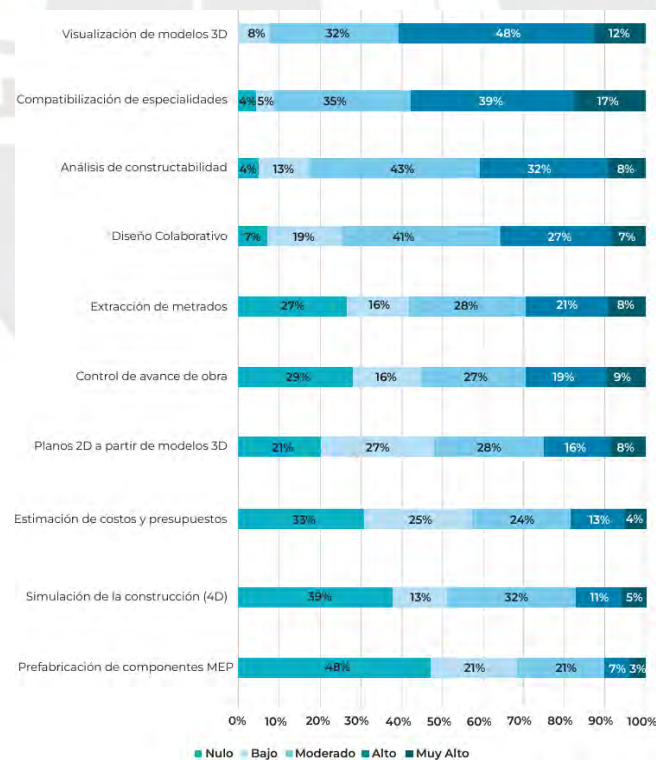


Figura 11. Usos de Modelos BIM en proyectos.

Tomado de "Tercer Estudio de adopción BIM en proyectos de edificación en Lima", por Murguía, D. et al (Perú), 2023.

3.4.2.2. Percepción del impacto BIM

Las respuestas de los encuestados muestran una percepción muy positiva del impacto BIM en varios aspectos de los proyectos de construcción. La gran mayoría considera que BIM mejora la calidad de información y del proyecto. Esto sugiere que BIM proporciona datos más precisos, detallados y confiables, lo que a su vez facilita la toma de decisiones fundamentadas en todas las etapas del proyecto. Esta mayor calidad de la información puede ayudar a evitar errores y conflictos durante el proceso de diseño, así como mejorar la coordinación entre los distintos equipos involucrados.

Otra gran mayoría respondió que BIM mejora el alcance y definición del proyecto y la planificación de obra. Ambas respuestas están estrechamente relacionadas con la productividad en el ámbito de la construcción. Una definición clara del alcance del proyecto proporciona una base sólida para una planificación más precisa y detallada de las actividades. Esta claridad reduce la ambigüedad y los cambios no planificados durante la ejecución del proyecto, lo que a su vez mejora la eficiencia y la productividad al minimizar los retrasos y las interrupciones. Por otro lado, una planificación de obra mejorada implica una distribución más eficiente de los recursos, una secuencia constructiva más lógica y una anticipación de posibles obstáculos. Todo esto contribuye a una ejecución más fluida y eficiente del proyecto, lo que se traduce en una mayor productividad general del equipo de construcción y en una finalización más exitosa del proyecto.

Aunque en menor medida, pero igual con un porcentaje muy significativo, la percepción de que BIM puede contribuir a reducir el tiempo y costo de un proyecto también es importante, ya que refleja el reconocimiento de la capacidad de BIM para optimizar la eficiencia y la rentabilidad en el proceso de construcción. La reducción del tiempo de construcción implica una ejecución más rápida y eficiente del proyecto, lo que puede resultar en ahorros significativos en términos de mano de obra y

recursos. De manera similar, la reducción de costos está estrechamente relacionada con una mejor gestión de recursos, una mayor precisión en la estimación de costos y una identificación temprana de posibles áreas de ahorro.

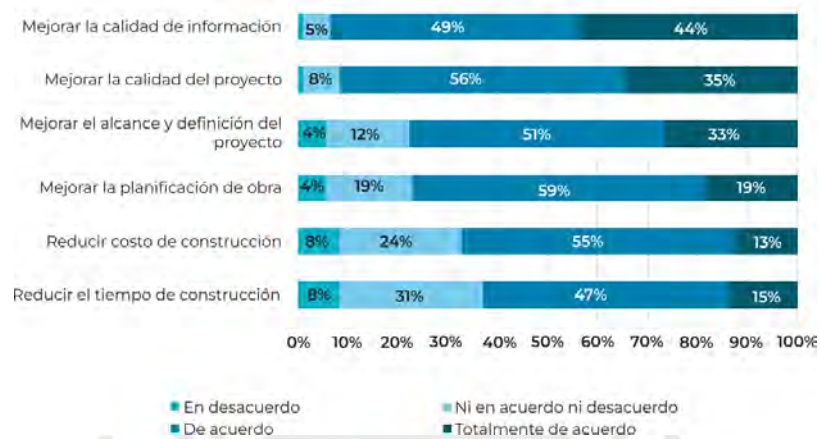


Figura 12. Percepción del impacto de BIM.

Tomado de "Tercer Estudio de adopción BIM en proyectos de edificación en Lima", por Murguía, D. et al (Perú), 2023.

3.4.2.3. Motivos por los que no se implementa BIM en proyectos

Los motivos proporcionados por los encuestados revelan una serie de desafíos y obstáculos que enfrenta la adopción de esta metodología en la industria de la construcción en el contexto peruano. Las principales razones por las cuales no se implementa BIM es porque no existe demanda de BIM por parte de los clientes y porque BIM no es compatible con los procesos actuales de la empresa. Estos resultados revelan que los clientes aún no comprenden los beneficios de BIM o tal vez no han visto los resultados de esta metodología de manera clara y prefieren seguir con los métodos tradicionales. También, la implementación de BIM requiere de cambios significativos a la forma en como operan las empresas tradicionales, lo cual resulta en una resistencia al cambio.

A pesar del Plan BIM Perú, podemos ver que los encuestados siguen percibiendo que no existen políticas BIM definidas por el gobierno. Esto puede significar que las personas tienen una comprensión limitada sobre las políticas

existentes o que aún no han experimentado directamente los efectos de estas políticas en la industria de la construcción.

En menor medida los siguientes motivos que mencionaron los encuestados fueron los altos costos de inversión BIM, la falta de profesionales capacitados y los altos costos de cursos de capacitación BIM. Esto sugiere que, si bien estos factores son considerados como obstáculos, no son necesariamente percibidos como barreras insuperables para la adopción de BIM. Es posible que algunas empresas estén dispuestas a invertir en tecnología y capacitación si ven claros beneficios y oportunidades de negocio.

Por último, la razón menos popular entre los encuestados fue “los beneficios de BIM no son claros”. Sin embargo, solo un 15% está de acuerdo con esto, lo cual sugiere que la mayoría de los encuestados tienen una comprensión básica de los beneficios potenciales de BIM en la industria de la construcción. Esta percepción puede estar influenciada por la creciente cantidad de información disponible sobre BIM y sus aplicaciones, así como por la experiencia previa o la exposición directa a proyectos donde BIM ha demostrado ser beneficioso.

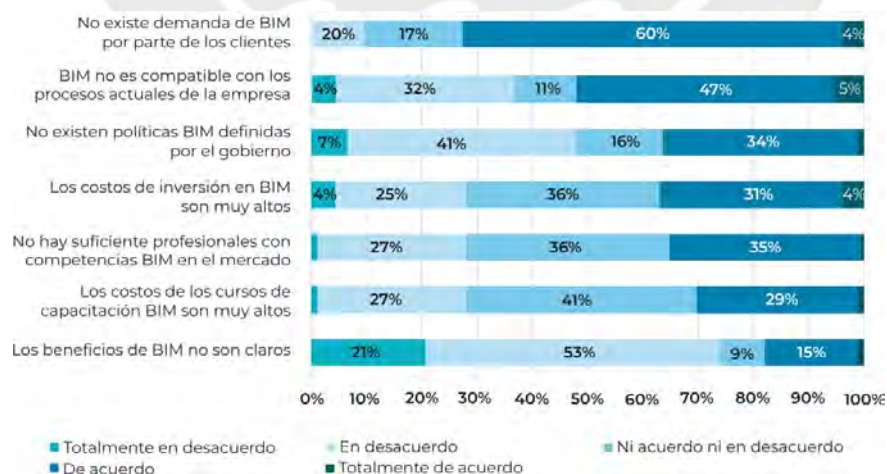


Figura 13. Motivos por los que no se implementa BIM en proyectos.

Tomado de “Tercer Estudio de adopción BIM en proyectos de edificación en Lima”, por Murguía, D. et al (Perú), 2023.

Capítulo 4: Beneficios de usar BIM en la construcción con prefabricados

4.1. BIM, BAM, BOOM

El arquitecto Patrick MacLeamy introdujo el concepto BIM-BAM-BOOM para resaltar el potencial completo de la metodología BIM a lo largo de las diferentes etapas de vida de un edificio. MacLeamy sostiene que, por cada dólar gastado en diseño, se gastan 20 dólares en la construcción y 60 dólares en la operación de los edificios durante una vida útil de 60 años.

BIM (*Building Information Modeling*) es un modelo tridimensional que permite explorar diferentes opciones y probar cómo funcionarían esas opciones en la realidad. Es una herramienta valiosa durante la fase de diseño, ya que ayuda a generar ideas, establecer presupuestos y asegurar de que se cumplan los requisitos del proyecto.

El BAM (*Building Assembly Modeling*) representa una evolución del BIM, centrándose en la fase de ensamblaje de edificios. En lugar de construir directamente en el sitio, el BAM fomenta el ensamblaje de componentes prefabricados, lo que permite una mayor eficiencia en la construcción, mejor coordinación entre los subcontratistas y un control más preciso de los costos. Se ha demostrado que la integración de BIM y BAM en la fase de diseño y construcción conduce a ahorros significativos en los costos totales de construcción. Según MacLeamy, un arquitecto y un contratista usando BIM y BAM para diseñar el edificio puede ahorrar un 30% del costo de construcción

Por último, el BOOM (*Building Operation Optimization Modeling*) entra en juego una vez que el edificio está en funcionamiento. Este modelo se centra en la optimización de las operaciones y el mantenimiento del edificio durante su vida útil. Utilizando datos de los modelos BIM y BAM, el BOOM ayuda a los propietarios a gestionar el consumo de energía, programar el mantenimiento preventivo y maximizar la eficiencia operativa del edificio.

Debido a su capacidad para gestionar un valor mucho mayor que el valor del diseño, el potencial de ahorro de costos con BOOM es sustancial.



Figura 14. BIM, BAM, BOOM.

Tomado de presentación de Patrick MacLeamy

4.2. Curva de MacLeamy

Una de las grandes ventajas de BIM para optimizar el tiempo es la detección temprana de conflictos. Esto es importante, pues mientras antes se detecte el conflicto, el costo de arreglarlo será menor. A continuación, se presenta la curva de MacLeamy, la cual ilustra la relación entre el costo de un proyecto, el tiempo necesario para completarlo y la calidad del producto final.

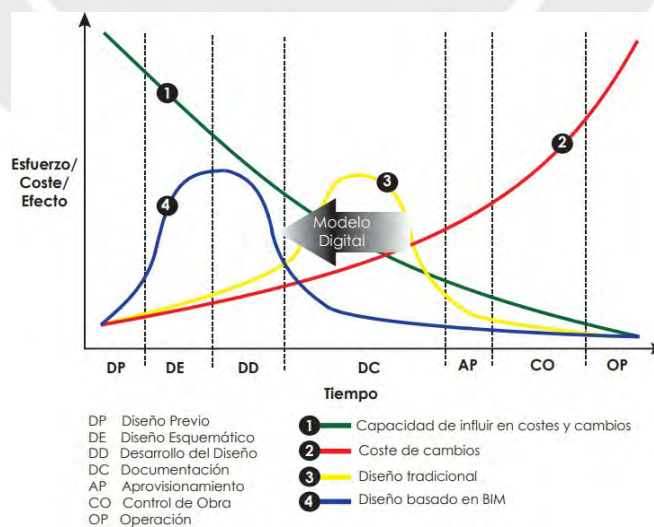


Figura 15. Curva de MacLeamy.

Tomado de presentación de Patrick Macleamy

La línea 1 indica el esfuerzo requerido para realizar un cambio según la etapa del proyecto y también la capacidad de impactar en los costos y cambio. Es decir, si se realiza un cambio al inicio va a tener un mayor impacto que si se realiza un cambio en las últimas etapas del proyecto. La línea 2 muestra el costo de realizar un cambio en las diferentes etapas de un proyecto. Si es que se realiza un cambio al inicio, el costo va a ser menor que si se realiza un cambio en las etapas finales del proyecto.

La línea 3 muestra el diseño tradicional donde se puede ver que el esfuerzo es mayor en la etapa de documentación de la construcción mientras que la línea 4 muestra el diseño basado en BIM, donde el mayor esfuerzo se da en la etapa de diseño. Por lo tanto, es más conveniente usar BIM, ya que los modelos BIM facilitan la coordinación entre los diferentes equipos involucrados en la construcción, como arquitectos, ingenieros estructurales, fabricantes de prefabricados y contratistas. Al compartir un modelo centralizado, los equipos pueden identificar y resolver conflictos potenciales antes de que ocurran en el sitio de construcción, lo que reduce los retrabajos y los retrasos.

4.3. Garantizar la calidad del proyecto

Según la ISO9000, la calidad es entendida como el grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos. Además, la calidad no se limita únicamente al producto final, sino que también abarca todo el proceso del proyecto. Esto implica que la calidad debe ser gestionada y asegurada en todas las etapas del proceso.

Por lo tanto, es imprescindible que se utilice BIM para mejorar la calidad del proyecto, pues con BIM se puede mejorar tanto en la fase de diseño como en la fase de construcción. La aplicación de la tecnología BIM durante la fase de diseño puede mejorarla en los siguientes aspectos:

- Garantizar la consistencia en la información de diseño: La información que se tiene en el modelo 3D durante la fase de diseño constituye la base para los modelos en las

fases posteriores, y los datos de modelado paramétrico basados en tecnología BIM son fundamentales para los sistemas automatizados de evaluación de calidad, conteniendo información como los nombres, propiedades y metadatos de los componentes de construcción.

- Facilita la comunicación entre todos los agentes participantes: BIM proporciona un modelo centralizado y compartido que contiene toda la información del proyecto en tiempo real. Con su representación tridimensional clara y detallada, BIM simplifica la comprensión de los diseños para todos los involucrados. Además, las herramientas de anotación y comentario permiten una comunicación efectiva al adjuntar información directamente al modelo. Esta capacidad de detección temprana de conflictos y la colaboración más precisa mejoran significativamente la eficiencia y la calidad de los proyectos de construcción.
- Garantizar la consistencia en el control del proceso de diseño: Con aplicaciones digitales, los gerentes pueden monitorear el estado de avance de cada tarea durante el proceso de diseño y proporcionar opiniones para asegurarse de que la calidad del trabajo sea consistente en todo el proceso de diseño.
- Estandarización de prefabricados: Mediante el uso de bibliotecas de componentes y estándares de diseño en los modelos BIM, se pueden establecer especificaciones uniformes y criterios de diseño consistentes para los elementos prefabricados. Esto ayuda a garantizar que todos los elementos sean fabricados de manera uniforme y cumplan con los mismos estándares de calidad y precisión

BIM también tiene beneficios con relación a la calidad durante la fase de construcción, como las siguientes:

- **Mejor visualización del proyecto:** Se puede utilizar realidad aumentada y realidad virtual para visualizar la ubicación de los elementos prefabricados en el lugar de construcción. Esto permite una mejor comprensión del proyecto, ya que los constructores pueden ver como encajan los elementos prefabricados y verificar si se están siguiendo los procedimientos correctamente.
- **Seguimiento de la calidad:** Esto puede incluir el registro de inspecciones, la documentación de problemas de calidad y el seguimiento de las acciones correctivas. Los modelos BIM proporcionan una plataforma centralizada para almacenar y compartir información relacionada con la calidad del proyecto, lo que facilita la colaboración entre los equipos y partes interesadas.
- **Mejora continua:** Utilizar la información recopilada a través de BIM para realizar análisis de retroalimentación y mejorar continuamente los procesos de control de calidad. Identificar áreas de mejora e implementar medidas correctivas ayuda a optimizar la calidad del trabajo y reducir la incidencia de problemas de calidad en proyectos futuros.

4.4. Integración de BIM con sistemas ERP

La integración de BIM con sistemas ERP (Sistemas de planificación de recursos empresariales) en el contexto de la construcción con prefabricados implica la transferencia de datos y la sincronización entre estas dos plataformas. Los sistemas ERP son utilizados para la gestión de recursos empresariales, incluyendo aspectos como planificación de proyectos, gestión de inventario, compras y control financiero. Al integrar BIM con sistemas ERP, se establece una conexión entre el modelo virtual y la gestión empresarial, lo que permite una coordinación más estrecha y una toma de decisiones más informada.

En el caso específico de la construcción con prefabricados, la integración de BIM con sistemas ERP facilita la planificación y gestión de la fabricación, transporte e instalación de los elementos prefabricados. Por ejemplo, los datos del modelo BIM pueden utilizarse para generar automáticamente órdenes de producción y listas de materiales en el sistema ERP, lo que agiliza el proceso de fabricación y garantiza la disponibilidad de los materiales necesarios.

Además, la integración de BIM con sistemas ERP permite una mejor gestión del inventario de elementos prefabricados. Los datos del modelo BIM se pueden utilizar para rastrear la ubicación y el estado de los elementos prefabricados en tiempo real, lo que facilita su seguimiento y control a lo largo del proceso de construcción.

4.5. Fases de la construcción prefabricada usando BIM

4.5.1. Concepto

4.5.1.1. Estudio de Factibilidad

BIM se utiliza para realizar análisis preliminares de viabilidad, análisis de costos iniciales y simulaciones de diseño para evaluar la idoneidad del proyecto. Esto es importante porque uno de los grandes motivos por el cual algunas empresas no se decantan enteramente por el sistema con prefabricados es porque no existen métricas claras ni modelos matemáticos que puedan comparar el sistema tradicional con el industrializado. Sin embargo, con la metodología BIM se pueden simular ambos sistemas constructivos y compararlos en términos de costos.

Por ejemplo, en China, Ji, Chang, Qi, Li, Xian Li & Kai Qi (2019) publicaron un artículo donde simularon en la plataforma BIM el proceso constructivo de una construcción prefabricada y luego este caso de estudio se transformó a una construcción tradicional para poder comparar resultados. El proyecto era un edificio localizado en el distrito de Qingpu, Shangai, China y los componentes prefabricados

eran los siguientes: paneles laminados, escaleras, balcones, muros exteriores, muros interiores y paneles de fachada. Los resultados revelan que el beneficio económico puede alcanzar los $\text{¥}739.6/\text{m}^2$ (aproximadamente $\text{S}/.377.02/\text{m}^2$) si es que se utilizan prefabricados con BIM en vez de construir tradicionalmente, siendo el acortamiento del periodo de construcción el factor más importante para esta reducción de costos.

También hay un estudio nacional donde se aplicó el estándar BIM para comparar un sistema de construcción tradicional con un sistema industrializado. Este estudio es la tesis de Flores Quispe, C. E., Mamani Mamani, E., & Vargas Camacho, L. E., publicada en 2018. El proyecto consistía en construir viviendas sociales de dos pisos en la ciudad de Juliaca y comparar ambos sistemas de construcción. En el proceso constructivo prefabricado se utilizaron prelosas y paneles tipo sándwich. Los resultados de esta tesis demostraron que el costo de usar un sistema tradicional para construir la vivienda en cuestión es de $\text{S}/192.176,10$ mientras que si se utilizaba un sistema industrializado con BIM y Lean Construction el costo se reducía a $\text{S}/157.850,38$.

4.5.1.2. Visualización y modelado arquitectónico

BIM permite la creación de modelos arquitectónicos 3D detallados que ayudan a los clientes y equipos de diseño a visualizar el proyecto, explorar diferentes opciones de diseño y tomar decisiones informadas desde las primeras etapas del proceso. Adicionalmente, BIM mejora la coordinación del proyecto al facilitar una comunicación más efectiva entre todas las partes interesadas del proyecto. Al tener acceso a un modelo digital centralizado y actualizado, los equipos de diseño, ingeniería, construcción y logística pueden colaborar de manera más estrecha y coordinada. Esto promueve una comprensión compartida de los objetivos del proyecto y facilita la toma de decisiones informadas y basadas en datos. Además, BIM

proporciona una plataforma para la gestión de cambios en tiempo real, lo que permite a las partes interesadas identificar y abordar rápidamente cualquier problema que surja durante el proceso de construcción, lo que contribuye a mantener el proyecto en el camino correcto y optimizar el tiempo de ejecución.

4.5.2. Diseño y modelado

4.5.2.1. Modelado estructural y de otras especialidades

BIM integra diversas disciplinas en un modelo único, lo que facilita la coordinación y detección de conflictos entre sistemas, permitiendo un diseño más preciso y eficiente. A través del modelo en 3D, el diseñador puede ver el grado de integración entre componentes prefabricados. Además, verificar las conexiones para estructuras prefabricadas y reducir el cambio de diseño en la producción y construcción de elementos prefabricados. Además, incluso el diseñador puede optimizar el diseño, creando otro diseño con menos gasto de recursos, menor costo y con mayor calidad.

4.5.2.2. Metrados y estimación de costos

Los metrados o *quantity take off* (QTO) se pueden obtener del modelo 3D. Esto permite una mayor precisión en la estimación de cantidades, ya que el modelo 3D proporciona una representación detallada y precisa de todos los elementos del proyecto, incluyendo dimensiones específicas y ubicaciones. Esto reduce significativamente los errores y las discrepancias en las estimaciones de cantidad, lo que a su vez mejora la planificación y la gestión de recursos durante la construcción con prefabricados.

Por otro lado, *Bill of Quantities* (BOQ) es un documento utilizado en la industria de la construcción que enumera y describe en detalle todos los materiales,

mano de obra y otros costos necesarios para completar un proyecto de construcción específico. Al combinar el QTO y el BOQ con el modelo 3D, se asegura una consistencia entre las cantidades calculadas y los elementos enumerados en el documento. Esta integración tiene múltiples beneficios como las siguientes:

- Hace que calcular la cantidad de materiales necesarios sea más rápido y preciso, gracias a que la información se presenta de manera más inteligente y electrónica. Esto ayuda a los gerentes a administrar la construcción de manera más eficiente y a mantener estándares consistentes. También mejora la seguridad del almacenamiento de datos y aumenta la precisión en la gestión de cantidades, lo que hace que toda la administración sea más eficiente.
- BIM puede simular los costos basados en las cantidades de materiales necesarias. Esto significa que puede crear modelos digitales que representen cómo se ensamblarán los edificios y calcular los costos involucrados. Además, comparando estos cálculos con la realidad, se pueden detectar errores u omisiones para ajustar los costos de manera más precisa.
- Con BIM, todo el proceso de gestión de cantidades puede ser rastreado y controlado desde dispositivos móviles. Esto permite supervisar de cerca la construcción y los costos desde cualquier lugar, utilizando tecnologías como el almacenamiento en la nube. También se pueden subir datos importantes a la nube para que todos los involucrados puedan ver y comprender la situación actual y así garantizar un uso eficiente de los materiales durante todo el proceso de construcción.

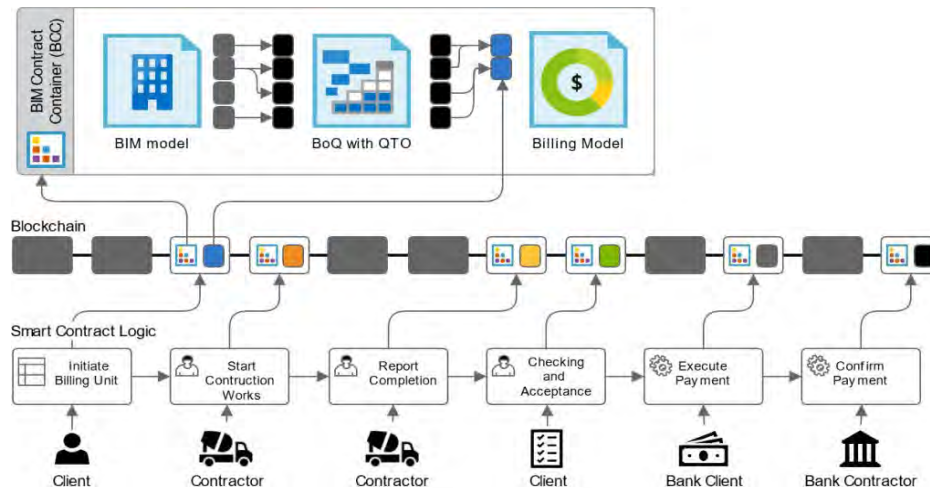


Figura 16. Flujo de trabajo de BIM, BOQ y QTO

Tomado de "Project and Asset Information Management", de Universidad Ruhr de Bochum (Alemania), s.f.

4.5.2.3. Interoperabilidad con otras plataformas

En el proceso de diseño y construcción de un proyecto, participan diferentes profesionales y agentes. Es crucial que estos involucrados puedan compartir información de manera efectiva para garantizar el desarrollo sostenible del proyecto y reducir costos tanto en la fase de diseño como en la de construcción. Para lograr esto, es necesario contar con un formato estándar que permita el intercambio seguro de datos entre todas las partes involucradas, sin errores ni pérdida de información.

4.5.2.4. Automatización de procesos

Los APIs (Interfaces de Programación de aplicaciones) relacionados con BIM influyen en la automatización de procesos al proporcionar herramientas y recursos para personalizar y extender la funcionalidad de los softwares BIM. Al desarrollar complementos, scripts y aplicaciones personalizadas utilizando APIs, los profesionales pueden adaptar los softwares BIM a las necesidades específicas de los proyectos de construcción con prefabricados. Esto incluye la automatización de tareas repetitivas, la integración con sistemas de fabricación y la creación de flujos de

trabajo personalizados que optimizan el proceso de construcción. Algunos ejemplos de APIs comunes en el mundo BIM son: Revit API, Dynamo API, Tekla Structures API, Navisworks API, etc.

4.5.3. Planificación del proyecto

4.5.3.1. Programación del proyecto mediante simulación 4D

Los modelos BIM permiten una planificación detallada y precisa de la secuencia de construcción utilizando elementos prefabricados. El equipo encargado de la planificación puede visualizar cómo se ensamblarán los componentes prefabricados en el sitio y establecer una secuencia eficiente de instalación. El modelo 4D de BIM también permite un mejor control sobre el cronograma de construcción y una mejor interacción entre la logística y los procesos constructivos. La claridad que proporciona un BIM 4D permite identificar rápidamente problemas potenciales donde un orden programado de trabajos entra en conflicto con los arreglos logísticos propuestos. También, BIM puede simular diferentes escenarios y ayudar a plantear soluciones para una variedad de problemas que pueden surgir durante el ciclo de vida de un proyecto de construcción.

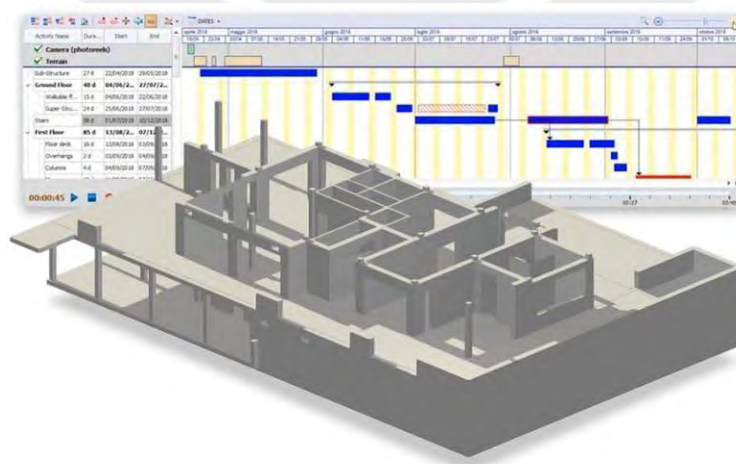


Figura 17. Programación del proyecto mediante simulación 4D

Tomado de "El BIM 4D, qué es y para qué sirve", por BibLus (Italia), 2021.

4.5.3.2. Diseño del Layout de obra

Utilizando el modelo BIM, los equipos de construcción pueden analizar el espacio disponible en el sitio y cómo se utilizará más eficientemente. Se pueden identificar áreas de congestión potencial, optimizar la distribución de recursos y planificar la logística de transporte de materiales y equipos.

BIM permite simular las actividades de construcción en el tiempo y el espacio, lo que ayuda a determinar la secuencia óptima de trabajo y minimizar los cuellos de botella. Esto incluye la planificación de la ubicación de grúas, equipos de excavación, áreas de almacenamiento y rutas de acceso.



Figura 18. Layout de Obra

Tomado de "BIM 8D, qué es y cuáles son las ventajas", por BibLus (Italia), 2021.

4.5.3.3. Planificación y gestión de la seguridad

Los beneficios de BIM con relación a la seguridad del proyecto son las siguientes:

Planificación de seguridad: Los modelos BIM pueden ser utilizados para planificar medidas de seguridad específicas para la instalación de elementos prefabricados. Esto incluye la planificación de la secuencia de instalación, la selección y posicionamiento de equipos de elevación, y la identificación de áreas de acceso seguro para los trabajadores.

Simulación de montaje: Utilizando software de simulación en conjunto con modelos BIM, se pueden simular el montaje de elementos prefabricados para identificar posibles riesgos de seguridad y desarrollar medidas de mitigación adecuadas. Esto permite a los equipos de construcción anticipar y abordar problemas de seguridad antes de que ocurran en el sitio de construcción.

Capacitación del personal: Los modelos BIM pueden utilizarse como herramientas de capacitación para el personal de construcción, permitiendo la visualización y comprensión de los procedimientos de instalación de elementos prefabricados en un entorno virtual seguro. Esto ayuda a mejorar la conciencia y la preparación del personal para enfrentar los desafíos de seguridad en el sitio de construcción.

4.5.4. Producción

4.5.4.1. Planos para la prefabricación

Los proveedores tienen a su alcance información como tamaño, materiales y otras especificaciones de la base de datos en común y pueden elaborar un plan de producción. Si el diseñador o el constructor necesita cambiar uno de los requerimientos del cliente, el fabricante puede ajustar su programación de la producción de acuerdo a los nuevos requerimientos. Además, BIM puede integrarse con sistemas de fabricación, como máquinas de control numérico (CNC) y software de diseño asistido por computadora (CAD/CAM), para automatizar y optimizar el proceso de fabricación. Al utilizar modelos BIM como entrada, los sistemas de fabricación pueden generar automáticamente instrucciones de fabricación detalladas y precisas, lo que garantiza una mayor eficiencia y precisión en la producción.



*Figura 19. Máquinas CNC funcionando con Revit
Tomado de “Running CNC Machines from Revit”, por Agacad (Lituania), 2021.*

El modelo BIM puede servir como base para la programación y secuenciación de la producción en la planta. La información sobre las dimensiones, cantidades y especificaciones de los elementos prefabricados se puede utilizar para planificar la secuencia de fabricación y la asignación de recursos. Hoy en día, existen tecnologías como la impresión 3D que permite acelerar aún más la producción y construcción de elementos prefabricados, ya que estas dos etapas se realizan de manera conjunta. Las impresoras 3D se basan en los parámetros que tiene un modelo 3D, que generalmente está en un formato STL o G-Code. Los modelos 3D hechos con software BIM se tienen que convertir a un archivo compatible con la impresora 3D.

4.5.4.2. Planos de montaje

BIM se puede utilizar para generar planos claros y detallados que guían la instalación precisa de los elementos prefabricados en el sitio de construcción, minimizando errores y retrabajos.

Estos planos de montaje se pueden automatizar en softwares como Revit. Existen Plugins que te permiten desarrollar reglas y parámetros específicos para la

generación automática de los planos de montaje, facilitando el proceso de diseño y documentación. Por ejemplo, plugins como "Dynamo" en Revit permiten definir plantillas y scripts personalizados que automatizan tareas repetitivas y simplifican la generación de los planos de montaje. Estos plugins pueden analizar el modelo BIM, identificar los elementos prefabricados y generar automáticamente los planos de montaje con detalles detallados y precisos. Esta automatización no solo ahorra tiempo, sino que también mejora la consistencia y la precisión en la documentación del montaje de elementos prefabricados.

4.5.5. Logística

4.5.5.1. Planificación de entrega y seguimiento de prefabricados

Utilizando modelos BIM, se pueden planificar las entregas de prefabricados de manera precisa, teniendo en cuenta las dimensiones, cantidades y ubicaciones específicas de los elementos prefabricados en el proyecto. Los modelos BIM pueden integrarse con el cronograma de construcción para coordinar las entregas de prefabricados con las actividades de construcción programadas. Esto garantiza que los prefabricados estén disponibles justo a tiempo para su instalación, evitando retrasos en el proyecto y minimizando el almacenamiento innecesario en el sitio de construcción.

La entrega de los prefabricados también se puede rastrear con tecnologías de seguimiento y geolocalización. Esto proporciona visibilidad sobre el progreso de las entregas y permite realizar ajustes en tiempo real para garantizar la puntualidad de las entregas. Al utilizar BIM junto con sistemas de gestión de transporte, se pueden optimizar las rutas de entrega de los prefabricados para minimizar los tiempos de viaje, reducir los costos de transporte y evitar congestiones de tráfico. Esto ayuda a

garantizar entregas más rápidas y eficientes, manteniendo el flujo de trabajo del proyecto.

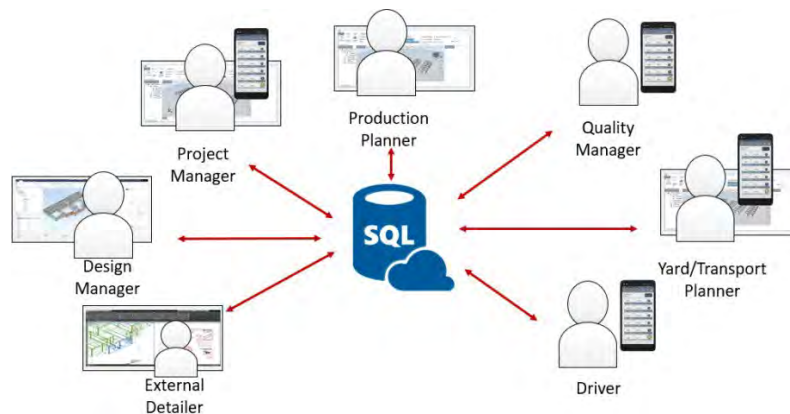


Figura 20. Seguimiento de elementos prefabricados

Tomado de "Tracking Precast Concrete Elements, por Strusoft (Suecia), s.f.

4.5.6. Montaje y construcción

4.5.6.1. Seguimiento de los procesos constructivos

Durante la construcción, el modelo BIM se actualiza continuamente para reflejar el progreso real del proyecto. Los equipos de construcción pueden acceder a este modelo actualizado en tiempo real para entender la evolución del proyecto y tomar decisiones basadas en la información más reciente. Esto facilita la comunicación y colaboración entre los diferentes equipos, ya que todos tienen acceso a la información necesaria para realizar su trabajo de manera efectiva. Además, se puede utilizar realidad aumentada y realidad virtual para visualizar la ubicación de los elementos prefabricados en el lugar de construcción. Esto permite una mejor comprensión del proyecto, ya que los constructores pueden ver como encajan los elementos prefabricados y verificar si se están siguiendo los procedimientos correctamente.

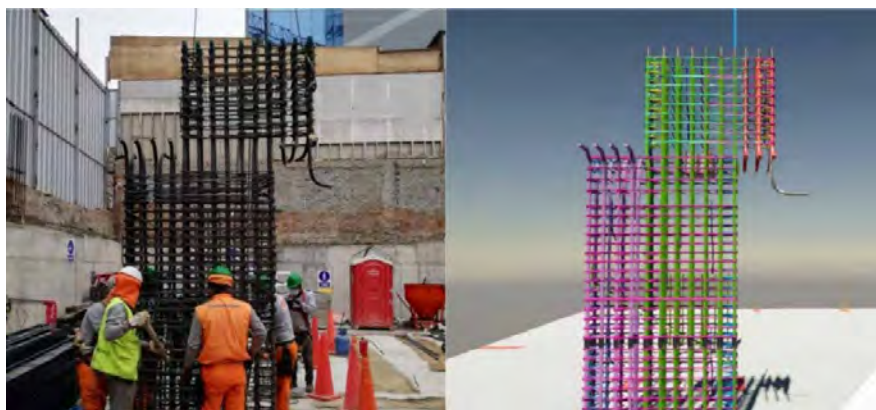


Figura 21. Realidad aumentada de elemento prefabricado.

Tomado de "Acedim Prearmado", por Aceros Arequipa (Perú), s.f.

4.5.6.2. Generación de modelos "As Built"

BIM facilita la generación de planos "As Built" para construcciones con prefabricados al permitir el registro preciso de cambios, la actualización del modelo BIM, la comparación con el diseño original, la generación automatizada de planos y la documentación completa del proyecto final. Esto garantiza que los planos "As Built" reflejen con precisión la construcción real y proporcionan una valiosa herramienta para la gestión y el mantenimiento del edificio a lo largo de su ciclo de vida.

4.5.7. Operación y mantenimiento

4.5.7.1. Nivel de mantenimiento y gestión de los equipos

Los fabricantes pueden insertar chips RFID (identificación por radiofrecuencia) dentro de los prefabricados y conectarlo al entorno común de datos compartidos. De esta manera, se puede saber toda la información de los componentes prefabricados. Si los edificios prefabricados están cercanos a su vida útil esperada, se pueden detectar los elementos más críticos. También, el chip puede contener información sobre las áreas más afectadas en caso de incendio y los bomberos pueden

utilizar la información almacenada en la nube para ver dónde ocurrió el incendio y verificar las rutas de salida seguras.

Estos chips también pueden monitorear el consumo de energía en la estructura y se pueden generar reportes sobre el consumo de energía por sector. El personal encargado de mantenimiento puede detectar las zonas o sectores donde se consume más energía y tomar medidas para resolverlas.



Figura 22. Chip RFID en el armado antes de ser vaciado con concreto.

Tomado de "Construction Industrialization: Research & Development", por Geoffrey Q.P. Shen (China), 2018.

4.5.7.2. Sistema de rendición de cuentas

Los chips RFID contienen información de todo el ciclo de vida de los elementos prefabricados, incluyendo los fabricantes, personal de control de calidad, personal de transporte y personal de instalación. Esto permite tener un sistema de responsabilidad de por vida, ya que en caso suceda una falla estructural, se puede detectar los responsables y el origen del problema.

Capítulo 5: Casos de éxito

5.1. Caso de éxito internacional

En los últimos años, España ha estado avanzando en la adopción de técnicas y tecnologías de construcción industrializada y podría ser considerado como un referente en esta área para otros países, incluyendo Perú. España ha estado adoptando gradualmente la construcción industrializada en diversos proyectos de construcción. Esto ha llevado al desarrollo de experiencia y conocimientos en la implementación de métodos de construcción prefabricados y modularizados. Perú podría aprovechar la experiencia y el conocimiento de España como punto de referencia para su propia implementación de construcción industrializada.

Uno de los casos de éxito en España es el Grupo Avintia. El Grupo Avintia es un grupo industrial líder en el sector constructor e inmobiliario, cuya estructura es la siguiente:



Figura 23. Estructura de Grupo Avintia

Tomado de "Estructura Grupo", por Grupo Avintia (España), s.f.

ÁVIT-A es el sistema de construcción industrializada del grupo Avintia. Este sistema incluye el proceso de diseño y fabricación de los elementos industrializados y también el

ensamblaje de los mismos, utilizando técnicas y soluciones desarrolladas por sus *partners*, conformando de esta manera un ecosistema I+D+i (Investigación + Desarrollo + innovación). Es decir, cada partner aporta su investigación, desarrollo e innovación en las soluciones para lograr mejoras continuas. Además, todos sus *partners* participan a lo largo de la cadena de valor. En total son 17 *partners* y estos se pueden dividir en *Integral Partners*, *Industry Partners* y *Support Partners*. Su socio más importante es Wallex, ya que es la columna vertebral del sistema ÁVIT-A. Wallex es el sistema constructivo industrializado offsite que fabrica la fachada y la estructura del edificio. Además, integra toda la cadena de suministro en el proceso, desde el diseño hasta su montaje en obra.

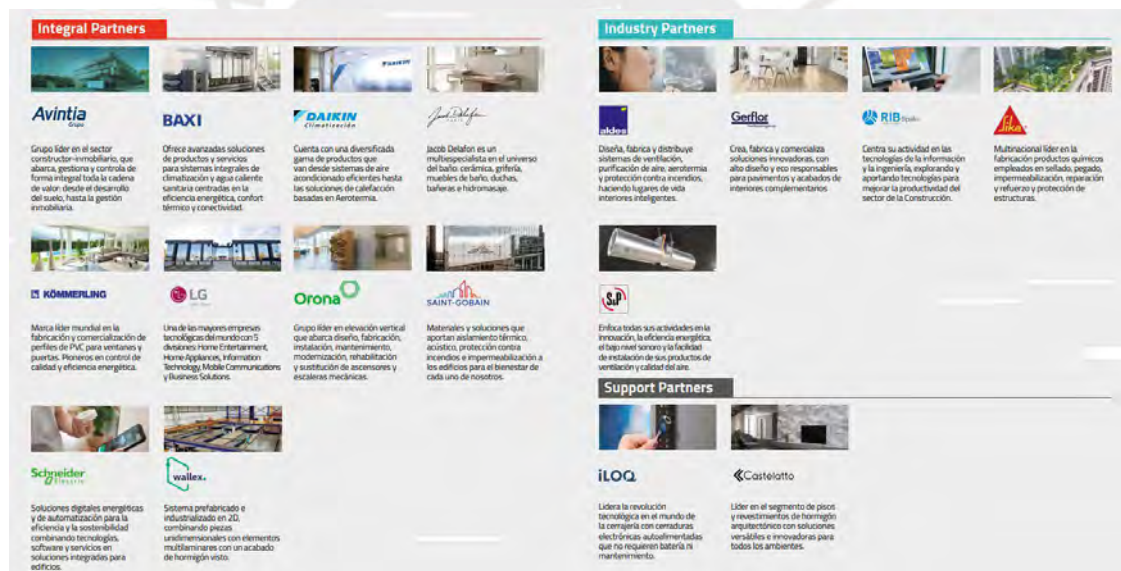


Figura 24. Partners de ÁVIT-A

Tomado de “El primer sistema integral de construcción industrializada”, por Grupo Avintia (España), s.f.

Esta empresa usa la metodología BIM y un entorno común de datos como MTWO Construction Cloud Software para controlar todo lo que está sucediendo en la construcción en tiempo real. De esta manera se trabaja colaborativamente y se minimizan costos operativos y de mantenimiento. Además, se optimizan procesos de producción y se investigan nuevos

materiales y posibles nuevas soluciones para la mejora continua del sistema. Por otro lado, esta empresa también utiliza una “Gestión de relaciones con el cliente” o por sus siglas en inglés CRM (Customer Relationship Management). Este es un sistema propio desarrollado por la empresa que lo utilizan para gestionar y mejorar sus relaciones con los clientes.

Dentro de la cadena de valor de la construcción industrializada desarrollada por ÁVIT-A se pueden identificar cuatro etapas:

1. Definición y realización del producto
2. Fabricación
3. Construcción (transporte y montaje)
4. Operación y mantenimiento



Figura 25. BIM en el grupo ÁVIT-A

Tomado de “III Libro Blanco Industrialización de la Construcción”, por Grupo Avintia (España), 2023.

El flujo de trabajo de esta empresa es el siguiente. Primero, se desarrolla la arquitectura y se crea un modelo BIM normalizado de acuerdo al Plan de ejecución BIM. De esta manera se establecen los parámetros de trabajo común para las áreas de ingeniería de sistemas mecánicos, eléctricos e hidráulicos. Luego, se procede al modelado BIM y se definen criterios de mediciones y codificación del modelo.

La etapa siguiente implica el desarrollo de ingeniería, que abarca el desarrollo del “Panel Wallex”, estrategias de diseño integrado, coordinación digital, ingeniería de detalle y

la creación del listado de materiales. Posteriormente, se aprueba un modelo federado que enlaza modelos de diferentes disciplinas antes de la planificación de la producción.

La planificación de obra utiliza un sistema de “Retroplanning”, cuyo punto de partida es la fecha de montaje en obra. De esta manera, se decide la fecha necesaria para el inicio de la fabricación. Se comprueba el grado de saturación de la planta y se evalúa si se va a poder fabricar todos los elementos a tiempo. La siguiente fase es el lanzamiento de la fabricación, donde se integran procesos de fabricación, montaje y obra a través de la plataforma digital. Esto incluye la configuración del sistema, el pedido de materiales y la planificación de recursos, todo basado en la documentación de ingeniería y las fechas de montaje. Luego, la etapa de fabricación involucra un sistema de control de producción que garantiza la entrega óptima y puntual de paneles de concreto, con control de procesos y máquinas, seguimiento de datos y monitoreo de procesos.

El módulo de stock gestiona el inventario de componentes prefabricados para evitar la saturación del almacén y retrasos. De esta manera, se asegura un flujo de entrega eficiente. Se utiliza tecnología de escaneo de códigos de barras para identificar y rastrear los paneles fabricados.

La etapa de transporte implica la planificación de rutas y la generación de notas de envío, coordinada con la planificación de la obra. Finalmente, el montaje, que es la fase posterior al transporte, marca el final del proceso, y se enfoca en la trazabilidad, la generación de documentación administrativa y el control de gestión.

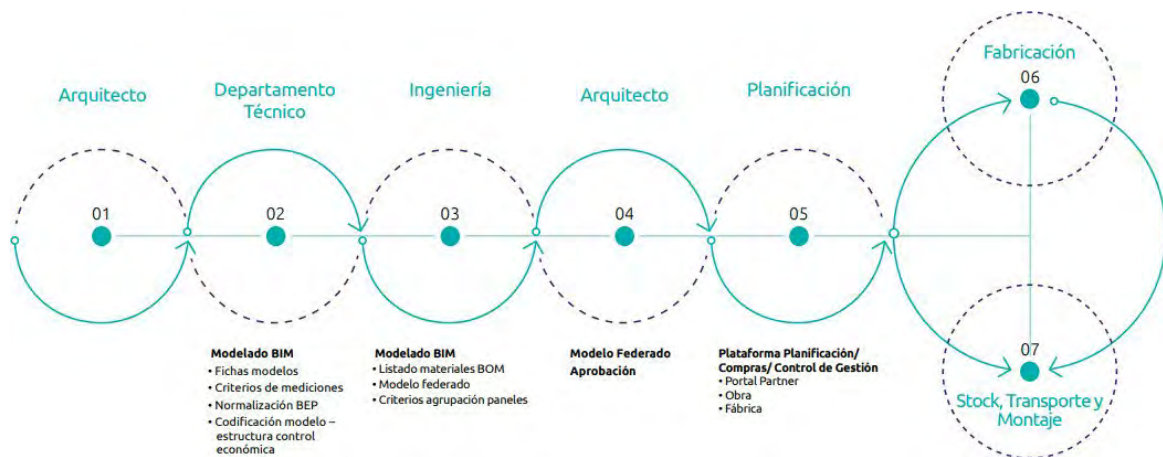


Figura 26. Flujo de trabajo de ÁVIT-A

Tomado de “III Libro Blanco Industrialización de la Construcción”, por Grupo Avintia (España), 2023.

Entre sus proyectos más emblemáticos está el proyecto de 124 viviendas de construcción industrializada ubicado en el municipio de Móstoles, dentro de la Comunidad de Madrid. Este proyecto se realizó durante los años 2019 y 2020. Las viviendas se distribuyen en tres bloques de edificios, dos de 6 pisos y uno de 4 pisos. Los departamentos tienen un área de 60 y 64 m² y cuentan con dos dormitorios, un cuarto de baño completos, trasteros y 1 o 2 garajes. Además, este proyecto cuenta con zonas comunes como piscina comunitaria y un parque infantil.



Figura 27. Arquitectura del proyecto

Tomado de “124 Viviendas construcción industrializada Móstoles”, por Grupo Avintia (España), s.f.



Figura 28. Vista en planta del proyecto

Tomado de “Construcción Industrializada”, por Revista Interempresas (España), 2019.

Uno de los principales beneficios de la construcción industrializada en este proyecto fue reducir el 30% los plazos de ejecución y adelantar la fecha de entrega de la obra, gracias a que la gran mayoría de elementos que componen el edificio se realizaron en fábrica. También es importante resaltar que este fue un proyecto sostenible ya que se redujo el consumo de agua, materias primas, concreto y se evitó la contaminación acústica y se minimizaron las emisiones de CO₂.

Estos edificios industrializados funcionan como un conjunto de partes unidas. “El punto más conflictivo es el encuentro entre los diferentes paneles y este se resuelve mediante el vertido de un mortero y la colocación de armaduras de atado en los puntos más singulares.” (Reto Kommerling, 2022). Es decir, la solución general para hacer que todo el edificio sea sólido es poner muchas piezas separadas juntas de manera que funcionen como una sola. Los paneles transversales son los elementos principales que sostienen todo, los paneles de las paredes laterales los refuerzan y las placas alveolares hacen que todo sea más rígido. Esto hace que el proceso de construcción sea mucho más rápido en comparación con los métodos tradicionales.

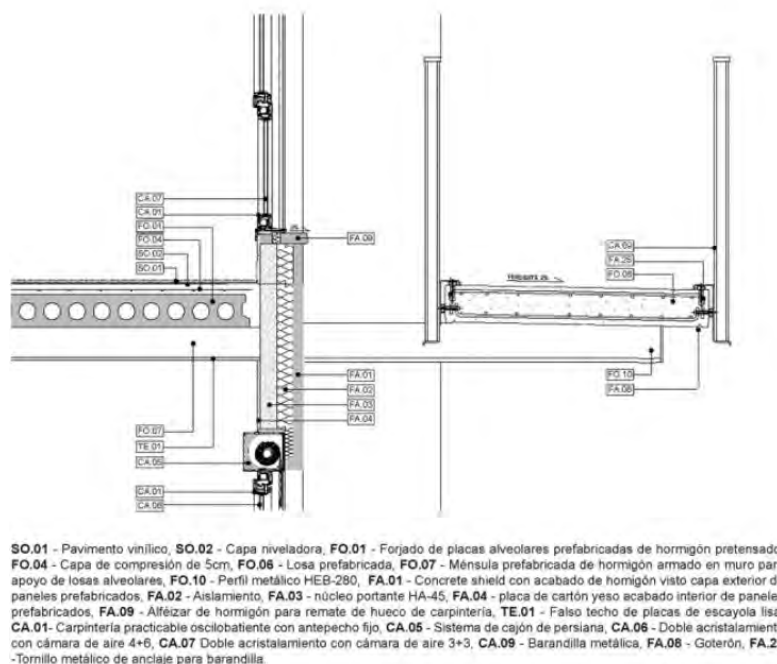


Figura 29. Unión de elementos

Tomado de “Construcción Industrializada”, por Revista Interempresas (España), 2019.

5.2. Caso de éxito nacional

Uno de los casos de éxito de construcción prefabricada utilizando BIM es la empresa TSC innovation. Esta empresa es un referente para otras en el Perú y ha ganado diferentes premios como Tekla Global BIM Awards 2022 y el Tekla BIM Awards 2023 de España y Latinoamérica.

TSC Innovation se fundó en 2011 y es una empresa que trabaja con la metodología de diseño y construcción virtual (VDC) y, además, trabaja colaborativamente con todos los agentes involucrados para satisfacer los objetivos del proyecto y del cliente. Tiene más de 500 proyectos realizados. Ha participado en proyectos como la línea 1 del tren eléctrico de Lima, Aeropuerto de Santiago de Chile, Banco Europeo de Luxemburgo, Mina Quellaveco en Moquegua, Puente Armendariz en Lima, Central Termonuclear Ritter en Francia, etc.

La empresa cuenta con un complejo siderúrgico en Pisco, donde se producen 1 250

000 toneladas métricas anuales de palanquillas. Este complejo siderúrgico tiene tecnología de última generación y está compuesto por una planta de reducción directa, dos plantas de acería, dos plantas de laminación y una planta de acero dimensionado.

También, esta empresa está asociada a “Aceros Arequipa” para ofrecer la solución constructiva de acero dimensionado “ACEDIM”. Se ofrecen tres diferentes tipos de servicio:

- ACEDIM + BIM: Construcción virtual para la gestión del proyecto y fabricación de las diferentes piezas de acero que van a conformar la estructura.
- ACEDIM + BIM + PREARMADO: Corte, doblado y armado de las estructuras de acero en planta. Los elementos prearmados pueden ser pilotes, columnas, vigas, dovelas, pedestales y mallas electrosoldadas.
- ACEDIM + BIM + INSTALADO: Se incluye equipo especializado para la instalación y montaje de los elementos prearmados en obra.

Todo inicia a partir de la información entregada por el cliente. Esta debe incluir: Planos y modelos BIM de estructuras y arquitectura, cronograma de entrega, sectorización y planos de especialidades. A partir de esto, se elaboran los modelos virtuales y se dividen en tres: concreto e insertos, armaduras y especialidades. Se trabaja con modelos a un nivel LOD 400 y se complementan con la realidad aumentada para poder visualizar el correcto ensamblaje en obra y asegurar la calidad del montaje. También es importante resaltar que se cuenta con un proceso de integración hacia atrás. Es decir, el proveedor se integra en el diseño para poder optimizar recursos y tiempos de producción. Además, se mejora la constructibilidad por el uso de BIM al inicio del proyecto, ya que se puede visualizar todos los detalles de manera muy sencilla.

Se detectan tempranamente las interferencias entre especialidades y se reportan a tiempo a través de RFIs (Request for Information). Se trabaja colaborativamente con la

plataforma Trimble Connect, donde se almacena toda la información del proyecto. Luego, se realiza una propuesta de constructibilidad entre diseñador, constructor y proveedor. Para esto se plantea la creación de un modelo que pueda ser construido, utilizando armaduras que sigan una secuencia de construcción que esté en línea con el diseño original. Este proceso debe estar bien coordinado y respaldado con documentación adecuada, que incluye planos detallados y especificaciones para guiar la instalación en el lugar de trabajo.

El siguiente paso es realizar la validación. Para esto, se utilizan las sesiones ICE (Integrated Concurrent Engineering) desde el inicio del proyecto, con el objetivo de facilitar la colaboración y la toma de decisiones eficientes entre todos los agentes involucrados, incluyendo al cliente. Una vez que el cliente valide el proyecto, se procede a realizar el envío a fabricación y prearmado, en caso se solicite.

Posteriormente, los modelos digitales BIM se filtran por elemento estructural y se catalogan los productos en entregables o despachos. Estos despachos están asociados a una máquina de producción de una determinada nave en la planta. El modelo BIM se asocia al sistema de producción de Aceros Arequipa, "Armaplus". Este sistema integra todas las máquinas y equipos en planta para una producción automatizada y optimizada. También se genera una planilla de despiece con todos los elementos.

En los tres servicios que se ofrecen, se envía una Hoja de Control de Avance de Proyecto (HCAP) para hacer un seguimiento y control del progreso de las actividades y tareas que se llevan a cabo. Si el cliente solo solicitó el servicio ACEDIM+BIM, se le compartirá los planos de detalle en Trimble Connect. Por otro lado, si el cliente solicitó cualquiera de los otros dos servicios, se le comparten los modelos virtuales y el proceso de armado en planta a través de la misma plataforma digital.

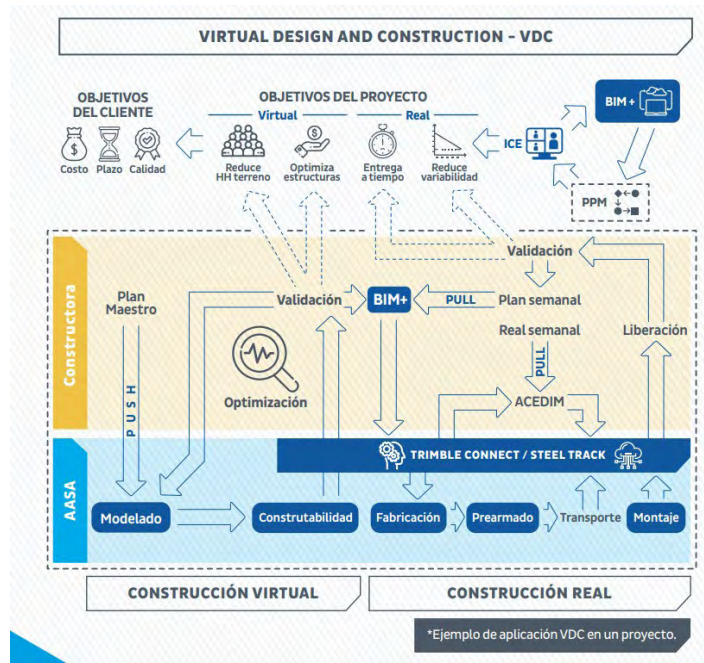


Figura 30. Flujo de trabajo de ACEDIM

Tomado de "ACEDIM Prearmado", por Aceros Arequipa (Perú), s.f.

Steel Track es un sistema que interconecta todas las áreas de trabajo de Aceros Arequipa. Este se basa en un ciclo de confiabilidad para mejorar sus procesos, que se puede dividir en 6 etapas:

1. **Requerimiento:** Se visualizan las métricas en BIM y la revisión de avance consultando el estado del proyecto.
2. **Negociación:** Se generan las alertas de estados de avance y se realizan los análisis de variabilidad por semana.
3. **Definición:** Estimación de recursos. Se realiza el plan semanal de acuerdo al porcentaje de confiabilidad.
4. **Seguimiento y ejecución:** Se puede visualizar el estado del despacho y la ubicación de transporte por servicio GPS.
5. **Corrección:** Identificación de origen de errores en flujo de atención, análisis de incidencias según objetivos.

6. Liberación: Consulta del avance del instalado y valorización.

Si bien Steel Track es un sistema que contiene toda la información del proyecto, esta no se comparte con el cliente. Lo que se comparte es la plataforma “Steel Track-Cliente”. Esta plataforma permite al cliente la visualización del proyecto en Trimble Connect, donde se puede filtrar por atributos como elementos, etapa, nivel, sector, etc. También se le permite la visualización del estado de despachos y dashboards que contienen el porcentaje de cumplimiento de actividades, la curva S y el detalle de elementos entregados cada semana. Adicionalmente, también se incluye una sección de consultas donde los ingenieros pueden añadir sus observaciones para que sean resueltas.



Figura 31. Ciclo de la confiabilidad de Steel Track

Tomado de “ACEDIM Prearmado”, por Aceros Arequipa (Perú), s.f.

El servicio ACEDIM Prearmado Columnas + Vigas es el servicio más eficiente en términos de horarios hombre y rendimiento. Esto se debe a que es el servicio más industrializado que se ofrece. La diferencia entre este servicio y el método constructivo tradicional es bastante grande. Los resultados de Aceros Arequipa con cuatro métodos constructivos diferentes se puede ver a continuación:

Método	% Utilización Horas Hombre	Ahorro Estimado	Rendimiento (KG/HH)
ACEDIM Prearmado Columnas + Vigas	40%	60%	70 - 80
ACEDIM Prearmado Columnas	60%	40%	45 - 55
ACEDIM	85%	15%	30 - 35
Tradicional	100%	0%	20 - 25

Figura 32. Rendimiento por método de construcción

Tomado de "ACEDIM Prearmado", por Aceros Arequipa (Perú), s.f.

En el caso de los prefabricados de concreto armado, hay una gestión adicional porque se tiene que tomar en cuenta los plazos para el curado, la entrega a la planta de hormigonado y coordinar todo lo relacionado a los pases de las tuberías. A diferencia de los prearmados, en el diseño de los prefabricados se tiene que tomar en cuenta la modulación base y el diseño de juntas.

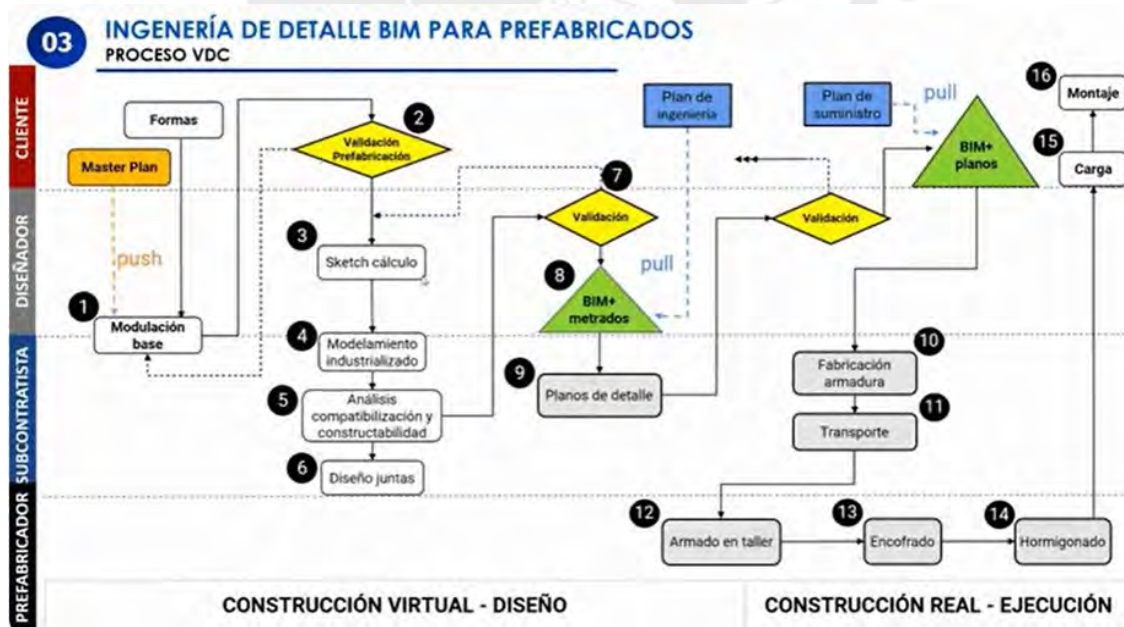


Figura 33. Proceso VDC para los prefabricados

Tomado de "Ingeniería de detalle BIM para prefabricados de concreto", por Aceros Arequipa (Perú), 2022.

En la modulación base, se decide como los elementos prefabricados van a ser

producidos. Los elementos prefabricados se producen en tamaños y dimensiones estándar que se pueden ensamblar fácilmente de acuerdo con un conjunto predefinido de módulos o medidas base. Por ejemplo, en la imagen vista a continuación, se tiene a las losas y a los pedestales como un solo bloque, los cuales van a ser unidos al siguiente bloque mediante juntas de empalme.

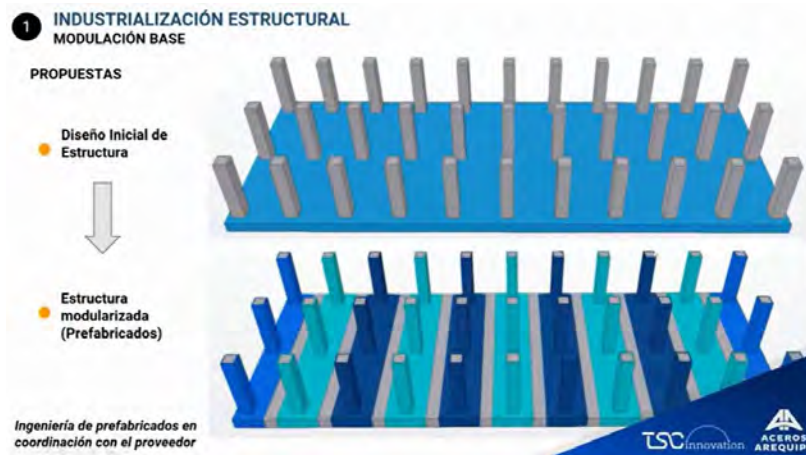


Figura 34. Modulación base de los prefabricados

Tomado de “Ingeniería de detalle BIM para prefabricados de concreto”, por Aceros Arequipa (Perú), 2022.

El diseño de juntas en elementos prefabricados es un aspecto crítico en la construcción prefabricada, ya que afecta la integridad estructural, la estanqueidad, la durabilidad y la apariencia del proyecto. Además, es importante resaltar que todos los elementos prefabricados deben tener su gancho de izaje.

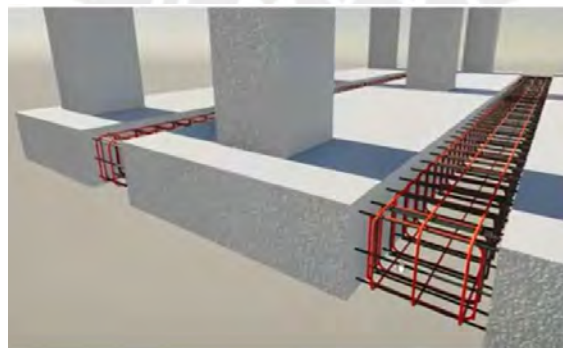


Figura 35. Junta 1 para prefabricados

Tomado de “Ingeniería de detalle BIM para prefabricados de concreto”, por Aceros Arequipa (Perú), 2022.

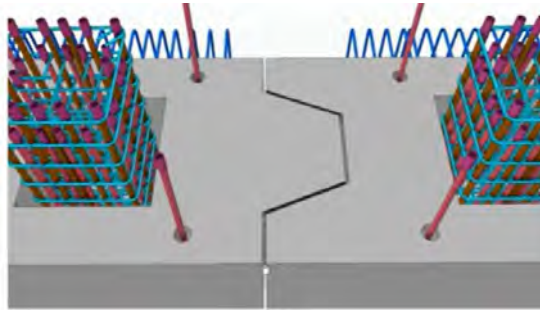


Figura 36. Junta 2 para prefabricados

Tomado de “Ingeniería de detalle BIM para prefabricados de concreto”, por Aceros Arequipa (Perú), 2022.



Figura 37. Ganchos de izaje

Tomado de “Ingeniería de detalle BIM para prefabricados de concreto”, por Aceros Arequipa (Perú), 2022.

Capítulo 6: Entrevista a ingenieros con experiencia en BIM y prefabricados

6.1. Diseño de la investigación

6.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación va a ser cualitativa. Se eligió este tipo de investigación porque el tema es complejo, relativamente nuevo y hay pocas empresas en el Perú que apliquen BIM en construcción industrializada de una manera muy avanzada. Sin embargo, de todas maneras, se va a obtener una comprensión profunda y detallada de las experiencias y perspectivas de los ingenieros respecto al tema de investigación.

Se va a entrevistar a dos grupos de ingenieros. El primer grupo son ingenieros que han utilizado prefabricados en construcción sin BIM o con un nivel de capacidad PRE-BIM. El segundo grupo son ingenieros que han aplicado BIM en construcciones con prefabricados, con un nivel de capacidad mínimo 1. De esta manera se busca tener ambas perspectivas y poder realizar una comparación.

6.1.2. Población y muestra

Debido a que el estudio se centra en estudiar la aplicación de BIM en prefabricados en el Perú, se entrevistará a ingenieros que trabajan en Perú. El nombre de los entrevistados se va a mantener en confidencialidad, pero se van a describir los perfiles de los mismos y también se van a establecer los requisitos para pertenecer al primer y segundo grupo de entrevistados.

Requisitos para pertenecer al primer grupo:

- Nivel de capacidad BIM de la empresa: PRE-BIM
- Años de experiencia: mínimo 8 años
- Tener experiencia trabajando con prefabricados

Requisitos para pertenecer al segundo grupo:

- Nivel de capacidad BIM de la empresa: mínimo nivel 1
- Años de experiencia: mínimo 8 años
- Haber aplicado BIM en construcciones con prefabricados

Tabla 8. Perfil de los entrevistados del primer grupo

Entrevistado	Formación	Experiencia profesional	Detalles adicionales	Años de experiencia
1	Ingeniera civil con maestría en gestión y desarrollo inmobiliario y diplomado de alta especialización en construction management	Experiencia en Gestión, Administración de Proyectos Inmobiliarios y Ejecución de Obras en: Centros Empresariales y Edificios Multi Familiares. En las fases de Anteproyecto, Proyecto, Ejecución y Control de Obras hasta la entrega al Cliente final.	Conocimiento en Gestión de Proyectos en las áreas del PMBOK.	17
2	Ingeniero Civil con Master en Dirección de Empresas Constructoras e Inmobiliarias, Master en Liderazgo y Master of Business Administration (MBA)	Gerente de Proyectos / Gestión y Desarrollo de proyectos inmobiliarios y de construcción / MBA / MDI	Orientado a garantizar la generación de valor para todos los grupos de interés, a través del cumplimiento de los objetivos comerciales, la entrega a tiempo y con un óptimo control de costos.	25
3	Ingeniero Civil colegiado especialista en estructuras	Gestiona todo el proceso de diseño estructural y ha diseñado elementos prefabricados	Especialista Proyectos de Viviendas de Interés Social	8
4	Ingeniero Civil con experiencia en prefabricados	Jefe comercial en una empresa de prefabricados	Se encarga de cerrar contratos comerciales estratégicos con clientes clave. Realiza visitas frecuentes a obras para ofrecer soluciones personalizadas en caso se requiera	8

Nota. Elaboración propia

Tabla 9. Perfil de los entrevistados del segundo grupo.

Entrevistado	Formación	Experiencia profesional	Detalles adicionales	Años de experiencia
5	Ingeniero Civil colegiado	Experiencia en el área de proyectos de edificaciones, pavimentación y saneamiento	Capaz de implementar estrategias de gestión de proyectos basadas en los lineamientos del PMI, así como herramientas de control de proyectos según filosofía Lean Construction.	10
6	Ingeniero civil colegiado con máster en Project Management y doble titulación internacional, bilingüe.	Experiencia en obras de edificaciones laborando en empresas constructoras nacionales y multinacionales.	Desarrollo planeamiento, programación y control de obras bajo la filosofía Lean Construction, uso herramientas del Last Planner System con enfoque bajo la guía del PMBOK.	10
7	Ingeniero Civil con estudios de postgrado en ventas, administración y gerencia de proyectos.	Experiencia laboral en cargos directivos. Gerente de unidad de negocios - Productos Industriales de Concreto. Gerente de Proyectos donde era responsable de la planificación (comercial y técnica), ejecución y control de todos los proyectos de la línea de prefabricados para infraestructura	Conocimientos técnicos en las áreas de concreto y estructuras prefabricadas de concreto. Experto comercial de materiales de construcción.	20
8	Ingeniero Civil colegiado y con certificación en VDC	Experiencia en construcción de obras civiles y edificaciones nacionales e internacionales, experto en optimización de procesos de construcción virtual y la utilización de modelos BIM desarrolladas para fabricación y montaje industrializado.	Especialista en automatización de software de ingeniería con más de 20 años de experiencia en constructibilidad estructural. Presente como expositor en los principales eventos nacionales e internacionales referentes a tecnología BIM y gestión VDC.	20

Nota. Elaboración propia

6.1.3. Recopilación de datos

Las entrevistas se dieron a través de videoconferencias. La duración aproximada de las entrevistas es de 30 minutos y se abordaron siete preguntas. Estas siete preguntas representan siete métricas y van a servir para comparar los dos grupos. Las entrevistas fueron grabadas y luego transcritas para facilitar el análisis posterior.

A continuación, se van a detallar las preguntas para cada grupo de ingenieros.

Grupo 1: Ingenieros expertos en utilizar prefabricados en la construcción sin BIM

Métrica 1: Percepción general sobre los prefabricados

¿En qué tipo de proyectos recomienda utilizar prefabricados y en cuáles no?

Métrica 2: Tiempo

¿Ha experimentado retrasos o problemas de coordinación en proyectos prefabricados, y en caso afirmativo, cuáles fueron las principales causas?

Métrica 3: Costos

¿Ha observado una reducción en los costos totales de construcción al utilizar elementos prefabricados? ¿Han existido sobrecostos por la mala aplicación de estos elementos?

Métrica 4: Calidad

¿Cómo se ha reflejado la calidad en proyectos de construcción prefabricada en comparación con otros proyectos donde se construyó tradicionalmente?

Métrica 5: Productividad

¿Cuáles han sido los principales desafíos o problemas en términos de productividad que ha enfrentado al trabajar en proyectos de construcción que involucran el uso de elementos prefabricados?

Métrica 6: Seguridad

¿Ha habido preocupaciones significativas de seguridad en proyectos de construcción prefabricada?

Métrica 7: Desafíos y limitaciones

¿Puede describir los desafíos principales que ha enfrentado al trabajar en proyectos que utilizan prefabricados?

Grupo 2: Ingenieros expertos aplicando BIM en construcciones que utilizan prefabricados

Métrica 1: Conciencia y disposición hacia BIM

¿Cuál es el nivel de capacidad BIM en el que se encuentra su empresa?

Métrica 2: Tiempo

¿Cuánto tiempo se ha reducido en comparación con proyectos de construcción tradicionales al utilizar BIM en combinación con elementos prefabricados?

Métrica 3: Costos

¿Puede proporcionar ejemplos de cómo BIM ha contribuido a reducir costos en proyectos de prefabricados?

Métrica 4: Calidad

¿Cómo ha mejorado la calidad de la construcción al usar BIM y elementos prefabricados?

¿Se han reducido los errores y defectos en la obra?

Métrica 5: Productividad

¿Cómo ha cambiado la productividad de los trabajadores de la construcción al utilizar BIM y elementos prefabricados? ¿Se necesitan menos trabajadores o se realizan tareas más eficientemente?

Métrica 6: Seguridad

¿Cómo afecta BIM a la seguridad en el sitio de construcción en proyectos de prefabricados?

Métrica 7: Desafíos y limitaciones

¿Qué desafíos y limitaciones ha percibido al implementar BIM en construcciones prefabricadas?

6.1.4. Procedimiento para el análisis de datos

Después de realizar las ocho entrevistas, se transcribieron las mismas para facilitar el análisis posterior. Los datos van a ser meramente cualitativos, ya que lo que se busca es conocer las percepciones de los ingenieros sobre la aplicación de BIM en prefabricados.

Con respecto a la primera métrica, se quiere ver si el primer grupo ha tenido limitaciones en utilizar prefabricados en algún tipo de proyecto. Por otro lado, la primera métrica con relación al grupo 2 busca identificar el nivel BIM en el que se encuentra la empresa en la que están laborando los entrevistados.

Con respecto a la métrica 2 hasta la 6, se va a examinar los desafíos que enfrentaron los ingenieros del primer grupo y los aspectos positivos que los ingenieros del segundo grupo experimentaron al utilizar BIM. Todo esto en relación al tiempo, costo, calidad, productividad y seguridad de un proyecto de construcción con prefabricados. Para esto, se van a elaborar tablas con respuestas resumidas de los entrevistados.

Por último, la pregunta 7 nos ayudará a identificar los desafíos y limitaciones que perciben los ingenieros del grupo 1 en proyectos que utilizan prefabricados. Se va a analizar si esos desafíos y limitaciones pueden ser resueltos con la metodología BIM o si en realidad esos problemas se deben a otras variables. Además, las respuestas de la séptima pregunta del grupo 2 va a ser útil para ver los problemas que tiene la implementación de BIM en las empresas y en los proyectos de construcción.

6.1.5. Limitaciones

- Tamaño de la muestra: Entrevistar a solo cuatro ingenieros por cada grupo puede ser considerado un número pequeño y podría limitar la generalización de los resultados. Los hallazgos pueden no representar completamente la

diversidad de perspectivas y experiencias dentro de esos grupos más amplios.

- Generalización: Los hallazgos pueden aplicarse solo a los individuos entrevistados y no todo a los ingenieros de esa categoría.
- Posibles sesgos: Las opiniones de los entrevistados pueden no representar fielmente a todos los ingenieros en sus respectivos grupos. Además, pueden existir ciertos sesgos en las respuestas de los participantes, como los siguientes:
 - Sesgo de confirmación: Los ingenieros que se dedican a BIM o donde sus empresas han invertido mucho dinero en la implementación de BIM, pueden verse inclinados a dar una imagen de eficacia de la empresa y no exponer los problemas reales que enfrentaron.
 - Sesgo de experiencia limitada: Los ingenieros que no han utilizado BIM a gran escala pueden mostrar cierto escepticismo o resistencia al cambio.
 - Sesgo de percepción: Las percepciones subjetivas sobre proyectos pasados puede influenciar en sus respuestas. Es más, los ingenieros que trabajaron en un mismo proyecto pueden tener diferentes razones por la cual un proyecto fue éxito o causas por la cual un proyecto fracasó.
 - Sesgo de asociación: Los ingenieros pueden asociar ciertos términos o conceptos con ideas preconcebidas, lo que podría influir en cómo interpretan las preguntas y responden.
- Falta de información cuantitativa: El estudio se basa en percepciones de los ingenieros con respecto a las métricas estudiadas. Sin embargo, el tener datos concretos de empresas sería beneficioso para enriquecer el estudio.
- Dificultad al comparar grupos: La diferencia de perfiles entre los entrevistados y la experiencia y los proyectos donde han trabajado puede ser un factor que

dificulte la comparación.

- Mercado muy limitado: Si bien es cierto BIM se está haciendo cada vez más presente en el Perú, su uso aún es limitado y, por lo tanto, solo ciertas empresas tienen un nivel adecuado para el estudio.

6.2. Análisis de datos de las entrevistas

- **Métrica 1: Nivel BIM y percepción general sobre prefabricados**

Tabla 10. Percepción general sobre los prefabricados - Grupo 1

Métrica 1: Percepción general sobre los prefabricados							
ENTREVISTADO	PREFABRICADO QUE MAS HA USADO	Recomienda usarlo			No recomienda usarlo		
		Techos que se repiten	Proyectos grandes	Si hay torre grúa	Proyectos pequeños	Techos con mucha congestión de tuberías	Si el centro de abastecimiento del prefabricado es muy lejano
1	PRELOSAS		X		X	X	
2	VIGUETAS PRETENSADAS	X			X	X	
3	VIGUETAS PRETENSADAS	X					X
4	PRELOSAS		X	X	X		

Nota. Elaboración propia

De los cuatro entrevistados del primer grupo, se concluye que los prefabricados más usados por los entrevistados son las prelosas y las viguetas pretensadas. Todos los entrevistados indicaron que es recomendable usar prefabricados en techos que se repiten o en proyectos grandes. El entrevistado 4 indicó que era muy importante que se tenga una torre grúa si es que se van a usar prefabricados. Todas estas respuestas están relacionadas, pues en los proyectos grandes de edificios multifamiliares y corporativos, los elementos estructurales a partir del primer piso generalmente se repiten y se utiliza torre grúa para cargar los elementos prefabricados, ya que una persona no puede cargar tal peso.

Los dos primeros entrevistados indicaron que no recomiendan usar prelosas ni viguetas pretensadas en techos con mucha congestión de tuberías porque generalmente hay interferencias entre las instalaciones y los prefabricados, lo cual genera que se tenga que picar el mismo. Asimismo, el tercer entrevistado manifestó que no recomienda usar prefabricados cuando el centro de abastecimiento está muy alejado, ya que si hace el comparativo con el método tradicional, tal vez convenga el método tradicional si el costo del transporte y la logística es muy caro.

Cabe resaltar que la percepción que tienen los entrevistados respecto a los prefabricados depende en gran medida de los prefabricados que más usan. Por lo tanto, sus respuestas sobre las siguientes métricas van a estar orientadas a ese tipo específico de prefabricados. Por ejemplo, las columnas y vigas prefabricadas tienen más limitaciones en diseño y flexibilidad y son difíciles de transportar, por lo que los desafíos con relación a estos prefabricados serían otros. Generalmente, en Perú es más común el uso de acero dimensionado para las vigas y columnas como es el caso del servicio “ACEDIM” de la empresa “Aceros Arequipa”.

Tabla 11. Nivel y dimensión BIM - Grupo 2

Métrica 1: Nivel y dimensión BIM		
ENTREVISTADO	NIVEL	DIMENSIÓN
5	2	3D
6	3	7D
7	2	3D
8	3	7D

Nota. Elaboración propia

El quinto entrevistado trabaja en una empresa que se encuentra en el nivel 1 y en una dimensión 3D intermedio queriendo llegar a 4D. En su empresa, ha trabajado con un equipo BIM, pero todas las partes trabajan en su propio modelo 3D y se compartían los modelos en un mismo formato, pero no existía un modelo único integrado. Además, el ingeniero comentó que una vez intentaron aumentar el nivel BIM de su empresa, contratando a 27 modeladores BIM para un proyecto, pero no pudieron seguirle el ritmo a la construcción.

El sexto entrevistado actualmente está trabajando en una empresa que ha construido varios hospitales. Esta empresa se encuentra en un nivel 3 y en una dimensión 7D debido a que todo se centraliza en el modelo y se ha llegado hasta el detalle de mantenimiento y operación de los equipos.

La empresa donde trabaja el séptimo entrevistado está en un nivel 2 y en una dimensión 3D. Esta es una empresa líder en concreto premezclado pero que también ofrece elementos prefabricados. Los elementos prefabricados los tiene estandarizados y estos se encuentran en una biblioteca de objetos BIM de la propia empresa.

El octavo entrevistado es el fundador de una empresa que ha ganado varios premios relacionados con la metodología BIM. Su empresa se encuentra en un nivel 3 y puede llegar hasta una dimensión 7D. Sin embargo, el ingeniero indica que esto depende del nivel que requiere el cliente, pero ellos tienen la capacidad para llegar hasta 7D. Esta empresa de ingeniería trabaja con la metodología de diseño y construcción virtual (VDC) y trabaja colaborativamente con todos los agentes involucrados. Realiza modelado de múltiples disciplinas y participa en la compatibilización del proyecto antes y durante la construcción, liderando sesiones de ingeniería concurrentes. Además, ofrece dashboards en línea personalizados para el seguimiento y control del proyecto, junto con reportes detallados de los elementos modelados.

- **Métrica 2: Tiempo**

Tabla 12. Tiempo - Grupo 1

Métrica 2: TIEMPO	
GRUPO 1	
ENTREVISTADO	Causa de retraso
1	Pequeño retraso por picado de losa debido a una mala coordinación
2	Retrasos por no poner las ordenes de compra a tiempo
3	Retrasos en el suministro del prefabricado o porque no vino completo
4	Retrasos por fenemos naturales o paralización de la carretera. Los retrasos generalmente son en obra

Nota. Elaboración propia

Las causas de retraso que indicaron los entrevistados del grupo 1 se pueden resumir en retrasos por una mala coordinación y por una planificación inadecuada. El retraso por picado de losa se pudo haber evitado si es que la prelosa hubiera tenido una buena compatibilización. El retraso por no poner las órdenes de compra a tiempo se puede asociar con una deficiente planificación y programación del proyecto. El retraso en el suministro del prefabricado o porque no vinieron la cantidad de viguetas pretensadas necesarias para la ejecución del proyecto, se puede asociar con una falta de colaboración y comunicación entre la empresa de prefabricados y el constructor o también se puede asociar con una falta de planificación y programación, ya que el constructor pudo haber estimado una cantidad de viguetas prefabricadas y al final era otra cantidad, ya que el requerimiento de la obra pudo haber cambiado. Por último, el cuarto entrevistado, que trabaja en una empresa de prefabricados, manifestó que rara vez tenían retrasos y que generalmente los retrasos eran

obra. Sin embargo, mencionó que ha tenido retrasos por paralización de carretera y por fenómenos naturales, pero son casos que rara vez pasan.

Todos estos retrasos que indicaron los entrevistados del grupo 1 se pudieron haber evitado si se hacía uso de la metodología BIM, ya que BIM mejora la planificación y gestión del proyecto en general. El uso de BIM podría haber evitado la situación de la falta de pases en una prelosa o la falta de viguetas pretensadas necesarias en el proyecto, al proporcionar un diseño preciso y coordinado. En el proceso de diseño, BIM permite modelar todos los componentes del prefabricado, incluyendo los refuerzos y los pases necesarios, con detalles completos. Esto incluye la verificación de que las piezas prefabricadas se ajusten correctamente al diseño y cumplan con los requisitos. Si se detectan problemas en el modelo, se pueden abordar antes de que se inicie la fabricación y la entrega, lo que reduce la probabilidad de piezas incompletas o incorrectas.

Con respecto al retraso de órdenes de compra, BIM puede haber evitado este retraso, ya que permite la visualización y simulación detallada de la construcción. Los equipos de gestión y adquisiciones pueden utilizar estos modelos para comprender mejor los plazos y los requerimientos de materiales, lo que puede facilitar la toma de decisiones en cuanto a las órdenes de compra. Además, BIM promueve la colaboración y la comunicación entre los diferentes equipos involucrados en el proyecto. Esto incluye a los equipos de diseño, construcción y adquisiciones. Una comunicación efectiva puede asegurar que todos estén al tanto de las necesidades de compra y que se tomen medidas a tiempo.

Adicionalmente, los retrasos por paralización de la carretera se pudieron haber evitado si se usaba BIM, ya que este te permite identificar posibles problemas logísticos y de transporte antes de que ocurran en la realidad.

Tabla 13. Tiempo - Grupo 2

Métrica 2: TIEMPO	
GRUPO 2	
ENTREVISTADO	¿Cuanto tiempo se ha reducido con BIM?
5	Reducción 30-35% procesos operativos
6	Participo de la construcción de un hospital sin BIM y otro con BIM y pudo notar la diferencia de velocidad de construcción
7	Reducción 40% horas hombre en oficina
8	Reducción 30% para hacer ingeniería y 20-30% casco estructural

Nota. Elaboración propia

Por otro lado, los entrevistados del grupo 2, indicaron que efectivamente BIM tenía un impacto significativo en la velocidad de la construcción, sobre todo en la optimización del trabajo de ingeniería. Algunos de los entrevistados indicaron cifras con respecto a la contribución de BIM en la reducción de tiempos de entrega del proyecto. Se puede concluir que BIM contribuye más que todo a optimizar el trabajo de ingeniería y a evitar retrabajos. Las cifras son significativas y también un ahorro de tiempo, significa un ahorro de dinero.

El quinto entrevistado indicó que en un proyecto utilizó un software de tecnología de información aplicado a la construcción, el cual permite gestionar la obra de una forma más colaborativa y optimizar ciertos procesos. El ahorro de tiempo fue de 30-35% con relación a toda la operación que se tenía que hacer. Estas operaciones incluían comunicación con stakeholders, generación de documentación y actualizaciones y envío de información a otra área.

El sexto entrevistado indicó que la construcción de un hospital con BIM es mucho más rápido y más sencillo que la construcción del mismo hospital sin el uso de BIM. Esto se debe principalmente a que BIM hace que lo complejo se vuelva más simple, ya que mejora la comprensión del proyecto y mejora la comunicación y coordinación entre todos los agentes involucrados.

El séptimo entrevistado manifestó que se reduce 40% de horas hombre en oficina técnica. El entrevistado indicó que antes para la lectura de un plano y modulado se tomaban alrededor de 14 horas y ahora con el uso de BIM se toman entre 9 a 10 horas. Esto se debe a que los modelos tridimensionales permiten a los profesionales de construcción visualizar de manera más intuitiva cómo se verá el proyecto.

Por último, el octavo entrevistado indicó que había una reducción de 30% para entregar el expediente técnico y un 20-30% para hacer el casco estructural si solamente se utilizaba prefabricados en todo el edificio. Sin embargo, el ingeniero recalcó que BIM no generaba el ahorro de tiempo en la construcción, sino el uso de los prefabricados. BIM solo genera un ahorro de tiempo en la planificación de la construcción y en el ahorro de tiempo en ingeniería.

A manera de conclusión, se puede decir que la utilización de BIM en proyectos de prefabricados si ahorra tiempo significativamente, sobre todo en la etapa de diseño y planificación. Sin embargo, en la etapa de construcción los ingenieros no perciben tanto beneficio. Los problemas que indicaron los entrevistados del grupo 1 son causados principalmente por una mala planificación y coordinación, lo cual ha llevado a un diseño inadecuado o incompleto. Si es que se utiliza BIM desde la etapa de diseño y planificación, estos problemas se pueden evitar.

- **Métrica 3: Costos**

Tabla 14. Costos - Grupo 1

Métrica 3: Costos								
ENTREVISTADO	Grupo 1							
	Ahorro de costos					Sobrecostos		
	Partida de tarrajeo	Mano de obra	Tiempo	Productividad	Reducción de accidentes	No	Picado de losa	Vaciar in situ una vigueta porque faltaba una
1	X	X	X	X			X	
2		X	X	X	X	X		
3	X	X	X	X				X
4	X	X	X	X			X	

Nota. Elaboración propia

Los entrevistados del grupo 1 señalaron que los prefabricados significan un ahorro de costos porque se acelera la construcción, se mejora el rendimiento y se requiere menos mano de obra para la instalación de los prefabricados. Adicionalmente, los entrevistados 1,3 y 4 indicaron que se ahorra en partida de tarrajeo si es que se utiliza prelosas. Por otro lado, el entrevistado 2 señaló adicionalmente que se reducen la probabilidad de accidentes en obra, ya que este se mide en función de la cantidad de horas hombre. Y, al reducir accidentes, se reducen costos también, ya que si es un accidente muy grave se puede llegar incluso a paralizar la obra.

En cuanto a los sobrecostos, si se utilizan viguetas pretensadas y no llegan la cantidad correcta a obra o una de ellas se fisura, mandar a fabricar una sola unidad no sale a cuenta y se desperdicia tiempo. Por ese motivo, en esos casos optan por realizar un vaciado in situ y eso representa un sobrecosto y retraso de tiempo. En el caso de las prelosas, el sobrecosto es principalmente por no tener los pases necesarios para las instalaciones. Esto se puede resolver en obra, pero es una partida adicional que no está contemplada inicialmente, lo cual retrasa el

proyecto y por lo tanto genera más costos. Esto no es un retraso significativo si es que solo es una prelosa sin los pases necesarios, pero si es que todo el edificio utiliza prelosas y tiene muchas instalaciones, como es el caso de un hospital, este si puede ser un retraso significativo y requerir de mayor ingeniería para ubicar los pases.

Tabla 15. Costos - Grupo 2

Métrica 3: Costos				
Grupo 2				
ENTREVISTADO	Ahorro de costos			
	Reducción de tiempo	Evitas retrabajos	Ahorro en temas de operación	Reducción de mano de obra
5	Optimización de logística al seguir un ritmo de trabajo eficiente	Tienes ubicado los pases de la prelosa	Se tiene un registro de los prefabricados	-
6	Optimización de la logística al disminuir los inventarios en obra	-	-	Mano de obra in situ
7	Menos horas hombre en oficina técnica y generación automática de planos	-	-	-
8	Tiempo de ingeniería	Reducción de errores	-	Mano de obra ingeniería

Nota. Elaboración propia

Las respuestas de los entrevistados se pueden resumir en que BIM genera un ahorro de costos en la construcción porque se reduce el tiempo, se evitan los retrabajos, se ahorra en temas de operación y se reduce la mano de obra.

La reducción de tiempo que indicaron el quinto y sexto entrevistado se debe a la optimización de la logística, ya que con BIM puede combinarse con el enfoque “*just in time*” para que el prefabricado llegue en el momento justo y de esta manera se tiene un ritmo de trabajo más eficiente y se reduce el espacio de almacenaje en obra para los prefabricados. Por otro lado, los otros dos ingenieros señalaron que el ahorro de tiempo se debe principalmente a las horas hombre en oficina técnica y a la generación automática de planos.

La razón por la cual el quinto y sexto entrevistado asocian la reducción de tiempo con la logística y el séptimo y octavo entrevistado lo relacionan con las horas hombre en oficina es porque los primeros trabajan en obra y los otros dos trabajan en empresas que desarrollan prefabricados y, por ende, su enfoque va a estar relacionado al desarrollo de la ingeniería.

Adicionalmente, se tienen ahorro en costos por la reducción de errores en los planos de detalle y por eliminar los conflictos entre especialidades, lo cual puede evitar que se piquen las losas para ubicar los pases. Además, también se tiene un ahorro por tener un registro del prefabricado ya que se sabe dónde está ubicado, cuando fue instalado y toda la información relacionada a este prefabricado puede estar presente en un entorno común de datos. Esto permite que se ahorren procesos relacionados a procura, gestión de proyectos y gestión de la calidad.

Por último, el ahorro de costos también se ve influido por el ahorro de mano de obra. El entrevistado 6 señaló que el haber utilizado la modelización del acero en BIM para su fabricación y posterior instalación fue vital para el ahorro de mano de obra. El entrevistado 8 lo lleva más por el lado del desarrollo de la ingeniería, ya que BIM permite un mejor entendimiento de la ingeniería y por ello, se reducen los errores y se requieren menos recursos técnicos para poder interpretar la ingeniería.

- **Métrica 4: Calidad**

Tabla 16. Calidad - Grupo 1

Métrica 4	
ENTREVISTADO	CALIDAD
1	Se tiene que tener mucho control y seguimiento en los prefabricados para garantizar la calidad
2	La calidad del prefabricado es superior al tradicional. Además, se tiene menos puntales y espacios mas limpios lo que conlleva a mayor orden
3	La calidad del prefabricado es superior al tradicional porque hay mas control de calidad en una fábrica.
4	Es necesario tener una resolución ministerial de los prefabricados para asegurar la calidad. Los problemas de calidad ocurren cuando hay interferencias con las instalaciones.

Nota. Elaboración propia

Según los entrevistados, para garantizar la calidad en proyectos con prefabricados sin BIM es necesario tener un correcto control y seguimiento, un buen control de calidad en fábrica y una resolución ministerial. Los entrevistados 2 y 3 coincidieron en que la calidad del prefabricado es mejor que la calidad de un elemento vaciado in situ porque los componentes se fabrican en entornos controlados y se instalan en obra en espacios más limpios y ordenados, lo cual permite un mejor control. Sin embargo, la entrevistada 1 mencionó que la diferencia de calidad del prefabricado no es tan significativa, ya que se puede tener un buen acabado con un elemento tradicional si es que se hace un correcto control y seguimiento del mismo. Lo que diferencia al elemento prefabricado del tradicional es que se optimizan procesos.

El cuarto entrevistado señaló que la calidad de los prefabricados está garantizada por una resolución ministerial y los problemas de calidad ocurren en obra cuando hay

interferencias con las instalaciones o se fisuran. Esto se complementa con lo que mencionó la entrevistada 3, ya que no importa si es prefabricado o no, si es que no se hace un correcto control al prefabricado y este se fisura o rompe, el prefabricado va a tener menos calidad que un elemento tradicional.

Tabla 17. Calidad - Grupo 2

ENTREVISTADO	Métrica 4
	CALIDAD
5	BIM ayuda a visualizar mejor y a tomar decisiones anticipadas, lo cual reduce los errores y se entrega un producto de mayor calidad. Sin embargo, se tuvo problemas con la actualización de planos y esto se debe a que no se tenía los recursos necesarios.
6	Todo es automatizado, lo cual genera que las eficiencias y rendimientos sean exponenciales
7	BIM no afecta la calidad del acabado del prefabricado. BIM solo optimiza procesos. Los prefabricados y BIM tienen impactos independientes
8	Con BIM se reducen los errores en obra y el control de calidad se hace antes del montaje del prefabricado

Nota. Elaboración propia

El quinto entrevistado mencionó que, si bien BIM sirve para reducir errores y para solucionar los problemas de interferencias, su equipo y él tuvieron dificultades con la actualización de los planos de la prelosa. Él trabajaba en un proyecto fast-track y los planos de la prelosa cambiaban de un día para otro. También menciona que BIM debió haber solucionado esos problemas, pero no contaban con los recursos necesarios. Los recursos necesarios pueden incluir el personal capacitado para el software BIM y las licencias de software BIM. El ingeniero atribuye esto a que el cliente no invirtió lo necesario, ya que aun no le ven el beneficio a BIM y prefieren ahorrar. Esto demuestra que a pesar de que se esté

usando BIM en un proyecto, la calidad no puede ser la esperada si es que el personal no está correctamente capacitado ni se cuenta con todos los recursos tecnológicos. Además, un Plan BIM bien elaborado también es vital para el correcto desarrollo del proyecto.

El sexto y el octavo entrevistado señalaron que se reducen los errores y la eficiencia y los rendimientos son exponenciales. No mencionaron ninguna deficiencia de calidad en sus proyectos. A manera de comparación, estos dos entrevistados trabajan con una dimensión BIM 7D mientras que el quinto entrevistado trabaja con una dimensión BIM 3D. Esto demuestra que el sexto y octavo entrevistado invierten más dinero en BIM y por lo tanto obtienen mejores resultados.

Por otro lado, el séptimo entrevistado mencionó que BIM y los prefabricados son complementarios y tienen impactos independientes en un proyecto. BIM optimiza procesos lo cual genera que se pueda avanzar de manera más segura y precisa en un proyecto. Sin embargo, BIM no tiene un impacto en el acabado de un prefabricado. El ingeniero también menciona que se puede construir con prefabricados sin BIM, pero el proyecto se vuelve más complejo. La respuesta del séptimo entrevistado se relaciona con la respuesta de la primera entrevistada del grupo 1, ya que ella menciona que se tiene que tener un correcto control y seguimiento para garantizar la calidad y justamente BIM permite mejorar el control y seguimiento de los prefabricados.

- **Métrica 5: Productividad**

Tabla 18. Productividad - Grupo 1

Métrica 5	
ENTREVISTADO	PRODUCTIVIDAD
1	El desafío principal es preparar los planos de producción en el plazo y con la compatibilización adecuada
2	La parte técnica que esta detrás de la fabricación debe estar bien detallada y el personal debe estar correctamente capacitado
3	Existe poca mano de obra capacitada por la falta de experiencia
4	Los planos de producción deben ser correctos. Un reto grande que se tuvo fue fabricar elementos grandes.

Nota. Elaboración propia

Los principales desafíos, según los entrevistados del grupo 1, que enfrentan en términos de productividad es preparar los planos de producción de manera detallada y sin errores en el plazo requerido. Debe existir una correcta comunicación entre proyectistas y fabricantes para asegurarse que el prefabricado encaje en el proyecto, ya que si se omite algún elemento estructural existente y se manda a fabricar el elemento prefabricado y este no calza en el proyecto, esto sería un error muy grave que costaría mucho tiempo y dinero. Por ejemplo, el entrevistado 4 mencionó que una vez el proyectista omitió una columna y cuando mandaron a fabricar las prelosas, estas no calzaban en el proyecto.

Los entrevistados 2 y 3 señalaron que existe poca mano de obra capacitada y que por lo tanto el inicio de un proyecto con prefabricados es un poco lento. Sin embargo, a medida que se avance con el proyecto, este adquiere un ritmo de trabajo constante. Esto se puede

evitar si se capacita correctamente al personal con simulaciones constructivas, ya que esto permite a los trabajadores entender mejor el proyecto y sus funciones.

Por último, el entrevistado 4 menciona que un reto grande para su empresa de prefabricados fue fabricar elementos grandes. Un prefabricado grande implica más costo, mayor detalle de ingeniería y una mejor planificación logística, ya que transportar e izar este prefabricado puede ser complicado.

Tabla 19. Productividad - Grupo 2

ENTREVISTADO	Métrica 5
	PRODUCTIVIDAD
5	Se puede detectar los errores e interferencias anticipadamente, lo cual hace que el trabajo sea mas eficiente. Tambien, el personal tecnico se optimiza lo cual contribuye a acortar los plazos de los entregables
6	Reducción de interferencias, se evitan los retrabajos, se ejecuta el proyecto mas rápido. Se optimiza la logistica al no tener un espacio para la habilitación de acero. Se ha alimentado el modelo de información hasta el nivel de mantenimiento y operación.
7	Se logra hacer mas con la misma gente. Es decir, se aumenta la productividad de las personas. Dependen de BIM para cumplir con los plazos de entrega
8	Se tiene un Kiosko BIM y una aplicación de realidad aumentada para que los trabajadores visualicen el prearmado. Tambien se ha utilizado la realidad aumentada con reconocimiento de medidas de los objetos y estructuras. Se esta utilizando inteligencia artificial para configurar la cantidad de camiones de la manera mas optima.

Nota. Elaboración propia

Con respecto a las respuestas del grupo 2, se puede concluir que BIM acorta los plazos de entrega, reduce las interferencias, evita los retrabajos y aumenta la productividad de las personas. Adicionalmente, el entrevistado 6 indicó que se optimiza la logística al haber modelado el acero para su fabricación, ya que lo único que hacían en obra era instalar el

prearmado. El entrevistado 7 señaló que depende de BIM para cumplir con los plazos de entrega. Esto demuestra que BIM si tiene bastante importancia en esa empresa y es de bastante utilidad. El entrevistado 8, en base a su respuesta, es el que tiene tecnología más avanzada ya que utiliza realidad aumentada y automatizaciones múltiples utilizando las APIs de Revit, Tekla, Google y Microsoft. Se tiene un Kiosko BIM en la planta de prearmados, donde se muestra el modelo en 3D de los prearmados en Trimble Connect. De esta manera el personal tiene un mejor entendimiento de los prearmados.

Las automatizaciones múltiples en BIM se refieren a la capacidad de utilizar las interfaces de programación de aplicaciones (API) de software específicos, como Revit, Tekla, Google y Microsoft, para automatizar y optimizar diversas tareas en proyectos de construcción y la gestión de información de construcción (BIM). En el contexto de BIM, estas API permiten a los desarrolladores crear complementos personalizados y aplicaciones que mejoran la eficiencia y la productividad. Por ejemplo, utilizando la API de Revit, es posible automatizar la creación de familias personalizadas y la generación de informes.

La API de Tekla Structures se enfoca en la automatización de tareas relacionadas con la construcción de estructuras de acero y concreto, como la creación de modelos estructurales y la generación de planos de taller. Las API de Google y Microsoft pueden ser utilizadas para integrar servicios en la nube, como Google Maps, Google Drive y Microsoft Azure, en aplicaciones BIM para funciones como la colaboración en tiempo real, el almacenamiento de datos y la gestión de documentos. Estas automatizaciones múltiples en BIM proporcionan soluciones personalizadas que optimizan los flujos de trabajo, reducen errores y aumentan la productividad en la industria de la construcción y la gestión de proyectos BIM.

- **Métrica 6: Seguridad**

Tabla 20. Seguridad - Grupo 1

ENTREVISTADO	Métrica 6: Seguridad			
	Preocupaciones			
	Personal capacitado	Áreas liberadas	Daño estructural	Instalación del prefabricado
1	Riggers, PDRs y personal en general bien capacitado	El personal debe estar concientizado del proceso de las áreas de liberación		Movimiento de la torre grúa
2	Supervisión adecuada y obreros debidamente capacitados			En casos aislados puede representar un peligro pero depende principalmente de como se iza el prefabricado
3		Se debe asegurar que no haya nadie debajo del elemento que se esta izando	Si se fisura o rompe un prefabricado ya no sirve	Ubicación optima del camión que tiene las prelosas para que la grua no se esfuerce demasiado
4	Personal bien entrenado y seguir las reglas de seguridad		Si el tralicho de una prelosa se desprende hay daño estructural	Movimiento de la torre grúa

Nota. Elaboración propia

Basándome en las respuestas de los cuatro ingenieros sobre las preocupaciones relacionadas con la construcción con prefabricados, podemos identificar varios temas clave:

- Personal capacitado: Todos los ingenieros mencionan la importancia de contar con personal capacitado. Esto sugiere que la mano de obra especializada es fundamental para la construcción exitosa con prefabricados. Esto incluye tanto la capacitación en la instalación adecuada de los prefabricados como en la operación segura de la maquinaria, como las grúas utilizadas en el proceso.
- Áreas liberadas: Una preocupación implícita en la respuesta sobre "áreas de liberación" es que el personal esté consciente del proceso relacionado con estas áreas. Esto implica entender cómo funcionan, qué elementos se almacenan allí y cómo se preparan los prefabricados para su instalación.

- Daño estructural: Se enfatiza la importancia de garantizar la integridad y estabilidad tanto de los elementos prefabricados como de la estructura existente durante todo el proceso de construcción. Esto implica un cuidadoso manejo, instalación precisa y seguimiento de los estándares de calidad para prevenir cualquier daño que pueda comprometer la seguridad y durabilidad de la estructura final.
- Instalación del prefabricado: Todos los ingenieros mencionaron la instalación del prefabricado como una preocupación. Esto incluye aspectos como la precisión en la instalación, la atención al detalle y la seguridad durante el proceso de colocación de los elementos prefabricados. Además, uno de ellos mencionó que se debería identificar la ubicación óptima del camión para que la torre grúa no se esfuerce demasiado.

Tabla 21. Seguridad - Grupo 2

ENTREVISTADO	Métrica 6
	SEGURIDAD
5	Fue necesario el modelamiento y la simulación constructiva de un techo metalico para un mejor entendimiento del proyecto y para capacitar al personal
6	Simulo la cantidad de gruas y bombas y las posiciono en el proyecto para ver distintos escenarios
7	Se simulo la cantidad de gente disponible para el proceso, ubicación de los equipos de transporte y punto óptimo de la grúa.
8	Los prefabricados son mas seguros al tener menos gente. No es BIM. Es el prefabricado. Se hacen simulaciones constructivas en 4D para un mejor entendimiento del proyecto. Tal vez puede influir en la seguridad pero no veo una relación tan directa.

Nota. Elaboración propia

Los cuatro entrevistados realizaron simulaciones del proceso constructivo y eso contribuyó a un mejor entendimiento del proyecto y a posicionar de manera óptima los camiones que llevan las prelosas, para que la torre grúa no se sobre esfuerce. Además, con las simulaciones constructivas también se puede capacitar al personal para anticipar posibles problemas durante la instalación de los prefabricados y desarrollar estrategias efectivas para abordarlos. Esto incluye la práctica de maniobras de elevación y colocación, la identificación de puntos críticos en el proceso y la adquisición de habilidades para tomar decisiones rápidas y seguras en situaciones imprevistas.

Sin embargo, el entrevistado 8 cree que BIM puede influir en la seguridad, pero no ve una relación tan directa entre BIM y la seguridad de un proyecto. La opinión del entrevistado sobre la relación entre BIM y la seguridad del proyecto podría estar influenciada por el enfoque predominante de su empresa en el uso de BIM. Si la compañía ha priorizado el uso de BIM principalmente para aspectos relacionados con la eficiencia en la construcción, la coordinación de diseño y la gestión de costos, es posible que el entrevistado no perciba una conexión directa entre BIM y la seguridad. Dado que la seguridad es una consideración crítica en la gestión de proyectos de construcción, es fundamental reconocer que puede ser vista como una dimensión independiente (8D), y que la aplicación adecuada de BIM también puede influir positivamente en la seguridad del proyecto, incluso si no ha sido el enfoque principal hasta el momento.

- **Métrica 7: Desafíos y limitaciones**

Tabla 22. Desafíos y limitaciones de los prefabricados en el Perú- Grupo 1

Métrica 7: Desafíos y limitaciones de los prefabricados en el Perú					
ENTREVISTADO	Resistencia al cambio	Compatibilización	Logística	Poca variedad de prefabricados	Corrupción
1	X	X	X		
2	X	X	X	X	
3	X	X	X		
4	X	X	X		X

Nota. Elaboración propia

Todos los ingenieros del grupo 1 manifestaron que existía una resistencia al cambio por cambiar la forma de construir en el Perú. También, todos manifestaron que la compatibilización y la logística han presentado un desafío porque la diversidad de elementos prefabricados requiere una cuidadosa coordinación en términos de dimensiones, conexiones y tiempos de entrega. La integración de estos elementos en el diseño estructural, considerando sus especificaciones y requerimientos particulares, demanda una planificación profunda y detallada para evitar conflictos durante la instalación. Además, la gestión de la logística para el transporte, manipulación y almacenamiento eficiente de los prefabricados en el sitio de construcción implica desafíos en la coordinación de equipos, horarios y espacios, influyendo directamente en la eficacia y fluidez de la obra.

También, uno de los entrevistados señaló que existe poca variedad de prefabricados, ya que en otros países tienen una industria más desarrollada en prefabricados y que ofrece

más opciones. Por otro lado, el último entrevistado comentó que un ingeniero residente estaba tarrajando las prelosas cuando las prelosas no se tarrajean, lo cual genera un gasto innecesario. Por lo tanto, en construcciones prefabricadas, al tener menos partidas, es posible que se genere cierta resistencia por parte de ingenieros corruptos que buscan obtener beneficios indebidos desviando fondos destinados a esas partidas.

Tabla 23. Desafíos y limitaciones de implementar BIM- Grupo 2

Métrica 7: Desafíos y limitaciones de implementar BIM						
ENTREVISTADO	Resistencia al cambio	Costoso	Faltan profesionales capacitados	Falta de normativa para estandarizar procesos	Los clientes no cierran su ingeniería cuando mandan a prefabricar	Poca participación de la empresa privada
5	X	X	X			
6	X	X	X			
7	X	X	X	X		
8	X				X	X

Nota. Elaboración propia

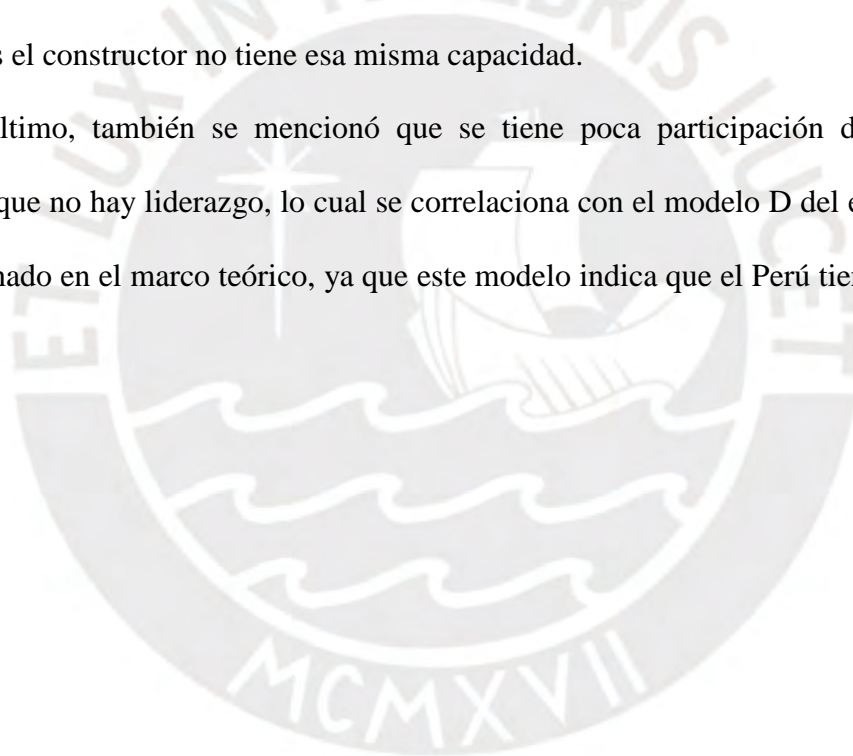
Todos los entrevistados del grupo 2 indicaron que existe una resistencia al cambio en las empresas debido a que su implementación es costosa y en algunas empresas aún no se le ve la utilidad completa. También señalaron que los proyectos que utilizan BIM a un nivel avanzado son los proyectos grandes y los proyectos fast-track mientras que los proyectos más pequeños prefieren construir de manera tradicional o en el mejor de los casos utilizan BIM solo para visualizar el modelo en 3D.

Otra limitación común que se mencionó es la falta de profesionales capacitados para utilizar la metodología BIM. Esto tiene correlación con el Modelo B del estudio Macro BIM publicado por el ingeniero Danny Murguía, ya que en ese modelo se menciona que la

infraestructura tecnológica y el aprendizaje y educación sobre BIM tienen una madurez media y media baja, respectivamente.

Otros desafíos adicionales que mencionó el último entrevistado fue que los clientes no cierran su ingeniería cuando mandan a prefabricar, lo cual genera problemas durante la construcción ya que el cliente manifiesta que la empresa de prefabricados tiene poca flexibilidad. La manera de abordar este problema es desarrollar una integración temprana entre todos los agentes involucrados, pero para esto el constructor también debería tener una infraestructura tecnológica similar a la de la empresa de prefabricados. El entrevistado señala que su empresa de prefabricados tiene la capacidad de utilizar BIM a un nivel avanzado pero muchas veces el constructor no tiene esa misma capacidad.

Por último, también se mencionó que se tiene poca participación de la empresa privada y de que no hay liderazgo, lo cual se correlaciona con el modelo D del estudio Macro BIM mencionado en el marco teórico, ya que este modelo indica que el Perú tiene un enfoque pasivo.



Capítulo 7: Conclusiones

BIM es una herramienta poderosa que busca optimizar procesos y elevar el entendimiento en la ingeniería de construcción. Sin embargo, por sí sola, no va a lograr la industrialización del país debido a que la industrialización es un proceso complejo que involucra múltiples factores. BIM, aunque mejora la eficiencia en la planificación, diseño y gestión de proyectos de construcción, no aborda directamente otros aspectos esenciales de la industrialización, como la infraestructura de fabricación, la cadena de suministro, las políticas gubernamentales, la capacitación de mano de obra y la inversión en tecnologías de construcción avanzadas. La industrialización requiere un enfoque integral que va más allá de una sola herramienta o tecnología, abarcando aspectos socioeconómicos, estratégicos y estructurales a nivel nacional.

Asimismo, teniendo en cuenta el caso de éxito internacional y el caso de éxito nacional se pudo analizar dos diferentes flujos de trabajo. La empresa española, Grupo Avintia, tiene la capacidad para desarrollar un proyecto de manera industrializada de inicio a fin, mientras que la empresa nacional se limita a formar parte de un proyecto en lugar de abordar la totalidad de un proyecto. Además, el grupo Avintia, así como el proyecto “Llaxta” desarrollado por “Reymann Technik” tienen sistemas industrializados cerrados mientras que la empresa nacional, TSC Innovation, tiene un sistema industrializado abierto. Esto muestra los dos enfoques de la prefabricación y del potencial que tiene.

Por otro lado, de acuerdo con la hipótesis planteada al principio, se puede concluir lo siguiente:

- En cuanto a tiempo, los principales problemas de las construcciones con prefabricados que no utilizan BIM son la falta de comunicación efectiva entre los agentes involucrados, una planificación inadecuada del proyecto y retrasos en la entrega de los elementos prefabricados. Todo esto conlleva a retrasos y

retrabajos. Por otro lado, BIM en las empresas que lo usan sí ha demostrado ser altamente eficiente en reducir las horas hombre en oficina técnica, ya que se pueden identificar errores e interferencias con anticipación, se mejora el entendimiento de la ingeniería y se evitan los retrabajos.

- En cuanto a costos, se pierde dinero por mala compatibilización y por errores de diseño en construcciones que no han utilizado BIM. Por otro lado, la adopción de BIM en la construcción ofrece beneficios económicos significativos. Reduce el tiempo de construcción, se evitan retrabajos, se ahorra en temas de operación y se reduce la mano de obra. La curva de MacLeamy respalda la eficacia de BIM al demostrar que detectar errores temprano reduce los costos. Además, BIM automatiza la generación del presupuesto y los *Bill of Quantities*, optimizando la planificación y la gestión de recursos económicos.
- En cuanto a calidad, la mayoría de entrevistados entendió calidad como el acabado del prefabricado. En cuanto a esta interpretación de la calidad, BIM no mejora significativamente el acabado del prefabricado. Sin embargo, si se entiende calidad según la ISO9000, entonces BIM sí mejora la calidad al aumentar la precisión, reducir los errores y optimizar los procesos constructivos. El modelo BIM, integrado a los ERP de la empresa puede llevar un control y seguimiento del proyecto, lo cual permite identificar posibles desviaciones de calidad en tiempo real y tomar medidas correctivas de manera oportuna. Además, el uso de BIM en conjunto con los sistemas ERP facilita la trazabilidad de los materiales utilizados en la construcción, lo que contribuye a garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos.

- En cuanto a productividad, uno de los principales desafíos que tienen los ingenieros que no utilizan BIM es preparar los planos de producción de los prefabricados y que este sea el adecuado para la obra, ya que es un proceso laborioso y con mucha probabilidad de error. Además, es complejo realizar modificaciones una vez que los planos son entregados al fabricante. Con BIM se pueden estandarizar y automatizar procesos, lo cual reduciría el porcentaje de error. Además, se puede planificar y rastrear la entrega de los prefabricados de manera precisa y acelerar el plazo de entrega de los proyectos. También, el modelo BIM se puede integrar a los sistemas de fabricación, lo cual garantiza una mayor eficiencia y un menor desperdicio de recursos.
- En términos de seguridad, los ingenieros que han utilizado BIM para realizar simulaciones constructivas han tenido un impacto positivo en la seguridad del proyecto de manera indirecta. Aunque el principal objetivo de BIM no era mejorar la seguridad, las simulaciones han permitido identificar y mitigar riesgos antes de la fase de construcción. Sin embargo, BIM 8D no se ha implementado ampliamente ni a lo largo de todo el proyecto, lo que limita su potencial para optimizar aún más la seguridad. Por otro lado, los ingenieros que no han adoptado BIM no han enfrentado preocupaciones significativas en términos de seguridad. No obstante, las estadísticas destacan que el sector de la construcción sigue siendo uno de los más propensos a accidentes. Por lo tanto, es fundamental intensificar los esfuerzos para mejorar las prácticas de seguridad en todos los proyectos.

En el Perú, persiste una resistencia al cambio tanto en la industria de los prefabricados como en BIM, principalmente debido a la arraigada tradición en métodos de construcción

convencionales. Esta resistencia dificulta la adopción de nuevas tecnologías y procesos. Además, los clientes no perciben claramente los beneficios de BIM y por lo tanto la demanda es baja. Por último, los altos costos de inversión en BIM y la falta de profesionales que dominen BIM son factores que también representan obstáculos para la implementación de BIM.



Bibliografía

Aceros Arequipa. (s.f.). *ACEDIM Manual de proceso*. [Folleto].

https://acerosarequipa.com/themes/custom/boots_theme/files/ACEDIM_Manual_vf.pdf

Aceros Arequipa. (s.f.). *ACEDIM prearmado*. [Folleto].

https://acerosarequipa.com/themes/custom/boots_theme/files/AA-Const.Ind-Brochure_Preamado_ACEDIM.pdf

Aceros Arequipa. (2022, 18 noviembre). *Sesión Online / Ingeniería de detalle BIM para Prefabricados de concreto* [Vídeo]. YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=dr24tFC0TZw>

Ahn, Y. H., Kwak, Y. H., & Suk, S. J. (2016). Contractors' Transformation Strategies for Adopting Building Information Modeling. *Journal Of Management In Engineering*, 32(1).

[https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000390](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000390)

Aragón, N., Caibinagua, A. (2018). Uso de tecnología BIM para optimizar la gestión del tiempo según metodología Project Management Institute. En *Universidad de Cuenca*.

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30126>

BibLusBIM. (2018). *Las dimensiones del BIM: 3D, 4D, 5D, 6D, 7D, 8D, 9D, 10D*.

<https://biblus.accasoftware.com/es/las-dimensiones-del-bim/>

BIM Excellence. (s.f.) *Matriz de Madurez BIM*. Bime Initiative.

<https://bimexcellence.org/wp-content/uploads/301in.ES-Matriz-de-Madurez-BIM.pdf>

BIM for Construction Site Logistics Management. (2018). *Journal Of Engineering, Project, And Production Management*, 8(1), 47-55.

http://www.ppml.url.tw/EPPM_Journal/volumns/08_01_January_2018/ID_174_8_1_47_55.pdf

Cao, J., Bucher, D., Hall, D., Eggers, M. (2022). *A graph-based approach for module library development in industrialized construction*. Computers in Industry.

<https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103659>

Construible.es. (2021). *Construcción industrializada en una nueva promoción de vivienda pública de alquiler en Móstoles*.

<https://www.construible.es/2021/03/05/construccion-industrializada-nueva-promocion-vivienda-publica-alquiler-mostoles>

Construmatica. (2021). *Clasificación de elementos prefabricados*.

[https://www.construmatica.com/construpedia/Clasificaci%C3%B3n de Elementos Prefabricados#Seg.C3.BA%20peso y dimensiones](https://www.construmatica.com/construpedia/Clasificaci%C3%B3n%20de%20Elementos%20Prefabricados#Seg.C3.BA%20peso%20y%20dimensiones)

Contraloría General de la República del Perú. (2023). *Reporte de obras paralizadas en el territorio nacional a Mayo 2023*.

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4784364/Reporte%20de%20obras%20paralizadas%20en%20el%20territorio%20nacional%20a%20mayo%202023.PDF?v=1688130673>

Corrales, C., Castro, C., Toledo, G. (2014). *Estudio de la Siniestralidad en Seguridad en Empresas del Sector Construcción a partir de la Nueva Legislación Peruana*.

<https://www.laccei.org/LACCEI2014-Guayaquil/RefereedPapers/RP262.pdf>

Del Águila García, A. (1986). *Las Tecnologías De La Industrialización De Los Edificios De Vivienda*. Madrid, España: Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos

Eastman, Teicholz, Sacks & Liston. (2011). *BIM Handbook*. Segunda edición. New Jersey, Estados Unidos de América: John Wiley & Sons, Inc.

[http://bim.pu.go.id/assets/files/BIM Handbook A Guide to Building Information Modeling for Owners Managers Designers Engineers and Contractors Second Edition.pdf](http://bim.pu.go.id/assets/files/BIM%20Handbook%20A%20Guide%20to%20Building%20Information%20Modeling%20for%20Owners%20Managers%20Designers%20Engineers%20and%20Contractors%20Second%20Edition.pdf)

Editeca. (2024). *Programar con API en BIM: La automatización de procesos*.

<https://editeca.com/programar-api-bim/>

Egan, J. (1998). *Rethinking Construction*. Crown Copyright.

https://constructingexcellence.org.uk/wp-content/uploads/2014/10/rethinking_construction_report.pdf

EKON (25 de abril de 2020). *El BIM y el mejor software ERP para constructoras*.

<https://www.ekon.es/blog/que-es-bim/>

El Comercio. (2022). *Sector construcción acumula crecimiento de 0.74% a mayo de este año*.

<https://elcomercio.pe/economia/peru/sector-construccion-acumula-crecimiento-de-074-a-mayo-de-este-ano-rmmn-noticia/>

Farm Equipment. (2018). *Ag & Construction Lagging When It Comes to Digitization*

<https://www.farm-equipment.com/articles/15663-ag-construction-lagging-when-it-comes-to-digitization>

Grupo Avintia. (2023). *III Libro Blanco Industrialización de la Construcción. El caso de estudio*.

https://www.avitasystem.com/wp-content/uploads/2023/05/III_Libro_Blanco_Industrializacion_may23.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Características de la infraestructura de las viviendas particulares*.

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/cap04.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2021). *Déficit Habitacional*.

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1855/cap13.pdf

Interempresas media. (2021). *Promoción residencial en el PAU Sur de Móstoles de 124 viviendas VPP*.

<https://www.interempresas.net/construccion-industrializada/Articulos/357648-Promocion-residencial-en-el-PAU-Sur-de-Mostoles-de-124-viviendas-VPP.html>

Ji, Y., Chang, S., Qi, Y., Li, Y., Li, H. X., & Qi, K. (2019b). A BIM-Based Study on the Comprehensive Benefit Analysis for Prefabricated Building Projects in China. *Advances In Civil Engineering*, 2019, 1-13.

<https://doi.org/10.1155/2019/3720191>

Ji, Y., Qi, L., Liu, Y., Liu, X., Li, H., & Li, Y. (2018). Assessing and Prioritising Delay Factors of Prefabricated Concrete Building Projects in China. *Applied Sciences*, 8(11). <https://doi.org/10.3390/app8112324>

Lee, J., & Kim, J. (2017). BIM-Based 4D Simulation to Improve Module Manufacturing Productivity for Sustainable Building Projects. *Sustainability*, 9(3), 426.

<https://doi.org/10.3390/su9030426>

Liu, X. (2022). Research on Construction of Bill of Quantities of Prefabricated Buildings Based on BIM. *Journal Of Architectural Research and Development (Print)*, 6(5), 25-30. <https://doi.org/10.26689/jard.v6i5.4259>

Mac Donell, Horacio. (1999). *Manual de Construcción Industrializada*. Buenos Aires, Argentina: Revista Vivienda SRL.

<https://materialidad2010.files.wordpress.com/2010/05/manual-const-indust-extracto.pdf>

Martín, A. (2021). Los procesos de industrialización de la construcción tradicional. En *Universidad Politécnica de Madrid*.

https://oa.upm.es/67752/1/TFG_Jun21_Martin_Ramon_Alberto.pdf

Ministerio de Economía y Finanzas. (2021). *Guía Nacional BIM: Gestión de la información para inversiones desarrolladas con BIM*.

https://www.mef.gob.pe/planbimperu/docs/recursos/guia_nacional_BIM.pdf

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2024). *PERÚ: Evolución Mensual de la Actividad del Sector Construcción (PBI de Construcción): 2017 - 2024*

https://ww3.vivienda.gob.pe/Destacados/estadistica/62_PBI-CONSTRUCCION.pdf

Min, L., Chen, D. (2018). *Application of BIM Technology in Prefabricated Building*.

ICCREM 2018: Innovative Technology and Intelligent Construction.

<https://doi.org/10.1061/9780784481721.031>

Murguía, D., Vasquez, C., Culqui, D., Ley, J., Supanta, O., Yañez, S. (2023). Tercer Estudio de Adopción BIM en Proyectos de Edificación en Lima, Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. Recuperado de <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/195846>

Optimiza Contratistas. (2020). *El avance de los prefabricados en obra*. Recuperado de

<https://optimizacontratistas.com/el-avance-de-los-prefabricados-en-obra-2/>

Organización Internacional del Trabajo. (2022). *La seguridad y la salud en el trabajo en Perú. Una mirada desde los convenios internacionales del trabajo no ratificados*.

https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/documents/publication/wcms_884854.pdf

Quispe, C. E. F., Mamani, E. M., & Camacho, L. E. V. (2018). Análisis de implementación de prefabricados y el uso de herramientas modernas como el Bim y Lean Construction para viviendas destinadas al sector socioeconómico “C” en la ciudad de Juliaca. En *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*.

<https://doi.org/10.19083/tesis/626010>

Reto Kommerling. (2022). *Residencial Móstoles. El edificio se ha desarrollado de forma industrializada gracias al sistema diseñado por Ávita*.

<https://retokommerling.com/proyectos/residencial-mostoles-industrializacion-en-altura/>

Reymann Technik. (2014). De la visión a la realidad: sistema modular de viviendas para crear un espacio habitable antisísmico.

https://www.ratec.org/fileadmin/resources/downloads/Presse/1403_ratec_De_la_vision_a_la_realidad_sistema_modular_de_viviendas_es.pdf

Senthilvel, M., Varghese, K., & Babu, N. R. (2016). Building Information Modeling for Precast Construction: A Review of Research and Practice. *Construction Research Congress 2016*. <https://doi.org/10.1061/9780784479827.224>

UNICON. (2020). *WEBINAR “Realidad de los Prefabricados en Perú”* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=oeWu_TYLdKA

Verum Partners. (2021). *¿Has oído hablar del BIM-BAM-BOOM?* <https://verumpartners.com.br/has-oido-hablar-del-bim-bam-boom/>

Xue, H., Zhang, S., Su, Y., & Wu, Z. (2017). Factors Affecting the Capital Cost of Prefabrication—A Case Study of China. *Sustainability*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/su9091512>

Zhou, M., Wang, J., Yu, B., & Chen, K. (2024). A Quality Management Method for Prefabricated Building Design Based on BIM and VR-Integrated Technology. *Applied Sciences*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/app14041635>

ANEXO A

“Grupo 1: Ingenieros expertos en utilizar prefabricados en la construcción sin BIM”

- **Métrica 1: Percepción general sobre los prefabricados**

¿En qué tipo de proyectos recomienda utilizar prefabricados y en cuáles no?

ENTREVISTADO 1:

Mira, el prefabricado lo he usado en corporativos y en vivienda. La única restricción es cuando tienes mucha congestión de tuberías en vivienda, ya sea en el baño, cocina o lavandería. En ese caso tienes que optar por el vaciado tradicional. Yo recomiendo no usar la prelosa porque mientras que picas la prelosa, mientras que grifas el fierro, ya el mixer te está esperando en la puerta. Entonces, para esos ambientes no, pero para todo lo demás me parece bien. Yo he utilizado prelosas para un proyecto de 32.00 metros cuadrados, excepto en baños, cocinas y lavanderías que sí teníamos demasiada tubería y el aire acondicionado, el desagüe, el agua, la parte eléctrica, era un puré de tubos. Entonces, no lo recomiendo.

ENTREVISTADO 2:

A ver, dependiendo del prefabricado, por ejemplo, yo usaría prelosas en proyectos donde vas a tener varios techos, donde te va a permitir hacer este tema de la logística mucho más eficiente, porque si es una casa de dos pisos, por decir, para que se entienda mejor la respuesta, en que cuando ya le estás agarrando el ritmo a la logística, se acabó la obra. Además, te sale más caro y el costo-beneficio entre poner un prefabricado para una casa de dos pisos versus hacerlo con el método tradicional, a lo mejor te conviene más hacerlo con el método tradicional porque finalmente van a ser dos techos que vas a tener que controlar que la gente construya bien in situ. Sin embargo, si ya tienes edificios de altura, por ejemplo, ocho, diez, quince, veinte pisos o más, entonces sí conviene utilizar estos prefabricados, porque al reducir la mano de obra

en la obra, los riesgos de trabajar en altura también se van a ir reduciendo considerablemente. Entonces ya dedicas horas máquina para izar con la grúa, algunas horas hombre para ubicar el techo, la losa está donde debe estar, y otras tantas para vaciar el concreto arriba. En general, yo creo que esa sería una regla importante a seguir con los prefabricados, pero va a depender también de qué prefabricados estamos hablando. Ahorita prácticamente estamos, de mi parte al menos, estoy concentrando la conversación prácticamente en viguetas y en prelosas, pero de prefabricados podemos hablar, pues, de tabiquerías ya prefabricadas, que vengan solamente para izar y montar. También están los muros pantalla que ya tienen una condición de prefabricados.

En otras palabras, yo recomendaría los prefabricados donde el uso de este prefabricado va a ser rutinario, donde va a ser reiterativo, de tal manera que su costo se diluya y se compense con la cantidad de mano de obra que terminas ahorrando por el uso. En esos casos lo recomendaría. Por otro lado, en una losa donde hay muchas interferencias, muchas tuberías, no lo recomendaría tanto a menos que puedas darle una solución. Por ejemplo, si estamos hablando de un edificio de oficinas donde las tuberías las puedes colgar y abajo va a haber un falso cielo, tranquilamente puedes utilizar el prefabricado. Pero si las tuberías van a estar dentro de la losa no porque ya se hace incómodo porque por ahí vas a tener que picar, a menos que todo haya nacido modelado.

ENTREVISTADO 3:

De hecho, estuve hace poco en ICA, en Paracas. Estábamos viendo un proyecto de vivienda social donde estábamos proponiendo mallas electrosoldadas pero estas mallas tenían que traerse de la planta del Callao. Entonces, al costo de la malla, le tenían que agregar un precio de flete. Entonces aumentaba un poco más el precio. Pero, ese era, por un lado, un escenario uno, digamos. El otro escenario era hacerlo de la manera

tradicional, con el sistema de varillas. Entonces, se hizo un análisis de cuánto costaba, porque, dicho sea de paso, tenía una planta de acero justo al lado, a unos kilómetros, un par de kilómetros, donde el precio que le daban era bajísimo y no nos cobraban flete. Entonces, haciendo el comparativo, salía que no era rentable hacerlo con mallas electrosoldadas. Sí iba a ser mucho más productivo, más rápido, más calidad, todo, pero no era rentable. Entonces, en ese caso, por economía, digamos que puede ser o no rentable, pero en calidad sí iba a ser beneficioso para el proyecto. Pero bueno, como te digo, al final los números sacaron que no lo iban a aplicar. O sea, en proyectos muy alejados no recomendaría porque si está muy alejado y de por sí no tiene centros de abastecimiento cercanos de prefabricado, entonces te puede salir un poco caro. Pero en este caso particular que yo te digo, pasaba que tenía un centro de abastecimiento de sistema tradicional muy cerca. Y comparado a la distancia que tenía el prefabricado, cuando llegaba a la obra le salía muy caro.

Otro punto a tomar en cuenta es que para que sea rentable el uso de elementos prefabricados, se debe usar en proyectos donde existen elementos repetitivos, pero para esto se tiene que tener una buena gestión de obra. Actualmente la tendencia es que se haga la migración de CAD al formato BIM en 3D. Yo he visto de primera mano a compañeros trabajar en BIM y es más rápido que trabajarlo en AutoCAD porque el BIM es parametrizado y ya tiene programados ciertas cosas, ciertos detalles, que en CAD hay que hacerlo uno por uno. En BIM haces un cambio y se modifican todos los planos. Entonces al final sale más productivo, con menos porcentaje o probabilidad de errores que hacerlo con CAD, porque en el CAD tú modificas un plano y te olvidaste de modificar la otra vista y entonces ya es incongruente. En cambio, en el BIM todo es coherente porque es un solo modelo, con muchas vistas. Entonces al final yo creo que todos vamos a trabajar con BIM. Ya lo del CAD va a ser cosa del pasado.

ENTREVISTADO 4:

Normalmente los prefabricados, deberían utilizarse en todos los proyectos grandes, siempre y cuando, haya grúa torre, porque si tú no vas a utilizar grúa torre, entonces no deberías usar el prefabricado porque un humano no puede cargar un prefabricado. Todo edificio que tenga grúa torre, debería usar prelosa, porque vas a avanzar rápido.

- **Métrica 2: Tiempo**

¿Ha experimentado retrasos o problemas de coordinación en proyectos prefabricados, y en caso afirmativo, cuáles fueron las principales causas?

ENTREVISTADO 1:

Las prelosas, cuando empezamos a usar para edificios corporativos, realmente hubo un avance bastante considerable, porque es un edificio corporativo y las instalaciones van por los falsos techos, entonces no había mucho problema, al contrario, tuvo muy buen ritmo la obra. En mi opinión personal, para lo que es oficinas, la prelosa funciona muy bien, porque todas las instalaciones las pasas en el falso techo. En viviendas también lo he usado para un proyecto importante también, casi de la misma área construida, alrededor de treinta mil metros cuadrados de área construida y en otro proyecto de treinta y dos mil metros cuadrados de área construida, cinco sótanos y dos torres. En verdad, en los sótanos no ha habido mucho problema, solo hay que hacer unos cambios interesantes y teniendo en cuenta la configuración de las instalaciones. Cuando es vivienda no puedes dejar instalaciones vistas, no van en el falso techo, todo va embebido dentro de la losa, entonces ahí para baños, cocinas puedes hacer un vaciado convencional. No puedes usar prelosa, porque tienes mucha congestión de tuberías. Esa sería la recomendación. Hay que ver muy bien la configuración del proyecto, la arquitectura y en función a ello, tomar la decisión si es que es conveniente hacerlo con

prelosa o hacer con una losa convencional. El único pequeño retraso que se me viene a la cabeza es el picado o perforación de la prelosa para el pase de las tuberías cuando estas no vienen con los pases desde fábrica. Sin embargo, esto es un retraso muy pequeño.

ENTREVISTADO 2:

Sí, eventualmente sí. Lo que pasa es que en el caso de los prefabricados la colocación de las órdenes de compra es con más tiempo de anticipación que si tu compras materiales como materia prima donde ya tú los vas a habilitar en la obra. Pero una vez que ya uno se habitúa a los plazos que te da la empresa para colocar las órdenes de compra, ya eso se maneja pues como un reloj, entonces ya el almacenero, el administrador, el ingeniero de campo, todos se alinean y bueno el tema empieza a fluir simplemente.

ENTREVISTADO 3:

Personalmente no he presentado retrasos en los proyectos, pero sí sé de amigos que sí les ha pasado en sus obras. En muchos casos se da por el abastecimiento del material. Lo que pasa es que muchas veces hay tipos de prefabricados, dependiendo del elemento estructural, que son hechos con medidas estándar y son hechos solamente para ese proyecto. Entonces, lo que suele pasar a veces es que el suministro del material "X" por "X" motivo se demoraron en el tiempo de producción de material en la fábrica, o que se demoraron en el desembolso del pago de adelanto de la compra. Entonces, cómo es una cadena, una serie de pasos, basta que uno se retrase o se caiga, para que al final retrase toda la cadena. Entonces, sí, sí he visto casos donde se retrasaron en llegar las viguetas, por ejemplo, o en una malla, entonces, eso desemboca en un retraso para la obra, Eso sería más que todo un problema de coordinación y de problemas logísticos. Es más, una vez mandaron a fabricar viguetas pretensadas, pero cuando llegaron a obra se

dieron cuenta que faltaba un par y tuvieron que vaciar in situ esas viguetas porque mandar a fabricar dos no sale rentable.

ENTREVISTADO 4:

Mira, normalmente los retrasos son un poco difíciles, a menos que sea un caso fortuito como un huaico, porque nosotros tenemos cuatro plantas de fabricación y aparte, estamos trayendo una planta robótica, que es una planta que va a estar más sistematizada. Ahora, yendo a tu pregunta con respecto a los tiempos, en la compatibilización nos demoramos uno o dos días. La fabricación dura siete días. Eso con respecto a las prelosas. Generalmente los retrasos se dan en obra y es por eso que los ingenieros residentes me tienen que confirmar con dos días de anticipación si van a recibir o no el prefabricado porque si no me confirman con 48 de horas de anticipación como mínimo, les tengo que cobrar un falso flete.

- **Métrica 3: Costos**

¿Ha observado una reducción en los costos totales de construcción al utilizar elementos prefabricados? ¿Han existido sobrecostos por la mala aplicación de estos elementos?

ENTREVISTADO 1:

Si sé que hay un costo-beneficio de los prefabricados, pero esos datos los maneja un ingeniero residente, nosotros hacemos la gerencia y la supervisión de la obra. Lo que sí veo es que la obra toma mucha velocidad en lo que es la programación. Además, te ahorras procesos, por ejemplo, ya no tienes que tarrajear el cielo raso. No obstante, es importante tener los planos de producción bien hechos porque a veces omiten las salidas, y tienes que picar y hacer malabares en el encofrado y esto te puede generar sobrecostos si es muy reincidente. También es importante una buena supervisión de obra porque a veces los prefabricados se fisuran y también se debe tener un encofrado muy fino para que las uniones de las juntas se sellen perfectamente y estén

en un solo plano nivelado, ya que estás retirando la partida del tarrajeo. Eso es importante porque si no vas a gastar mucha plata en el disco de copa, para nivelar las superficies, porque es vivienda, y el usuario final quiere tener una superficie perfecta.

ENTREVISTADO 2:

A mí no me ha pasado. O sea, en el suma y resta siempre ha sido positivo el resultado. Los ahorros vienen principalmente de manera inmediata, se percibe en la cantidad de mano de obra, que disminuye lógicamente, pero con ello a lo que en realidad tiene una influencia que a lo mejor no se puede cuantificar de manera inmediata, pero es la reducción de la probabilidad de accidentes. Cuanto menos personal tengas en obra, la probabilidad de accidentes se reduce porque los índices de accidentabilidad se miden en función de la cantidad de horas hombres destacadas en obra. Entonces, cuantas menos horas hombres tienes destacadas en obra, también tus índices se van a reducir. En cuanto a reprocesos por malas prácticas en cuanto al acabado, por ejemplo, de una losa de una viga o una vigueta, ello no ocurre porque ya el prefabricado viene con estándares de calidad, que bueno, uno simplemente se encarga de verificar antes de que ingresen a obra. En mi opinión, ya que he trabajado mucho con viguetas prefabricadas, el acabado que tienen las viguetas prefabricadas es muy superior al de una vigueta vacía de obra.

ENTREVISTADO 3:

Mira, en el tema de reducción de costos, lo que pasa es que se debe analizar un APU, donde generalmente el elemento prefabricado te va a costar más que comprar solamente materia prima porque es un producto terminado que pasa por manufactura. Entonces siempre te va a costar más. Pero cuando tú ves el ahorro en total y tienes en cuenta lo que te ahorras en mano de obra, tiempo, herramientas y la mejora de los rendimientos te das cuenta que el prefabricado es mucho más económico. En el tarrajeo

también ahorras porque no existe esta partida en prelosas. En el caso de prelosas, que es un tipo de prefabricado, se puede implementar en oficinas, en hospitales, centros comerciales, estacionamientos. Por ejemplo, estuve en una obra de Jesús María, que era un multifamiliar donde teníamos torre grúa. Entonces, al tener torre grúa, es mucho más fácil y es más factible usar prelosas. Entonces, ahí se hizo el análisis en costo de lo que costaría hacer la conversión a prelosas y al final salió que sí salía más rentable hacerlo con prelosas. Entonces, se hizo un cambio en la ingeniería.

ENTREVISTADO 4:

Los costos notorios son el tarrajeo ya que la prelosa queda lista para empastar y pintar. Otro ahorro es el pulpo de 4 ramales que te damos en préstamo hasta que termines el casco. Cargar una losa te tiene que demorar entre 4-6 minutos dependiendo si son sótanos o piso superior. Hay ciertas constructoras que lo hacen en 3:20 min. Quitale esos 60 segundos y multiplícalo por todos los m² que recibes al día, que son más de 100m². Ellos acaban el casco en 5 o hasta en 4.5 meses en vez de 6 meses, haciendo un techo o un techo y medio por semana.

- **Métrica 4: Calidad**

¿Cómo se ha reflejado la calidad en proyectos de construcción prefabricada en comparación con otros proyectos donde se construyó tradicionalmente?

ENTREVISTADO 1:

Mira, la calidad, más que la calidad, es el proceso, aceleras procesos. Porque en el otro, si haces un vaciado de losa convencional, sí o sí, tarrajeas tus cielorrasos. Cuando usas la prelosa, que es un prefabricado y tiene un acabado bastante aceptable para el ojo de un arquitecto y las juntas las sellas con el pegamento blanco flexible y si está desnivelado, usas tu disco de copa, empastes generosamente, tus dos manos de pintura, queda bien. Una vez que la prelosa está terminada, tiene un acabado aceptable.

Cuando es una losa convencional, así sea viguetas pretensadas, tienes que tarrajear para que quede aceptable. No es tanto la calidad, es el tema de los procesos. Por otro lado, el rol de la supervisión de obra también es importante para asegurar la calidad del prefabricado y para esto se tiene que tener un buen control y seguimiento del producto para evitar que estos se fisuren o que ocurra algún accidente.

ENTREVISTADO 2:

Calidad directamente en cuanto al acabado de la vigueta. Calidad en cuanto a la uniformidad de la horizontalidad de la parte inferior de la losa porque las bovedillas que son los ladrillos que van entre vigueta y vigueta, al colgar de las viguetas todos te forman también un plano mucho más homogéneo que cuando trabajas de una manera convencional, donde dependes de que las tablas que van debajo de cada vigueta que vas a vaciar estén bien. En este caso no necesitas poner tablas. Por otro lado, mejora también la calidad en cuanto a que tienes menos puntales que colocar por metro cuadrado, porque las viguetas al ser pretensadas te permiten distanciar más los puntales, lo que conlleva que tengas espacios más limpios, más ordenados, más transitables. Entonces hay una cuota de beneficios que se van acumulando partiendo del uso de estos elementos prefabricados.

ENTREVISTADO 3:

Cuando utilizas prefabricado que es un producto que viene de una fábrica y en esta fábrica donde lo hacen siempre hay tolerancias, hay procesos, hay mucho más control en la calidad del producto terminado que en un sistema tradicional. Entonces, la calidad siempre va a ser muy superior en un prefabricado que en algo hecho in situ, o sea, de manera tradicional.

ENTREVISTADO 4:

Primero, la prelosa no necesita tarrajeado. Segundo, no ha habido problemas en las uniones de los prefabricados. Los problemas de calidad ocurren cuando ha habido interferencias con las instalaciones y esto es porque la planta omitió o porque el residente dio muy tarde los planos cuando ya se mandó a prefabricar. Esto se resuelve picando losa. Otro punto a tener en cuenta con respecto a la calidad es la resolución ministerial. Mis prefabricados, la mayoría, tiene resolución ministerial lo cual asegura su calidad.

- **Métrica 5: Productividad**

¿Cuáles han sido los principales desafíos o problemas en términos de productividad que ha enfrentado al trabajar en proyectos de construcción que involucran el uso de elementos prefabricados?

ENTREVISTADO 1:

Los desafíos, como te lo vuelvo a mencionar, es que se tienen que preparar los planos de producción para que el fabricante los haga tal cual tiene la necesidad el proyecto. Ese es el desafío. Preparar esos planos de producción en el plazo y con la compatibilización adecuada de todas las instalaciones. Ese es el gran desafío, porque tienes un cronograma, tienes un last planner, tienes un look ahead, tienes unos horarios. Entonces, ese es el desafío para el equipo, para el equipo del constructor.

ENTREVISTADO 2:

Bueno, los principales desafíos es que la parte técnica que está detrás de la fabricación, en principio, de estos materiales y después de su manipulación en obra, tiene que ser bien detallada con el personal obrero. Es decir, por ejemplo, un elemento pretensado no lo puedes cortar así nomás, no puedes reducir su longitud porque debilitas al elemento considerablemente. O sea, podrías terminar cortando el cable, por

ejemplo, de tensado que va dentro de la vigueta. Entonces, si bien es un material que utilizado adecuadamente permite todos los beneficios que he mencionado hace un rato, si las personas que lo manipulan no han sido debidamente capacitadas, el perjuicio que pueden generar es altísimo. No es lo mismo reconstruir una vigueta que has vaciado en obra a tener que pedir una vigueta desde planta porque alguien dañó cinco de las cien viguetas que pediste. Nada más que te repongas a cinco va a ser costoso no sólo por el material en sí, sino que el tiempo que vas a tener que dilatar la colocación de esas cinco.

ENTREVISTADO 3:

La parte más difícil es al comienzo de la obra porque, generalmente, hay poca mano de obra que haya trabajado anteriormente con prefabricados. Tienes que contratar a algún maestro que sí lo haya hecho, que le pueda enseñar a los demás trabajadores ese sistema. Y al inicio va a ser un poco lento. Al inicio tal vez no se refleje la diferencia o el beneficio en productividad que debería tener un prefabricado, pero la curva de aprendizaje hace que, conforme van avanzando la obra, los niveles o las etapas del proyecto, van haciéndolo repetitivamente, entonces, lo hacen mucho más rápido. Entonces, la productividad se ve luego del inicio de la obra, cuando ya tienen un ritmo de trabajo. Ya lo hicieron varias veces los obreros, entonces ya avanzan rápido, pero al inicio sí es complicado romper esa inercia.

ENTREVISTADO 4:

En proyectos donde nos pedían fabricar elementos grandes, los cuales no son comerciales, ha sido un reto grande pero que se pudo concretar. También hemos tenido problemas por falla estructural porque omitieron una columna. Esto lo omitió alguien del equipo del constructor y cuando mandaron a fabricar las prelosas, cuando llegaron a obra, estas no calzaban en el proyecto. Esto representó una pérdida enorme para la constructora. Entonces, uno de los principales retos en cuanto a productividad es

preparar los planos de manera correcta para que no ocurran inconvenientes más adelante, lo cual retrasa la obra y afecta a la productividad de la misma.

- **Métrica 6: Seguridad**

¿Ha habido preocupaciones significativas de seguridad en proyectos de construcción prefabricada?

ENTREVISTADO 1:

Bueno, claro que sí. En seguridad, la prelosa, específicamente, hablando para prelosa, es que la obra tiene que tener torres grúas porque por el peso te condicionas a usar la torre grúa. Y si tienes torre grúa, tienes que tener riggers, tienes que tener todo el equipo de los PDR, el personal para seguridad y la gente también ya está entrenada, ya tienen las áreas liberadas. Peligro no creería, pero sí hay un proceso de las áreas de liberación que, obviamente, el personal obrero tiene que estar concientizado y bueno, generalmente es gente que ya conoce el trabajo y hay una preparación diaria por estas partidas que se van a desarrollar en el transcurso de las semanas en la obra cuando tienen sus charlas de cinco minutos antes del inicio de jornada. Obviamente se capacita al personal. Hay que darle sus inducciones, se capacita. Eso también es importante.

ENTREVISTADO 2:

No, porque normalmente la referencia es el tema de la mano de obra. Si estamos hablando de seguridad contra riesgos, seguridad para riesgos de accidentes que afecte a las personas, se reduce porque utilizan menos mano de obra que en un proceso convencional. Y si hablamos de seguridad por accidentes causados en la maniobra de estos elementos, bueno, ya esos son casos aislados porque va a depender mucho cómo se izan, cómo se transportan de una cota cero a un piso cinco o un piso doce, en fin. Entonces, es difícil establecer un criterio general, pero yo creo que los comentarios siempre son positivos porque hay menos mano de obra que emplear.

El prefabricado te ayuda en la medida que lo sepas usar bien, desde cómo dar las especificaciones para solicitarlo hasta montarlo en obra. En el caso de las viguetas, por ejemplo, las viguetas tienen distintas luces con distintas resistencias. Si tú lo que quieres es tener los puntales más separados, entonces pides una vigueta de una mayor resistencia que te permite cubrir luces sin apoyo más grandes. Entonces, todos esos criterios tienen que compartirse adecuadamente, o sea, tiene que haber una supervisión adecuada. Y para que haya una supervisión adecuada, el que va a supervisar, sea el maestro de obra o el capataz o el ingeniero de campo directamente, tiene que ser debidamente capacitado.

ENTREVISTADO 3:

Sí había preocupaciones de seguridad tanto de la instalación como de la parte estructural. La preocupación de repente sería el caso de las viguetas pretensadas porque tú sabes que las viguetas pretensadas están sometidas a preesfuerzo. Entonces, si se te fisura, se te rompe alguna de ellas en la manipulación durante la obra, ya no funciona. Para el caso de prelosas sí hay que tener mucho cuidado porque son izadas y ocupan grandes áreas. Entonces, ahí se tiene que tener mucho cuidado de que no haya nadie debajo de este elemento que están izando. También el camión que tiene las prelosas debe estar ubicado adecuadamente para que no se esfuerce demasiado la grúa y que los paños tengan el peso adecuado para que no supere la capacidad máxima de la grúa. Ese tipo de cuidados podría ser.

ENTREVISTADO 4:

La maniobra de la grúa es muy importante cuando montas elementos prefabricados en la construcción. Imagina que estas grúas son como las manos gigantes que levantan y acomodan esos pedazos pesados en su lugar. Si no se hace bien, puede ocurrir un accidente grave. Un movimiento brusco o una mala posición al dejar caer esas piezas

pueden causar accidentes graves, desde que se dañen las estructuras hasta lastimar a quienes trabajan ahí. Así que, asegurarse de tener gente bien entrenada, seguir las reglas al pie de la letra y considerar el clima, es clave para que todo salga bien y seguro. Por otro lado, si el tralicho se desprende es daño estructural. Es por eso que es necesario que los prefabricados sean de calidad.

- **Métrica 7: Desafíos y limitaciones**

¿Puede describir los desafíos principales que ha enfrentado al trabajar en proyectos que utilizan prefabricados?

ENTREVISTADO 1:

El desafío sería que en la postventa el cliente final no esté reclamando porque es muy visible la junta o haya alguna fisura. Entonces el desafío es hacer este proceso de manera correcta y adecuada con un buen control de calidad para que el usuario final, que es el que te ha comprado el departamento, se sienta satisfecho. Ese es realmente creo que el desafío. Porque ya como productor en los últimos cinco u ocho años la prelosa se viene usando ya masivamente, igual que las viguetas pretensadas donde ya se tiene cierta experiencia en el tema. Lo clave es que la programación esté bien pensada. Que ese planning lo hayan hecho adecuadamente y tomando en cuenta las restricciones que se tienen semanalmente o diariamente y que el personal esté capacitado, concientizado de que realmente quieren hacer las cosas bien. Pero todo parte de la programación de la obra y de la planificación.

ENTREVISTADO 2:

Lo principal es el tema de la logística. Segundo, que a veces no hay competencia entre ellos mismos, es decir, yo he visto viguetas prefabricadas, pero unas son pretensadas y las otras son prefabricadas con concreto convencional. En el mercado, solo conozco pocas empresas que ofrecen prelosas. Entonces, si un proveedor te

incumple y tú miras a los costados, no hay muchas opciones de donde escoger. Yo creo que ese es el principal problema. Además, si no sabes manipular elementos el costo puede ser altísimo porque dañan un elemento prefabricado. Por ejemplo, una prelosa que ya viene pretensada no puedes picarla en cualquier lado porque la dañan y vas a tener que cambiarla.

Actualmente la tendencia es gestionar proyectos cada vez con más frecuencia bajo la metodología BIM, que con un LOD alto de 400 o de 500 uno puede modelar elementos que tranquilamente podrían ser prefabricados y después llegar solamente a ser montados. Pero vamos camino a eso. Yo creo que tiene que empujar el sector privado, pero también las universidades.

ENTREVISTADO 3:

Uno de los desafíos es convencer a la inmobiliaria de hacer el cambio a prelosas porque cuando firman un contrato, dicen que lo tienen que hacer de acuerdo a las especificaciones del proyecto y este generalmente está diseñado con un sistema tradicional. Entonces, ese es el primer desafío. Resistencia al cambio en otras palabras.

Yo creo que la construcción se puede optimizar aún más, pero creo que se puede optimizar en algunas cosas y en algunas cosas no. Por ejemplo, he visto que en centros comerciales y supermercados ya traen incluso las columnas y las vigas de concreto armado prefabricadas. Y es como un Lego. Lo arman con torre grúa, cosa que no creo que sea muy aplicable en multifamiliares donde las dimensiones de las columnas, de las placas, son muy variadas de proyecto a proyecto. Entonces, por ese lado no lo veo muy prefabricable a este tipo de elementos. Pero sí veo prefabricable a las losas. Ahí sí ayuda bastante el tema de prelosas.

ENTREVISTADO 4:

Han habido temas de coordinación en ciertos proyectos, pero eso es algo que se resuelve en obra. También, existen ciertos ingenieros corruptos que se inventan partidas en construcciones con prefabricados para provecho de ellos. Por ejemplo, una vez un ingeniero residente mandó a tarrajear las prelosas cuando estas no se tarrajeaban. Otros, por querer ahorrar costos, les termina saliendo más cara. Por ejemplo, una vez un ingeniero construyó una viga chata en una prelosa por su cuenta porque no quería que lo hagamos nosotros. Al final le terminó saliendo más caro.



ANEXO B

“Grupo 2: Ingenieros expertos aplicando BIM en construcciones que utilizan prefabricados”

- **Métrica 1: Conciencia y disposición hacia BIM**

¿Cuál es el nivel de capacidad BIM en el que se encuentra su empresa?

ENTREVISTADO 5:

A nivel de construcción de edificaciones, si bien es cierto el uso de la filosofía quiere hacerse cada vez más protagonista, todavía el uso se basa simplemente en el desarrollo de un modelo. Es decir, se queda en el 3D. Por ahí, en casos muy aislados puedes llegar a meterle tiempo y hacer una planificación con el uso del modelo como tal. Particularmente, yo no he trabajado en ningún proyecto hasta el momento que pueda llegar al 4D. El 3D, el modelamiento, es lo básico y es lo que se está solicitando ahora último sobre todo cuando trabajas con el estado, pero son muy pocas las empresas que realmente tienden a llegar a ese nivel de desarrollo del BIM porque la construcción tiene un alto índice de variabilidad y ese alto índice de variabilidad aun no es absorbido por el recurso que se necesita para poder llegar a un detallado tal con estas herramientas que pues absorba los sobrecostos o absorba los impactos que puedas tener si es que no la usas.

Por otro lado, tampoco es que haya una conciencia de uso de estas herramientas. No es que todos los profesionales que estamos en construcción tengamos la filosofía puesta sobre la mesa y sobre todo aquellos que toman decisiones de cara a los costos. Entonces es muy común que se minimice lo más que se pueda el uso de estos profesionales, equipos o softwares porque aún no se le ve la utilidad completa. BIM va por un marco un poquito más amplio, es un paradigma todavía. La gente que puede decidir invertir para poder desarrollar esto, no termina de convencerse de que sea una

ayuda como tal, sobre todo porque no conoce al cien por ciento los beneficios. Digamos que cuando nuestra generación empiece a llegar un poco más hacia arriba, probablemente ya lo tengamos claro. Esta es una herramienta que sirve, funciona y sobre todo se puede desarrollar considerando la inclusión de un presupuesto asociado a ello. El colocar una herramienta BIM en un proyecto de construcción es costoso porque los profesionales que necesita para que se pueda desarrollar al ritmo de la edificación y que no sea una herramienta de visualización de trabajo, cuesta. La edificación siempre se hace con el presupuesto y plazo ajustado, entonces el profesional, el equipo y los softwares es algo que hoy por hoy es una traba. Si hablamos de la conciencia de la empresa como tal, tanto de la empresa en la que estoy como la gran mayoría de empresas que se dedican a la construcción de grandes edificaciones, están en un 3D intermedio queriendo acceder a un 4D muy básico.

ENTREVISTADO 6:

Actualmente me encuentro laborando en una empresa multinacional que desarrolla bastante las tecnologías e innovaciones. En estos últimos proyectos estamos en una etapa más madura de colaboración BIM. El modelo tiene más complementos, mayor información, mayor alcance e incluso tiene un nivel de detalle descriptivo. Es decir, cada elemento del modelo digital tiene información técnica, fichas técnicas, especificaciones e incluso un poco del detalle de mantenimiento y operación de los equipos. Además, tenemos un entorno común de datos. Todo se centraliza en el modelo. Todos los planos salen del modelo. Es más, el último proyecto en el que he participado fue con un contrato colaborativo de gobierno a gobierno y era un proyecto fast-track, es decir, se hace el diseño y la ejecución en paralelo. En ese proyecto, se usó BIM desde la concepción.

ENTREVISTADO 7:

Nosotros trabajamos en una oficina técnica dentro de la unidad de negocio que manejamos de productos industriales de concreto. Manejamos Tekla como herramienta BIM y tenemos dos profesionales capacitados para el uso de la herramienta, entonces todos nuestros productos están en nuestra librería. Tenemos una librería por cada uno de los elementos que fabricamos. Pero la limitante más que nuestra capacidad de respuesta está dada por la capacidad de los clientes para el uso de BIM. Realmente nosotros solamente usamos BIM con las principales constructoras que son las que utilizan BIM. Dentro de la poca demanda que hay en el mercado por BIM, nosotros lo usamos y podemos responder cuando el proyecto requiere el uso de BIM, tenemos la capacidad de hacerlo. Nos encontramos en un nivel 2 de BIM.

ENTREVISTADO 8:

En capacidad BIM, nosotros tenemos BIM por la tecnología de modelado 3D con información y creo que tenemos el nivel más alto de modelado BIM que pueda haber ahorita utilizando los softwares del mercado. Podemos hacer todos los tipos de BIM, un nivel para trabajar a nivel conceptual, un BIM para industrializar, un BIM para mantenimiento y operación. Nosotros podemos hacer cualquier tipo de modelado pero el nivel lo va a requerir el cliente que nos contrata.

- **Métrica 2: Tiempo**

¿Cuánto tiempo se ha reducido en comparación con proyectos de construcción tradicionales al utilizar BIM en combinación con elementos prefabricados?

ENTREVISTADO 5:

Tengo un estudio que realicé el año pasado con un software de información, software que viene a estar relacionado a la filosofía BIM. No es de modelado, pero sí es un software de tecnología de información aplicado a la construcción, que te permite

gestionar la obra de una forma más colaborativa y optimizar ciertos procesos. En ese estudio yo encontré el tiempo para los procesos operativos porque fue aplicado netamente a lo que es operación. No lo aplicamos a procura, ingeniería, logística. Lo aplicamos a operación neta. Los tiempos que se utilizaron con el uso de este software que fueron 5 meses de uso fueron más o menos de un 30-35%, hablando de toda la operación que había, de cara a gestión. Gestión me refiero al tiempo que tú como profesional usas para poder ejecutar tu labor, la comunicación con los stakeholders, el hecho de que te puedas ahorrar tiempo en generar una documentación o una actualización o envío de una información hacia otra área. Todo ello indica un ahorro de tiempo. El ahorro inclusive de una impresión de planos. Esos son los resultados cuantitativos. De los resultados cualitativos, se puede hablar de muchas cosas. De cara a la empresa, una mejor imagen en el mercado. De cara al cliente, una mejor imagen hacia la empresa. De cara hacia los profesionales, pueden encontrar mejores herramientas para hacer sus cosas. De cara a los trabajadores con los que estás construyendo, suben un peldaño más porque ya puedes delegar más cosas a más gente sin necesidad de estar tanto tiempo.

ENTREVISTADO 6:

Mira, he trabajado en la construcción de hospitales. Por ejemplo, en 2014 participé en un proyecto hospitalario, pero no usamos la metodología BIM y resulta que el hecho de construirlo significaba todo un reto porque un hospital tiene las instalaciones mucho más complejas. No es como hacer una vivienda multifamiliar. Hay muchas más instalaciones, más sistemas y ejecutarlo del plano y volcarlo a la realidad, implica todo un reto porque no se diferencia exactamente las interferencias que puedas tener con las demás instalaciones. Y finalmente cuando ya tienes todo modulado, tienes todo prefabricado y tratas de instalarlo es ahí donde tienes los problemas. Las piezas

que quizás tú las trajiste prefabricadas ya no las puedes usar por estas incompatibilidades. Sin embargo, en estos últimos proyectos en los que he podido participar, en la empresa en la que estoy actualmente, sí se pudo ver desde la etapa de la concepción, desde el diseño, todas las interferencias. Desde el modelo digital hacen toda la modulación de tal manera que te calce para que sea ejecutable. Entonces, cambias la modulación e inmediatamente mandas a la fabricación de piezas.

ENTREVISTADO 7:

En nuestro caso particular, el BIM nos sirve para reducir horas hombre de oficina técnica. Si antes para la lectura de un plano y modulado se tomaban 14 horas de trabajo, ahora se están tomando entre 9 y 10 horas de trabajo. Es una reducción importante, casi el 40% de horas hombre en la oficina. Trabajamos de la mano con el diseñador y el constructor en la etapa de planeamiento y traslado del producto a prefabricado. Generalmente, los elementos de los proyectos son desarrollados en sistemas tradicionales con encofrados, puntales y elementos normales en obra. Se necesita una validación y revisión con el estructural y el cliente para hacer un cambio a prefabricado, ya sea en elementos para techos o en elementos estructurales como vigas, etc. Esta integración generalmente se realiza entre las tres partes. Usualmente el cliente lo que hace es abrir la puerta y el contacto para el calculista. Realmente la interacción más directa y más constante es el calculista con nosotros para llegar con los cálculos realizados y la modulación transformada y los resultados de cálculo a un producto similar a lo que sería un producto realizado in situ. El BIM nos ayuda usualmente cuando las tres partes usan la tecnología es mucho más sencillo el lenguaje y la interacción porque es una plataforma única donde todo se puede modular y se va viendo los cambios y transformaciones que está teniendo el proyecto.

ENTREVISTADO 8:

Sí, se ha reducido el tiempo. Lo que nosotros hemos estimado en su momento es que a la hora de usar BIM para hacer ingeniería podemos reducir un 30% de la entrega de ingeniería de detalle estructural. Las evidencias de reducción en construcción solo son por usar prefabricados. Se puede reducir 20-30% el tiempo de ejecución del casco estructural por utilizar prefabricado estructural. Normalmente un prefabricado estructural se puede hacer con BIM o sin BIM. No quiere decir que el BIM genera el ahorro de tiempo en construcción. El prefabricado es el genera el ahorro de tiempo en construcción y BIM genera el ahorro de tiempo en ingeniería.

- **Métrica 3: Costos**

¿Puede proporcionar ejemplos de cómo BIM ha contribuido a reducir costos en proyectos de prefabricados?

ENTREVISTADO 5:

Los prefabricados que usamos normalmente en la construcción son las prelosas. Es lo más común. Las previgas depende del proyecto y de la configuración estructural, pero la prelosas si es un poco más común usarlas. La aplicación de estas herramientas para poder optimizar el uso de las prelosas te da primero una facilidad para evitar hacer retrabajos, el tener ubicado los pases y la posición de las cosas antes de hacer la fabricación de la prelosa te ahorra muchísimo costo porque no hay necesidad de hacer ajustes en obra, huecos, perforaciones y porque no hay necesidad de hacer modificaciones que, en planta, desde la fábrica, lo podrías hacer.

La disposición logística del uso de las prelosas adecuadamente para que cuando lleguen al proyecto esten cargadas desde la primera que vas a utilizar arriba hasta la última que vas a usar abajo, de acuerdo a una sectorización o a un ritmo de trabajo, también te ahorra tiempos en uso de recursos de obra. Luego, de cara a la revisión del

elemento, donde está posicionada la prelosa, tener un registro o mapeo de que prelosa has colocado en qué sitio. Esto es importante porque a veces es necesario tener una cierta trazabilidad, por temas de calidad, sanitarios o lo que fuese. Entonces, tienes un ahorro por temas de operación como tal, procura y gestión de proyectos o gestión de la calidad.

ENTREVISTADO 6:

Definitivamente. Por ejemplo, yo participé en el Museo Nacional del Perú, con la empresa con la que trabajo actualmente y se moduló incluso el acero. Es decir, todo el acero fue prefabricado. Se traía todo en bloque y únicamente se montaba in situ. En algunos casos, las columnas ya venían pre ensambladas desde fábrica. Las traían tal cual, únicamente para levantarlas y posicionarlas y tienes un ahorro tremendo de mano de obra, dado que si tuvieras varillas enteras y un banco de acero con un equipo de fierros tienes una cantidad muy grande de personal dentro de obra y ocupas mucho espacio y lo que uno busca es reducir los espacios porque no te permite fácilmente ejecutar el proyecto. Lo ideal es que no tengas un almacenaje y uno de los principios de Lean es disminuir los inventarios.

ENTREVISTADO 7:

Bueno, desde el punto de vista del trabajo nuestro con fabricación nos ha servido mucho más para las horas hombre en oficina técnica y el resultado de entrega de planos, pero la puesta en marcha del elemento lo ve el constructor. Además, también ahorramos tiempo y costo por la generación automática de planos de modulación de despiece generados por el BIM. Utilizamos Revit y Tekla.

ENTREVISTADO 8:

Sí, se podría decir que sí, sí tengo evidencias de que el uso de tecnología BIM permite reducir costos en prefabricados de concreto o prearmados de acero por la

facilidad de presentar los esquemas para fabricación, lo que evita errores. Antes era muy tedioso la ingeniería y se ha reducido la mano de obra de ingeniería. Lo que pasa es que nosotros trabajamos en prefabricados, en armaduras y prácticamente hemos comenzado con BIM. Entendemos de que hubiera sido más difícil la ingeniería y también hubiera requerido más recursos técnicos en el taller para poder interpretar la ingeniería que no es con BIM, pero no tenemos un número exacto. Lo que tengo es la reducción de tiempo de ingeniería, la reducción de tiempo de construcción y en el taller se podría estimar de una de una reducción de mano de obra por usar BIM pero no tengo el número exacto de ese ahorro en el taller.

- **Métrica 4: Calidad**

¿Cómo ha mejorado la calidad de la construcción al usar BIM y elementos prefabricados? ¿Se han reducido los errores y defectos en la obra?

ENTREVISTADO 5:

Si, contar con un modelo anticipado ayuda a visualizar mejor y ayuda a tomar decisiones anticipadas. Pero lograrlo es bastante complejo por la cantidad de recursos que se requiere. En la mayoría de casos tienes que empezar a construir un proyecto y a medida que construyes, lo empiezas a modelar y los que modelan muchas veces no tienen las capacidades técnicas como para poder adelantarse, como para tomar decisiones, para ver normativas en función a desarrollo de tuberías, ductos, tomar decisiones de cara a arquitectura. Entonces, se vuelve toda una gestión densa de diseño donde se tiene que tener profesionales de diseño para todas las especialidades para poder hacer un modelo y que este modelo sea correcto y que no tenga problemas normativos ni de compatibilidades. Y esto cuesta mucho. De hecho, hace poco estuve en un proyecto donde había 27 modeladores y aun así ese proyecto no podía estar a la par con la construcción. Ese proyecto es un caso aislado porque el que un proyecto de

construcción pueda llegar a tener el presupuesto para tener 27 modeladores en obra es muy raro. Pero esto se hizo para poder hacerlo como se debería, osea hacer el modelo primero y luego construirlo. Se hizo el intento, se puso ese recurso, pero no se llegó.

Por otro lado, en cuanto a errores, las interferencias no son en sí con la prelosa, las interferencias son con las especialidades. El modelamiento de la prelosa es sencillísimo. El problema está en cuadrar todos los elementos de instalaciones que pasan por la prelosa para que cuando esté en fabricación, las prelosas tengan el hueco donde debería tener. Si, tuvimos problemas con las instalaciones y la prelosa porque tenías un modelo de prelosa hoy día pero mañana no era ese modelo, porque cambiaba otra cosa o porque había una actualización. Los proyectos que te hablo son proyectos fast-track también. Tiene esa particularidad. BIM debió haber evitado esos errores, pero nuevamente llegamos al punto de la cantidad de recursos necesarios para que se llegue en el momento que se debería. Esa cantidad de recursos necesaria se dispara en función al recurso que se requiere para otras cosas. A pesar de que tu quieras innovar, el cliente no te paga por eso porque aún no se ha visto los beneficios que pueda tener este desarrollo y hoy por hoy, muchos clientes prefieren ahorrarse esos soles y tener un producto más barato a poder invertir en un staff de profesionales que le den un modelo final.

ENTREVISTADO 6:

En realidad, al igual que en una industria como es la automotriz, se reduce la mano de obra y todo es automatizado. Las eficiencias son exponenciales, pero en el rubro de la construcción aún seguimos usando un modelo arcaico pero lo que se apunta en eficiencia es justamente usar prefabricados y hacer la automatización de procesos. Cuanto más prefabricados uses, ayuda y mejora los rendimientos y las eficiencias en el flujo del proceso.

ENTREVISTADO 7:

En mi punto de vista, son dos temas completamente distintos. El BIM en los proyectos que se usa ha logrado optimizar procesos, principalmente basado en que tú tienes una pre concepción correcta del proyecto y puedes comenzar a avanzar con el mismo de manera más segura y más precisa. Yo creo que eso es el gran aporte que genera el BIM. Tu tienes una idea ya completa de lo que vas a tener en obra de manera previa y puedes ir avanzando según esas modulaciones y también los cambios que se generan o que se necesitan hacer por interferencias o por problemáticas estructurales es mucho más fácil resolverlas. Por otro lado, el impacto de un prefabricado en las obras es un tema complementario. Yo puedo tener un impacto muy positivo en obras prefabricando sin utilizar BIM. La dificultad está en cómo llegó a la fabricación del elemento prefabricado, pero no estoy condicionado al uso del BIM ni al impacto del BIM. El prefabricado como tal tiene un impacto complementario.

El ideal de la industria 4.0 es que yo módulo en BIM, diseño todo el proyecto y además usó elementos prefabricados, pero yo puedo tener elementos muy bien elaborados en BIM que se construyen de manera tradicional. Entonces, son elementos que no necesariamente van encadenados y que más bien son complementarios. Yo puedo llegar a un nivel alto, medio o bajo de industrialización que dependen de las herramientas que yo use y de los complementos a estas herramientas para poder tener un proyecto más exitoso pero no hay una relación directa BIM-prefabricado-ahorro porque cada uno puede tener impactos independientes.

ENTREVISTADO 8:

Yo creo que sí, el uso de prefabricados como prearmados y prefabricados de concreto ha reducido los errores en la obra. El control de calidad, por ejemplo, se hace antes de la ejecución del montaje del elemento. Yo creo que el uso de BIM y el proceso

que tiene la empresa con sus socios permite obras de mayor calidad. Pero cuánto más calidad no te podría decir porque no tengo una métrica ya que tampoco tenemos el dato de cuánto se equivocaban antes. Es complejo dar un número así.

- **Métrica 5: Productividad**

¿Cómo ha cambiado la productividad de los trabajadores de la construcción al utilizar BIM y elementos prefabricados? ¿Se necesitan menos trabajadores o se realizan tareas más eficientemente?

ENTREVISTADO 5:

Menos trabajadores no se requieren porque definitivamente la construcción es una industria de manufactura, no es una industria automatizada, no es una fábrica y hasta no industrializarla como tal que creo que todavía falta mucho, la cantidad de mano de obra va a seguir manteniéndose igual. Para lo que son trabajos en planta, yo creo que sí hay cierto ahorro de mano de obra al tener sistemas automatizados donde solo tienen control de calidad y las personas que limpian todo el sistema productivo pero todo el sistema de producción está en máquinas automatizadas. Pero si puede hacer el trabajo más eficientemente, desde el hecho que tu puedas detectar el error con anticipación y tener el error levantado hace que el trabajo de construcción sea más eficiente. Y lo que te comente hace un momento, el personal técnico también lo optimizas, entonces puedes abarcar más cosas y eso contribuye al entregable, osea, acortar plazos del entregable.

ENTREVISTADO 6:

Sí, te ponía el ejemplo del Museo Nacional donde teníamos prefabricados de acero. Ya no tendrías personal en un banco de acero habilitando el acero para el armado y la colocación. Obviamos todos esos pasos y lo único que hacíamos era montar. Esto es algo que se podría expandir en todo el Perú y es algo que todas las empresas grandes hacen. La tendencia actual es esta: uso de gran medida de los prefabricados. En estos

proyectos hemos usado Dallux, Revizto, que son visualizadores y te permiten alimentar al modelo de información. Por ejemplo, tienes un equipo como un televisor y lo tienes modulado. Seleccionas el televisor en el modelo y tienes todas las características que tiene ese ítem e incluso puedes llegar a ver qué tiempo necesita mantenimiento. Por ejemplo, en el hospital que construimos los equipos médicos tienen esa información. En el hospital que construimos habían más de 7000 equipos médicos y el modelo te puede alertar que equipo médico necesita mantenimiento el siguiente mes. Eso es un gran beneficio y económicamente hablando, implementar un equipo BIM, si bien es cierto te eleva los costos y el personal tiene que ser más capacitado, el beneficio se ve al final por la reducción de interferencias, evitar los retrabajos, la rapidez en la ejecución del proyecto. Además, los costos de los trabajos mal ejecutados se reducirían. Ahí está el costo de la no calidad. Es decir, presentar un producto que no cumple con los requisitos del cliente.

ENTREVISTADO 7:

Por ahora el enfoque está en que se logra hacer más con la misma gente. Es decir, se aumenta la productividad de las personas. No enfocado en el ahorro de gente, más enfocado en lograr resultados de más procesos y más horas realizadas. Para nosotros es una herramienta de uso obligatorio porque dependemos del BIM para cumplir con los tiempos de proyectos por la cantidad de obras que manejamos en el día a día. Sin el BIM hoy en día con el número de gente que tenemos no podríamos atender todos los proyectos que tenemos. Nosotros manejamos al mes unas 160 obras o 170 obras que utilizan distintos elementos prefabricados.

ENTREVISTADO 8:

Sí, en un prefabricado, reduces personal en obra, las horas hombres. En trabajos de armadura estamos hablando de una reducción de 40% de las horas hombres y en total

en una edificación, por ejemplo, se podría decir que el usar pre-vigas, pre-losas, elementos pre-armados puede reducir un 20-30% la cantidad de personal de obra. Tenemos un Kiosko BIM y también tenemos una aplicación de realidad aumentada que le permite a los trabajadores visualizar antes de hacer el prearmado.

Ahora estamos utilizando herramientas de inteligencia artificial para, por ejemplo, optimizar la cantidad de camiones que salen de la planta de Pisco con prearmados para poder configurar esos camiones de la forma más óptima y reducir la cantidad de viajes que tuvimos de Pisco. Eso vengo trabajando ahorita con todo el equipo. Además, estamos trabajando en desarrollos para una empresa europea haciendo realidad aumentada con reconocimiento de medidas de los objetos y estructuras. Además, también hacemos automatizaciones múltiples en BIM utilizando la API de Revit, de Tekla, de Google, de Microsoft para tener cada vez más automatizaciones modeladas y más tiempo de gestión, y menos tiempo de modelado

- **Métrica 6: Seguridad**

¿Cómo afecta BIM a la seguridad en el sitio de construcción en proyectos de prefabricados?

ENTREVISTADO 5:

Mira, en el Museo Nacional de Perú hicimos una simulación del proceso constructivo de un techo metálico. En realidad, este servicio estaba tercerizado. Era un video bastante interesante ya que montamos todo el proceso. Esta simulación fue de utilidad porque cuando tenemos consideraciones delicadas como la estructura metálica donde se trabaja a milímetros, y si estás hablando de luces de más de 36 metros, que era lo que teníamos ahí en ese momento, es perder 36 metros en milímetros. Es un grado de precisión muy fino. Entonces, para lograr esos trabajos, necesitas, obviamente, apoyar la tecnología. Y si no hubiera sido por el uso de las herramientas en 3D, probablemente

nos hubiéramos demorado muchísimo más. O hubiera sido un poco más artesanal la ejecución. Se hubiera tenido que medir topográficamente, luego traer una viga, y luego traer otra, y se hubiera demorado muchísimo la ejecución. El personal también veía la simulación y entendía lo que iba a hacer. Y eso ayudó, pues, a que tomara su precaución en las cosas. Incluso el área de SSOMA también se benefició de esta simulación ya que pudo armar su plan de seguridad.

ENTREVISTADO 6:

Sí, este modelo digital tiene varios niveles y uno de esos niveles es que puedes planificar la ejecución del proyecto en BIM. Puedes posicionar la cantidad de grúas que vas a necesitar y la cantidad de bombas a usar, ya sean estacionarias, tipo pluma u otros. Incluso puedes simular la cantidad de viajes, la cantidad de mixers y grúas y las alturas. Esto ayuda al entendimiento del proyecto y por lo tanto puede influir en la disminución de accidentes.

ENTREVISTADO 7:

Hacemos capacitaciones. No somos responsables de la instalación, pero colaboramos con las explicaciones de uso de nuestros elementos y capacitamos a la gente de obra que va a ser usuario. Usualmente la interacción del elemento dentro del modelo y las condiciones de seguridad como el punto óptimo de la grúa, cantidad de gente disponible para el proceso, ubicación de los equipos de transporte para que el izaje sea óptimo. Todos esos elementos son un desarrollo BIM que lo realiza la constructora. Nosotros simplemente alimentamos esa modulación con información particular que se requiere pero no somos los generadores de esos temas porque van netamente amarrados a procesos productivos de obra. Ellos son los que definen esas condiciones y esos alcances que son importantes y que sin ninguna duda el BIM te da una idea mucho más clara de todos esos procesos.

ENTREVISTADO 8:

Bueno, los prefabricados creo que son elementos mucho más seguros al tener menos trabajo y menos gente. No es BIM, sino el prefabricado. En todos nuestros proyectos realizamos simulaciones constructivas para presentar la solución y que se pueda hacer el trabajo de manera óptima. Hacemos la simulación en 4D mediante un video con secuencias, luego lo mostramos a través de Trimble Connect y explicamos a través de una reunión. Tal vez BIM pueda influir en la seguridad del proyecto ya que se mejora el entendimiento del mismo, pero no veo una relación tan directa respecto a este tema.

- **Métrica 7: Desafíos y limitaciones**

¿Qué desafíos y limitaciones ha percibido al implementar BIM en construcciones prefabricadas?

ENTREVISTADO 5:

Para empezar, siempre vas a encontrar un rechazo inicial de la mayor gente. Es muy común que la mayor cantidad de personas tenga cierto rechazo. Uno, porque no tienen tiempo. No tienen tiempo para hacer más cosas más allá del trabajo. Con los que trabajamos en construcción siempre estamos con el tiempo apretado. Entonces, al no tener tiempo para poder siquiera concluir mis actividades del día, menos voy a tener tiempo para poder aprender a usar algo que no tengo claro qué resultados voy a tener. Entonces, esa es la primera limitación. La siguiente es el costo. Te dije al inicio de la conversación que el aplicar cualquiera de estas cosas el costo es fuerte, ya sea por el profesional, ya sea por la gente que vas a capacitar, los equipos de alta gama y los softwares que también son caros. Otra limitación que puedo encontrar es que hay muy poca difusión de los resultados que se puedan tener. No es que cuando entres al mercado profesional vayas a encontrarte con mucha gente que está ligada, relacionada a

las tecnologías de este tipo. De hecho, es totalmente lo contrario. La mayor cantidad de profesionales todavía no está acostumbrado a eso.

ENTREVISTADO 6:

Desafíos hasta ahora hay. Una de ellas es la resistencia al cambio. Depende mucho de la línea de mando, de la alta dirección. Muchos de ellos no creen o no están convencidos de que estas herramientas pueden sumar al proyecto y pueden obtener eficiencias, reducir plazos y costos. Como siempre han ejecutado los proyectos sin BIM, existe cierta resistencia al cambio. Otra desventaja es que BIM eleva mucho los costos y aparte tienes que tener personal calificado para hacer un entorno BIM y si el presupuesto es muy reducido, seguro que no vas a tener soporte. Es por eso que en proyectos pequeños no es tan difundida la metodología BIM. Sin embargo, en proyectos más grandes se utiliza más.

ENTREVISTADO 7:

No solamente en construcciones prefabricadas sino en general. El problema está en la falta de uso de este tipo de herramientas de manera masiva. Nosotros atendemos entre 600 a 800 obras por mes y de esas no más del 5% usarán BIM o algún tipo de tecnología para sus procesos. Entonces, te das cuenta de una diversidad de 600 a 800 obras, que solamente 20 o 30, y tal vez estoy exagerando en cantidad, usen algún tipo de tecnología digital o elemento de modulación para desarrollar sus proyectos muestra el nivel de incipiencia que tenemos. Y esa es una limitante. La construcción es una industria que se hace igual hace 100 años. Somos el sector económico que menos desarrollo ha tenido en los últimos 100 años. Recién ahora se está hablando de robotizar procesos en las edificaciones, de modulaciones, del uso de elementos digitales, etc. Recién ahora estamos permitiendo una invasión masiva de este tipo de tecnologías, pero sigue siendo una cosa que muchas constructoras, por no decir la gran mayoría, ven

ajeno. Lo ven distante, lo cual dificulta su masificación.

En Europa es una realidad todo el tema de modulación y prefabricación, principalmente obligados por la necesidad. Necesitas industrializar procesos porque el clima es más agresivo y por lo tanto necesita evolucionar con tu proyecto y para esto tienes que usar tecnología, ya sea prefabricado o digitalizando tus procesos o sumando ambas cosas. La mano de obra también es mucho más costosa y por lo tanto necesitas robotizar procesos. Pero, si nos vamos al caso de Latinoamérica, mientras tengamos una mano de obra tan económica y proyectos donde el costo es tan importante, va a ser muy difícil industrializar procesos. Hoy en día, las constructoras ganan las obras por costos baratos y no por expertiz técnico. Esto hace difícil que la gente invierta en tecnología porque no todos tienen el colchón económico ni la capacidad de hacerlo.

Cabe resaltar que la prefabricación se puede utilizar en cualquier construcción que tenga elementos repetitivos. No puedo tener una construcción donde tengo 30 modelos de sardineles o 50 modelos de muros o 70 modelos de vigas diferentes porque la prefabricación se hace inviable. La prefabricación funciona cuando tu logras estandarizar y cuando logras tener elementos que sean repetitivos en tu proyecto o en varios proyectos. Hoy en día, es impensable construir un techo de cualquier edificación en Lima si no es prefabricado. Si en Lima tu techo no es prefabricado, estás siendo constructivamente ineficiente. Tienes alternativas como las prelosas con tralicho, las prelosas pretensadas, las viguetas con tralicho, las viguetas pretensadas. Aún estamos muy lejos de crearle a las columnas prefabricadas y los cimientos prefabricados porque hay mucha preocupación de los estructurales sobre el comportamiento sísmico.

Finalmente, aunque haya esfuerzos de normas normadas o estándar, las normas siguen siendo prácticas de buen uso pero aún falta ampliar un poco el espectro de elementos industriales a usar y segundo, falta una estandarización de manuales técnicos

de obra. Elementos como un sardinel que es un prefabricado completamente estándar y hoy en día, la municipalidad A diseña el sardinel de 40 de alto, la municipalidad B de 38 de alto, la municipalidad C de 45, y entonces cada uno empieza generar sus propios estándares de construcción. Entonces, para lograr industrializar cualquier elemento es importante lograr una uniformidad, no necesariamente una exactitud, pero sí una variabilidad mínima pero controlada a todo nivel. Eso en Perú no lo tenemos, tenemos demasiadas entidades públicas que interactúan de manera muy independiente.

ENTREVISTADO 8:

Bueno, un primer desafío es que los clientes a veces no entienden que para prefabricar se requiere una mayor precisión y creo que si eso se entendiera más, los clientes desde el inicio usarían BIM. Este BIM debe tener mucho más detalle para poder prefabricar. No se entiende muy bien esa precisión porque se está acostumbrado a que el prefabricado sea hecho de manera manual, pero las empresas de prefabricados ya están trabajando en tener robots o equipos automatizados que no va a permitir trabajar con modelos sin precisión o sin BIM por ejemplo. Entonces eso ha costado un poco de entender porque piensan que se puede cambiar y al final es un reproceso el hacer esos cambios cuando ya tienes un prefabricado en marcha y simplemente en vez de ellos tener cuidado de trabajar antes estas compatibilizaciones o modificaciones creen que el proveedor debería ser más flexible, pero si tú prefabricas no puede ser tan flexible porque ya tienes que comprar el material, entra el robot a fabricar, ya está fabricado y cómo vas a estar cambiando. Muchas veces el problema es que los clientes no cierran su ingeniería y quieren prefabricado y hacen que los prefabricadores trabajen con planos que luego van a ser modificados y le echan a culpa al proveedor que no tiene flexibilidad cuando en realidad el que no ha tenido la previsión de hacer la compatibilización ha sido el constructor.

Por otro lado, necesitamos una integración temprana para que sea viable el prefabricado. Y esos tiempos de ingeniería anticipada de colaboración tienen que estar súper claros para todos si quieren industrializar. Si no, no se puede industrializar si tienen los mismos tiempos de construcción tradicionales. Los proyectos deberían cerrarse mucho antes, definirse mucho antes y una vez que esté todo definido, recién comenzar a construir. Pero no, acá mientras se está cerrando la ingeniería, ya hay prefabricadores que están trabajando y eso es un error.

