

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS BIM Y LEAN  
CONSTRUCTION PARA MEJORAR LA  
PRODUCTIVIDAD DE UNA INFRAESTRUCTURA, 2023”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título  
profesional de:

INGENIERO CIVIL

**Autor:**

Armando Del Carpio Castillo

Asesor:

Mg. Ing. Julio Christian Quesada Llanto  
<https://orcid.org/0000-0003-4366-4926>

Lima - Perú

2023

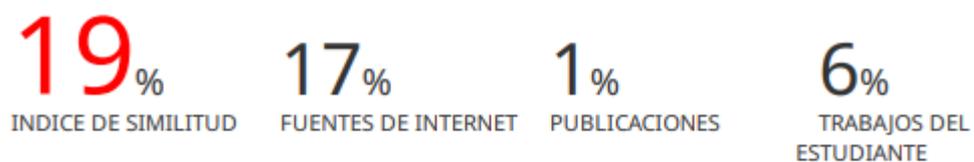
## INFORME DE SIMILITUD

TSP-Armando Del Carpio

---

INFORME DE ORIGINALIDAD

---



ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

---

2%

★ [repositorio.pucp.edu.pe](https://repositorio.pucp.edu.pe)

Fuente de Internet

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

## **DEDICATORIA**

A Dios por siempre iluminar mi camino con bendición, a mi padres, hermanos, padrinos y compañeros de estudio por el apoyo durante la elaboración del trabajo de investigación.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi gratitud para los educadores que imparten conocimiento en la carrera Universitaria por sus enseñanzas y a mi querida familia por su apoyo constante.

## Tabla de contenidos

<b>INFORME DE SIMILITUD</b> .....	<b>2</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>3</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>7</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b> .....	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA</b> .....	<b>23</b>
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS</b> .....	<b>54</b>
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>65</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>67</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Detección de incompatibilidades identificadas .....	32
Tabla 2: Resumen de incompatibilidades sector 1 .....	34
Tabla 3: Resumen de incompatibilidades sector 2.....	35
Tabla 4: Resumen de incompatibilidades sector 3.....	36
Tabla 5: Tabla de metrados desde Revit.....	47
Tabla 6: Resultado de reportes de incompatibilidades sector 1 .....	55
Tabla 7: Resultado de reportes de incompatibilidades sector 2 y 3.....	56
Tabla 8: Número de incompatibilidades detectadas.....	58
Tabla 9: Tabla comparativa entre los metrados.....	60
Tabla 10: Tabla comparativa entre costos.....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de flujo de recopilación.....	13
Figura 2: Modelamiento de la topografía existente .....	25
Figura 3: Modelamiento de los apoyos para el puente.....	26
Figura 4: Modelamiento de acero de los apoyos para el puente.....	27
Figura 5: Modelamiento subestructura y superestructura.....	28
Figura 6: Modelamiento de la topografía, subestructura y subestructura.....	29
Figura 7: Incompatibilidad entre la viga y superestructura, modelo 3D.....	37
Figura 8: Incompatibilidad entre los planos, muro de contención .....	39
Figura 9: Modelo 3D con la forma seleccionada.....	40
Figura 10: Modelo 3D con la forma seleccionada.....	40
Figura 11: Incompatibilidad respecto al ancho del muro.....	41
Figura 12: Obtención del metrado de encofrado y costos.....	42
Figura 13: Obtención del metrado de concreto y costos.....	43
Figura 14: Obtención del metrado de acero y costos.....	44
Figura 15: Uso de Dynamo para la obtención de los volúmenes.....	45
Figura 16: Uso de Dynamo para la colocar los precios unitarios.....	46
Figura 17: Imagen del cronograma de obra.....	49
Figura 18: Uso de software Navisworks para la implementación de BIM 4D.....	50
Figura 19: Plan de actividades semanales usando el sistema Last Planner.....	51
Figura 20: Log de restricciones usando el sistema Last Planner.....	51
Figura 21: Simulación 4D de la secuencia semanal del proyecto.....	53

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El sector de la construcción es esencial en la economía global por su uso de recursos y generación de empleo. Para adaptarse y aprovechar el desarrollo tecnológico, se han implementado metodologías como BIM y Lean Construction, mejorando los indicadores de rendimiento en la gestión y ejecución de obras.

El objetivo del trabajo de suficiencia profesional es determinar la relación sinérgica entre la metodología de trabajo BIM y Construction Lean para mejorar la productividad en la construcción del puente.

La metodología es de tipo aplicada por su propósito, datos cuantitativos, investigación sin realizar experimentos, transversal, nivel de análisis describir - explicativo, la población representa el Puente Metálico Modular de tipo CB200A denominado Bethania 2, ubicado en la zona residencial Ribera del Río Chillón para el análisis de interacción entre la metodología BIM y Lean Construction. La muestra representa igualdad con la población, por ello, el muestreo es intencional de tipo no probabilístico.

Se utilizó la revisión documental, observación y el Software Autodesk como técnicas y como instrumentos se empleó programas de Autodesk y fichas de resumen, ello permitió diseñar y modelar la construcción del puente.

**PALABRAS CLAVES:** SINERGÍA, BIM, LEAN CONSTRUCTION, PUENTE, PRODUCTIVIDAD, CONSTRUCCIÓN.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Las estructuras de concreto armado, son aquellas que se usadas en las construcciones de edificios, industrias, hospitales, etc. El concreto armado es la combinación de acero y concreto, así las mismas forman un mismo sistema. Una estructura mal diseñada y/o ejecutada, pone en peligro vidas humanas como también una perdida monetaria. Una buena construcción desde su concepción garantizará un aseguramiento de vidas, ya sea por la exposición a temblores y/o a al paso del tiempo.

Teniendo en cuenta el impacto que causa el mal proceso constructivo, esto afectaría a todo proyecto existente, las empresas de hoy en día le han dado importancia al análisis y el valor de sus costos y a sus procedimientos constructivos de modo que esto sea lo más efectivo posible. (Ferrer, 2018)

En la etapa de desarrollo en la construcción de infraestructuras tanto por administración directa y o Indirecta el procedimiento constructivo como los materiales son factores importantes para la correcta culminación de estas. Una inadecuada planificación, ejecución, y control genera una ineficiencia, es por ello, en la gran mayoría de los proyectos presentan deficiencias constructivas, los cuales se traducen en pérdidas como de vidas y económicas.

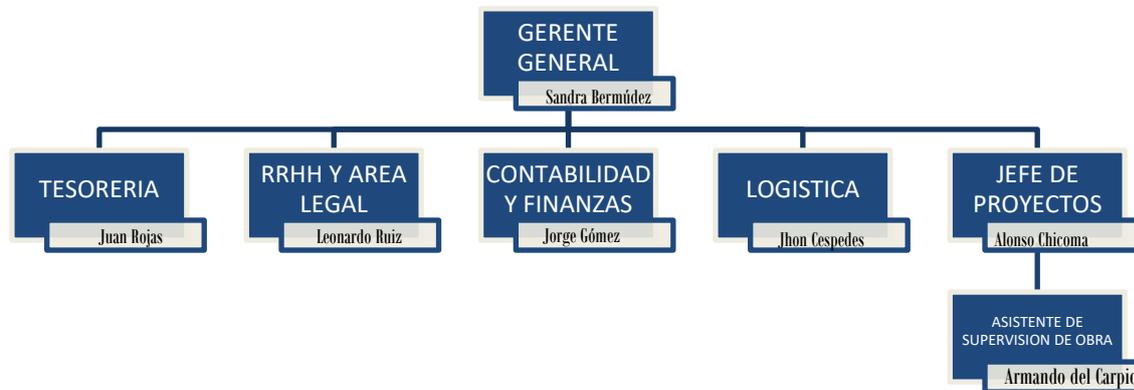
La empresa Fermica Servicios Generales E.I.R.L. posee una gran trayectoria profesional, brindando una vasta experiencia en el desarrollo de proyectos a nivel local e internacional.

Fermica cuenta con un staff de profesionales multidisciplinario y técnicos para el desarrollo de sus proyectos, que demuestran capacidad técnica en las etapas de planificación, desarrollo y culminación o cierre de los proyectos.

## Organigrama de la empresa

**Figura 1**

*Organigrama Empresarial*



*Fuente:* Fermica Servicios Generales E.I.R.L.

La misión de la empresa es ser líder en el mercado de la construcción, reconocida por la calidad y cumplimiento de los plazos dados a sus clientes.

La visión de la empresa es contribuir en el desarrollo de infraestructura dentro del país, cumpliendo con las expectativas del cliente, asimismo proveer servicios con calidad, eficiencia y responsabilidad.

## Figura 2

*FODA de la empresa Fermica Servicios Generales E.I.R.L.*



*Fuente:* Elaboración propia (2023)

## Proyectos

- Diseño de infraestructura viviendas y/o hospitalaria.
- Diseño vial y urbanístico.
- Desarrollo en proyectos de Arquitectónicos, Estructurales e Instalaciones eléctricas y Sanitarias.

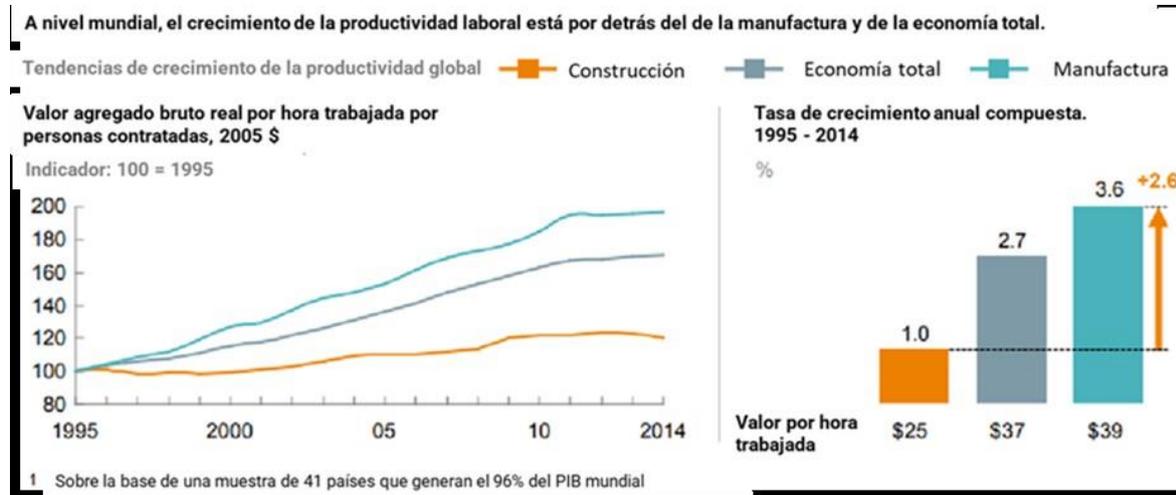
**La empresa está ubicada** en Av. 28 de Julio N° 391 (Frente a Luz del Sur), La Victoria-Lima.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

A nivel mundial, el crecimiento de la productividad en el sector de la construcción va atrasado a comparación de otros sectores. Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), en los últimos 20 años ha habido una brecha entre el crecimiento de la productividad en este sector en particular y el promedio económico general, con el primero creciendo un 1% mientras que este último ha aumentado un 2,7%. Estos indicadores brindan una perspectiva de cómo la industria de la construcción actual no puede satisfacer la demanda global y se está quedando atrás debido a factores como la falta de activos de calidad, la falta de innovación, la entrega retrasada de proyectos y los altos costos (Lawson y Price, 2017). No obstante, este importante sector tuvo un decrecimiento mundial en productividad debido al fenómeno permanente de resistencia por parte de la organización a la implementación de nuevas tecnologías y se aplica con mayor presencia en el sector. Respecto a la productividad del sector de la construcción en el Perú, el capital tecnológico y el conocimiento son esenciales porque hoy en día los proyectos son más complejos y no debe haber pérdidas de eficiencia en el traspaso de información entre las etapas de un proyecto, la brecha de productividad con respecto a la productividad total de la economía se está ampliando cada año, por más que, el sector aporta con su crecimiento a la economía nacional, esto se debe justamente al bajo uso del capital tecnológico y del conocimiento.

## Figura 1

### *Crecimiento de la productividad laboral a nivel mundial, 1995-2014*



Fuente: “Reinventing Construction: A Router To Higher Productivity”, McKinsey & Company Report February 2017.

El nivel de productividad laboral en la industria de la construcción en comparación con el crecimiento de precios constantes en 2005 para el período 1995 a 2015, incluidos 38 países en todo el mundo. Se puede observar que los países latinoamericanos están relativamente atrasados y con poca inversión en la industria, a diferencia de USA, Japón, España, Francia y otros países, aunque el desempeño es bueno, está cerca del declive de la industria (Lawson y Price, 2017).

A nivel internacional, existen expectativas e intereses emergentes en esta industria, sin embargo apenas empieza a manifestarse el desarrollo de las tecnologías del modelado de información en el proceso constructivo (García, Martínez, González y Auat, 2020). En cuanto a las publicaciones estudiadas explican diferentes experiencias y retos técnicos, con un amplio abanico de desarrollo, además de una diversidad de ventajas potenciales, este hecho muestra el surgimiento de una tecnología que debe inclinarse gradualmente hacia procedimientos y

aplicaciones, los casos revisados revelan la viabilidad, su capacidad productiva (Osorio, Foronda, Amarillez y González, 2021).

Durante los últimos años, se evidencia una evolución digital en sector de la ingeniería civil a través de la aplicación del método de modelado de información de construcción (BIM) en la ejecución de proyectos, el método BIM posibilita minimizar costos, ejecutar de manera más eficaz y permite que las personas involucradas coordinen hacia un resultado compartido. Asimismo, la plataforma BIM brinda una extensa serie de herramientas que posibilita unificar las especialidades de un proyecto en un único modelo virtual (Valdepeñas et al., 2020). Debido a esto, BIM se ha convertido en un tema relevante en la industria y academia, genera un aumento de publicaciones de investigaciones sobre el tema, destacando más por su clave e innovador enfoque en la construcción y en la ingeniería civil (Osorio et al., 2021).

La filosofía Lean brinda una visión integral de la cultura y la estrategia para servir a los clientes finales con alta calidad, bajo costo y tiempo de entrega, producir lo que quieren, cuando quieren, donde quieren al precio más bajo y al precio justo. Como el cliente final que determina si los servicios o productos proporcionados por la empresa son valiosos (Hernández, 2015).

Por otra parte, la producción de Perú cayó un 10,9% en el último trimestre de 2021, pero se espera una caída en 2022. Esta situación está en consonancia con el aumento de los precios de los materiales de construcción, que están causando dificultades a la industria debido a cambios repentinos en los presupuestos y cronogramas que retrasan las fechas de entrega. Perú necesita una importante inversión de capital en mecanismos que promuevan el desarrollo, no solo de la empresa privada, sino también del apoyo del gobierno para reducir el déficit y crear un mayor impacto positivo (Ministerio de Economía y Finanzas, 2022).

La productividad se refiere a lo que produce un trabajo, la producción por trabajador, la producción por hora trabajada o cualquier otra medida de producción basada en factores

laborales. Mayor productividad significa hacer más con la misma cantidad de recursos, o hacer lo mismo con menos capital, mano de obra y tierra (Alpuche, 2004).

En los últimos años, la productividad en la industria ha aumentado gradualmente, se creó un enfoque llamado Lean Manufacturing basado en el objetivo de reducir el desperdicio para ahorrar tiempo y dinero. Una filosofía que también se debe seguir en industrias como la construcción para alcanzar los objetivos de industrializar la industria y aumentar la eficiencia y la productividad, el objetivo principal es hacer más eficiente toda la cadena de valor del proyecto, para ello han surgido métodos y herramientas de trabajo BIM que ayudan a resolver problemas de organización de proyectos e identificar problemas en la fase de diseño con el fin de eliminarlos. Uno de los principios de este enfoque es hacer que diferentes agentes trabajen hacia un objetivo común. Por otro lado Building Information Modeling (BIM) es un sistema para el diseño, gestión y desarrollo de proyectos arquitectónicos, basado en el uso de modelos 3D virtuales paramétricos vinculados a una base de datos que contiene todos los parámetros de construcción como materiales, cálculos, costes, tiempo, relaciones, de principio a fin, aportando una base sólida de gran utilidad para la toma de decisiones, soluciones que cada vez se implementan más en los proyectos de construcción para lograr objetivos de mejora, ayuda a reducir los errores y las omisiones, comprender mejor el diseño y la construcción, garantizar un diseño y una construcción de mayor calidad, coordinar el diseño y la especialización interdisciplinarios en varios modelos y reducir la repetición del trabajo, además, el equipo aumenta la productividad. En definitiva, una forma de pensar basada en reducir las cosas que no aportan valor, lo que también ayuda a reducir costos (Musaat, 2019).

La industria de la construcción es consciente de los problemas como los sobrecostos y las entregas tardías, hay una serie de eventos que pueden mitigar estos efectos, optimizar y automatizar flujos de proceso operacionales y de soporte dentro de la cadena de valor de la construcción de proyectos, no es solo una visión de futuro, sino más bien una necesidad actual

para continuar el desarrollo de los proyectos en equilibrio con la salud de los trabajadores y los resultados económicos que se proyectan. Existe relación simbiótica entre Building Information Modeling y Lean Construction, presenta una solución acorde a la inversión mínima necesaria que se debe realizar para satisfacer esta necesidad. Building Information Modeling automatiza los flujos de información y Lean Construction optimiza los flujos, Lean genera la eficiencia en el flujo de la cadena de valor a través de un ambiente tecnológico genera mejores resultados, Building Information Modeling te ayuda a detectar interferencias, bajo el sistema de gestión Lean Construcción se evita las interferencias, en ese sentido no va a haber desperdicios en la revisión de las interferencias. La interacción entre ambos es fundamental, ya que BIM puede satisfacer todas las necesidades por sí mismo y corre el riesgo de que la herramienta no lo aproveche al máximo. BIM utiliza procesos confiables y eficientes para implementar, controlar y refinar, Lean Construcción proporciona los procedimientos más efectivos para la mejora continua, proporciona un marco conceptual para la implementación de modelos BIM, ya que el impacto de BIM está directamente relacionado con los principios Lean. Por lo tanto, los equipos BIM exitosos utilizan procesos lean para planificar, ejecutar, controlar y actuar, BIM permite automatizar y optimizar los procesos (Musaat, 2019).

Estudios recientes sobre estos temas han demostrado que existe una sinergia entre los dos, es decir, no están del otro lado sino que cooperan entre sí, algunas de las sinergias entre ambos son las siguientes: reducir la variabilidad del producto final, reducir la variabilidad de la producción, reducir la duración del ciclo de producción, reducir el tamaño de los lotes hacia el flujo de una sola pieza, usa sistemas de tracción, verificar y validar la generación de valor, decidir por consenso, asegurar la consistencia de los requisitos, estandarizar los procesos de trabajo, visualizar el proceso de producción. Por esta razón, son importantes impulsores de la transformación de la industria de la construcción, por lo que vale la pena mencionar que estas sinergias se extienden desde la etapa de diseño hasta las fases de construcción y gestión. Existe

interacción entre BIM y Lean Construcción, por lo que están vinculados por los objetivos por los que trabajan. BIM busca crear valor para los clientes aplicando una gestión de datos de calidad, mientras que Lean busca crear valor implementando procesos optimizados. La colaboración entre ambos es necesaria porque BIM logra satisfacer las necesidades por sí mismo mediante el uso de procesos confiables y eficientes para introducir, controlar y refinar los datos en un proyecto, mientras que Lean proporciona un procedimiento eficiente para la mejora continua (Alvarez, 2022).

Por otro lado, Provías Nacional implementa un sistema de gestión de proyectos para utilizarlo en el proceso de diseño y ejecución de carreteras y puentes, sala donde se implementará la metodología BIM (Building Information Modeling), sistema de gestión de proyectos, que se aplicará en todo el ciclo de vida de los proyectos de infraestructura vial a cargo de Provías Nacional (PVN). La implementación de esta metodología en las obras de carreteras y puentes permitirá producir y almacenar toda la información necesaria para operar en las distintas fases de los proyectos constructivos hasta su conservación, operación y mantenimiento (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2021).

A nivel nacional, existen deficiencias en la ejecución de los proyectos de inversión pública, el presupuesto asignado a las entidades no se gasta completamente siempre existe presupuesto que se deja de gastar y por lo tanto la población deja de obtener los servicios oportunamente, la brecha entre lo asignado y lo gastado es casi constante en los últimos años, sumado a esto, los gobiernos han reconocido la necesidad de mejorar la calidad de la infraestructura pública para mejorar la calidad de los servicios públicos prestados a los ciudadanos. En consecuencia, el estado viene promoviendo el proceso de adopción de la metodología BIM en las entidades y empresas públicas a nivel nacional, a fin de buscar la mejora en la gestión de sus proyectos u obras públicas, tal es así existe documentación técnica Guía Nacional BIM: Gestión de la información para inversiones desarrolladas con BIM, resalta la importancia de la metodología

de trabajo colaborativo para la gestión de la información de un proyecto de inversión, que hace uso de un modelo de información para facilitar la gestión durante la ejecución de la obra, tales como construcción de puente vehiculares y peatonales (Ministerio de Economía y Finanzas,2022).

Por lo expuesto, es importante analizar la interacción entre la metodología BIM y LEAN CONSTRUCTION ya que aún no se aplica en la construcción de puentes vehiculares y peatonales, ya que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones recién esta implementando la metodología BIM, en ese sentido se formula la pregunta de investigación ¿Como el análisis de la interacción entre la metodología BIM y LEAN CONSTRUCTION mejorará la productividad de la construcción de un puente, Puente Piedra, 2022? En ese sentido, el objetivo general del presente estudio es determinar la interacción entre la metodología BIM y LEAN CONSTRUCTION en la mejora de la productividad de la construcción de un puente, Puente Piedra, 2022.

Los **antecedentes internacionales** que se identificaron para la presente investigación son los siguientes:

Según Eldeep, Farag y Adb el. (2022), en su investigación “Using BIM as a lean management tool in construction processes – A case study”, investiga el BIM como una herramienta LEAN en los procesos de construcción con un estudio de caso concentrándose en comprender las interacciones entre los procesos de diseño e implementación. La investigación demuestra que BIM puede detectar errores, omisiones y conflictos antes de la construcción, lo que ayudó a reducir el desperdicio y hacer que los procesos de construcción sean más lineales. BIM ayudó a minimizar el tiempo de diseño a casi un 50 % y admite la prefabricación y actividades de instalación para ahorrar hasta un mes y medio durante la ejecución al eliminar los desperdicios de tiempo de espera a través de los procesos de construcción.

Asimismo, Rashidian, Drogemuller y Omrani (2022), sostiene en la investigación “La compatibilidad de los modelos de madurez BIM existentes con la construcción ajustada y la entrega integrada de proyectos”, el modelado de información de construcción (BIM), la entrega integrada de proyectos (IPD) y Lean Construction están ganando una penetración cada vez mayor en la industria de la arquitectura, la ingeniería y la construcción (AEC). Los modelos de madurez existentes para cada una de estas áreas permiten a las organizaciones evaluar su capacidad actual y guiar sus caminos futuros para aumentar la competencia. Existen importantes dependencias mutuas entre estos enfoques; por lo tanto, sería útil que las organizaciones entendieran cómo aplicarlos para maximizar los beneficios en las tres iniciativas.

Además, Zhan, et al. (2022), menciona en la investigación “System Dynamics Outlook en BIM y LEAN Interacción en la medición de cantidades de construcción”, tiene como objetivo identificar los desafíos y estrategias en la implementación de BIM-LEAN en las prácticas de QS, así como desarrollar un modelo de dinámica de sistema conceptual para ayudar en este esfuerzo. Los desafíos relacionados con cuestiones financieras, como el costo del hardware y el software y el costo de la capacitación, podrían tener un mayor impacto en las pequeñas y medianas empresas de QS. La falta de expertos en BIM-LEAN en las organizaciones podría ser otra barrera para implementar BIM-LEAN en la práctica de QS y esto, a su vez, podría afectar aún más el proceso de toma de decisiones para adoptar BIM-LEAN, iniciando así una espiral mortal. Las futuras oportunidades de investigación podrían ser aplicar BIM-LEAN a la práctica de QS aplicándolo al proceso de QS y colaborando con otras partes de la construcción. Porque la interacción BIM-LEAN exitosa requiere una cooperación suficiente entre las otras partes involucradas en la construcción (es decir, cliente, arquitecto, ingeniero y contratista).

De igual forma, Sepasgozar, et al. (2020), indica en la investigación “Lean Practices Using Building Information Modeling (BIM) and Digital Twinning for Sustainable Construction”,

que existe la necesidad de aplicar enfoques lean en los proyectos de construcción. La investigación tiene como objetivo descubrir los esfuerzos recientes de utilizar BIM para fines lean en la última década mediante una revisión crítica a la literatura publicada e identificar grupos dominantes de temas de investigación, los resultados del análisis de conglomerados muestran dos direcciones principales, incluida la práctica reciente de interacciones Lean y BIM y problemas de adopción de Lean y BIM. Los hallazgos revelaron una gran sinergia entre Lean y BIM en las interacciones de control y la reducción de las variaciones y, sorprendentemente, hay muchas áreas descubiertas en este campo. Los resultados también muestran que la capacidad de Lean tampoco se considera en gran medida en los desarrollos recientes. La cantidad de documentos que cubren tanto lean como BIM es muy limitada, y existe una gran brecha clara en la comprensión de las interacciones sinérgicas de los conceptos lean que se aplican en BIM e Lean en campos específicos de la construcción, como los proyectos de infraestructura sostenible.

Además, Tezel, et al. (2019), menciona en la investigación “Lean Construction y BIM en las Pequeñas y Medianas Empresas (PYMES) de la Construcción”, la construcción ajustada (LC) y el modelado de información de construcción (BIM) son dos de los conceptos destacados que desafían las prácticas tradicionales en la gestión de la construcción. Las pequeñas y medianas empresas (PYME) a menudo constituyen el grupo más grande en las cadenas de suministro de la construcción. Aumentar la adopción de BIM y LC entre las pymes es una condición clave para lograr la transformación de la industria de la construcción a través de BIM y LC.

De igual forma, Demirdöğen, et al.(2021), sostiene en la investigación “Marco de madurez basado en Lean que integra valor, BIM y Big Data Analytics: evidencia de la industria AEC”, La filosofía Lean Management (LM) se convirtió en una forma importante de eliminar actividades y desechos sin valor agregado durante el ciclo de vida de un edificio. Sin embargo,

los estudios han demostrado que las filosofías no son eficientes por sí mismas para resolver los problemas de la industria de la construcción. Necesitan ser apoyados con las tecnologías y herramientas apropiadas. Por lo tanto, se propuso en la literatura el uso integrado de Building Information Modeling (BIM) con LM. No obstante, también se vio que BIM puede proporcionar más información y mejoras cuando BIM se integra con herramientas de análisis de datos para analizar datos BIM.

Por otra parte, Flórez (2020), menciona en su investigación “INTERACCION ENTRE BIM Y LEAN CONSTRUCTION ANALIZADAS EN PROYECTOS DE EDIFICACION”, se muestra que el uso de BIM en proyectos multifamiliares beneficia los principios y herramientas de Lean Construction, para ello se analizan 3 proyectos multifamiliares desarrollados en Lima, en los que en uno de ellos se utiliza solamente la filosofía del Lean Construction mientras que en los otros dos, se implementa la metodología de BIM, uno de ellos durante la etapa de diseño y el otro durante la etapa de construcción, el uso de BIM influye positivamente en los proyectos de edificación y potencia los principios teóricos y prácticos de Lean Construction. Sin embargo, los resultados positivos dependen de mucho esfuerzo, dedicación, aprendizaje y retroalimentación en el tiempo por parte de la empresa encargada de la adopción BIM, así como de la experiencia y del buen proceder del equipo de trabajo elegido para ejecutar la obra para obtener resultados y mejoras positivas en el tiempo.

Además, Apaza, (2018), indica en su investigación “Aplicación de metodología BIM para mejorar la gestión de proyectos de edificaciones en Tacna”, es un aporte para mejorar la gestión de proyectos de edificaciones en Tacna mediante el uso de las metodologías BIM, para ello se presenta el diagnóstico situacional de las metodologías BIM tanto en el Perú como en el mundo, se hace una revisión de todos los conceptos necesarios para entender el marco teórico de las metodologías BIM y de la gestión de proyectos de edificaciones, el procesamiento de datos explica todos los pasos que se siguieron para la elaboración del modelo BIM, desde la

recolección de la información hasta la elaboración del modelo integrado. Se analizan los resultados obtenidos de las metodologías BIM y la influencia que tienen en la gestión de proyectos de edificaciones en Tacna, finalmente se llega a la conclusión que las metodologías BIM mejoran la gestión de proyectos de edificaciones en Tacna.

Asimismo, Bardales y Correal (2020), en su investigación “Metodología Lean Construction en la mejora de la producción, caso de estudio: red de alcantarillado Av. Cieza De León – La Purísima”, el objetivo de la presente investigación fue aplicar la metodología Lean Construction para mejorar la producción, el diseño de la investigación fue no experimental – cuantitativo, se utilizó la técnica de la encuesta y la observación, donde se recogió datos de rendimiento de hora, también se verifico las partidas de la red de alcantarillado, se logró un aumento notable de la producción en el rendimiento de mano de obra en un 10.5 %, reducción de las pérdidas de productividad en un 13.83 % y un ahorro en el costo directo de S/.21, 523.52 soles. Las principales pérdidas fue el desconocimiento de los procesos de gestión, malos procesos constructivos y la ausencia de control en los trabajos.

Por otra parte, Huapaya y Torres (2021), menciona en su investigación “Implementación de la metodología lean construction y las herramientas de la calidad para mejorar la productividad en la obra de reconstrucción y modernización de la institución educativa n°21508 ubicado en el distrito de Imperial - provincia de Cañete - departamento de Lima”, . que el objetivo del estudio abarca la identificación del estado de la productividad en la medición de los tipos de trabajos expresados en porcentajes y la aplicación de la Metodología Lean Construction y Herramientas de la Calidad para mejorar la productividad en las partidas que conforman el casco estructural, concluye que el bajo rendimiento y el exceso de trabajos improductivos se debe a la mala planificación y al mal manejo de los procesos constructivos, la aplicación de la Metodología Lean Construction y las Herramientas de la Calidad, permite un rendimiento superior al 20% y un avance programado de 87% del avance mensual.

### **CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA**

Previo al inicio del trabajo de suficiencia profesional, se ha realizado la gestión necesaria para obtener los permisos requeridos de Municipio Puente Piedra y entrega del Expediente Técnico “Construcción de un puente que abarca tanto el tráfico vehicular como el peatonal, situado en la zona residencial de Ribera del Río Chillón, dentro de la ciudad de Lima”, cabe mencionar que su uso ha sido para fines de investigación académica.

Seguidamente, se procedió a revisar el contenido del Proyecto de Inversión Técnico, dando prioridad a la revisión de los planos, metrados, presupuestos y especificaciones técnicas.

#### **Desarrollar modelo BIM 3D en base a los archivos. dwg proporcionados**

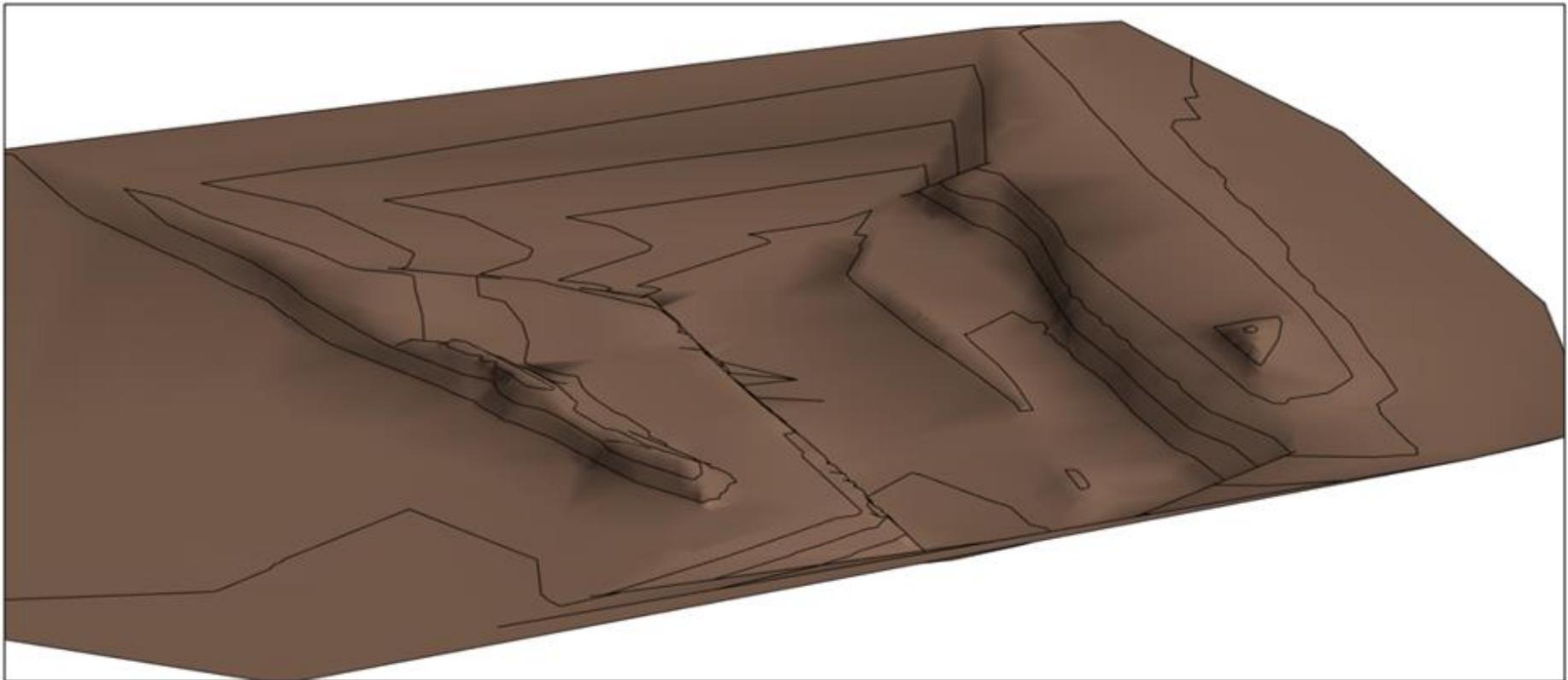
**Con relación al método empleado para alcanzar el primer objetivo específico**, he de mencionar que el proceso de desarrollo del proyecto comenzó con la aplicación de técnicas de modelado, utilizando la herramienta Revit. Este proceso se llevó a cabo con el objetivo de obtener un Nivel de Desarrollo (LOD) 300, lo que implica un desarrollo detallado del diseño en los aspectos arquitectónicos, estructurales e instalaciones. Este enfoque permite adherir a los estándares de las dimensiones 3D y 5D de Building Information Modeling (BIM), que incluyen aspectos como la visualización tridimensional y la evaluación de costos según el modelado, respectivamente. Cabe resaltar, el procedimiento de modelado se realizó de acuerdo con las dimensiones BIM de la Guía Nacional BIM Perú. Los elementos modelados corresponden a la topografía, subestructura y superestructura del Puente Metálico Modular de tipo CB200A.

El proyecto fue modelado a partir de archivos .dwg proporcionados por la entidad. Asimismo, el desarrollo del modelo contempla la georreferenciación de los elementos y el tipo de modelado “in situ” debido a las características particulares del proyecto. Sin embargo, se prevé realizar modificaciones posteriores con la finalidad de desarrollar familias específicas

para trabajar los diversos tipos de elementos con características en común. A continuación, se muestra la georreferenciación y el modelado del terreno de acuerdo con la Figura 2:

**Figura 2**

*Modelamiento de la topografía existente*

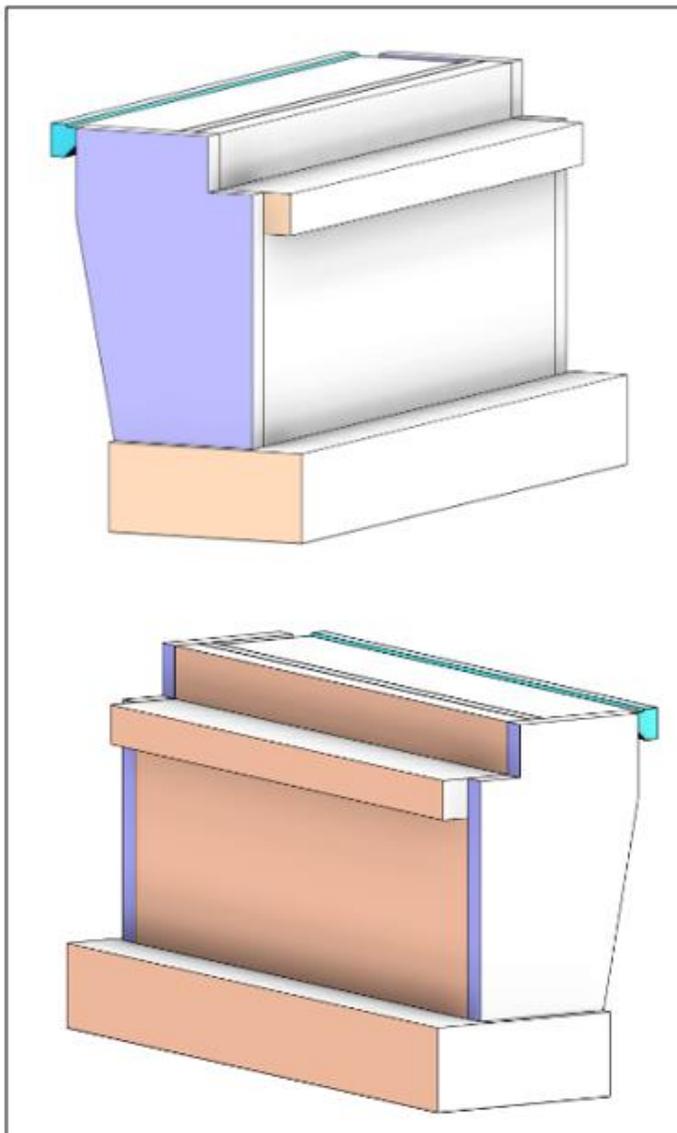


Fuente: Elaboración propia

El modelado de los apoyos para el puente Bethania 2 es un componente fundamental en la etapa de diseño. Se deben tener en cuenta diversos aspectos, como la capacidad de carga, la estabilidad estructural y la interacción con los demás elementos del puente, según la Figura 3.

**Figura 3**

*Modelamiento de los apoyos para el puente*

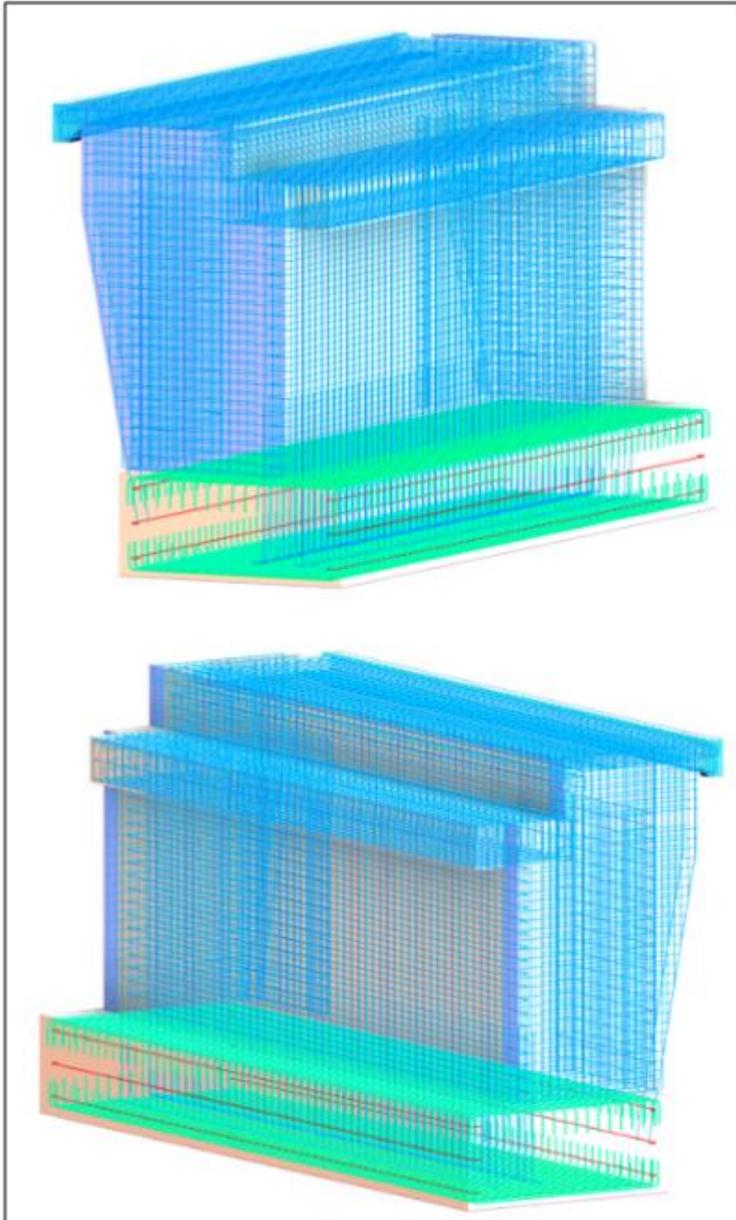


Fuente: Elaboración propia

En el modelado y ejecución de los apoyos de acero del puente Bethania 2 mejora la visualización, coordinación y optimización del proceso de construcción. Esto se traduce en una implementación de alta calidad y eficiencia, como se muestra en la Figura 4.

**Figura 4**

*Modelamiento de acero de los apoyos para el puente*

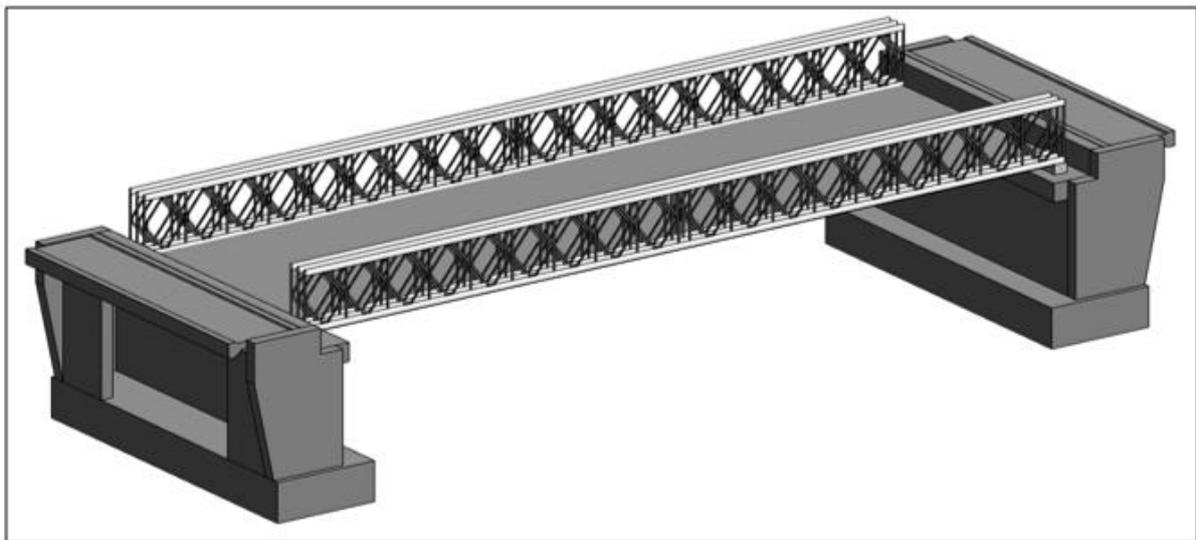


Fuente: Elaboración propia

Se crea un modelo 3D de la subestructura y superestructura del puente, que incluye los cimientos, pilares, estribos y otros elementos de apoyo. Se asignan propiedades y materiales adecuados a cada componente. Además, se pueden realizar análisis estructurales para verificar la resistencia y estabilidad de la subestructura. En resumen, el modelado permite una mejor visualización, análisis y coordinación de todos los componentes del puente, lo que conduce a una construcción más eficiente, segura y rentable, según la Figura 5.

### **Figura 5**

#### *Modelamiento subestructura y superestructura*

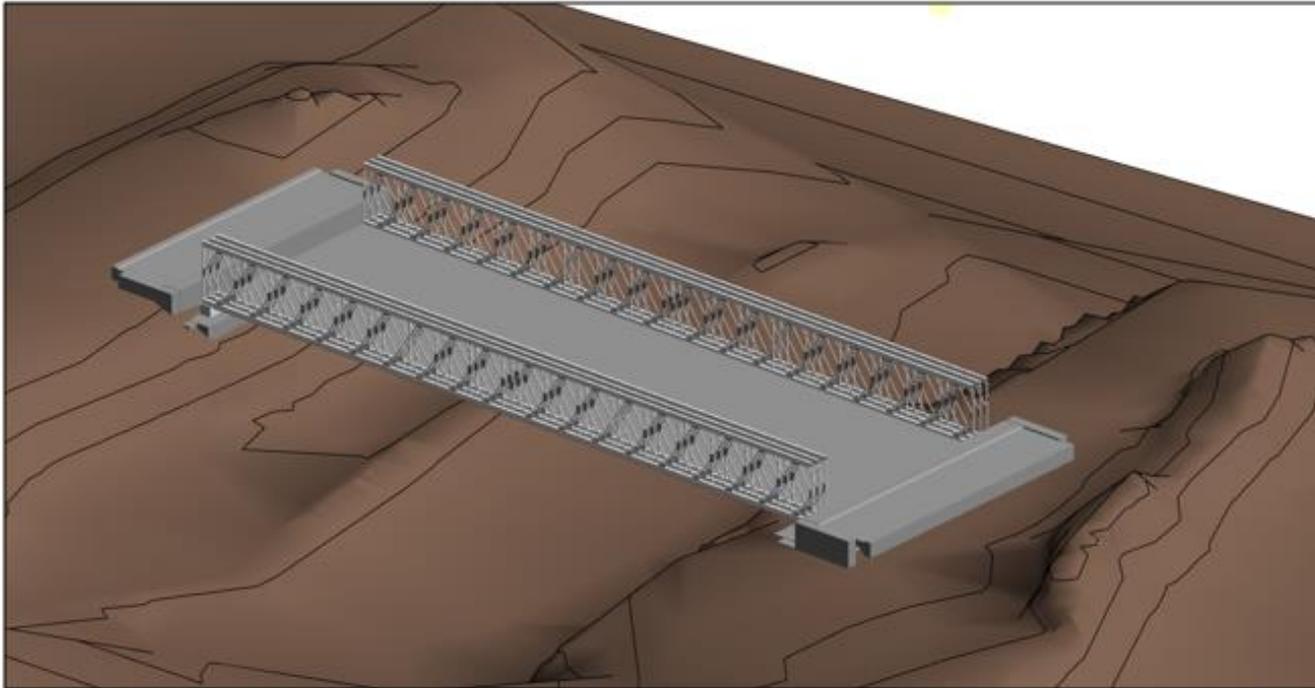


Fuente: Elaboración propia

Utilizando datos topográficos del sitio del puente, como levantamiento se crea un modelo digital 3D de la topografía del área circundante. Esto incluye la representación de elevaciones, pendientes, líneas imaginarias y otros detalles del área de intervención. El modelado de la topografía, subestructura y superestructura de un puente utilizando BIM permite una mejor visualización, análisis y coordinación de todos los elementos involucrados, según la Figura 6.

## Figura 6

*Modelamiento de la topografía, subestructura y superestructura*



Fuente: Elaboración propia

BIM ha permitido el desarrollo del modelo 3D detallado y preciso de subestructura del puente. Asimismo, se espera que la metodología Lean Construction proporcione herramientas de planificación y gestión para eliminar desperdicios y mejorar la eficiencia.

Por otro lado, durante la fase de ejecución, se llevan a cabo diversas acciones preparatorias con el fin de optimizar la resolución de incompatibilidades. En primer lugar, se profundiza la metodología de Virtual Design & Construction (VDC), una estrategia orientada no solo a la consecución de los objetivos del proyecto, sino también a facilitar la obtención de las metas fijadas por el cliente.

**a. Sesiones de Ingeniería Concurrente**

La realización de los objetivos antes mencionados requiere una correcta implementación de tres pilares de la metodología (VDC) en el nivel de la inversión.

Dichos pilares son: Modelado de Información de Representaciones Digitales, Gestión de Producción de Proyectos (PPM) y las Sesiones de Ingeniería Concurrente (ICE). Bajo la técnica VDC, BIM juega un papel crucial al proporcionar información requerida para llevar a cabo las tareas del proyecto, especialmente las relacionadas con la ejecución.

La Gestión de la Producción de Proyectos (PPM), por otro lado, se encarga de implementar de manera eficiente los procesos, principios y prácticas necesarios para administrar la producción desde el diseño inicial hasta la entrega final del mismo.

Al igual que en Lean Construction, PPM y VDC buscan eliminar el desperdicio y mejorar de forma continua, centrándose en mejorar los procesos del proyecto.

Por último, las Sesiones de Ingeniería Concurrente (ICE) se enfocan en la colaboración y resolución de problemas detectados en cualquier fase del proyecto.

Estas sesiones suelen convocar a todos los stakeholders necesarios para la resolución de los problemas detectados, utilizando modelos 3D para entender el proyecto en su totalidad.

Estos tres pilares son esenciales para la correcta implementación de la metodología VDC. Cabe destacar que todos poseen una importancia equivalente en este contexto, ya que funcionan como piezas interdependientes de un rompecabezas.

#### **b. Detección de incompatibilidades y registro**

Durante la etapa de detección de incompatibilidades, se llevó a cabo un riguroso proceso de modelado, durante el cual se descubrieron diversos tipos de incompatibilidades.

Estas incompatibilidades surgieron a diferentes niveles, incluyendo planos, diseño y conflictos, entre otros aspectos. Se realizó una categorización sistemática de estas incompatibilidades según su nivel de gravedad y el tiempo requerido para su resolución, según la Tabla 1.

**Tabla 1***Detección de incompatibilidades identificadas*

<b>Tareas</b>	<b>Tiempo</b>
Modelado de puente sector 1	4 días
Registro de incidencias en ficha 1	1 día
Sesión ICE 1	1 día
Resolución de incidencias 3	3 días aproximadamente
Modelado de puente sector 2	3 días
Registro de incidencias en ficha 2	1 día
Sesión ICE 2	1 día
Resolución de incidencias 2	3 días aproximadamente
Modelado de puente sector 3	4 días
Registro de incompatibilidades en ficha 3	1 día
Sesión ICE 3	3 días
Resolución de incidencias 3	3 días aproximadamente

Fuente: Elaboración propia

**Las incompatibilidades se clasificaron en tres categorías principales:**

**Baja:** Aquellas que requieren un día como máximo para su resolución, y permiten un margen de tiempo moderado o amplio antes de que se necesite ejecutar el sector afectado.

**Media:** Estas incompatibilidades requieren entre 2 a 4 días para su solución. Al igual que con la categoría baja, el tiempo necesario para su resolución antes de proceder con la ejecución del sector respectivo tiene un margen moderado o amplio.

**Alta:** Este tipo de incompatibilidades requiere más de 4 días para su resolución y el tiempo necesario para resolverlas antes de la ejecución del sector correspondiente tiene un margen corto.

El proceso de modelado se dividió en tres sectores clave: topografía y parte de la subestructura, la parte final de la subestructura, y la superestructura. Al concluir el modelado de cada sector, se elaboraron las fichas de incompatibilidades. Estas fichas se examinaron meticulosamente durante las sesiones de ICE (Interdisciplinary Check and Evaluation).

Afortunadamente, las incompatibilidades detectadas se encontraron en un nivel de riesgo bajo a medio. Esto significó que las soluciones para las incompatibilidades demoraron entre 1 y 3 días aproximadamente.

A continuación, se presenta la Tabla 2, 3 y 4 que detalla la fecha de modelado, la elaboración de las fichas de incompatibilidades y las sesiones ICE para cada sector. Este cuadro también muestra un resumen de las incompatibilidades detectadas, los responsables de resolverlas, el tiempo que se demoró en solucionarlas, y su nivel de riesgo:

**Tabla 2***Resumen de incompatibilidades sector 1*

<b>Sector</b>	<b>Incompatibilidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Responsable</b>	<b>Tiempo de respuesta</b>	<b>Categoría</b>
	1	Incompatibilidad en las dimensiones		2 días	Medio
	2	Desajuste en la ubicación de los muros		2 días	Medio
	3	Materiales incorrectos		1 día	Bajo
	4	Dimensiones de las vigas		2 días	Medio
	5	Incompatibilidad en los radios de curvatura		2 días	Medio
Sector 1	6	Error en la orientación	Ing. Luis Enrique Capuñay Quiñones	1 día	Bajo
	7	Error en la representación del terreno		3 días	Medio
	8	Problemas de alineación de texturas		2 días	Medio
	9	Falta de detalles constructivos		2 días	Medio
	10	Inconsistencia en las cotas		2 días	Medio
	11	Problemas de escala		2 días	Medio
	12	Desajuste en los apoyos del puente		2 días	Medio

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3***Resumen de incompatibilidades sector 2*

<b>Sector</b>	<b>Incompatibilidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Responsable</b>	<b>Tiempo de respuesta</b>	<b>Categoría</b>
	13	Inconsistencias en la geometría del camino		3 días	Medio
	14	Errores en la representación de la superestructura		3 días	Medio
	15	Falta de componentes pequeños	Ing. Luis Enrique	1 día	Bajo
Sector 2	16	Inconsistencia en las vistas seccionales	Capuñay Quiñones	3 días	Medio
	17	Falta de componentes pequeños		1 día	Bajo
	18	Desajuste en la ubicación de los muros		2 días	Medio
	19	Incompatibilidad en los radios de curvatura		2 días	Medio
	20	Materiales incorrectos		1 día	Bajo

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4***Resumen de incompatibilidades sector 3*

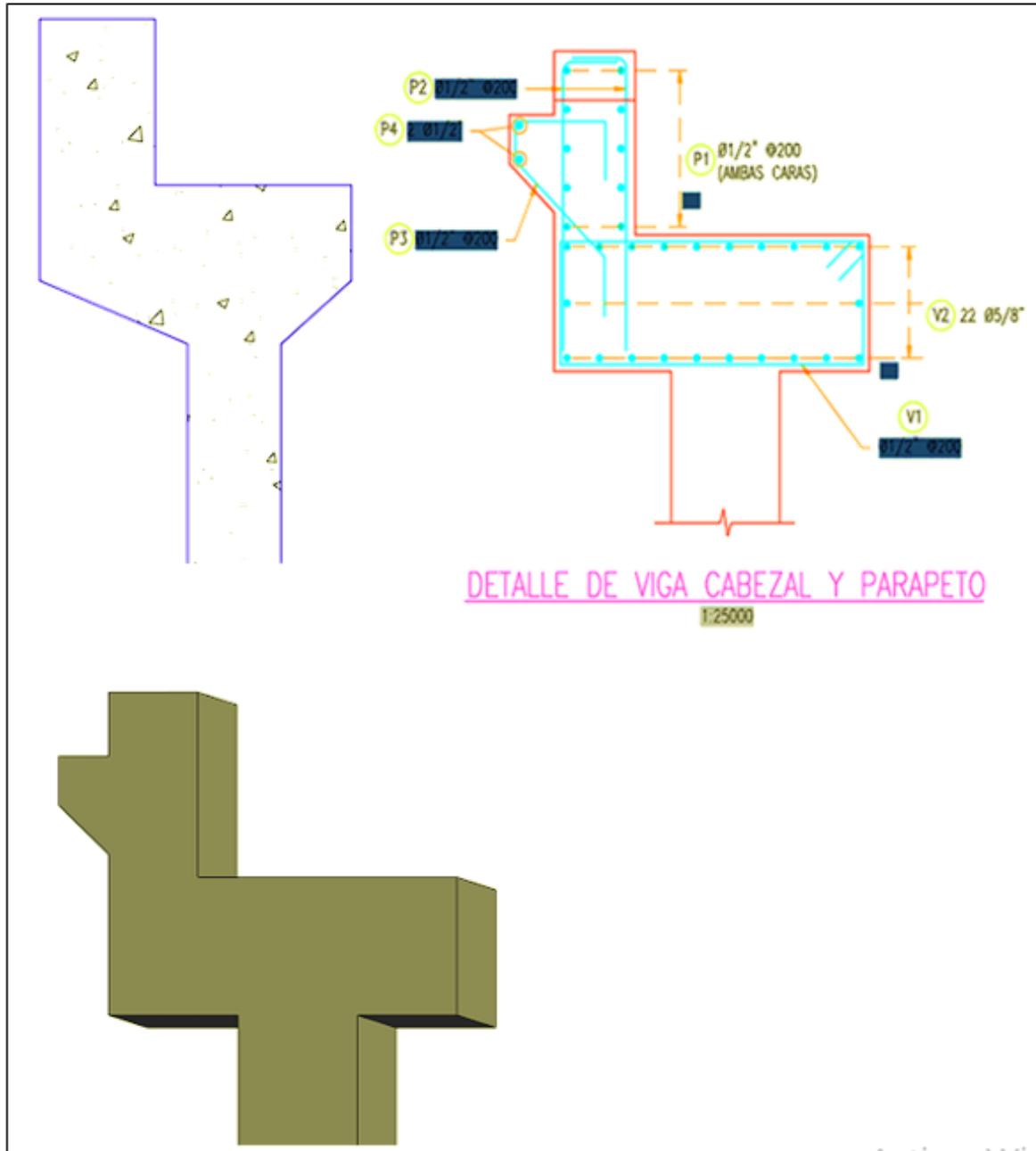
Sector	Incompatibilidad	Descripción	Responsable	Tiempo de respuesta	Categoría
Sector 3	21	Problemas de alineación de texturas		2 días	Medio
	22	Error en la orientación		1 día	Bajo
	23	Problemas de escala	Ing. Luis Enrique Capuñay Quiñones	3 días	Medio
	24	Errores en la representación de la superestructura		3 días	Medio
	25	Inconsistencias en la geometría del camino		3 días	Medio

Fuente: Elaboración propia

Entre las diversas incompatibilidades detectadas, se encuentra una discrepancia particular entre el perfil de la viga en el plano de planta y el perfil de la superestructura, además de la disonancia entre el plano y el perfil. En la Figura 7, existe una notable diferencia en la forma de la sección de la viga.

**Figura 7**

*Incompatibilidad entre el perfil de la viga en el plano de planta y perfil de la superestructura, modelo 3D con la forma seleccionada*



Fuente: Elaboración propia

Activar Windows  
Ve a Configuración

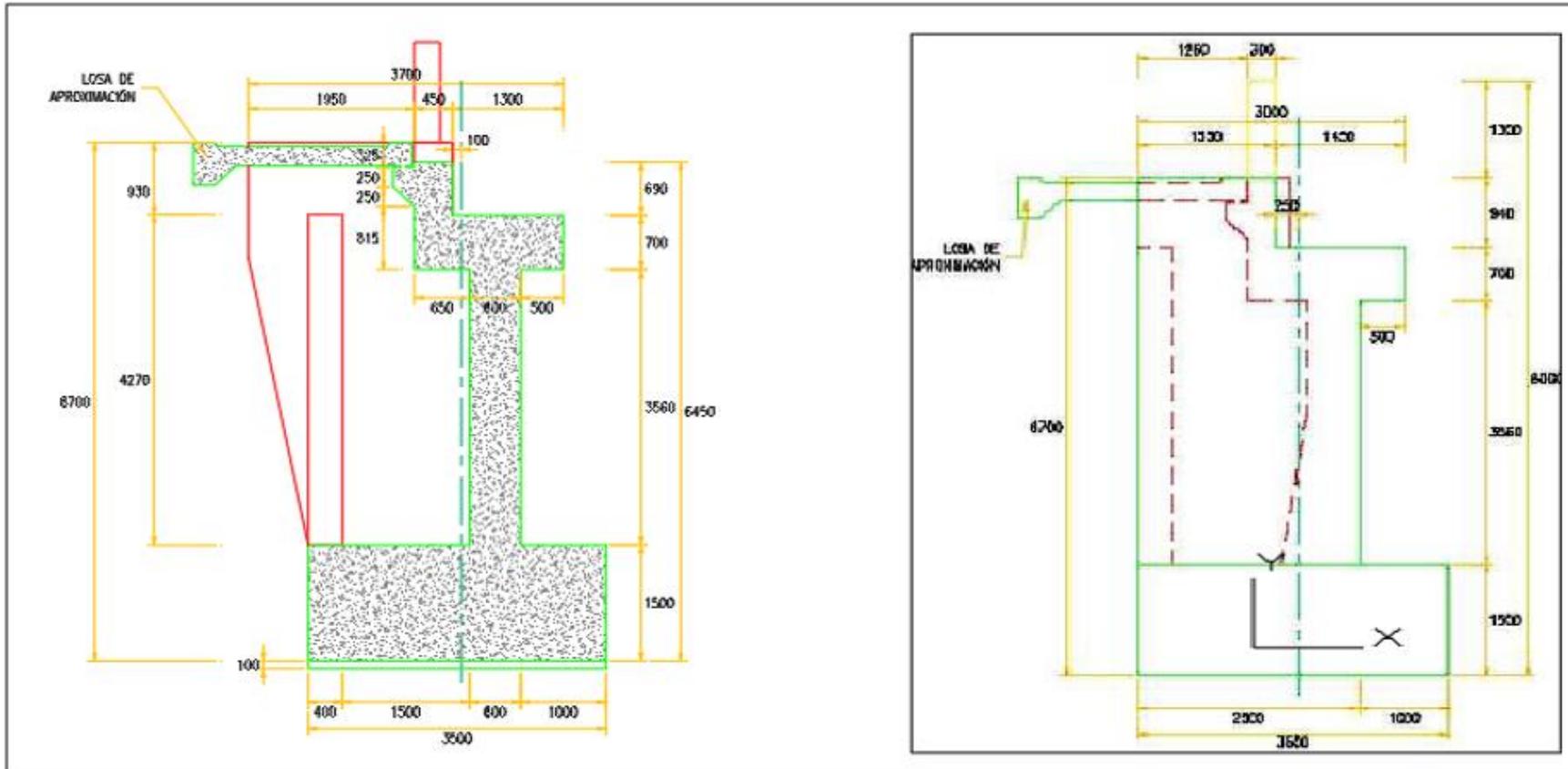
Del mismo modo, la Figura 8 ilustra una incompatibilidad entre los planos, el muro presenta una forma distinta, lo que sugiere una discrepancia entre los planos, ver Figura 9 y 10.

**Este tipo de incompatibilidad es frecuente al trabajar con archivos CAD, ya que no reflejan automáticamente los cambios de diseño en todas las vistas como ocurre con un software BIM como Revit.**

Finalmente, la Figura 11 evidencia una incompatibilidad respecto al ancho del muro. En la vista de perfil, tiene un ancho de 0.60 metros, mientras que en la vista en planta se muestra con un ancho de 0.90 metros. Tras un análisis cuidadoso, se decidió considerar un ancho final de 0.90 metros, siguiendo el diseño propuesto por el especialista.

**Figura 8**

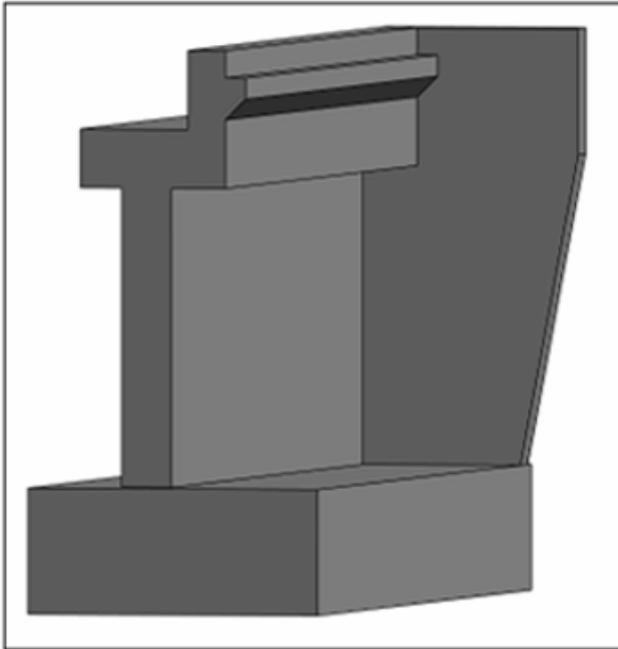
*Incompatibilidad entre los planos de la subestructura y superestructura, muro de contención con una forma distinta.*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 9**

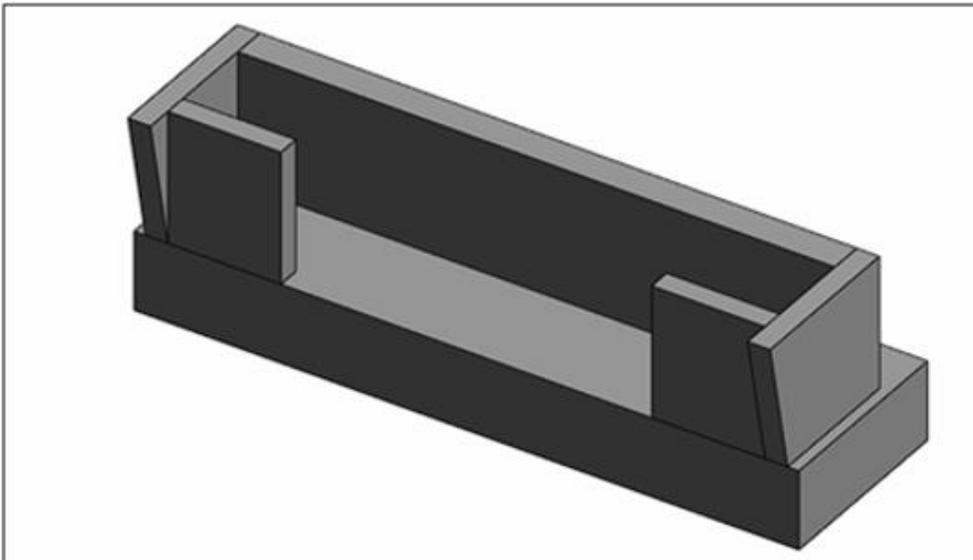
*Modelo 3D con la forma seleccionada*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 10**

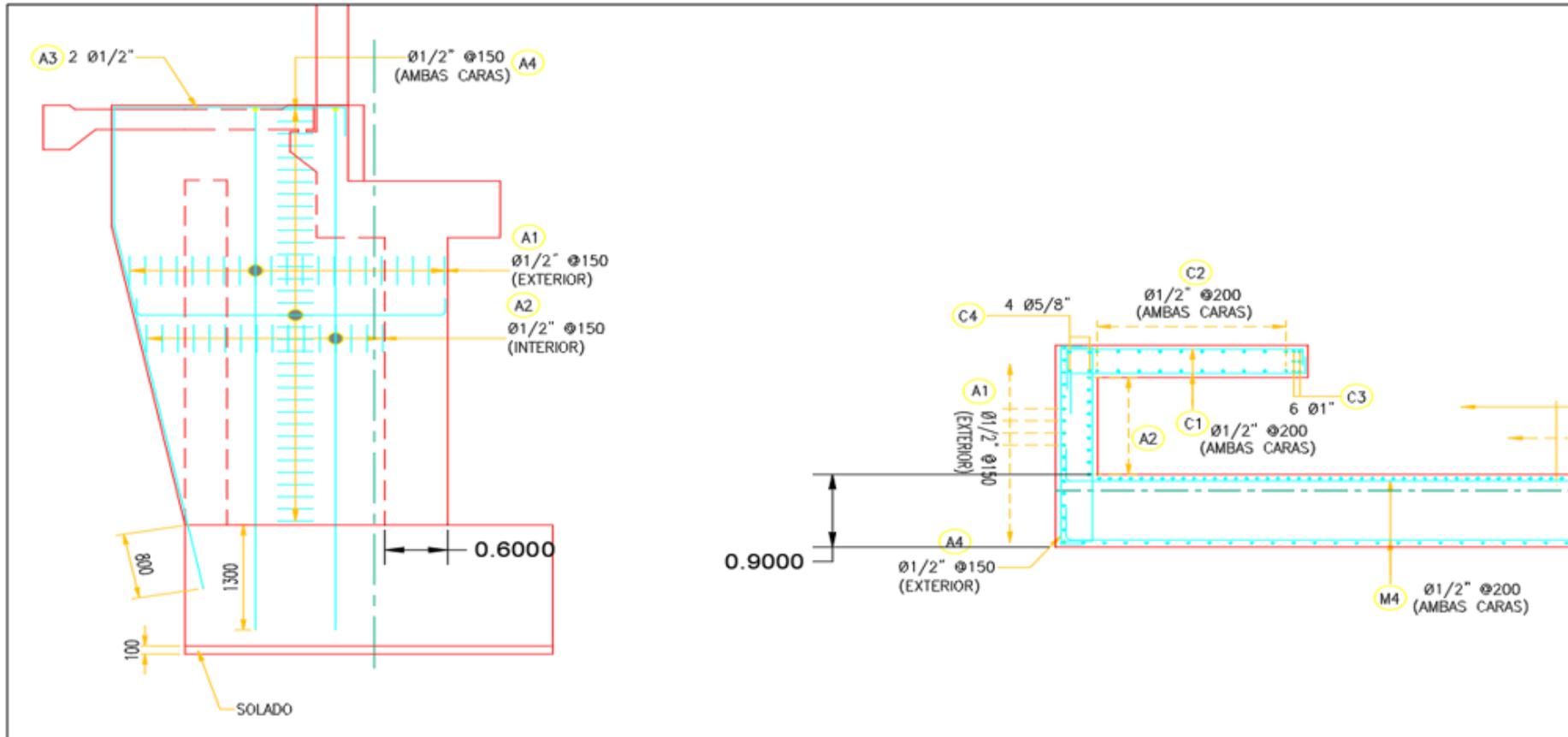
*Modelo 3D con la forma seleccionada*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 11**

*Incompatibilidad respecto al ancho del muro en la vista de perfil es de 0.60 metros, mientras que en la vista en planta es de 0.90 metros*



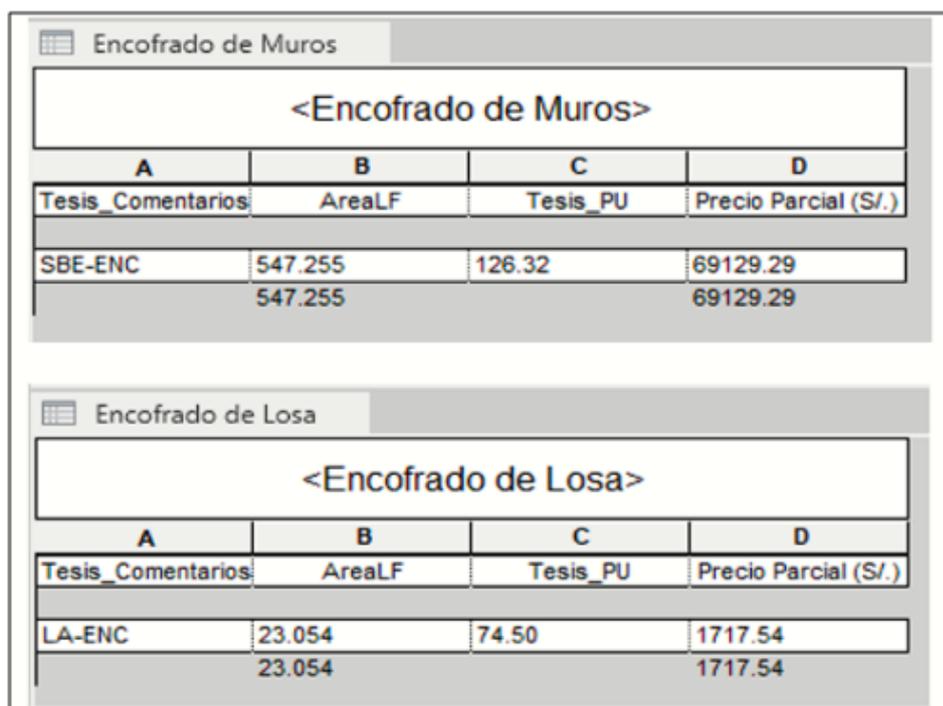
Fuente: Elaboración propia

## 2. Desarrollar modelo BIM 5D

Con respecto al procedimiento utilizado para lograr el segundo objetivo específico, indicar que después de completar la etapa de modelado y resolución de incompatibilidades, se procedió a realizar los metrados del proyecto con relación a la dimensión 5D y con el cumplimiento del objetivo específico 2. La obtención del metrado de encofrado y la evaluación de precios de los elementos de la subestructura comprende el proceso de calcular la cantidad necesaria de materiales para construir los moldes de encofrado que conforman la base o soporte del puente, además de determinar el metrado, también se analizan los costos y uso de los materiales de encofrado, considerando factores como el precio unitario de los elementos y los volúmenes requeridos, según la Figura 12.

**Figura 12**

*Obtención del metrado de encofrado y costos*



Encofrado de Muros			
<Encofrado de Muros>			
A	B	C	D
Tesis_Comentarios	AreaLF	Tesis_PU	Precio Parcial (S/.)
SBE-ENC	547.255	126.32	69129.29
	547.255		69129.29

Encofrado de Losa			
<Encofrado de Losa>			
A	B	C	D
Tesis_Comentarios	AreaLF	Tesis_PU	Precio Parcial (S/.)
LA-ENC	23.054	74.50	1717.54
	23.054		1717.54

Fuente: Elaboración propia

De igual forma, obtener el metrado concreto y los valores de los elementos de la subestructura implica calcular la cantidad de concreto para construir los componentes que conforman. Esto implica determinar las dimensiones y volúmenes, y luego calcular la cantidad de concreto requerida. Este proceso es fundamental para asegurar la eficiencia en el uso de los materiales y planificar de manera adecuada el suministro de concreto durante la construcción, según la Figura 13.

**Figura 13**

*Obtención del metrado de concreto y costos*

Concreto de Muros X			
<Concreto de Muros>			
A	B	C	D
Comentarios	Tesis_Volumen	Tesis_PU	Precio Parcial (S/.)
SBE-210	3.408	291.95	994.97
SBE-210	5.837	291.95	1704.17
SBE-210	3.408	291.95	994.97
SBE-210	5.837	291.95	1704.17
SBE-210	3.408	291.95	994.97
SBE-210	5.837	291.95	1704.17
SBE-210	3.408	291.95	994.97
SBE-210	5.837	291.95	1704.17
	36.981		10796.54

Concreto de Losa			
<Concreto de Losa>			
A	B	C	D
Comentarios	Tesis_Volumen	Tesis_PU	Precio Parcial (S/.)
SBE-210	8.092	275.23	2227.13
SBE-210	8.092	275.23	2227.12
	16.184		4454.24

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, conseguir el metrado del acero y calcular los parámetros de los elementos que conforman la subestructura implica tomar medidas y cuantificar la cantidad de acero requerida, además de estimar los gastos asociados, según la Figura 14.

**Figura 14**

*Obtención del metrado de acero y costos*

The image shows two screenshots of a software interface. The top screenshot is titled 'Encofrado de Muros' and contains a table with the following data:

A	B	C	D
Tesis_Comentarios	AreaLF	Tesis_PU	Precio Parcial (S/.)
SBE-ENC	547.255	126.32	69129.29
	547.255		69129.29

The bottom screenshot is titled 'Encofrado de Losa' and contains a table with the following data:

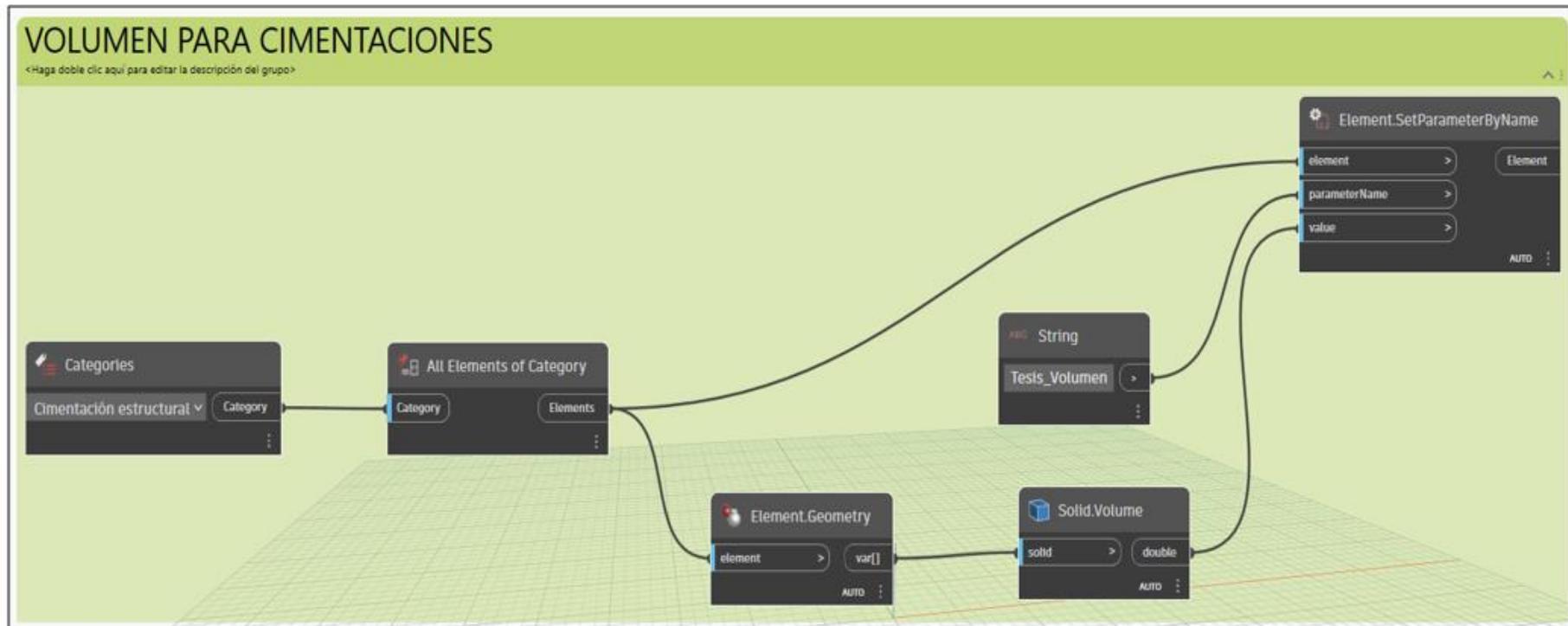
A	B	C	D
Tesis_Comentarios	AreaLF	Tesis_PU	Precio Parcial (S/.)
LA-ENC	23.054	74.50	1717.54
	23.054		1717.54

Fuente: Elaboración propia

En esta etapa, con el objetivo de acelerar la obtención de mediciones metrados, se empleó Dynamo, una herramienta dentro de Revit y que permite la programación visual. De esta manera, se puede agregar el volumen y precio unitario a cada elemento según el filtro de búsqueda. Por ejemplo: en el caso de los elementos de concreto de la subestructura, en el parámetro “Comentarios”, se ha colocado el valor “SE210” que corresponde a un elemento de la subestructura cuya resistencia es  $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , según la Figura 15 y 16.

**Figura 15**

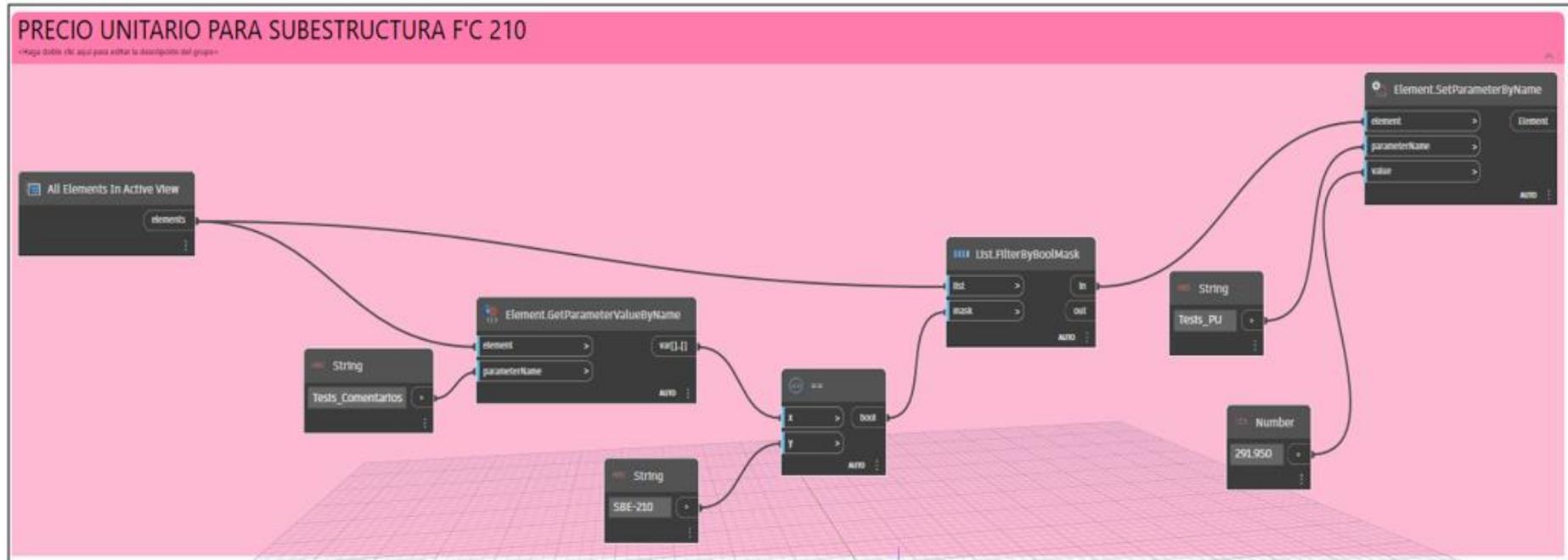
*Uso de Dynamo para la obtención de los volúmenes*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 16**

*Uso de Dynamo para la colocar los precios unitarios*



Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se ha modelado el encofrado de los elementos y generado los metrados, ver Tabla 5, costos de concreto y encofrado para todos los elementos de la subestructura.

**Tabla 5**

*Tabla de metrados desde Revit*

Descripción	Und.	Metrados desde Revit			
		Cimentaciones	Losas	Muros	Total
<b>Subestructura</b>					
EXCAVACION CON MAQUINARIA - SUBESTRUCTURA	M3				862.452
CONCRETO F'C = 140 KG/CM2 - NIVELACIÓN Ó SOLADO	M2	82.250			82.250
CONCRETO F'C=210 KG/M2 (SUBESTRUCTURA)	M3	205.196		36.981	242.177
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	M2	314.525		208.465	522.990
ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM2	KG				13,665.36
<b>Losa de aproximación</b>					
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO - LOSA DE APROX.	M2		30.514		30.514
CONCRETO F'C=280 KG/CM2	M3		16.184		16.184
ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM2	KG				1,720.88
CONCRETO F'C = 140 KG/CM2 - NIVELACIÓN Ó SOLADO	M2		54.829		54.82

Fuente: Elaboración propia

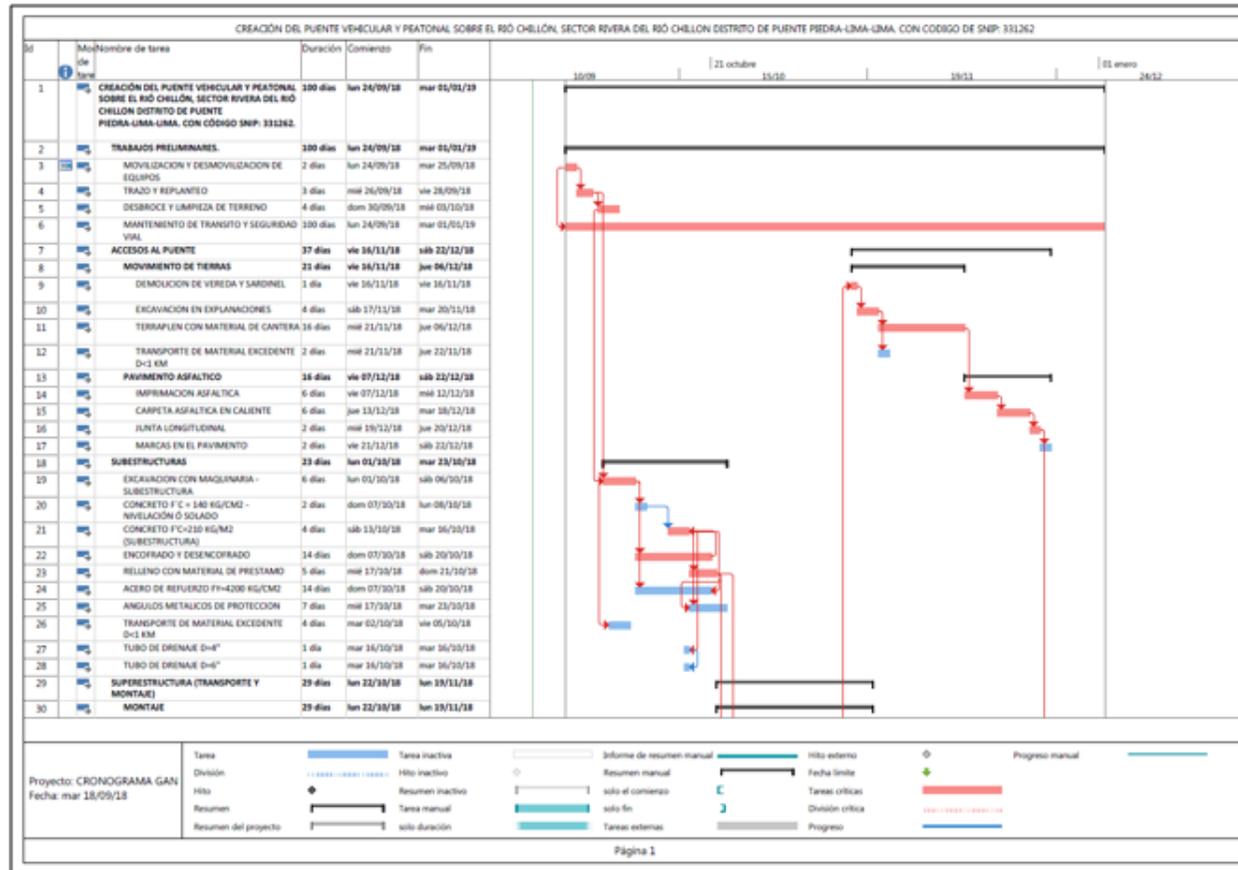
Durante el desarrollo del modelado, se estableció un enlace entre los elementos del modelo y las tablas de planificación, lo que permitió una actualización dinámica de los datos. De esta manera, cada vez que se realiza un cambio en el diseño, como la adición o eliminación de elementos, las tablas de planificación se actualizan de forma automática, reflejando los cambios realizados y proporcionando información actualizada sobre los metrados. De acuerdo con la hipótesis 2, vinculación entre el modelo y las tablas de planificación podría resultar en una mayor eficiencia y precisión en el metrado beneficiándose de flexibilidad de la metodología de trabajo colaborativo BIM para realizar modificaciones en el modelo de manera ágil y, al mismo tiempo, obtener información actualizada y precisa sobre los metrados sin la necesidad de realizar cálculos manuales o ajustes adicionales en las tablas.

### **3. Desarrollar modelo BIM 4D y gestionar la obra mediante uso de la metodología Lean Construction**

**Con relación al método aplicado para alcanzar el tercer objetivo específico,** he de señalar que se identificó y aplico la necesidad de diseñar un cronograma de obra alineado con Lean, específicamente utilizando (LPS), una herramienta altamente efectiva en la industria de la construcción para minimizar los desperdicios que puedan surgir a lo largo de la implementación de la inversión. El punto inicial se establece con el cronograma inicial proporcionado en el expediente, que será el plan maestro. Sin embargo, con el objetivo de adoptar un enfoque más detallado, y dada la duración de 100 días del proyecto, se ha empleado el Last Planner System para desarrollar un plan semanal de obra, segmentando el cronograma por sectores. Esta estrategia proporcionará un control riguroso de cada actividad, esforzándonos por cumplir con los tiempos y objetivos específicos de cada sector, según se detalla en la Figura 17.

**Figura 17**

*Imagen del cronograma de obra*



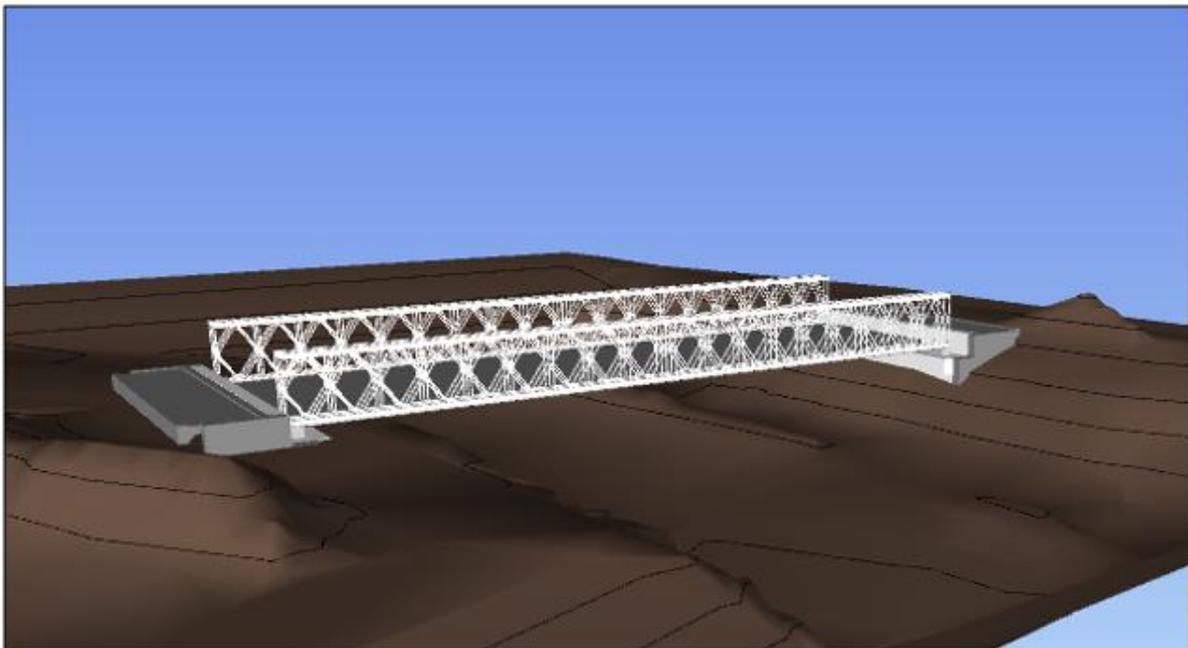
Fuente: Elaboración propia

El Last Planner System, permite identificar semanalmente las restricciones de la obra, nos posiciona en un lugar ventajoso para gestionar y adaptarnos a los desafíos en tiempo real. Esta identificación constante y la correspondiente solución de restricciones se complementan con la aplicación de BIM 4D.

Referente a BIM 4D, al integrar el factor tiempo a nuestro modelo tridimensional, nos proporciona un medio visual para comprender la secuencia de ejecución de las actividades y el impacto de las posibles restricciones en el progreso general del proyecto. Esta tecnología nos facilita anticipar, planificar y tomar decisiones informadas sobre cómo manejar las restricciones identificadas, según la Figura 18.

### **Figura 18**

*Uso de software Navisworks para la implementación de BIM 4D*



Fuente: Elaboración propia

Al tener un proyecto en marcha, con la aplicación del Last Planner System, se llevarán a cabo reuniones semanales para revisar el plan de obra y ajustarlo según las restricciones identificadas. Paralelamente, usar BIM 4D para visualizar las implicancias de dichas

restricciones y evaluar las posibles soluciones. De esta manera, aseguramos una respuesta efectiva y ágil a los obstáculos, manteniendo la eficiencia y reduciendo el desperdicio, todo ello con el fin de garantizar el éxito del proyecto, según la Figura 19 y 20.

**Figura 19**

*Plan de actividades semanales usando el sistema Last Planner*

ACTIVIDADES	UND	VALOR DE TRABAJO		RITMO	PERIODO							
		PROYECTADO	SALDO ACTUAL	AVANCE TURNO (UNIDAD)	MES							D
					DIA	L	M	M	J	V	S	
FECHA	1	2	3	4	5	6	7					
<b>AGRUPACIÓN NIVEL 1</b>												
<b>AGRUPACIÓN NIVEL 2</b>												
<b>AGRUPACIÓN NIVEL 3</b>												
EXCAVACIÓN CON MAQUINARIA - SUBESTRUCTURA	M3	862	862	10	PLAN							
					REAL							
CONCRETO F'c = 140 KG/CM2 - NIVELACIÓN O SOLADO	M2	41	41	20	PLAN	10	10					
					REAL							
ACERO DE REFUERZO F Y = 4200 KG/CM2 (cimentación)	KG	3,600	3,600	720	PLAN			720	720	720	720	
					REAL							
ENCOFRADO (cimentación)	M2	42	42	20	PLAN							
					REAL							
CONCRETO F'c = 210 KG/M2 (cimentación)	M3	292	292	100	PLAN							
					REAL							
DESENCOFRADO (cimentación)	M2	42	42	42	PLAN							
					REAL							

Fuente: Elaboración propia

**Figura 20**

*Log de restricciones usando el sistema Last Planner*

No	RESTRICCIÓN	PRIORIDAD	TIPO DE RESTRICCIÓN	IDENTIFICACIÓN Y SEGUIMIENTO				RESPONSABLE	
				FECHA CREACIÓN	FECHA REQ. INICIAL	FECHA REQ. ACTUAL	FECHA LIBERADA	ÁREA	PERSONAL
<b>AGRUPACIÓN 01</b>									
	Disponibilidad de maquinaria	ALTA	EQ	27-Feb-23	6-Mar-23			Operaciones	J. Mendoza
	Condiciones climáticas	MEDIA	EXT	27-Feb-23	8-Mar-23			Seguridad	M. Suarez
	Entrega de material	BAJA	MAT	27-Feb-23	7-Mar-23		28-Jul-13	Logística	P. Velasquez

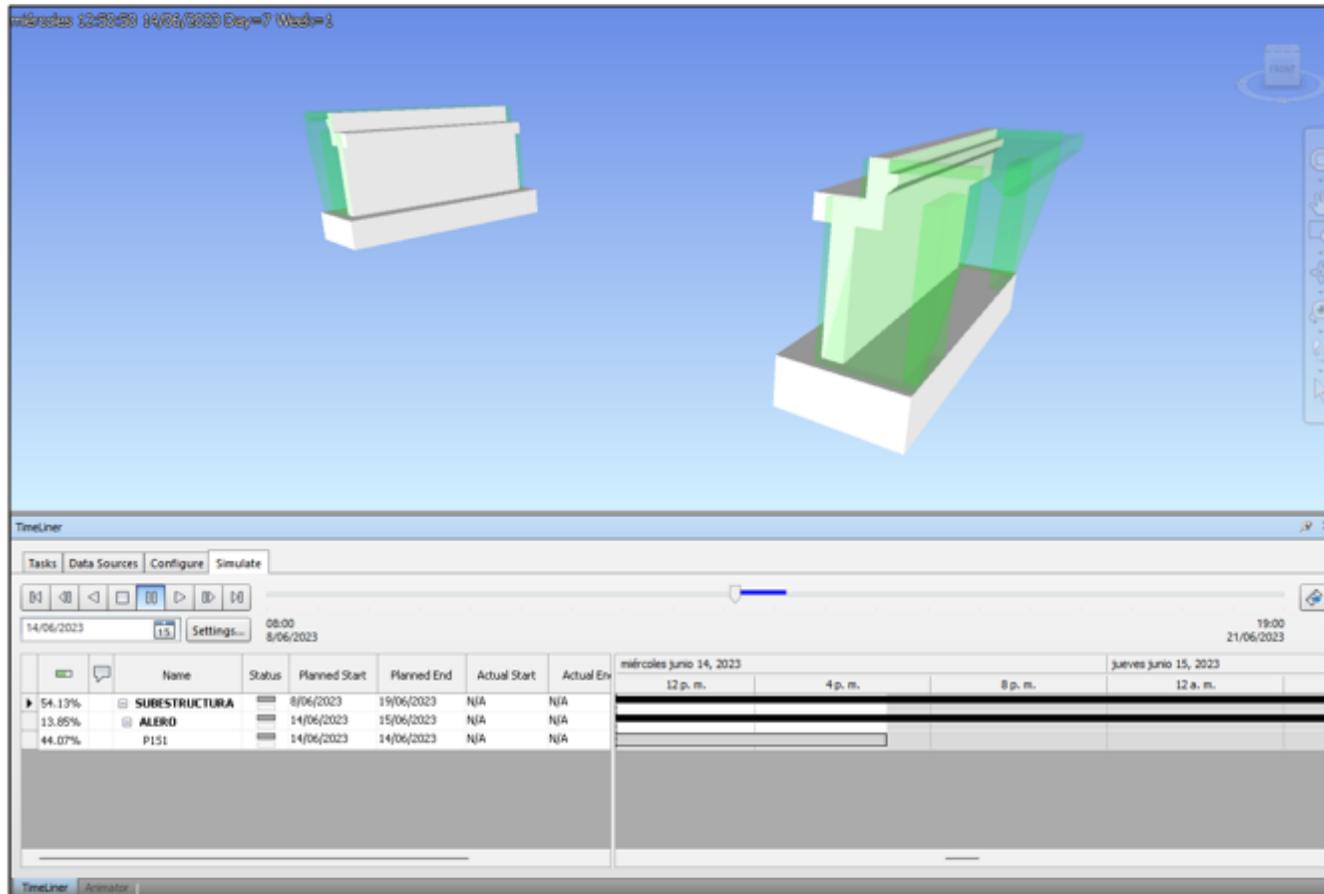
Fuente: Elaboración propia

En esta etapa, el uso de Building Information Modeling (BIM) resulta fundamental, nos facilita una visión tridimensional y dinámica de la obra, permitiéndonos sincronizar y coordinar eficazmente las actividades de cada sector en el cronograma.

Este modelo proporciona una comprensión completa del proyecto en su conjunto y de cómo las actividades individuales se relacionan entre sí, lo cual es esencial para la metodología LPS, que enfatiza la colaboración y la planificación continua, según la Figura 21.

**Figura 21**

*Simulación 4D de la secuencia semanal del proyecto*



Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO IV. RESULTADOS**

En este capítulo se muestran los resultados procedentes de evaluar la interacción entre las metodologías de trabajo BIM y Lean Construction, y su influencia en la productividad de la construcción del puente Bethania 2, ubicado en Puente Piedra. El estudio tiene como objetivo encontrar cómo las metodologías pueden aumentar la eficiencia en las distintas etapas de la inversión, contempla la construcción del Puente Metálico Modular de tipo CB200A

En primer lugar, se exponen los resultados correspondientes a la etapa modelamiento, donde se analiza cómo la integración entre BIM y Lean Construction puede optimizar esta etapa, reduciendo errores que generarían mayores costos post - ejecución y mejorando la precisión en la obtención de metrados, donde la automatización juega un rol importante.

### **Etapas de modelamiento**

Durante la etapa ejecución y desarrollo del modelo BIM se identificaron incompatibilidades no detectadas previamente. La no identificación en el momento adecuado podría generar retrasos y problemas en el proceso de construcción. Considerando que el enfoque Lean Construction se basa en eliminar desperdicios y optimizar procesos para lograr una construcción más eficiente. De tal forma que al aplicar la metodología BIM donde se tendrá un modelo 3D con información requerida para llevar a cabo la ejecución de la inversión, así como una colaboración y coordinación multidisciplinaria, además de una planificación detallada se pudo identificar y resolver las incompatibilidades de manera temprana. Esto permite reducir los costos de retrabajos, así como retrasos en la ejecución del proyecto lo que va de acuerdo con la metodología Lean Construction, según la Tabla 6 y 7.

**Tabla 6**
*Resultado de reportes de incompatibilidades sector 1*

<b>Sector</b>	<b>Incompatibilidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Responsable</b>	<b>Tiempo de respuesta</b>
	1	Incompatibilidad en las dimensiones		2 días
	2	Desajuste en la ubicación de los muros		2 días
	3	Materiales incorrectos		1 día
	4	Dimensiones de las vigas	Ing Luis	2 días
	5	Incompatibilidad en los radios de curvatura	Enrique Capuñay	2 días
	6	Error en la orientación	Quiñones	1 día
Sector 1	7	Error en la representación del terreno		3 días
	8	Problemas de alineación de texturas		2 días
	9	Falta de detalles constructivos		2 días
	10	Inconsistencia en las cotas		2 días
	11	Problemas de escala		2 días
	12	Desajuste en los apoyos del puente		2 días

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 7**
*Resultado de reportes de incompatibilidades sector 2 y 3*

<b>Sector</b>	<b>Incompatibilidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Responsable</b>	<b>Tiempo de respuesta</b>
	13	Inconsistencias en la geometría del camino		3 días
	14	Errores en la representación de la superestructura		3 días
	15	Falta de componentes pequeños	Ing. Luis Enrique	1 día
Sector 2	16	Inconsistencia en las vistas seccionales	Capuñay	3 días
	17	Falta de componentes pequeños	Quiñones	1 día
	18	Desajuste en la ubicación de los muros		2 días
	19	Incompatibilidad en los radios de curvatura		2 días
	20	Materiales incorrectos		1 día
	21	Problemas de alineación de texturas		2 días
	22	Error en la orientación	Ing. Luis Enrique	1 día
Sector 3	23	Problemas de escala	Capuñay	3 días
	24	Errores en la representación de la superestructura	Quiñones	3 días
	25	Inconsistencias en la geometría del camino		3 días

Fuente: Elaboración propia

**Aporte:** Según los resultados derivados del análisis, se observa un tiempo promedio de latencia de **2.56 días** por incidencia. Este dato es de gran relevancia al compararlo con el tiempo de latencia tradicional de 2 semanas para detectar interferencias, se dio durante la etapa de diseño.

Evidentemente, el tiempo de respuesta se ha reducido drásticamente, lo que sugiere mejoras significativas en la eficiencia del proceso de gestión de incidencias, ello demuestra que genera un aporte valioso a este tipo de proyectos.

Esta reducción puede ser atribuida a la implementación de sesiones de Ingeniería Concurrente. Durante estas sesiones, se convoca a especialistas para proporcionar soluciones inmediatas a las incidencias que se presentan en la mayoría de las situaciones. Este enfoque de integración interdisciplinaria permite optimizar la detección de interferencias y su resolución, lo cual se traduce en la disminución significativa del tiempo de latencia.

Además, sería beneficioso investigar si hay otros factores adicionales que podrían estar contribuyendo a esta mejora. Otros factores como la formación continua de los especialistas, la incorporación de nuevas tecnologías o la mejora en la comunicación dentro del equipo también podrían influenciar los resultados de manera positiva.

Por otro lado, también se recolectó la cantidad de incompatibilidades detectadas durante la etapa de diseño y ejecución tal y como se presenta en la tabla número 8.

**Tabla 8**

*Número de incompatibilidades detectadas*

Número de incompatibilidades detectadas en etapa de diseño	Número de incompatibilidades detectadas en etapa de ejecución
18	25

Fuente: Elaboración propia

Se ha comparado el número de incompatibilidades detectadas en la **fase diseño (18)** y en la **fase ejecución (25)**, con el objetivo de evaluar las mejoras logradas gracias a la implementación de la metodología colaborativa BIM. Asimismo, hasta el momento, el periodo de ejecución viene siendo similar al periodo de diseño, por lo que los resultados no se encuentran del todo influenciados por la diferencia de tiempos.

De todas las incompatibilidades detectadas entre ambas etapas, el **41.86%** corresponde a la etapa de diseño, mientras que el **58.14%** pertenece a la etapa de ejecución.

De acuerdo con los datos, existe un mayor número de incompatibilidades detectadas en la etapa de Ejecución (25) comparado con la etapa de Diseño (18), lo que puede ser una señal de la mejora producto del uso de la metodología BIM. Este aumento de las detecciones puede ser un indicador de que la metodología BIM está ayudando a identificar y resolver problemas que no se detectaron durante la etapa de Diseño. Por último, es importante destacar que este informe se realiza con datos a la fecha y el proyecto aún se encuentra en curso, por lo tanto, es posible que no se hayan identificado todas las incompatibilidades hasta la fecha del reporte.

## Variación de metrados

Al final del proceso, se elaboró una tabla comparativa que contrasta los metrados obtenidos de forma tradicional con aquellos generados mediante el modelo desarrollado bajo la metodología BIM. Esta tabla permite visualizar de manera clara las diferencias entre los dos enfoques de metrado. Se incluyeron columnas que mostraban los metrados obtenidos tradicionalmente, es decir, a través de métodos manuales y cálculos independientes, y los metrados generados automáticamente a partir del modelo BIM.

La comparativa reveló las ventajas de utilizar la metodología BIM en el proceso de metrado. Se identificaron discrepancias y variaciones entre los resultados obtenidos de forma tradicional y los derivados del modelo BIM. Esto permitió evaluar con precisión y consistencia los metrados generados por ambos métodos, así como evaluar la eficacia en cuanto a tiempo y recursos.

Además, la tabla comparativa sirvió como herramienta de control de calidad, ya que se pudo verificar la coherencia y exactitud de los datos generados a través del modelo BIM. Cualquier discrepancia significativa entre los metrados tradicionales y los del modelo BIM pudo ser identificada y revisada, con el fin de asegurar la confiabilidad de los resultados.

En conclusión, al elaborar una tabla comparativa entre los metrados tradicionales y los generados mediante el modelo de trabajo BIM proporcionó una evaluación objetiva de las mejoras y beneficios del modelado especializado BIM en el proceso de metrado. Esta herramienta permite visualizar y analizar las diferencias, identificar discrepancias y garantizar la calidad de los datos generados, respaldando así la eficacia y utilidad de la metodología en esta etapa de la inversión, según Tabla 9.

**Tabla 09**
*Tabla comparativa entre los metrados*

<b>Descripción</b>	<b>Und.</b>	<b>Método Tradicional</b>	<b>Método desde Revit</b>	<b>Variación</b>
<b>Subestructuras</b>				
EXCAVACION CON MAQUINARIA - SUBESTRUCTURA	m3	869.000	862.452	-0.754%
CONCRETO F'c = 140 KG/CM2 - NIVELACIÓN Ó SOLADO	m3	105.750	82.250	-22.222%
CONCRETO F'c=210 KG/M2 (SUBESTRUCTURA)	m3	282.000	242.177	-14.122%
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	728.840	522.990	-28.244%
ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM2	kg	10,313.81	13,665.361	32.496%
<b>Losa de aproximación</b>				
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO - LOSA DE APROX.	m2	28.820	30.514	5.878%
CONCRETO F'c=280 KG/CM2	m3	24.000	16.184	-32.567%
ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM2	kg	2,761.87	1,720.881	-37.691%
CONCRETO F'c = 140 KG/CM2 - NIVELACIÓN Ó SOLADO	m3	54.600	54.829	0.419%
<b>Superestructura</b>				
MONTAJE Y LANZAMIENTO DE ESTRUCTURA METALICA	ton	93.50	90.15	-3.583%

Fuente: Elaboración propia

En general, los resultados muestran una tendencia favorable hacia la obtención de metrados usando un software BIM donde la mayoría de los valores obtenidos de esta manera son menores a los valores obtenidos de forma tradicional.

Este patrón puede observarse en varias partidas, incluyendo "Excavación con Maquinaria - Subestructura", "Concreto F'C igual a ciento cuarenta kilogramos por centímetro cuadrado - Nivelación o Solado", "Concreto F'C igual a doscientos diez kilogramos por metro cuadrado (Subestructura)", "Fase de Encofrado y Desencofrado en la construcción", y "Concreto F'C igual a doscientos ochenta kilogramos por centímetro cuadrado". Las variaciones van desde una disminución del 7.54% en el caso de la Excavación con Maquinaria - Subestructura hasta una disminución del 32.567% en el caso de Concreto F'C= doscientos ochenta kilogramos por centímetro cuadrado.

De acuerdo con los resultados, es probable que la obtención de metrados mediante un software BIM proporcione estimaciones más precisas y con un menor rango de incertidumbre, lo que podría resultar en una menor cantidad de materiales y por lo tanto en ahorros de costos. Por otro lado, es posible que la obtención de metrados de forma tradicional esté incorporando un margen de seguridad o error mayor, lo cual sería menos eficiente, pero proporciona un buffer en caso de imprevistos.

No obstante, hay una excepción a este patrón: "Encofrado y Desencofrado - Losa Aprox.", "Concreto F'C = 140 kilogramos por centímetro cuadrado - Nivelación o Solado" y "Acero de Refuerzo con una resistencia a la fluencia de 4,200 kilogramos por centímetro cuadrado", donde los metrados Revit fueron ligeramente mayores que los metrados tradicionales, con una variación de 5.878%, 0.419% y 17.671% respectivamente.

Estos resultados podrían indicar que la obtención de metrados mediante un software BIM es más precisa y con menos incertidumbre en ciertas áreas que en otras, o que los métodos tradicionales están sobreestimando o subestimando ciertos metrados.

### **Variación de costos**

Posteriormente, se aborda la etapa de costos, donde la precisión en la cuantificación de los recursos puede significar ahorros considerables y una gestión más eficiente. Los resultados presentados permiten apreciar cómo la interacción entre BIM y Lean Construction puede generar mejoras notables en esta área, reforzando la capacidad de tomar decisiones fundamentadas en información concreta y minimizando los costos no planificados.

Según la Tabla 10, se puede determinar que ciertas partidas tienen un mayor impacto en el presupuesto general debido a los costos significativamente más altos que incurren en comparación con las demás. Estas partidas representan una mayor proporción del presupuesto del proyecto y, por lo tanto, son más sensibles a los cambios en los costos. Por tal motivo, si los costos de estas partidas aumentan o disminuyen significativamente, tendrán un alto impacto en el presupuesto total del proyecto.

Tal es el caso de la partida "Encofrado y Desencofrado" tiene un costo obtenido con el método tradicional es significativamente mayor comparado con los costos obtenidos desde Revit. Esto quiere decir que este componente presenta una gran variación en los costos que se ven beneficiados con el empleo del software BIM como Revit. Sin embargo, para discernir con precisión si se obtienen ahorros tangibles en los costos, resulta indispensable calcular no solo la inversión inicial requerida para la implementación de BIM, sino también los costos operativos continuos asociados a su uso.

**Tabla 10**
*Tabla comparativa entre costos*

Descripción	Und.	Costo con método tradicional	Costo de Revit	Diferencia (a favor del modelo)
Subestructuras				
EXCAVACION CON MAQUINARIA - SUBESTRUCTURA	S/.	7,716.72	7,658.57	58.14
CONCRETO F'C = 140 KG/CM2 - NIVELACIÓN Ó SOLADO	S/.	3,686.45	2,867.23	819.21
CONCRETO F'C=210 KG/M2 (SUBESTRUCTURA)	S/.	82,329.90	70,703.57	11,625.32
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	S/.	92,067.07	66,064.09	26,002.97
ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM2	S/.	67,968.01	90,054.72	-22,086.71
Losa de aproximación				
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO - LOSA DE APROX.	S/.	2,147.09	2,273.29	-126.20
CONCRETO F'C=280 KG/CM2	S/.	6,605.52	4,454.32	2,151.19
ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM2	S/.	18,200.72	11,340.60	6,860.11
CONCRETO F'C = 140 KG/CM2 - NIVELACIÓN Ó SOLADO	S/.	1,903.36	1,911.33	-7.97
Superestructura				
MONTAJE Y LANZAMIENTO DE ESTRUCTURA METALICA	S/.	148,250.80	142,939.13	5,311.66
Totales		282,624.84	257,327.77	30,607.74

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que, independientemente del balance final de costos, lo que sí podemos afirmar de forma inequívoca es que la integración de la metodología de trabajo

Título del trabajo de suficiencia profesional colaborativa conlleva a una mayor transparencia y predictibilidad en la estimación de costos. Esto, a su vez, facilita una mejor planificación y gestión financiera, lo que puede conducir a una eficiencia optimizada y potencialmente ahorros a largo plazo de S/ 30,607.74.

### **Planificación de obra**

Por último, se examina la etapa de programación de obra, donde la implementación conjunta puede simplificar y mejorar la planificación, así como la secuenciación de actividades. Esto se logra mediante la utilización de una representación detallada y precisa del proyecto y una visión clara de necesidades. El cronograma Gantt que se tenía como insumo, se empleó como cronograma maestro y presenta una duración de 100 días. Mediante el sistema de gestión Last Planner y a través de herramientas como Navisworks, se creó un cronograma basado en elementos, permitiendo visualización y análisis de las interacciones y dependencias entre las diferentes actividades del proyecto. A la fecha el resultado de esta combinación de enfoque ha permitido mantener el cronograma maestro inicial gestionando las restricciones de manera concurrente apoyándonos del modelo BIM 4D.

En resumen, se puede concluir que aplicar el modelado de trabajo en la etapa de programación de obra contribuye de manera significativa en la mejora de precisión y confiabilidad en la ejecución del cronograma. La implementación no se tradujo en una reducción del plazo de construcción, sino en el cumplimiento exacto (a la fecha) del cronograma establecido de 100 días, lo cual resulta en un valioso aporte al campo de la construcción y al desarrollo de infraestructuras eficientes y a tiempo.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Las conclusiones obtenidas en función de los objetivos específicos planteados en el estudio se describen a continuación:

En el modelamiento: La implementación de las metodologías BIM y Lean Construction en la fase de ejecución reduce la latencia de incidencias y mejora significativamente la precisión en la obtención de metrados. Este resultado sustenta el primer objetivo específico de determinar la interacción entre estas metodologías en la etapa de modelamiento para mejorar la productividad en la construcción del puente.

En el costo: La aplicación conjunta de BIM y Lean Construction permite un mejor control del avance del proyecto, facilitando la identificación y liberación de las restricciones más incidentes. Este hallazgo apoya el segundo objetivo específico de determinar la interacción entre estas metodologías en la etapa de costos.

En la programación de obra: A pesar de que la implementación de la dimensión BIM 4D no se tradujo en una reducción del plazo de construcción, sí se observó un cumplimiento exacto de las actividades ejecutadas. Este hecho refuerza la eficiencia en la gestión del proyecto y garantiza la entrega a tiempo del puente, sustentando el tercer objetivo específico relacionado con la etapa de programación de obra.

Adicionalmente, las conclusiones obtenidas aportan tanto a nivel práctico, como teórico y metodológico en la comprensión y aplicación de estas metodologías en la construcción de proyectos de infraestructura, especialmente puentes metálicos modulares.

## Recomendaciones

Las recomendaciones proporcionadas en este estudio, en base a los objetivos específicos, son las siguientes:

En el modelamiento: Se sugiere la implementación continua de las metodologías BIM y Lean Construction en futuros proyectos de construcción, ya que han demostrado mejorar la precisión en la obtención de metrados y reducir la latencia de incidencias. Asimismo, se recomienda el uso de software y herramientas especializadas que faciliten el modelado y gestión de datos en 3D.

En el costo: Se destaca la importancia de realizar un análisis de costos detallado antes de la implementación de estas metodologías. Los costos no solo deben abarcar la inversión inicial, sino también los costos operativos continuos. Este enfoque permitirá a las organizaciones prepararse para los gastos asociados y manejar mejor su presupuesto.

En la programación de obra: En vista del cumplimiento exacto de las actividades logradas en este estudio, se recomienda aplicar la dimensión BIM 4D para la planificación y control de tiempo en futuros proyectos. La eficacia de la programación de la obra puede verse reforzada con la revisión periódica del proceso y la implementación de la mejora continua, componentes centrales de la filosofía Lean Construction.

Además, se insiste en la formación continua del personal involucrado en los proyectos en el uso de estas metodologías para maximizar su potencial. En resumen, la interacción entre BIM y Lean Construction ha demostrado ser una combinación eficaz y productiva para la mejora de la eficiencia en la construcción de infraestructuras. Con las recomendaciones adecuadas, es posible maximizar los beneficios de estas metodologías para futuras inversiones.

## REFERENCIAS

- Alvarez, E. (31 de marzo de 2022). *Sinergia entre BIM y Lean Construction*.  
<https://konstruedu.com/es/blog/sinergia-entre-bim-y-lean-construction>
- Alvarez, A. (2021). Clasificación de las Investigaciones. Universidad de Lima, Lima.  
Recuperado de <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3321884>
- Arias, Fidas. El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica. 5.ª ed.  
Caracas: Editorial Episteme, C.A., 2006. 67-83 pp.
- Baena, G. (2017). En J. Callejas (Ed.), Metodología de la investigación. San Juan Tlhuaca,  
México: Patria
- Bernal, C. Metodología de la investigación: administración, económica, humanidades y  
ciencias sociales. 3.a ed. Colombia: Pearson Educación, 2010. 305 pp.
- Bohórquez, J., Porras, H., Sánchez, O. y Mariño, M. (2018). Planificación de recursos  
humanos a partir de la simulación del proceso constructivo en modelos BIM 5D.  
Universidad Libre de Cali, 14(1), 252-267.  
<https://doi.org/10.18041/entramado.2018v14n1.27106>
- Cano, S. (2021). *Modelo sistémico de evolución de Lean Construction, SLC-EModel*.  
Programa Editorial Universidad del Valle.  
<https://elibro.bibliotecaupn.elogim.com/es/ereader/upnorte/221789?page=3>

- Choquesa, L. (2019). Mejora de la productividad en proyectos de edificación mediante el sistema de gestión BIM-LEAN. [Tesis de titulación, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann - Tacna]. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3652>
- Eldeep, A., Farag, M.A., & Abd el-Hafez, L. (2021). Using BIM as a lean management tool in construction processes – A case study. *Ain Shams Engineering Journal*.
- Flores, D. (2020). *Interacción entre BIM y Lean Construction analizadas en proyectos de edificación* [Tesis de titulación, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/17368>
- García, R., Martínez, A., González, L. y Auat. F. (2020). Proyecciones de la construcción impresa en 3D en Chile. *Ingeniería de Construcción*, 35(1), 60-72. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732020000100060>
- Gonzales, A. (2023). Aplicación de la Filosofía Lean Construction para Mejorar la Productividad en Obra del Proyecto Sol de Pimentel, Chiclayo, 2020. [Tesis de titulación, Universidad Señor de Sipán]. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/11115>
- Hernández, R., Fernández, C., & Bautista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Ciudad de México: Mc Graw Hill.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2021). NTP-ISO 19650-1:2021. Organización y digitalización de la información sobre edificios y obras de ingeniería civil incluyendo el modelado de la información de la construcción (BIM). Gestión de la información mediante el modelado de la información de la construcción. Parte 1: Conceptos y principios. Lima, Perú.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2023). Catálogo de Base de Datos

2023. <https://www.inei.gob.pe/media/difusion/apps/>

Ministerio de Economía y Finanzas. (2022). Programa Multianual de Inversiones PMI 2023-

2025 del Sector Economía y Finanzas. [https://www.mef.gob.pe/contenidos/archivos-descarga/PMI2023\\_2025.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/archivos-descarga/PMI2023_2025.pdf)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2021). MTC aplicará nueva metodología BIM

en proyectos de infraestructura vial.

<https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/5087> 37-mtc-aplicara-nueva-metodologia-bim-en-proyectos-de-infraestructura-vial

Musaat. (22 de julio de 2019). *BIM y Lean Construction: ¿por qué van unidos?*.

<https://www.musaat.es/blog/bim-y-lean-construction-por-que-van-unidos/>

Osorio, C., Foronda, F., Amarillez, C. y González, J. (2021). Modelado de Información de

Construcción desde un análisis bibliométrico. Capítulo de Libro. 132-154.

<https://doi.org/10.22517/9789587224955.1.7>

Pérez, M., Del Toro, H. y López (2019). Mejora en la construcción por medio de lean

construction y building information modeling: caso estudio. *Revista de Investigación*

*en Tecnologías de la Información: RITI*, 7(14), 110-121.

<https://doi.org/10.36825/RIT I.07.14.010>

Kerlinger, F. y Lee, H. (2002). *Investigación del comportamiento*. Métodos de investigación

en ciencias sociales. México. McGraw Hill.

Quijada, J. (2022). Aplicación del LEAN-BIM en la fase de diseño en la construcción del

local municipal de uso múltiple – Huancavelica. [Tesis de Título, Universidad Peruana Los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/4664>

Sepasgozar, S., Peng, F., Shirowzhan, S. (2020). Lean Practices Using Building Information Modeling (BIM) and Digital Twinning for Sustainable Construction. <https://doi.org/10.3390/su13010161>

Latorre, A., Sanz, C. y Sánchez, B. (2019). Aplicación de un modelo Lean-BIM para la mejora de la productividad en redacción de proyectos de edificación. *Informes De La Construcción*, 71(556), e313. <https://doi.org/10.3989/ic.67222>

Lawson, E., Price, C. (2003). The psychology of change management. McKinsey & Company.

Recuperado de <http://www.mckinsey.com/business-functions/organization/ourinsights/the-psychology-of-change-management>

Oblitas, J. (2018). Guía de investigación científica 2018 (Facultad de ingeniería) Universidad Privada del Norte.

Vara, A (2012) 7 pasos para una tesis exitosa. Desde la idea inicial hasta la sustentación. Universidad San Martín de Porres. Perú.

Zurita, F. (2021). Aplicación del sistema lean construction en la construcción de pilotes del puente la cultura – Arequipa. [Tesis de Título, Universidad Peruana Los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/3018>