

Universidad de Lima
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Civil



**IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA VIRTUAL
DESIGN AND CONSTRUCTION PARA LA GESTIÓN DE
SISTEMAS DE ELEMENTOS PREFABRICADOS EN LA
EJECUCIÓN DEL CASCO ESTRUCTURAL DE UN
PROYECTO MULTIFAMILIAR EN LIMA, PERÚ**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Guevara Arce, Jaime Sebastian

Código 20172198

Gutierrez Diaz, Santiago Milton

Código 20172201

Asesor

Ing. Jose Roberto Salinas Saavedra

Co-Asesor

Ing. Javier Alfredo Guillen Cerna

Lima – Perú

Agosto de 2024



**IMPLEMENTATION OF THE VIRTUAL DESIGN
AND CONSTRUCTION METHODOLOGY FOR
THE MANAGEMENT OF PREFABRICATED
ELEMENT SYSTEMS IN THE EXECUTION OF
THE STRUCTURAL SHELL OF A
MULTIFAMILY PROJECT IN LIMA, PERU**

TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
INDICE DE ANEXOS	11
RESUMEN.....	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN.....	14
1. Planteamiento del problema.....	14
2. Pregunta de Investigación	15
3. Justificación.....	15
4. Delimitación del estudio	16
5. Objetivos	16
5.1. Objetivo principal	16
5.2. Objetivos específicos	16
6. Hipótesis.....	17
7. Alcances y limitaciones de la investigación	17
7.1. Alcances:.....	17
7.2. Limitaciones:.....	17
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	18
1. Virtual Design and Construction (VDC)	18
1.1. Integrated Concurrent Engineering (ICE)	20

1.2. Building Information Modeling (BIM)	22
1.3. Project Production Management (PPM) - Last Planner System	24
1.4. Factores controlables de la metodología VDC.....	25
2. Sistema constructivo con elementos prefabricados	26
2.1. Antecedentes en el Perú	26
2.2. Concepto de prefabricados.....	26
2.2.1. Prelosas	27
2.2.2. Previgas	28
3. Last Planner System.....	30
Restricciones según el Last Planner System	31
CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE	32
1. BIM	32
2. VDC	33
3. ICE	34
4. PPM.....	34
5. Gestión para la prefabricación	35
6. System Last Planner.....	36
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	37
1. Enfoque de Investigación.....	37
2. Explicación del procedimiento aplicado en el proyecto multifamiliar	37
2.1. Recolección de datos.....	41
CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA VDC EN UN PROYECTO MULTIFAMILIAR.....	43

1. Sobre el Proyecto Multifamiliar.....	43
1.1. Descripción y alcances del proyecto.....	43
2. Metodología VDC en el proyecto multifamiliar.....	45
2.1. Integrated Concurrent Engineering (ICE).....	46
2.2. Building Information Modeling (BIM).....	47
2.3. Project Production Management (PPM).....	48
CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA VDC EN EL PROYECTO MULTIFAMILIAR.....	50
1. Resultados de las métricas del marco VDC.....	50
1.1. Métricas BIM.....	50
1.2. Métricas ICE.....	63
1.3. Métrica PPM.....	66
2.1. Rendimiento de campo vs rendimiento del presupuesto meta de la partida de encofrado.....	70
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES.....	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
ANEXOS.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Esquema del “Marco VDC” con sus componentes BIM, ICE y PPM.	18
Figura 1. 2 Pilares para el control de los objetivos del marco VDC.	19
Figura 1. 3 Métricas de la producción controlable de una obra.	25
Figura 1. 3 Contrucción de cerco perimétrico con plaquetas prefabricadas.	26
Figura 1. 5 Cuatro puntos de izaje para la descarga de prelosas en obra, Lima, Perú. .	27
Figura 1. 6 Tren de trabajo en encofrado de losa con el montaje de prelosas en obra, Lima, Perú.	28
Figura 1. 7 Prefabricación de previgas en la planta de la empresa Betondecken, Lima, Perú.	29
Figura 3. 1 Etapas básicas del método de investigación cuantitativo aplicado en el proyecto.	39
Figura 3. 2 Flujograma de control del índice de producción del componente PPM implementando VDC y elementos prefabricados..	4040
Figura 3. 3 Flujo del proceso de recopilación de información mediante el tareo en obra.	42
Figura 4. 1 Mapa de la ubicación del proyecto ubicado en el distrito de San Isidro, Lima, Perú.	43
Figura 4. 2 Distribución de frentes de trabajo según casco estructural.	44
Figura 4. 3 Renderizado del jardín interno del proyecto multifamiliar.	44
Figura 4. 4 Implementación del marco VDC en la obra multifamiliar.	45
Figura 5. 1 Especialidades modeladas en BIM según el nivel de detalle (LOD.	51
Figura 5. 2 Resumen de observaciones por tipo según la compatibilización de estructuras.	52
Figura 5. 3 Incompatibilidad entre estructuras y arquitectura por altura mínima de tránsito de 2.10m.	52
Figura 5. 4 Resumen de observaciones por tipo según la compatibilización de sanitarias.	53

Figura 5. 5 Interferencias entre las especialidades de instalaciones sanitarias, mecánicas y estructuras.	54
Figura 5. 6 Resumen de observaciones por tipo según la compatibilización de mecánicas.	54
Figura 5. 7 Interferencias entre las especialidades de mecánicas y ACI.	55
Figura 5. 8 Resumen de observaciones por tipo según la compatibilización de eléctricas.	55
Figura 5. 9 Interferencias entre las especialidades de eléctricas y sanitarias.	56
Figura 5. 10 Resultado de las incompatibilidades e interferencias con BIM.	56
Figura 5. 11 Sectorización del edificio en Torres “A” y “B” de 05 y 04 sectores respectivamente.	58
Figura 5. 12 Modelo BIM de la 4ta iteración de la sectorización de los elementos verticales y las previgas.	61
Figura 5. 13 Modelo BIM de la 4ta iteración de la sectorización de prelosas del proyecto.	61
Figura 5. 14 Porcentaje de variabilidad del metrados de los elementos horizontales de la Torre “A”.	62
Figura 5. 15 Porcentaje de variabilidad del metrados de los elementos horizontales de la Torre “B”.	62
Figura 5. 16 Inicio de la sesión ICE para la sectorización del casco estructural	63
Figura 5. 17 Desarrollo de sesiones ICE para la sectorización del casco estructural	64
Figura 5. 18 Control del factor controlable de asistencia a las sesiones ICE semanalmente.	64
Figura 5. 19 Control del porcentaje de restricciones identificadas semanalmente en cada sesión.	65
Figura 5. 20 Comparación de índices de vaciados diarios planificados vs reales de la “Torre A”	66
Figura 5. 21 Comparación de índices de vaciados diarios planificados vs reales de la “Torre B”.	67

Figura 5. 22 Proyecto mixto ubicada en el distrito de Miraflores, Lima, Perú..... 69

Figura 5. 23 Medición de la mano de obra durante todas las semanas de duración de la etapa de casco del proyecto mixto ubicado en Miraflores. 69

Figura 5. 24 Rendimiento real vs rendimiento del presupuesto meta. 71



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1	<i>Preguntas frecuentes para el desarrollo de métricas</i>	19
Tabla 4. 1	<i>Objetivos, métricas y factores controlables del componente ICE</i>	46
Tabla 4. 2	<i>Objetivos, métricas y factores controlables del componente BIM</i>	47
Tabla 4. 3	<i>Objetivos, métricas y factores controlables del componente PPM</i>	48
Tabla 5. 1	<i>Lista de especialidades modeladas en BIM</i>	50
Tabla 5. 2	<i>Lista de subespecialidades modeladas en BIM</i>	51
Tabla 5. 3	<i>Variabilidad de metrados en Torre “A”, primera iteración</i>	58
Tabla 5. 4	<i>Variabilidad de metrados en Torre “B”, primera iteración</i>	59
Tabla 5. 5	<i>Cuarta iteración de metrados obtenidos del modelo BIM en Torre “A”</i>	59
Tabla 5. 6	<i>Cuarta iteración de metrados obtenidos del modelo BIM en Torre “B”</i>	60
Tabla 5. 7	<i>Análisis de causa raíz para identificación de problemas semanales</i>	67
Tabla 5. 8	<i>Rendimiento hh/m² en la partida de carpintería</i>	71

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tareo de mano de obra del proyectos multifamiliar. **¡Error! Marcador no definido.**

Anexo 2. Plan maestro del proyectos multifamiliar..... 81

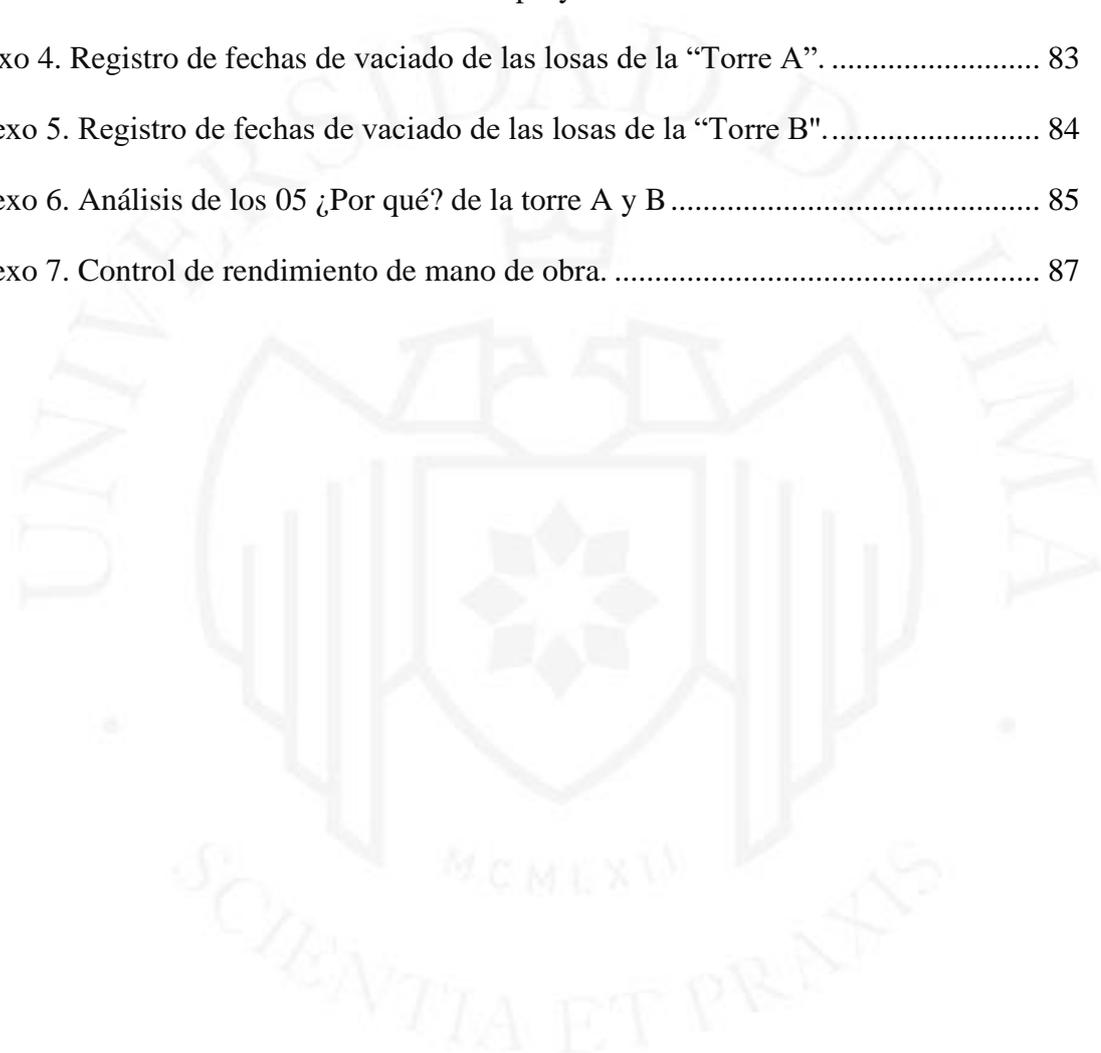
Anexo 3. Panel del Marco VDC en obra del proyecto multifamiliar..... 82

Anexo 4. Registro de fechas de vaciado de las losas de la “Torre A”..... 83

Anexo 5. Registro de fechas de vaciado de las losas de la “Torre B”..... 84

Anexo 6. Análisis de los 05 ¿Por qué? de la torre A y B..... 85

Anexo 7. Control de rendimiento de mano de obra. 87



RESUMEN

Desde hace algunos años, la inclusión de prefabricados viene siendo más usual en los proyectos de construcción en el Perú y el mundo, sin embargo, la falta de gestión colaborativa al aplicar este tipo de elementos de alto rendimiento puede ocasionar un quiebre en el flujo continuo de ejecución en obra de los proyectos. El objetivo de la presente tesis se centra en analizar el impacto que genera la metodología *Virtual Design and Construction* (VDC) en la gestión del sistema de prefabricados de los elementos estructurales como vigas y losas, con el fin de lograr optimizar tiempos y costos en la ejecución del casco estructural de un proyecto multifamiliar en Lima, Perú. De este modo se planteó el empleo de herramientas BIM para la gestión del planeamiento y optimización de flujos de trabajo para la implementación de los elementos prefabricados; el uso del componente PPM para medir y controlar el rendimiento de la mano de obra, el índice de producción semanal; y de la mano del involucramiento de todos los agentes claves de cada especialidad mediante las sesiones ICE. Al realizar la gestión de la planificación de elementos prefabricados mediante dicha metodología colaborativa, VDC, se comparó el rendimiento obtenido en campo con el rendimiento del presupuesto meta, obteniendo como resultado un ahorro en costos en partida encofrado del casco estructural de S/.273,657.79 representando un 14% con respecto al presupuesto meta. Asimismo, el tiempo de ejecución del casco estructural concluyó 04 semanas antes del plazo establecido con respecto al cronograma meta. Por otro lado, según el cronograma de campo, se obtuvo un retraso de 11 días. Dichos resultados serán explicados y discutidos en los siguientes capítulos de la presente investigación, con el fin de mostrar el impacto de la metodología VDC y las lecciones aprendidas de su aplicación en dicho proyecto.

Palabras clave: Virtual Design and Construction; Prefabricados de Concreto; Gestión Colaborativa; Construcción Industrializada; Gestión de Prefabricados; Prelosas; Previgas; Lean Construction, Last Planner System.

ABSTRACT

For some years, the inclusion of precast elements has become more common in construction projects in Peru and the world; however, the lack of collaborative management when applying this type of high performance elements can cause a break in the continuous flow of on-site execution of projects. The objective of this thesis focuses on analyzing the impact generated by the Virtual Design and Construction (VDC) methodology in the management of the prefabricated system of structural elements such as beams and slabs, in order to optimize time and costs in the execution of the structural shell of a multifamily project in Lima, Peru. Thus, the use of BIM tools was proposed for the management of planning and optimization of workflows for the implementation of precast elements; the use of the PPM component to measure and control the performance of labor, the weekly production rate; and the involvement of all the key agents of each specialty through ICE sessions. By managing the planning of prefabricated elements through this collaborative methodology, VDC, the performance obtained in the field was compared with the performance of the target budget, resulting in cost savings in the structural shell formwork of S/.273,657.79, representing 14% with respect to the target budget. Likewise, the execution time of the structural shell was completed 04 weeks ahead of schedule. On the other hand, according to the field schedule, there was a delay of 11 days. These results will be explained and discussed in the following chapters of this research, in order to show the impact of the VDC methodology and the lessons learned from its application in this project.

Keywords: Virtual Design and Construction; Prefabricated Concrete; Collaborative Management; Industrialized Construction; Prefabricated Management; Pre-slabs; anticipate; Lean Construction, Last Planner System.

INTRODUCCIÓN

1. Planteamiento del problema

En los últimos años muchos proyectos constructivos fueron entregados con un incremento en el presupuesto adicional y con mayor de retraso (Heravi & Meghdad , 2021). Así mismo se sabe que la productividad de la construcción ha sido rezagada en relación a otros sectores, dado que solo ha incrementado en 1% durante las últimas dos décadas, en comparación al crecimiento total de la economía en 2.7% (Almeida et al., 2022).

Ante esta problemática, se evidencia un impacto drástico en el crecimiento de la industria de la construcción en comparación con otras, debido a la escasa utilización de tecnología, ensamblajes, prefabricados e inteligencia artificial en esta industria. En Sudamérica, específicamente en Chile, se observa un escenario similar, donde la falta de sinergia entre la industria de la construcción y la tecnología se atribuye a pensamientos conservadores en las empresas constructoras (Tamai et al., 2020).

La construcción, de acuerdo con información del Ministerio de Vivienda, se posiciona como un pilar clave de la economía nacional, desempeñando un papel fundamental en la estimulación de la demanda interna y la generación de empleo (De la Vega, 2021). Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), en su más reciente "Informe Técnico de la Producción Nacional" correspondiente a febrero de 2021, el sector de la construcción experimentó un crecimiento del 14.32%, manteniendo una tendencia positiva en su tasa de crecimiento durante seis meses consecutivos. Este aumento se atribuye a la reactivación económica en el país, lo que ha generado una mayor competencia en el mercado inmobiliario con la necesidad de ofrecer productos con plazos más ajustados y precios más competitivos. No obstante, cumplir con estos requisitos se presenta como un desafío si se continúa con enfoques convencionales, procesos tradicionales y sistemas de planificación conservadores (Muñoz et al., 2020).

En este contexto, se evidencia la falta de tecnologías constructivas bajo una implementación colaborativa en la industria de la construcción, donde predomina el interés individualista sobre el trabajo conjunto (Zhijia & Lingjun, 2020).

Un ejemplo concreto es el proyecto "La Floresta VI" en Santiago de Surco, Lima, Perú, donde se implementaron losas prefabricadas, pero bajo una gestión tradicional. Aunque se logró un

aumento del 85% en la producción semanal en comparación con métodos tradicionales, también se registró un incremento del 24% en la reingeniería durante la etapa de construcción al no emplear métodos colaborativos en el diseño de los elementos prefabricados. En este proyecto, se evidenció la poca interacción entre los involucrados durante las etapas tempranas de ingeniería, causando un quiebre en el proceso de construcción (Calderón, 2020).

Este tipo de situaciones podrían evitarse mediante la implementación de la metodología colaborativa Virtual Design and Construction (VDC), que se basa en el uso de modelos tridimensionales integrados multidisciplinariamente. Esta metodología se enfoca en diseñar y gestionar todos los aspectos del proyecto de manera colaborativa, involucrando a todas las partes y trabajando bajo procesos optimizados gracias al Project Portfolio Management (PPM) y la filosofía Lean Construction (Almeida et al., 2022).

2. Pregunta de Investigación

¿Cuál es el impacto en tiempo y costos de la implementación de la metodología VDC en la aplicación de sistemas prefabricados durante la construcción del casco estructural de un proyecto multifamiliar ubicado en San Isidro, Lima, Perú?

3. Justificación

Según Minh et al. (2020) la industria de la construcción se caracteriza hoy en día por su gran variabilidad, siendo los proyectos de construcción inherentemente riesgosos y complejos. La complejidad se define como la interrelación de múltiples elementos distintos. Además, la industria enfrenta deficiencias, como sobrecostos y retrasos en los plazos de entrega del producto. Esto ha suscitado un interés común en buscar soluciones innovadoras para mejorar el sistema de gestión, optimizar procesos y minimizar las fuentes de residuos, al mismo tiempo que se aumenta el rendimiento del proceso de construcción (Johnson & Ipe, 2020).

Estudios han demostrado que, bajo el método de planificación tradicional, más del 50% de las tareas programadas no se llevan a cabo dentro del plazo establecido. Tomando como ejemplo a Estados Unidos, el Construction Industry Institute (CII) realizó estudios que estimaron que los costos de construcción están principalmente relacionados con residuos debido a la ineficiencia del sistema de gestión tradicional, que aún emplea métodos poco productivos y no se alinea con las nuevas tecnologías (Ramadan et al., 2023)

Es así como el empleo de prefabricados, brindará un aporte significativo que, según Mesía (2010), reduce considerablemente el tiempo de ejecución de la partida de encofrado de elementos horizontales, reduce el concreto vaciado in-situ logrando generar una obra más limpia. Además, puede reducir las emisiones de carbono en un 18%, ya que el refuerzo de acero de las prelosas se coloca con antelación en las plantas de prefabricación fuera del lugar de la obra. Esto se traduce en una reducción del tiempo de ejecución por sectores del proyecto, conllevando a una disminución del plazo total de ejecución del proyecto y mejorando su impacto ambiental (Zhou et al., 2023).

4. Delimitación del estudio

El análisis del presente estudio se trata específicamente en la etapa de construcción de un proyecto multifamiliar, ubicado en el distrito de San Isidro, Lima, Perú. La propuesta consiste en implementar la tecnología de elementos prefabricados, aplicando la gestión colaborativa VDC durante la ejecución de dicho proyecto. El objetivo es lograr controlar y avanzar en el proyecto utilizando métricas y factores controlables, respaldados por herramientas BIM. Esto implica el planeamiento, la gestión y el seguimiento colaborativo en las sesiones ICE, así como todos los controles de producción y la optimización de procesos mediante el componente PPM.

5. Objetivos

5.1. Objetivo principal

Implementar la metodología VDC para analizar el impacto en tiempo y costo de un sistema tradicional, cronograma y presupuesto meta respectivamente, empleando sistemas de previgas y prelosas durante la etapa de construcción del casco estructural de un proyecto multifamiliar ubicado en el distrito de San Isidro, Lima, Perú.

5.2. Objetivos específicos

- Desarrollar y controlar la implementación de la metodología VDC durante la etapa de casco estructural del proyecto construido bajo sistemas prefabricados como; prelosas y previgas.
- Controlar, analizar y comparar los índices de productividad por semana del proceso de encofrado empleando los sistemas prefabricados durante la ejecución en obra.
- Comparar en la etapa de casco los plazos de ejecución real empleando sistemas prefabricados vs el cronograma planificado tradicional.

6. Hipótesis

Empleando la metodología VDC durante la etapa de ejecución de casco estructural de un proyecto multifamiliar aplicando los sistemas prefabricados, como previgas y prelosas, se reducirán en un 10% el plazo del cronograma meta y de igual forma un ahorro en costos del presupuesto meta de la estructura del casco del proyecto.

7. Alcances y limitaciones de la investigación

7.1. Alcances:

- Se aplicará la implementación de la metodología VDC durante la etapa de construcción del casco estructural de un proyecto multifamiliar ubicado en el distrito de San Isidro, Lima, Perú.

7.2. Limitaciones:

- El principal factor crítico es la paralización del proyecto o que se atrase por motivos extraordinarios, por fuerza mayor u otro fuera del contexto y de las condiciones específicas fuera del proyecto. Esto al ser ajeno al alcance de la tesis perjudica el objetivo de optimizar los tiempos en construcción.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se expondrá sobre los aspectos teóricos, herramientas y ventajas de la metodología VDC, la filosofía Lean Construction y los elementos prefabricados, como son las previas y prelosas.

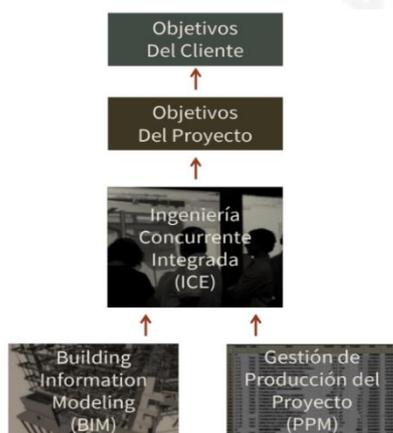
1. Virtual Design and Construction (VDC)

Es una metodología colaborativa de gestión de proyectos que nos permite lograr el éxito del proyecto cumpliendo los objetivos del cliente alineados a los objetivos del proyecto, en un enfoque colaborativo y participativo con todos los involucrados. Aslam et al. (2021), indican que “VDC ha abierto nuevas ventanas de posibilidades de la construcción a través de la integración multidisciplinar de sus procesos de diseño, visualización y automatización”. Esto de la mano de sus componentes: Building Information Modeling (BIM), Integrated Concurring Engineering (ICE) y Project Production Management (PPM).

Como se muestra en la Figura 1.1, esta metodología tiene como principal énfasis un marco VDC el cual fue desarrollada por el “CIFE” de la Universidad de Stanford en California, USA; con el que han logrado impartir y lograr buenos resultados en proyectos de construcción como el reducir y controlar costos y plazos.

Figura 1. 1

Esquema del “Marco VDC” con sus componentes BIM, ICE y PPM.



Nota: Adaptado de Center for Professional Development of University of Stanford, USA.

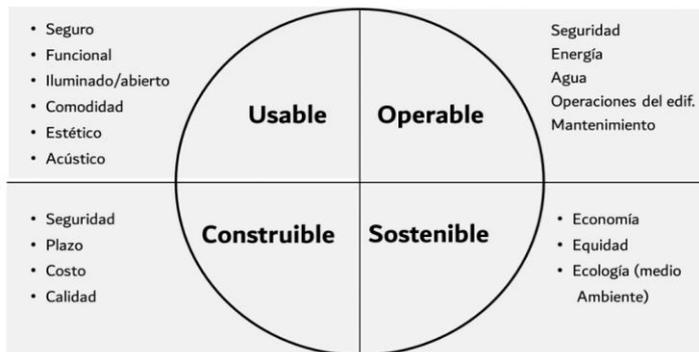
Dicho marco VDC se refuerza con los siguientes pilares: Integración de la información, la cual busca que todos los participantes del proyecto tengan acceso a la misma información, actualizada en tiempo real, gracias a modelos digitales facilitados por herramientas BIM;

Gestión de procesos, con el fin de estandarizar flujos de trabajo que permitan a los equipos colaborar de manera eficiente y coordinada; y las Métricas, las cuales se basan en la medición de los desempeños en el proyecto, con el fin de identificar oportunidades de mejora y tomar medidas correctivas (Almeida et al., 2022).

Ahondando más en el marco VCD se encuentran los objetivos de cada componente: Objetivos del cliente; Objetivos del Proyecto; Objetivos ICE; Objetivos BIM; Objetivos PPM. Para poder medir cada objetivo de manera óptima, deben estar incluidos en sus métricas los siguientes pilares de control de objetivos: Usable, Operable, Construible y Sostenible (Almeida et al., 2022).

Figura 1. 2

Pilares para el control de los objetivos del marco VDC.



Nota: Adaptado de Center for Professional Development of University of Stanford, USA.

El objetivo del proyecto debe alinearse con los objetivos del cliente, que pueden incluir hasta cuatro pilares: construible, sostenible, usable y operable. Cada uno de estos objetivos debe ser diseñado y definido según lo indicado en la Tabla 1.1. Dicha tabla debe contener la descripción del objetivo, cómo calcularlo mediante una fórmula, cuál es la meta que se quiere obtener, la frecuencia de medición, cómo se obtendrá la información y el uso de la métrica.

Tabla 1. 1

Preguntas frecuentes para el desarrollo de métricas

Información	Descripción
Descripción	¿Qué significa y por qué es importante alcanzar el objetivo?
Fórmula	¿Cómo se calcula?
Valor objetivo	¿Cuál es el valor del desempeño que se desea obtener?
Frecuencia	¿Con qué frecuencia se medirá y se calculará?
Fuente de Uso	¿Cómo se obtendrá la información?
Uso	¿Cómo se usará la métrica incluyendo quién y cuándo?

Nota: Adaptado de Center for Professional Development of University of Stanford, USA.

Una vez que se determina que los objetivos son claros, medibles, alcanzables, relevantes y temporales, estos deben ser monitoreados y controlados de forma regular para garantizar su respectivo cumplimiento. Esto se logra mediante reuniones periódicas, informes de progreso y revisiones de rendimiento con el fin de detectar qué procesos no están alineados con los objetivos, para así poder ejecutar un plan de acción, ya sea mediante la asignación de recursos adicionales o la modificación de los propios objetivos.

1.1. Integrated Concurrent Engineering (ICE)

El involucramiento de personas clave en espacios colaborativos visualizando, desarrollando y mejorando los procesos ingenieriles o como sus siglas en inglés “ICE” se traduciría literalmente al español: “Ingeniería Concurrente Integrada”, es uno de los componentes del marco VDC, permitiendo manejar equipos integrados mediante un entorno colaborativo (Díaz et al., 2019)

Según Álvarez y Millan (2021), un equipo al trabajar en un espacio físico por un periodo de tiempo significativo logra trabajar de manera eficiente en tiempo y toma de decisiones, a esto se le llama sesiones de ingeniería concurrente integrada (ICE), siendo un importante método de colaboración que se centra en la optimización del proceso de diseño en términos de tiempo, reemplazando algunos de los límites físicos y organizacionales por comunicación directa, siendo usado incluso en proyectos complejos donde se reúnen múltiples disciplinas, utilizando información integrada mediante una “red de conocimiento” donde cada involucrado donde encontrar cada información.

Teniendo en cuenta lo explicado anteriormente, para crear un equipo integrado capaz de colaborar de manera constante y eficiente, se debe crear espacios de colaboración, bien llamadas ICE, para solución de problemas y tomas de decisiones en cortos periodos de tiempo. Asimismo, se debe tener la información actualizada, rápida e integrada, mediante una red de conocimiento en lugar de trabajar en silos, perdiendo así información valiosa (Álvarez & Millán, 2021)

En esta línea Mughees et al. (2021) incluyeron otros componentes claves para las sesiones ICE; la visualización y la simulación son los principales mecanismos para conectar la información integrada con el equipo de diseño. La visualización permite a los miembros del equipo de proyecto y a las partes interesadas en el mismo ver las perspectivas de los demás a

través de visualizaciones en 3D, 4D y otras, para comprender el rendimiento del diseño de una instalación con respecto a las métricas de rendimiento deseadas, es decir, el valor de la instalación. Los principales mecanismos para garantizar que los equipos de proyecto lleven a cabo procesos integrados son la ubicación conjunta y la colaboración, también conocida como ingeniería concurrente integrada (ICE). Incluyendo Lean Production Management como el mecanismo más eficaz hoy en día para garantizar que los esfuerzos de cada miembro del equipo del proyecto contribuyan a una integración de la especialidad de instalaciones (Dua et al., 2023).

De acuerdo con Álvarez y Millán (2021) la Ingeniería Concurrente Integrada representa un enfoque que rompe con décadas de trabajo de manera aislada y reuniones ocasionales para informar sobre los problemas. ICE fusiona el análisis de ingeniería con la comunicación y la toma de decisiones en equipo para potenciar la eficiencia en los procesos. En una perspectiva similar, Tampio y Haapasalo (2022), presentan estos métodos como una manera de estructurar un equipo de diseño que posibilita la participación simultánea de diversas partes interesadas en proyectos integrados con notable rapidez.

Es por ello que algunas aplicaciones de las sesiones ICE son: la Integración; involucrando a todas las disciplinas con el fin de que los diferentes equipos trabajen juntos para identificar y resolver problemas de forma más efectiva; Simultaneidad, reuniendo a todos los involucrados para logra el trabajo en conjunto y así aprovechar las aportaciones de los demás; Enfoque basado en el riesgo; los involucrados deben centrarse en los riesgos potenciales del proyecto, con el fin de tomar medidas se solución en equipo, para así mitigar estos riesgos y evitar problemas en el futuro (Wang et al., 2023).

Se concluye que las sesiones de ICE son un enfoque colaborativo para el diseño y la construcción de proyectos que reúnen a partes interesadas de diferentes disciplinas para trabajar juntas en tiempo real. Son más efectivas cuando están bien planificadas y ejecutadas, ya que pueden ayudar a reducir los costos del proyecto, mejorar la calidad y acelerar los cronogramas (Vergara, 2020).

1.2. Building Information Modeling (BIM)

Para el VDC es una herramienta que emplea un modelo digital para representar un edificio o infraestructura. Este modelo contiene información de todos los aspectos del proyecto, desde el diseño hasta la construcción y el mantenimiento.

Inicialmente se tiene la definición y los usos BIM. Según Apaza y Anahua (2021) el sistema permite el modelado de información de edificios (BIM), los equipos pueden tomar decisiones tras analizar muchas opciones, y no sólo sobre la base de un pequeño puñado. BIM permite al equipo explorar rápida y sistemáticamente muchas iteraciones de diseño consistente. Esto quiere decir que BIM permite examinar de manera general los diseños opcionales de ingeniería de valor para cumplir con los objetivos del proyecto y cliente.

La herramienta BIM permite analizar de manera técnica, estética y óptima los objetivos del proyecto, donde la simulación es de los factores que alcanzan un nivel de entendimiento en un proyecto que aún no se ejecuta (Ibrahim et al., 2022).

Es una herramienta en la cual, según Hardin y Mccool (2022) ofrece una solución integral para la administración de proyectos de construcción a lo largo de su ciclo de vida. Representa el nuevo estándar tecnológico basado en la mejora continua de la gestión de los datos del proyecto. Asimismo, Apaza y Anahua (2021), señalan que la aplicación de tecnologías BIM durante las etapas de diseño y construcción previene errores de diseño al permitir la visualización y, por ende, la detección de conflictos, al recopilar información durante toda la vida útil del proyecto, facilitando el intercambio de datos y la interoperabilidad en formato digital.

Para Ibrahim et al. (2022), la metodología BIM involucra diversos componentes para crear y gestionar la información digital de un proyecto de construcción. Estos componentes son esenciales para la implementación efectiva de BIM y comprenden:

- **Modelado (3D):** Representa de manera gráfica todos los elementos del proyecto, como paredes, puertas, ventanas, estructuras, sistemas de HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado), y más.
- **Datos y Atributos:** BIM incluye datos y atributos específicos para cada elemento del modelo. Estos datos pueden incluir información sobre materiales, costos, propiedades físicas, vida útil, rendimiento energético, entre otros.

- **Tiempo (4D):** Se agrega un componente de tiempo al modelo, permitiendo la planificación y programación de la construcción en función del tiempo. Esto implica la creación de un cronograma de construcción virtual que se sincroniza con el modelo 3D para visualizar y optimizar la secuencia de construcción.
- **Costo (5D):** Incorpora información de costos al modelo BIM, lo que permite estimar y controlar los costos del proyecto en tiempo real. Esto facilita la toma de decisiones basadas en el presupuesto y la identificación de áreas donde se pueden ahorrar costos.
- **Sostenibilidad (6D):** Se incluyen datos relacionados con la sostenibilidad y el rendimiento ambiental de un edificio. Esto permite evaluar y mejorar la eficiencia energética y otros aspectos sostenibles durante el diseño y la construcción.
- **Operación y mantenimiento (7D):** Se enfoca en la gestión de edificios y activos a lo largo de su ciclo de vida. BIM se utiliza para mantener registros actualizados de mantenimiento, planificar renovaciones y gestionar activos de manera eficiente.
- **Simulaciones y Análisis:** Nos permite realizar una variedad de simulaciones y análisis; como análisis de energía, simulación de flujo de personas, análisis de estructuras, evaluación de seguridad, entre otros. Estas capacidades ayudan a optimizar el diseño y la toma de decisiones.

Estos elementos promueven y orientan los distintos "Usos BIM". La Universidad de Pensilvania define los "Usos BIM" como "un enfoque para aplicar el Modelado de Información de Construcción a lo largo del ciclo de vida de una instalación, con el fin de alcanzar uno o más objetivos específicos". Estos usos se pueden categorizar según su propósito y finalidad.

Según el propósito, los Usos BIM se dividen en:

- **Recopilar:** Recopilar datos sobre el estado actual de una construcción o infraestructura.
- **Generar:** Generar datos sobre el diseño, la construcción o las operaciones de una construcción o infraestructura.
- **Analizar:** Analizar datos sobre el diseño, la construcción o las operaciones de una construcción o infraestructura.
- **Comunicar:** Comunicar datos sobre el diseño, la construcción o las operaciones de una construcción o infraestructura.

Según el objetivo, los Usos BIM se dividen en:

- Mejorar la eficiencia: Mejorar la eficiencia de los procesos de diseño, construcción u operaciones.
- Reducir los riesgos: Reducir los riesgos asociados con el diseño, la construcción u operaciones.
- Mejorar la calidad: Mejorar la calidad del diseño, la construcción u operaciones.
- Aumentar la sostenibilidad: Aumentar la sostenibilidad del diseño, la construcción u operaciones.

Podemos concluir que BIM es mucho más que una herramienta de diseño o modelado tridimensional; es una forma integral de gestionar proyectos de construcción desde su concepción hasta la operación y el mantenimiento.

1.3. Project Production Management (PPM) - Last Planner System

“Project Production Management” o gestión de la producción de proyectos es un componente fundamental del marco VDC, el cual ayuda a optimizar la eficiencia de la producción, reducir riesgos de interferencias del flujo continuo de actividades y mejorar la calidad del producto final. El componente PPM en conexión con los demás componentes ayuda a los involucrados a generar un compromiso del ritmo que se está llevando en la producción. Por ejemplo, cuando se generan los compromisos de las reuniones de Plan de Fases explicando el tren de trabajo, las necesidades de obra y las futuras restricciones para así mantener un flujo continuo de la partida (Aslam et al., 2021).

Una de las herramientas más representativas de la filosofía Lean, es el “Last Planner System”. Según Heigermoser et al. (2019), “Last Planner” es una herramienta de gestión ágil y proactiva durante la construcción, separándose de algunos métodos tradicionales como el método del camino tardío que sólo permite una detección tardía de las desviaciones”. Asimismo, esta herramienta consigue aumentar la flexibilidad de la producción y la transparencia en todo el proceso, reduciendo la variabilidad y estableciendo una mejora continua.

En continuidad Mohammed et al. (2023), indican que el sistema de control de producción “Last Planner” se utiliza desde hace varios años. Se hace hincapié en la relación entre la programación y el control de producción; así como, en la técnica de la programación por fases para especificar los traspasos que constituyen los focos de control de “Last Planner”.

1.4. Factores controlables de la metodología VDC

Los factores controlables de la metodología VDC son aquellos aspectos que pueden ser influenciados, gestionados y modificados por los participantes para mejorar los resultados y rendimientos del proyecto. Según Almeida et al. (2022), estos factores son métricas de producción recomendadas basadas en información anecdótica de los primeros profesionales de VDC, ya que componen actividades que se pueden medir y utilizar para juzgar qué tan adecuadas son las decisiones que se han tomado teniendo aspectos que pueden responder a un concepto técnico como organizacional.

Figura 1. 3

Métricas de la producción controlable de una obra.

Métricas de producción de la literatura	
1	Cumplimiento del cronograma detallado
2	Latencia de decisión
3	Efectividad de la reunión
4	Latencia de la respuesta
5	Participación de las partes interesadas
6	Cumplimiento de costos detallados
7	Solicitudes de información generadas en el campo
8	Volumen de retrabajo
9	Entrega de material de campo
10	Eficiencia de las reuniones
11	Adecuación de la agenda de la reunión
12	Coherencia en la coordinación BIM
13	Conformidad con la estimación presupuestaria
14	Satisfacción del cliente
15	Seguridad
16	Visualización
17	Causas fundamentales de la desviación del plan

Note: Recuperado de la revista Aplica. Ciencia

De ello se puede concluir que la identificación y control de los factores controlables de la metodología VDC es fundamental para lograr los objetivos del proyecto. Al identificar los

factores que pueden ser mejorados, los participantes pueden tomar las medidas necesarias para optimizar los resultados del proyecto (Almeida et al., 2022).

2. Sistema constructivo con elementos prefabricados

2.1. Antecedentes en el Perú

La técnica constructiva que implica el empleo de elementos prefabricados es ampliamente adoptada a nivel global, siendo especialmente prevalente en Estados Unidos y Europa debido a su capacidad para agilizar diversos procedimientos durante el proceso constructivo. En el caso del Perú, la utilización de elementos prefabricados se remonta a la década de 1950, evidenciándose a través del uso de bloques de concreto, como los de Parva-Domus, en proyectos de construcción, así como la aplicación de plaquetas para muros y techos, como se ilustra en la Figura 1.4.

Figura 1. 4

Construcción de cerco perimétrico con plaquetas prefabricadas.



Nota: Fuente, PREFAC, Prefabricados de concreto, 2010.

Estos métodos de construcción no convencionales debieron recibir la aprobación y autorización del Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO). Este organismo asumió las funciones previamente desempeñadas por el Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda (ININVI) según lo establecido en el Decreto Supremo N°08-95 MTC.

2.2. Concepto de prefabricados

La prefabricación implica la fabricación de elementos constructivos en el lugar o fuera de él, con el objetivo de lograr una construcción masiva que sea rápida, eficiente, de calidad y económica. Este enfoque incorpora la organización, limpieza y precisión inherentes a los procesos industriales en la ejecución de las obras, lo que contribuye a mejorar el control de aspectos críticos como la mano de obra, el rendimiento y la generación de desperdicios. Según

Lewicki, la prefabricación se refiere a la producción de elementos fuera de su ubicación definitiva, abarcando aquellos que, en la construcción convencional, se fabrican in-situ. (Tavares et al., 2021).

Dentro de los elementos prefabricados más usados en la industria de la construcción peruana por las empresas fabricantes de estos productos podemos mencionar las siguientes:

2.2.1. Prelosas

Según UNICON (2020) estos componentes prefabricados se constituyen mediante una sección de superficie plana junto con nervios longitudinales fabricados en concreto pretensado. Este diseño posibilita la obtención de un elemento con elevada rigidez y resistencia a la deformación, lo cual satisface los criterios de resistencia estructural que lo clasifican como una losa. Las prelosas se entregan como panel semiacabado, se monta en el lugar de la obra apuntalado y apoyado en los encofrados de las vigas, para posteriormente ser relleno in situ con hormigón o concreto. Posee una serie de puntos de izaje y se instalan como se muestra en la Figura 1.5.

Figura 1. 5

Cuatro puntos de izaje para la descarga de prelosas en obra, Lima, Perú.



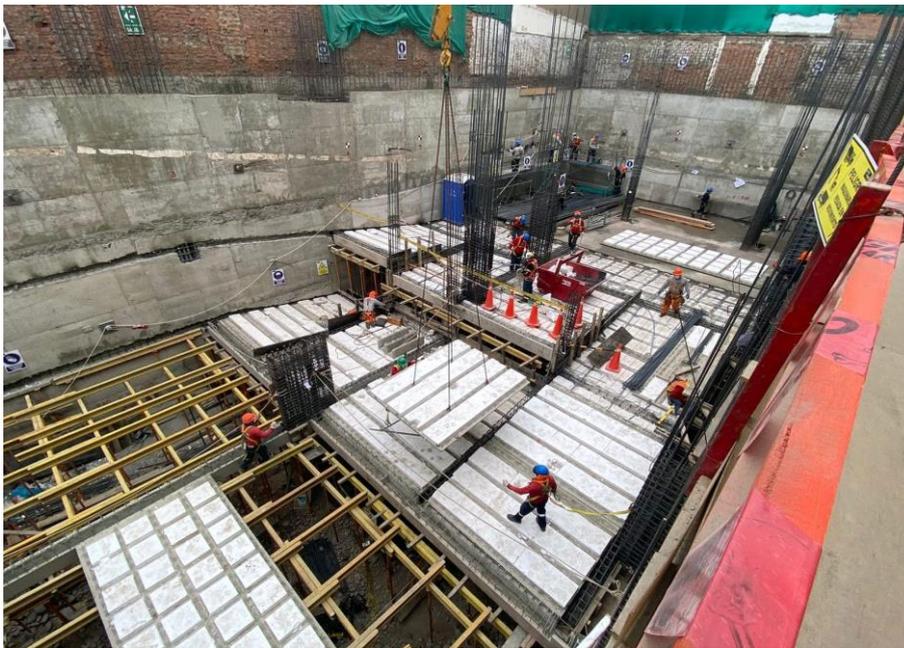
Nota: Fuente de la empresa de prefabricados Betondecken, 2022.

La contribución fundamental de este sistema radica en la disminución de los plazos de ejecución asociados con las tareas de encofrado de losa, la disposición y elevación del acero,

así como la instalación de sistemas eléctricos y sanitarios. Este impacto positivo se percibe especialmente en las áreas de trabajo que quedan disponibles prácticamente de inmediato una vez finalizada la instalación de cada segmento de las prelosas (Dua et al., 2023), como se evidencia en el montaje de prelosas de la Figura 1.6.

Figura 1. 6

Tren de trabajo en encofrado de losa con el montaje de prelosas en obra, Lima, Perú.



Nota: Fuente de la empresa de prefabricados Betondecken, 2022.

La cantidad de desperdicio de concreto y acero que este sistema ahorra es también de consideración, y un punto clave es la calidad que es garantizada por el proceso y diseños de mezcla realizados en planta (Dua et al., 2023).

2.2.2. Previgas

Al mismo modo que las prelosas, las previgas, según UNICON (2020), son elementos estructurales elaborados por separado, inicialmente en un lugar distinto al de su posición final, para luego ser llevados a obra, montados e instalados. Este método permite prescindir del encofrado en la parte inferior de la losa y de la instalación del acero positivo en losas aligeradas. Este enfoque no solo conlleva una disminución en los costos asociados, sino que también incrementa la eficiencia de la mano de obra involucrada en todo el conjunto de actividades. Además, se logra una reducción en las cantidades de acero y concreto por metro cuadrado de superficie, lo cual permite paneles de mayores dimensiones con una menor altura y, sobre todo, una mejora en la calidad al someter estos elementos a un proceso industrializado.

En la Figura 1.7 se muestra el proceso de prefabricación de previgas en planta de la empresa Betondecken, de la ciudad de Lima.

Figura 1. 7

Prefabricación de previgas en la planta de la empresa Betondecken, Lima, Perú.



Nota: Fuente de la empresa de prefabricados Betondecken, 2022.

En términos generales los elementos prefabricados son un sistema constructivo de innovación tecnológica en el campo de la construcción que beneficia considerablemente al proceso constructivo (Qiu et al., 2023). Según una de las empresas proveedoras de estos elementos y reconocida en la industria de la construcción peruana actualmente, Betondecken, comentan que algunas de las ventajas de los prefabricados son las siguientes:

- ❖ Se disminuye la cantidad de concreto vertido en el lugar, lo que resulta en actividades de construcción más ordenadas.
- ❖ La aplicación de revestimiento en el techo es eliminada y sustituida por un tratamiento de juntas.
- ❖ Se logra una optimización en la labor, tanto en términos de horas hombre como de materiales propios del proceso de encofrado, al requerir únicamente apuntalamiento en la base. Además, se observa una reducción en la necesidad de mano de obra para el encofrado de techos.
- ❖ Se genera un menor desperdicio de concreto en el sitio de construcción.

3. Last Planner System

El Last Planner System (LPS) o Sistema del Último Planificador es una metodología de planificación y control de la producción para proyectos de construcción que ayuda a controlar el cumplimiento de las actividades y el uso de los recursos de manera eficiente, impulsando la productividad, así como la fiabilidad de la planificación (Limenih et al., 2022).

Se basa en la filosofía Lean Construction, que busca eliminar los desperdicios en la construcción. El desperdicio se define como cualquier actividad que no agrega valor al producto final. El LPS se enfoca en reducir la incertidumbre y la variabilidad en el flujo de trabajo, lo que ayuda a eliminar los desperdicios, siendo una estrategia de recopilación y procesamiento de información técnica y económica que permite finalizar una tarea optimizando los procesos. (Abusalem, 2022).

Es una herramienta que ha incrementado su adopción en la industria de la construcción, puesto que a medida que la arquitectura y la ingeniería de construcción se van mejorando los procesos influenciados por tecnologías los cuales repercuten sobre los procesos de una obra (Boje et al., 2020). Esta herramienta ha sido utilizada como una solución debido a los grandes despilfarros y problemas que evitan el crecimiento de la industria.

El LPS tiene cuatro pilares fundamentales (Pons & Rubio, 2019):

- **Planificación colaborativa:** Los trabajadores de la construcción participan activamente en el proceso de planificación. Esto ayuda a garantizar que el plan sea realista y factible.
- **Aprobación de la capacidad:** Los trabajadores de la construcción aprueban el plan antes de su implementación. Esto ayuda a garantizar que los trabajadores tengan los recursos necesarios para completar el trabajo.
- **Replanificación diaria:** Los trabajadores de la construcción se reúnen diariamente para revisar el plan y realizar los ajustes necesarios. Esto ayuda a garantizar que el trabajo se realice de manera fluida y eficiente.
- **Construcción sin pérdidas:** Los trabajadores de la construcción se centran en eliminar los desperdicios en el proceso de construcción.

El sistema de planificación Last Planner se basa en principios de compromiso. Basado en que los últimos planificadores analizan el porcentaje del cumplimiento de sus compromisos con la programación semanal, permitiendo identificar las restricciones que puede haber para de la

misma manera solucionarlas. Sabiendo que la industria tiene un porcentaje de variabilidad alto, este sistema de planificación colaborativa genera un flujo continuo y aprendizaje rápido para reducir la variabilidad, asimismo, que todos los involucrados tengan como objetivo el éxito del proyecto, o sea cumplir los objetivos del cliente en un marco VDC (Salazar et al., 2020).

Restricciones según el Last Planner System

En el Last Planner System (LPS), una restricción es cualquier factor que impida que una actividad planificada se lleve a cabo. Las restricciones pueden ser de naturaleza física, administrativa, de información o de procedimiento. En este sentido, el LPS identifica y gestiona las restricciones a través de un proceso continuo de planificación y ejecución. En la fase de planificación, los planificadores identifican las restricciones que podrían impedir que el trabajo se realice según lo previsto. En la fase de ejecución, los planificadores trabajan con los equipos de trabajo para eliminar o mitigar las restricciones. (Salhab et al., 2021).

El LPS identifica cuatro tipos principales de restricciones en la construcción:

- Recursos: La falta de mano de obra, materiales, equipos o herramientas puede impedir que el trabajo se realice.
- Información: La falta de información precisa y oportuna puede dificultar la planificación y ejecución del trabajo.
- Procedimientos: Los procedimientos ineficientes o inadecuados pueden ralentizar el trabajo.
- Condiciones: Las condiciones climáticas, el terreno o el acceso al sitio pueden dificultar el trabajo.

Se puede concluir que el LPS ayuda a las empresas de construcción a identificar y gestionar las restricciones para que puedan completar los proyectos de manera más eficiente y rentable.

CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE

En la presente investigación se ha recopilado una variedad de estudios que han involucrado en su análisis los sistemas prefabricados de concreto en la construcción bajo la metodología VDC. Asimismo, se enfocará en investigaciones con enfoques en proyectos inmobiliarios, elementos prefabricados, BIM, ICE, PPM, VDC, gestión para la prefabricación, entre otros. Haciendo referencia a esto, tenemos distintos estudios respecto al tema central, sin embargo, algunos no tienen elementos prefabricados como tema central.

1. BIM

Cada día se hace más necesario el uso de modelados de información para la construcción de edificios, por lo que diversas empresas optan por usar la tecnología BIM debido a que con esta implementación se logra reducir el consumo energético en los edificios. En una investigación realizada en la facultad de ingeniería de la Universidad de Ciencias Aplicadas se aplicó BIM y BEM (Modelado energético en edificios) para mejorar la colaboración dentro de la industria de la construcción y la arquitectura. En su investigación presentan un análisis respecto a la integridad de transferencia de datos tales como el clima, geometría, materiales, cronograma, clima, obteniendo como resultados que los datos espaciales y geométricos logran transferirse correctamente desde Revit hacia DesignBuilder, por lo que concluyeron que los modelos BEM basados en BIM son herramientas confiables en el diseño de edificaciones sostenibles.

Por otro lado en Nigeria se realizó la implementación del modelador de información de construcción BIM en el ciclo de vida de un proyecto de construcción, dentro de su investigación analizaron las barreras que limitan la aplicación del BIM, obteniendo como resultados que los proyectos de construcción realizados en Nigeria presentan una baja eficiencia, sin embargo el BIM es un enfoque viable que podría mitigar la problemática relacionada con digitalización de procesos, construcción, visualización y productividad en los proyectos de edificación (Ibrahim et al., 2022).

En la última década, el modelado de información de construcción (BIM) se ha considerado cada vez más como una de las innovaciones más prometedoras para abordar los problemas de rendimiento que durante mucho tiempo han afectado a la industria de la construcción. En un reciente estudio elaborado en China, se identificó qué motiva el uso de la tecnología BIM. El artículo desarrolló un modelo para categorizar qué características encuentran los diseñadores

y contratistas en el BIM, que haga indispensable su uso en los proyectos de construcción, llegando a la conclusión en que las motivaciones de uso del BIM se relaciona con la capacidad organizacional y los beneficios económicos que conlleva el uso del mismo (Chan et al., 2019).

2. VDC

La industria de la construcción y la arquitectura se encuentra desarrollando herramientas VDC para mejorar la planificación, diseño y gestión de proyectos de construcción que presenten complejidades. BIM sólo proporciona los elementos de construcción de un modelo VDC y no incluye la interacción entre la construcción, la organización y el proceso de trabajo. Por otro lado, VDC alinea principalmente tecnologías novedosas basadas en BIM para repensar los procesos de trabajo para lograr la mayor eficiencia en el diseño y construcción de proyectos. Dentro de VDC, la gestión de producción de proyectos se utiliza para organizar y controlar las actividades laborales. En comparación con los métodos convencionales, este método de gestión aplica herramientas y técnicas típicamente utilizadas en la gestión industrial y de fabricación, en cada insumo de un proyecto (incluidos materiales, información, equipos y mano de obra) para optimizar el desempeño del proyecto y lograr la mejor calidad de trabajar con el mínimo coste y tiempo (Nabizadeh & Hossein, 2023).

Así mismo en Estados Unidos se realizó la implementación de VDC para la entrega de proyectos, debido a que esta tecnología permite la integración de procesos de construcción y diseño, así como la mejora de los mismos a través de la visualización. Las funcionalidades de VDC se exploran en función de sus cuatro componentes, en el componente de gestión de producción de proyectos (PPM) de VDC, el enfoque principal está en la organización y el control de las actividades laborales en un proyecto. Llegando a la conclusión de que parámetros como el trabajo en proceso, el rendimiento y el tiempo del ciclo se optimizan para mejorar el desempeño del proyecto. La visualización en tiempo real del diseño, los procesos y el estado actual del proyecto puede proporcionar una visión que garantiza el adecuado proceso constructivo (Aslam et al., 2021).

Por otro lado, en la Universidad de Lima se desarrolló un proyecto relacionado con el uso de VDC para ser implementado en un modelo de inteligencia artificial para la supervisión remota de una obra. El artículo se centró en aplicar una visión computacional que diera seguimiento a la cuadrilla y maquinaria de obra, así como el avance que estos tenían dentro del proyecto, el fin de aplicar VDC fue el de cumplir con los tiempos de entrega del proyecto e informarse respecto a la producción diaria, dentro de las herramientas del VDC implementadas, se pudo

concluir que con ICE se identificaron y resolvieron las interferencias encontradas en el proyecto, así mismo el BIM colaboró con el control de desarrollo en las etapas del proyecto y con PPM se midió el porcentaje de cumplimiento de actividades, de esta manera se identificaron las causas y posteriores soluciones para los retrasos en obra (Vergara, 2020).

3. ICE

En una investigación realizada en la ciudad de Grecia, se describió la entrega de proyectos de construcción mediante el uso de metodologías colaborativas, así mismo se detallaron los requisitos indispensables para la aplicación correcta del sistema, obteniendo como resultados que deben eliminarse los obstáculos a la colaboración, confiar en ella y retroalimentarla. El estudio detalla los procedimientos adoptados por los líderes del proyecto para fomentar la participación activa de todo el equipo en el establecimiento de la integración, en lugar de simplemente aplicar un conjunto predefinido de métodos y procesos. Se concluyó que las sesiones de Ingeniería Concurrente Integrada (ICE) desempeñaban un papel crucial en la reducción de los plazos asociados a la resolución de interferencias en comparación con las obras convencionales, gracias a la interacción y participación de todos los involucrados. (Dean et al., 2017).

Por otro lado, en una investigación realizada en la ciudad de Lima se evaluó la aplicación de la metodología VDC mediante el uso de la herramienta ICE y de la metodología BIM con la finalidad de mejorar la comunicación entre los equipos que conforman la ejecución de un proyecto. Obteniendo como resultados que con las sesiones ICE y la metodología BIM sí se mejora la comunicación, por lo que la productividad aumentaría en 5%, respecto a la producción planificada en un inicio (Corrales & Saravia, 2020).

4. PPM

En la ciudad de Lima se desarrolló una investigación que tuvo por finalidad implementar las herramientas de VDC para mejorar la gestión en los proyectos de edificaciones, dentro del desarrollo de la investigación se pudo determinar que la herramienta PPM y BIM permiten brindar una organización adecuada para el cumplimiento de metas del proyecto y del cliente, así mismo el PPM otorga un entorno que se basa en la mejora continua, de esta manera se puede aumentar el rendimiento y reducir el tiempo de trabajo. Llegando a la conclusión de que la aplicación del VDC con la herramienta PPM se permite tener una exitosa gestión de procesos (Celis & Huamani, 2020).

Por otro lado también en la ciudad de Lima se desarrolló una investigación que tuvo por finalidad realizar una propuesta de mejora para la ejecución de proyectos simultáneos en una empresa haciendo uso del Project Portfolio Management (PPM). Obteniéndose como resultados que el PPM es una herramienta que permite relacionar capacidades dinámicas, en vez de desarrollar solo una. Así mismo esta herramienta ayuda a que las organizaciones analicen su capacidad, adapten procesos a su entorno y de esta manera eviten algunas trampas, permitiendo identificar de qué manera puede mejorarse el proyecto, llegando a tener éxito (Villegas & Sequeiros, 2023).

5. Gestión para la prefabricación

La industria de la construcción tradicional se enfrenta a problemas como el alto consumo de energía, la baja eficiencia y la mala calidad. Sin embargo, estos problemas pueden resolverse eficazmente promoviendo el desarrollo de la industria de la construcción para lograr la industrialización. En comparación con la construcción tradicional, el uso de elementos prefabricación mejora la calidad de la construcción, reduce el desperdicio de recursos y el tiempo de construcción, mejorando el rendimiento de las cuadrillas. En un estudio realizado en China se evaluó la aplicación de los principios de lean en la construcción prefabricada. Concluyendo en que con esta aplicación se logra sostenibilidad en la construcción, optimización del proceso constructivo, adopción de la construcción lean en la construcción prefabricada y otras estrategias de adopción lean relacionadas con la prefabricación (Dua et al., 2023)

Cuando la asignación de recursos y cronogramas de obra no se gestionan de la manera adecuada causa como consecuencia costos adicionales y retrasos en la entrega de los proyectos de construcción. En una investigación realizada en Hong Kong se evaluó el suministro de elementos prefabricados en 5 edificios, obteniendo como resultados que la aplicación de elementos prefabricados reduce medianamente los costos de construcción, así mismo concluyen en que los retrasos en la entrega de los proyectos se deben comúnmente a una inadecuada planificación y programación de las actividades de obra (Zhang et al., 2023).

Así mismo en la zona de costera de Asia se evaluó el uso de la tecnología de prefabricación. Debido a que en esa zona los accidente son muy continuos se quiso determinar de qué manera la tecnología de prefabricado reduce el costo y tiempo en los procesos de restauración. Obteniendo como resultado que el uso de prefabricados optimiza el costo por restauración en

46.1%, así mismo el tiempo se acorta en 60.8%. De esta manera se concluye que la tecnología de prefabricación resulta ser eficiente en la restauración de estructuras (Qiu et al., 2023).

6. System Last Planner

El Sistema de Planificación de Último Plano (LPS) desempeña un papel fundamental en el control de la producción en proyectos de Construcción Lean. Funciona como un sistema integral de tipo "pull", destinado a optimizar tanto la planificación como la ejecución de las obras. Este enfoque incluye un proceso de planificación colaborativa y un análisis de posibles desviaciones en la planificación. La implementación exitosa de este sistema promueve una cooperación eficaz en el proceso de producción, estableciendo así una base sólida de confianza, un requisito crucial para la finalización puntual del proyecto.

Herigmoser et al. (2019), en su artículo tuvo por fin mejorar la gestión de un proyecto basándose en el uso de la herramienta "Last Planner System", realizó la implementación de la herramienta LPS en un prototipo de 8 niveles con un área de terreno de 1050 m², obteniendo como resultados que el uso de dicha herramienta mejora el ciclo de vida del proyecto, reduciendo los costos y tiempo de construcción, así mismo mejora la productividad y eficiencia de la misma.

Así mismo en España desde hace más de cinco años se comenzó a usar LPS para mejorar la productividad en la construcción, de esta manera se redujo el costo y tiempo en los proyectos de construcción y se mejoró la calidad de estos, también se determinó que LPS es una de las técnicas más adecuadas para mejorar el proceso constructivo de un proyecto debido a que su uso reduce la variabilidad del flujo (Álvarez et al., 2019).

En Chile, se llevó a cabo una evaluación de la integración entre el sistema "Last Planner" (LPS) y el sistema de gestión de calidad, con el propósito de su aplicación en la industria de la construcción. Inicialmente, se recopiló información referente a la interacción entre ambos sistemas, seguido de entrevistas a ingenieros con experiencia en la gestión de proyectos. El objetivo de estas entrevistas era identificar las ventajas y desventajas de la integración de estos sistemas en el ámbito de la construcción. Como conclusión, se determinó que la implementación de LPS en proyectos de construcción conlleva mejoras significativas en términos de calidad, tiempo y costos. (Díaz et al., 2019)

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

Se presenta el marco metodológico, el cual abordará la descripción, explicación y el proceso que se empleó para la recopilación de datos y las características que esta involucró. Se distribuyó el contenido de acuerdo con los objetivos para implementar la metodología colaborativa VDC en un proyecto multifamiliar.

1. Enfoque de Investigación

La primera etapa de la investigación consistió en establecer su enfoque como una investigación cuantitativa y seguir un orden lógico mediante la presentación de una problemática y su hipótesis. Para validar su implementación y evaluar su impacto, se recopilará información previa. Se concluye con un análisis de los resultados que determina si la hipótesis planteada es válida o no.

Fernández (2002) señala que la investigación cuantitativa se centra en evaluar la fuerza de las relaciones o correlaciones entre variables, así como en la generalización y objetivación de los resultados a través de una muestra para realizar inferencias en una población. También destaca que actualmente hay una mayor prevalencia de investigaciones cuantitativas en comparación con las cualitativas, argumentando que la elección de este enfoque no es aleatoria, sino que se debe a la evolución del método científico. Según el autor, la cuantificación contribuye al aumento y facilitación de la comprensión del entorno que nos rodea.

El enfoque cuantitativo reconoce el método científico como la única vía para la práctica científica, según (Damiani, 1997). Este método se extiende más allá de ser simplemente una guía para lograr un objetivo; abarca los procedimientos para la formulación y verificación de hipótesis a través de la experimentación, lo que implica la naturaleza hipotético-deductiva, es decir, el enlace con la teoría.

2. Explicación del procedimiento aplicado en el proyecto multifamiliar

La concepción de la idea de investigación parte de la identificación del estado actual de los proyectos de construcción que aplican nuevas metodologías y estén a la vanguardia de nuevas innovaciones, tanto nuevos procedimientos constructivos, como las nuevas formas para la gestión de la construcción. En tal sentido se buscó identificar un proyecto, como muestra de análisis, aplicación y discusión, con el fin de poder utilizar posibles métodos constructivos o metodologías de gestión que podrían conducir a la mejora de esta, debido a que, según las

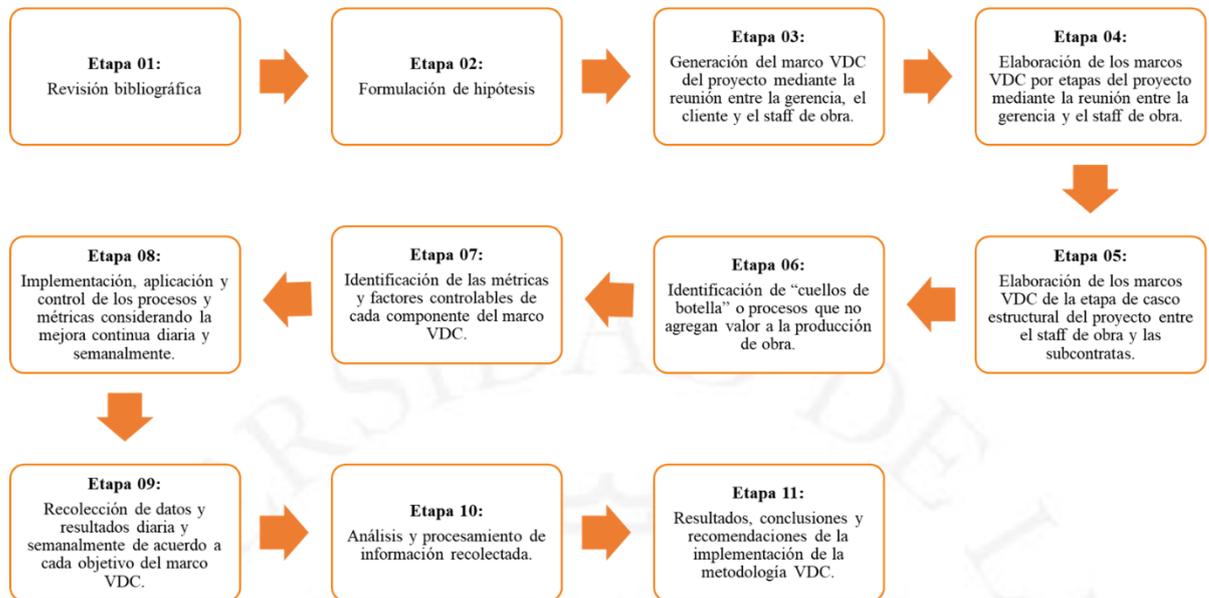
referencias identificadas en nuestro planteamiento del problema, en los últimos años muchos proyectos fueron entregados con 80% de presupuesto adicional y con 20% de retraso (McKinsey & Company, 2016). Debido a ello, la presente investigación busca y propone innovaciones sobre los aspectos teóricos, herramientas y ventajas como la metodología VDC, la filosofía Lean Construction y los elementos estructurales prefabricados, como son las previgas y prelosas, respaldados por artículos científicos, entrevistas y otras tesis del mismo rubro, para la aplicación e implementación de estos nuevos pilares de gestión en un proyecto de edificación real. Buscando generar el impacto que viene realizando la implementación de la metodología VDC en Perú desde el 2010 nace la pregunta de investigación:

¿Cuál es el impacto en tiempo y costos de la implementación de la metodología VDC en la aplicación de sistemas prefabricados durante la construcción del casco estructural de un proyecto multifamiliar?

Con la definición de la idea, el planteamiento del problema y la pregunta de investigación, continuamos con la delimitación de la región de estudio, para después definir la muestra de estudio. En tal sentido, se escogió un proyecto multifamiliar ubicado en el distrito de San Isidro, Lima, Perú, como muestra de investigación, debido a que fue un proyecto en el que teníamos alto alcance de impacto por ser parte del equipo de *staff* de obra en el área de planeamiento y control de proyectos.

Figura 3. 1

Etapas básicas del método de investigación cuantitativo aplicado en el proyecto.

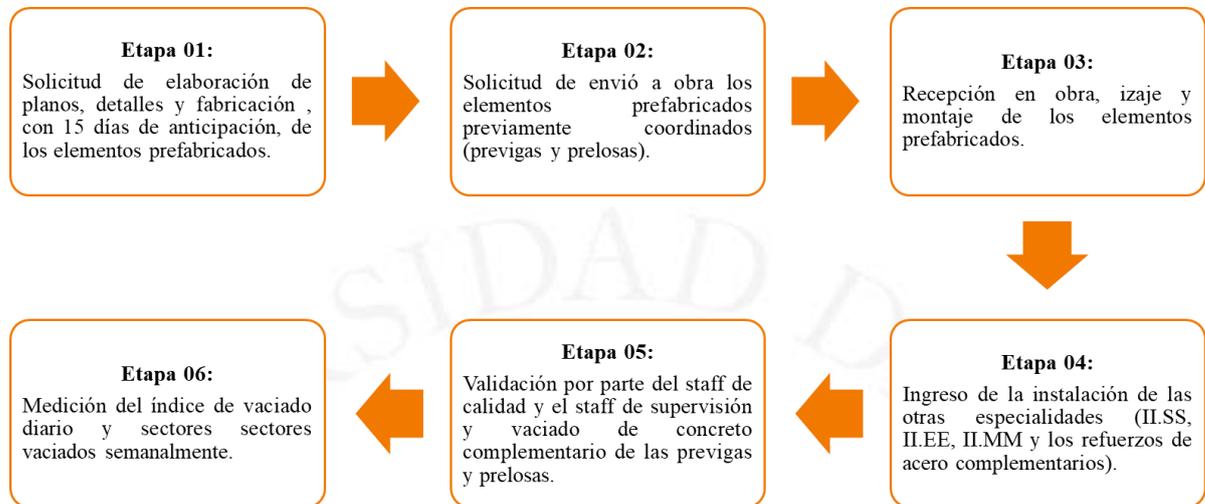


Nota: Elaboración propia.

El estudio realizado se centra en la etapa del casco estructural de un proyecto multifamiliar, donde la propuesta principal es implementar la metodología de gestión colaborativa VDC de la mano con la tecnología de los sistemas estructurales prefabricados. Es por ello, que bajo métricas de producción soportadas por las herramientas BIM en busca de un flujo de trabajo eficiente; las sesiones ICE imponiendo un control y seguimiento de restricciones; y los índices de producción y rendimientos en el componente PPM. Se busca tener un impacto en tiempo y costo, con el fin de dar a mostrar los beneficios de dicha metodología colaborativa.

Figura 3. 2

Flujograma de control del índice de producción del componente PPM implementando VDC y elementos prefabricados.



Nota: Elaboración propia.

En consecuencia, se procedió al procesamiento de la información donde el componente BIM se basó en la cuantificación de metrados mediante el modelo BIM del proyecto, para luego calcular mediante la herramienta “circuito fiel” la cantidad de personal para cada actividad de casco y la variabilidad de metrados menor al 15% para la uniformidad en los recursos de encofrado del proyecto. Es ahí donde se incluyó el componente ICE, con el cual se validó, desde el cliente hasta el jefe de cuadrilla de la obra del proyecto, las distribuciones de personal y definiciones de sectorización de cada nivel. Asimismo, el empleo del ICE se realizó en las reuniones de obra semanales donde se identificó las principales restricciones que tiene cada involucrado del proyecto para evitar posteriormente una paralización en los avances diarios. De la misma manera el componente PPM se utilizó como control y seguimiento de índices de producción en plazos e índices de rendimientos en costos.

En tal sentido, para el análisis y discusión de resultados se ha ordenado la información de cada componente, desarrollando tablas y figuras del proyecto; así como también, se utilizó para la discusión de resultados con otro proyecto similar ubicado en el distrito aledaño de Miraflores, como validez de información que ocurren en los proyectos de construcción, para consecuentemente buscar la capacitación del asesor y poder brindar con mayor claridad posible la evaluación y respuesta a los resultados obtenidos, que permitan un mejor entendimiento a cualquier persona que lea la presente tesis.

Por consiguiente, el trabajo constante de la elaboración del informe de la presente investigación facilitó corregir ciertos errores que se han obtenido mediante los resultados analizados. Es así que para el cierre del informe se dio una redacción y análisis completo de la información, investigación y resultados que se desarrollaron en el trabajo.

El poder medir y controlar el rendimiento de la mano de obra obteniendo las métricas del avance semanal y el tareo de horas hombre que se le remuneraba a la mano de obra, como se ve en el anexo 08. De la misma manera, el índice de producción semanal de vaciado de techo se mide en cuántos días se logra sacar un nivel de techo vaciado, como se muestra en el anexo 04.

2.1. Recolección de datos

Esta investigación se respalda con la recolección de tareos de Horas Hombre “HH” diarias como medio de recolección de datos, mediante este registro se logra determinar cuántas horas ha invertido el trabajador en ciertas actividades en particular. Este es el punto de partida, ya que este control sirve como apoyo para controlar las actividades de los trabajadores y determinar con estos valores numéricos el rendimiento e índice de productividad que iremos obteniendo.

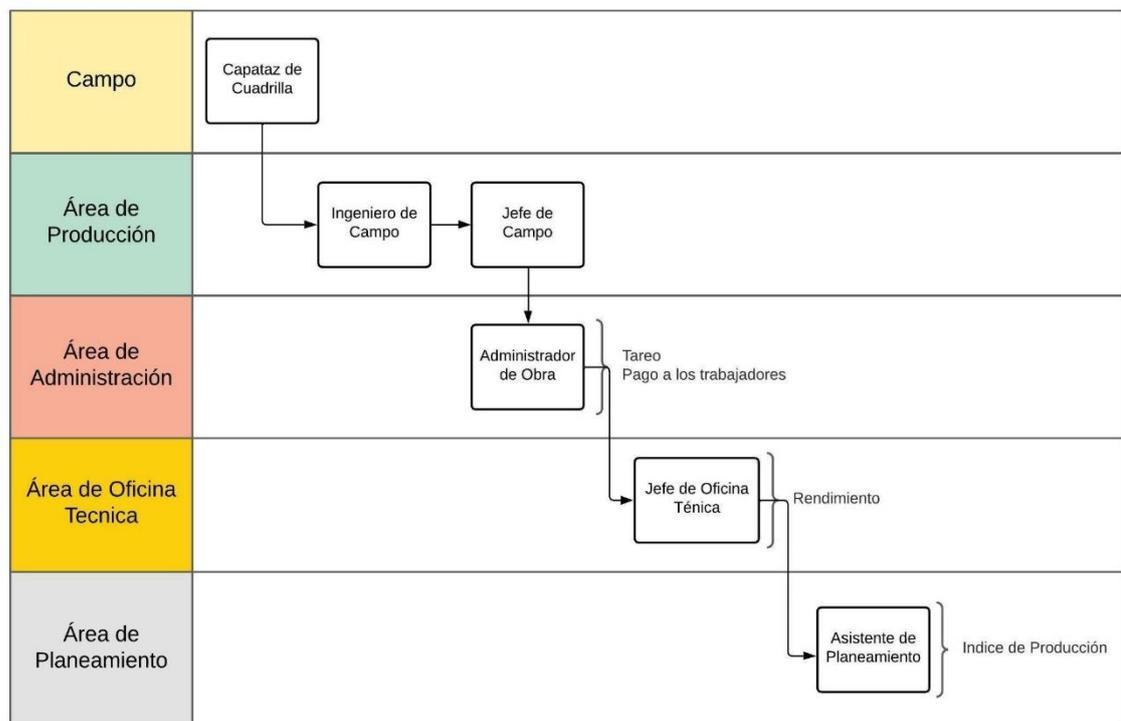
Para lograr los objetivos bajo la metodología de investigación cuantitativa se buscará respaldar la investigación con la recopilación de datos a través de observaciones, en donde se tomó registro del rendimiento horas hombre “HH” de las actividades rutinarias que realizan las cuadrillas en obra durante el día a día, en especial las cuadrillas de encofrado y vaciado de estructuras. Así como de la revisión de registros de tareas el cuál se llevó de forma diaria y de carácter obligatorio, en dichos tareos se mencionan las actividades y las HH que cada carpintero, operario o ayudante realizaba durante el día laborado, como se muestra en el Anexo 01.

El flujo de comunicación y recolección de datos que se mantuvo durante el proceso de construcción del casco estructural del proyecto multifamiliar en donde fue como el que se muestra en la Figura 3.3. En donde el tareo, por ejemplo, de la cuadrilla de encofrado, se obtenía tras la recopilación en campo por parte del supervisor de las actividades de dicha cuadrilla, el capataz de la cuadrilla y el ingeniero de campo, tras la validación del jefe de campo del área de producción se enviaba al área de administración, quienes tras su

verificación, revisión y aprobación procedían a realizar el pago a los trabajadores. Esta información, validada, era recibida por el área de oficina técnica, quienes son los que miden el rendimiento mediante una división de horas hombre sobre metro cuadrado ejecutado o vaciado de losa obtenido en comparación con el planeado. Con este valor obtenido por el área de oficina técnica, el área de planeamiento se encarga semanalmente de llevar un control de los índices de rendimientos y busca soluciones para mejorar ese rendimiento.

Figura 3. 3

Flujo del proceso de recopilación de información mediante el tareo en obra.



Nota: Fuente elaboración propia.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA VDC EN UN PROYECTO MULTIFAMILIAR

1. Sobre el Proyecto Multifamiliar

1.1. Descripción y alcances del proyecto

La presente investigación se aplicó en un proyecto multifamiliar ubicado en el distrito de San Isidro, departamento de Lima, Perú, el cual fue realizado por una constructora peruana con más de 15 años de experiencia ejecutando edificaciones multifamiliares e institucionales. Es reconocida en el rubro y en el mercado inmobiliario peruano por sus métodos de trabajo bajo la filosofía Lean y el enfoque de trabajo colaborativo que buscan aplicar.

En la Figura 4.1 se aprecia el mapa de la ubicación del proyecto:

Figura 4. 1

Mapa de la ubicación del proyecto ubicado en el distrito de San Isidro, Lima, Perú.

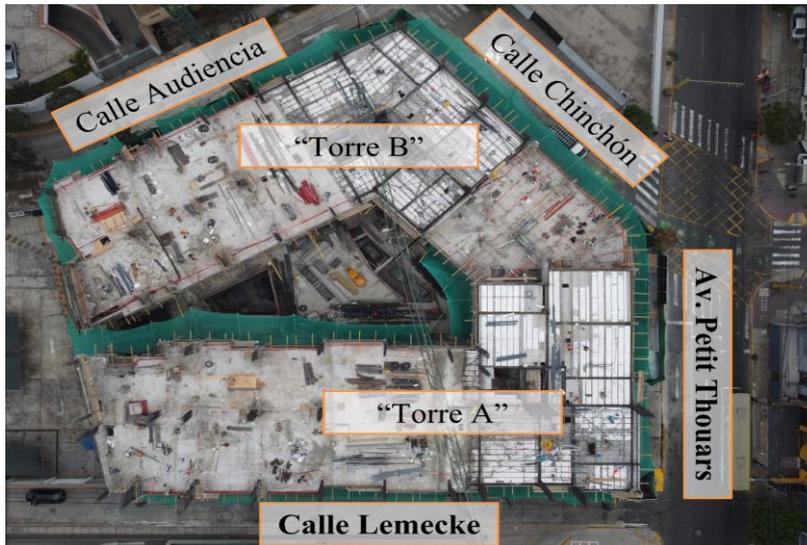


Nota: Adaptado de la página web de la inmobiliaria y constructora.

Como alcance del proyecto se tiene la construcción 2, 670.99 metros cuadrados de terreno, distribuidos en 10 pisos y 3 sótanos, con 4 frentes o fachadas. Cuenta con dos torres, las cuales según la planificación en obra se les dio la nomenclatura de “Torre A” y “Torre B”. La primera torre, A, es la que ocupa las fachadas hacia la avenida Petit Thouars y la Calle Lemecke. Mientras que la segunda torre, B, es la que ocupa fachada hacia la calle Audiencia y Chinchón, como se muestra en la Figura 4.2.

Figura 4. 2

Distribución de frentes de trabajo según casco estructural.



Nota: Fuente elaboración propia.

El proyecto cuenta con áreas comunes como: jardín interior, un *lobby* hacia la calle Audiencia, otro hacia la calle Lembecke, una zona de *co-working*, una zona de juegos, un *lounge bar*, un *fitness center*, en la azotea una zona de piscina + *sky deck*, *jacuzzi* + *sky deck*, una terraza de parrillas, un *laundry room* y en los sótanos una zona para bicicletas, tal como se aprecia en la Figura 4.3.

Figura 4. 3

Renderizado del jardín interno del proyecto multifamiliar.



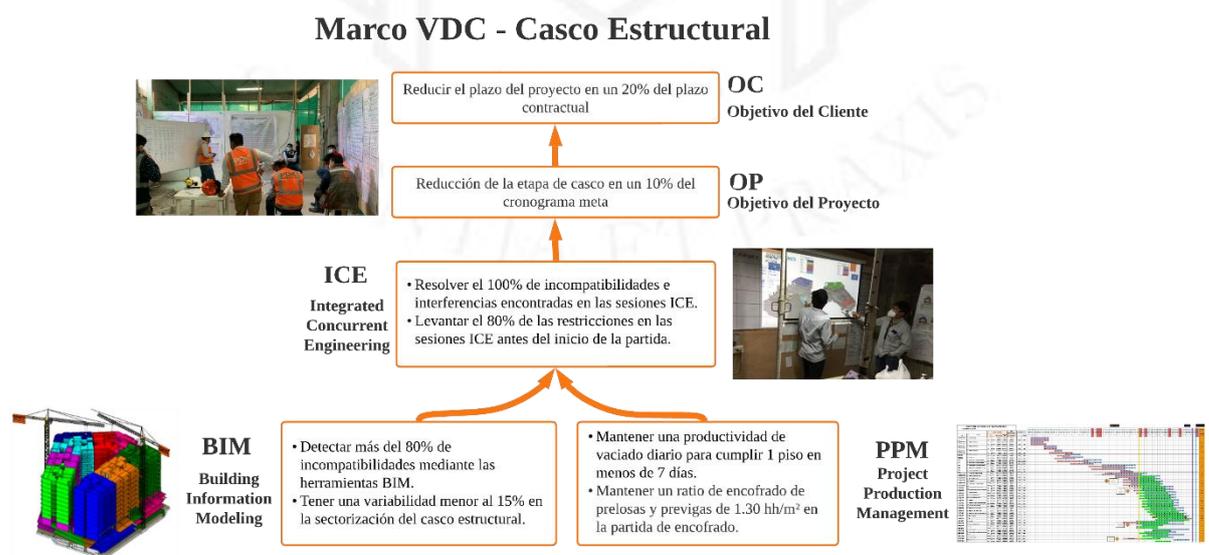
Nota: Adaptado de la página web de la inmobiliaria y constructora.

2. Metodología VDC en el proyecto multifamiliar

En el proyecto multifamiliar, se gestionó e implementó la metodología colaborativa Virtual Design and Construction (VDC) con la colaboración y aporte de todos los involucrados en el proyecto. Esta implementación comenzó con la gestión del marco VDC, que incluye los objetivos y métricas de los componentes BIM, ICE y PPM, como se visualiza en el Anexo 03. Se planteó dicho marco para la etapa de construcción del casco estructural de la edificación, con el objetivo del cliente de reducir en un 20% del plazo contractual asignado, entendiendo como cliente a la gerencia general de la empresa constructora principal. Consecuentemente, se estableció el objetivo del proyecto, que buscaba reducir el tiempo de ejecución de la etapa del casco estructural en un 10% en relación con el plazo del plan maestro meta. De igual manera, el objetivo de las sesiones ICE fue involucrar a los agentes clave para solucionar las consultas de ingeniería de los elementos prefabricados, incompatibilidades e interferencias encontradas en el modelo BIM. Consecuentemente, el objetivo del componente BIM fue emplear sus herramientas para mejorar los flujos de trabajo desde el planeamiento previo al inicio de la partida y durante la producción diaria en campo. Paralelamente al cumplimiento del objetivo del componente PPM de controlar los índices de producción semanal de vaciado de losa y los índices semanales de rendimientos de la partida de encofrado, se observó una incidencia e impacto mayores al implementar elementos prefabricados en el proyecto multifamiliar, como se muestra en la Figura 4.4.

Figura 4. 4

Implementación del marco VDC en la obra multifamiliar.



Nota: Fuente elaboración propia.

Los objetivos del cliente y del proyecto se cumplieron gracias al seguimiento de las métricas y factores controlables de los componentes ICE, BIM y PPM. Esto se gestionó en coordinación con todos los involucrados, obteniendo los siguientes resultados:

2.1. Integrated Concurrent Engineering (ICE)

Para el control del componente ICE, se plantearon dos objetivos, de la mano correspondientemente cada una de sus métricas y factores controlables, como se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4. 1

Objetivos, métricas y factores controlables del componente ICE

ICE	Objetivo	Métricas	Meta
Métrica de Producción	Resolver el 100% de incompatibilidades e interferencias encontradas en las sesiones ICE.	# de incompatibilidades resueltas / # de incompatibilidades encontradas	100%
	Levantar el 80% de las restricciones en las sesiones ICE antes del inicio de la partida.	# de restricciones levantadas en las sesiones ICE / # de restricciones totales	≥ 80%
Factores Controlables	Asistencia de personal clave.	% de asistentes en la sesión	≥ 95%
	Desarrollo de una agenda por sesiones	Publicar anticipadamente la agenda de las sesiones	2 horas antes

Nota: Fuente elaboración propia.

Como se muestra en la Tabla 4.1, para el primer objetivo se planteó como métrica de control la solución del 100% de incompatibilidades e interferencias en cada sesión ICE, esto se midió de la siguiente forma:

$$\frac{\# \text{ de incompatibilidades resueltas}}{\# \text{ de incompatibilidades encontradas}} = 100\%$$

Asimismo, el otro objetivo de nuestras sesiones ICE fue el levantamiento de restricciones en obra antes del inicio de la partida mediante sesiones ICE, el cual fue medido mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{\# \text{ de restricciones levantadas en las sesiones ICE}}{\# \text{ de restricciones totales}} \geq 80\%$$

Por otro lado, los factores controlables que se emplearon para el cumplimiento de las métricas y los objetivos del componente ICE fueron el control de la asistencia de personal clave a cada sesión, el cual fue medido mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de asistentes en la sesión} \geq 95\%$$

De la mano del desarrollo de una agenda, la cual se planteó como meta que fuera compartida mínimo dos horas antes de cada sesión ICE.

2.2. Building Information Modeling (BIM)

De igual forma para el control del componente BIM se plantearon dos objetivos, de la mano correspondientemente cada una de sus métricas y factores controlables, como se muestra en la Tabla 4.2.

Tabla 4. 2

Objetivos, métricas y factores controlables del componente BIM.

BIM	Objetivo	Métricas	Meta
Métrica de Producción	Detectar más del 80% de incompatibilidades mediante las herramientas BIM.	# de incompatibilidades detectadas mediante las herramientas BIM / # de incompatibilidades detectadas totales	> 80%
	Tener una variabilidad menor al 15% en la sectorización del casco estructural	Desviación estándar de metrado horizontal o vertical / Promedio de metrado horizontal o vertical	< 15%
Factores Controlables	Apoyo a la gestión de coordinación con ayuda del modelo BIM (compatibilización y detección de interferencias)	# de especialidades del proyecto / # de especialidades modeladas en BIM	100%
	Apoyo a la gestión visual con ayuda del modelo BIM (visualización, compatibilización, metrados, sectorización, controles de avance, etc.)	# de sesiones empleando BIM / # de sesiones totales	100%

Nota: Fuente elaboración propia.

El modelo BIM tuvo como objetivo detectar más del 80% de incompatibilidades mediante las herramientas BIM, el cual fue medida mediante de la siguiente forma:

$$\frac{\# \text{ de incompatibilidades detectadas mediante las herramientas BIM}}{\# \text{ de incompatibilidades detectadas totales}} > 80\%$$

El segundo objetivo de BIM fue tener una variabilidad menor al 15% en la sectorización del casco estructural, el cual fue medida mediante de la siguiente forma:

$$\frac{\text{Desviación estándar de metrado Horizontal u Vertical}}{\text{Promedio de metrados Horizontal u vertical}} < 15\%$$

Consecuentemente, los factores controlables que se emplearon para el cumplimiento de las métricas y los objetivos del componente BIM fueron el emplear como apoyo para la gestión de planeamiento las herramientas BIM, desde su uso de programación de avance (BIM 4D), sectorización y extracción de metrados para lograr las iteraciones y encontrar secuencias constructivas ideal, hasta el uso de visualización (BIM 3D) y compatibilización de todas las especialidades.

2.3. Project Production Management (PPM)

Del mismo modo para el control del componente PPM se plantearon dos objetivos, de la mano correspondientemente cada una de sus métricas y factores controlables, como se muestra en la Tabla 4.3.

Tabla 4. 3

Objetivos, métricas y factores controlables del componente PPM.

PPM	Objetivo	Métricas	Meta
Métrica de Producción	Mantener una productividad de vaciado diario para cumplir 1 piso en menos de 7 días.	1 piso vaciado por semana	≤ 7 días
	Mantener un ratio de encofrado de prelosas y previgas de 1.30 hh/m ² en la partida de encofrado.	Hora hombre / Metrado	< 1.30 hh/m ²
Factores Controlables	Control diario de vaciado	Frecuencia en el control	Diario y semanal
	Ratio del tareo semanal de encofrados	Actualización de la base de datos	Semanal

Nota: Fuente elaboración propia.

El componente de PPM tiene como primer objetivo mantener una productividad de vaciado diario para cumplir 1 piso en menos de 7 días, el cual fue medida mediante la fórmula:

$$1 \text{ piso vaciado por semana} \leq 7 \text{ días}$$

El segundo objetivo fue mantener la productividad en la partida de encofrado, el cual fue medida mediante la fórmula:

$$\frac{\text{Hora hombre}}{\text{Metrado}} < 1.30 \text{ hh/m}^2$$

Los factores controlables fueron medidos por el control de vaciado diario y semanal, así como el tareo semanal de personal de encofrado. Los cuales se controlaron con una meta de registro diario y semanal.



CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA VDC EN EL PROYECTO MULTIFAMILIAR

1. Resultados de las métricas del marco VDC

Las métricas obtenidas del marco VDC ayudaron a mejorar la gestión y la toma en busca de la mejora continua semanalmente y en los frentes de trabajo.

1.1. Métricas BIM

Con el fin de lograr el primer objetivo, elevar las incompatibilidades encontradas en el modelo BIM a supervisión, las herramientas BIM sirvieron de soporte para la detección de dichas incompatibilidades e interferencias que necesitaban aprobación de cambio o modificación de ingeniería por parte del cliente.

Durante la construcción del casco estructural del proyecto las especialidades compatibilizadas con estructuras, modeladas desde la etapa de preconstrucción, son las mostradas en la Tabla 5.1, las cuales se modelaron en LOD 350.

Tabla 5. 1

Lista de especialidades modeladas en BIM.

Especialidad	Código
Arquitectura	ARQ
Estructuras	EST
Instalaciones Sanitarias	IISS
Instalaciones Eléctricas	IIEE
Instalaciones Mecánicas	IIMM
Instalaciones de Gas	IIGG

Nota: Fuente elaboración propia.

Con énfasis en las especialidades de Instalaciones Sanitarias y Eléctricas, las cuales contenían modelos por cada subespecialidad, tal como se indica en la Tabla 5.2.

Tabla 5. 2

Lista de subespecialidades modeladas en BIM.

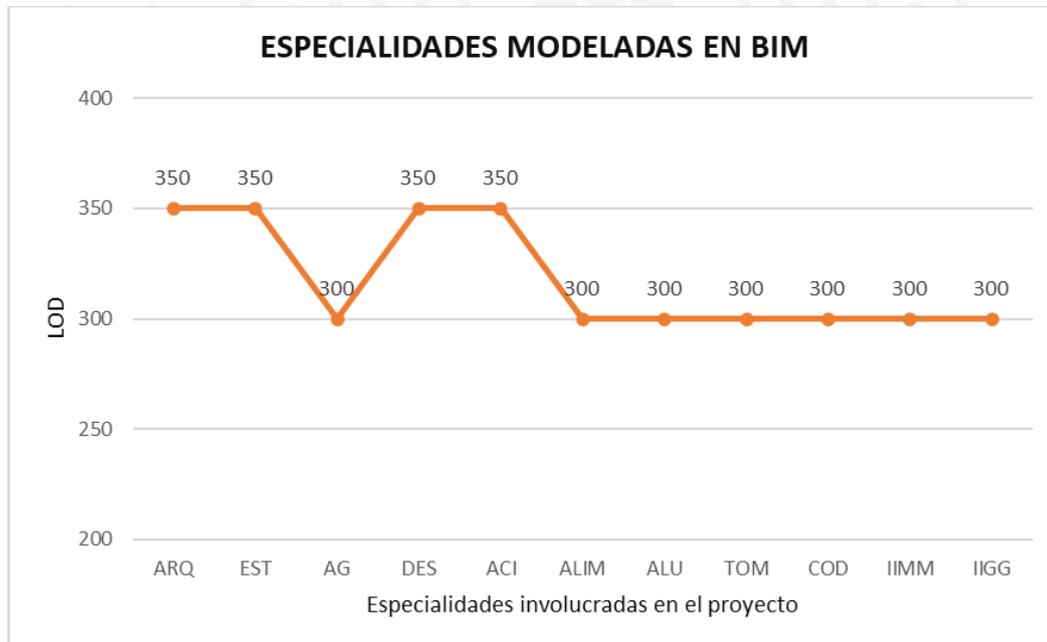
Especialidad	Código
IISS - Agua	AG
IISS - Desagüe	DES
IISS - ACI	ACI
IIEE - Alimentadores	ALIM
IIEE - Alumbrado	ALUM
IIEE - Tomacorrientes	TOM
IIEE - Corrientes débiles	COD

Nota: Fuente elaboración propia.

Dentro de compatibilización de la especialidad de estructuras se reportaron 127 RFI's, de los cuales en su mayoría fueron por incompatibilidad con las especialidades de instalaciones y en su minoría nula por ingeniería de valor, como se muestra en el grafico 5.1.

Figura 5. 1

Especialidades modeladas en BIM según el nivel de detalle (LOD)

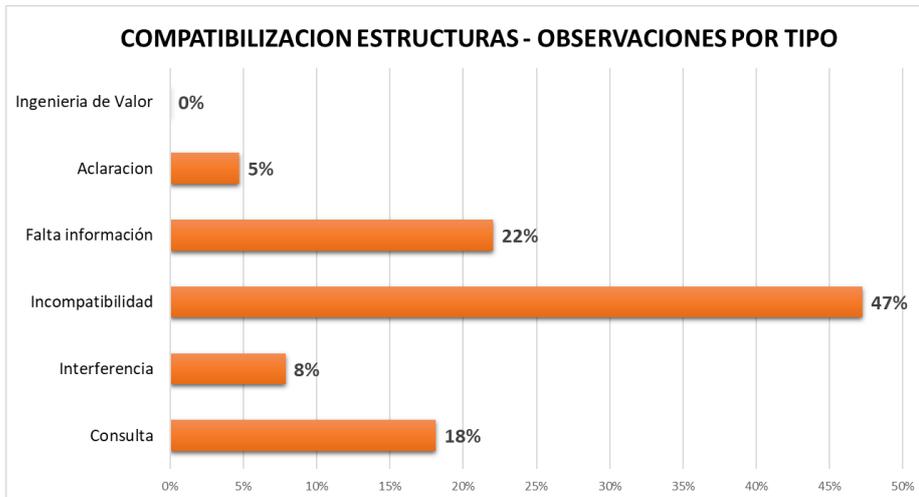


Nota: Fuente elaboración propia.

Dentro de compatibilización de la especialidad de estructuras se reportaron 127 RFI's, de los cuales en su mayoría fueron por incompatibilidad, como se muestra en la Figura 5.2.

Figura 5. 2

Resumen de observaciones por tipo según la compatibilización de estructuras.



Nota: Fuente elaboración propia.

Del 47%, equivalentes a 60 RFI's, de las observaciones detectadas por incompatibilidad en su mayoría fueron por:

- Incompatibilidad por altura mínima en rampas y sótanos.
- Incompatibilidad entre lo indicado en plano de encofrado y cuadros de detalles de vigas, columnas, placas o cortes.
- Incompatibilidad con la especialidad de arquitectura por zonas, ductos o perforaciones en losa que estructuras no contempló.

Figura 5. 3

Incompatibilidad entre estructuras y arquitectura por altura mínima de tránsito de 2.10m.

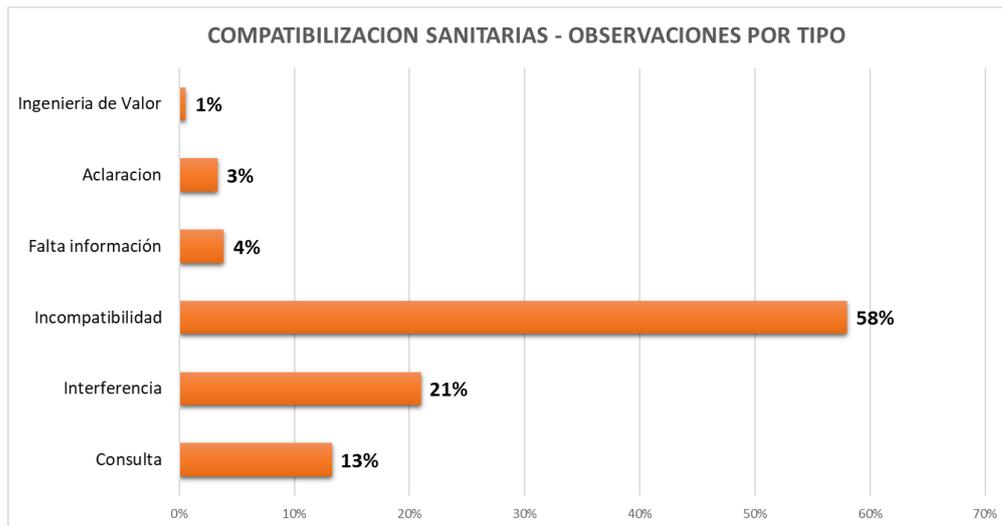


Nota: Fuente elaboración propia.

Dentro de compatibilización de la especialidad de sanitarias se reportaron 181 RFI's, de los cuales en su mayoría fueron por incompatibilidad y en su minoría, llegando al tipo nula, por ingeniería de valor, como se muestra en el grafico 5.4.

Figura 5. 4

Resumen de observaciones por tipo según la compatibilización de sanitarias.



Nota: Fuente elaboración propia.

Del 58%, equivalentes a 105 RFI's, de observaciones detectadas por incompatibilidad en su mayoría fueron por:

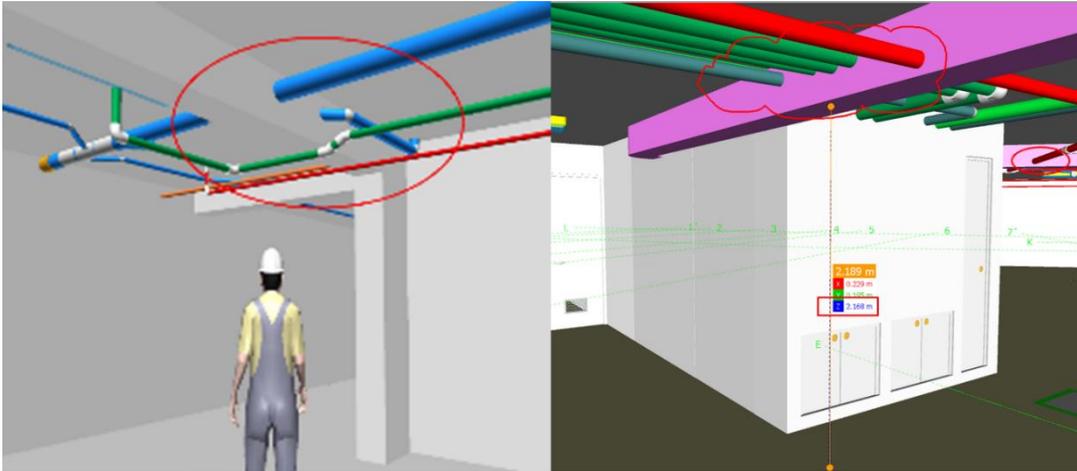
- Incompatibilidad en planos por proyecciones de montantes que no coinciden en los cambios de nivel.
- Incompatibilidad por tuberías que no cumplen con altura mínima de 2.10m en sótanos.
- Incompatibilidad entre redes de desagüe y ubicaciones de inodoros o lavaderos.
- Incompatibilidad entre salidas de ventilación en azotea y falta de ducto.
- Incompatibilidad por falta de espacio en losa para trampas de sumideros.

De igual forma el 21%, equivalentes a 38 RFI's, por interferencias en su mayoría fueron por:

- Interferencias por colisiones entre tuberías de desagüe o ACI y vigas estructurales.
- Interferencia por entre tuberías de sanitarias y ACI con equipos mecánicos de HVAC.
- Interferencias por colisiones entre sumideros y vigas estructurales.
- Interferencia entre tuberías en montantes y vigas o losas estructurales.

Figura 5.5

Interferencias entre las especialidades de instalaciones sanitarias, mecánicas y estructuras.

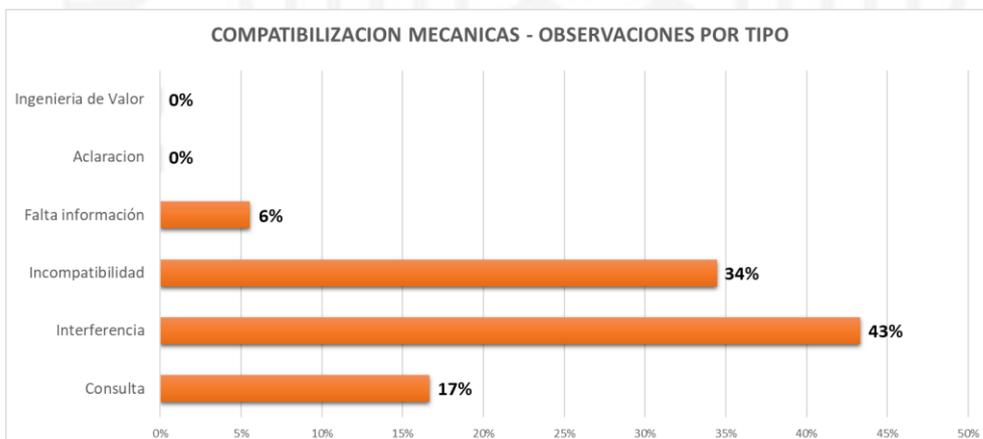


Nota: Fuente elaboración propia.

Dentro de compatibilización de la especialidad de mecánicas se reportaron 90 RFI's, de los cuales en su mayoría fueron por interferencias con las demás especialidades y en su minoría, llegando al ser nula, por ingeniería de valor y aclaraciones, como se muestra en el grafico 5.6.

Figura 5.6

Resumen de observaciones por tipo según la compatibilización de mecánicas.



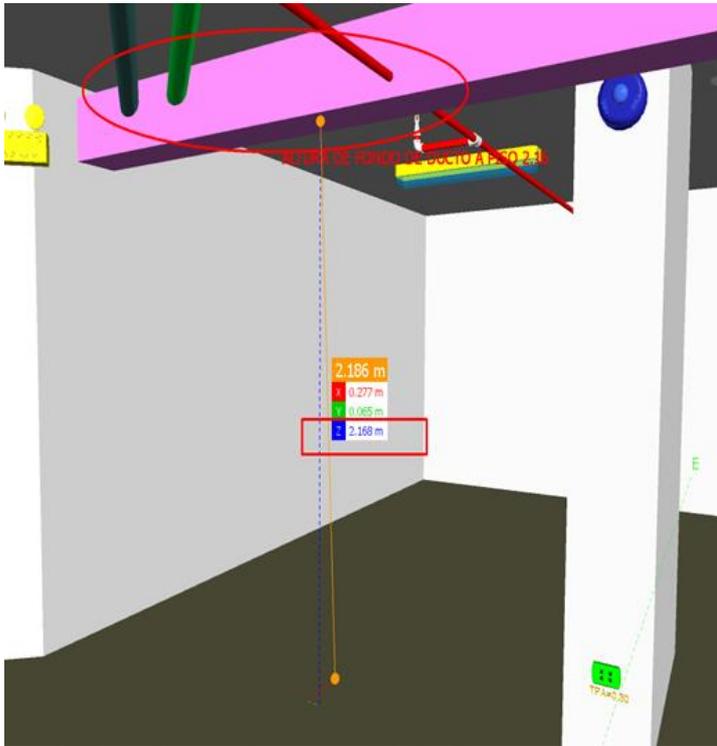
Nota: Fuente elaboración propia.

Del 43%, equivalentes a 39 RFI's, de las observaciones detectadas por interferencias en su mayoría fueron por:

- Interferencia entre equipos mecánicos y FCR de arquitectura.
- Interferencia entre ductos mecánicos y tuberías de desagüe, agua o ACI de sanitarias.
- Interferencia entre ductos de extracción y mamparas de arquitectura.
- Interferencia entre extractores de SS. HH y vigas estructurales.

Figura 5.7

Interferencias entre las especialidades de mecánicas y ACI.

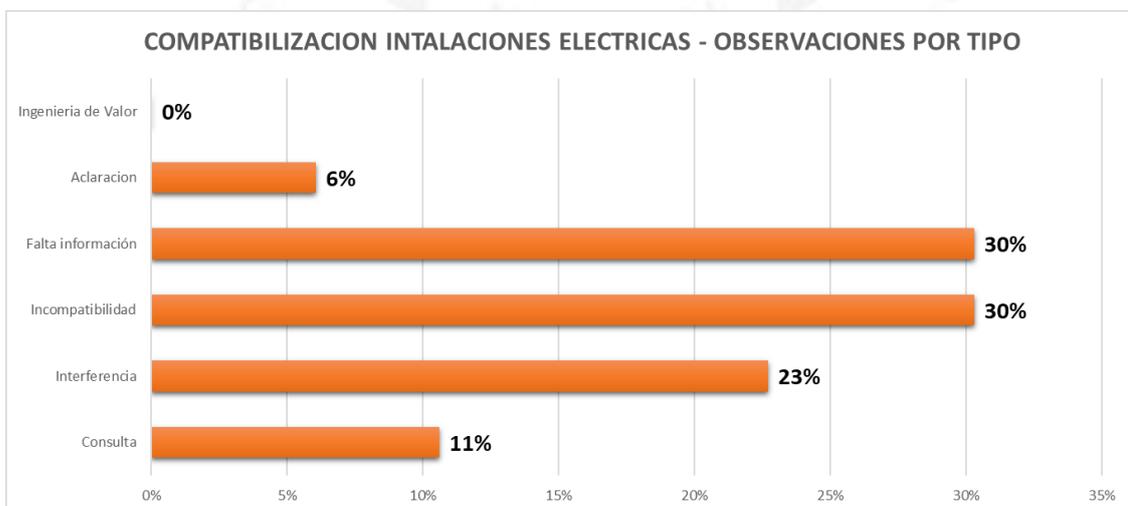


Nota: Fuente elaboración propia.

Dentro de compatibilización de la especialidad de eléctricas se reportaron 66 RFT's, de los cuales en su mayoría fueron por interferencias con las demás especialidades e incompatibilidades de diseño, como se muestra en la figura 5.8.

Figura 5.8

Resumen de observaciones por tipo según la compatibilización de eléctricas.



Nota: Fuente elaboración propia.

Del 30%, equivalentes a 20 RFI's, de las observaciones detectadas por interferencias en su mayoría fueron por:

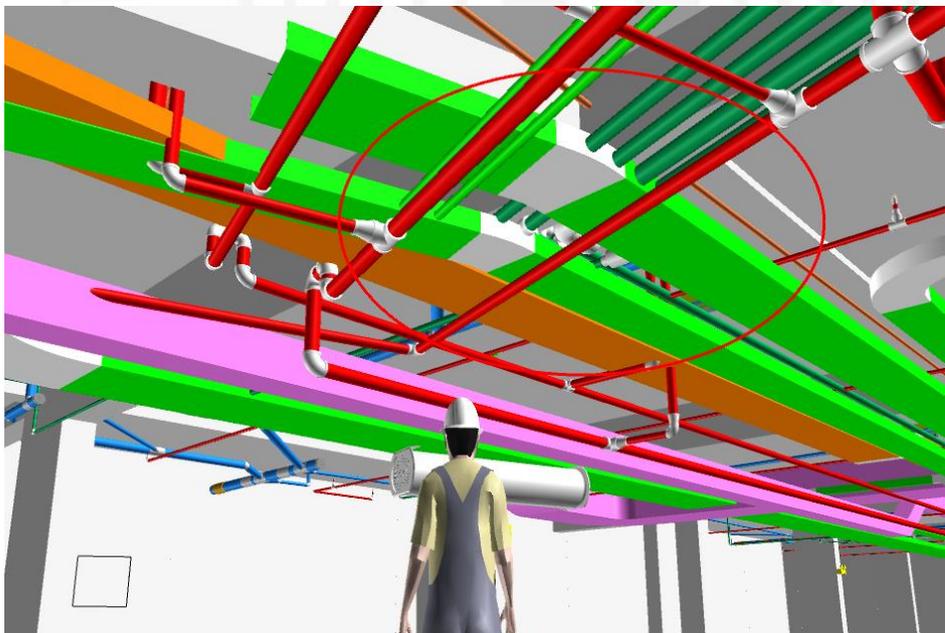
- Interferencia entre luminarias y tabiquería de arquitectura o tuberías de sanitarias o equipos de la especialidad de mecánicas.
- Interferencia entre bandejas eléctricas y vigas estructurales o tuberías de sanitarias o ductos de mecánicas, no pudiendo hacer quiebre para respetar altura libre de 2.10m.

Del mismo modo el 30%, equivalentes a 20 RFI's, de incompatibilidades en su mayoría fueron por:

- Incompatibilidad en salidas de alumbrado entre planos de eléctricas y planos de detalles de ascensores.
- Incompatibilidad entre equipos y tableros que proyecta eléctricas y arquitectura no considera.
- Incompatibilidad en salidas de tomacorriente y comunicaciones en mamparas de arquitectura.

Figura 5. 9

Interferencias entre las especialidades de eléctricas y sanitarias.

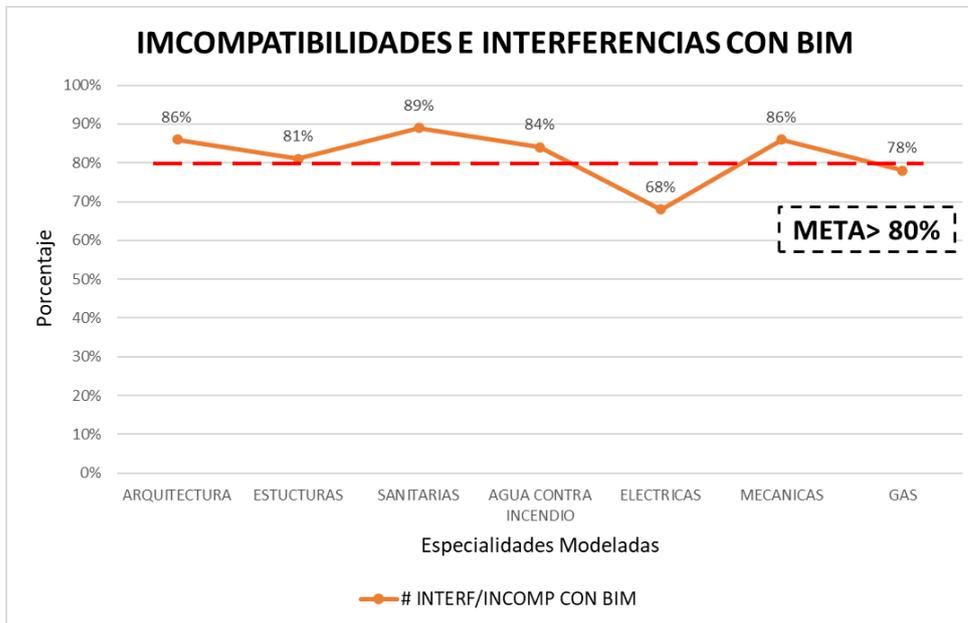


Nota: Fuente elaboración propia.

Se puede concluir que más del 80% de incompatibilidades e interferencias fueron detectadas mediante las herramientas BIM, como se muestra en la figura 6.0.

Figura 5. 10

Interferencias entre las especialidades de eléctricas y sanitarias.

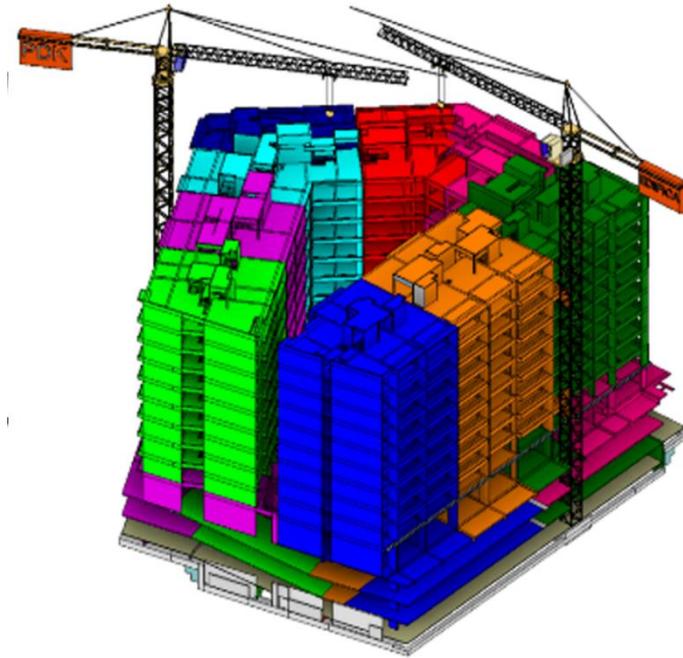


Nota: Fuente elaboración propia.

Con el fin de lograr el segundo objetivo, encontrar el flujo óptimo de trabajo en los diferentes sectores de ambas torres, el componente BIM fue una herramienta que sirvió para la simulación, visualización y para gestionar un flujo óptimo de trabajo para la mano de obra, prefabricados, metrados y entre otros. La métrica se desarrolló para obtener la mejor equivalencia de metrados para el proyecto. Como se puede observar el modelo BIM mostrado en la Figura 5.10, la sectorización lograda es en consecuencia de la primera iteración de metrados que se consensuaron en la primera sesión ICE.

Figura 5. 11

Sectorización del edificio en Torres “A” y “B” de 05 y 04 sectores respectivamente.



Nota: Fuente elaboración propia extraída de la herramienta BIM, Revit, versión 2021.

En la Tabla 5.3 se muestra la primera iteración de metrados obtenidos del modelo, en el cual se observa que la cantidad de m² de encofrado distribuido en el primer nivel de la Torre “A” obtuvo una variabilidad de 43% en el encofrado de elementos vertical y 17% en el encofrado de los elementos horizontales. Se evidenció que en el nivel 01 se presentó una variabilidad de 26% de encofrado vertical y del 27% en el encofrado horizontal.

Tabla 5. 3

Variabilidad de metrados en Torre “A”, primera iteración.

Torre A	Metrado encofrado vertical		Metrado encofrado horizontal	
	Piso 01	Pisos típicos	Piso 01	Pisos típicos
Sector 01	194.76	111.74	223.69	228.543
Sector 02	73.30	92.15	214.73	305.742
Sector 03	117.30	71.64	178.35	172.48
Sector 04	86.69	74.46	143.768	208.26
Sector 05	69.84	55.73	177.918	155.43
Sector 06	102.07	-	188.806	-
Promedio	107.33	81.14	189.54	214.09
Desviación E.	46.3929	21.4370	31.4314	58.7719
Variabilidad	43%	26%	17%	27%

Nota: Fuente elaboración propia, metrados extraídos de la herramienta BIM, Revit.

En la Tabla 5.4 se muestra la primera iteración realizada para la Torre “B” obteniendo una variabilidad de 70% el encofrado de los elementos verticales y 20% el encofrado de los elementos horizontales del primer nivel. Presentando una variabilidad de 46% y 10% respectivamente.

Tabla 5. 4

Variabilidad de metrados en Torre “B”, primera iteración.

Torre B	Metrado encofrado vertical		Metrado encofrado horizontal	
	Piso 01	Pisos típicos	Piso 01	Pisos típicos
Sector 01	196.30	50.01	243.774	205.893
Sector 02	65.75	39.22	287.22	184.267
Sector 03	92.08	47.93	214.62	164.215
Sector 04	39.46	43.96	176.69	171.448
Promedio	98.40	45.28	230.58	181.46
Desviación E.	68.7133	4.7573	46.6941	18.2801
Variabilidad	70%	11%	20%	10%

Nota: Fuente elaboración propia, metrados extraídos de la herramienta BIM, Revit.

Después de 04 iteraciones se obtuvieron resultados más equitativos y balanceados, con respecto a la cantidad de m2 de prelosas y previgas. Como se muestra en la Tabla 5.5, en el primer nivel de la Torre “A” se obtuvo una variabilidad del 10% en m2 de los elementos verticales y del 14% en m2 en los elementos horizontales. Por otro lado, en los niveles típicos se obtuvieron una variabilidad del 15% con respecto a los m2 de encofrado de los elementos verticales y del 14% de encofrado de los elementos horizontales.

Tabla 5. 5

Cuarta iteración de metrados obtenidos del modelo BIM en Torre “A”.

Torre A	Metrado encofrado vertical		Metrado encofrado horizontal	
	Piso 01	Pisos típicos	Piso 01	Pisos típicos
Sector 01	131.182	98.74	223.69	228.543
Sector 02	111.605	82.15	204.73	255.742
Sector 03	112.303	81.64	198.35	202.48
Sector 04	118.588	77.46	143.768	208.26
Sector 05	105.318	65.73	177.918	175.43
Sector 06	100.353	-	188.806	-
Promedio	113.22	81.14	189.54	214.09
Desviación E.	10.7972	11.8543	27.2223	30.0330
Variabilidad	10%	15%	14%	14%

Nota: Fuente propia, metrado extraído de la herramienta BIM, Revit.

Para la Torre “B”, en el encofrado vertical del primer nivel se obtuvo una variabilidad del 7% y del 13% en el encofrado de los elementos horizontales; de igual forma, en los niveles típicos,

se obtuvieron una variabilidad del 6% en el primer nivel y del 10% en los elementos de los pisos típicos, tal como se muestra en la Tabla 5.6.

Tabla 5. 6

Cuarta iteración de metrados obtenidos del modelo BIM en Torre “B”.

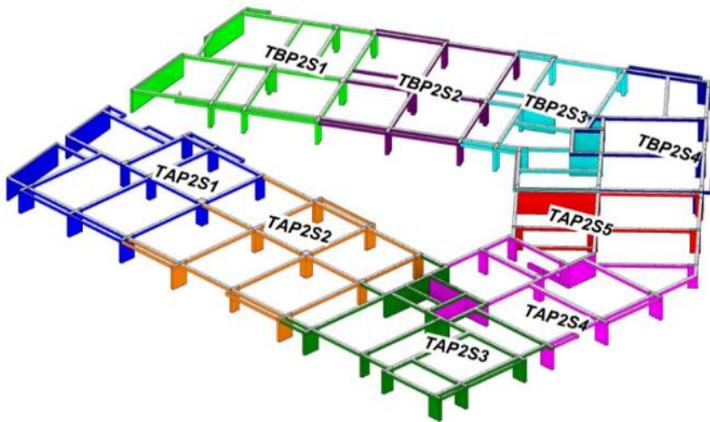
Torre B	Metrado encofrado vertical		Metrado encofrado horizontal	
	Piso 01	Pisos típicos	Piso 01	Pisos típicos
Sector 01	105.92	71.05	233.76	205.88
Sector 02	105.75	72.00	267.219	184.24
Sector 03	116.38	71.51	223.627	166.24
Sector 04	98.97	63.40	196.287	198.90
Promedio	106.75	69.49	230.22	184.44
Desviación E.	7.1871	4.0809	29.3051	18.06
Variabilidad	7%	6%	13%	10%

Nota: Fuente elaboración propia, metrado extraído de la herramienta BIM, Revit.

El componente BIM tuvo como objetivo dar el soporte visual para las coordinaciones y optimizar el flujo de trabajo del casco estructural, en este caso, la métrica de producción fue obtener la variabilidad de metrados por sector menor al 15%, el cual se logró en la 4ta iteración. Antes de ello, se realizó una primera iteración según como se muestra en la Tabla 6.1 y 6.2, la cual la variabilidad de la torre A y B era superiores al 15% incluso llegan en el piso 1 a 46%. Gracias a las iteraciones que se realizaron con el modelo BIM, según se muestra en la Tabla 6.3 y 6.4, se hizo un balance de metrado obteniendo una variabilidad menor al 15% en la 4ta iteración. Adicionalmente, en la última iteración, al iniciar el piso 3 en campo, llegó la alerta de que había muchas previgas en el sector 2 de la torre A, por lo que, la torre grúa excedió en el tiempo de utilización para esta actividad. Ante esto, se repartió las cargas de las previgas y prelosas obteniendo este resultado final como se ve en las siguientes Figuras 5.11 y 5.12.

Figura 5. 12

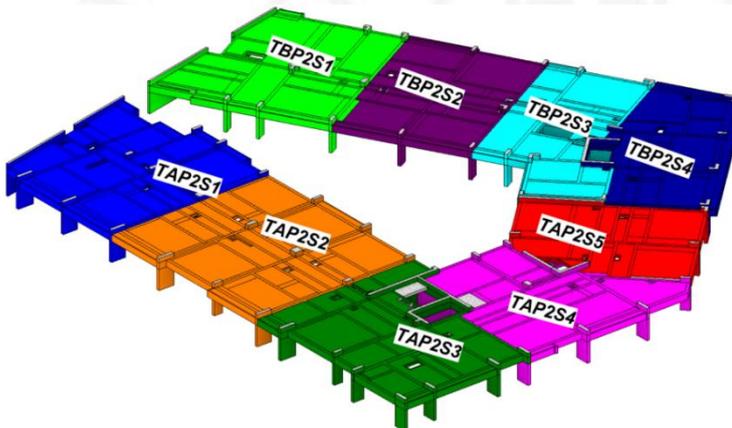
Modelo BIM de la 4ta iteración de la sectorización de los elementos verticales y las previgas.



Nota: Fuente elaboración propia extraída de la herramienta BIM, Revit, versión 2021.

Figura 5. 13

Modelo BIM de la 4ta iteración de la sectorización de prelosas del proyecto.

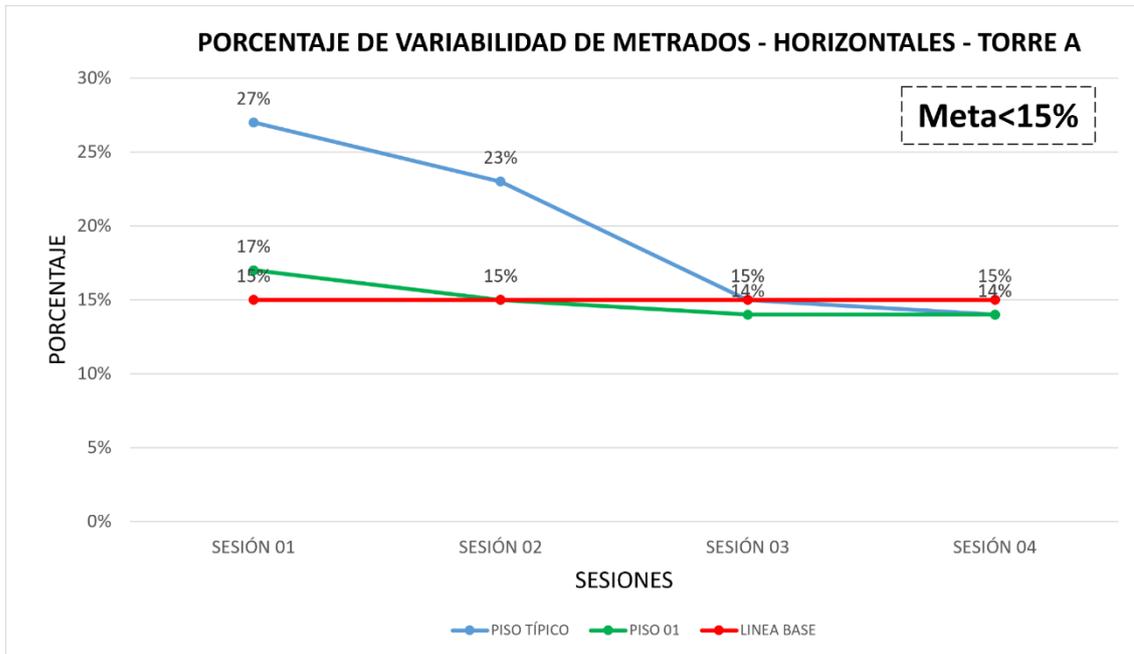


Nota: Fuente elaboración propia extraída de la herramienta BIM, Revit, versión 2021.

En resumen, se puede evidenciar que el componente BIM, ha sido una herramienta de impacto para obtener los metrados e iterar de manera rápida, confiable y efectiva los valores extraídos de los verticales y horizontales teniendo como objetivo tener la menor variabilidad entre sectores de producción, prevaleciendo la característica de producción que involucra los elementos prefabricados. Para este caso, como se muestra en la Figura 5.13, se resumen las iteraciones de los elementos horizontales de la Torre “A”, llegando al objetivo de tener una variabilidad menor al 15% de la métrica en la última iteración llevada a cabo en la sesión ICE 04.

Figura 5. 14

Porcentaje de variabilidad del metrados de los elementos horizontales de la Torre “A”.

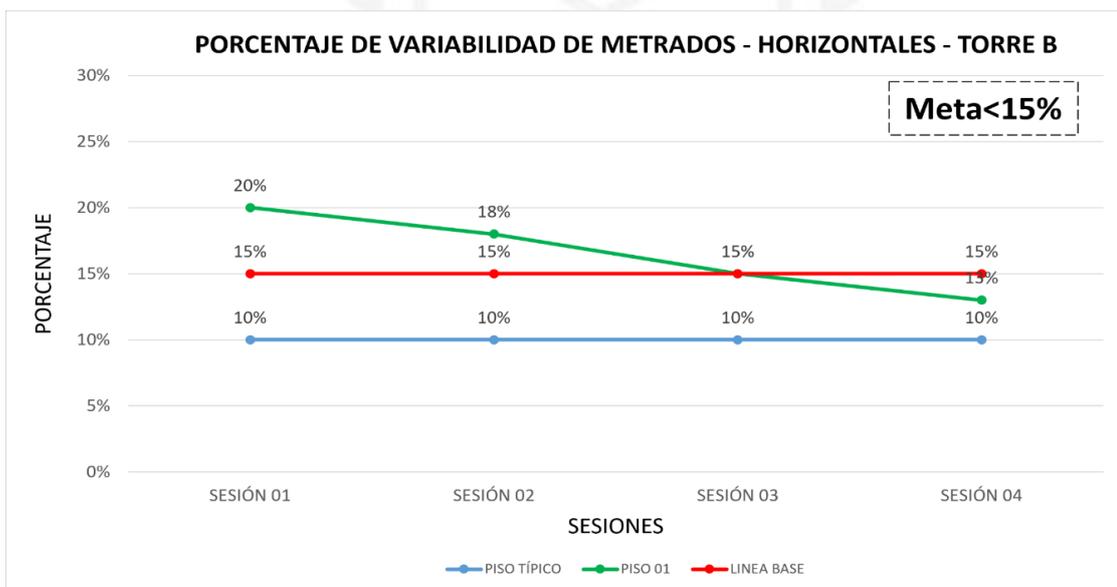


Nota: Fuente elaboración propia.

Del mismo modo en la Torre “B”, como se muestra en la Figura 5.14, se obtuvo en la última sesión ICE 04, una iteración menor al 15% de variabilidad permitiendo mantener un flujo uniforme entre sectores.

Figura 5. 15

Porcentaje de variabilidad del metrados de los elementos horizontales de la Torre “B”.



Nota: Fuente elaboración propia.

1.2. Métricas ICE

Además de utilizar el metrado y visualizar la sectorización, dicho proceso fue gestionado en las coordinaciones de las sesiones ICE. Durante estos encuentros, se llevaron a cabo debates y se llegaron a consensos con los principales involucrados para definir cuál sería la sectorización más eficiente y balanceada. Esta elección se basó en conceptos técnicos y experimentales, con el objetivo de cumplir la meta de lograr el vaciado completo de un nivel por semana.

Estas sesiones, respaldadas por las herramientas BIM, fueron de gran importancia, ya que de ellas dependían los resultados del rendimiento y los índices de producción en cada frente. Por lo tanto, la participación de los involucrados claves, como los capataces, los ingenieros de campo, el jefe de campo, el personal de las subcontratas y el equipo de planificación, era primordial. Mediante su experiencia y conocimiento técnico, contribuyeron y validaron la sectorización, como se muestra en la Figura 5.15.

Figura 5. 16

Inicio de la sesión ICE para la sectorización del casco estructural



Nota: Fuente elaboración propia extraída de la sesión ICE de la semana 50.

De la sesión ICE se muestra el resultado en la Figura 5.16, donde se puede visualizar el modelo 3D balanceado mostrando su variabilidad obtenida post sesión de la 4ta iteración de metrados.

Figura 5. 17

Desarrollo de sesiones ICE para la sectorización del casco estructural

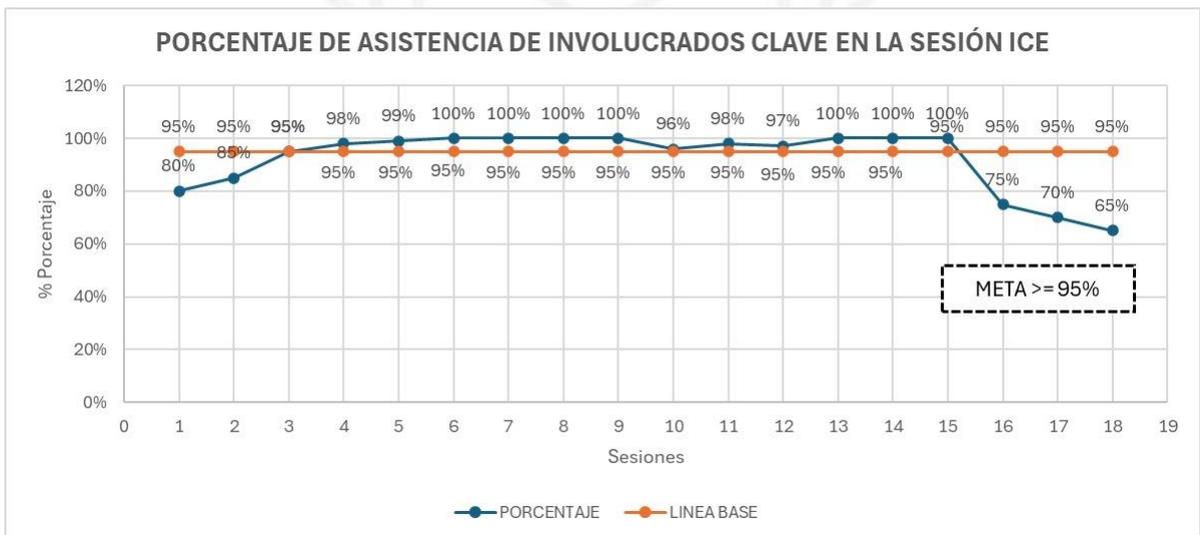


Nota: Fuente elaboración propia extraída de la sesión ICE de la semana 50.

Con el fin de poder lograr dicha sinergia presentada se gestionó y controló el factor controlable de las sesiones ICE, el cual consistió en el control de la asistencia de las personas claves en todas las sesiones semanales, teniendo como meta lograr y llegar al 95% de participantes. Dicho control es plasmado en la Figura 5.17.

Figura 5. 18

Control del factor controlable de asistencia a las sesiones ICE semanalmente.

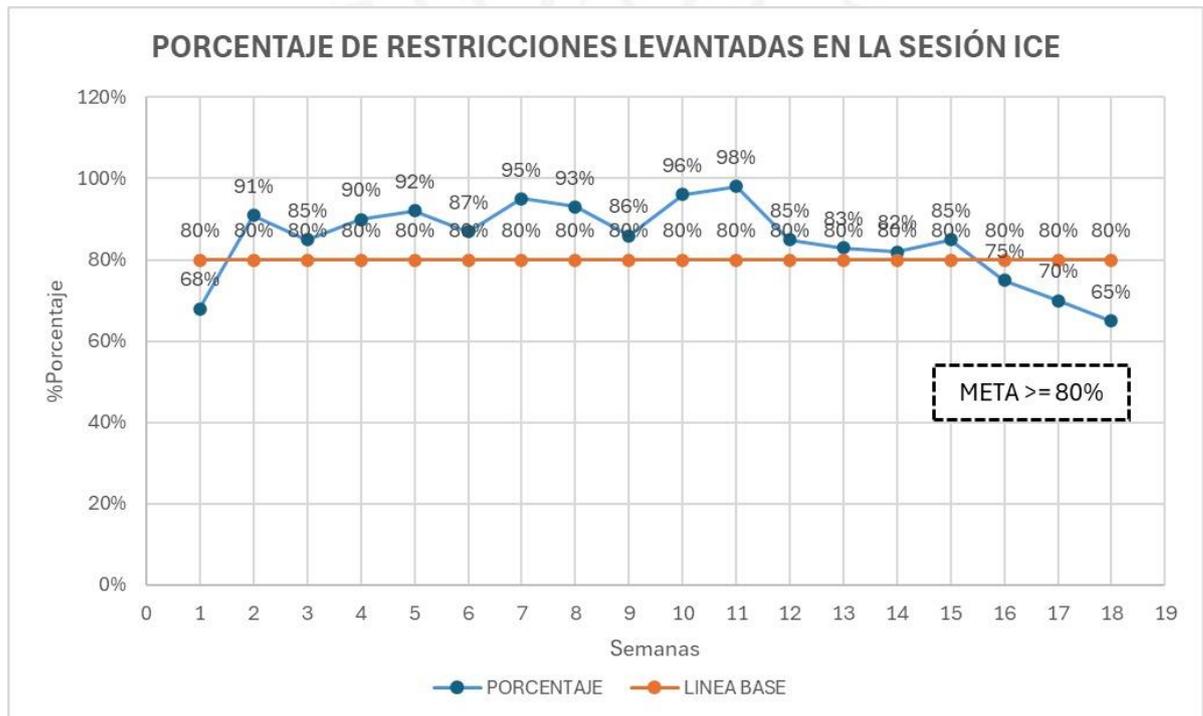


Nota: Fuente elaboración propia extraída de la sesión ICE semanales.

Y en sinergia con la métrica de identificar al menos dos restricciones e interferencias en obra o campo por parte de las personas claves, logrando obtener un control semanal con promedio de acierto del 90% durante toda la etapa de construcción del casco estructural. Evidenciando que queda mucho por mejorar con respecto a la gestión, seguimiento y compromiso de cumplir con esta métrica, puesto que está muy relacionada e impacta en el porcentaje de plan cumplido de las programaciones semanales del casco estructural.

Figura 5. 19

Control del porcentaje de restricciones identificadas semanalmente en cada sesión.



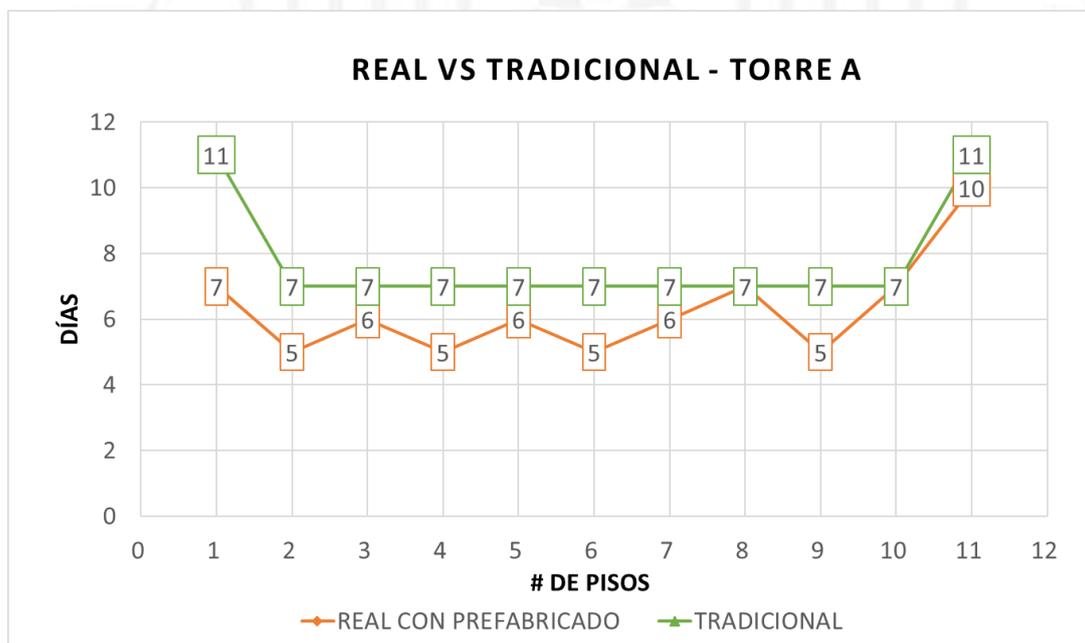
Nota: Fuente elaboración propia extraída de la sesión ICE semanales.

1.3. Métrica PPM

El índice de rendimiento que se decidió emplear como medio de control de avance de la superestructura del casco fue el del vaciado completo de losa de techo de cada nivel, de acuerdo con nuestro objetivo PPM de mantener una productividad de un sector por día. En ese sentido, para la 'Torre A', se planificó ejecutar el techo completo en 7 sectores, asignando un día para el vaciado de cada sector. Las fechas de vaciado se recolectaron en campo y se registraron en la base de datos, como se evidencia en el Anexo 04. En esta tabla, se presenta, en la columna sombreada de amarillo, de forma ascendente según la construcción del casco, la cantidad de días reales que demoró el vaciado completo de la losa de techo de cada nivel en relación con la cantidad de días planificados. Según se muestra en las Figuras 5.19 y 5.20, la gráfica de color rojo representa el tiempo planificado para el vaciado de cada nivel de techo, mientras que la gráfica azul refleja el tiempo real ejecutado. Los resultados de la métrica en la Figura 5.13 muestran que el tiempo real ejecutado de la 'Torre A' ha tenido variaciones positivas, adelantando entre 1 y 2 días, los días de vaciado por piso. Teniendo la mayor eficiencia los pisos 01, 02, 04, 06, 09, ya que se ejecutó con 2 días de anticipación.

Figura 5. 20

Comparación de índices de vaciados real con prefabricados vs tradicional de la "Torre A"



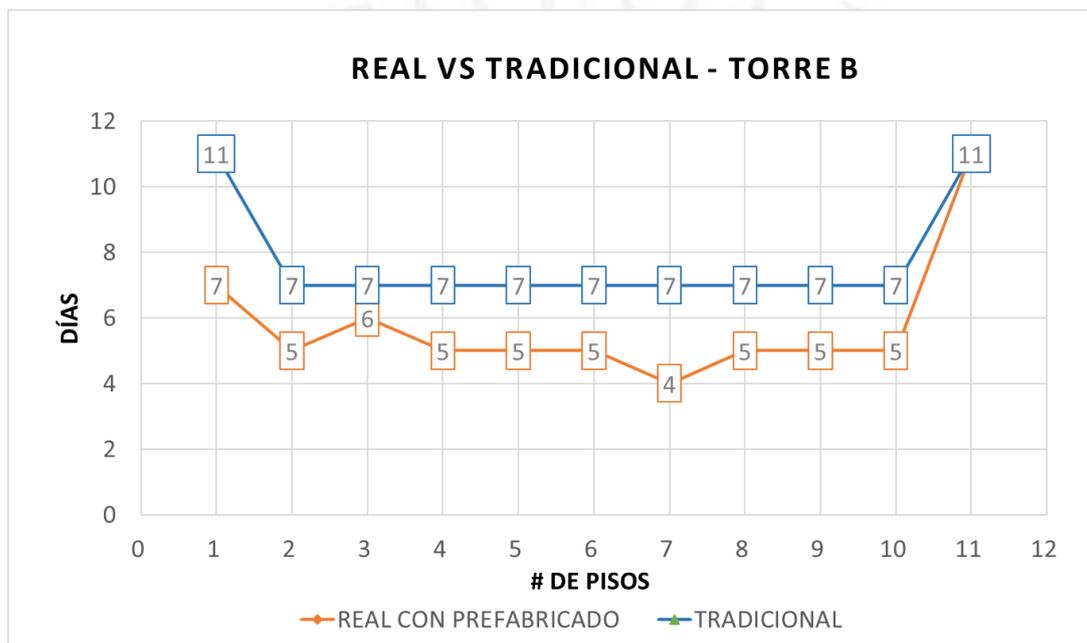
Nota: Fuente elaboración propia extraída de la recopilación de campo del avance en la obra.

En el mismo sentido, se aplicó el procedimiento análogo para la 'Torre B', donde se planificó sectorizar cada losa de techo en 07 sectores, asignando un día para el vaciado de cada sector.

Las fechas de vaciado se recolectaron en el campo y se registraron en la base de datos, como se evidencia en el Anexo 05. Este proceso se resume en la Figura 5.20, donde se observa que, del piso 01 al piso 10 se pudo ejecutar antes del plazo establecido entre 2 y 4 días de anticipación. Sin embargo, por factores de variabilidad identificados en las restricciones, debido a que llegó tarde el acero en el piso 11, como se evidencia en el Anexo 6. Se llegó a terminar justo en lo programado; o sea, 11 sectores planificados y 11 sectores ejecutados reales.

Figura 5. 21

Comparación de índices de vaciados real con prefabricados vs tradicional de la “Torre B”



Nota: Fuente elaboración propia extraída de la recopilación de campo del avance en la obra.

El alineamiento en días en los pisos finales de ambas torres se debe a muchos motivos, los cuales se fueron identificando de forma diaria y semanal en las salas de producción mediante el ejercicio de los cinco "por qué". Este método tiene como objetivo explorar las relaciones de causa y efecto subyacentes a un problema particular. La técnica busca determinar y llegar a la causa raíz por la cual no se cumplió con lo planificado y contrarrestar el incumplimiento mediante un plan de acción coordinado y pactado en el momento, con la participación de todos los involucrados, como se evidencia en la Tabla 5.7 y el Anexo 06.

En este contexto, se puede observar que durante la semana del 19/2/2022, se presentaron problemas con el personal de carpintería. Debido a que estábamos culminando la fase del último techo, decidimos distribuir la cantidad de carpinteros en ambas torres, lo que resultó en una reducción de su productividad.

Tabla 5. 7*Análisis de causa raíz para identificación de problemas semanales.*

Semana	Problema	¿Por qué 01?	¿Por qué 02?	¿Por qué 03?	¿Por qué 04?	¿Por qué 05?	Plan de acción
15/11/2021	No se vació concreto de verticales de la TA-P1S2, P1S3, P1S4, P1S5	No se enconfro el sector correspondiente	No se tenía acero en obra	Problemas de logística y transporte por parte del proveedor	-	-	Implementar la sectorización en el piso siguiente para mejorar el flujo
15/11/2021	No se vació concreto horizontal de cada sector en el P01	No se instaló las II.EE e II.SS	No llegaron el despacho de prelosas completas	No llegaron el despacho de prelosas completas	-	-	Por parte del proveedor de prefabricados se implementan dos líneas de producción para cada torre
04/12/2021	No se ha vaciado el concreto en horizontales de la TB, P1S2	No llegaron las previgas de la TB, P1S2	Baja producción por parte del proveedor de previgas	-	-	-	Cambio de proveedor
22/01/2022	No se vació según la programación de la TB, P07S1	Subcontratista de II.SS, no concluyó con su actividad	II.SS no tenían accesorios sanitarios	No se identificó como restricción 01 semana previo por parte del subcontratista	-	-	Anticiparse por lo menos 01 semana en el pedido de materiales
29/01/2022	No se vació concreto horizontal de TA, P8S5 y TB, P8S1	No llegó el acero dimensionado a obra de dicho sector	Problemas en planta del proveedor de acero	-	-	-	Se envía acero al banco de obra
19/02/2022	No se ha vaciado el concreto horizontal del TA, P10S3	Abandono de personal de la partida de sanitarias	Se retiró el capataz sanitario de II.SS con su personal	-	-	-	Ingreso en la próxima semana de un nuevo personal y capataz sanitario
19/02/2022	No se vació según la programación en TB, P10S1	Poca cantidad de carpintería en TB	Abandono de personal de carpintería	-	-	-	Se comparte la cantidad de carpintería para ambas torres

Nota: Fuente elaboración propia extraída de sala de producción de la obra.

Como se evidencia en ambas torres del proyecto, al finalizar la estructura en el nivel de la azotea, la cantidad de días que se tardó para realizar el vaciado de losa fue casi el doble de lo planificado. Este fenómeno es común en la mayoría de las construcciones de edificaciones, donde se nota la falta de personal de mano de obra (MO) en las semanas finales de culminar

el casco estructural del proyecto. Los motivos son variados, pero uno de los más frecuentes en la mayoría de las obras es la escasa oportunidad que tienen los carpinteros y operarios de mantener una continuidad laboral. Esto se debe a que la fase en la que son especialistas está llegando a su fin, y optan por buscar oportunidades laborales en otros proyectos que recién están comenzando y ofrecen mayor estabilidad laboral.

Un ejemplo comparativo se presenta en un proyecto mixto ubicado en el distrito de Miraflores, Lima, Perú. Este proyecto consta de una edificación de 17 niveles dividida en dos torres, una de oficinas y otra de hotel. En este caso, se evidenció la misma situación al finalizar el casco estructural, según nos informaron los ingenieros colegas que participaron en el proyecto.

Figura 5. 22

Proyecto mixto ubicada en el distrito de Miraflores, Lima, Perú

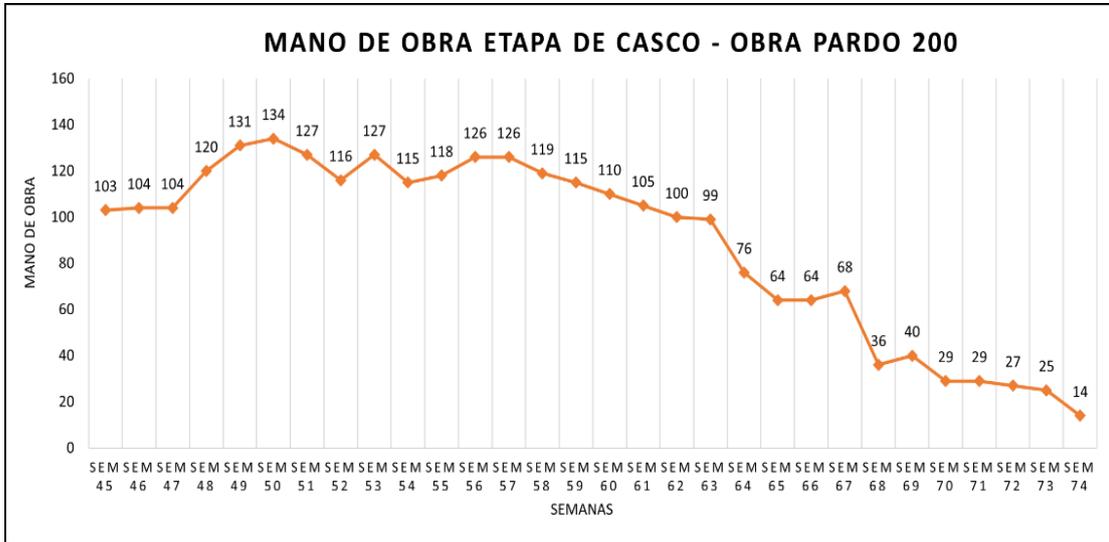


Nota: Elaboración propia.

Se evidenció un descenso de la mano de obra a partir de la semana 65, en donde según los reportes que nos compartieron, al culminar la estructura de la torre de oficinas la mano de obra desciende a 64 personas, cuando el pico más alto y constante fue de 126 personas, como se evidencia en el Anexo 07 y el Gráfico 5.23. Este mismo suceso ocurrió a partir de la semana 70, en la torre de hotel, a un nivel de culminar el casco estructural la mano de obra comienza a descender de forma constante.

Figura 5. 23

Medición de la mano de obra durante todas las semanas de duración de la etapa de casco del proyecto mixto ubicado en Miraflores.



Nota: Elaboración propia, extraído de los reportes semanales de la obra.

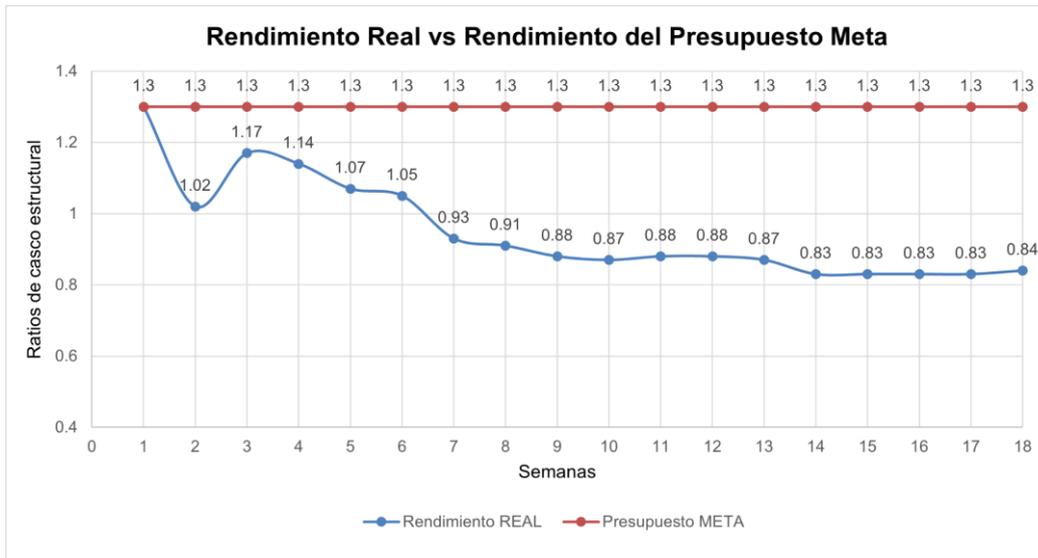
2.1. Rendimiento de campo vs rendimiento del presupuesto meta de la partida de encofrado

De manera general, los datos obtenidos se encuentran en el Anexo 01 del tareo de la mano de obra el cual se toma cada semana para el pago semanal a los trabajadores. Estas horas son divididas por los metros cuadrados avanzados en la semana para poder tener los rendimientos semanales de avance y si el personal está cumpliendo o no con la meta programada. Este rendimiento ayuda a controlar si el personal está avanzando según lo que se le paga semana a semana y tomar decisiones sobre su continuidad o su liquidación.

En este objetivo mostramos el resultado de la segunda métrica de producción de PPM. Según se muestra en la Figura 5.24, el rendimiento real obtenido de la obra ha sido 0.84 hh/m², muy por debajo del rendimiento del presupuesto meta.

Figura 5. 24

Rendimiento real vs rendimiento del presupuesto meta.



Nota: Elaboración propia extraída de la recopilación de campo del avance del proyecto.

Este rendimiento se obtiene a través del tareo semanal, como se explicó en el Diagrama 02 del capítulo de metodología, dividiendo el avance semanal entre los metros cuadrados correspondientes. Para alcanzar este objetivo, la metodología colaborativa utilizada en este proyecto sincronizó los tres componentes principales del marco VDC. A través del modelo, se logró equilibrar la cuantificación de los metros cuadrados de encofrado necesarios. Además, el componente PPM contribuyó a encontrar el equilibrio necesario de personal de carpintería para toda la obra. Esto se logró mediante consensos después de diversas iteraciones de sesiones ICE con el personal clave de obra, incluyendo al cliente, el personal de obra, subcontratistas, capataces y jefes de cuadrilla.

Por otro lado, la Tabla 5.8 muestra que el rendimiento obtenido en campo que es en promedio 0.84 hh/m² comparado con el rendimiento del presupuesto meta de 1.3 hh/m² se ha gastado en total 22,589.00 horas hombre realmente en campo, obteniendo un gasto en nuevos soles de S/. 680,380.68 vs S/. 1,026,020.63 del presupuesto meta, obteniendo un ahorro de S/. 400,669.19 en la partida de encofrado.

Tabla 5. 8

Rendimiento hh/m² en la partida de carpintería horizontales.

Partida de carpintería	Rendimiento hh/m ²	Gasto de hh	Costo x hh	Gasto S/.
Real	0.84	22,589.00	S/. 30.12	S/. 680,380.68
Presupuesto meta	1.3	34,064.43	S/. 30.12	S/. 1,026,020.63
Ahorro total				S/. 345,639.95

Nota: Elaboración propia extraída de la recopilación de campo del avance del proyecto.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

Como se fue desarrollando la presente tesis, se centró en la implementación de la metodología VDC para analizar el impacto en tiempo y control de costos al aplicar los sistemas de previgas y prelosas durante la etapa de construcción del casco estructural de un proyecto multifamiliar ubicado en el distrito de San Isidro, Lima, Perú.

Teniendo como objetivo principal el analizar el impacto en tiempo y costo de un sistema tradicional, cronograma y presupuesto meta respectivamente, empleando sistemas de previgas y prelosas durante la etapa de construcción del casco estructural del proyecto. De la mano de los objetivos específicos como: Desarrollar y controlar la implementación de la metodología VDC durante la etapa de casco estructural del proyecto; Comparar el rendimiento de campo con el rendimiento del presupuesto meta de la partida de encofrado de los sistemas de prelosas y previgas tras su uso en obra; y el controlar y analizar los índices de productividad por semana del proceso de encofrado empleando los sistemas prefabricados durante la ejecución en obra. Podemos concluir lo siguiente:

1. Se concluye que, al finalizar la implementación del VDC durante la etapa de casco en un proyecto multifamiliar, es fundamental que el desarrollo, control y seguimiento de las métricas y factores controlables de los componentes BIM, ICE y PPM se realicen de manera coordinada y conjunta. Esto no solo debe reflejarse en el ámbito teórico, sino también en la orientación de las personas clave involucradas, asegurando que comprendan la importancia de alinearse con los objetivos del proyecto y del cliente.
2. Se observó un ahorro significativo en los factores clave, específicamente en la mano de obra para el encofrado de elementos estructurales horizontales, alcanzando un rendimiento de 0.84 hh/m² y generando un ahorro de S/. 345,639.95. Este ahorro se logró gracias al riguroso control y seguimiento semanal de los índices de hh/m² del PPM. Además, la sinergia entre la aplicación de BIM, LEAN e ICE facilitó la generación de consensos y soluciones entre los involucrados, permitiendo así alcanzar los objetivos del proyecto de manera más efectiva.
3. En comparación con el cronograma planificado tradicional, el uso de sistemas prefabricados resultó en un ahorro del 23% en el tiempo de ejecución. En la torre A, se logró un ahorro del 19%, equivalente a 16 días, mientras que en la torre B el ahorro fue del 26%, equivalente a 22 días. Este ahorro se debió al uso del componente PPM,

que permitió verificar diariamente y semanalmente el índice de productividad del vaciado, obteniendo un promedio de entre 5 y 6 días por nivel. Además, el componente BIM, junto con las sesiones ICE, facilitó la visualización, optimización, control y gestión de los flujos de trabajo, anticipando restricciones y promoviendo un entorno colaborativo con todo el equipo presente en obra.

4. En resumen, se puede afirmar que la metodología VDC actúa como un marco integrador que une y optimiza las herramientas empleadas en esta tesis, como BIM, ICE, PPM y LEAN. Este enfoque permite alcanzar de manera efectiva tanto los objetivos del cliente como los del proyecto, asegurando una gestión más colaborativa y eficiente.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abusalem, O. (2022). Valuation: A New Approach to Measure the Performance of Last Planner System. *American Journal of Engineering and Technology Management*, 7(1), 1-7. <https://www.sciencepublishinggroup.com/journal/paperinfo?journalid=102&doi=10.11648/j.ajetm.20220701.11>
- Almeida, A., Suesca, O., & Isoré, F. (2022, junio 13). Productividad en la industria de la construcción. *Conexing*. https://www.conexig.com/es/productividad_industria_construccion/
- Almeida, A., Vidal, J., Bazán, A., Rischmoller, L., & Fischer, M. (2022). Virtual Design and Construction (VDC) Framework: A Current Review, Update and Discussion. *Appl. Sci.*, 12(23), 1-17. <https://doi.org/10.3390/app122312178>
- Álvarez, J., & Millán, E. (2021). Agile methodologies applied to Integrated Concurrent Engineering for spacecraft design. *Res Eng Design*, 32, 431–450. <https://doi.org/10.1007/s00163-021-00371-y>
- Álvarez, M., Soler, M., & Pellicer, E. (2019). An improvement in construction planning: Last Planner. *Building & Management*, 3(2), 60-70. <http://dx.doi.org/10.20868/bma.2019.2.3924>
- Apaza, R., & Anahua, R. (2021). Building Information Modeling (BIM) En Proyectos de Infraestructura Civil. *ScienceOpen Preprints*, 13. <https://doi.org/10.14293/S2199-1006.1.SOR-.PPATOPR.v1>
- Aslam, M., Gao, Z., & Smith, G. (2021). Integrated implementation of Virtual Design and Construction (VDC) and lean project delivery system (LPDS). *Journal of Building Engineering*, 39. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102252>
- Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S., & Rezgui, Y. (2020). Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research. *Automation in Construction*, 114. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179>
- Calderón, A. (2020). *Estudio de la implementación de losas prefabricadas en la construcción de entresijos para la obra Floresta VI*. Piura: [Trabajo de Suficiencia Profesional,

Universidad de Piura]. Repositorio institucional de la UDEP.
<https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4511>

- Celis, L., & Huamani, C. E. (2020). *Virtual Design and Construction y la mejora de la gestión en proyectos de edificaciones*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/3837/T030_75439586_T%20%20%20HUAMANI%20NARVAEZ%20CAROLAYN%20ESTEFANNY.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chan, D., Olawumi, T., & Ho, A. (2019). Perceived benefits of and barriers to Building Information Modelling (BIM) implementation in construction: The case of Hong Kong. *International Journal of Project Management*, 658-669.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100764>
- Corrales, J., & Saravia, R. (2020). *Propuesta de aplicación de la metodología virtual design and construction mediante las sesiones ICE y el BIM para mejorar la comunicación entre el equipo de proyecto en la etapa de cimentación de edificios multifamiliares del distrito de Surquillo - Lima*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/651670/Corrales_TJ.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- De la Vega, M. (26 de 4 de 2021). Perú puede tener un boom en la construcción. *El Peruano*.
<https://elperuano.pe/noticia/119555-peru-puede-tener-un-boom-en-la-construccion>
- Dean, R., Howard, A., Atul, K., Martin, F., Leonardo, R., & Peter, B. (2017). Integrating Delivery of a Large Hospital Complex. *25th Annual Conference of the International Group for Lean Constructio*, 2, 201-208. <https://doi.org/10.24928/2017/0348>
- Díaz, L., Oliveira, M., Pucharelli, P., & Pinzón, J. (2019). Integración entre el sistema last planner y el sistema de gestión de calidad aplicados en el sector de la construcción civil. *Revista ingeniería de construcción*, 34(2). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732019000200146>
- Dua, J., Zhang, Jingyi, Castro, D., & Huc, Y. (2023). Lean manufacturing applications in prefabricated construction projects. *Automation in Construction*, 150.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104790>
- Hardin, B., & Mccool, D. (2022). *BIM and construction mangement*. Canada: SYBEX.

- Heigermoser, D., García, B., Sidney, E., & Huat, D. (2019). BIM-based Last Planner System tool for improving construction project management. *Automation in Construction*, 104, 246-254. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.019>
- Heravi, G., & Meghdad , M. (2021). Investigating cost overruns and delay in urban construction projects in Iran. *International Journal of Construction Management*, 21(9). <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15623599.2019.1601394>
- Ibrahim, O., Farouk, A., Chileshe, N., & Edwards, J. (2022). Modelling the relationship between Building Information Modelling (BIM) implementation barriers, usage and awareness on building project lifecycle. *Building and Environment*, 207. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108556>
- Johnson, R., & Ipe, R. (2020). Time and cost overruns in the UAE construction industry: a critical analysis. *International Journal of Construction Management*, 20(5), 402-411. <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1484864>
- Limenh, Z., Demisse, B., & Haile, A. (2022). The Usefulness of Adopting the Last Planner System in the Construction Process of Addis Ababa Road Projects. *Advances in Civil Engineering*, 1(1). <https://www.hindawi.com/journals/ace/2022/7846593/#conclusions>
- Minh, T., Ph, D., Yingbin, F., & Ph, D. (2020). Impact of Project Complexity on Construction Safety Performance: Moderating Role of Resilient Safety Culture. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001758](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001758)
- Mohammed , A., González, V., O’Sullivanb, M., Cameron , W., Poshdar, M., & Fernando, L. (2023). Exploring the links between simulation modelling and construction production planning and control: a case study on the last planner system. *Production Planning & Control*, 34(5), 459-476. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1934588>
- Mughees, A., Gao, Z., & Smith, G. (2021). Integrated implementation of Virtual Design and Construction (VDC) and lean project delivery system (LPDS). *Journal of Building Engineering*, 39. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2021.102252>
- Muñoz, F., Mora, J., Valero, I., & Oñate, E. (2020). Methodological-Technological Framework for Construction 4.0. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28, 689–711. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11831-020-09455-9>

- Nabizadeh, H., & Hossein, A. (2023). Towards digital architecture, engineering, and construction (AEC) industry through virtual design and construction (VDC) and digital twin. *Energy and Built Environment*, 169-178. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.10.004>
- Pons, J., & Rubio, I. (2019). *Lean construction y la planificación colaborativa. Metodología de last planner system*. Consejo General de la Arquitectura Técnica de España. <https://www.cgate.es/pdf/LEAN%20CONSTRUCTION%20PDF%20Web.pdf>
- Qiu, T., Chen, X., Su, D., Chen, K., & Wang, L. (2023). Resilience enhancement of using prefabrication technology for post-accident restoration of coastal infrastructure. *Ocean & Coastal Management*. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106768>
- Ramadan, B., Nassereddine, H., Taylor, T., & Goodrum, P. (2023). Impact of technology use on workforce performance and information access in the construction industry. *Doctoral Research in Construction Management*, 9, 1-15. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1079203>
- Salazar, L., Arroyo, P., & Alarcón, L. (2020). Key Indicators for Linguistic Action Perspective in the Last Planner® System. *Sustainability*, 12(20), 1-29. <https://doi.org/10.3390/su12208728>
- Salhab, D., Noueihed, K., Fayek, A., Hamzeh, F., & Ahuja, R. (2021). *A framework for implementing the last planner® system in a virtual environment*. Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC29). https://www.researchgate.net/profile/Farook-Hamzeh/publication/353273058_A_Framework_for_Implementing_the_Last_PlannerR_System_in_a_Virtual_Environment/links/60f06b600859317dbde5e353/A-Framework-for-Implementing-the-Last-PlannerR-System-in-a-Virtual-Envir
- Tamai, R., Koehler, B., Cirasuolo, M., Biancat, F., Tuti, M., & González, J. (2020). The ESO's ELT construction progress. *SPIE digital library*. <https://doi.org/10.1117/12.2562828>
- Tampio, K., & Haapasalo, H. (2022). Integrated project delivery in the Nigerian construction sector: an unexplored approach from the stakeholders' perspective. *Engineering, Construction and Architectural Management*. <https://doi.org/10.1108/ecam-09-2021-0823>

- Tavares, V., Gregory, J., Kirchain, R., & Freire, F. (2021). What is the potential for prefabricated buildings to decrease costs and contribute to meeting EU environmental targets? *Building and Environment*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108382>
- UNICON. (15 de Junio de 2020). El Concreto en tiempos del COVID19. *UNICON*. <https://www.unicon.com.pe/noticias/el-concreto-en-tiempos-del-covid-19/>
- Vergara, M. (2020). VDC en la implementación de un modelo de inteligencia artificial para la supervisión remota de obra CEBUL al 65% de desarrollo. *Universidad de Lima*. <https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/16878/221120-Monica%20Vergara-Reporte%20VDC%202a%20Edicion-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villegas, J., & Sequeiros, D. (2023). *La propuesta de mejora en los proyectos simultáneos de la empresa utilizando el Project Portfolio Management (PPM)*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. https://upc.aws.openrepository.com/bitstream/handle/10757/668563/Villegas_MJ.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Wang, X., Ferreira, F., & Yan, P. (2023). A multi-objective optimization approach for integrated risk-based internal audit planning. *Springer*, 1-30. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10479-023-05228-2>
- Zhang, W., Yu, C., & Zhong, R. (2023). Stability measure for prefab balancing in prefabrication construction supply chain management. *Computers & Industrial Engineering*, 183. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109518>
- Zhijia, Y., & Lingjun, F. (2020). Integration of Industry 4.0 Related Technologies in Construction Industry: A Framework of Cyber-Physical System. *IEEE xplore*, 8, 122908 - 122922. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9133409>
- Zhou, F., Ning, Y., Gou, X., & Gou, S. (2023). Analyze Differences in Carbon Emissions from Traditional and Prefabricated Buildings Combining the Life Cycle. *Buildings*, 13(4), 1-12. <https://doi.org/10.3390/buildings13040874>



CERVAL EDIFICIO MITO PAAZA 27
 Tegucigalpa, D.C. Centro
 Responsable: M. Cardillo

PRODUCCION

REPORTE DIARIO DE HORAS

Fecha:

Micacoilus 12-07-2022

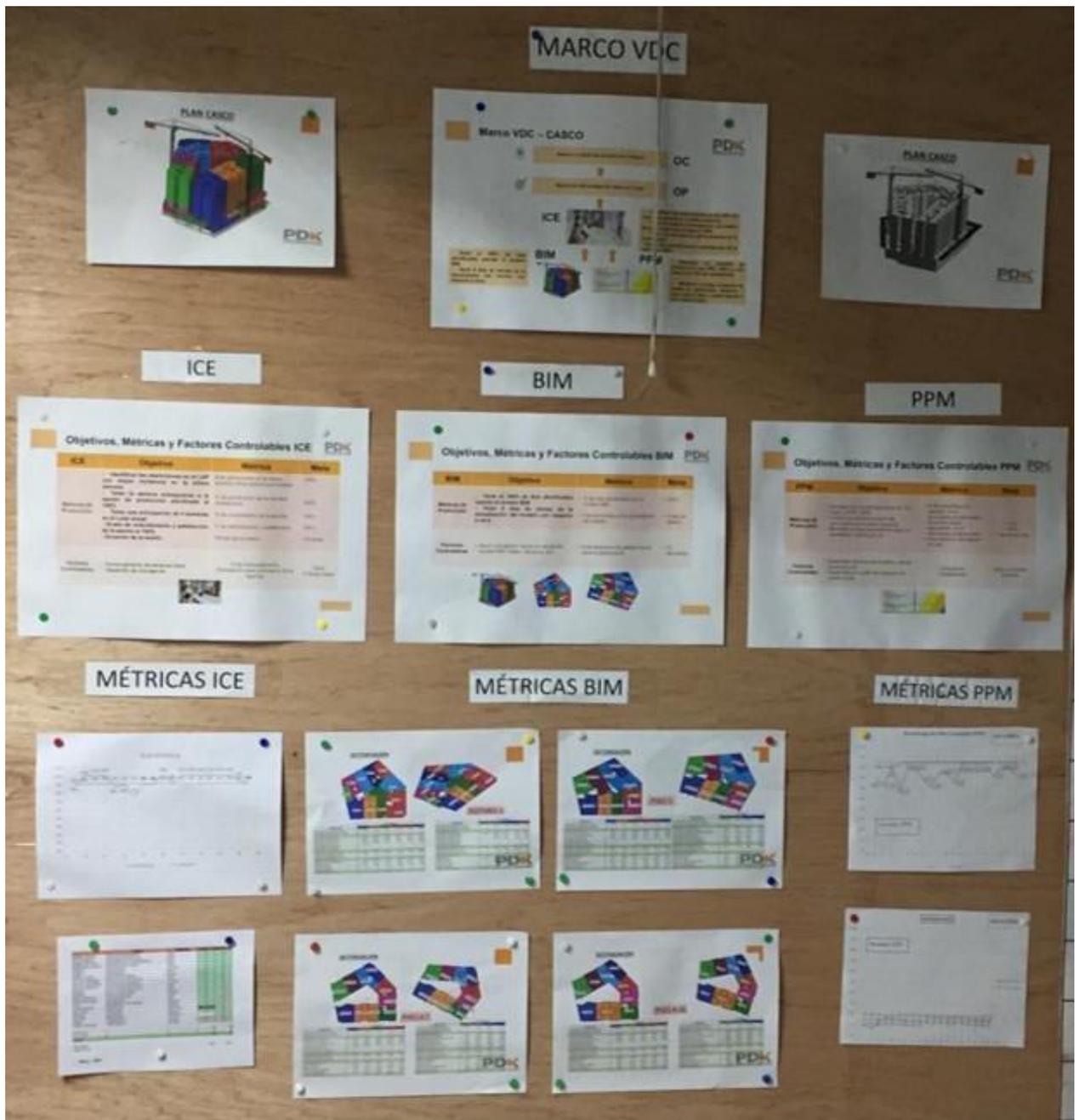
EMANUEL QUISEP / VICTOR VELAZ
 MAGGIO HERBOSO / VICTOR SANCHEZ

N°	P.F.F.	FECHA INGRESO	FRENTE	ESPECIALIDAD	CATEGORIA	ENCOFRADO						TOTAL (hrs)				
						ENCOFRADO VERTICALES	APUNTAMIENTO PREVIAS	APUNTAMIENTO PREVIAS	REPAROS PREVIAS	INSTALACION DE PREVIAS	INSTALACION DE PREVIAS		ENCOFRADO DE ESCALERA	ENCOFRADO DE ESCALERA		
8	BULLINGHURST WEA GUILLERMO HOBER	8/11/2021	A	CARPINTERO	OPERARIO								8.5			
9	CARTIMARI RICHER JOHNY	8/11/2021	A	CARPINTERO	OPERARIO								8.5			
10	QUANTA MOUNDRAGON MICHOY PAUL	8/11/2021	A	CARPINTERO	OPERARIO								9.5			
14	CHANTA MOUNDRAGON WELCHER ADALIP	8/11/2021	A	CARPINTERO	PEON								8.5			
16	CORDOVA BARRANDARAN ADOLDES	7/12/2021	A	CARPINTERO	OPERARIO								8.5			
18	CORDOVA VELAZQUEZ ELAR	3/11/2021	A	CARPINTERO	PEON								8.5			
19	CURRY FERNANDEZ PHOENNY	7/12/2021	A	CARPINTERO	OPERARIO								8.5			
20	ESCAITE GAMACHO OSWALDO MARTIN	4/11/2021	A	CARPINTERO	OPERARIO								8.5			
21	GARCIA ALOP JUAN DIEGO	12/11/2021	A	CARPINTERO	PEON								8.5			
22	GOÑI QUISEP JAVIER	8/11/2021	A	CARPINTERO	OFICIAL								8.5			
23	HERBOSO CARRASCO DIEGO ALEJOS	8/11/2021	A	CARPINTERO	OPERARIO								9.5			
24	HERBOSO VENTUOLLA MAGGIO D'W. JONNY	12/10/2021	A	CARPINTERO	OPERARIO								8.5			
27	INFANTE ESTRADA DEIVIS DAVID	8/11/2021	A	CARPINTERO	OFICIAL								8.5			
30	LOPEZ RIVAS LUIS FERNANDO	11/11/2021	A	CARPINTERO	PEON								8.5			
32	MESO TELLO ORLANDO	11/11/2021	A	CARPINTERO	OPERARIO								8.5			
37	NOBREGA CABALLERO WILSON	12/11/2021	A	CARPINTERO	OPERARIO								8.5			
41	PINEDO DIEZGUE JOSE ALBERTO	11/11/2021	A	CARPINTERO	OPERARIO								8.5			
42	QUISEP PAULINAC HUGO MORTES	8/11/2021	A	CARPINTERO	OPERARIO								8.5			
71	RAMOS PALMELLO LUIS	27/12/2021	A	CARPINTERO	OPERARIO								8.5			
86	SILAS SATIAYANA SEGUNDO NELTON	8/11/2021	A	CARPINTERO	OPERARIO								8.5			
49	SANCHEZ QUINTANA JHERSON MALIN	8/11/2021	A	CARPINTERO	PEON								8.5			
70	TEJERA RETAMADO EFRAN ELIAS	27/12/2021	A	CARPINTERO	OPERARIO								8.5			
83	VALENZUELA CHOCUE BLADIMIRO LEONID	3/11/2021	A	CARPINTERO	PEON								8.5			
56	VALENZUELA CHOCUE ELDIS ALEXANDER	5/11/2021	A	CARPINTERO	OPERARIO								8.5			
85	VELAZCO HERBANY JESUS EDUARDO	11/11/2021	A	CARPINTERO	OFICIAL								8.5			
88	ZARATE QUIJADA ANGELLO OMAR	29/11/2021	A	CARPINTERO	PEON								8.5			
79	MISERANQUE ANTONIO ALEXANDER												8.5			
80	TERAU BAZAU KEVINY												8.5			
81													8.5			
82													8.5			
83													8.5			
1													265.5			
2													8.5			
Total de hrs						555.5	83	34	17	31	9	15	17	8.5	265.5	
Horas de						71.64								8.40		
Banco CT						48.80	160									
Banco = (Hrs / Material)																

MAGGIO HERBOSO
 ENCOFRADO
 PEAZA 27

V.V. PRODUCCION

Anexo 3. Panel del Marco VDC en obra del proyecto multifamiliar.



Anexo 4. Registro de fechas de vaciado de las losas de la “Torre A”.

	LOCATION PLANNING		Intervalos de duración	
	CASCO TA		Duración Casco	Duración Casco
	VACIO DE LOSA		REAL	PLANIFICADO
AZOTEA	28/3/2022	3/4/2022	10.00	8
	3/3/2022	14/3/2022		
PISO 10	14/3/2022	20/3/2022	7.00	5
	23/2/2022	2/3/2022		
PISO 9	7/3/2022	13/3/2022	5.00	5
	15/2/2022	21/2/2022		
PISO 8	28/2/2022	6/3/2022	7.00	5
	31/1/2022	8/2/2022		
PISO 7	21/2/2022	27/2/2022	6.00	5
	21/1/2022	28/1/2022		
PISO 6	14/2/2022	20/2/2022	5.00	5
	14/1/2022	20/1/2022		
PISO 5	7/2/2022	13/2/2022	6.00	5
	6/1/2022	13/1/2022		
PISO 4	31/1/2022	6/2/2022	5.00	5
	29/12/2021	5/1/2022		
PISO 3	24/1/2022	30/1/2022	6.00	5
	20/12/2021	28/12/2021		
PISO 2	17/1/2022	23/1/2022	5.00	5
	10/12/2021	17/12/2021		
PISO 1	3/1/2022	16/1/2022	7.00	5
	30/11/2021	9/12/2021		
SÓTANO 1	6/12/2021	19/12/2021	13.00	
	11/11/2021	29/11/2021		
SÓTANO 2	22/11/2021	5/12/2021	10.00	
	20/10/2021	3/11/2021		
SÓTANO 3	8/11/2021	21/11/2021	10.00	
	1/10/2021	16/10/2021		

Anexo 5. Registro de fechas de vaciado de las losas de la “Torre B”.

	LOCATION PLANNING		Intervalos de duración	
	CASCO TB		Duración Casco	Duración Casco
	VACIO DE LOSA		Real	PLANIFICADO
AZOTEA	27/3/2022	3/4/2022	5.00	7
	8/3/2022	12/3/2022		
PISO 10	14/3/2022	20/3/2022	11.00	5
	22/2/2022	4/3/2022		
PISO 9	7/3/2022	13/3/2022	5.00	5
	14/2/2022	18/2/2022		
PISO 8	28/2/2022	6/3/2022	5.00	5
	7/2/2022	11/2/2022		
PISO 7	21/2/2022	27/2/2022	4.00	5
	31/1/2022	3/2/2022		
PISO 6	14/2/2022	20/2/2022	5.00	5
	24/1/2022	28/1/2022		
PISO 5	7/2/2022	13/2/2022	5.00	5
	14/1/2022	20/1/2022		
PISO 4	31/1/2022	6/2/2022	5.00	5
	7/1/2022	13/1/2022		
PISO 3	24/1/2022	30/1/2022	6.00	5
	30/12/2021	6/1/2022		
PISO 2	17/1/2022	23/1/2022	5.00	5
	22/12/2021	29/12/2021		
PISO 1	3/1/2022	16/1/2022	7.00	8
	10/12/2021	22/12/2021		
SÓTANO 1	27/12/2021	2/1/2022	13.00	
	26/11/2021	7/12/2021		
SÓTANO 2	22/11/2021	28/11/2021	10.00	
	4/11/2021	13/11/2021		

Anexo 6. Análisis de los 05 ¿Por qué? de la torre A y B”.

ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ

PROBLEMA	¿POR QUÉ 1?	¿POR QUÉ 2?	¿POR QUÉ 3?	¿POR QUÉ 4?	¿POR QUÉ 5?	PLAN DE ACCIÓN
Concreto horizontal TA- PIS 2	NO SE COMPLETÓ LA PROGRAMACIÓN DE PREVIAS AL 100% NO LLEGAMOS DEL 51%	AGOSTAMIENTO DE PROVEEDOR	PROBLEMAS DE CAUSAS DE ALERGIAS (EMPRESAS)			LIBERACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PREVIAS PARA LA TA VOLVER A FABRICAR ALERGIAS (S1, S2)
Concreto Horizontal TB- PIS 2	No llegamos previas					CONTINUAR PROVEEDOR A BP.

ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ

PROBLEMA	¿POR QUÉ 1?	¿POR QUÉ 2?	¿POR QUÉ 3?	¿POR QUÉ 4?	¿POR QUÉ 5?	PLAN DE ACCIÓN
Concreto vertical TB- PIS 2	FALTA DE PERSONAL DE EMPLEADO VERTICAL	TARDEZ A EN PROGRAMACIÓN DE PERSONAL				PROYECCIÓN DE PERSONAL AL MENOS 1 SEMANA ANTES
Concreto Horizontal TB- PIS 5	NO SE ACORDA CON IISS E IJEE	RETIRO DE PERSONAL SUBCONTRATISTA POR TÉRMINO DE CONTRATO				COMUNICACIÓN ANTECIPADA DE RETIRO DE PERSONAL

PROBLEMA	¿POR QUÉ 1?	¿POR QUÉ 2?	¿POR QUÉ 3?	¿POR QUÉ 4?	¿POR QUÉ 5?	PLAN DE ACCIÓN
NO SE VALIÓ TA-1053	IISS no incluye en su Acta de	IISS no tiene su material actualizado	NO se aplicaron en el personal, material de IISS			Revisar prácticas del plan superior (1 semana por semana)
NO SE VALIÓ TB-PIOSI	poca cantidad de capataces en to	Abandono de personal no capacitado				se recomendará la cantidad de personal para actividades
NO SE VALIÓ cambios del ta-PIOSI	"	"				"

PROBLEMA	¿POR QUÉ 1?	¿POR QUÉ 2?	¿POR QUÉ 3?	¿POR QUÉ 4?	¿POR QUÉ 5?	PLAN DE ACCIÓN
NO SE VALIÓ PASI completo TB	Falta de personal Sanitario	SE Fu el capataz de IISS con su personal	ausencia de equipo en los trabajos sanitarios			INGRESO DE NUEVO PERSONAL y CAPATAZ SANITARIO

Anexo 7. Control de rendimiento de mano de obra.

FASE	PARTIDA DE CONTROL	FILA	UNIDAD	HH/UND	HH/UND2	SEMANA CALENDARIO										META
						48-2021	49-2021	50-2021	51-2021	52-2021	53-2021	2-2022	3-2022	4-2022	5-2022	
1400.1	ENCORRADO SUPERESTRUCTURA.	175				3.90%	8.10%	14.10%	20.10%	24.00%	34.40%	43.40%	53.00%	59.00%		
1600.1	Producción del Período		m2			621.46	1.044.05	1.491.50	1.491.50	1.466.64	2.395.26	1.740.08	2.386.40	1.4		
1600.1	Producción Acumulada		m2			569.47	2.013.52	3.505.02	4.996.52	6.463.16	9.048.42	10.788.51	13.174.90	14.6		
1600.1	HH del Período		HH			541.71	1.354.00	1.632.50	1.373.00	1.402.00	1.653.00	1.357.00	1.856.00	1.1		
1600.1	HH Acumulados		HH			992.71	2.346.71	3.979.21	5.352.21	6.754.21	8.407.21	9.764.21	11.659.21	12.7		
1600.1	Rendimiento del Período		HH / m2			0.87	1.30	1.09	0.92	0.96	0.64	0.78	0.79			
1600.1	Rendimiento Acumulado		HH / m2			1.02	1.17	1.14	1.07	1.05	0.93	0.91	0.88			
1600.1	Sl. Del período		Sl.								20.919.21	15.002.00	21.429.48	13.9		
1600.1	Sl. Acumulado		Sl.								20.919.21	35.921.21	57.550.69	71.4		

PREFABRICADOS

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	1%
2	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	es.unionpedia.org Fuente de Internet	<1%
4	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
5	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
6	tess.mit.edu Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to ucn Trabajo del estudiante	<1%
8	repositoriotec.tec.ac.cr Fuente de Internet	<1%
9	repositoriodigital.ipn.mx Fuente de Internet	<1%

10	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	<1 %
11	Submitted to Universidad de Cartagena Trabajo del estudiante	<1 %
12	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
15	KNIGHT PIESOLD CONSULTORES S.A.. "EIA del Proyecto Plataforma de Lixiviación 4B-PAD 4B-IGA0003158", R.D. N° 274-2010-MEM/AAM, 2020 Publicación	<1 %
16	prezi.com Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.unican.es Fuente de Internet	<1 %
18	isolution.pro Fuente de Internet	<1 %
19	maesantaelena.files.wordpress.com Fuente de Internet	<1 %
20	turbosol.com Fuente de Internet	<1 %

21	www.scielo.org.mx Fuente de Internet	<1 %
22	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
23	dokumen.tips Fuente de Internet	<1 %
24	www.grespania.com Fuente de Internet	<1 %
25	"Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 26 (2010)", Brill, 2014 Publicación	<1 %
26	www.pj.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
27	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
28	catarina.udlap.mx Fuente de Internet	<1 %
29	issuu.com Fuente de Internet	<1 %
30	Submitted to INACAP Trabajo del estudiante	<1 %
31	Submitted to Universidad Tecnológica del Perú	<1 %

32 ebiltegia.mondragon.edu <1 %
Fuente de Internet

33 mafiadoc.com <1 %
Fuente de Internet

34 repositorio.esan.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

35 een.cea.es <1 %
Fuente de Internet

36 repositorio.espe.edu.ec <1 %
Fuente de Internet

37 repositorio.ulima.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

38 riunet.upv.es <1 %
Fuente de Internet

39 www.areas.es <1 %
Fuente de Internet

40 www.cacic2016.unsl.edu.ar <1 %
Fuente de Internet

41 www.neumomadrid.org <1 %
Fuente de Internet

42 www.sanvalero.net <1 %
Fuente de Internet

43 www.upme.gov.co

Fuente de Internet

<1 %

44

blog.seidor.com

Fuente de Internet

<1 %

45

docs.computacao.ufcg.edu.br

Fuente de Internet

<1 %

46

go.gale.com

Fuente de Internet

<1 %

47

noticiasindustriarestaurantera2a.blogspot.com

Fuente de Internet

<1 %

48

pesquisa.bvsalud.org

Fuente de Internet

<1 %

49

tesis.pucp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

50

www.bimandco.com

Fuente de Internet

<1 %

51

www.bmcsoftware.mx

Fuente de Internet

<1 %

52

www.compartel.gov.co

Fuente de Internet

<1 %

53

www.erudit.org

Fuente de Internet

<1 %

54

www.invemar.org.co

Fuente de Internet

<1 %

55 www.invertirenburgos.com <1 %
Fuente de Internet

56 www.mundogar.es <1 %
Fuente de Internet

57 www.provenexpert.com <1 %
Fuente de Internet

58 www.webyempresas.com <1 %
Fuente de Internet

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 10 words

Excluir bibliografía

Apagado