



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN EX POST DE LA RENTABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE
LA GESTIÓN BIM EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO ALTO PRADA,
MAGDALENA DEL MAR, 2026

Línea de investigación:
Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor

Murga Napan, Marco Antonio

Asesor

Tabory Malpartida, Gustavo Augusto

ORCID: 0000-0002-8455-8938

Jurado

Cancho Zuñiga, Gerardo Enrique

Yupari Silva, Emilio Gustavo

Arevalo Vidal, Samir Augusto

Lima - Perú

2026

EVALUACIÓN EX POST DE LA RENTABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA GESTIÓN BIM EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO ALTO PRADA, MAGDALENA DEL MAR, 2026.

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%	6%	2%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unfv.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
2	repositorio.utea.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
3	www.coursehero.com	<1 %
	Fuente de Internet	
4	repositorio.unap.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
5	repositorio.uisek.edu.ec	<1 %
	Fuente de Internet	
6	upc.aws.openrepository.com	<1 %
	Fuente de Internet	
7	repositorio.ucv.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
8	Bae, Suho, Moon-gi Jeong, and Seong-gin Moon. "Effects of institutional arrangements in local water supply services in Korea : Institutional arrangements in local water supply services", Papers of the Regional Science Association, 2015.	<1 %
	Publicación	
9	repositoriotec.tec.ac.cr	<1 %
	Fuente de Internet	



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN EX POST DE LA RENTABILIDAD DE LA
IMPLEMENTACIÓN DE LA GESTIÓN BIM EN LA CONSTRUCCIÓN
DEL PROYECTO ALTO PRADA, MAGDALENA DEL MAR, 2026**

Línea de Investigación:

Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor

Murga Napan, Marco Antonio

Asesor

Tabory Malpartida, Gustavo Augusto

ORCID: 0000-0002-8455-8938

Jurado

Cancho Zuñiga, Gerardo Enrique

Yupari Silva, Emilio Gustavo

Arevalo Vidal, Samir Augusto

Lima – Perú

2026

Dedicatoria

A mi madre, Manilda, y mi padre, Marco, por ser la base de mi crecimiento personal y profesional.

A mi hermana Geraldine, por su apoyo y motivación constante.

A ustedes les dedico esta tesis.

Agradecimientos

A Dios por bendecirme con una familia maravillosa, así como darme salud y vida cada día.

A mi madre, Manilda, por guiarme e impulsarme a seguir adelante; a mi padre, Marco, quien desde el cielo ilumina mi camino; a mi hermana, Geraldine, por su ejemplo, cariño y valiosos consejos, a mi abuelo sabino, por su sabiduría y por ser un segundo padre.

Al Ing. Gustavo Augusto Tabory Malpartida, por su asesoría y orientación en el desarrollo de esta investigación.

A mis compañeros y colegas, por la amistad y el apoyo brindado durante este largo camino.

ÍNDICE

RESUMEN	11
ABSTRACT.....	12
I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Descripción y formulación del problema	15
<i>1.1.1. Realidad problemática.....</i>	<i>15</i>
<i>1.1.2. Problema general.....</i>	<i>20</i>
<i>1.1.3. Problemas específicos.....</i>	<i>20</i>
1.2. Antecedentes.....	21
<i>1.2.1. Antecedentes internacionales.....</i>	<i>21</i>
<i>1.2.2. Antecedentes nacionales</i>	<i>23</i>
1.3. Objetivos.....	27
<i>1.3.1. Objetivo general.....</i>	<i>27</i>
<i>1.3.2. Objetivo específicos</i>	<i>27</i>
1.4. Justificación	27
<i>1.4.1. Justificación práctica.....</i>	<i>27</i>
<i>1.4.2. Justificación teórica.....</i>	<i>28</i>
<i>1.4.3. Justificación social.....</i>	<i>28</i>
<i>1.4.4. Justificación metodológica</i>	<i>29</i>
1.5. Hipótesis	29
<i>1.5.1. Hipótesis general</i>	<i>29</i>

1.5.2. Hipótesis específicas.....	30
II. MARCO TEÓRICO.....	31
2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación	31
2.1.1. Fundamentos teóricos de la variable independiente: Gestión BIM	31
2.1.2. Fundamentos teóricos de la variable dependiente: rentabilidad financiera.....	44
2.1.3. Fundamentos teóricos que vinculan ambas variables	57
2.2. Marco conceptual.....	65
2.2.1. Modelado 3D	65
2.2.2. Interferencias	66
2.2.3. Prefabricación	66
2.2.4. Ahorro de costos directos (A costo USD)	67
2.2.5. Ahorro de costos indirectos (% ahorro sobre baseline)	67
2.2.6. Índice beneficio-costo global (b/c)	68
III. MÉTODO	69
3.1. Tipo de investigación.....	69
3.1.1. Enfoque de la investigación.....	69
3.1.2. Tipo de la investigación.....	69
3.1.3. Nivel de la investigación.....	70
3.1.4. Diseño de la investigación.....	70
3.1.5. Método de investigación	71
3.2. Ámbito temporal y espacial	71

3.3. Variables	72
3.3.1. <i>Variable independiente: gestión bim</i>	72
3.3.2. <i>Variable dependiente: rentabilidad</i>	73
3.4. Población y muestra.....	79
3.4.1. <i>Población</i>	79
3.4.2. <i>Muestreo</i>	80
3.4.3. <i>Muestra</i>	80
3.4.4. <i>Unidad de estudio</i>	81
3.5. Instrumentos	81
3.5.1. <i>Técnicas</i>	81
3.5.2. <i>Instrumentos</i>	82
3.5.3. <i>Indicadores</i>	83
3.6. Procedimientos	83
3.7. Análisis de datos	85
3.8. Consideraciones.....	87
IV. RESULTADOS	90
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	158
VI. CONCLUSIONES.....	162
VII. RECOMENDACIONES	164
VIII. REFERENCIAS.....	166
IX. ANEXOS.....	171

Índice de tablas

Tabla 1. Dimensiones, indicadores, unidades y escalas de la variable Gestión BIM	72
Tabla 2. Dimensiones, indicadores, unidades y escalas de la variable Rentabilidad.....	73
Tabla 3. Operacionalización de variables	76
Tabla 4. Conceptualización de la rentabilidad en proyectos de ingeniería y construcción según diversos autores	44
Tabla 5. Componentes del ahorro de costos directos en la fase de ejecución	47
Tabla 6. Componentes del ahorro de costos indirectos y su efecto en el flujo de caja del proyecto.....	49
Tabla 7. Índice Beneficio–Costo global.....	51
Tabla 8. Indicadores financieros en la evaluación de proyectos.....	53
Tabla 9. Factores internos y externos que condicionan la rentabilidad financiera en proyectos de construcción	56
Tabla 10. Tabla Indicadores de las dimensiones del BIM	59
Tabla 11. Cobertura global del modelado 3D	91
Tabla 12. Combinación de estados documentales en la Ficha OE1	93
Tabla 13. Distribución del modelado 3D por especialidad.....	94
Tabla 14. Distribución del modelado 3D por familia disciplinar	95
Tabla 15. Estado documental del modelado 3D por especialidad	96
Tabla 16. Trazabilidad del modelado 3D por código y referencia documental.....	98
Tabla 17. Síntesis analítica de las observaciones técnicas del modelado 3D	100
Tabla 18. Interferencias registradas en el Proyecto Alto Prada	106
Tabla 19. Distribución de interferencias por severidad	111
Tabla 20. Distribución de interferencias por nivel o zona	112
Tabla 21. Resultado global del ahorro de costos directos.....	115

Tabla 22. Detalle de partidas y ahorro de costos directos.....	116
Tabla 23. Ahorro de costos directos por grupo de partidas	118
Tabla 24. Partidas con mayor ahorro directo	120
Tabla 25. Detalle del ahorro de costos indirectos	122
Tabla 26. Resultado global del ahorro de costos indirectos.....	123
Tabla 27. Integración comparativa del objetivo específico 2	126
Tabla 28. Participación de prelosas por nivel o paño en el Proyecto Alto Prada	130
Tabla 29. Medidas descriptivas de la participación de prelosas	134
Tabla 30. Área con prelosa, área sin prelosa y jerarquización por nivel	135
Tabla 31. Vinculación entre modelado 3D/coordinación y prefabricación	137
Tabla 32. Cálculo principal del índice beneficio-coste global	140
Tabla 33. Composición del ahorro total utilizado en el B/C.....	140
Tabla 34. Lectura auxiliar por componente económico del bloque OE3	141
Tabla 35. Matriz de relación auxiliar del OE3.....	143
Tabla 36. Integración del objetivo específico 3	146
Tabla 37. Síntesis de contrastación de hipótesis y objetivos	157
Tabla 38 Matriz de consistencia de la investigación	171
Tabla 39. Matriz de operacionalización de variables de la investigación.....	172

Índice de figuras

Figura 1. El modelo BIM como sistema organizacional colaborativo en proyectos AEC	31
Figura 2. Comparación entre los métodos tradicionales de entrega y el enfoque BIM colaborativo.....	32
Figura 3. Aplicación del modelado 3D en la coordinación interdisciplinaria de proyectos BIM	34
Figura 4. Coordinación estructural y resolución de interferencias en el modelo BIM de un auditorio	36
Figura 5. Estandarización y control de calidad digital mediante bibliotecas de objetos BIM.	38
Figura 6. Niveles de madurez del Entorno Común de Datos (CDE) en la gestión colaborativa BIM	41
Figura 7. Flujo operativo del proceso BIM para la eficiencia en la coordinación, planificación y estimación de proyectos	43
Figura 8. Representación gráfica del flujo de caja utilizado en la evaluación financiero–económica del proyecto	46
Figura 9. Modelo financiero afectado por la eficiencia operativa derivada del BIM	58
Figura 10. Flujo metodológico del BIM 5D para la evaluación de costos y beneficios	62
Figura 11. Evidencias empíricas del impacto de la gestión BIM en la eficiencia económica y financiera del proyecto.....	65
Figura 12. Cobertura documental del modelado 3D en el Proyecto Alto Prada.....	92
Figura 13. Trayectorias documentales planificado-entregado-aprobado del modelo 3D	93
Figura 14. Distribución del Modelado 3D por especialidad y estado documental	97
Figura 15. Secuencia de modelado y trazabilidad documental de los códigos MOD.....	101
Figura 16. Red interdisciplinaria de interferencias registradas en el Proyecto Alto Prada....	110
Figura 17. Distribución de interferencias por severidad.....	112
Figura 18. Concentración espacial de interferencias por nivel o zona del edificio	113
Figura 19. Concentración del ahorro de costos directos por grupo de partidas.....	119

Figura 20. Partidas con mayor ahorro directo.....	121
Figura 21. Participación de prelosas por nivel en el total de losas del Proyecto Alto Prada.	133
Figura 22. Integración entre prefabricación, modelado estructural y resultado beneficio-costo global.....	138

RESUMEN

Esta investigación abordó la necesidad de evaluar si la implementación de la gestión BIM en edificaciones multifamiliares privadas genera rentabilidad financiera verificable frente a un esquema constructivo tradicional. El estudio tuvo como **objetivo:** general evaluar la rentabilidad de la implementación de la gestión BIM en la construcción del Proyecto Alto Prada mediante una evaluación ex post. El **Método:** fue de enfoque cuantitativo, de tipo no experimental, ex post facto y transversal, con nivel explicativo y soporte correlacional intra caso. La unidad de análisis fue el Proyecto Alto Prada, edificio multifamiliar ubicado en Magdalena del Mar, Lima, compuesto por ocho pisos y tres sótanos; la muestra fue documental y criterial, integrada por modelos, metrados, presupuestos, cronogramas y reportes de coordinación. El procedimiento comprendió la revisión y análisis documental, la homogenización de costos en dólares al 2024, la reconstrucción del baseline tradicional, la tabulación estandarizada en fichas por indicador y el contraste entre resultados observados y valores de referencia. Los **resultados:** evidenciaron cobertura aprobada total del modelado 3D, 19 interferencias documentadas, participación de prelosas de 81.69%, ahorro directo de 116,784.23 dólares, ahorro indirecto de 92,270.27 dólares y un índice beneficio costo global de 15.47. Como **conclusiones:** se encontró que la gestión BIM se relacionó positivamente con la rentabilidad financiera del proyecto. Estos hallazgos demostraron que la integración entre modelado 3D, tratamiento de interferencias y prefabricación estructural optimizó la coordinación técnica, redujo el plazo de ejecución y aportó evidencia útil para decisiones de inversión y gestión en proyectos de vivienda multifamiliar.

Palabras clave: Gestión BIM, rentabilidad financiera, ahorro de costos, beneficio–costo, Alto Prada.

ABSTRACT

This study addressed the need to assess whether the implementation of BIM management in private multifamily buildings generates verifiable financial profitability compared with a conventional construction scheme. The general **objective:** was to evaluate the profitability of BIM management implementation in the construction of the Alto Prada Project through an ex post assessment. The **method:** followed a quantitative approach with a non-experimental, ex post facto, and cross-sectional design, at an explanatory level and supported by intra-case correlational analysis. The unit of analysis was the Alto Prada Project, a multifamily residential building located in Magdalena del Mar, Lima, consisting of eight stories and three basements. The sample was documentary and criterion-based, comprising models, quantity takeoffs, budgets, schedules, and coordination reports. The procedure included documentary review and analysis, cost normalization to 2024 U.S. dollars, reconstruction of the traditional baseline, standardized tabulation in indicator-based records, and comparison between observed results and reference values. The **findings:** showed full approved coverage of 3D modeling, 19 documented clashes, a precast slab participation of 81.6%, direct cost savings of USD 116,784.23, indirect cost savings of USD 92,270.27, and an overall benefit-cost ratio of 15.47. It was **concluded:** that BIM management was positively associated with the project's financial profitability. These findings demonstrated that the integration of 3D modeling, clash management, and structural prefabrication improved technical coordination, reduced the execution period, and provided useful evidence for investment and management decisions in multifamily housing projects.

Keywords: BIM management, financial profitability, cost savings, benefit–cost ratio, Alto Prada.

I. INTRODUCCIÓN

La gestión de proyectos de edificaciones se desarrolla bajo exigencias simultáneas que rara vez admiten tratamientos simples: mayor complejidad técnica, plazos cada vez más comprimidos y una vigilancia más estricta sobre el costo. La expansión de herramientas digitales no ha eliminado, sin embargo los problemas aún son persistentes dentro del proceso constructivo. Siguen apareciendo reprocesos, interferencias entre especialidades y decisiones adoptadas tardíamente, con efectos directos sobre el desempeño económico de la obra. En ese escenario, la Gestión BIM ha dejado de ser solo un recurso de representación para convertirse en una forma de organizar información, coordinar disciplinas y sostener decisiones con base trazable. Aun así, entre su difusión y su verificación empírica permanece una distancia notoria. Son menos frecuentes de lo que se supone los estudios financieros ex post que, apoyados en evidencia documental verificable, permitan asociar prácticas concretas de coordinación y prefabricación con ahorros realmente obtenidos en proyectos ya ejecutados. La consecuencia es metodológica, pero también práctica: sin ese tipo de contraste, el aprendizaje institucional se debilita y las decisiones de inversión continúan tomándose con referencias incompletas o poco comparables.

Sobre esa base, la presente investigación se ubica en el proyecto de vivienda multifamiliar Alto Prada, ejecutado en el distrito de Magdalena del Mar, Lima. Se trata de una edificación concluida de ocho niveles y tres sótanos, cuyo expediente ofrece condiciones adecuadas para examinar, con documentación oficial y criterios homogéneos, si la gestión aplicada produjo resultados financieros compatibles con los beneficios que la literatura atribuye al uso de BIM. El núcleo del problema no radica en afirmar, de manera general, que la metodología mejora la gestión, sino en determinar si determinadas prácticas de Gestión BIM lograron expresarse en indicadores económicos observables cuando el proyecto se analiza retrospectivamente. En términos operativos, la cuestión es precisa: ¿en qué medida dichas

prácticas se reflejaron en ahorros de costos directos, en economías vinculadas a la reducción del plazo y en una relación beneficio costo favorable? La pregunta no es menor. Cuando esa relación no se examina con rigor, las organizaciones incorporan tecnologías sin parámetros suficientemente definidos de retorno y terminan reproduciendo decisiones basadas más en expectativas que en evidencia. Por ello, el propósito general consiste en analizar la rentabilidad financiera del uso de la Gestión BIM en la construcción ya culminada del proyecto Alto Prada, tomando el año 2024 como referencia monetaria para la homologación de costos.

La justificación del estudio se sostiene en varios niveles que se articulan entre sí. En el plano teórico, la investigación delimita con precisión las dos variables del análisis, Gestión BIM y rentabilidad financiera, y fija para ambas un tratamiento operativo que evita formulaciones difusas. En la primera variable se consideran las dimensiones de modelado 3D, interferencias y prefabricación; en la segunda, la diferencia de costos directos, el porcentaje de ahorro en costos indirectos y el cociente beneficio costo. En el plano práctico, el estudio propone un procedimiento de evaluación ex post susceptible de réplica, mediante el cual el expediente técnico del proyecto, compuesto por modelos, reportes de coordinación, registros de interferencias, metrados, presupuestos, cronogramas y egresos de implementación, es transformado en información comparable a partir de indicadores definidos con unidades y escalas explícitas. En el plano social, el trabajo aporta argumentos para una gestión más eficiente de los recursos en proyectos de vivienda urbana, con menores desperdicios y una previsibilidad superior en la toma de decisiones. Desde la perspectiva metodológica, la investigación adopta un enfoque cuantitativo, un nivel explicativo con soporte correlacional y un diseño no experimental, ex post facto y transversal de caso único. La unidad de análisis está constituida por el expediente documental oficial del proyecto. La normalización de los costos a USD 2024 y el registro de la información en fichas estandarizadas buscan preservar la trazabilidad del análisis y asegurar la comparabilidad de los datos. En concordancia con ello,

el estudio se restringe a la tabla de operacionalización validada, evitando expansiones que comprometan la ejecutabilidad del trabajo dentro del horizonte previsto para la tesis.

La investigación se organiza en cuatro capítulos. El Capítulo I desarrolla el Planteamiento del Problema, donde se contextualiza la situación de la industria, se delimita el vacío de conocimiento aplicado al caso Alto Prada y se formulan el objetivo general, las preguntas de investigación y las hipótesis que orientan la contrastación empírica. El Capítulo II corresponde al Marco Teórico; allí se examinan los conceptos, dimensiones y antecedentes vinculados con la Gestión BIM y la rentabilidad financiera, además de los supuestos que sostienen la operacionalización y la lectura posterior de los resultados. El Capítulo III presenta la Metodología, especificando el enfoque, el diseño, la población y muestra documental, las técnicas e instrumentos de recolección, los procedimientos de cálculo de indicadores y los criterios de validez y confiabilidad, incluida la cadena de evidencia y su verificación cruzada. El Capítulo IV expone los Resultados y la Discusión, articulando los hallazgos con los objetivos e hipótesis planteados, y delimitando tanto los alcances del diseño como sus restricciones, junto con posibles proyecciones para estudios comparativos posteriores. De este modo, la tesis propone una ruta argumentativa verificable, sin apoyarse en afirmaciones genéricas, para examinar la contribución de la Gestión BIM a los resultados financieros de un caso real de edificación multifamiliar.

1.1. Descripción y formulación del problema

1.1.1. Realidad problemática

En el Perú, la baja rentabilidad financiera de los proyectos de edificación se asocia de forma recurrente con sobrecostos y extensiones de plazo que erosionan los márgenes. Aun cuando el sector construcción contribuye significativamente al PBI y al empleo, la captura efectiva de valor en obra se ve comprometida por re-trabajos, interferencias no previstas y

decisiones tardías que incrementan costos directos e indirectos. Estas ineficiencias impactan el ahorro esperado y reducen el cociente beneficio–costo del proyecto, desplazando recursos destinados a calidad o seguridad. En el plano internacional, la gestión deficiente de la información y la comunicación se ha vinculado con pérdidas cercanas al 4% del valor de los proyectos (Pincay et al., 2025), lo que resulta consistente con la experiencia local. En consecuencia, la pregunta sustantiva de esta investigación es si, en un caso concreto y ya concluido, la gestión aplicada permitió materializar ahorros suficientes en costos directos e indirectos y mejorar la relación beneficio–costo respecto de prácticas tradicionales.

Frente a esos problemas, la Gestión BIM ha sido propuesta como un enfoque que integra modelos 3D y coordinación interdisciplinaria para detectar interferencias antes de ejecutar, reducir re-trabajos y optimizar secuencias constructivas. El uso sistemático de BIM durante la coordinación técnica y la planificación de la prefabricación posibilita decisiones tempranas que disminuyen las colisiones entre especialidades y acortan la duración, con efecto financiero en gastos generales y costos indirectos (Sacks et al., 2018). En particular, la coordinación basada en modelos permite simular secuencias, revisar accesos y prefabricación, y acordar soluciones con antelación entre arquitectura, estructuras e instalaciones. Ello reduce solicitudes de información y órdenes de cambio durante la obra, mitigando riesgos de paralización y sobre costos asociados. La literatura especializada sistematiza estos efectos como beneficios recurrentes vinculados a la adopción madura de modelos y procesos colaborativos (Sacks et al., 2018). Sin embargo, la adopción no garantiza por sí sola una mejora: es necesario verificar, en cada proyecto, si el conjunto de prácticas efectivamente implementadas se relaciona con ahorros tangibles que incrementen la rentabilidad financiera.

A nivel global, la complejidad creciente de los proyectos inmobiliarios ha evidenciado cuellos de botella en la coordinación técnica, la trazabilidad de cambios y la gestión de información entre actores. Estudios internacionales señalan que deficiencias en comunicación

y transferencia de información provocan pérdidas económicas relevantes, equivalentes a un porcentaje significativo del presupuesto total (Pincay et al., 2025). La distribución de responsabilidades en múltiples actores y la fragmentación contractual agravan dichas pérdidas al diluir la trazabilidad de decisiones y cambios. En ese marco, la estandarización de intercambios de información mediante modelos digitales ha sido promovida como práctica de mejora continua en distintos mercados.

En el ámbito nacional, el Plan Nacional de Infraestructura para la Competitividad reporta un déficit superior a S/ 360,000 millones, resaltando la urgencia de elevar la eficiencia de la cadena de suministro y la gestión de proyectos (Ministerio de Economía y Finanzas [MEF], 2019). En Lima Metropolitana, el dinamismo del mercado inmobiliario ha incrementado la presión por cumplir plazos ajustados y reducir costos, mientras muchas organizaciones mantienen esquemas tradicionales de gestión. Esta brecha entre complejidad y capacidades de coordinación explica la persistencia de interferencias en obra y la consecuente afectación de la rentabilidad financiera en proyectos privados de vivienda multifamiliar. El desafío de productividad se expresa en obras privadas de vivienda, oficinas y comercio, donde la coordinación de especialidades sigue mostrándose como un factor crítico para evitar re-trabajos. El énfasis en controlar costos indirectos ligados al plazo es particularmente sensible en la capital por la presión del mercado y el costo financiero.

El Proyecto Alto Prada, edificación multifamiliar de ocho pisos y tres sótanos ubicada en Magdalena del Mar, finalizada en 2024, afrontó exigencias de coordinación entre especialidades, control de costos y cumplimiento de cronograma propias del entorno limeño. La documentación técnica disponible del caso registra la implementación de Modelado 3D / Coordinación, la gestión de Interferencias y el uso de Prefabricación (prelosas) como prácticas de Gestión BIM. Ello convierte al proyecto en un caso pertinente para examinar, de manera retrospectiva, la relación entre dichas prácticas y los ahorros efectivamente materializados en

costos directos e indirectos, así como su reflejo en el índice beneficio–costo. El expediente y registros de obra reportan hitos de coordinación que permiten reconstruir decisiones y contrastarlas con resultados financieros. La disponibilidad de cronogramas, metrados y estados de pago posibilita estimar ahorros y diferenciales atribuibles a la gestión aplicada.

Diagnóstico: en el caso Alto Prada se identifican ámbitos de mejora ligados a interferencias detectadas tardíamente, riesgos de re-trabajo y presiones de plazo que inciden en costos directos e indirectos, con impacto sobre la rentabilidad financiera del proyecto. Pronóstico: si se mantiene un esquema de gestión centrado en prácticas tradicionales y coordinación fragmentada, es previsible la repetición de sobrecostos y extensiones de plazo en proyectos análogos, con pérdida de oportunidades de ahorro y deterioro del índice beneficio–costo. Control del pronóstico: la revisión sistemática de un proyecto ya culminado —contrastando la presencia y madurez de Gestión BIM (modelado, coordinación, prefabricación e interferencias) con los ahorros logrados— permite establecer en qué medida la gestión aplicada se asocia a mejoras verificables de la rentabilidad financiera. Estos hallazgos iniciales justifican un análisis que conecte explícitamente dimensiones de gestión con sus efectos en costos directos e indirectos y en la relación beneficio–costo del caso.

La investigación es pertinente porque aborda un problema sustantivo de la edificación privada en Lima: la erosión de la rentabilidad financiera por ineficiencias evitables. Es relevante académicamente al aportar evidencia empírica sobre la relación entre prácticas de Gestión BIM y resultados financieros en un caso real, nutriendo la discusión metodológica sobre coordinación y toma de decisiones basada en modelos. Es importante para el sector al ofrecer un análisis replicable que puede orientar a promotores y contratistas en la priorización de prácticas con mayor impacto en ahorros de costos directos, indirectos y en el índice beneficio–costo. Asimismo, es pertinente para la formación profesional en ingeniería civil al vincular decisiones de coordinación con resultados cuantificables en términos financieros. En

el plano institucional, los aprendizajes pueden escalarse a carteras de proyectos y retroalimentar procesos de preconstrucción y diseño, mejorando la previsibilidad de costos y plazos. Finalmente, el conocimiento generado aporta a la discusión sobre madurez BIM en el contexto peruano.

En este contexto, se plantea realizar una evaluación retrospectiva del Proyecto Alto Prada con el propósito de analizar la rentabilidad financiera asociada a la Gestión BIM implementada, examinando si las prácticas de modelado 3D y coordinación, la gestión de interferencias y la prefabricación se vinculan con ahorros efectivos en costos y mejoras en el índice beneficio–costo. Se privilegia el examen de ahorros en costos directos e indirectos y su reflejo en el índice beneficio–costo, sin incorporar ingresos por ventas. La naturaleza retrospectiva del estudio permite fundamentar conclusiones con evidencia documental del caso.

Se estudiarán dos variables: la Gestión BIM como variable independiente e integrada por las dimensiones Modelado 3D / Coordinación, Interferencias y Prefabricación, y la Rentabilidad financiera, además de la variable dependiente compuesta por las dimensiones Ahorro de costos directos (Δ costo USD), Ahorro de costos indirectos (% sobre línea base) y Índice Beneficio–Costo global (B/C). El análisis se circunscribe al proyecto ya culminado, en el distrito de Magdalena del Mar, durante 2024. El foco analítico recae en la relación entre estas dimensiones, concebidas como prácticas de gestión, y los resultados financieros observados en el proyecto terminado. La codificación de dimensiones se mantendrá estable para preservar la consistencia con los objetivos e hipótesis del estudio.

De manera general, se acopiará la documentación técnica y económica del proyecto, se estructurará la información por dimensiones de Gestión BIM y Rentabilidad financiera, y se contrastarán sus relaciones a nivel de caso de estudio retrospectivo. Se organizará una matriz de consistencia que vincule dimensiones y resultados y se elaborarán contrastes internos al

caso. Esta ruta no incorpora técnicas ni instrumentos enunciados aquí, reservándose su detalle para la sección metodológica. El propósito es establecer con claridad el comportamiento conjunto de las variables en el proyecto Alto Prada, por lo que se hace las siguientes preguntas de investigación que se exponen a continuación es:

1.1.2. Problema general

- **PG:** ¿En qué medida la implementación de la gestión BIM se relaciona con la rentabilidad de la construcción del Proyecto Alto Prada, Magdalena del Mar, en la evaluación ex post realizada en 2026 sobre el proyecto finalizado en el año 2024?

1.1.3. Problemas específicos

- **PE1.** ¿Cómo se caracteriza el Modelado 3D y Coordinación implementado en la construcción del Proyecto Alto Prada, Magdalena del Mar, mediante la evaluación ex post realizada en 2026 sobre una obra finalizada en el año 2024?
- **PE2.** ¿En qué medida las interferencias registradas durante la ejecución del Proyecto Alto Prada se relacionan con el ahorro de costos directos y el ahorro de costos indirectos obtenidos, a partir de la evaluación ex post realizada en 2026 sobre una obra finalizada en el año 2024?
- **PE3.** ¿En qué medida la prefabricación y el Modelado 3D y Coordinación se relacionan con el índice beneficio costo global obtenido en la construcción del Proyecto Alto Prada, mediante la evaluación ex post realizada en 2026 sobre una obra finalizada en 2024?

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes internacionales

Alsofiani (2024) en su estudio *“Digitalization in Infrastructure Construction Projects: A PRISMA-Based Review of Benefits and Obstacles”* revisa sistemáticamente las aplicaciones de Building Information Modeling (BIM) en proyectos de infraestructura entre 2013-2023, mediante metodología PRISMA para rastrear literatura. El problema identificado es que, aunque BIM promete múltiples beneficios, hay barreras sustanciales para su adopción en el sector construcción: falta de legitimación de valor empresarial, resistencia al cambio, carencia de estandarización, etc. El objetivo fue clasificar y sintetizar los beneficios y obstáculos de BIM en infraestructura. Se analizaron 11 estudios y se agruparon 74 impedimentos y múltiples ventajas como reducción de costos y de plazos. Los resultados muestran que la adopción de BIM contribuye a mejoras de colaboración, gestión de datos en tiempo real y ahorro de costos y tiempo. Las conclusiones advierten que pese al potencial económico, la falta de claridad sobre el valor de negocio frena el uso generalizado. El aporte para tu investigación es directo: evidencia que la implementación de BIM (VI) se asocia con ahorro de costos y mejora en la eficiencia financiera (VD), lo cual valida la hipótesis de que la gestión BIM influye en la rentabilidad financiera del proyecto.

Yin et al. (2023) en su artículo *“An ontology-aided, natural language-based approach for multi-constraint BIM model querying”* abordan la dificultad en la consulta de modelos BIM complejos y su impacto operativo-económico en obras de edificación. El problema descrito es que, aunque los modelos BIM contienen gran cantidad de información paramétrica, la falta de interfaces eficientes para extraer datos limita su uso para decisiones de gestión y, por consiguiente, para optimizar costos. Su objetivo fue desarrollar un parser semántico asistido por ontología que tradujera en lenguaje natural las consultas sobre modelos BIM y facilitara el acceso a la información, reduciendo tiempo y errores. En la metodología, se definió una

ontología modular que representaba conceptos IFC, se recogieron 225 consultas en lenguaje natural de usuarios BIM, se evaluó la precisión (91 %) y se aplicó en un caso de edificio residencial real. Los resultados mostraron que la interfaz redujo tiempos de consulta y errores operativos. En conclusión, mejorar la accesibilidad de información BIM puede derivar en mejores decisiones, menor retrabajo y menor costo. La relación con tu estudio radica en que una coordinación BIM más eficiente (VI) favorece la rentabilidad financiera (VD) del proyecto mediante reducción de interferencias y mejoras en la gestión de costos.

Wang et al. (2024) en su trabajo de investigación *“Enabling BIM-Driven Human-Robot Collaborative Construction Workflows with Closed-Loop Digital Twins”*, analizan cómo la integración de modelos BIM con gemelos digitales y colaboración humano-robot puede acelerar la producción en obra y reducir errores costosos. El problema es que las discrepancias entre diseño BIM y obra real generan retrabajo, sobrecostos y plazos extendidos, lo cual afecta la rentabilidad. Su meta fue proponer un marco de “digital twin cerrado” que enlace el modelo BIM con actividades humanas y robóticas actualizadas en tiempo real. La metodología incluyó un caso de instalación de tabiques drywall con brazo robótico, pruebas de simulación y laboratorio-obra. Los resultados indicaron mejoras en productividad y robustez operativa. En la conclusión se afirma que la coordinación digital avanzada (parte de la VI) permite controlar mejor los costos operativos, reducir ineficiencias y mejorar el rendimiento financiero (VD) de proyectos. Este antecedente sustenta la hipótesis de que una gestión BIM madura impacta positivamente en la rentabilidad financiera del proyecto.

Abdulwahhab et al. (2022) en su artículo titulado *“Managing cost and schedule evaluation of a construction project via BIM technology and experts’ points of view.”* examinan las contribuciones de la gestión de proyectos basada en Building Information Modeling (BIM) para mejorar la exactitud en la estimación de costos y cronogramas en obras de construcción. El problema identificado fue la persistencia de métodos manuales de cálculo

de cantidades, que generan errores humanos, pérdidas financieras y demoras. El objetivo fue comparar la precisión de los métodos tradicionales frente al uso de herramientas digitales, particularmente REVIT Software, en la evaluación de costos y plazos. Se aplicó un diseño mixto: encuestas a 102 profesionales de la ingeniería civil (cuantitativo), entrevistas a expertos (cualitativo) y un estudio de caso práctico en un edificio de siete pisos. Los resultados demostraron que la adopción de BIM reduce significativamente el tiempo, esfuerzo y costo requeridos para la planificación, ofreciendo estimaciones más precisas que los cálculos manuales. Se concluye que la implementación de técnicas modernas de gestión, basadas en BIM, permite prevenir pérdidas financieras y mejorar la rentabilidad de los proyectos. El aporte al presente estudio radica en demostrar que una Gestión BIM efectiva (VI) contribuye a una mayor Rentabilidad Financiera (VD) al optimizar la evaluación de costos y cronogramas y disminuir errores humanos en la planificación constructiva.

1.2.2. Antecedentes nacionales

Peña et al. (2024) en su estudio titulado *“Análisis de la implementación de la metodología BIM: estudios de caso de proyectos de construcción.”* analizan el impacto de la metodología Building Information Modeling (BIM) como herramienta de gestión de proyectos en el sector construcción colombiano. Se identificó como problema la escasa planificación estratégica y la baja eficiencia económica de las obras gestionadas con métodos tradicionales. El objetivo fue evidenciar los aportes de BIM en la optimización de procesos de gerencia y su incidencia en la productividad y los costos. A través de una metodología cualitativa de revisión bibliográfica y análisis de casos emblemáticos —como el Puente Pumarejo y la Avenida 34 de Medellín—, las autoras compararon resultados en cronogramas y presupuestos. Los hallazgos demostraron que la aplicación de BIM redujo los costos de obra hasta en un 2.5 %, incrementó la productividad en un 25 % y mejoró la coordinación interdisciplinaria. Se concluye que BIM constituye una herramienta estratégica de gestión que genera eficiencia, sostenibilidad y ahorro

financiero en proyectos de infraestructura. Su aporte a la investigación presente es directo: demuestra empíricamente la relación entre la Gestión BIM (VI) y la Rentabilidad financiera (VD), validando que la digitalización de procesos incrementa el retorno de inversión en construcción.

Viñan et al. (2025) en su artículo titulado *“Uso de modelos BIM en la planificación de obras civiles: un análisis textual discursivo de artículos de investigación”* evalúan los efectos del modelado BIM en la planificación y gestión de obras civiles en Ecuador, abordando la eficiencia, la optimización de recursos y los impactos financieros. El problema identificado fue la adopción limitada de BIM debido a carencias normativas, tecnológicas y de capacitación. El objetivo consistió en analizar los discursos científicos recientes (2020-2024) sobre la aplicación de BIM para determinar su contribución a la eficiencia económica y sostenibilidad. Se aplicó un método cualitativo de Análisis Textual Discursivo (ATD) a publicaciones indexadas, triangulando fuentes y patrones conceptuales sobre gestión y ahorro de recursos. Los resultados mostraron que BIM mejora el control de costos y tiempos, reduce desperdicios de materiales y fortalece la colaboración interdisciplinaria, aunque enfrenta barreras de interoperabilidad y resistencia al cambio. Se concluye que su implementación genera beneficios operativos y financieros significativos, especialmente cuando se combina con enfoques Lean Construction. El aporte a la presente investigación reside en demostrar que la Gestión BIM (VI) tiene un efecto directo sobre la Rentabilidad financiera (VD) mediante la optimización de recursos y la reducción de costos operativos en proyectos civiles.

Acuña et al. (2023) en su estudio *“Impacto de la metodología BIM en la gestión de proyectos de construcción.”* analizan los efectos de la metodología Building Information Modeling (BIM) en la gestión de proyectos de construcción, destacando los factores técnicos, humanos y económicos que limitan o potencian su adopción en Latinoamérica. El problema abordado fue la persistencia del método CAD tradicional pese a los beneficios comprobados

del modelado BIM en tiempo, costo y calidad. El objetivo general consistió en reconocer las ventajas de BIM en la administración de proyectos mediante un análisis bibliométrico y comparativo de casos. Se empleó un enfoque cualitativo-descriptivo, con revisión de 1610 publicaciones de la base Web of Science procesadas en VosViewer y estudios de proyectos reales en Chile y España. Los resultados demostraron que BIM mejora la coordinación entre especialidades, permite el control 5D de presupuestos y reduce costos por retrabajo en hasta 0.1 % del monto contractual, logrando ahorros estimados de 73 000 USD en proyectos sanitarios. Se concluye que las barreras más críticas para su adopción son de índole humana y organizacional, no tecnológica. El aporte para la presente investigación radica en demostrar que una gestión BIM efectiva (VI) incrementa la rentabilidad financiera (VD) mediante una planificación integral y una reducción directa de costos y tiempos de obra.

Castañeda-Parra et al. (2021) en su estudio titulado *“Planificación del flujo de caja de proyectos de construcción basada en BIM y dinámica de sistemas”* proponen un esquema metodológico para planificar el flujo de caja de proyectos de construcción mediante la integración de modelos BIM 5D y la dinámica de sistemas. El problema identificado fue la escasa precisión y adaptabilidad de los métodos tradicionales de proyección financiera, los cuales generan sobrecostos y retrasos. El objetivo fue mejorar la estimación de ingresos y egresos durante la ejecución de obras. Se aplicó un enfoque aplicado con simulación BIM 5D en una vivienda unifamiliar de Bucaramanga, Colombia, utilizando Revit, Navisworks y Evolución 4.5. Los resultados demostraron que el modelo propuesto optimiza la previsión de flujos de efectivo, reduce riesgos financieros y permite anticipar escenarios de déficit, mejorando las decisiones de inversión. Se concluyó que la integración de BIM con modelos de simulación incrementa la transparencia económica del proyecto y mejora la asignación de recursos. El aporte a la presente investigación radica en evidenciar que la Gestión BIM (VI)

puede utilizarse como herramienta predictiva para la Rentabilidad Financiera (VD) al optimizar los flujos de caja y minimizar pérdidas por desequilibrio financiero.

Yana-Castro et al. (2023) en su estudio *“Evaluación del flujo de trabajo en la fase de diseño, a través del uso de la metodología BIM-VDC aplicado en una edificación multifamiliar en Lima”* evalúan el flujo de trabajo en la fase de diseño de una edificación multifamiliar en Lima mediante la aplicación de la metodología Building Information Modeling (BIM) combinada con Virtual Design and Construction (VDC). El problema abordado fue la ineficiencia del flujo de trabajo tradicional y la falta de coordinación interdisciplinaria que genera sobrecostos y retrasos. El objetivo consistió en optimizar los tiempos y mejorar la productividad mediante la integración de BIM-VDC y un Entorno Común de Datos (CDE) basado en Autodesk Construction Cloud. Se aplicó un enfoque aplicado, estructurado en tres fases: revisión bibliográfica, implementación del sistema y evaluación de resultados mediante indicadores de gestión (KPI's). Los resultados mostraron una mejora progresiva de la colaboración, reducción de errores en documentación 2D y actualización automática de estimaciones de cantidades y costos. Se concluye que la metodología BIM-VDC incrementa la calidad, transparencia y eficiencia de la información técnica, reduciendo la incertidumbre financiera y los costos operativos. El aporte al presente estudio radica en evidenciar que la Gestión BIM (VI) aplicada en fases tempranas del diseño mejora la Rentabilidad Financiera (VD) mediante la optimización del flujo de trabajo y la reducción de desviaciones presupuestales.

1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo general*

OG: Evaluar la rentabilidad de la implementación de la gestión BIM en la construcción del Proyecto Alto Prada, Magdalena del Mar, mediante una evaluación ex post realizada en 2026 sobre la obra finalizada en el año 2024.

1.3.2. *Objetivo específicos*

OE1: Caracterizar el modelado 3D implementado en la construcción del Proyecto Alto Prada, correspondiente a la ejecución finalizada en 2024, a partir del análisis ex post realizado en 2026.

OE2: Comparar las interferencias con el ahorro de costos directos y el ahorro de costos indirectos logrados en la construcción del Proyecto Alto Prada, correspondiente a la ejecución finalizada en 2024, a partir del análisis ex post realizado en 2026.

OE3: Relacionar la prefabricación y el modelado 3D y coordinación con el índice beneficio costo global obtenido en la construcción del Proyecto Alto Prada, en una evaluación ex post realizada en 2026 sobre una obra finalizada en 2024.

1.4. Justificación

1.4.1. *Justificación práctica*

La investigación se realiza para generar evidencia útil para la decisión sobre la rentabilidad financiera asociada a la Gestión BIM en un proyecto ya culminado. Al reconstruir el caso Alto Prada, se cuantifican ahorros en costos directos (Δ costo) y costos indirectos (por reducción de plazo) y se integra su efecto en el Índice Beneficio–Costo (B/C). Estos resultados permiten a promotores, constructoras y gerencias de proyecto estimar el retorno de prácticas específicas de BIM —Modelado 3D/Coordinación, Gestión de Interferencias y Prefabricación

(prelousas)— y priorizarlas en portafolios similares. La salida práctica esperada es un marco replicable (variables, dimensiones y métricas financieras) para evaluar ex post el desempeño económico de la gestión digital en edificaciones multifamiliares. Con ello, se reduce la incertidumbre frente a sobre costos y extensiones de plazo frecuentes en Lima Metropolitana y se mejora la toma de decisiones sobre adopción, alcance y oportunidad de BIM en futuras obras.

1.4.2. Justificación teórica

Teóricamente, se sustenta en la literatura que vincula gestión de la información y coordinación con desempeño del proyecto: deficiencias en comunicación generan pérdidas relevantes a nivel global (Pincay et al., 2025), mientras que el BIM, como metodología colaborativa basada en modelos, anticipa interferencias, reduce retrabajos y optimiza secuencias (Eastman et al., 2011). A pesar de ello, existe una brecha empírica local: se requieren estudios que relacionen dimensiones concretas de BIM (Modelado 3D/Coordinación, Interferencias, Prefabricación) con resultados financieros observables (Ahorro de costos directos, Ahorro de costos indirectos, B/C) en proyectos reales peruanos. Este trabajo aporta al cuerpo teórico al operacionalizar dicha relación en un caso de vivienda multifamiliar limeño y al delimitar constructos y métricas compatibles con enfoques de gestión de proyectos y economía de la construcción, fortaleciendo la validez externa de los beneficios atribuidos a BIM en contextos emergentes.

1.4.3. Justificación social

Socialmente, el estudio beneficia a usuarios finales y a la ciudad al promover prácticas que disminuyen desperdicio, mejoran la previsibilidad y acortan plazos, contribuyendo a un uso más eficiente de recursos privados y públicos. En mercados con alta presión de demanda, una gestión más coordinada reduce paralizaciones y retrabajos, lo que puede traducirse en

mejor calidad de entrega y menor exposición a contingencias durante la vida temprana del edificio. Para profesionales (ingenieros, arquitectos, gestores) ofrece un referente local sobre qué dimensiones de BIM aportan mayor impacto financiero, mejorando competencias y cultura de colaboración. A nivel sectorial, resultados replicables favorecen estándares de desempeño y transparencia en la gestión, elementos clave para cerrar brechas de productividad señaladas en el país (MEF, 2019). En conjunto, se incentiva una construcción más eficiente y responsable, con beneficios compartidos para promotores, proveedores y usuarios.

1.4.4. Justificación metodológica

Metodológicamente, se adopta un enfoque retrospectivo de caso único, coherente con el carácter de construcción ya culminada. Se reconstruye el desempeño del Proyecto Alto Prada mediante fuentes documentales (presupuestos, metrados, estados de pago, cronogramas, registros de coordinación y de interferencias) y se organiza la información según VI: Gestión BIM (Modelado 3D/Coordinación, Interferencias, Prefabricación) y VD: Rentabilidad financiera (Ahorro de costos directos, Ahorro de costos indirectos, B/C). La contrastación se realiza dentro del caso, comparando un baseline tradicional frente a los resultados con BIM para estimar Δ costo y % de ahorro e integrar su efecto en B/C. Esta ruta asegura trazabilidad conceptual entre OG/OE, PG/PE y HG/HE y entrega evidencia verificable sin introducir técnicas específicas en esta sección; los procedimientos e instrumentos se detallarán en la metodología formal.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

HG: La gestión BIM implementada en la construcción del Proyecto Alto Prada en el año 2024 se relaciona favorablemente con la rentabilidad financiera del proyecto,

expresada en ahorro de costos directos, ahorro de costos indirectos e índice beneficio-costo global.

1.5.2. Hipótesis específicas

HE1. El modelado 3D implementado en la construcción del Proyecto Alto Prada se caracteriza por cobertura de especialidades modeladas, trazabilidad documental secuencial e integración de especialidades en el entorno BIM.

HE2. Las interferencias registradas en la construcción del Proyecto Alto Prada se relacionan con diferencias en el ahorro de costos directos y en el ahorro de costos indirectos obtenidos en la evaluación ex post del proyecto.

HE3. La prefabricación y el modelado 3D y coordinación implementados en la construcción del Proyecto Alto Prada se relacionan positivamente con el índice beneficio-costo global obtenido en la evaluación ex post del proyecto.

II. MARCO TEÓRICO

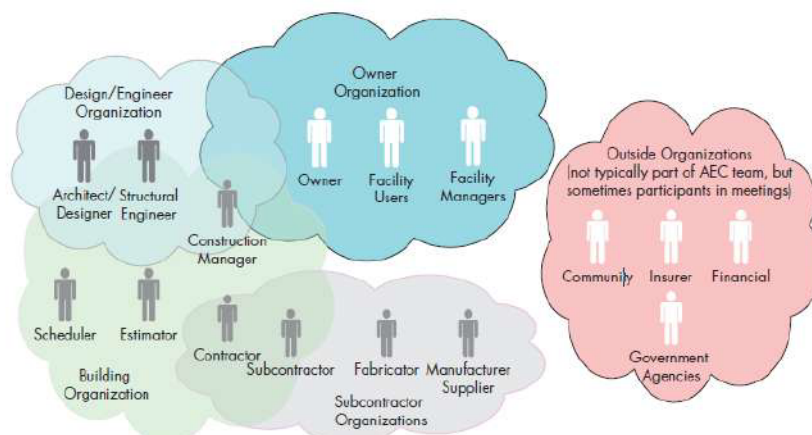
2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1. Fundamentos teóricos de la variable independiente: Gestión BIM

Conceptualización del building information modeling (bim). El Building Information Modeling (BIM) se concibe como un sistema de gestión digital integral que centraliza la información técnica, económica y operativa de un proyecto en un modelo tridimensional paramétrico. Según Eastman et al. (2018), el BIM transforma los procesos tradicionales al integrar los datos de planificación, diseño, construcción y operación dentro de una plataforma colaborativa única, lo que garantiza trazabilidad, interoperabilidad y control de calidad. Asimismo, Eichler et al. (2024) sostienen que la metodología BIM supera su función meramente gráfica para convertirse en un sistema de administración del conocimiento, donde personas, procesos y tecnología interactúan en un entorno común de datos (Common Data Environment). En este sentido, el BIM se configura como una herramienta estratégica para incrementar la productividad y la rentabilidad de los proyectos de ingeniería civil, al actuar como eje de coordinación técnica y administrativa durante todo el ciclo de vida de la infraestructura.

Figura 1

El modelo BIM como sistema organizacional colaborativo en proyectos AEC



Nota. Adaptado de Eastman et al. (2018). BIM handbook: A guide to Building Information Modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers (3rd ed., Fig. 1-1, p. 8). Wiley.

2.1.1.1. Evolución del BIM y niveles de madurez digital en proyectos de ingeniería civil. El desarrollo del Building Information Modeling (BIM) refleja la evolución tecnológica y organizacional de la industria de la construcción, pasando de procesos fragmentados basados en dibujos bidimensionales a modelos colaborativos de información digital. Según Eastman et al. (2018), el BIM surge como una respuesta a la falta de interoperabilidad entre las disciplinas del sector AEC (Architecture, Engineering and Construction), integrando en un solo modelo los datos geométricos, técnicos y financieros del proyecto. Este enfoque transforma la naturaleza secuencial del diseño y la construcción en un proceso continuo y coordinado que abarca todo el ciclo de vida de la edificación.

Por su parte, Holzer (2016) explica que la madurez digital del BIM se refleja en el grado de colaboración y coordinación alcanzado por los participantes del proyecto. En los métodos tradicionales, la información se desarrolla de manera lineal y aislada, lo que produce duplicación de planos, falta de coordinación y retrabajos. En contraste, el enfoque BIM promueve un flujo de trabajo simultáneo entre arquitectos, ingenieros, contratistas y gestores de instalaciones, articulado mediante protocolos combinados de colaboración y revisión integrada. Este cambio estructural representa la transición desde un nivel básico de digitalización hacia un entorno de gestión avanzada, en el que la información fluye de forma coherente y trazable dentro de un sistema compartido.

Figura 2

Comparación entre los métodos tradicionales de entrega y el enfoque BIM colaborativo.

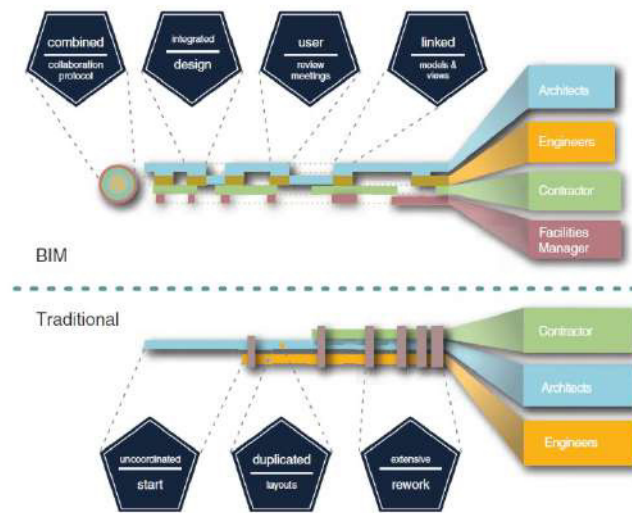


Figure 1-8 Comparing BIM versus traditional methods of delivery: Applying a combined protocol to regulate collaboration among stakeholders.
© Dominik Holzer/AEC Connect

Nota. Adaptado de Holzer (2016). The BIM manager's handbook: Guidance for professionals in architecture, engineering, and construction (Fig. 1-8, p. 16). Wiley.

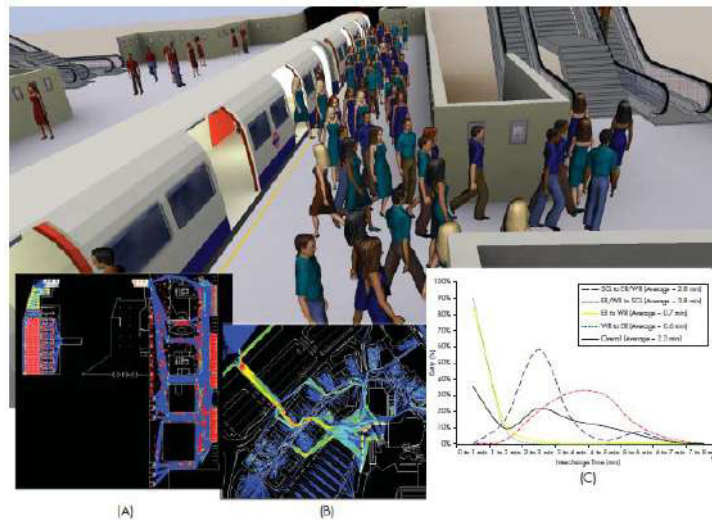
La figura compara la secuencia tradicional de entrega de proyectos con la metodología BIM. En el sistema tradicional, las etapas de trabajo son lineales, descoordinadas y redundantes, generando retrabajos. En cambio, el enfoque BIM permite la integración simultánea entre las disciplinas, respaldado por protocolos de colaboración combinados, reuniones de revisión y modelos vinculados. Este esquema ilustra el avance hacia la madurez digital, donde la coordinación, la interoperabilidad y la gestión de la información se convierten en los pilares del proceso constructivo moderno.

2.1.1.2. Dimensión 1: Modelado 3D y coordinación interdisciplinaria en entornos virtuales de diseño. El modelado tridimensional (3D) constituye la base operativa del Building Information Modeling (BIM), ya que permite representar digitalmente la geometría, las propiedades constructivas y las relaciones espaciales de los componentes del proyecto. De acuerdo con Eastman et al. (2018), el modelado 3D no solo proporciona una visualización precisa, sino que actúa como un contenedor de información paramétrica, en el que cada elemento del modelo contiene atributos físicos, estructurales y económicos vinculados. Esta capacidad transforma el diseño arquitectónico y de ingeniería en un proceso interactivo, donde las modificaciones se actualizan automáticamente en todas las vistas y disciplinas.

La coordinación interdisciplinaria es el principal valor agregado del modelado BIM 3D. Según Ashcraft (2008) los entornos virtuales de diseño permiten a arquitectos, ingenieros y constructores trabajar sobre un modelo federado que consolida los aportes individuales de cada especialidad, reduciendo errores de interferencia y optimizando la planificación. A través de herramientas de detección de conflictos (clash detection), los equipos de proyecto pueden identificar y resolver incompatibilidades antes de la fase constructiva, lo cual incrementa la eficiencia técnica y disminuye los costos asociados al retrabajo (Ye et al., 2025). Este enfoque colaborativo consolida el modelado 3D como una dimensión fundamental para la integración de la información en proyectos de ingeniería civil.

Figura 3

Aplicación del modelado 3D en la coordinación interdisciplinaria de proyectos BIM



Nota. Adaptado de Eastman et al. (2018). BIM handbook: A guide to Building Information Modeling for owners, designers, engineers, contractors and facility managers (3rd ed., Fig. 4-5, p. 143). Wiley.

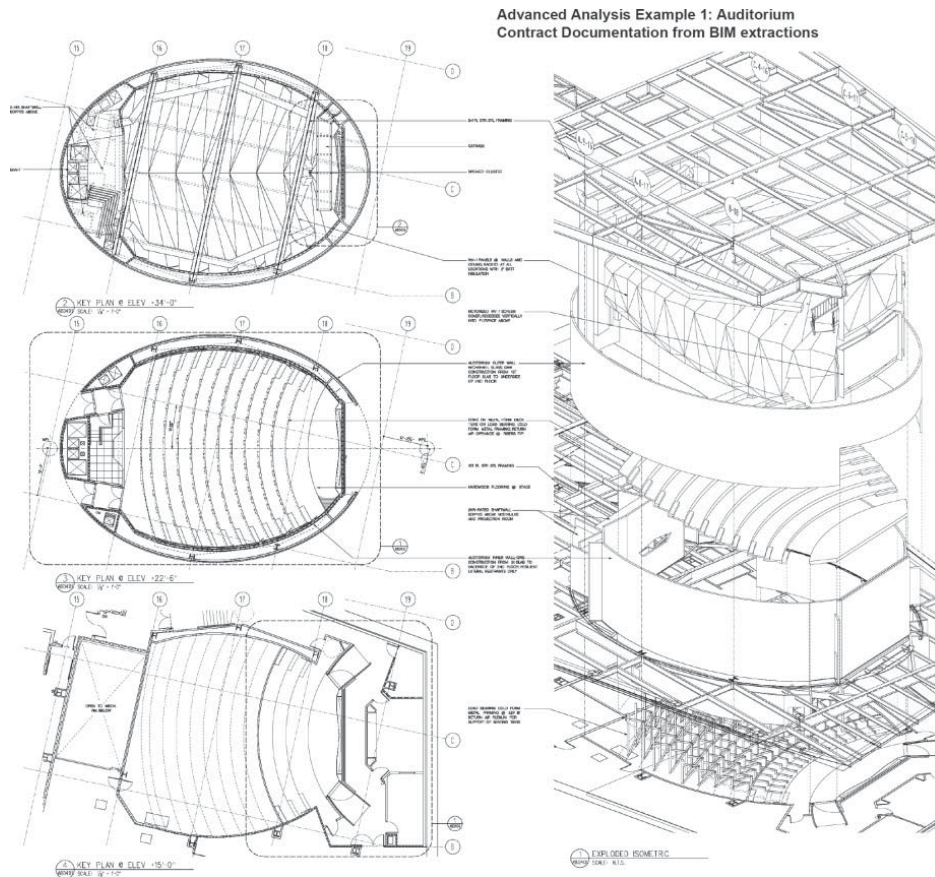
La figura muestra un modelo tridimensional que combina planos 2D y análisis 3D del flujo de pasajeros en una estación de metro. Este entorno virtual integra datos arquitectónicos, estructurales y operativos para coordinar el trabajo entre disciplinas, demostrando cómo el modelado 3D BIM facilita la detección de conflictos, la simulación del uso del espacio y la optimización del diseño en infraestructura civil.

2.1.1.3. Dimensión 2: Detección y gestión de interferencias (clash detection) en la planificación constructiva. La detección de interferencias constituye una de las funciones más relevantes del Building Information Modeling (BIM), pues permite identificar conflictos geométricos, estructurales o funcionales entre los modelos disciplinares antes del inicio de la construcción. Según Eastman et al. (2018), el proceso de clash detection reemplaza la coordinación manual de planos por un sistema digital que integra los modelos de arquitectura, estructuras y MEP (Mechanical, Electrical and Plumbing) dentro de un entorno común de datos (Common Data Environment – CDE). Este enfoque posibilita comparar automáticamente las geometrías, detectar incompatibilidades y establecer prioridades de corrección, reduciendo los costos por retrabajo y las demoras en obra.

Por su parte, Eichler et al. (2024) destacan que la gestión de interferencias es parte del ciclo de control colaborativo del BIM, compuesto por las fases de detección, revisión y resolución. Mediante herramientas como Navisworks Manage o Solibri Model Checker, los coordinadores BIM clasifican los conflictos según su naturaleza (duros, suaves o de mantenimiento) y los asignan a los responsables de cada disciplina. Esta práctica sistemática fortalece la trazabilidad de las decisiones técnicas y contribuye al incremento del nivel de madurez digital organizacional, garantizando una ejecución constructiva más eficiente y precisa.

Figura 4

Coordinación estructural y resolución de interferencias en el modelo BIM de un auditorio



Nota. Adaptado de Eastman et al. (2018). BIM handbook: A guide to Building Information Modeling for owners, designers, engineers, contractors and facility managers (3rd ed., Fig. 5-11, p. 210). Wiley.

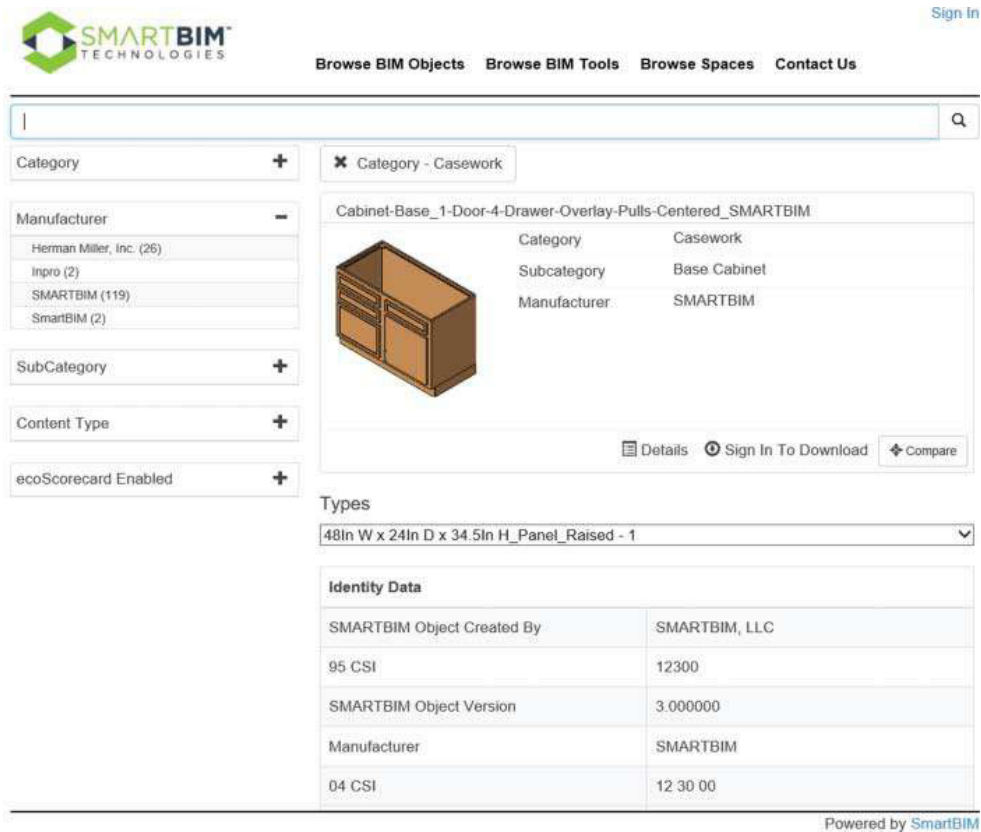
La figura representa la documentación contractual generada a partir del modelo BIM del auditorio de los Merck Research Laboratories (Boston). Las vistas tridimensionales y planimétricas muestran la coordinación entre arquitectura, estructuras y prefabricación, evidenciando cómo la detección temprana de interferencias permitió resolver geometrías complejas y obtener planos de fabricación precisos. Este caso demuestra la capacidad del BIM para consolidar la información de múltiples disciplinas, reducir errores constructivos y optimizar la planificación mediante un proceso digital integrado.

2.1.1.4. Dimensión 3: prefabricación, estandarización y control de calidad mediante bim. La metodología Building Information Modeling (BIM) impulsa la prefabricación digital de los elementos constructivos mediante la creación de modelos tridimensionales precisos, parametrizados y estandarizados. Según Eastman et al. (2018), el proceso de prefabricación comienza en la fase de diseño virtual, donde los objetos BIM se definen con dimensiones exactas, materiales y datos técnicos verificables. Estos objetos, almacenados en bibliotecas digitales, permiten una producción más eficiente, reducen los errores en la fabricación y mejoran la trazabilidad entre el diseño y la ejecución. Así, la estandarización de los componentes constituye la base de la industrialización en la construcción moderna.

Asimismo, Eichler et al. (2024) sostienen que el control de calidad en entornos BIM se fundamenta en la consistencia de la información que contienen los modelos digitales. Las bibliotecas paramétricas, como la SmartBIM Library, garantizan que cada elemento del proyecto cumpla con las especificaciones técnicas y normativas establecidas, facilitando la interoperabilidad entre plataformas y disciplinas. Este control digital previo a la fabricación física asegura la coherencia entre lo modelado y lo construido, optimizando la eficiencia del proceso constructivo y fortaleciendo la gestión de la calidad en la ingeniería civil.

Figura 5

Estandarización y control de calidad digital mediante bibliotecas de objetos BIM



Nota. Adaptado de Eastman et al. (2018). BIM handbook: A guide to Building Information Modeling for owners, designers, engineers, contractors and facility managers (3rd ed., Fig. 5-15, p. 223). Wiley.

La figura representa la interfaz de la plataforma SmartBIM Library, donde se gestionan objetos constructivos estandarizados que contienen información técnica verificable, códigos de clasificación y versiones actualizadas. Este sistema constituye una herramienta clave para el control de calidad digital en los proyectos BIM, al asegurar la trazabilidad de los componentes y su compatibilidad con procesos de prefabricación industrializada.

2.1.1.5. Gestión colaborativa y entornos comunes de datos (cde) según la norma iso 19650. La gestión colaborativa dentro del Building Information Modeling (BIM) se sustenta en la coordinación estructurada de la información entre los distintos agentes del proyecto, mediante sistemas digitales que garantizan trazabilidad, acceso controlado y revisión permanente. De acuerdo con Eichler et al. (2024), el concepto de Common Data Environment (CDE) constituye el eje operativo del BIM, pues centraliza la información técnica, documental y gráfica en un único repositorio compartido, donde cada usuario actúa conforme a roles y permisos definidos. Este entorno unifica el trabajo interdisciplinario y reemplaza los intercambios fragmentados por flujos colaborativos estandarizados, asegurando la consistencia de los datos a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

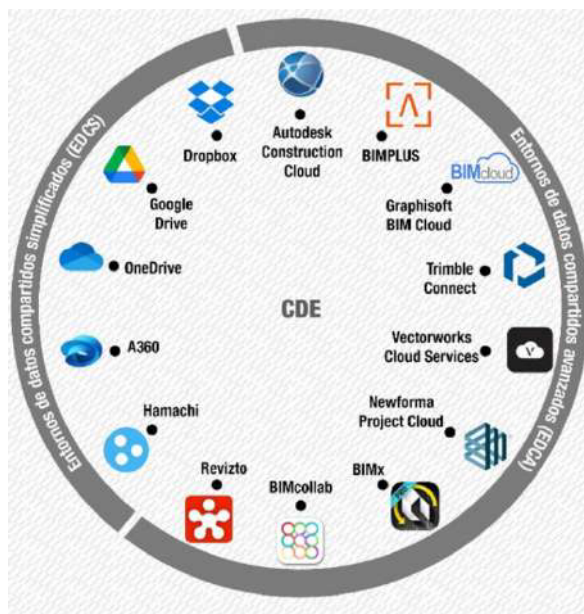
La norma ISO 19650-1:2018 establece el marco internacional para la gestión de la información en proyectos basados en BIM, definiendo procesos claros de creación, revisión, validación y publicación de archivos. Según Yana-Castro et al. (2023), el CDE permite gestionar la información bajo estados diferenciados: Trabajo en Progreso (WIP), Compartido (Shared), Publicado (Published) y Archivado (Archived). Este flujo secuencial garantiza que cada documento pase por etapas controladas antes de ser utilizado oficialmente, lo que fortalece la comunicación, reduce errores y mejora la transparencia contractual. Además, la ISO 19650 promueve la interoperabilidad entre plataformas, la seguridad de los datos y la continuidad informativa desde el diseño hasta la operación.

Finalmente, la madurez de los entornos de datos compartidos puede evaluarse a partir de su grado de digitalización. Barco (Yana-Castro et al., 2023) distingue entre los Entornos de Datos Compartidos Simplificados (EDCS) y los Entornos de Datos Compartidos Avanzados (EDCA), donde los primeros se limitan a la gestión documental y los segundos integran control de versiones, auditorías automáticas y modelado federado en la nube. Esta clasificación evidencia el avance hacia un modelo de colaboración integral que combina estándares técnicos

y gestión de información, consolidando la metodología BIM como un sistema de gobernanza digital en la construcción moderna.

Figura 6

Niveles de madurez del Entorno Común de Datos (CDE) en la gestión colaborativa BIM



Nota. Adaptado de Yana-Castro et al. (2023). Evaluación del flujo de trabajo en la fase de diseño, a través del uso de la metodología BIM-VDC aplicado en una edificación multifamiliar en Lima. *Informes de la Construcción*, 75(570), e490. <https://doi.org/10.3989/ic.6181>.

La figura muestra la clasificación de madurez de los entornos de datos compartidos (CDE) propuestos por Barco (2018), donde se diferencian los EDCS y los EDCA. El esquema evidencia el progreso tecnológico desde plataformas de intercambio básico hasta sistemas integrales que gestionan información federada, validada y trazable en tiempo real, conforme a los lineamientos de la norma ISO 19650-1:2018.

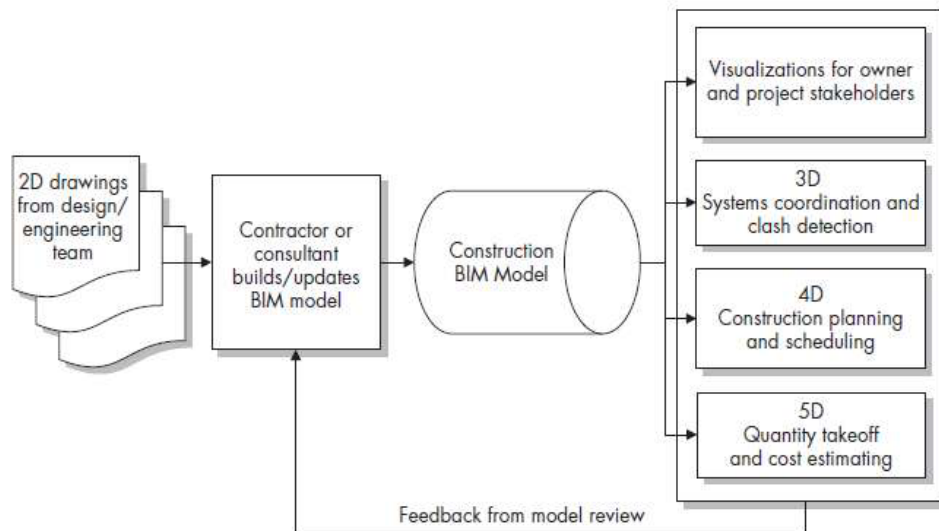
2.1.1.6. Impacto de la gestión bim en la eficiencia operativa y en la sostenibilidad de los proyectos de infraestructura. La gestión BIM se consolida como un mecanismo esencial para alcanzar la eficiencia operativa en los proyectos de infraestructura, al integrar en un mismo entorno digital las dimensiones técnicas, económicas y de gestión. Según Eastman et al. (2018), el flujo de información digital en modelos 3D, 4D y 5D permite coordinar disciplinas, programar actividades y estimar costos con mayor precisión, reduciendo los errores de diseño y las pérdidas de recursos durante la ejecución. Esta interoperabilidad genera una mejora significativa en la productividad, la calidad y la trazabilidad de los procesos constructivos, pilares fundamentales de la eficiencia operativa.

Asimismo, la gestión BIM fomenta una sostenibilidad técnica y económica, al minimizar el desperdicio de materiales, tiempos muertos y reprocesos. Eichler et al. (2024) sostienen que la madurez digital alcanzada mediante la implementación de estándares como la ISO 19650 impulsa una gestión más racional del ciclo de vida del proyecto, optimizando el uso de energía y recursos. Aunque el impacto ambiental no se representa directamente en la modelación, la eficiencia en la planificación y ejecución constituye una forma indirecta de sostenibilidad operativa, al promover construcciones más limpias, rápidas y seguras.

De este modo, la gestión BIM trasciende la fase de diseño y se convierte en un sistema de control integral que vincula información técnica y económica en tiempo real. La reducción de incertidumbre y la coordinación interdisciplinaria fortalecen la toma de decisiones, facilitando la transición hacia una infraestructura más resiliente y sostenible. En la práctica, la implementación de modelos federados con dimensiones 3D (coordinación), 4D (programación) y 5D (costos) representa la base de un modelo de gestión eficiente que impacta directamente en la rentabilidad y sostenibilidad del proyecto.

Figura 7

Flujo operativo del proceso BIM para la eficiencia en la coordinación, planificación y estimación de proyectos



Nota. Adaptado de Eastman et al. (2018). BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling for owners, designers, engineers, contractors and facility managers (3rd ed., Fig. 6-2, p. 240). Wiley.

La figura ilustra el flujo del proceso BIM en la etapa constructiva. A partir de planos 2D, el contratista desarrolla el modelo BIM de construcción, utilizado para la coordinación de sistemas (3D), la planificación y programación (4D) y la estimación de costos (5D). Este modelo favorece la eficiencia operativa al reducir errores y reprocesos, optimizar recursos y mejorar la trazabilidad de la información, contribuyendo a la sostenibilidad técnica y económica de los proyectos de infraestructura.

2.1.2. Fundamentos teóricos de la variable dependiente: rentabilidad financiera

2.1.2.1. Conceptualización de la rentabilidad en proyectos de ingeniería y construcción. La rentabilidad en proyectos de ingeniería se define como la capacidad que tiene una inversión para generar beneficios superiores a los costos incurridos durante su ciclo de vida. Según Sapag et al. (2014), la rentabilidad constituye el criterio fundamental para determinar la viabilidad económica de un proyecto, ya que permite medir el retorno generado por la asignación de recursos escasos. En obras de construcción, la rentabilidad se evalúa considerando el flujo de costos directos, indirectos, costos de oportunidad y beneficios operativos, elementos que determinan el valor económico final del proyecto.

Por su parte, Baca (2022) sostiene que la rentabilidad no solo se expresa mediante variables monetarias, sino también mediante el análisis del riesgo, la recuperación del capital y la eficiencia operativa del proyecto. En consecuencia, la rentabilidad financiera representa el resultado de un proceso estructurado de evaluación donde intervienen costos, ingresos, riesgos y el horizonte temporal del proyecto. Esta conceptualización permite vincular la rentabilidad con decisiones estratégicas de inversión en el sector construcción.

Tabla 1

Conceptualización de la rentabilidad en proyectos de ingeniería y construcción según diversos autores

Autor	Definición de rentabilidad	Enfoque aplicado a proyectos de construcción
Sapag et al. (2014)	La rentabilidad es la capacidad de un proyecto para generar beneficios superiores a los costos, medida mediante indicadores económicos como VAN, TIR y B/C.	Establece la rentabilidad como criterio central de decisión, considerando flujos económicos del ciclo de vida de la obra.

Baca (2022)	La rentabilidad refleja el retorno económico esperado por el inversionista, considerando riesgo, costos y horizonte temporal del proyecto.	Enfatiza la importancia del riesgo, costos de oportunidad y la recuperación de la inversión en obras civiles.
Park (2016)	La rentabilidad se mide como la diferencia entre el valor presente de los beneficios y los costos, afectada por la tasa mínima aceptable de rendimiento.	Se aplica mediante métodos cuantitativos que permiten comparar alternativas constructivas y determinar su valor económico.

Nota. Elaboración propia a partir de Sapag et al. (2014), Baca (2022) y Park (2016).

La tabla presenta las principales conceptualizaciones de rentabilidad en la literatura especializada, destacando cómo cada autor interpreta la creación de valor económico en proyectos de ingeniería. Aunque los enfoques difieren en énfasis metodológico—riesgo, eficiencia o evaluación financiera—coinciden en que la rentabilidad constituye el criterio fundamental para determinar la viabilidad de un proyecto de construcción.

2.1.2.2. Fundamentos de evaluación económico–financiera: van, tir y relación beneficio–costo. La evaluación económico–financiera constituye el eje central para determinar la viabilidad de un proyecto de inversión en ingeniería y construcción, ya que permite estimar la capacidad de la obra para generar valor económico frente a los recursos que requiere. Según Park (2016), el análisis financiero se basa en la proyección y valoración de flujos de caja futuros, los cuales deben descontarse al presente para considerar el valor temporal del dinero. Entre los métodos más utilizados se encuentra el Valor Actual Neto (VAN), que corresponde a la diferencia entre los beneficios y los costos actualizados. Un VAN positivo indica creación de valor y justifica económicamente la ejecución del proyecto.

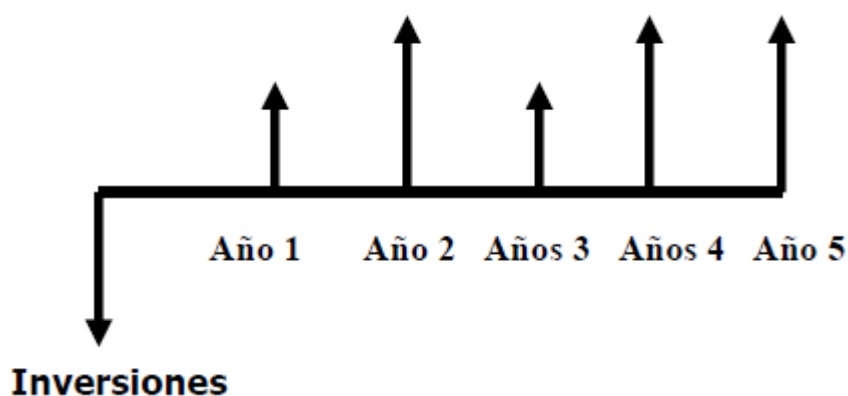
La Tasa Interna de Retorno (TIR) es otro indicador fundamental, definida como la tasa de descuento que iguala el valor presente de los beneficios con el de los costos. De acuerdo con Sullivan et al. (2015), la TIR expresa la rentabilidad porcentual generada por el proyecto

y es aceptable cuando supera el costo de capital o tasa mínima de rendimiento exigida por el inversionista. Finalmente, la relación Beneficio–Costo (B/C) constituye un indicador de eficiencia económica que compara los beneficios totales actualizados frente a los costos totales actualizados. Para Sapag et al. (2014), un índice B/C superior a 1 evidencia que los beneficios netos superan a los costos, confirmando la conveniencia financiera del proyecto.

En conjunto, estos métodos permiten evaluar rigurosamente la rentabilidad financiera y facilitan la comparación entre alternativas constructivas, contribuyendo a decisiones racionales de inversión en el sector infraestructura.

Figura 8

Representación gráfica del flujo de caja utilizado en la evaluación financiero–económica del proyecto



Nota. Adaptado de Vega (2021). Lectura 5: Evaluación financiera de proyectos.

La figura muestra un flujo de caja típico con una inversión inicial negativa y beneficios netos positivos en los años subsiguientes. Esta representación constituye la base conceptual para el cálculo del Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la relación Beneficio–Costo (B/C), al permitir visualizar la dinámica temporal de los flujos que determinan la rentabilidad del proyecto.

2.1.2.3. Dimensión 1: ahorro de costos directos. Los costos directos representan los gastos vinculados de manera inmediata y cuantificable a la ejecución física de la obra, tales como materiales, mano de obra, equipos, subcontratos y transporte. Estos costos constituyen la mayor proporción del presupuesto total de un proyecto de construcción y su adecuada gestión tiene un impacto decisivo en la rentabilidad financiera. Según Baca (2022), el control eficiente de los costos directos permite disminuir los desembolsos operativos y mejorar el margen económico del proyecto, dado que una reducción en esta categoría incrementa directamente los beneficios netos del flujo de caja.

Asimismo, el ahorro en costos directos se considera un beneficio financiero medible dentro de la evaluación económica del proyecto. Sapag et al. (2014) explican que cualquier disminución en los costos de materiales, tiempos de ejecución o subcontratos genera un aumento significativo en el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), ya que reduce el nivel de egresos actualizados. De igual forma, Park (2016) señala que la eficiencia en la adquisición, uso y control de recursos directos contribuye a mejorar la productividad operativa, reduciendo pérdidas por reprocesos, mermas o actividades no productivas.

En conjunto, la gestión del ahorro de costos directos constituye una dimensión crítica dentro de la rentabilidad financiera, pues determina la eficiencia con la que se utilizan los recursos esenciales del proyecto y condiciona los resultados económicos finales.

Tabla 2

Componentes del ahorro de costos directos en la fase de ejecución

Categoría de costo directo	Descripción operativa	Efecto financiero según la literatura
Materiales	Insumos de obra: concreto, acero, acabados, tuberías, agregados.	Reducción de desperdicios y compras eficientes aumenta el VAN. (<i>Sapag et al., 2014</i>)
Mano de obra	Personal operativo directo en actividades de construcción.	Menor tiempo de ejecución reduce costos acumulados. (<i>Baca, 2022</i>)
Equipos y maquinaria	Excavadoras, mixers, grúas, bombas, encofrado especializado.	Mayor productividad disminuye costos por hora- máquina. (<i>Park, 2016</i>)
Subcontratos	Servicios especializados: encofrado, instalaciones, estructuras metálicas.	Negociación eficiente y reducción de reprocesos mejora la TIR. (<i>Baca Urbina, 2022</i>)
Transporte y logística	Traslado de materiales, maquinaria y personal de obra.	Optimización logística reduce costos recurrentes. (<i>Sapag et al., 2014</i>)

Nota. Elaboración propia a partir de Baca (2013); Sapag et al. (2014); Park (2016).

La tabla sintetiza los principales componentes de los costos directos y su impacto financiero. Se evidencia que cualquier optimización en materiales, mano de obra, equipos o subcontratos se traduce en un beneficio económico directo, incrementando los indicadores clave de rentabilidad como el VAN y la TIR.

2.1.2.4. Dimensión 2: ahorro de costos indirectos y optimización del flujo de caja.

Los costos indirectos comprenden aquellos gastos que no se asocian de manera directa con una partida específica, pero que son necesarios para la administración y operación del proyecto, tales como supervisión, oficinas de obra, seguros, gastos generales, administración central, costos financieros y contingencias. Según Sapag et al. (2014), este tipo de costos se acumula durante todo el período de ejecución y su ineficiente gestión puede generar importantes pérdidas financieras, afectando la liquidez y el desempeño económico del proyecto. Por ello, la reducción y el control de los costos indirectos constituyen un componente esencial para mejorar la rentabilidad del proyecto.

Asimismo, la optimización del flujo de caja resulta fundamental para garantizar la estabilidad financiera durante la ejecución. Sullivan et al. (2015) señalan que una adecuada programación de ingresos y egresos permite evitar déficits temporales, reducir el uso de capital de trabajo y disminuir los costos financieros asociados al crédito. Del mismo modo, Park (2016) destaca que un flujo de caja equilibrado mejora la capacidad del proyecto para afrontar obligaciones, mitigar riesgos financieros y sostener la continuidad operativa. La integración del ahorro de costos indirectos con la gestión eficiente del flujo de caja contribuye directamente a incrementar el Valor Actual Neto (VAN) y fortalecer la rentabilidad global del proyecto.

Tabla 3

Componentes del ahorro de costos indirectos y su efecto en el flujo de caja del proyecto

Categoría de costo indirecto	Descripción operativa	Efecto financiero según la literatura
Gastos generales de obra	Administración, control, almacén, seguridad, oficinas temporales.	Su reducción disminuye egresos recurrentes y mejora el flujo neto. (<i>Sapag et al., 2014</i>)

Categoría de costo indirecto	Descripción operativa	Efecto financiero según la literatura
Supervisión y administración	Personal técnico, residentes, asistentes administrativos.	Mejoras en eficiencia operativa reducen horas-hombre indirectas. (<i>Baca, 2022</i>)
Costos financieros	Intereses por capital de trabajo, líneas de crédito o financiamiento.	Una mejor programación de caja reduce intereses y costos financieros. (<i>Sullivan et al., 2015</i>)
Seguros y garantías	Pólizas, fianzas, garantías contractuales.	Su correcta gestión evita pagos innecesarios o duplicados. (<i>Park, 2016</i>)
Contingencias y riesgos	Provisiones por imprevistos, retrasos o cambios de alcance.	Su control reduce variaciones al presupuesto. (<i>Sapag et al., 2014</i>)

Nota. Elaboración propia con base en Sapag et al. (2014), Baca (2022), Sullivan et al. (2015) y Park (2016).

La tabla presenta las principales categorías de costos indirectos y su influencia en la liquidez del proyecto. El ahorro en estos componentes genera un flujo de caja más estable al disminuir egresos recurrentes, reducir costos financieros y mitigar riesgos, fortaleciendo así la rentabilidad económica del proyecto.

2.1.2.5. Dimensión 3: cálculo e interpretación del índice beneficio–costo global.

Índice Beneficio–Costo (B/C) es un indicador fundamental en la evaluación financiera de proyectos de construcción, ya que permite determinar la eficiencia económica relativa entre los beneficios y los costos actualizados. Según Park (2016), este índice se obtiene dividiendo el valor presente de los beneficios entre el valor presente de los costos, lo cual facilita comparar alternativas de inversión y establecer la conveniencia económica del proyecto. Un valor B/C mayor a 1 indica que los beneficios superan a los costos, justificando la decisión de inversión.

Por su parte, Sapag et al. (2014) explican que el B/C resulta especialmente útil en proyectos públicos o de infraestructura, donde los beneficios pueden extenderse a múltiples actores y donde los flujos económicos suelen tener un horizonte de evaluación prolongado. Asimismo, el indicador permite incorporar beneficios monetarios directos y economías generadas por reducción de costos, incremento de productividad o mejoras operativas. En esta misma línea, Baca (2022) señala que el B/C global se interpreta como una medida del retorno generado por cada unidad monetaria invertida, lo cual proporciona una visión integrada de la rentabilidad del proyecto.

En síntesis, el Índice Beneficio–Costo global constituye un método robusto para evaluar la rentabilidad financiera de proyectos de ingeniería, puesto que integra tanto los beneficios directos como los ahorros derivados de la eficiencia operativa, permitiendo una interpretación clara y cuantitativa del impacto económico total del proyecto.

Tabla 4

Índice Beneficio–Costo global

Elemento del análisis B/C	Descripción operativa	Interpretación financiera según la literatura
Beneficios actualizados (VPB)	Ahorros, ingresos, economías operativas, beneficios sociales monetizados.	Mayor VPB incrementa el valor del índice B/C. (<i>Sapag et al., 2014</i>)
Costos actualizados (VPC)	Inversión inicial, costos de operación y mantenimiento, costos de oportunidad.	Un VPC menor mejora la eficiencia económica del proyecto. (<i>Park, 2016</i>)
Relación B/C = VPB / VPC	Cociente entre beneficios y costos actualizados.	B/C > 1 indica viabilidad; B/C < 1 refleja no rentabilidad. (<i>Baca, 2022</i>)
Horizonte de evaluación	Vida útil del proyecto o período de análisis financiero.	Un horizonte mayor puede incrementar beneficios acumulados. (<i>Sapag et al., 2014</i>)
Tasa de descuento	Costo de capital o tasa mínima aceptable de rendimiento.	Afecta directamente el valor presente de los flujos. (<i>Park, 2016</i>)

Nota. Elaboración propia a partir de Park (2016); Sapag et al. (2014); Baca (2022).

La tabla resume los componentes esenciales del índice B/C y su relevancia en la evaluación financiera de proyectos de construcción. Se evidencia que este indicador integra los beneficios económicos actualizados y los costos totales del proyecto, permitiendo determinar la eficiencia de la inversión y apoyar decisiones estratégicas en obras públicas y privadas.

2.1.2.6. Indicadores financieros aplicados al análisis de obras públicas y privadas.

La evaluación financiera de proyectos de construcción requiere el uso de indicadores que permitan medir la viabilidad económica, el riesgo y la eficiencia del uso del capital. Según Sapag et al. (2014), los indicadores financieros constituyen herramientas esenciales para comparar alternativas de inversión y determinar si un proyecto cumple con los criterios mínimos de rendimiento exigidos por el inversionista o la entidad pública. Entre los más empleados se encuentran el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), la Relación Beneficio–Costo (B/C), el Período de Recuperación y el Costo Anual Equivalente (CAE).

En obras privadas, los indicadores se enfocan principalmente en la rentabilidad financiera y en la maximización del retorno del capital. Sullivan et al. (2015) señalan que la empresa privada prioriza indicadores como el VAN y la TIR, debido a que permiten evaluar el retorno económico y el riesgo asociado al proyecto. Adicionalmente, se analiza el costo de capital y la capacidad del proyecto para generar flujos de caja estables, factores relevantes para la toma de decisiones empresariales.

En obras públicas, la evaluación incorpora no solo criterios financieros, sino también análisis de impacto social y eficiencia económica. De acuerdo con Park (2016), indicadores como el B/C y el Costo Anual Equivalente permiten evaluar proyectos que generan beneficios sociales, cuyo retorno no siempre es cuantificable de manera directa. La priorización de estos indicadores permite justificar la asignación de recursos públicos hacia proyectos que mejoran la accesibilidad, seguridad y bienestar de la población. En ambos casos, el empleo adecuado de indicadores financieros fortalece la toma de decisiones y asegura la asignación eficiente de recursos en infraestructura.

Tabla 5

Indicadores financieros en la evaluación de proyectos

Indicador financiero	Descripción técnica	Uso predominante en obras privadas	Uso predominante en obras públicas
Valor Actual Neto (VAN)	Diferencia entre beneficios y costos actualizados.	Es el criterio principal para medir creación de valor financiero.	Se usa para comparar alternativas socialmente relevantes. (<i>Sapag et al., 2014</i>)
Tasa Interna de Retorno (TIR)	Tasa que iguala beneficios y costos actualizados.	Evalúa rentabilidad porcentual y riesgo de inversión. (<i>Sullivan et al., 2015</i>)	Se usa como complemento, pero no es decisiva por su naturaleza privada.
Relación Beneficio–Costo (B/C)	Cociente entre beneficios y costos actualizados.	Útil cuando el capital es limitado o se comparan múltiples opciones.	Indicador clave en proyectos con beneficios sociales. (<i>Park, 2016</i>)
Período de Recuperación (Payback)	Tiempo requerido para recuperar la inversión inicial.	Evalúa riesgo de liquidez y recuperación inmediata del capital.	Se usa para evaluar sostenibilidad operativa del gasto.
Costo Anual Equivalente (CAE)	Convierte costos totales en un valor anual uniforme.	Compara alternativas de distinta vida útil.	Es útil para comparar proyectos públicos con reinversiones. (<i>Sapag et al., 2014</i>)

Nota. Elaboración propia a partir de Sapag et al. (2014); Sullivan et al. (2015); Park (2016).

La tabla sintetiza los principales indicadores financieros utilizados en la evaluación de proyectos de infraestructura, diferenciando su enfoque en obras privadas —orientadas a la rentabilidad económica— y en obras públicas, donde se prioriza la eficiencia social y económica. Estos indicadores permiten valorar la conveniencia de inversión y asegurar un uso eficiente de los recursos.

2.1.2.7. Factores que condicionan la rentabilidad financiera en la gestión de proyectos de construcción. La rentabilidad financiera de un proyecto de construcción depende de una serie de factores internos y externos que influyen en los costos, beneficios y riesgos del proyecto. Según Baca (2022), los factores internos se relacionan con la gestión operativa, el control de costos, la programación de obra, la experiencia del equipo técnico y la eficiencia en la utilización de recursos. Estos elementos determinan directamente el flujo de caja operativo y la capacidad del proyecto para generar excedentes económicos. Una gestión ineficiente incrementa la probabilidad de sobrecostos, retrasos y reprocesos, afectando negativamente la rentabilidad.

Por otro lado, los factores externos están asociados a condiciones del mercado, inflación, variación del tipo de cambio, tasas de financiamiento y disponibilidad de capital. Para Sapag et al. (2014), estos factores influyen tanto en los costos de inversión como en los costos operativos, generando volatilidad en los flujos futuros del proyecto. El análisis de estos factores permite anticipar riesgos financieros y establecer estrategias de mitigación, tales como contratos a precios cerrados, coberturas cambiarias o ajustes por inflación.

Además, la rentabilidad también depende de la estructura del financiamiento, la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) y el costo de capital. Park (2016) señala que un incremento en la tasa de descuento reduce el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto, afectando la decisión de inversión. De igual forma, Sullivan et al. (2015) destacan que la eficiencia del flujo de caja y la capacidad de generar ingresos constantes condicionan la estabilidad financiera del proyecto y su resiliencia frente a variaciones económicas.

En conjunto, estos factores determinan la viabilidad económica del proyecto y orientan la toma de decisiones estratégicas durante la etapa de inversión, ejecución y operación de la infraestructura.

Tabla 6

Factores internos y externos que condicionan la rentabilidad financiera en proyectos de construcción

Tipo de factor	Descripción	Efecto financiero según la literatura
Internos: Gestión operativa	Planificación, control de obra, productividad, coordinación técnica.	Su optimización reduce costos y mejora el VAN. (Baca, 2022)
Internos: Control de costos	Gestión de costos directos e indirectos, reducción de desperdicios.	Menores egresos incrementan beneficios netos y TIR. (Sapag et al., 2014)
Externos: Mercado e inflación	Variaciones de precios, disponibilidad de insumos y volatilidad económica.	Aumenta costos futuros y reduce valor presente neto. (Park, 2016)
Externos: Tipo de cambio	Afecta costos importados y pagos en moneda extranjera.	Incrementa riesgos financieros y reduce rentabilidad. (Sapag et al., 2014)
Financiamiento y TMAR	Costo de capital, tasas de interés y estructura de financiamiento.	Una TMAR alta disminuye el VAN del proyecto. (Sullivan et al., 2015)

Nota. Elaboración propia a partir de Baca (2022); Sapag et al. (2014); Park (2016); Sullivan et al. (2015).

La tabla resume los factores internos y externos que influyen en la rentabilidad financiera. Su gestión adecuada permite reducir riesgos, controlar variaciones económicas y asegurar un desempeño financiero estable durante todo el ciclo de vida del proyecto.

2.1.3. Fundamentos teóricos que vinculan ambas variables

2.1.3.1. Relación entre la gestión bim y la eficiencia económico–financiera en proyectos constructivos. La gestión Building Information Modeling (BIM) constituye un sistema digital que integra información geométrica, técnica, temporal y económica en modelos tridimensionales paramétricos, permitiendo coordinar de manera simultánea a las distintas especialidades involucradas en un proyecto. Según Eastman et al. (2018), la combinación de modelos 3D, 4D y 5D permite detectar interferencias, simular el cronograma de ejecución y estimar cantidades y costos con mayor precisión, lo que reduce los errores de diseño, los retrabajos y las pérdidas operativas habituales en los sistemas tradicionales.

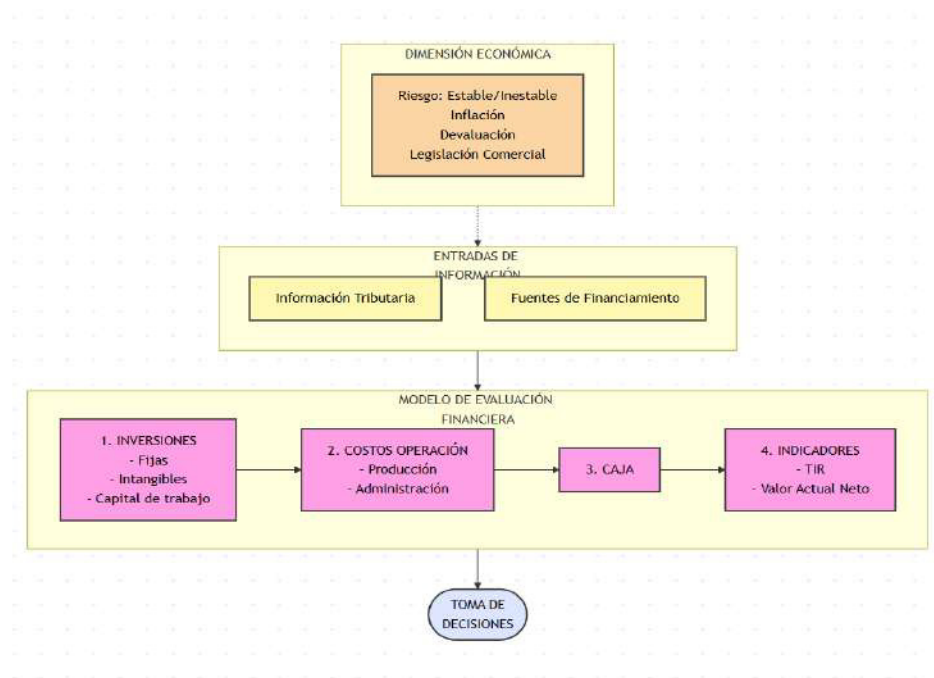
Este nivel de integración se potencia con los lineamientos de la ISO 19650, cuyo enfoque de gestión de la información promueve la trazabilidad documental, la coordinación interdisciplinaria y la reducción del riesgo técnico. Holzer (2016) sostiene que la madurez digital organizacional derivada del uso de BIM disminuye la fragmentación del proceso constructivo, mejora la colaboración entre actores y evita la duplicidad de información, factores que se traducen en menores costos directos e indirectos durante la ejecución.

La mejora operativa generada por BIM incide directamente en la eficiencia económico–financiera del proyecto. La reducción de interferencias disminuye los costos directos asociados a materiales y mano de obra, mientras que la optimización del cronograma —producto de simulaciones 4D— reduce tiempos improductivos, gastos generales y los costos financieros por ampliación de plazos. Asimismo, la estimación 5D permite obtener metrados precisos y presupuestos coherentes, disminuyendo la variabilidad en los costos de ejecución. De acuerdo con Baca (2022) y Sapag et al. (2014), estos efectos repercuten en mejores flujos de caja, mayor estabilidad financiera y mayores valores del VAN y TIR, indicadores clave para la toma de decisiones de inversión.

En este contexto, el modelo de evaluación financiera propuesto por Vega (2021) constituye una referencia fundamental para identificar los componentes económicos sobre los cuales impactan los ahorros y eficiencias generadas por BIM. Su estructura permite visualizar cómo las inversiones, los costos operativos, la generación de caja y los indicadores financieros se interrelacionan bajo la influencia de variables económicas externas, tales como la inflación, el riesgo país y la legislación comercial. La Figura X presenta una adaptación de dicho modelo para efectos del análisis en esta investigación.

Figura 9

Modelo financiero afectado por la eficiencia operativa derivada del BIM



Nota. Adaptado de Evaluación financiera de proyectos de S. I. Vega Mayorga, 2021, ICAP.

El esquema presenta la relación entre los componentes de inversión, costos operativos, flujo de caja e indicadores de rentabilidad (VAN y TIR), así como la influencia de variables económicas externas —como riesgo, inflación, devaluación y legislación comercial— y las entradas de información tributaria y fuentes de financiamiento. En esta investigación, el

modelo sirve para identificar los puntos donde las eficiencias generadas por la gestión BIM inciden sobre la estructura económico–financiera del proyecto.

Tabla 7

Tabla Indicadores de las dimensiones del BIM

Dimensión BIM	Descripción técnica según la literatura	Efecto económico–operativo	Impacto directo en indicadores financieros (VAN, TIR, Flujo de Caja)
BIM 3D	Modelo tridimensional paramétrico que permite detectar interferencias, extraer metrados consistentes y coordinar especialidades (Eastman et al., 2018).	Reducción de retrabajos, menor desperdicio de materiales, disminución de errores de diseño y de costos directos.	Incrementa el VAN al reducir la inversión real y los sobrecostos. Mejora la TIR al disminuir salidas de efectivo en etapas tempranas. Aumenta el flujo de caja operativo al evitar gastos no previstos.
BIM 4D	Integración del modelo 3D con el tiempo para simular el cronograma y optimizar la secuencia constructiva (Wang et al., 2013).	Reducción de tiempos muertos, menor improductividad, disminución de gastos generales, mejor programación de recursos.	Mejora el VAN al reducir costos indirectos y la duración del proyecto. Incrementa la TIR al acortar el tiempo de recuperación. Genera flujos de caja más estables , al evitar ampliaciones y penalidades.

Dimensión BIM	Descripción técnica según la literatura	Efecto económico– operativo	Impacto directo en indicadores financieros (VAN, TIR, Flujo de Caja)
BIM 5D	Vinculación del modelo con costos, metrados y presupuestos dinámicos; permite estimación precisa y actualización automática (Eastman et al., 2018).	Reducción de variabilidad presupuestal, disminución del riesgo financiero, mayor coherencia entre costos proyectados y reales.	Incrementa el VAN al mejorar la precisión en proyecciones. Incrementa la TIR al disminuir contingencias financieras. Fortalece la certidumbre del flujo de caja , mejorando decisiones de inversión.

Nota. Elaboración propia basada en Eastman et al. (2018), Wang et al. (2013), Holzer (2016), Sapag et al. (2014), y Baca (2022).

2.1.3.2. Metodología bim 5d como herramienta para la evaluación de costos y beneficios del proyecto. La metodología BIM 5D integra la información geométrica del modelo tridimensional, la secuencia temporal del cronograma 4D y la estructura económica del proyecto bajo un sistema unificado de estimación y control de costos. Según Eastman et al. (2018), la dimensión 5D permite que los metrados, costos y recursos se actualicen automáticamente ante cualquier modificación del diseño, garantizando coherencia entre las cantidades modeladas y el presupuesto.

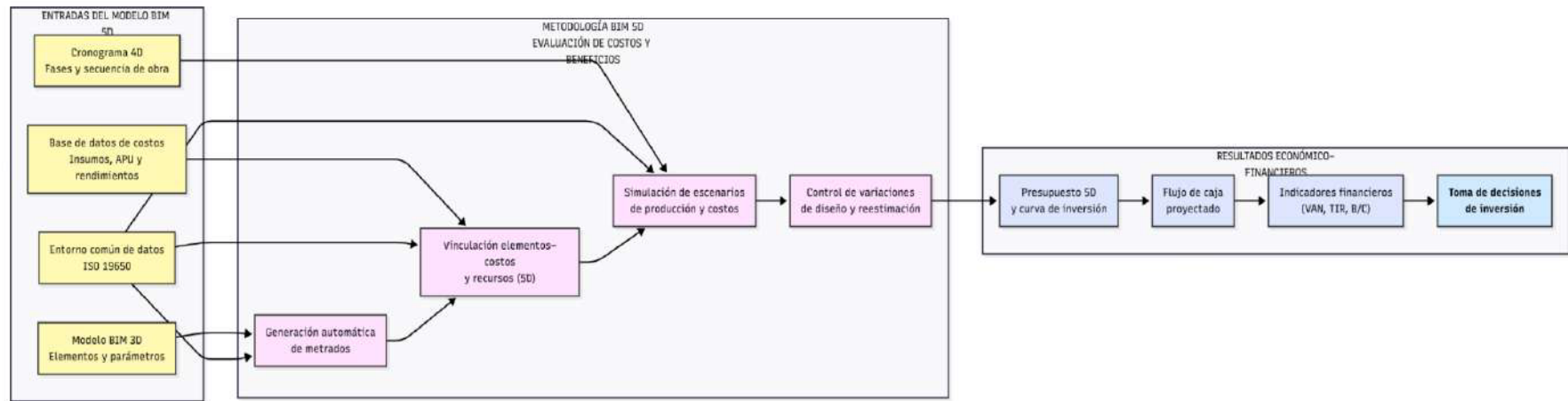
Wang et al. (2013) destacan que la vinculación entre BIM y simulación de operaciones posibilita evaluar escenarios alternativos de producción y estimar impactos económicos derivados de cambios en rendimientos, recursos y secuencias constructivas. En concordancia, la norma ISO 19650 establece que el flujo 5D debe operar dentro de un entorno común de datos, asegurando trazabilidad, control documental y verificación de la información económica del proyecto.

Estos elementos permiten fortalecer el análisis costo–beneficio, ya que la metodología BIM 5D reduce la variabilidad presupuestal, disminuye el riesgo financiero y mejora la capacidad para anticipar sobre costos. Asimismo, la precisión en los flujos de caja y en los costos acumulados incide en los indicadores de rentabilidad del proyecto, tales como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la relación Beneficio/Costo (B/C), coherente con los fundamentos financieros expuestos por Baca (2022) y Sapag et al. (2014).

La Figura 3 sintetiza el flujo metodológico del BIM 5D utilizado en esta investigación para evaluar los costos y beneficios asociados al proyecto.

Figura 10

Flujo metodológico del BIM 5D para la evaluación de costos y beneficios



Nota. Elaboración propia basada en Eastman et al. (2018) y Wang et al. (2013).

2.1.3.3. Evidencias empíricas sobre el impacto de la gestión bim en la rentabilidad y competitividad de las empresas constructoras. La literatura especializada muestra evidencia consistente de que la gestión Building Information Modeling (BIM) genera mejoras sustantivas en los costos, los plazos y el desempeño operativo de los proyectos, lo que se traduce en incrementos de rentabilidad y en una mayor competitividad para las empresas constructoras. Los estudios reportan que la coordinación tridimensional, la simulación de la secuencia constructiva y la integración de la información en entornos digitales colaborativos permiten reducir la variabilidad operativa, optimizar el uso de recursos y disminuir el riesgo técnico y financiero asociado a las obras de construcción.

Eastman et al. (2018) documentan diversos casos en los que el uso de modelos BIM para la coordinación 3D y la detección temprana de interferencias (clash detection) permite reducir de forma significativa los retrabajos y las correcciones en obra. Esta capacidad de anticipar conflictos entre especialidades disminuye el consumo innecesario de materiales y de horas-hombre, impactando directamente en los costos directos de ejecución. En términos de esta investigación, tales resultados se vinculan con la dimensión Interferencias (VI-D2) y con el Ahorro de costos directos (VD-D1), al mostrar cómo la coordinación digital contribuye a una ejecución más eficiente.

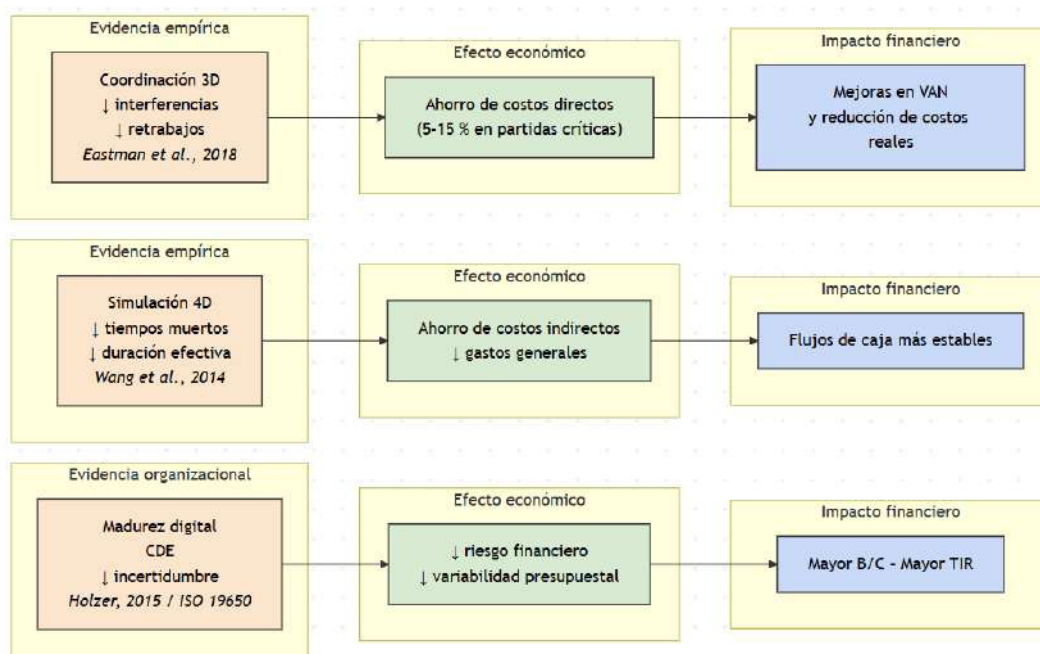
Por su parte, Wang et al. (2013) evidencian que la integración de BIM con simulaciones 4D mejora la planificación del flujo de trabajo, al permitir visualizar y evaluar diferentes secuencias constructivas, identificar cuellos de botella y reducir tiempos muertos. La optimización de la duración efectiva de las actividades y la mejor utilización de equipos y cuadrillas se reflejan en menores gastos generales y en una reducción de los costos indirectos de obra. Esta evidencia empírica se relaciona directamente con el Ahorro de costos indirectos (VD-D2), al demostrar que la programación basada en modelos 4D tiene efectos económicos concretos sobre la estructura de costos de la empresa constructora.

Desde una perspectiva organizacional, Holzer (2016) señala que la adopción de BIM y la implementación de entornos comunes de datos, en línea con los principios de la ISO 19650, incrementan la madurez digital de las empresas y reducen la incertidumbre asociada a la gestión de la información. La consolidación de un repositorio único y confiable disminuye los errores en la transmisión de datos, mejora la trazabilidad documental y reduce la necesidad de reprocesar información. Estos factores contribuyen a disminuir el riesgo financiero y la variabilidad presupuestal de los proyectos, generando mejores condiciones para la rentabilidad y la estabilidad de los flujos de caja, lo que se vincula con el Índice Beneficio–Costo global (VD-D3) y con indicadores como el VAN y la TIR.

En síntesis, las evidencias empíricas revisadas confirman que la gestión BIM incide de manera directa en los costos directos e indirectos, en la estabilidad del cronograma y en la reducción del riesgo financiero, aspectos que en conjunto fortalecen la rentabilidad de los proyectos y la competitividad de las empresas constructoras. La Figura 4 sintetiza gráficamente estas evidencias, articulando la relación entre los hallazgos reportados en la literatura, los efectos económicos identificados y los impactos sobre los indicadores financieros considerados en esta investigación.

Figura 11

Evidencias empíricas del impacto de la gestión BIM en la eficiencia económica y financiera del proyecto



Nota. Elaboración propia basada en Eastman et al. (2018), Wang et al. (2013) y Holzer (2016).

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Modelado 3D

El modelado 3D en construcción es una técnica digital que permite crear representaciones tridimensionales precisas de edificaciones y componentes constructivos. Esta metodología utiliza software especializado para generar modelos virtuales que contienen información geométrica, espacial y de atributos de los elementos constructivos. El modelado 3D facilita la visualización anticipada del proyecto, mejora la comunicación entre stakeholders, permite detectar interferencias antes de la construcción y optimiza la planificación de recursos. Constituye la base fundamental del Building Information Modeling (BIM), permitiendo simulaciones, análisis de rendimiento energético, cálculos de cantidades automáticos y coordinación multidisciplinaria. Esta tecnología ha revolucionado la industria constructiva al

reducir errores, mejorar la eficiencia y facilitar la toma de decisiones informadas durante todas las fases del proyecto (Eastman et al., 2011).

2.2.2. Interferencias

Las interferencias en construcción son conflictos espaciales que ocurren cuando dos o más elementos constructivos de diferentes disciplinas (arquitectura, estructura, instalaciones mecánicas, eléctricas, sanitarias) ocupan el mismo espacio físico en el diseño. La detección temprana de interferencias mediante herramientas BIM permite identificar y resolver estos conflictos en la fase virtual, evitando costosos retrabajos en obra. Existen interferencias duras (colisiones físicas reales entre elementos sólidos) e interferencias blandas (violaciones de tolerancias o espacios requeridos para mantenimiento). La gestión sistemática de interferencias mediante clash detection reduce significativamente las órdenes de cambio, mejora la constructabilidad, optimiza los tiempos de ejecución y disminuye desperdicios. Esta práctica se ha convertido en estándar en proyectos que implementan metodologías BIM (Tommelein & Gholami, 2012).

2.2.3. Prefabricación

La prefabricación es un método constructivo donde componentes o módulos completos del edificio se manufacturan en instalaciones controladas fuera del sitio de construcción, para posteriormente transportarse e instalarse en obra. Este proceso industrializado ofrece ventajas significativas: mayor control de calidad mediante producción en ambiente controlado, reducción de tiempos de construcción, minimización de desperdicios, mejor seguridad laboral y menor impacto ambiental en sitio. La prefabricación puede ser dimensional (paneles, vigas), modular (unidades tridimensionales completas) o híbrida. Requiere planificación detallada, coordinación precisa entre diseño y manufactura, y logística especializada. El éxito de la

prefabricación depende de la estandarización, tolerancias precisas y integración efectiva con el diseño BIM para optimizar la fabricación digital (Jaillon et al., 2009).

2.2.4. Ahorro de costos directos (A costo USD)

El ahorro de costos directos representa la reducción monetaria absoluta en gastos directamente atribuibles a la producción o construcción del proyecto. Estos costos incluyen materiales, mano de obra directa, equipamiento y subcontratos específicos del alcance constructivo. Se calcula comparando el costo directo del método tradicional (baseline) contra el costo directo del método optimizado (por ejemplo, con BIM o prefabricación), expresándose en unidades monetarias absolutas (USD, EUR, etc.). Este indicador permite cuantificar el impacto económico real de implementar nuevas metodologías o tecnologías. La medición precisa requiere sistemas contables que distingan claramente entre costos directos e indirectos, y metodologías consistentes de comparación. Es fundamental para análisis de retorno de inversión y justificación de adopción tecnológica (Azhar, 2011).

2.2.5. Ahorro de costos indirectos (% ahorro sobre baseline)

El ahorro de costos indirectos expresa la reducción porcentual en gastos no directamente atribuibles a la producción física pero necesarios para la operación del proyecto. Incluye administración general, supervisión, seguros, financiamiento, servicios temporales, almacenamiento y gastos generales de oficina. Se calcula como porcentaje de reducción respecto a una línea base establecida: $[(\text{Costo Indirecto Baseline} - \text{Costo Indirecto Actual}) / \text{Costo Indirecto Baseline}] \times 100$. Este indicador relativo facilita comparaciones entre proyectos de diferentes escalas y permite evaluar mejoras en eficiencia operativa. Las metodologías BIM y prefabricación típicamente reducen costos indirectos al acortar duraciones de proyecto, mejorar coordinación y disminuir retrabajos (Bryde et al., 2013).

2.2.6. Índice beneficio-costo global (b/c)

El índice Beneficio-Costo (B/C) es una métrica financiera que relaciona el valor presente de los beneficios totales con el valor presente de los costos totales de un proyecto o inversión. Se calcula dividiendo la suma de beneficios actualizados entre la suma de costos actualizados: $B/C = VPN(\text{Beneficios}) / VPN(\text{Costos})$. Un índice $B/C > 1$ indica que los beneficios superan los costos, sugiriendo viabilidad económica; $B/C < 1$ señala que los costos exceden los beneficios. Este indicador considera tanto costos directos como indirectos, y beneficios tangibles e intangibles a lo largo del ciclo de vida. Es fundamental para evaluación de inversiones en tecnología BIM, prefabricación u otras innovaciones, permitiendo tomar decisiones informadas sobre adopción de metodologías constructivas (Barlish et al., 2012).

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

3.1.1. *Enfoque de la investigación*

El estudio adopta un enfoque cuantitativo sustentado en la medición de indicadores previamente operacionalizados para dos variables: Gestión BIM (modelado 3D, interferencias, prefabricación) y Rentabilidad financiera (Δ costo directo en USD, % ahorro de indirectos y B/C). La evidencia procede de fuentes documentales del caso (presupuestos, cronogramas, reportes de coordinación y metrado), lo que permite transformar registros administrativos en datos numéricos comparables y analizables. Esta elección es consistente con objetivos que demandan estimación de magnitudes, contrastación de relaciones y verificación de hipótesis específicas, sin manipulación del fenómeno. En términos de diseño de investigación, el enfoque cuantitativo orientado a variables y medición estandarizada es idóneo para responder PG/PE y probar HG/HE con validez de constructo y consistencia interna (Creswell et al., 2018; Hernández et al., 2018).

3.1.2. *Tipo de la investigación*

La investigación es no experimental, de corte ex post facto y transversal. No experimental porque las variables no son manipuladas; se observan tal como ocurrieron en la obra ya culminada. Ex post facto porque las relaciones se examinan retrospectivamente a partir de efectos observados —ahorros de costos y B/C— asociados a condiciones de gestión ya dadas (Kerlinger et al, 2000; Shadish et al., 2002). El carácter transversal deriva de que la medición se realiza en una única ventana analítica, homogenizada a USD 2024, para comparar baseline reconstruido y resultados observados. Dado que el caso aporta documentación exhaustiva y trazable, el análisis documental constituye una vía válida para producir datos

cuantificables con criterios de sistematicidad y economía de procedimientos, compatibles con los objetivos y con el plazo de la tesis (Hernández et al., 2018; Creswell et al, 2018).

3.1.3. Nivel de la investigación

El nivel es explicativo con soporte correlacional intra-caso. Es explicativo porque se formulan hipótesis sobre la influencia de la Gestión BIM en la Rentabilidad financiera (HG/HE) y se espera evidenciar vínculos consistentes entre dimensiones (p. ej., prefabricación y modelado 3D con B/C). A la vez, el análisis es correlacional en tanto se estiman asociaciones empíricas dentro del caso sin manipulación, manteniendo una lógica de contraste entre baseline y resultados observados. Esta combinación es pertinente cuando la teoría propone mecanismos plausibles y los datos permiten examinar co-variaciones y direccionalidad conceptual, aun sin control experimental. La literatura metodológica reconoce que estudios explicativos no experimentales pueden sostener inferencias causales prudentes si existe operacionalización rigurosa, coherencia teórica y evidencia convergente (Hernández et al., 2018; Creswell et al., 2018; Shadish et al., 2002).

3.1.4. Diseño de la investigación

Se emplea un diseño de caso único no experimental, ex post facto – transversal, con lógica de generalización analítica. El Proyecto Alto Prada constituye la unidad de análisis; la “muestra” es documental y criterial: se incluyen únicamente archivos oficiales con trazabilidad (versiones, fechas, responsables) que permitan medir los indicadores fijados en la tabla de operacionalización. La representatividad se entiende en términos analíticos —la potencia del caso para iluminar la relación entre dimensiones de Gestión BIM y resultados de Rentabilidad— más que estadísticos, criterio aceptado en diseños de caso con objetivos explicativos y medición rigurosa (Yin, 2018). La pertinencia del diseño frente a los objetivos radica en que posibilita contrastar OE/PE y HG/HE mediante comparaciones internas (baseline

vs. observado) en un marco de control conceptual de variables y supuestos (Hernández et al., 2018; Yin, 2018).

3.1.5. Método de investigación

El método articula análisis documental cuantitativo y lógica de estudio de caso:

- **Primero:** se auditan y normalizan las fuentes (presupuestos, cronogramas, reportes de interferencias y metrado), generando bases con USD constantes 2024 para garantizar comparabilidad.
- **Segundo:** se operacionalizan las dimensiones según los indicadores únicos definidos (p. ej., cobertura de modelado 3D en %, recuento de interferencias críticas, participación de prelosas en %, Δ costo directo en USD, % ahorro de indirectos, B/C) y se llenan fichas/tablas estandarizadas.
- **Tercero:** se sintetiza la evidencia en una matriz de relación para interpretar la coherencia con OG/OE y contrastar HG/HE.

Este método privilegia validez de contenido y de constructo mediante definiciones claras y medición consistente de variables observables en registros administrativos (Babbie, 2016; Creswell et al., 2018; Yin, 2018).

3.2. Ámbito temporal y espacial

El estudio se desarrolla en Magdalena del Mar, Lima–Perú, tomando como unidad de análisis el proyecto de vivienda multifamiliar Alto Prada, edificación concluida compuesta por ocho pisos y tres sótanos. El ámbito espacial se restringe al emplazamiento y a su expediente técnico–administrativo oficial (modelos, metrados, presupuestos, cronogramas y registros de coordinación). El ámbito temporal se fija en 2024 como año de referencia monetaria para la homologación de costos, con una aproximación retrospectiva sobre documentación generada durante la ejecución y cierre de obra ya finalizada. La recolección y el análisis se efectúan en

una ventana operativa máxima de tres meses, circunscritos al caso, garantizando coherencia con los objetivos e hipótesis y con la tabla de operacionalización aprobada para Gestión BIM y Rentabilidad financiera.

3.3. Variables

3.3.1. Variable independiente: gestión bim

A. Definición conceptual

Conjunto articulado de prácticas de modelado digital y coordinación interdisciplinaria orientadas a anticipar conflictos, mejorar la trazabilidad de decisiones y optimizar la secuencia constructiva. Para esta tesis se concibe mediante tres dimensiones operativas: Modelado 3D, Interferencias y Prefabricación.

B. Definición operativa

Condición observable ex post en el proyecto ya culminado a través de evidencia documental (modelos, reportes de coordinación, registros de interferencias y alcance de prefabricación). Se medirá por un (1) indicador por dimensión, privilegiando métricas directas y de levantamiento rápido.

Tabla 8

Dimensiones, indicadores, unidades y escalas de la variable Gestión BIM

Dimensión (VI)	Indicador único	Definición del indicador (qué representa)	Unidad	Escala
D1. Modelado 3D	Cobertura de especialidade s modeladas	Proporción de especialidades del proyecto efectivamente modeladas en 3D respecto del total planificado (arquitectura, estructuras, sanitarias, eléctricas, etc.).	Porcentaje (%)	Razón (0–100)

Dimensión (VI)	Indicador único	Definición del indicador (qué representa)	Unidad	Escala
D2. Interferencias	Recuento de interferencias críticas resueltas antes de obra	Número de colisiones de prioridad alta registradas y cerradas antes de la ejecución física (según matriz de severidad del proyecto).	Recuento (n)	Razón (0, 1, 2, ...)
D3. Prefabricación	Participación de prelosas en el total de losas	Superficie con elementos prefabricados tipo prelosa respecto de la superficie total de losas ejecutadas.	Porcentaje (%)	Razón (0–100)

Nota. Elaboración propia con base en la definición operacional de la variable Gestión BIM y en los criterios establecidos para la medición de sus dimensiones: modelado 3D, interferencias y prefabricación.

3.3.2. *Variable dependiente: rentabilidad*

a) Definición conceptual

Resultado económico atribuible al desempeño del proyecto desde la perspectiva de ahorro respecto de un escenario base tradicional, sin incorporar ingresos por ventas. Se entiende por rentabilidad la capacidad de reducir costos directos e indirectos y de generar una relación beneficio–costo favorable.

b) Definición operativa

Relación observable ex post entre (i) costos reales con la Gestión BIM y (ii) un baseline reconstruido y homogéneo (mismos precios del año de análisis) para estimar Δ costo directo, % ahorro indirecto y B/C global de la adopción. Se medirá con un (1) indicador por dimensión.

Tabla 9

Dimensiones, indicadores, unidades y escalas de la variable Rentabilidad

Dimensión (VD)	Indicador único	Definición del indicador (qué representa)	Unidad	Escala
D1. Ahorro de costos directos (Δ costo USD)	Δ costo directo	Diferencia entre costo directo baseline y costo directo observado con Gestión BIM.	USD constant es 2024	Razón (≥ 0)
D2. Ahorro de costos indirectos (% ahorro sobre baseline)	% ahorro de indirectos	Porcentaje de reducción de gastos indirectos atribuible a menor duración efectiva respecto del baseline.	Porcentaje (%)	Razón (0–100)
D3. Índice beneficio-costo global (B/C)	B/C	Cociente entre el ahorro total (directo + indirecto) y el costo de implementar la Gestión BIM en el proyecto.	Adimensional	Razón (≥ 0)

Nota. Elaboración propia con base en la definición operacional de la variable Rentabilidad y en los criterios establecidos para la medición del ahorro de costos directos, ahorro de costos indirectos e índice beneficio-costo global (B/C).

3.3.3. Supuestos de estudio

- a) Homogeneidad temporal de precios: todos los costos se expresan en USD constantes 2024 para evitar distorsiones por inflación.
- b) Alcance estable: el proyecto no sufrió cambios de alcance que alteren sustancialmente los metrados del baseline; si existieron, se normalizan antes de comparar.
- c) Aislamiento del efecto BIM: otras innovaciones no BIM (p. ej., cambios menores de proveedores) se consideran neutrales o marginales frente a los indicadores definidos.

- d) Disponibilidad documental suficiente: existen registros verificables de modelado, coordinación, interferencias y prefabricación; así como presupuestos, cronogramas y estados de pago necesarios para estimaciones.
- e) Consistencia de tasas y cargos indirectos: la tasa mensual de gastos indirectos utilizada en el baseline es representativa del proyecto y estable para el periodo analizado.
- f) Principio de mínima intervención: no se generarán nuevos ensayos ni mediciones en obra; el análisis se basa en fuentes secundarias internas.

3.3.4. Notas operativas mínimas por indicador

- **Cobertura de especialidades modeladas (%):** se verifica por conteo de especialidades con modelo 3D aceptado / total de especialidades del expediente (lista oficial del proyecto).
- **Interferencias críticas resueltas (n):** se toma el consolidado final de colisiones de severidad alta marcadas como “resueltas” previas a ejecución.
- **Participación de prelosas (%):** se obtiene como m^2 de losa ejecutada con prelosas / m^2 total de losas del proyecto.
- **Δ costo directo (USD 2024):** costo directo baseline – costo directo observado con Gestión BIM.
- **% ahorro de indirectos (%):** $(\text{indirectos baseline} - \text{indirectos observados}) / \text{indirectos baseline} \times 100$.
- **B/C (adimensional):** $(\Delta \text{ costo directo} + \text{ahorro de indirectos}) / \text{costo de implementación de la Gestión BIM}$.

3.3.5. Operacionalización de variables

Tabla 10

Operacionalización de variables

Tipo	Definición operativa	Dimensión	Indicador	Unidad	Escala	Instrumento de investigación*
Variable independiente: Gestión BIM	Condición observable ex post del proyecto ya culminado a partir de evidencia documental (modelos 3D, reportes de coordinación, registros de interferencias y alcance de prefabricación).	D1. Modelado 3D	Cobertura de especialidades modeladas	Porcentaje (%)	Razón (0–100)	Ficha de verificación de especialidades modeladas (tabla de cotejo: listado de especialidades vs. modelos 3D entregados/aceptados)
		D2. Interferencias	Recuento de interferencias críticas resueltas antes de obra	Recuento (n)	Razón (0,1,2, ...)	Registro consolidado de interferencias críticas (tabla de cierre de clashes por severidad y estado)
		D3. Prefabricación	Participación de prelosas en el total de losas	Porcentaje (%)	Razón (0–100)	Cuadro de metrado de losas y prelosas (m²) (resumen por niveles y tipología de losa)
Variable dependiente: Rentabilidad financiera	Relación observable ex post entre costos reales del proyecto y un baseline reconstruido homogéneo del mismo año, expresada como Δ costo directo, % ahorro de indirectos y B/C.	D1. Ahorro de costos directos (Δ costo USD)	Δ costo directo	USD constante 2024	Razón (≥ 0)	Ficha comparativa de costos directos (tabla baseline vs. observado por partidas y total)
		D2. Ahorro de costos indirectos (% ahorro sobre baseline)	% ahorro de indirectos	Porcentaje (%)	Razón (0–100)	Cuadro de gastos indirectos por mes (tabla baseline vs. observado; consolidado y % de reducción)
		D3. Índice Beneficio–Costo global (B/C)	B/C	Adimensional	Razón (≥ 0)	Hoja resumen de cálculo B/C (tabla: ahorro total [directo + indirecto] y costo de implementación BIM)

Nota. Elaboración propia de la variables independiente y dependiente del proyecto.

3.3.6. Definiciones operativas de las dimensiones

3.3.6.1. Dimensiones de la variable independiente

D1. Modelado 3d

Condición observable ex post en el proyecto ya culminado a través de evidencia documental (modelos, reportes de coordinación, registros de interferencias y alcance de prefabricación).

D2. Interferencias

Condición observable ex post en el proyecto ya culminado a través de evidencia documental (modelos, reportes de coordinación, registros de interferencias y alcance de prefabricación).

D3. Prefabricación

Condición observable ex post en el proyecto ya culminado a través de evidencia documental (modelos, reportes de coordinación, registros de interferencias y alcance de prefabricación).

3.3.6.2. Dimensiones de la variable dependiente

D1. Ahorro de costos directos (Δ costo USD)

Relación observable ex post entre (i) costos reales con la Gestión BIM y (ii) un baseline reconstruido y homogéneo (mismos precios del año de análisis) para estimar Δ costo directo, % ahorro indirecto y B/C global de la adopción.

D2. Ahorro de costos indirectos (% ahorro sobre baseline)

Relación observable ex post entre (i) costos reales con la Gestión BIM y (ii) un baseline reconstruido y homogéneo (mismos precios del año de análisis) para estimar Δ costo directo, % ahorro indirecto y B/C global de la adopción.

D3. Índice Beneficio–Costo global (B/C)

Relación observable ex post entre (i) costos reales con la Gestión BIM y (ii) un baseline reconstruido y homogéneo (mismos precios del año de análisis) para estimar Δ costo directo, % ahorro indirecto y B/C global de la adopción.

3.3.7. Delimitación de la investigación

3.3.7.1. Delimitación espacial

La investigación se circunscribe al Proyecto Alto Prada, edificación multifamiliar ubicada en el distrito de Magdalena del Mar, Lima Metropolitana. La unidad de análisis es el proyecto como caso único, considerando su configuración arquitectónica y técnica (ocho niveles sobre rasante y tres sótanos) y la documentación oficial asociada a su ejecución. No se incluyen otros proyectos de la empresa ni obras en distritos colindantes. El análisis se realiza intra-caso, sin extrapolar mediciones a tipologías ajenas (infraestructuras lineales, equipamientos públicos). Los resultados se interpretan en el marco urbano y regulatorio de Lima, manteniendo constantes las condiciones locales de suministro, mano de obra y contratación.

3.3.7.2. Delimitación temporal

El estudio es retrospectivo y emplea registros de la obra ya culminada. La ventana analítica comprende la recopilación, normalización y contraste de información durante un periodo máximo de tres meses, tomando 2024 como año de referencia monetaria (USD constantes 2024) para homogenizar presupuestos, valorizaciones y cronogramas. Se consideran únicamente hitos y costos de diseño-construcción y cierre de obra que impactan en los indicadores de rentabilidad financiera (Δ costo directo, % ahorro de indirectos, B/C). No se incluye la etapa de operación, postventa ni mantenimiento. Cambios contractuales posteriores a la entrega que no alteren métricas financieras del periodo quedan fuera de alcance.

3.3.7.3. Delimitación teórica y/o temática

El marco conceptual se restringe a Gestión BIM (variable independiente) y Rentabilidad financiera (variable dependiente). La primera se operacionaliza mediante Modelado 3D, Interferencias y Prefabricación; la segunda mediante Δ costo directo (USD), % ahorro de indirectos y B/C. Se excluyen enfoques ajenos a la delimitación, como certificaciones ambientales, análisis de mercado o ingresos por ventas. Tampoco se abordan indicadores de desempeño no financieros (confort, huella de carbono) ni métricas financieras de inversión a largo plazo (VAN, TIR). La interpretación teórica relaciona prácticas verificables de coordinación y prefabricación con ahorros ex post, manteniendo coherencia con OG, OE, PG/PE y HG/HE definidos.

3.3.7.4. Delimitación social

La población de interés corresponde a actores técnicos y de gestión involucrados en proyectos privados de vivienda multifamiliar en Lima con características comparables al caso. La unidad de análisis es el expediente documental del Proyecto Alto Prada; no se recogen percepciones de usuarios finales ni se realizan encuestas poblacionales. Los hallazgos están orientados a promotores, constructoras y gerencias de proyecto que deciden sobre adopción y alcance de Gestión BIM en contextos urbanos similares. No se generaliza a obras públicas, infraestructura pesada o contextos rurales. El uso de documentación institucional se realiza con autorización, resguardando confidencialidad y trazabilidad de la información económica y técnica.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población se define como el universo documental oficial del Proyecto Alto Prada (Magdalena del Mar, Lima) vinculado a las variables e indicadores operacionalizados: modelos

y actas del Modelado 3D, registros y consolidados de Interferencias, metrado y resumen de Prefabricación, presupuestos baseline y observados para Δ costo directo (USD 2024), cronogramas y estados para % de ahorro de indirectos, y relación de egresos para el B/C. Se incluyen únicamente archivos con trazabilidad (versión, fecha, responsable) y consistencia temporal con la obra culminada en 2024. Esta delimitación asegura validez de contenido al cubrir todas las fuentes que permiten medir cada indicador y responder las PG/PE y contrastar HG/HE (Hernández et al., 2018). Al tratarse de un caso único, la población se concibe como un repositorio completo susceptible de generalización analítica más que estadística (Yin, 2018; Creswell et al., 2018).

3.4.2. Muestreo

Se aplicará un muestreo no probabilístico, intencional por criterios (criterial/purposive), orientado a medir directamente los indicadores fijados en la tabla de operacionalización: (i) cobertura de especialidades modeladas (%), (ii) recuento de interferencias críticas resueltas (n), (iii) participación de prelosas (%), (iv) Δ costo directo (USD 2024), (v) % ahorro de indirectos y (vi) B/C. Los criterios de inclusión serán: documento oficial y vigente; relación explícita con al menos uno de los indicadores; completitud mínima para cálculo; correspondencia con el periodo de análisis. Se excluirán versiones preliminares sin validación o archivos incompletos que impidan el cómputo. Este diseño es pertinente cuando se busca adecuación a propósito y cadena de evidencia en estudios de caso, maximizando la validez de constructo y la lógica de inferencia requerida por los objetivos e hipótesis (Hernández et al., 2018; Yin, 2018; Babbie, 2016). La representatividad se entiende en términos analíticos, no muestrales (Yin, 2018).

3.4.3. Muestra

La muestra es documental y criterial: el subconjunto de archivos que satisface plenamente el cálculo de cada indicador. En términos operativos, comprende, como mínimo:

(a) listado oficial de especialidades y actas de aceptación del Modelado 3D para estimar la cobertura (%); (b) consolidado de Interferencias con severidad y estado de cierre para el recuento (n); (c) cuadro de metrado de losas y superficies con Prefabricación para la participación (%); (d) presupuesto baseline y presupuesto observado para el Δ costo directo (USD 2024); (e) cronograma valorizado y gastos indirectos para el % de ahorro; (f) relación de costos de implementación BIM para el B/C. El tamaño muestral queda determinado por la suficiencia informativa para cada indicador y la coherencia interfuentes, más que por un conteo predeterminado de unidades; este criterio es adecuado en diseños ex post facto y de caso único con medición estandarizada (Kerlinger et al., 2000; Yin, 2018; Hernández et al., 2018).

3.4.4. Unidad de estudio

La unidad de estudio es el Proyecto Alto Prada como sistema empíricamente delimitado cuyos procesos documentados permiten observar la Gestión BIM (modelado 3D, interferencias, prefabricación) y su relación con la Rentabilidad financiera (Δ costo directo, % ahorro de indirectos y B/C). Se distingue entre unidad de análisis (el proyecto como caso) y unidad muestral (los documentos que materializan las mediciones). Esta decisión alinea la unidad de estudio con los objetivos y las hipótesis, evitando disonancias entre el nivel de inferencia y el nivel de observación (Creswell et al., 2018). En investigación de casos, la coherencia vertical entre preguntas, unidad, evidencia y lógica de interpretación es condición para construir inferencias sólidas y transferibles por analogía teórica, no por enumeración estadística (Yin, 2018; Shadish et al., 2002).

3.5. Instrumentos

3.5.1. Técnicas

Se utiliza revisión y análisis documental cuantitativo del expediente oficial del Proyecto Alto Prada. Se auditan versiones y responsables, y se normalizan montos a USD 2024 para

asegurar comparabilidad. Luego, se procede a la tabulación estandarizada en fichas por indicador y al contraste baseline–observado para estimar diferencias y proporciones. La técnica incorpora verificación cruzada de totales y fechas entre presupuestos, cronogramas, reportes de coordinación y metrados, manteniendo trazabilidad. Con ello, se obtiene evidencia numérica suficiente para relacionar Gestión BIM (modelado 3D, interferencias, prefabricación) con Rentabilidad financiera (Δ costo directo, % ahorro de indirectos y B/C), preservando coherencia con los objetivos, preguntas e hipótesis, y con la tabla de operacionalización aprobada.

3.5.2. Instrumentos

Se emplean seis tablas de registro:

- a) Ficha de verificación de especialidades modeladas, que consigna la cobertura del Modelado 3D por disciplina y estado de aceptación
- b) Registro consolidado de interferencias críticas, que detalla severidad, ubicación y cierre antes de obra
- c) Cuadro de metrado de losas y prelosas, que resume áreas por nivel para estimar participación
- d) Ficha comparativa de costos directos, que contrasta baseline y observado por partidas y total
- e) Cuadro de gastos indirectos, que resume mensualidades, meses y porcentaje de ahorro; y
- f) Hoja resumen B/C, que integra ahorros directos e indirectos con el costo de implementación BIM. Todos los instrumentos permanecen listos para llenar y se ajustan a los indicadores definidos.

3.5.3. Indicadores

Los indicadores se ciñen estrictamente a la operacionalización de variables. Para la variable independiente Gestión BIM, se mide: cobertura de especialidades modeladas en porcentaje, recuento de interferencias críticas resueltas en número entero y participación de prelosas en porcentaje.

Para la variable dependiente Rentabilidad financiera, se estima: Δ costo directo en USD constantes 2024, porcentaje de ahorro de costos indirectos respecto al baseline y índice Beneficio–Costo (B/C) como cociente adimensional. Cada indicador posee su unidad y escala de razón, se calcula con fórmulas directas en las tablas descritas y permite responder las preguntas específicas y contrastar las hipótesis, sin introducir métricas adicionales.

3.6. Procedimientos

3.6.1. Procedimientos de la recolección de datos

Se consolida un repositorio oficial del Proyecto Alto Prada y se verifica trazabilidad (fecha, versión y responsable). Se seleccionan únicamente documentos pertinentes a los indicadores operacionalizados: modelos y actas de Modelado 3D, registros de Interferencias, metrados de Prefabricación, presupuestos baseline y observados, cronogramas y estados para indirectos, y egresos de implementación BIM. Se normalizan montos a USD 2024 y se codifican campos homogéneos (partidas, niveles, disciplinas). La información se vuelca en las seis fichas/tablas aprobadas y se efectúa control cruzado de totales y fechas. Se mantiene una cadena de evidencia con nomenclatura estandarizada y bitácora de decisiones para auditoría posterior. Este procedimiento asegura validez de contenido y coherencia entre fuentes en un diseño ex post facto de caso único (Yin, 2018; Creswell et al., 2018; Hernández et al., 2018).

3.6.2. Procedimiento del análisis de datos

Con las fichas completas, se calculan los indicadores con fórmulas directas: cobertura de especialidades modeladas (%), interferencias críticas resueltas (n), participación de prelosas (%), Δ costo directo (USD 2024), % ahorro de indirectos y B/C. Se realizan descripciones numéricas (totales, promedios y proporciones) y cuadros comparativos baseline–observado. La interpretación relacional intra-caso se apoya en contrastes lógicos entre dimensiones de Gestión BIM y resultados de Rentabilidad financiera, evitando inferencias estadísticas no justificadas por el diseño. Se documentan supuestos y verificaciones aritméticas independientes para cada hoja. El análisis responde a OG/OE y contrasta HG/HE mediante evidencias cuantificables y trazables, propias de estudios no experimentales ex post facto y de caso único (Kerlinger et al., 2000; Shadish et al., 2002; Hernández et al., 2018).

3.6.3. Procedimientos para la interpretación de resultados

La interpretación se organiza en tres niveles. Primero, por dimensión: se explica qué significan los valores obtenidos para Modelado 3D, Interferencias y Prefabricación, y su coherencia documental. Segundo, por variable dependiente: se discute el sentido financiero de Δ costo directo, % ahorro de indirectos y B/C. Tercero, integración OG/OE: se contrastan patrones esperados entre prácticas BIM y resultados económicos, empleando pattern matching y explicación construida propia de estudios de caso (Yin, 2018). Se declara el grado de apoyo a HG/HE sin extrapolaciones indebidas y se articulan hallazgos con límites reconocidos del diseño ex post facto. La argumentación privilegia consistencia lógica, cadena de evidencia y claridad en la atribución plausible (Creswell et al., 2018; Shadish et al., 2002).

3.6.4. Validez y confiabilidad de los resultados

La validez de contenido se garantiza alineando cada dato a la tabla de operacionalización y a los instrumentos aprobados. La validez de constructo se refuerza con trazabilidad documental (metadatos de archivo) y cadena de evidencia desde el repositorio

hasta cada cálculo (Yin, 2018). La validez interna se aborda explicitando supuestos del baseline y realizando verificaciones aritméticas y de consistencia entre fuentes; las amenazas propias del ex post facto se discuten en el informe (Shadish et al., 2002). La confiabilidad se promueve con protocolo de nombres, versión de fichas, doble verificación independiente de celdas críticas y archivo de cálculo reproducible. Estas prácticas metodológicas son recomendadas para investigación cuantitativa aplicada con medición estandarizada (Creswell et al., 2018; Hernández et al., 2018).

3.7. Análisis de datos

3.7.1. Paso 1. planeación y cierre de alcance.

Se oficializa el marco lógico (OG, OE, PG/PE, HG/HE), las variables y sus dimensiones; se fija el año monetario de referencia (USD 2024) y se aprueba la tabla de operacionalización. Se elabora el protocolo de control documental (nombres, versión, responsable) y la bitácora de decisiones metodológicas (Hernández et al., 2018).

3.7.2. Paso 2. consolidación y auditoría del repositorio.

Se compila el expediente único del caso (modelos 3D, actas de coordinación, registro de interferencias, metrados, presupuestos, cronogramas y egresos BIM). Cada archivo se audita en trazabilidad, completitud y coherencia temporal (Yin, 2018).

3.7.3. Paso 3. normalización económica y taxonómica.

Se convierten todos los montos a USD constantes 2024; se homologan denominaciones de partidas, niveles y disciplinas; se documentan supuestos de homogeneización y reglas de inclusión/exclusión (Creswell et al., 2018).

3.7.4. Paso 4. extracción y registro en instrumentos.

Se transcriben datos a las seis tablas aprobadas: cobertura de especialidades modeladas; interferencias críticas resueltas; áreas de losas y prelosas; comparativo baseline–observado de costos directos; gastos indirectos y % de ahorro; resumen B/C. Se anota fuente exacta y folio.

3.7.5. Paso 5. cálculo de indicadores.

En cada hoja se aplican fórmulas directas: porcentaje, recuento, diferencia y cociente. Se generan totales y verificaciones automáticas (sumas, conciliaciones) para Δ costo directo, % ahorro de indirectos y B/C.

3.7.6. Paso 6. control de calidad y confiabilidad.

Un revisor independiente replica cálculos críticos y coteja cifras con los documentos fuente. Las discrepancias se resuelven en acta de control y se actualiza la bitácora de cambios (Shadish et al., 2002).

3.7.7. Paso 7. síntesis analítica y contraste lógico.

Se integran resultados en una matriz de relación (cobertura de modelado; participación de prelosas; B/C) y se contrastan OG/OE y HG/HE mediante comparación interna baseline–observado y pattern matching (Yin, 2018).

3.7.8. Paso 8. interpretación y robustez.

Se expone el sentido técnico-financiero de cada indicador, se valora el grado de apoyo a las hipótesis y se ejecuta una prueba de sensibilidad simple ($\pm 10\%$ en Δ costo directo) para confirmar estabilidad interpretativa.

3.7.9. Paso 9. cierre y archivo científico.

Se redactan resultados con cadena de evidencia completa (citas a archivos, fechas y versiones), se anexan tablas e instrumentos y se preserva el repositorio con control de acceso para auditoría académica.

3.8. Consideraciones

3.8.1. *Materiales, equipos, software y normas de referencias usados*

Se utiliza el expediente oficial del Proyecto Alto Prada: modelos 3D nativos (RVT/NWC/NWD), reportes de coordinación y de interferencias, bitácoras, metrados y presupuestos (baseline y observado), cronogramas valorizados, estados de pago y registro de costos de implementación BIM. No se emplean equipos de medición in situ; el procesamiento es documental. Se trabaja en computadora de escritorio/portátil con procesador multinúcleo, 16 GB RAM, GPU dedicada y almacenamiento suficiente para modelado y hojas de cálculo. El software incluye Autodesk Revit y Navisworks (lectura de modelos y consolidado de colisiones), Microsoft Project (o Primavera) para cronogramas, Microsoft Excel para fichas y cálculos, y Adobe Acrobat para revisión de PDF. Como referencia se toman la serie ISO 19650 (gestión de la información en BIM) y lineamientos internos de control documental del proyecto.

3.8.2. *Limitaciones de la investigación*

La presente tesis tiene alcances definidos por su diseño retrospectivo, su condición de caso único y el principio de mínima intervención. A continuación, se explicitan las limitaciones que acotan la interpretación de los hallazgos.

a) Alcance geográfico y de caso único

El análisis se restringe al Proyecto Alto Prada (Magdalena del Mar, Lima). La inferencia es analítica y contextual, no estadística. La transferibilidad a otros proyectos requiere cautela y solo es razonable hacia edificaciones multifamiliares con condiciones técnicas y de gestión comparables.

b) Naturaleza retrospectiva y ausencia de control

No existe un contrafactual observado; el baseline “tradicional” se reconstruye con documentación del propio proyecto. Ello introduce riesgo de sesgo de reconstrucción y limita la atribución causal estricta entre Gestión BIM y Rentabilidad financiera.

c) Recorte de resultados económicos

La rentabilidad se evalúa por ahorros de costos (directos e indirectos) y B/C de la adopción. Se excluyen ingresos por ventas, operación y mantenimiento. Este recorte impide valorar la rentabilidad integral del negocio y concentra la lectura en eficiencias de costo.

d) Disponibilidad y calidad de información

El estudio depende de archivos internos: modelos, reportes de coordinación, registros de interferencias, presupuestos, valorizaciones y cronogramas. Vacíos, inconsistencias o restricciones de acceso pueden afectar la precisión de los indicadores (Δ costo directo, % ahorro de indirectos, B/C).

e) Supuestos de homogeneización

Los montos se expresan en USD constantes 2024; se asume estabilidad de tasas de gastos indirectos y criterios de severidad para interferencias. Cambios de alcance relevantes se normalizan. Estos supuestos, aunque necesarios, pueden introducir error de estimación.

f) Recursos y tiempo

La ventana operativa ($\approx$ tres meses) descarta ampliar el estudio a múltiples obras o realizar levantamientos primarios extensos. Se privilegian indicadores únicos por dimensión, lo que reduce complejidad, pero también la granularidad del análisis.

g) Madurez organizacional de bim

Los resultados están condicionados por el nivel real de adopción (cobertura de especialidades modeladas, gestión de interferencias, participación de prelosas). Diferencias de

capacidades entre equipos o proveedores limitan la extrapolación a organizaciones con otra madurez.

h) Validez externa y replicabilidad

La replicabilidad exige casos adicionales con documentación equivalente. Sin dicha triangulación interproyecto, la generalización permanece acotada. Los hallazgos deben entenderse como evidencia situada que orienta futuras validaciones en muestras más amplias.

IV. RESULTADOS

4.1. Resultados por objetivos de la investigación

4.1.1. Resultados respecto al objetivo específico 1

El objetivo específico 1 estuvo orientado a caracterizar el modelado 3D implementado en la construcción del Proyecto Alto Prada. Para su resolución se procesó la Ficha OE1: Modelado 3D / Coordinación, compuesta por 13 registros codificados desde MOD-01 hasta MOD-13. La ficha consigna, para cada registro, la especialidad, la condición planificada, la condición de modelado 3D entregado, la condición de aprobación, la referencia documental y la observación técnica correspondiente. Bajo esta base, la caracterización del modelado no se restringe al valor del indicador de cobertura; comprende también la relación entre planificación, entrega y aprobación, la distribución disciplinar de los registros, la secuencia de iteraciones documentales y el contenido técnico de las observaciones asociadas al proceso de modelado.

4.1.1.1. Procesamiento del indicador de cobertura de especialidades modeladas.

La Ficha OE1 define como indicador de la dimensión VI-d1 la cobertura de especialidades modeladas, expresada en porcentaje. Su regla de cálculo se establece de la siguiente forma:

$$\text{Cobertura de especialidades modeladas (\%)} = \frac{N_{\text{especialidades planificadas}}}{N_{\text{especialidades aprobadas}}} \times 100$$

Sustitución con los datos del caso:

$$\text{Cobertura (\%)} = \frac{13}{13} \times 100 = 100.00\%$$

En términos operativos, el cierre del indicador se realiza con la condición de aprobación y no con la condición de entrega. Por ello, el cálculo principal del objetivo se efectuó comparando el total de registros aprobados respecto del total planificado. La condición de entrega se examinó como un atributo complementario de trazabilidad documental, útil para

describir la consistencia interna del registro, pero no para sustituir el criterio formal de cálculo del indicador.

Fórmula auxiliar para el porcentaje de registros con modelado 3D entregado:

$$\text{Registros con modelado 3D entregado}(\%) = \frac{N_{\text{registros entregados}}}{N_{\text{registros planificados}}} \times 100$$

Sustitución

$$\text{Registros entregados}(\%) = \frac{7}{13} \times 100 = 53.85\%$$

Fórmula auxiliar para el porcentaje de registros aprobados sin consignación de entrega:

$$\text{Registros aprobados sin entrega consignada}(\%) = \frac{N_{\text{aprobados sin entrega}}}{N_{\text{registros planificados}}} \times 100$$

Sustitución:

$$\text{Aprobados sin entrega}(\%) = \frac{6}{13} \times 100 = 46.15\%$$

Tabla 11

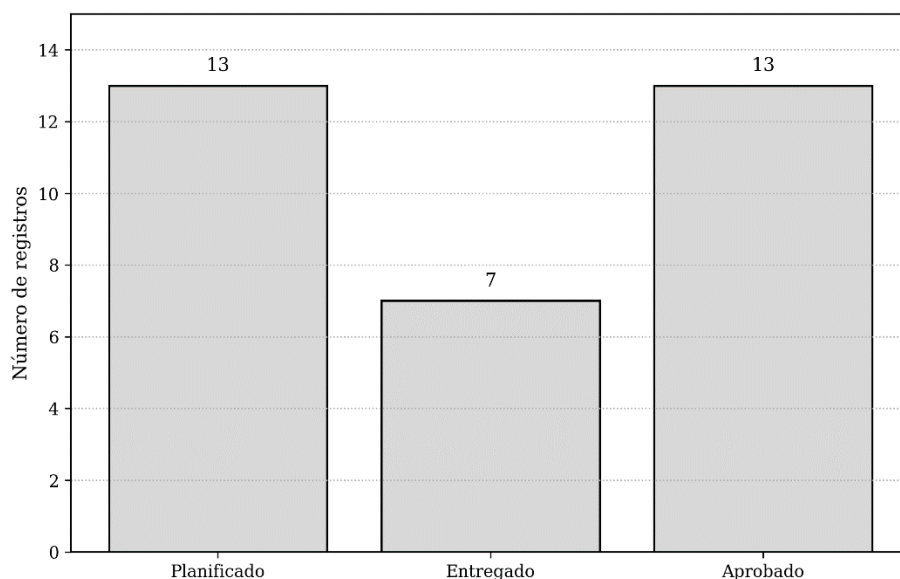
Cobertura global del modelado 3D

Condición documental	Frecuencia	Porcentaje (%)
Registros planificados	13	100.00
Registros con modelado 3D entregado	7	53.85
Registros aprobados	13	100.00

Nota. Elaboración propia con base registros aprobados del proyecto Alto Prada.

Figura 12

Cobertura documental del modelado 3D en el Proyecto Alto Prada



Nota. Elaboración propia con base en la ficha OE1 del proyecto Alto Prada.

Los datos muestran coincidencia plena entre el universo planificado y el universo aprobado. Los 13 registros fueron consignados como planificados y, a la vez, los 13 fueron consignados como aprobados; en consecuencia, la cobertura formal del indicador alcanza 100.00%. No obstante, la condición de modelado entregado solo aparece registrada en 7 casos, equivalente a 53.85% del total. Los 6 registros restantes, es decir, 46.15%, figuran aprobados sin que en el campo de entrega se haya consignado “Sí”. El resultado, por tanto, presenta dos planos diferenciados: cierre total del indicador en su definición formal y heterogeneidad en la huella documental de entrega.

Con el propósito de precisar esa diferencia, se reorganizó la información según combinaciones de estado documental.

Tabla 12

Combinación de estados documentales en la Ficha OE1

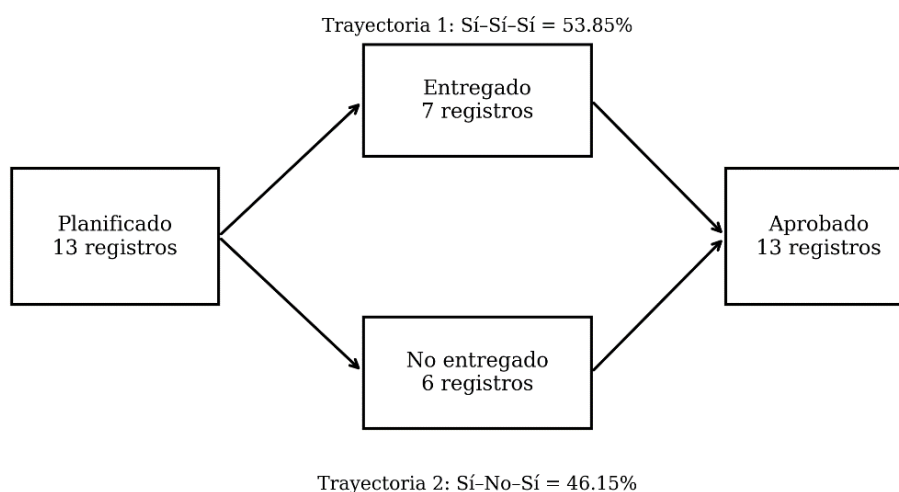
Combinación Planificado-Entregado-Aprobado	Frecuencia	Porcentaje (%)
Sí – Sí – Sí	7	53.85
Sí – No – Sí	6	46.15
Total	13	100.00

Nota. Elaboración propia con base en los datos registrados en la Ficha OE1 del proyecto.

La tabla anterior muestra que el conjunto del modelado quedó comprendido en solo dos trayectorias documentales: registros planificados, entregados y aprobados; y registros planificados, no entregados y aprobados. No se registraron casos planificados sin aprobación, ni casos entregados sin aprobación. La discrepancia se localiza, por consiguiente, entre entrega y aprobación. Esta característica no modifica el valor del indicador principal, pero sí forma parte de la descripción empírica del modelado implementado en el proyecto.

Figura 13

Trayectorias documentales planificado-entregado-aprobado del modelo 3D



Nota. Elaboración propia con base en la tabla de combinación de estados documentados del ROE1.

4.1.1.2. Distribución del modelado 3D por especialidad y familia disciplinar. La frecuencia de registros por especialidad permite identificar la densidad documental del modelado según disciplina y, con ello, reconocer dónde se concentró la mayor actividad de revisión e incorporación dentro del expediente BIM.

Tabla 13

Distribución del modelado 3D por especialidad

Especialidad	Registros	Participación (%)
Estructura	4	30.77
Arquitectura	2	15.38
Instalaciones Sanitarias	2	15.38
Instalaciones Eléctricas	2	15.38
Plano preliminar	1	7.69
INDECI	1	7.69
Instalaciones Mecánicas	1	7.69
Total	13	100.00

Nota. Elaboración propia con base en los datos registrados por especialidades.

A nivel de especialidad individual, la mayor frecuencia correspondió a Estructura, con 4 registros, equivalente a 30.77% del total. Arquitectura, Instalaciones Sanitarias e Instalaciones Eléctricas registraron 2 casos cada una, con 15.38% por especialidad. Plano preliminar, INDECI e Instalaciones Mecánicas presentaron 1 registro cada una, con 7.69%. Este comportamiento describe un modelado jerarquizado: una base estructural con mayor densidad de iteración, acompañada por arquitectura e instalaciones, y completada por seguridad y mecánicas.

Con la finalidad de observar la composición del modelado en un nivel más agregado, las especialidades se reagruparon por familias disciplinares.

Tabla 14*Distribución del modelado 3D por familia disciplinar*

Familia disciplinar	Registros	Participación (%)
Estructura	4	30.77
Instalaciones (sanitarias, eléctricas y mecánicas)	5	38.46
Arquitectura	2	15.38
Base preliminar	1	7.69
Seguridad/INDECI	1	7.69
Total	13	100.00

Nota. Elaboración propia con base en los datos registrados por especialidades.

La reorganización por familias muestra que el bloque de instalaciones, considerado de forma agregada, concentra 38.46% de los registros. Sin embargo, ese predominio agregado no desplaza el peso estructural del proceso, porque la disciplina Estructura es la que exhibe mayor continuidad de revisión en una misma línea documental. En otros términos, las instalaciones ocupan más espacio cuando se suman como conjunto; la estructura ocupa el lugar principal cuando se examina la secuencia interna de iteraciones del expediente.

4.1.1.3. Relación entre especialidad, entrega y aprobación. La frecuencia disciplinar no agota la caracterización del modelado. Resulta necesario examinar cómo se distribuyen la entrega y la aprobación dentro de cada especialidad, puesto que allí se observa con mayor claridad la continuidad documental del registro.

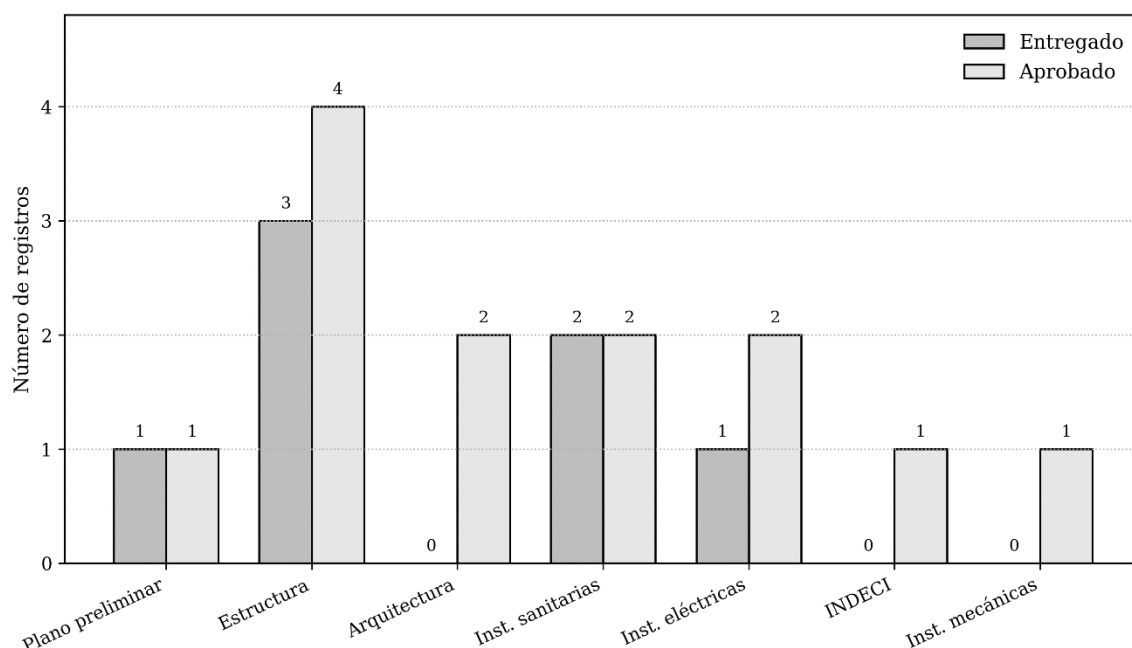
Tabla 15*Estado documental del modelado 3D por especialidad*

Especialidad	Registros	Entregados	% entregado dentro de la especialidad	Aprobados	% aprobado dentro de la especialidad
Plano preliminar	1	1	100.00	1	100.00
Estructura	4	3	75.00	4	100.00
Arquitectura	2	0	0.00	2	100.00
Instalaciones Sanitarias	2	2	100.00	2	100.00
Instalaciones Eléctricas	2	1	50.00	2	100.00
INDECI	1	0	0.00	1	100.00
Instalaciones Mecánicas	1	0	0.00	1	100.00
Total	13	7	53.85	13	100.00

Nota. Elaboración propia a partir de la sistematización de los registros documentales de modelado 3D consignados en la Ficha OE1.

Figura 14

Distribución del Modelado 3D por especialidad y estado documental



Nota. Elaboración propia con base en la distribución del modelado por especialidad y estado documental del ROE1.

La tabla permite reconocer cuatro comportamientos documentales diferenciados. En primer lugar, plano preliminar e instalaciones sanitarias presentan continuidad completa entre entrega y aprobación. En segundo lugar, estructura muestra una continuidad alta, aunque no plena, con 3 entregas sobre 4 registros aprobados. En tercer lugar, instalaciones eléctricas presentan continuidad parcial, con 1 entrega sobre 2 registros aprobados. Finalmente, arquitectura, INDECI e instalaciones mecánicas figuran aprobadas en todos sus registros, pero sin consignación positiva en el campo de entrega.

Este resultado no describe ausencia de modelado en las especialidades con entrega igual a cero, porque la propia ficha las reconoce como parte del universo aprobado y las vincula con referencias documentales concretas. Lo que queda objetivamente registrado es una trazabilidad

no homogénea entre disciplinas: la aprobación es completa en todas ellas, mientras que la entrega aparece consignada con distinta intensidad según especialidad.

4.1.1.4. Secuencia de modelado y trazabilidad por códigos MOD. La estructura de la Ficha OE1 no solo enumera especialidades; también organiza el proceso de modelado mediante una cadena codificada de referencias documentales. Ello permite reconstruir la secuencia del trabajo BIM desarrollado en el proyecto.

Tabla 16

Trazabilidad del modelado 3D por código y referencia documental

Código	Especialidad	Referencia documental principal
MOD-01	Plano preliminar	Levantamiento de medidas del lote
MOD-02	Estructura	Estructuras - Edificio Multifamiliar A.P - 1° Revisión
MOD-03	Arquitectura	ALTO PRADA-PROYECTO-1° REVISIÓN
MOD-04	Estructura	Estructuras - Edificio Multifamiliar A.P - 2° REVISIÓN
MOD-05	Estructura	Estructuras - Edificio Multifamiliar A.P - 3° REVISIÓN
MOD-06	Arquitectura	ALTO PRADA-PROYECTO-1° REVISIÓN-2
MOD-07	Estructura	ESTRUCTURAL PRELOSAS PROYECTO. REVISIÓN 01
MOD-08	Instalaciones Sanitarias	AP IISS Agua-Rev01
MOD-09	Instalaciones Sanitarias	AP IISS Desagüe-Rev01
MOD-10	Instalaciones Eléctricas	GDCO-EP-IE 05@14 Alumbrado_Rev1
MOD-11	Instalaciones Eléctricas	GDCO-EP-IE 15@24 Tomacorriente_Rev1

MOD-12	INDECI	ALTO PRADA-PROYECTO-INDECI-1° REVISIÓN
MOD-13	Instalaciones Mecánicas	ALTO PRADA_IM_DUCTERIA

Nota. Elaboración propia a partir de la sistematización y trazabilidad de los registros de modelado 3D consignados en la Ficha OE1.

La secuencia documental permite distinguir cinco tramos. El primero corresponde al levantamiento preliminar del lote, registrado en MOD-01. El segundo agrupa las iteraciones estructurales, representadas por MOD-02, MOD-04, MOD-05 y MOD-07. El tercero comprende el modelado arquitectónico inicial y sus ajustes posteriores, consignados en MOD-03 y MOD-06. El cuarto integra las instalaciones sanitarias y eléctricas, mediante MOD-08 a MOD-11. El quinto incorpora seguridad e instalaciones mecánicas, mediante MOD-12 y MOD-13.

Desde el punto de vista del resultado, esta secuencia describe un modelado progresivo. El expediente no registra una sola modelación cerrada, sino un proceso de incorporación acumulativa: base preliminar, desarrollo estructural, inserción arquitectónica, integración de instalaciones y adición de sistemas complementarios. La codificación MOD, por tanto, cumple una función de trazabilidad interna del proceso de modelado y coordinación.

4.1.1.5. Observaciones técnicas consignadas en la ficha. Las observaciones técnicas constituyen el componente cualitativo del bloque OE1. No operan como comentarios marginales, sino como descriptores del sentido técnico de cada iteración del modelado.

Tabla 17*Síntesis analítica de las observaciones técnicas del modelado 3D*

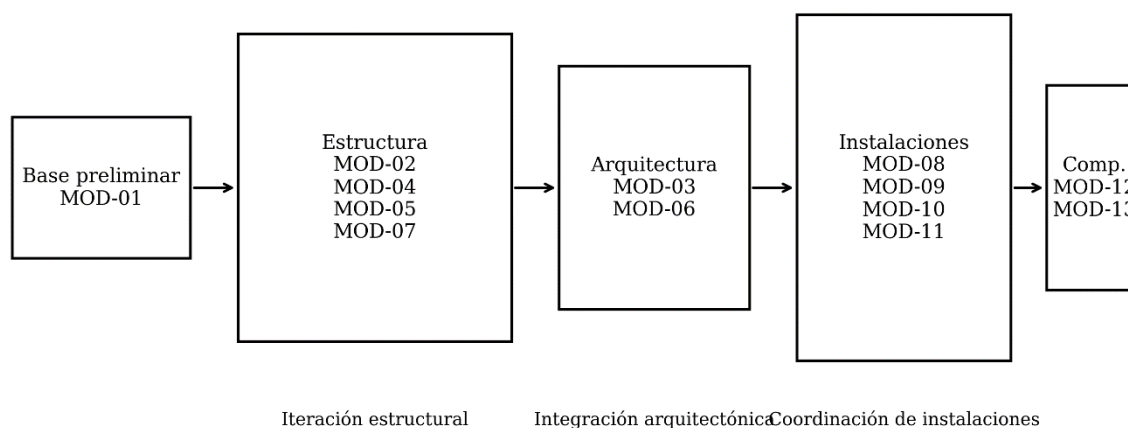
Código	Especialidad	Contenido principal de la observación	Sentido técnico del registro
MOD-01	Plano preliminar	Levantamiento de medidas del lote	Base geométrica inicial para las demás especialidades
MOD-02	Estructura	Primer modelado de estructuras a partir de detalle de zapatas, vigas y placas	Inicio del modelo estructural
MOD-03	Arquitectura	Primer modelado de arquitectura sobre base estructural	Integración inicial de arquitectura al modelo
MOD-04	Estructura	Modificaciones al plano de estructuras y nueva modelación	Revisión estructural del expediente
MOD-05	Estructura	Cambio en el paño del sótano 2 por interferencia de la grúa torre	Ajuste estructural condicionado por requerimiento constructivo
MOD-06	Arquitectura	Últimas modificaciones del baño del departamento 301	Ajuste arquitectónico puntual
MOD-07	Estructura	Modificación de diseños de losas en sótanos y niveles superiores con base en prelosas	Revisión estructural vinculada a prefabricación
MOD-08	Instalaciones Sanitarias	Modelado del plano de agua	Incorporación disciplinar de IISS-Agua
MOD-09	Instalaciones Sanitarias	Modelado del plano de desagüe	Incorporación disciplinar de IISS-Desagüe
MOD-10	Instalaciones Eléctricas	Modelado del plano de alumbrado	Incorporación disciplinar de IIEE-Alumbrado
MOD-11	Instalaciones Eléctricas	Modelado del plano de tomacorrientes	Incorporación disciplinar de IIEE-Tomacorrientes
MOD-12	INDECI	Modelado del plano de INDECI	Incorporación disciplinar de seguridad

Código	Especialidad	Contenido principal de la observación	Sentido técnico del registro
MOD-13	Instalaciones Mecánicas	Modelado del plano de ductería mecánica	Incorporación disciplinar de IM

Nota. Elaboración propia a partir de la sistematización y análisis de las observaciones técnicas consignadas en los registros de modelado 3D de la Ficha OE1.

Figura 15

Secuencia de modelado y trazabilidad documental de los códigos MOD



Nota. Elaboración propia.

De la lectura conjunta de estas observaciones emergen cuatro funciones del modelado. La primera es la construcción de la base geométrica del expediente, registrada en MOD-01. La segunda es la iteración estructural, donde se concentran el inicio del modelo, las revisiones del expediente, el ajuste asociado a la grúa torre y la modificación de losas con base en prelosas. La tercera es la integración y ajuste arquitectónico, visible en el modelado inicial de arquitectura y en la modificación puntual del baño del departamento 301. La cuarta es la incorporación disciplinar de instalaciones y sistemas complementarios, donde sanitarias, eléctricas, seguridad e instalaciones mecánicas ingresan al entorno digital mediante archivos específicos.

Dentro de esta secuencia, tres registros adquieren especial relevancia descriptiva. El primero es MOD-05, en el que se documenta un ajuste estructural del paño del sótano 2 asociado a la interferencia de la grúa torre. El segundo es MOD-06, donde se registran modificaciones en el baño del departamento 301. El tercero es MOD-07, en el que se consigna la revisión estructural vinculada a prelosas. Los tres casos muestran que la ficha no se limita a listar modelos por disciplina, sino que recoge revisiones específicas del expediente.

4.1.1.6. Trazabilidad temporal y soporte del registro. La Ficha OE1 consigna el año 2025 como dato de aceptación para los 13 registros. El instrumento, por tanto, ofrece trazabilidad temporal anual, aunque no cronología fina por día o mes. En consecuencia, la secuencia interna del proceso no puede reconstruirse mediante fechas completas; se reconstruye, más bien, a partir del orden de los códigos MOD y del contenido de las observaciones técnicas.

Adicionalmente, la ficha incorpora un bloque de soporte visual mediante referencias a capturas del modelo BIM, reportes de Revit y evidencia gráfica asociada a los registros. Aunque ese material no se reproduce en esta sección, su presencia refuerza el carácter verificable del instrumento, porque vincula el registro tabular con evidencia visual del modelado realizado.

En conjunto, el bloque OE1 muestra un modelado 3D con cobertura aprobada total sobre el universo planificado, una consignación de entrega parcial, una secuencia documental progresiva y una estructura de trabajo dominada por la especialidad estructural. El expediente registra una base preliminar, revisiones estructurales sucesivas, integración arquitectónica y posterior incorporación de instalaciones y sistemas complementarios. Bajo este patrón, el modelado 3D implementado en el Proyecto Alto Prada queda caracterizado como un proceso documentado de coordinación digital con cierre aprobatorio completo y con trazabilidad interna diferenciada según especialidad y tipo de registro.

4.1.1.7. Síntesis de resultados del objetivo específico 1. La caracterización del modelado 3D implementado en la construcción del Proyecto Alto Prada mostró que el entorno BIM desarrollado sí alcanzó una cobertura aprobada total sobre el universo documental previsto. La ficha OE1 registró 13 códigos MOD, todos planificados y todos aprobados, lo que produjo una cobertura formal de 100.00 por ciento. Sin embargo, la condición de entrega efectiva solo fue consignada en 7 registros, equivalente a 53.85 por ciento, mientras 6 registros, correspondientes a 46.15 por ciento, quedaron aprobados sin entrega marcada en el campo respectivo. Este resultado indica que la implementación del modelado 3D tuvo cierre aprobatorio completo, aunque con una trazabilidad de entrega no homogénea entre especialidades.

En términos de composición disciplinar, la especialidad Estructura concentró 4 registros, equivalente a 30.77 por ciento del total, seguida por Arquitectura, Instalaciones Sanitarias e Instalaciones Eléctricas con 2 registros cada una, esto es 15.38 por ciento por especialidad. Plano preliminar, INDECI e Instalaciones Mecánicas registraron 1 caso cada una, con 7.69 por ciento. Esta distribución confirmó que el modelado tuvo un núcleo predominantemente estructural y que, a partir de él, se integraron progresivamente arquitectura, instalaciones y especialidades complementarias.

La secuencia MOD-01 a MOD-13 evidenció, además, que el modelado no fue un producto único y cerrado, sino un proceso incremental de revisión del expediente, iniciado con el levantamiento preliminar del lote, continuado con varias iteraciones estructurales y luego extendido a arquitectura, sanitarias, eléctricas, seguridad y mecánicas. Por ello, el objetivo específico 1 quedó satisfecho al demostrarse que el Proyecto Alto Prada contó con un proceso documentado de modelado 3D y coordinación BIM, con cobertura aprobada total, secuencia técnica verificable e integración disciplinar efectiva, aunque con diferencias internas en la consignación documental de la entrega.

4.1.2. Resultados respecto al objetivo específico 2

El objetivo específico 2 estuvo orientado a comparar las interferencias con el ahorro de costos directos y el ahorro de costos indirectos logrados en la construcción del Proyecto Alto Prada. Para su resolución se trabajó con tres bloques documentales articulados: la Ficha OE2 de interferencias, la ficha comparativa de costos directos baseline–observado y el cuadro de costos indirectos asociado a la reducción del plazo de ejecución. En conjunto, estos insumos permiten describir tres planos empíricos distintos, aunque convergentes: la magnitud y distribución de las incompatibilidades registradas, la diferencia económica entre el costo directo reconstruido y el costo observado, y la reducción de gastos generales variables derivada del acortamiento del cronograma.

La exposición que sigue no asume identidad automática entre interferencia y ahorro. Lo que hace es presentar, con base documental, la configuración observada del bloque OE2: cuántas interferencias fueron registradas, en qué niveles y entre qué especialidades; qué diferencial monetario se obtuvo en el costo directo; y qué magnitud alcanzó la disminución de costos indirectos al pasar de un escenario baseline de 24 meses a un escenario observado de 18 meses.

4.1.2.1. Criterios de procesamiento del bloque OE2. La dimensión VI-d2, correspondiente a Interferencias, se operacionalizó mediante el indicador “Recuento de interferencias críticas resueltas antes de obra (n)”. La regla de cómputo definida para este indicador fue restrictiva: solo califican los registros que cumplan simultáneamente dos condiciones, severidad alta y resolución antes del inicio de la ejecución. En la base empleada, el universo de observación quedó delimitado por 19 registros codificados consecutivamente entre INT 001 e INT 019.

En términos de cálculo, el indicador puede expresarse así:

Interferencias críticas resueltas antes de obra (n) = Σ eventos con severidad alta y estado resuelto antes de obra

Fórmula del indicador de interferencias críticas resueltas antes de obra:

$$I_c = \sum_{j=1}^n \mathbf{1}(s_j = \text{alta} \wedge r_j = \text{resuelta antes de obra})$$

Forma algebraica simple para redacción de tesis:

$$I_c = N_{\text{interferencias de severidad alta resueltas antes de obra}}$$

Sustitución con los datos del caso:

$$I_c = 0$$

La segunda pieza del bloque corresponde a la dimensión VD-d1, ahorro de costos directos. Su medición se efectuó mediante comparación entre dos escenarios homogéneos en USD constantes 2024: un baseline reconstruido y el costo observado del proyecto. La regla de cálculo fue la siguiente:

$$\Delta \text{ costo directo (USD 2024)} = \text{costo baseline total} - \text{costo observado total}$$

Fórmula del ahorro de costos directos:

$$A_{CD} = C_D^{\text{baseline}} - C_D^{\text{observado}}$$

Fórmula de la reducción relativa de costos directos:

$$R_{CD}(\%) = \frac{C_D^{\text{baseline}} - C_D^{\text{observado}}}{C_D^{\text{baseline}}} \times 100$$

La tercera pieza corresponde a la dimensión VD-d2, ahorro de costos indirectos. En este caso el cálculo se estructuró sobre la diferencia entre un cronograma baseline de 24 meses y un cronograma observado de 18 meses, manteniendo constante el costo mensual por rubro:

$$\text{Ahorro de costos indirectos (USD)} = \text{indirectos baseline} - \text{indirectos observados}$$

Fórmula del ahorro de costos indirectos:

$$A_{CI} = C_I^{\text{baseline}} - C_I^{\text{observado}}$$

De esta forma, el bloque OE2 no se limita a un único valor. Comprende un recuento documental de incompatibilidades y dos diferenciales monetarios, uno directo y otro indirecto, que deben leerse de manera comparativa pero sin forzar atribuciones causales que el instrumento no mida de forma autónoma.

Fórmula alternativa del ahorro indirecto a partir del costo mensual:

$$A_{CI} = c_m (t_b - t_o)$$

donde c_m es el costo indirecto mensual total, t_b el plazo baseline y t_o el plazo observado.

Fórmula de la reducción relativa de costos indirectos:

$$R_{CI}(\%) = \frac{C_I^{\text{baseline}} - C_I^{\text{observado}}}{C_I^{\text{baseline}}} \times 100$$

4.1.2.2. Cartera de interferencias registradas. La Ficha OE2 de interferencias registró 19 eventos codificados entre INT 001 e INT 019. Cada registro consigna referencia del conflicto, disciplinas involucradas, ubicación, severidad y observación técnica o estado consignado en la base. La cartera completa se presenta a continuación.

Tabla 18

Interferencias registradas en el Proyecto Alto Prada

Código	Referencia	Disciplinas involucradas	Ubicación	Severidad	Observación técnica / estado
INT 001	Construcción de muro	Estructuras / Instalaciones de desagüe	Eje de cimiento con tubos de desagüe. Sótano 03, eje E-E	Baja	No fue resuelta antes de la obra, pero sí durante la ejecución

Código	Referencia	Disciplinas involucradas	Ubicación	Severidad	Observación técnica / estado
			entre ejes 7-7 y 8-8		
INT 002	Plano de prelosa	de Losa maciza / IIEE IE-26	Eje de pre-losa con puntos de luz. Semisótano, eje C-C a F-F entre ejes 5-5 y 6-6	Baja	Se consideraron pases, pero eran dicroicos en losas prefabricadas
INT 003	Construcción de losa aligerada	Pre-losa / Instalaciones de desagüe	Piso 07, eje B-B a D-D entre ejes 5-5 y 6-6	Media	Existía desarrollo importante de tubería de desagüe sobre prelosa
INT 004	Plano de estructuras	de Arquitectura / Estructuras	Sótano 2	Media	No se incluían pases para ventilación y se solicitó detalle de refuerzo
INT 005	Construcción de losa aligerada en grúa	Estructura losa aligerada / Plano de grúa	Paño entre ejes 10-11 y B-C, sótano 2	Media	La grúa torre interfería con una losa inicialmente diseñada como aligerada
INT 006	Altura de sardinel de jardinera costado de ventana V-12	de Planta de arquitectura / Plano de detalles de fachada vista 8	Pisos 1 al 7, eje B-B a C-C entre ejes 3-3 y 4-4	Media	No existía detalle de altura del sardinel de jardinera

Código	Referencia	Disciplinas involucradas	Ubicación	Severidad	Observación técnica / estado
INT 007	Caja de pase de domótica en muro de cocina	Instalaciones eléctricas / Arquitectura	Piso 8, dpto. 804	Media	El interruptor estaba en zona de refrigeradora
INT 008	Sensor	Ductería mecánica / Estructuras	Sótano 1, eje D-D a E-E entre ejes 4-4 y 5-5	Media	Sensor ubicado junto a columna y muro de albañilería
INT 009	Detalle de cisterna	Instalación sanitaria / Instalación sanitaria	Sótano 3, eje E-E a F-F entre ejes 4-4 y 5-5	Media	Se requirió confirmar diámetros de tuberías de succión de cisterna
INT 010	Tubería de ventilación SH3 201	Arquitectura / IISS-Desagüe	Piso 2, dpto. 201	Media	La tubería debía moverse por cambio en ubicación de puerta
INT 011	Reubicación de inodoro según batería de desagüe general (801)	IISS-Desagüe / Plano con cambios 801	Azotea, dpto. 801	Media	La salida de desagüe del inodoro estaba en otra ubicación
INT 012	Se mantiene batería de desagüe de BV según plano general (802)	IISS-Desagüe / Plano con cambios 802	Azotea, dpto. 802	Media	La montante de desagüe difería del plano general

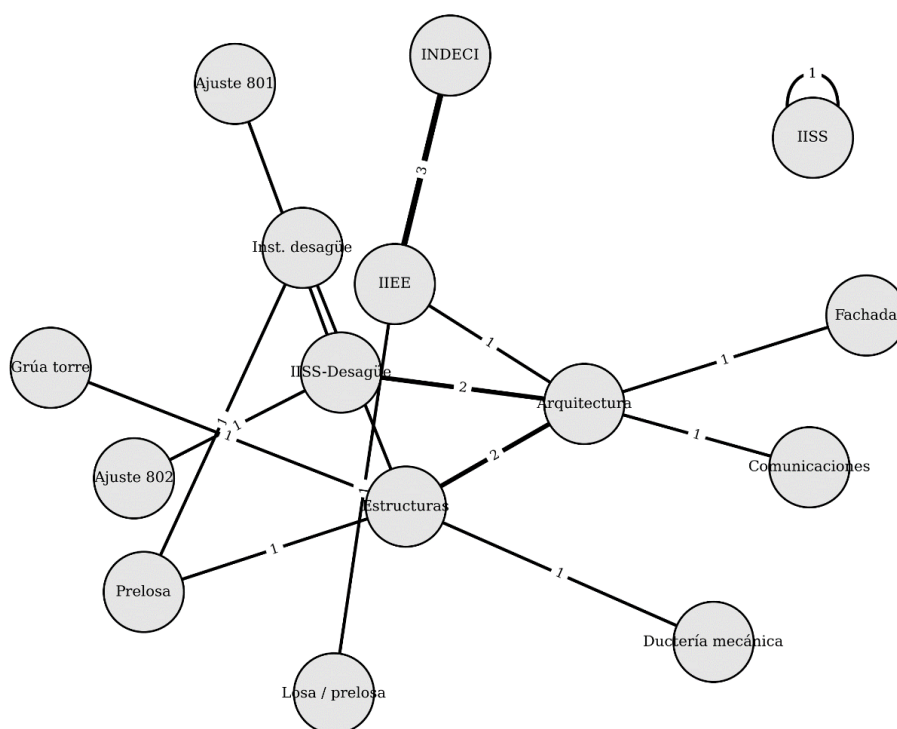
Código	Referencia	Disciplinas involucradas	Ubicación	Severidad	Observación técnica / estado
INT 013	Caja de pase de domótica en muro que da a cocina	Arquitectura / Comunicacion	Piso 2, dpto. 204	Media	El muro fue cortado y la caja debía reubicarse
INT 014	Ubicación de teléfono de bombero en sótano 3	INDECI / IIEE IE-26	Sótano 03, ejes 6-6 a 7-7 con D-D y E-E	Media	Incompatibilidad entre comunicaciones e INDECI
INT 015	Punto de luz adicional según INDECI en estacionamiento 46	INDECI / IIEE IE-05	Estacionamiento 46, sótano 3	Media	INDECI exigía un punto de luz adicional
INT 016	Incompatibilidad de salidas de luz entre INDECI e IIEE	INDECI / IIEE IE-06	Estacionamientos 28 y 29, sótano 2	Media	El plano de INDECI mostraba más puntos de luz
INT 017	Incompatibilidad de pase de ventilación entre estructuras y arquitectura	Arquitectura / Estructuras	Sótano 3, ejes 4-4 y 5-5 con B-B y E-E	Media	El pase de ventilación no estaba contemplado en estructuras
INT 018	Incompatibilidad de pase de desagüe entre arquitectura e	Arquitectura / Instalaciones de desagüe	Piso 3, ejes 10-10 y 11-11 con B-B y C-C	Media	La montante bajaba por un muro que ya no existía

Código	Referencia	Disciplinas involucradas	Ubicación	Severidad	Observación técnica / estado
		instalaciones sanitarias			
INT 019	Incompatibilidad de espesor entre prelosa y viga chata S07	Estructuras de losa aligerada / Estructuras-prelosa	Desde semisótano hasta niveles superiores, ejes 4-4 y 5-5 con B-B y G-G	Media	No quedaba recubrimiento ni tarrajeo suficiente en viga chata

Nota. Elaboración propia a partir del análisis de las interferencias registradas del proyecto.

Figura 16

Red interdisciplinaria de interferencias registradas en el Proyecto Alto Prada



Nota. Elaboración propia a partir de las interferencias registradas por especialidades.

La cartera registrada muestra heterogeneidad técnica y disciplinar. No se trata de una sola familia de colisiones, sino de una secuencia de conflictos entre estructura, arquitectura, sanitarias, electricidad, seguridad, comunicaciones, ductería mecánica, elementos de prefabricación y condiciones auxiliares de obra. La base incluye incompatibilidades en cimentación, sótanos, torre, azotea y elementos puntuales de departamentos, con predominio visible de encuentros entre sistemas estructurales e instalaciones.

También se observa que el registro mezcla conflictos geométricos estrictos con discrepancias de detalle, pases no previstos, variaciones de ubicación y ajustes derivados del sistema de prelosas. En consecuencia, el bloque de interferencias documenta tanto colisiones espaciales como inconsistencias de coordinación técnica entre planos, modelos y soluciones constructivas.

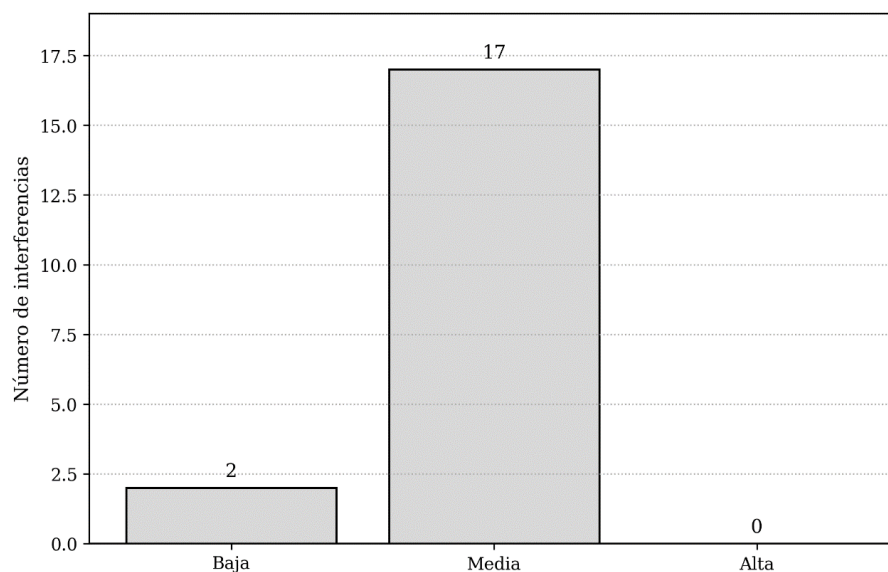
4.1.2.3. Distribución de las interferencias por severidad, ubicación y patrón técnico. La primera desagregación corresponde a la severidad.

Tabla 19

Distribución de interferencias por severidad

Severidad	Frecuencia	Participación (%)
Media	17	89.47
Baja	2	10.53
Total	19	100.00

Nota. Elaboración propia a partir de la clasificación por severidad de las interferencias registradas.

Figura 17*Distribución de interferencias por severidad*

Nota. Elaboración propia a partir de la clasificación por severidad de las interferencias registradas.

La distribución evidencia un predominio casi absoluto de la severidad media. De los 19 eventos documentados, 17 fueron clasificados en ese nivel y solo 2 fueron calificados como bajos. No se registró ningún caso con severidad alta. En consecuencia, el indicador formal “recuento de interferencias críticas resueltas antes de obra”, cuya regla exige severidad alta y resolución antes de obra, cerró con valor 0. Ese resultado no elimina la cartera de incompatibilidades efectivamente registradas; simplemente delimita el comportamiento del indicador estricto fijado para la dimensión VI-d2.

La segunda desagregación corresponde a la ubicación por nivel o zona.

Tabla 20*Distribución de interferencias por nivel o zona*

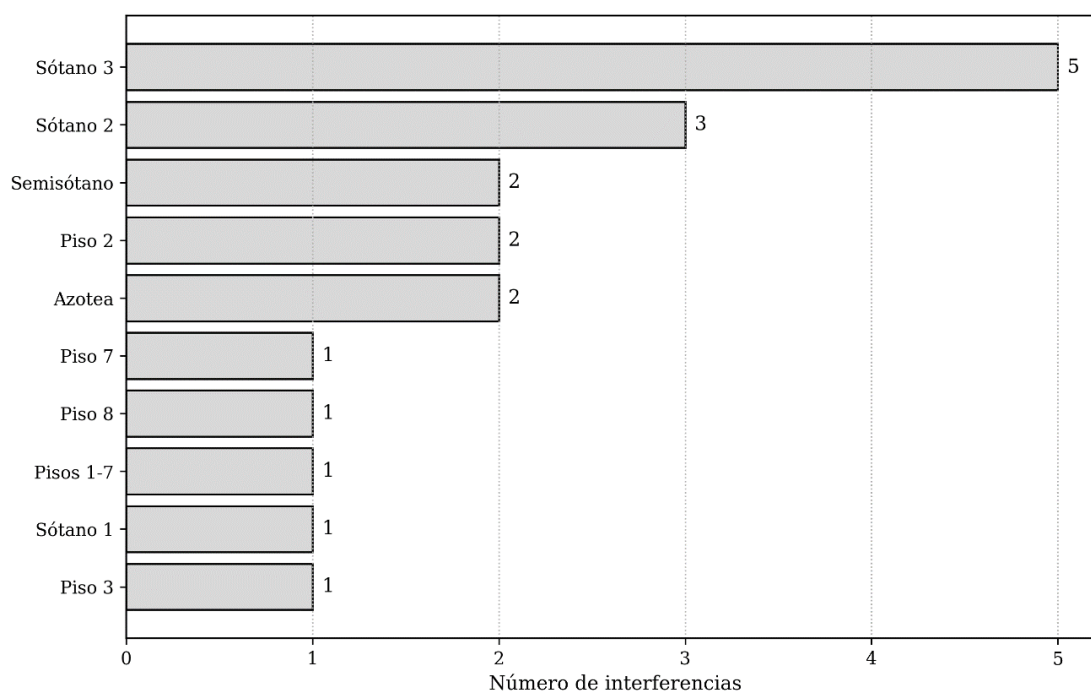
Nivel/Zona	Frecuencia	Participación (%)
Sótano 3	5	26.32

Sótano 2	3	15.79
Semisótano	2	10.53
Piso 2	2	10.53
Azotea	2	10.53
Piso 7	1	5.26
Piso 8	1	5.26
Pisos 1-7	1	5.26
Sótano 1	1	5.26
Piso 3	1	5.26
Total	19	100.00

Nota. Elaboración propia a partir de la sistematización de las ubicaciones de las interferencias registradas.

Figura 18

Concentración espacial de interferencias por nivel o zona del edificio



Nota. Elaboración propia con base en la distribución espacial de interferencias del ROE2.

La mayor concentración de incompatibilidades se localizó en los niveles inferiores de la edificación. Si se agrupan Sótano 3, Sótano 2, Semisótano y Sótano 1, se obtienen 11 casos,

equivalentes a 57.89% del total. Solo Sótano 3 reúne 26.32% y Sótano 2, 15.79%. Este patrón espacial muestra que el núcleo de conflictos se situó donde convergen cimentaciones, cisternas, ventilaciones, instalaciones embebidas, puntos de seguridad y sistemas estructurales de mayor densidad.

Desde el punto de vista técnico, la cartera también exhibe recurrencias definidas. Se repiten conflictos entre estructura o prelosa y desagüe; entre arquitectura y estructura; entre INDECI y electricidad; y entre arquitectura, sanitarias y cambios de detalle en unidades específicas. En esa red de registros destacan tres grupos particularmente reiterados: pases de ventilación o desagüe no contemplados en elementos estructurales, incompatibilidades entre luminarias o puntos eléctricos y requerimientos de seguridad, y ajustes de prelosa o losa aligerada asociados a instalaciones o geometrías de soporte.

Bajo esta lectura, el bloque de interferencias presenta cuatro rasgos observables: amplitud del portafolio, predominio de severidad media, concentración subterránea y recurrencia de conflictos arquitectura-estructura-instalaciones.

4.1.2.4. Resultados del ahorro de costos directos. La dimensión VD-d1 se procesó mediante comparación económica entre un escenario baseline y el costo observado del proyecto, ambos expresados en USD constantes 2024.

Fórmula principal:

$$A_{CD} = C_D^{\text{baseline}} - C_D^{\text{observado}}$$

Sustitución numérica:

$$A_{CD} = 263,449.71 - 146,665.48 = 116,784.23 \text{ USD}$$

Fórmula auxiliar. Reducción relativa de costos directos

$$R_{CD}(\%) = \frac{C_D^{\text{baseline}} - C_D^{\text{observado}}}{C_D^{\text{baseline}}} \times 100$$

$$R_{CD}(\%) = \frac{263,449.71 - 146,665.48}{263,449.71} \times 100$$

$$R_{CD}(\%) = 44.33\%$$

El resultado global se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 21

Resultado global del ahorro de costos directos

Concepto	Valor (USD 2024)
Costo baseline total	263,449.71
Costo observado total	146,665.48
Δ costo directo total	116,784.23
Reducción relativa sobre baseline (%)	44.33

Nota. Elaboración propia a partir de los costos directos baseline y observados.

El diferencial directo asciende a USD 116,784.23. Esto equivale a una reducción de 44.33% respecto del escenario baseline. La magnitud del resultado no proviene de una sola partida aislada; surge de una combinación de supresiones completas, reducciones parciales de cantidad o costo unitario y ajustes en sistemas repetitivos de alta incidencia económica, particularmente en losas, acero, encofrados y acabados de techo.

A fin de preservar la trazabilidad del bloque, se presenta el detalle consolidado por partida.

Tabla 22*Detalle de partidas y ahorro de costos directos*

Código	Partida	Costo baseline (USD)	Costo observado (USD)	Δ costo directo (USD)	Reducción (%)
10010208.01	Losa aligerada, concreto premezclado $f_c=210$ kg/cm ² , 7 días	3,311.54	2,986.55	324.98	9.81
10010208.02	Losa aligerada, encofrado y desencofrado Firth	1,412.49	683.48	729.01	51.61
10010208.03	Losa aligerada, acero corrugado $f_y=4200$ kg/cm ²	1,804.59	1,408.65	395.94	21.94
10010208.04	Losa aligerada, ladrillo bovedilla de arcilla 15 @ 50 cm	4,960.00	0.00	4,960.00	100.00
10010208.05	Vigueta pretensada Firth TA1..8	4,531.17	0.00	4,531.17	100.00
10010209.01	Losa maciza, concreto premezclado $f_c=210$ kg/cm ² , 7 días	5,444.50	2,381.27	3,063.23	56.26
10010209.02	Losa maciza, encofrado y desencofrado caravista	3,570.54	2,491.34	1,079.21	30.23
10010209.03	Losa maciza, acero corrugado $f_y=4200$ kg/cm ²	15,408.31	11,729.28	3,679.03	23.88
10020004.01	Losa aligerada, concreto premezclado $f_c=210$ kg/cm ² , 7 días	13,787.02	12,434.00	1,353.02	9.81
10020004.02	Losa aligerada, encofrado y desencofrado Firth	14,219.39	7,443.85	6,775.54	47.65
10020004.03	Losa aligerada, acero corrugado $f_y=4200$ kg/cm ²	4,509.64	3,518.82	990.81	21.97
10020004.04	Losa aligerada, ladrillo bovedilla de arcilla 20 @ 50 cm	15,548.89	0.00	15,548.89	100.00
10020004.05	Vigueta pretensada Firth TA1..8	15,004.74	0.00	15,004.74	100.00

Código	Partida	Costo baseline (USD)	Costo observado (USD)	Δ costo directo (USD)	Reducción (%)
10020005.01	Losa maciza, concreto premezclado $f_c=210$ kg/cm ² , 7 días	31,720.10	13,873.48	17,846.62	56.26
10020005.02	Losa maciza, encofrado y desencofrado normal	18,859.82	13,255.42	5,604.40	29.72
10020005.03	Losa maciza, acero corrugado $f_y=4200$ kg/cm ²	22,315.80	16,987.47	5,328.33	23.88
10110001.03	Muro de ladrillo ($e=0.14$ m)	18,580.48	17,651.46	929.02	5.00
10110104.01	Techo con mezcla (tarrajeo)	27,232.30	0.00	27,232.30	100.00
10110104.02	Limpieza de techo	9,996.04	9,776.13	219.91	2.20
10300001.01	Salida de alumbrado de techo - sótanos	5,171.89	4,915.89	256.00	4.95
10310302.01	Caja de pase intercomunicador 200x200x100 mm	90.00	85.55	4.45	4.95
10310000.01	Salida de alumbrado de techo	11,418.92	10,853.70	565.22	4.95
10310001.01	Interruptor simple	3,689.19	3,649.53	39.66	1.08
10210101.06	Tubería p/agua fría 3/4"	1,038.16	1,027.00	11.16	1.08
10210101.07	Tubería p/agua fría 1/2"	1,704.45	1,686.13	18.32	1.08
102100.01	Tubería PVC SAP 4" en losa empotrada	1,707.97	1,524.36	183.61	10.75
102100.02	Tubería PVC SAP 3" en losa empotrada	1,320.73	1,306.53	14.20	1.08
102100.03	Tubería PVC SAP 2" en losa empotrada	1,369.30	1,354.58	14.72	1.08
10210001	Tubería PVC SAP 4" (montante)	2,723.03	2,676.20	46.84	1.72
101007.06	Rejillas de 0.15 m	499.83	494.46	5.37	1.08
101007.07	Rejillas de 0.19 m	239.40	213.66	25.74	10.75
101007.08	Rejillas cto de bombas	259.46	256.67	2.79	1.08

Nota. Elaboración propia a partir de la sistematización y comparación de los costos baseline y observados de las partidas.

La tabla anterior deja ver dos mecanismos económicos dominantes. El primero es la eliminación completa de determinadas partidas del escenario baseline, lo que produce reducciones de 100.00%. Allí se ubican el ladrillo bovedilla en sótanos y torre, las viguetas pretensadas de ambos bloques y el tarrajeo de techo. El segundo mecanismo es la reducción parcial en partidas que permanecen en el escenario observado, como concreto, acero y encofrados de losas macizas y aligeradas.

Para ordenar la magnitud del ahorro, las partidas se reagruparon en familias constructivas.

Tabla 23

Ahorro de costos directos por grupo de partidas

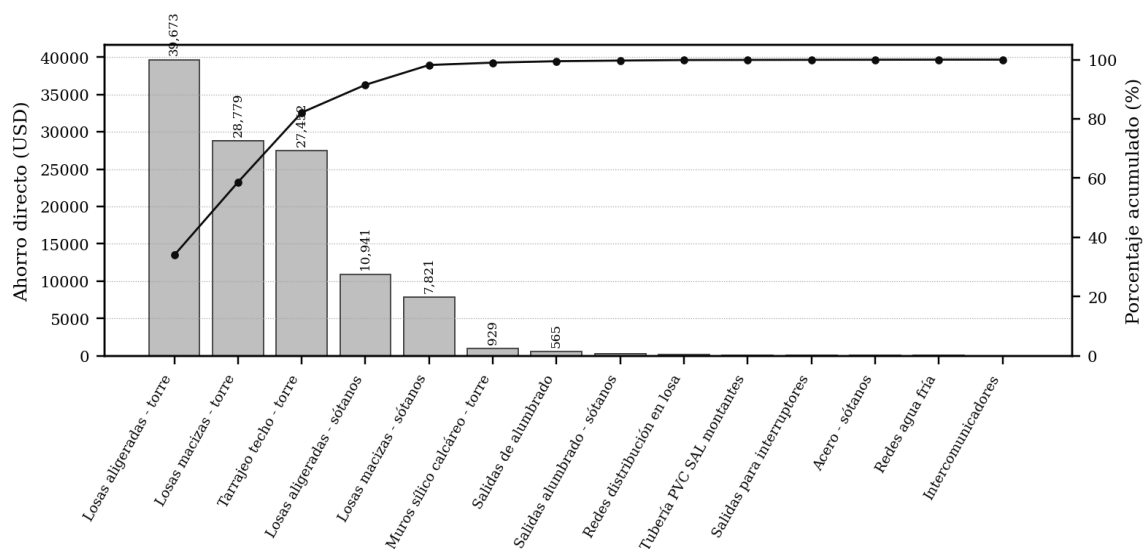
Grupo de partidas	Ítems	Costo baseline (USD)	Costo observado (USD)	Δ costo directo (USD)	Reducción (%)
Losas aligeradas - torre	5	63,069.67	23,396.68	39,672.99	62.90
Losas macizas - torre	3	72,895.72	44,116.37	28,779.35	39.48
Tarrajeo techo - torre	2	37,228.35	9,776.13	27,452.22	73.74
Losas aligeradas - sótanos	5	16,019.79	5,078.69	10,941.11	68.30
Losas macizas - sótanos	3	24,423.36	16,601.89	7,821.47	32.02
Muros de ladrillo sílico calcáreo - torre	1	18,580.48	17,651.46	929.02	5.00
Salidas de alumbrado	1	11,418.92	10,853.70	565.22	4.95
Salidas de alumbrado - sótanos	1	5,171.89	4,915.89	256.00	4.95
Redes de distribución en losa	3	4,398.00	4,185.47	212.53	4.83
Tubería PVC SAL montantes	1	2,723.03	2,676.20	46.84	1.72

Grupo de partidas	Ítems	Costo baseline (USD)	Costo observado (USD)	Δ costo directo (USD)	Reducción (%)
Salidas para interruptores	1	3,689.19	3,649.53	39.66	1.08
Acero - sótanos	3	998.69	964.79	33.90	3.39
Redes de distribución de agua fría	2	2,742.61	2,713.13	29.48	1.08
Intercomunicadores	1	90.00	85.55	4.45	4.95

Nota. Elaboración propia a partir de la agrupación y sistematización de las partidas.

Figura 19

Concentración del ahorro de costos directos por grupo de partidas



Nota. Elaboración propia.

Los grupos de mayor peso económico fueron losas aligeradas de torre, con USD 39,672.99; losas macizas de torre, con USD 28,779.35; y tarrajeo de techo de torre, con USD 27,452.22. Estos tres bloques acumulan USD 95,904.56, equivalentes a 82.12% del ahorro directo total. El patrón es inequívoco: la mayor parte del diferencial económico del bloque OE2

se concentra en el sistema de losas y en los acabados directamente vinculados a la solución estructural adoptada.

Para identificar los ítems más influyentes, se ordenaron las partidas según el valor absoluto del ahorro.

Tabla 24

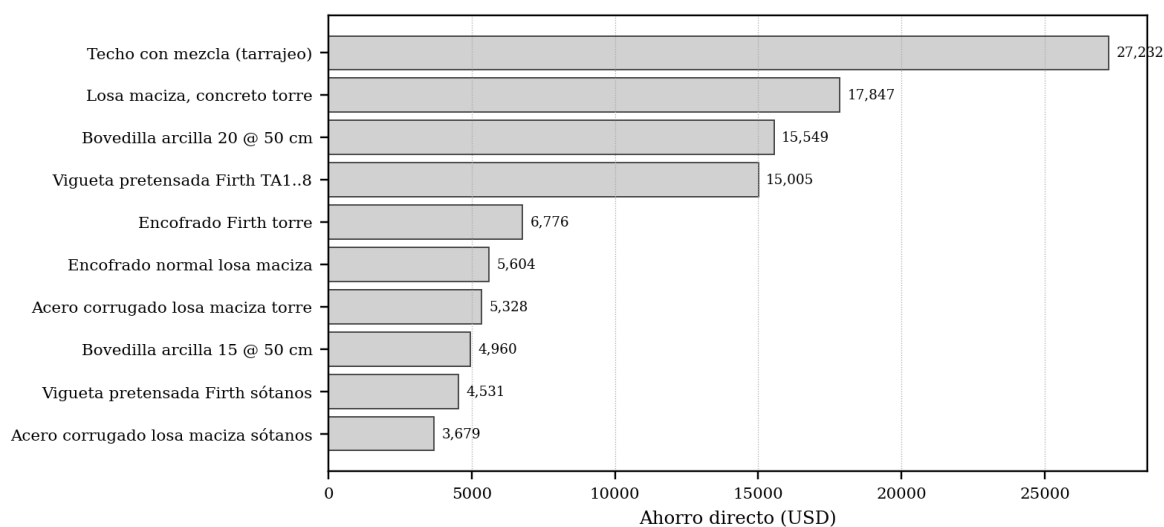
Partidas con mayor ahorro directo

Código	Partida	Ahorro (USD)	Reducción específica (%)
10110104.01	Techo con mezcla (tarrajeo)	27,232.30	100.00
10020005.01	Losa maciza, concreto premezclado $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$, 7 días	17,846.62	56.26
10020004.04	Losa aligerada, ladrillo bovedilla de arcilla 20 @ 50 cm	15,548.89	100.00
10020004.05	Vigueta pretensada Firth TA1..8	15,004.74	100.00
10020004.02	Losa aligerada, encofrado y desencofrado Firth	6,775.54	47.65
10020005.02	Losa maciza, encofrado y desencofrado normal	5,604.40	29.72
10020005.03	Losa maciza, acero corrugado $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$	5,328.33	23.88
10010208.04	Losa aligerada, ladrillo bovedilla de arcilla 15 @ 50 cm	4,960.00	100.00
10010208.05	Vigueta pretensada Firth TA1..8	4,531.17	100.00
10010209.03	Losa maciza, acero corrugado $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$	3,679.03	23.88

Nota. Elaboración propia a partir de las partidas con mayor ahorro de costos directos.

Figura 20

Partidas con mayor ahorro directo



Nota. Elaboración propia a partir de las partidas con mayor ahorro de costos directos.

Esta distribución confirma que el ahorro directo no se explica por microajustes marginales, sino por partidas de volumen y repetición alta dentro del sistema estructural del edificio. El mayor diferencial individual corresponde al tarrajeo de techo, seguido por el concreto de losa maciza de torre y por la eliminación de componentes propios del esquema aligerado con bovedilla y viguetas.

4.1.2.5. Resultados del ahorro de costos indirectos. La dimensión VD-d2 se calculó sobre la base de un cambio en la duración del proyecto, de 24 meses en el escenario baseline a 18 meses en el escenario observado. Al mantenerse constante el costo mensual de cada rubro, la reducción porcentual por concepto fue uniforme: 25.00%. La diferencia absoluta dependió, por tanto, del peso mensual de cada gasto.

Fórmula principal:

$$A_{CI} = C_I^{\text{baseline}} - C_I^{\text{observado}}$$

Sustitución numérica:

$$A_{CI} = 369,081.08 - 276,810.81$$

Resultado:

$$A_{CI} = 92,270.27\text{USD}$$

Fórmula auxiliar. Reducción relativa de costos indirectos

$$R_{CI}(\%) = \frac{C_I^{\text{baseline}} - C_I^{\text{observado}}}{C_I^{\text{baseline}}} \times 100$$

$$R_{CI}(\%) = \frac{369,081.08 - 276,810.81}{369,081.08} \times 100$$

$$R_{CI}(\%) = 25.00\%$$

Tabla 25

Detalle del ahorro de costos indirectos

Concepto	Meses baseline	Monto mensual baseline (USD)	Total baseline (USD)	Meses observados	Monto mensual observado (USD)	Total observado (USD)	Ahorro (USD)	% ahorro
Residente de obra	24	2,702.70	64,864.86	18	2,702.70	48,648.65	16,216.22	25.00
Maestro de obra	24	1,081.08	25,945.95	18	1,081.08	19,459.46	6,486.49	25.00
Ingeniero de seguridad	24	1,081.08	25,945.95	18	1,081.08	19,459.46	6,486.49	25.00
Personal de apoyo en obra	24	2,162.16	51,891.89	18	2,162.16	38,918.92	12,972.97	25.00
Seguridad y vigilancia en obra	24	675.68	16,216.22	18	675.68	12,162.16	4,054.05	25.00
Personal en obra	24	675.68	16,216.22	18	675.68	12,162.16	4,054.05	25.00
Movilidad en obra (caja chica)	24	1,351.35	32,432.43	18	1,351.35	24,324.32	8,108.11	25.00
Equipos de cómputo obra	24	256.76	6,162.16	18	256.76	4,621.62	1,540.54	25.00
Luz y agua en obra	24	324.32	7,783.78	18	324.32	5,837.84	1,945.95	25.00
Agua para consumo obra	24	256.76	6,162.16	18	256.76	4,621.62	1,540.54	25.00
Pruebas de concreto obra	24	675.68	16,216.22	18	675.68	12,162.16	4,054.05	25.00

Concepto	Meses baseline	Monto mensual baseline (USD)	Total baseline (USD)	Meses observados	Monto mensual observado (USD)	Total observado (USD)	Ahorro (USD)	% ahorro
Póliza CAR obra	24	405.41	9,729.73	18	405.41	7,297.30	2,432.43	25.00
Póliza SCTR/VIDA obra	24	405.41	9,729.73	18	405.41	7,297.30	2,432.43	25.00
Planos de obra	24	486.49	11,675.68	18	486.49	8,756.76	2,918.92	25.00
Baños portátiles obra	24	810.81	19,459.46	18	810.81	14,594.59	4,864.86	25.00
Vecinos de obra	24	810.81	19,459.46	18	810.81	14,594.59	4,864.86	25.00
Útiles de oficina obra	24	135.14	3,243.24	18	135.14	2,432.43	810.81	25.00
Arbitrios y predial del terreno	24	405.41	9,729.73	18	405.41	7,297.30	2,432.43	25.00
Otros gastos de obra (caja chica)	24	675.68	16,216.22	18	675.68	12,162.16	4,054.05	25.00
TOTAL			369081.08			276810.81	92,270.27	

Nota. Elaboración propia a partir de los costos indirectos baseline y observados.

Tabla 26

Resultado global del ahorro de costos indirectos

Concepto	Valor (USD)
Total indirectos baseline	369,081.08
Total indirectos observados	276,810.81
Ahorro indirecto total	92,270.27
% ahorro de indirectos	25.00

Nota. Elaboración propia a partir de la comparación de los costos indirectos.

El diferencial indirecto total asciende a USD 92,270.27. Los mayores ahorros absolutos se concentran en residente de obra, con USD 16,216.22; personal de apoyo en obra, con USD 12,972.97; y movilidad en obra, con USD 8,108.11. Les siguen maestro de obra e ingeniero de seguridad, con USD 6,486.49 cada uno. El patrón es lineal: todos los rubros reducen 25.00%

porque todos dependen del mismo recorte temporal de seis meses, pero la incidencia monetaria es mayor en los gastos con carga mensual más alta.

4.1.2.6. Integración comparativa entre interferencias, ahorro de costos directos y ahorro de costos indirectos. La comparación exigida por el objetivo específico 2 debe formularse a partir de los tres resultados obtenidos en el bloque OE2. El primero corresponde a la cartera de incompatibilidades registradas. El segundo, al diferencial de costos directos entre el escenario baseline y el escenario observado. El tercero, al diferencial de costos indirectos derivado de la reducción del plazo de ejecución. La integración comparativa, por tanto, no parte de una sola métrica, sino de tres registros de naturaleza distinta: recuento técnico de eventos, diferencial monetario directo y diferencial monetario indirecto.

En el plano de interferencias, la base registró **19 eventos** codificados entre INT 001 e INT 019. La distribución de severidad mostró **17 casos de nivel medio** y **2 de nivel bajo**, sin presencia de eventos clasificados con severidad alta. Como consecuencia de esa configuración, el indicador formal “recuento de interferencias críticas resueltas antes de obra”, cuya regla exige simultáneamente severidad alta y resolución previa a la ejecución, adoptó un valor de **0 casos**. Este resultado define el comportamiento del indicador, pero no agota la descripción del portafolio de incompatibilidades efectivamente documentado en el proyecto.

En el plano económico directo, la comparación entre el costo baseline total y el costo observado total mostró un diferencial de USD 116,784.23, equivalente a una reducción de 44.33% respecto del escenario de referencia. El patrón interno del ahorro directo evidenció mayor concentración en partidas vinculadas al sistema de losas y a sus componentes asociados, particularmente losas aligeradas de torre, losas macizas de torre y tarrajeo de techo. En conjunto, esos grupos absorbieron la mayor parte del diferencial monetario del bloque directo.

En el plano económico indirecto, la reducción del plazo de ejecución de 24 a 18 meses produjo un diferencial de USD 92,270.27, equivalente a una disminución de 25.00% sobre el total de indirectos del escenario baseline. En este bloque el comportamiento fue uniforme en términos relativos, porque todos los rubros conservaron el mismo costo mensual y redujeron el mismo número de meses; la diferencia absoluta estuvo determinada por el peso económico de cada gasto dentro de la estructura mensual de la obra.

Cuando los tres planos se observan de manera conjunta, el resultado comparativo muestra una configuración definida. Por un lado, el proyecto registró una cartera amplia de incompatibilidades técnicas, localizada principalmente en sótanos y semisótano, con predominio de conflictos entre estructura, arquitectura, instalaciones y seguridad. Por otro, el mismo caso exhibió un diferencial económico acumulado integrado por ahorro directo y ahorro indirecto.

Fórmula principal:

$$E_{OE2} = A_{CD} + A_{CI}$$

Sustitución numérica:

$$E_{OE2} = 116,784.23 + 92,270.27$$

Resultado:

$$E_{OE2} = 209,054.50\text{USD}$$

Fórmula auxiliar 1. Participación del ahorro directo

$$P_{CD}(\%) = \frac{A_{CD}}{E_{OE2}} \times 100$$

$$P_{CD}(\%) = \frac{116,784.23}{209,054.50} \times 100$$

$$P_{CD}(\%) = 55.86\%$$

Fórmula auxiliar 2. Participación del ahorro indirecto

$$P_{CI}(\%) = \frac{A_{CI}}{E_{OE2}} \times 100$$

$$P_{CI}(\%) = \frac{92,270.27}{209,054.50} \times 100$$

$$P_{CI}(\%) = 44.14\%$$

Tabla 27

Integración comparativa del objetivo específico 2

Componente	Valor
Interferencias documentadas	19 casos
Interferencias críticas resueltas antes de obra, según regla del indicador	0 casos
Ahorro de costos directos	116,784.23 USD
Ahorro de costos indirectos	92,270.27 USD
Efecto económico acumulado del OE2	209,054.50 USD

Nota. Elaboración propia en base en los resultados del objetivo específico 2.

La tabla integrada permite precisar dos relaciones cuantitativas adicionales. La primera es la composición interna del efecto económico acumulado: del total de USD 209,054.50, el ahorro de costos directos representa 55.86%, mientras que el ahorro de costos indirectos representa 44.14%. La segunda es la diferencia absoluta entre ambos bloques: el ahorro directo supera al ahorro indirecto en USD 24,513.96. En consecuencia, el comportamiento económico del objetivo específico 2 no quedó concentrado exclusivamente en la reducción del plazo ni exclusivamente en la modificación del costo directo; ambos componentes conservaron peso propio dentro del resultado total, aunque el diferencial directo mantuvo una participación mayor.

También se observa una proximidad técnica entre la cartera de incompatibilidades y los rubros donde se localizó el mayor diferencial económico. Las interferencias registradas se

concentraron en zonas y disciplinas donde convergen estructura, instalaciones, pases, ventilaciones, luminarias, ductería y elementos de prefabricación. A su vez, el ahorro directo se acumuló principalmente en losas, encofrados, acero, bovedillas, viguetas y acabados de techo. No se trata de series idénticas ni de variables intercambiables, pero sí de resultados que se sitúan dentro del mismo núcleo constructivo del proyecto: la coordinación entre estructura, sistemas embebidos y solución de losas.

Bajo esa base, la comparación exigida por el objetivo específico 2 permite establecer, en términos estrictamente observacionales, que el proyecto combinó una cartera documentada de incompatibilidades técnicas con un diferencial económico relevante en costos directos e indirectos. El indicador formal de interferencias críticas resueltas antes de obra cerró en cero por la estructura de severidad registrada; sin embargo, el bloque OE2, leído en conjunto, presenta simultáneamente incompatibilidades documentadas, reducción de costo directo y reducción de costo indirecto dentro del mismo caso de estudio.

4.1.2.7. Síntesis de resultados del objetivo específico 2. Los resultados obtenidos para el objetivo específico 2 permiten establecer, en primer lugar, que la Ficha OE2 registró 19 interferencias distribuidas entre sótanos, semisótano, pisos intermedios, azotea y zonas puntuales de departamentos. La cartera de eventos comprendió conflictos entre estructura, arquitectura, instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas, ductería mecánica, seguridad y comunicaciones. La severidad observada mostró 17 casos medios y 2 bajos, sin registros clasificados como severidad alta.

En segundo lugar, el indicador formal de la dimensión VI-d2, definido como “recuento de interferencias críticas resueltas antes de obra”, adoptó un valor de **0 casos**. Este resultado deriva de la regla de cómputo establecida en el instrumento y de la ausencia de interferencias con severidad alta dentro del universo registrado. En términos estrictos, la ficha no reportó

eventos que cumplieran simultáneamente la condición de criticidad alta y resolución previa a la ejecución.

En tercer lugar, el análisis económico de la dimensión VD-d1 mostró un ahorro de costos directos de USD 116,784.23, producto de la diferencia entre un costo baseline total de USD 263,449.71 y un costo observado total de USD 146,665.48. La reducción relativa fue de 44.33%. El mayor peso de este diferencial se concentró en partidas vinculadas al sistema de losas y a elementos asociados, entre ellos concreto, encofrado, acero, bovedillas, viguetas y acabados de techo.

En cuarto lugar, el análisis de la dimensión VD-d2 mostró un ahorro de costos indirectos de USD 92,270.27, generado por la reducción del plazo de ejecución de 24 a 18 meses. El total de costos indirectos pasó de USD 369,081.08 en el escenario baseline a USD 276,810.81 en el escenario observado, con una reducción relativa uniforme de 25.00% en todos los rubros mensuales.

En quinto lugar, la integración del bloque OE2 mostró un efecto económico acumulado de USD 209,054.50, compuesto por ahorro directo e indirecto. Del total acumulado, 55.86% correspondió al ahorro de costos directos y 44.14% al ahorro de costos indirectos. La diferencia entre ambos componentes fue de USD 24,513.96 a favor del bloque directo.

En síntesis, el objetivo específico 2 permitió comparar una cartera documentada de incompatibilidades técnicas con los diferenciales económicos observados en costos directos e indirectos del Proyecto Alto Prada. El bloque empírico resultante mostró 19 interferencias registradas, 0 interferencias críticas resueltas antes de obra según la regla formal del indicador, USD 116,784.23 de ahorro directo, USD 92,270.27 de ahorro indirecto y USD 209,054.50 de efecto económico acumulado. Esa es la configuración cuantitativa que arroja el objetivo específico 2.

4.1.3. Resultados respecto al objetivo específico 3

El objetivo específico 3 estuvo orientado a relacionar la prefabricación y el modelado 3D y coordinación con el índice beneficio-costo global obtenido en la construcción del Proyecto Alto Prada. Para su resolución se articularon cuatro soportes ya definidos por el diseño de investigación y por la cadena instrumental del estudio: la ficha de prefabricación de prelosas, la hoja resumen de cálculo B/C, los resultados previamente obtenidos para el modelado 3D de estructura y la comparación económica baseline-observado ya procesada en el objetivo específico 2. En términos operativos, este bloque no introduce una variable nueva. Lo que hace es vincular tres registros ya medidos: magnitud física de la prefabricación, trazabilidad del modelado estructural donde la prelosa fue incorporada y resultado económico global expresado mediante el cociente beneficio-costo.

4.1.3.1. Procesamiento del indicador participación de prelosas en el total de losas.

La dimensión VI-d3 fue operacionalizada mediante el indicador “Participación de prelosas en el total de losas (%)”. La regla de cálculo, consignada en la propia ficha, responde a una proporción de superficies:

$$\text{Participación de prelosas (\%)} = (\Sigma \text{ área con prelosas} / \Sigma \text{ área total de losa}) \times 100$$

La unidad de observación no fue una partida presupuestal ni una actividad de cronograma, sino cada nivel o paño donde se compararon dos magnitudes físicas: el área total de losa y el área ejecutada con prelosas. El bloque registró nueve unidades: semisótano y pisos 01 al 08. Cada una quedó identificada con un código PREL y con una observación uniforme relativa al cambio del sistema tradicional de losa hacia el sistema con prelosa. La ficha, por tanto, no mide una intención de industrialización, sino una superficie efectivamente atribuida a solución prefabricada dentro del edificio.

Fórmula principal:

$$P_{\text{prelosa}} (\%) = \frac{A_{\text{con prelosa}}}{A_{\text{total de losa}}} \times 100$$

Sustitución numérica:

$$P_{\text{prelosa}} (\%) = \frac{4,053.4979}{4,962.3128} \times 100$$

Resultado:

$$P_{\text{prelosa}} (\%) = 81.69\%$$

Fórmula auxiliar 1. Área sin prelosa

$$A_{\text{sin prelosa}} = A_{\text{total de losa}} - A_{\text{con prelosa}}$$

$$A_{\text{sin prelosa}} = 4,962.3128 - 4,053.4979$$

$$A_{\text{sin prelosa}} = 908.8149 \text{m}^2$$

Fórmula auxiliar 2. Porcentaje de área sin prelosa

$$P_{\text{sin prelosa}} (\%) = \frac{A_{\text{sin prelosa}}}{A_{\text{total de losa}}} \times 100$$

$$P_{\text{sin prelosa}} (\%) = \frac{908.8149}{4,962.3128} \times 100$$

$$P_{\text{sin prelosa}} (\%) = 18.31\%$$

Tabla 28

Participación de prelosas por nivel o paño en el Proyecto Alto Prada

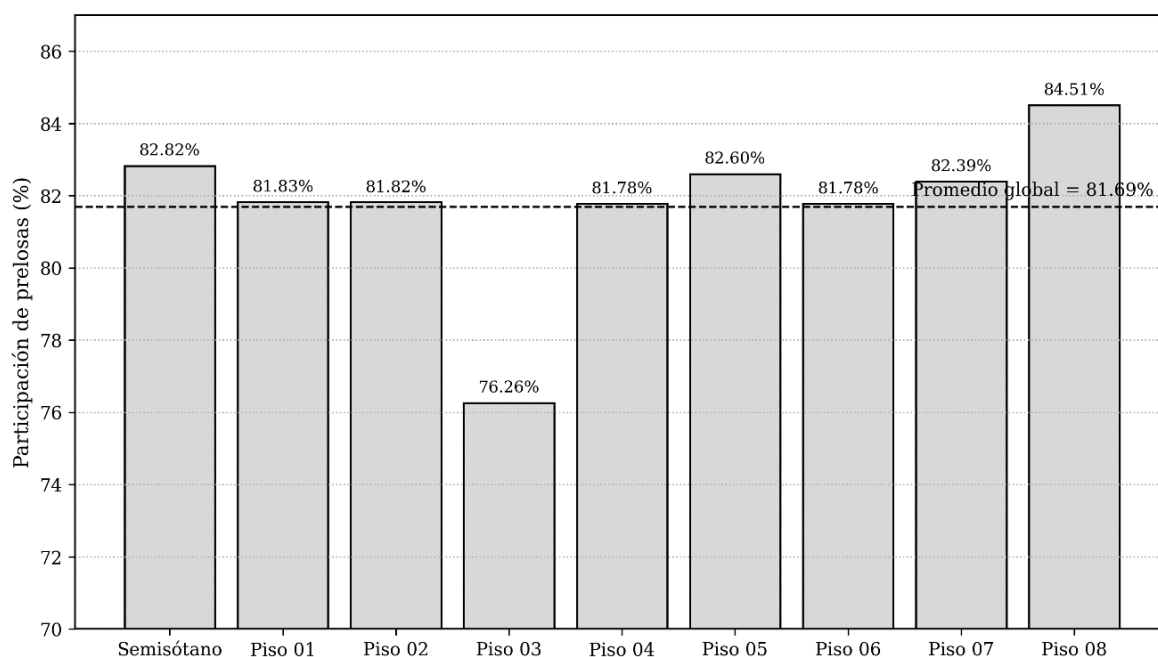
Proyecto	Código	Nivel/Paño	Área total de losa (m ²)	Área con prelosas (m ²)	Participación de prelosas (%)	Observación
Edificio Alto Prada	PREL- SEM01	Semisótano	545.9308	452.1268	82.82	Cambio del diseño de la losa tradicional a

Proyecto	Código	Nivel/Paño	Área total de losa (m²)	Área con prelasas (m²)	Participación de prelasas (%)	Observación
						prelosa en el nivel semisótano
Edificio Alto Prada	PREL- 001	Piso 01	567.2041	464.1208	81.83	Cambio del diseño de la losa tradicional a prelosa en el nivel piso 01
Edificio Alto Prada	PREL- 002	Piso 02	567.2228	464.1208	81.82	Cambio del diseño de la losa tradicional a prelosa en el nivel piso 02
Edificio Alto Prada	PREL- 003	Piso 03	566.0580	431.6582	76.26	Cambio del diseño de la losa tradicional a prelosa en el nivel piso 03
Edificio Alto Prada	PREL- 004	Piso 04	565.7556	462.6759	81.78	Cambio del diseño de la losa tradicional a prelosa en el nivel piso 04
Edificio Alto Prada	PREL- 005	Piso 05	565.9755	467.4813	82.60	Cambio del diseño de la losa

Proyecto	Código	Nivel/Paño	Área total de losa (m²)	Área con prelosas (m²)	Participación de prelosas (%)	Observación
						tradicional a prelosa en el nivel piso 05
Edificio Alto Prada	PREL- 006	Piso 06	565.7556	462.6759	81.78	Cambio del diseño de la losa
						tradicional a prelosa en el nivel piso 06
Edificio Alto Prada	PREL- 007	Piso 07	565.9755	466.2913	82.39	Cambio del diseño de la losa
						tradicional a prelosa en el nivel piso 07
Edificio Alto Prada	PREL- 008	Piso 08	452.4349	382.3469	84.51	Cambio del diseño de la losa
						tradicional a prelosa en el nivel piso 08
Total			4962.3128	4053.4979	81.69	

Figura 21

Participación de prelosas por nivel en el total de losas del Proyecto Alto Prada



Nota. Elaboración propia con base en la ficha de prefabricación de prelosas del ROE3.

El área total de losas comprendida en la ficha ascendió a **4,962.3128 m²**, mientras que el área ejecutada con prelosas alcanzó **4,053.4979 m²**. De ello resulta una participación global de **81.69%**. En términos complementarios, el área no resuelta mediante prelosa fue de **908.8149 m²**, equivalente a **18.31%** del total observado. Esta relación cuantitativa sitúa a la prefabricación en una condición de predominio físico dentro del sistema de losas analizado. No se trata de una aplicación puntual ni de un uso experimental restringido a pocos paños; la proporción observada indica que más de cuatro quintas partes del área total de losas fue ejecutada con prelosas.

4.1.3.2. Medidas descriptivas y estabilidad de la participación de prelosas. La participación global no agota la lectura del indicador. Resulta necesario examinar su dispersión interna para determinar si la prefabricación se concentró en zonas aisladas o si mantuvo una implantación relativamente estable a lo largo del edificio.

Formulas

Rango

$$R = P_{\max} - P_{\min}$$

$$R = 84.51 - 76.26$$

$$R = 8.25$$

Desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n-1}}$$

Su valor se muestra el valor en tabla

Tabla 29

Medidas descriptivas de la participación de prelosas

Medida descriptiva	Valor
Participación global ponderada (%)	81.69
Promedio simple por nivel (%)	81.75
Mediana (%)	81.83
Mínimo (%)	76.26
Nivel con menor participación	Piso 03
Máximo (%)	84.51
Nivel con mayor participación	Piso 08
Rango (puntos porcentuales)	8.25

Desviación estándar (p.p.)	2.24
----------------------------	------

Nota. Elaboración propia a partir de los datos de participación de prelosas por nivel.

La cercanía entre la participación global ponderada (**81.69%**), el promedio simple (**81.75%**) y la mediana (**81.83%**) muestra una distribución compacta, sin sesgo severo generado por un nivel extremo o por una superficie atípica. El mínimo se registró en **Piso 03**, con **76.26%**, y el máximo en **Piso 08**, con **84.51%**. La amplitud entre ambos extremos fue de **8.25 puntos porcentuales**, mientras que la desviación estándar alcanzó **2.24 puntos**. En conjunto, estos valores describen una participación alta y relativamente estable. La prefabricación no quedó confinada a niveles superiores ni a una sola franja del edificio; se mantuvo, con oscilaciones moderadas, a lo largo de las nueve unidades analizadas.

4.1.3.3. Jerarquización por nivel y comportamiento diferencial de la prefabricación. Para precisar la variación entre niveles, conviene incorporar el área sin prelosa y ordenar los registros según la participación observada.

Tabla 30

Área con prelosa, área sin prelosa y jerarquización por nivel

Nivel/Paño	Área total de losa (m ²)	Área con prelosas (m ²)	Área sin prelosas (m ²)	Participación (%)	Orden relativo
Piso 08	452.4349	382.3469	70.0880	84.51	1
Semisótano	545.9308	452.1268	93.8040	82.82	2
Piso 05	565.9755	467.4813	98.4942	82.60	3
Piso 07	565.9755	466.2913	99.6842	82.39	4
Piso 01	567.2041	464.1208	103.0833	81.83	5
Piso 02	567.2228	464.1208	103.1020	81.82	6
Piso 04	565.7556	462.6759	103.0797	81.78	7
Piso 06	565.7556	462.6759	103.0797	81.78	8
Piso 03	566.0580	431.6582	134.3998	76.26	9

Nota. Elaboración propia a partir de los datos de área por nivel.

La jerarquización permite distinguir tres franjas de comportamiento. La primera está compuesta por **Piso 08, semisótano, Piso 05 y Piso 07**, todos con participaciones superiores a **82.00%**. La segunda comprende **Piso 01, Piso 02, Piso 04 y Piso 06**, agrupados en un corredor muy estrecho entre **81.78%** y **81.83%**, lo que sugiere repetición geométrica y estandarización funcional del sistema. La tercera franja está representada por **Piso 03**, que conserva el menor porcentaje de prelosa y la mayor superficie sin resolver mediante este sistema. Sin embargo, aun este nivel mínimo mantiene predominio prefabricado, pues más de tres cuartas partes del área de losa fueron ejecutadas con prelosa. En consecuencia, la variación inter-nivel no desvirtúa la pauta dominante; solo revela que el grado de sustitución no fue milimétricamente uniforme.

La observación repetida en los nueve registros, referida al cambio del diseño de la losa tradicional hacia prelosa, también posee valor empírico. No funciona aquí como una fórmula vacía, sino como el descriptor sintético de la decisión técnica común a todo el bloque. La ficha no registra ajustes marginales de montaje. Registra una sustitución tipológica del sistema de losas en una proporción extensa del edificio.

4.1.3.4. Relación entre prefabricación y modelado 3D/coordinación. El objetivo específico 3 no se satisface con la cuantificación del metrado prefabricado. Exige, además, relacionar esa prefabricación con el modelado 3D y la coordinación. Esa relación no requiere crear una medición nueva, porque ya está documentada en el bloque OE1. Allí se estableció que la especialidad Estructura concentró 4 registros de modelado, equivalentes a 30.77% del total, y que dentro de esa secuencia se incorporó el registro MOD-07: ESTRUCTURAL PRELOSAS PROYECTO. REVISIÓN 01, correspondiente a la revisión estructural asociada al sistema de prelosas. El cruce entre ambos bloques permite sostener que la prelosa no ingresó como una decisión exógena al entorno BIM, sino como parte de una iteración estructural contenida en la propia secuencia documental del expediente.

Tabla 31

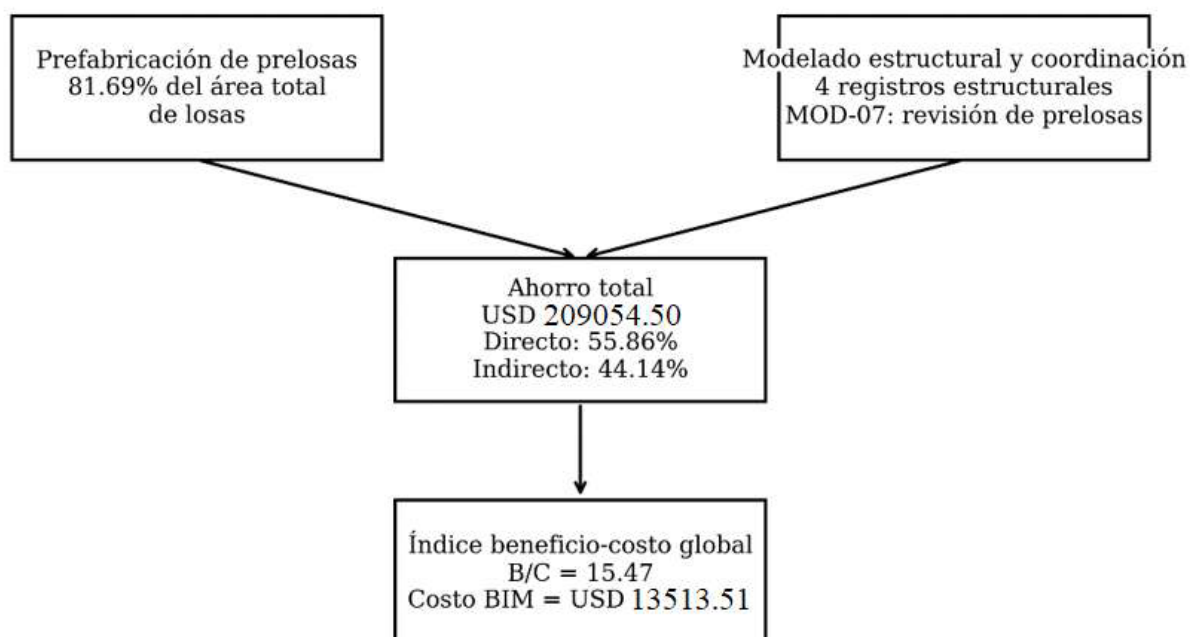
Vinculación entre modelado 3D/coordinación y prefabricación

Componente observado	Evidencia empírica	Resultado relevante
Modelado 3D de estructura	4 registros en OE1, equivalentes a 30.77% del total de modelado	La estructura fue la disciplina con mayor continuidad documental
Revisión estructural específica de prelosa	MOD-07: ESTRUCTURAL PRELOSAS PROYECTO. REVISIÓN 01	La prelosa fue incorporada dentro de la secuencia BIM del expediente
Participación física de prelosa	4053.4979 m ² con prelosa sobre 4962.3128 m ² totales	Participación global de 81.69%
Lectura integrada	Del modelo estructural revisado a la aplicación mayoritaria de prelosas	La prefabricación fue una solución estructural coordinada dentro del entorno BIM

Nota. Elaboración propia a partir de la evidencia documental y los resultados.

Figura 22

Integración entre prefabricación, modelado estructural y resultado beneficio-costo global



Nota. Elaboración propia a partir de los resultados del proyecto.

La secuencia resultante es técnicamente más precisa que una afirmación genérica de compatibilidad entre BIM y prefabricación. Primero se documentó una trayectoria de modelado estructural con revisiones sucesivas. Luego se registró una revisión estructural específicamente asociada a prelosas. Finalmente, la ficha de metrado confirmó que esa solución alcanzó una implantación física predominante en las losas del edificio. El vínculo exigido por el objetivo, por tanto, no queda enunciado de forma abstracta; queda reconstruido a partir de la trazabilidad documental del caso.

4.1.3.5. Determinación del beneficio económico total y del índice beneficio-costo global. La segunda ficha del bloque OE3 corresponde al Índice Beneficio-Costo (B/C). Su regla de cálculo, consignada en el instrumento, integra directamente los dos resultados económicos ya obtenidos en OE2:

$$\text{Ahorro total} = \text{Ahorro directo} + \text{Ahorro indirecto}$$

Fórmula principal:

$$A_T = A_{CD} + A_{CI}$$

Sustitución numérica:

$$A_T = 116,784.23 + 92,270.27$$

Resultado:

$$A_T = 209,054.50\text{USD}$$

$$B/C = \text{Ahorro total} / \text{Costo de implementación BIM}$$

Fórmula principal:

$$B / C = \frac{A_T}{C_{\text{BIM}}}$$

Sustitución numérica:

$$B / C = \frac{209,054.50}{13,513.51}$$

Resultado:

$$B / C = 15.47$$

Fórmula auxiliar 1. Participación del ahorro directo en el ahorro total

$$P_{A_{CD}} (\%) = \frac{A_{CD}}{A_T} \times 100\%$$

$$P_{A_{CD}} (\%) = \frac{116,784.23}{209,054.50} \times 100$$

$$P_{A_{CD}} (\%) = 55.86\%$$

Fórmula auxiliar 2. Participación del ahorro indirecto en el ahorro total

$$P_{A_{CI}} (\%) = \frac{A_{CI}}{A_T} \times 100$$

$$P_{A_{CI}} (\%) = \frac{92,270.27}{209,054.50} \times 100$$

$$P_{A_{CI}} (\%) = 44.14\%$$

Al sustituir los valores del caso se obtiene el siguiente resultado global.

Tabla 32

Cálculo principal del índice beneficio-costo global

Proyecto	Descripción	Ahorro directo (USD)	Ahorro indirecto (USD)	Ahorro total (USD)	Costo implementación BIM (USD)	B/C (adimensional)
Edificio Alto Prada	Presupuesto total general	116,784.23	92,270.27	209,054.50	13,513.51	15.47

Nota. Elaboración propia a partir de los ahorros y costos de implementación BIM.

El ahorro total del bloque ascendió a USD 209,054.50, integrado por USD 116,784.23 de ahorro directo y USD 92,270.27 de ahorro indirecto. Frente a un costo de implementación BIM de USD 13,513.51, el cociente global alcanzó 15.47. En términos estrictamente operativos, ello significa que por cada unidad monetaria considerada como inversión BIM en la ficha, el caso registra 15.47 unidades de ahorro total. Desde la propia lógica interna del instrumento, el resultado se ubica ampliamente por encima del umbral de equilibrio representado por $B/C = 1.00$.

Para precisar la estructura del beneficio económico total, corresponde separar la contribución relativa de cada componente.

Tabla 33

Composición del ahorro total utilizado en el B/C

Componente del beneficio	Valor (USD)	Participación en el ahorro total (%)
Ahorro directo	116,784.23	55.86
Ahorro indirecto	92,270.27	44.14
Ahorro total	209,054.50	100.00

Nota. Elaboración propia a partir de los componentes de ahorro total.

La composición interna muestra una ligera primacía del ahorro directo, que representa **55.86%** del beneficio total, frente a **44.14%** del ahorro indirecto. La conveniencia económica observada, sin embargo, no descansa en una sola fuente. Surge de la concurrencia entre reducción de costos directos y reducción del tiempo de permanencia de los costos indirectos de obra. Este equilibrio resulta coherente con el comportamiento técnico del caso: la adopción de prelosas modificó partidas y procesos de losas, y al mismo tiempo se articuló con un escenario observado de menor duración de ejecución.

4.1.3.6. Lecturas auxiliares del bloque OE3 y control de consistencia interna. La ficha OE3 incorpora, además del cálculo global, dos salidas auxiliares que conviene reportar con cautela metodológica. La primera es una lectura desagregada por mano de obra, materiales y equipo. La segunda es una matriz de relación complementaria que consigna una razón costo real / costo proyectado.

Tabla 34

Lectura auxiliar por componente económico del bloque OE3

Descripción	Ahorro directo (USD)	Ahorro indirecto (USD)	Ahorro total (USD)	Costo implementación BIM (USD)	B/C auxiliar
Mano de obra	No desagregado	No desagregado	20.46	No desagregado	0.81
Materiales	No desagregado	No desagregado	9.86	No desagregado	0.97

Descripción	Ahorro directo (USD)	Ahorro indirecto (USD)	Ahorro total (USD)	Costo implementación BIM (USD)	B/C auxiliar
Equipo	No desagregado	No desagregado	1.01	No desagregado	0.99

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados económicos del OE3.

Estos valores son útiles como lecturas auxiliares, pero no pueden tratarse como una descomposición estrictamente aditiva del B/C global. La razón es empírica: la versión 4 no desagrega el costo de implementación BIM por mano de obra, materiales y equipo con la misma estructura del cálculo principal. Por ello, metodológicamente corresponde conservarlos como salidas de apoyo para observar tendencias por componente, no como sustitutos del índice global. Bajo esa precaución, la ficha muestra valores auxiliares inferiores a la unidad en mano de obra (B/C = 0.81), materiales (B/C = 0.97) y equipo (B/C = 0.99). La lectura válida, entonces, no es que cada componente aislado reproduzca la rentabilidad global, sino que el resultado favorable aparece en la integración total del caso.

La segunda salida auxiliar aparece en la matriz de relación del bloque OE3.

Fórmulas:

$$R_{cb} = \frac{C_{\text{observado}}}{C_{\text{baseline}}}$$

$$R_{cb} = \frac{146,665.48}{263,449.71}$$

$$R_{cb} = 0.5567$$

Fórmula auxiliar derivada. Reducción directa implícita, es decir ahorro

$$R_{red} = 1 - R_{cb}$$

$$R_{red} = 1 - 0.5567$$

$$R_{red} = 0.4433$$

En porcentaje:

$$R_{red}(\%) = 0.4433 \times 100$$

$$R_{red}(\%) = 44.33\%$$

Tabla 35

Matriz de relación auxiliar del OE3

Proyecto	costo	Costo baseline (USD 2024)	Costo observado (USD 2024)	Δ costo (USD 2024)	Relación costo observado / costo baseline	% ahorro	Observaciones
Edificio Alto Prada	directo	\$263,449.71	\$146,665.48	\$116,784.23	0.56	44.33%	La implementación del BIM produjo un ahorro del 33% respecto de la programación inicial, y la relación B/C es 15.47, es decir el beneficio es 15.47 veces el costo de inversión en BIM
	indirecto	\$369,081.08	\$276,810.81	\$92,270.27	0.75	25.00%	
	Total	\$632,530.79	\$423,476.29	\$209,054.50	0.67	33.05%	

Nota. Elaboración propia a partir de los costos baseline y observados del proyecto.

La tabla presenta el contraste económico entre el escenario baseline y el escenario observado con implementación BIM en el Proyecto Alto Prada, ambos expresados en USD 2024. En los costos directos, el baseline ascendió a 263,449.71 USD, mientras que el costo observado fue 146,665.48 USD; por tanto, el ahorro directo alcanzó 116,784.23 USD, equivalente a una reducción de 44.33 %. La razón costo observado/costo baseline fue 0.56, lo que significa que el proyecto ejecutado con BIM conservó solo el 55.67 % del costo directo previsto en el escenario tradicional.

En los costos indirectos, el baseline fue 369,081.08 USD y el costo observado alcanzó 276,810.81 USD, generando un ahorro de 92,270.27 USD. Este resultado equivale a una reducción de 25.00 %, asociada principalmente a la disminución del plazo de ejecución

respecto de la programación inicial. La razón costo observado/costo baseline fue 0.75, lo que indica que los costos indirectos observados representaron el 75.00 % del escenario de referencia.

De manera agregada, el baseline total fue 632,530.79 USD y el costo observado total fue 423,476.29 USD. La diferencia económica total ascendió a 209,054.50 USD, equivalente a un ahorro global de 33.05 %. La razón total costo observado/costo baseline fue 0.67, lo que evidencia que el proyecto ejecutado bajo gestión BIM demandó el 66.95 % del costo previsto en el escenario tradicional, dejando una reducción acumulada de 33.05 %.

Debe precisarse que los valores 0.56, 0.75 y 0.67 no corresponden al índice beneficio-costo principal. Son razones auxiliares entre costo observado y costo baseline. Su función es mostrar qué proporción del costo proyectado se mantuvo después de la implementación BIM. El índice beneficio-costo global se calcula con otra lógica: divide el ahorro total obtenido entre el costo de implementación BIM. Bajo ese criterio, el ahorro total de 209,054.50 USD, frente a una inversión BIM de 13,513.51 USD, produce un B/C global de 15.47. Esto significa que por cada dólar invertido en la implementación BIM, el proyecto generó 15.47 dólares de ahorro económico verificable.

La implementación BIM permitió reducir el costo total del proyecto en 33.05 % respecto del escenario baseline. La relación costo observado/costo baseline fue 0.67, lo que indica que el proyecto conservó el 66.95 % del costo previsto y generó un ahorro acumulado de 209,054.50 USD. Este resultado no debe confundirse con el índice beneficio-costo global. El B/C principal fue 15.47, calculado como el ahorro total dividido entre el costo de implementación BIM.

4.1.3.7. Integración entre prefabricación, modelado 3D/coordinación e índice beneficio-costo global. La integración del objetivo específico 3 debe construirse a partir de tres registros empíricos ya expuestos en el bloque OE3. El primero corresponde a la magnitud física de la prefabricación, medida como participación de prelosas dentro del total de losas del edificio. El segundo corresponde a la trazabilidad documental del modelado estructural y de la coordinación, en particular la presencia del registro MOD-07: ESTRUCTURAL PRELOSAS PROYECTO. REVISIÓN 01 dentro de la secuencia del expediente BIM. El tercero corresponde al resultado económico global expresado mediante el índice beneficio-costo calculado con base en el ahorro total y el costo de implementación BIM. Esta articulación responde, además, a la propia formulación del objetivo e hipótesis específica 3, donde la relación a examinar se establece entre Prefabricación, Modelado 3D / Coordinación e Índice Beneficio-Costo global del Proyecto Alto Prada.

En el plano físico, la prefabricación alcanzó **4,053.4979 m²** de un total de **4,962.3128 m²** de losa, lo que equivale a una participación global de **81.69%**. Este valor no se concentra en un único tramo del edificio, sino que se distribuye a lo largo de nueve unidades de observación, desde semisótano hasta piso 08, con un mínimo de **76.26%** en piso 03 y un máximo de **84.51%** en piso 08. La diferencia entre extremos fue de **8.25 puntos porcentuales**, por lo que la participación de prelosas se mantuvo alta y relativamente estable en el conjunto del bloque analizado.

En el plano documental de coordinación, la relación con el modelado 3D queda delimitada por la secuencia del expediente BIM ya establecida en el objetivo específico 1. La especialidad **Estructura** concentró **4 registros de modelado**, equivalentes a **30.77%** del total de unidades MOD, y dentro de esa secuencia se incorporó de manera expresa el registro **MOD-07**, asociado a la revisión estructural de prelosas. La presencia de dicho registro dentro del itinerario documental del modelado muestra que la prefabricación no aparece en la tesis como

una decisión aislada del expediente BIM, sino como una solución contenida en la propia cadena de revisión estructural y coordinación digital del caso.

En el plano económico, el índice beneficio-costo global del bloque OE3 se calculó a partir de un ahorro directo de USD 116,784.23, un ahorro indirecto de USD 92,270.27, un ahorro total de USD 209,054.50 y un costo de implementación BIM de USD 13,513.51. La razón resultante fue $B/C = 15.47$. Dentro de la misma ficha, la composición del ahorro total mostró una participación de 55.86% para el ahorro directo y 44.14% para el ahorro indirecto. Adicionalmente, la matriz auxiliar del bloque consignó una relación costo observado / costo baseline = 0.5567, compatible con el diferencial directo ya registrado en el objetivo específico 2.

Bajo estos tres planos, la integración final del bloque puede expresarse sin exceder el régimen de resultados: el caso Alto Prada registra, simultáneamente, una adopción física predominante de prelosas, una incorporación documentada de dicha solución dentro de la secuencia del modelado estructural y un índice beneficio-costo global mayor que la unidad. La articulación observable no es entre categorías abstractas, sino entre magnitudes concretas del expediente: **81.69%** de participación de prelosas, **MOD-07** como registro de revisión estructural vinculada a prefabricación y **15.47** como cociente económico global del bloque.

Tabla 36

Integración del objetivo específico 3

Componente del bloque OE3				Evidencia registrada	Valor observado
Participación	física	de	la	Área con prelosas / área total de losas	81.69%
prefabricación					
Superficie total analizada				Área total de losas	4,962.3128 m ²
Superficie ejecutada con prelosas				Área con prelosas	4,053.4979 m ²

Componente del bloque OE3			Evidencia registrada	Valor observado
Núcleo documental de coordinación			Registros de estructura en OE1	4 registros
Registro estructural vinculado a prefabricación			MOD-07	1 registro específico
Ahorro directo			Diferencial baseline–observado	USD 116,784.23
Ahorro indirecto			Diferencial de indirectos por reducción de plazo	USD 92,270.27
Ahorro total			Suma de ahorro directo e indirecto	USD 209,054.50
Costo de implementación BIM			Ficha OE3 B/C	USD 13,513.51
Índice beneficio-costo global			Ahorro total / costo BIM	15.47
Relación auxiliar			Costo observado / costo baseline	0.5567

Nota. Elaboración propia a partir de la integración de los resultados del OE3.

La tabla integrada permite distinguir con mayor claridad la estructura interna del resultado. La prefabricación aporta el componente físico del bloque; el modelado estructural y su secuencia MOD aportan la trazabilidad documental de coordinación; y el índice B/C aporta la salida económica global. Los tres registros convergen en una misma unidad de estudio, el Proyecto Alto Prada, y permanecen alineados con la operacionalización definida para la investigación, donde la variable independiente incorpora **Modelado 3D**, **Interferencias** y **Prefabricación**, y la variable dependiente incorpora **Ahorro de costos directos**, **Ahorro de costos indirectos** e **Índice Beneficio-Costo global**.

Conviene, además, dejar delimitado el alcance exacto de esta integración. El bloque OE3 no registra un experimento ni una comparación entre múltiples obras; registra una relación observada al interior de un caso único, construida con metrados, registros de modelado y cálculos económicos del mismo proyecto. Por ello, la integración aquí presentada debe leerse como configuración empírica del caso y no como generalización estadística a otros edificios.

Esa cautela es consistente con la delimitación metodológica del estudio, que se define como **caso único, ex post facto**, con inferencia analítica y no muestral.

Bajo esta delimitación, el resultado integrado del objetivo específico 3 muestra que el Proyecto Alto Prada reunió, dentro del mismo expediente documental y económico, tres condiciones concurrentes: una prefabricación de prelosas con peso físico mayoritario, una incorporación explícita de dicha solución en la secuencia del modelado estructural y un índice beneficio-costos global positivo y elevado respecto del umbral de equilibrio. Esa concurrencia constituye el patrón empírico final del bloque OE3.

4.1.3.8. Síntesis de resultados del objetivo específico 3. Los resultados obtenidos para el objetivo específico 3 permiten establecer, en primer término, que la ficha de prefabricación registró 9 unidades de observación correspondientes a semisótano y pisos 01 al 08, con un área total de losas de 4,962.3128 m² y un área ejecutada con prelosas de 4,053.4979 m². La participación global de prelosas fue de 81.69%, mientras que el área no resuelta mediante este sistema ascendió a 908.8149 m², equivalente a 18.31% del total. La distribución por nivel mostró un mínimo de 76.26% en piso 03 y un máximo de 84.51% en piso 08.

En segundo término, el bloque de modelado 3D y coordinación aportó la evidencia documental necesaria para relacionar la prefabricación con el expediente BIM. La especialidad **Estructura** concentró **4 registros** dentro del objetivo específico 1 y, dentro de ellos, se consignó expresamente **MOD-07: ESTRUCTURAL PRELOSAS PROYECTO. REVISIÓN 01**, identificado como revisión estructural vinculada a prefabricación. Esta secuencia muestra que la prelosa quedó registrada dentro del circuito documental del modelado estructural del proyecto.

En tercer término, la ficha de índice beneficio-costos global mostró un ahorro directo de USD 116,784.23, un ahorro indirecto de USD 92,270.27, un ahorro total de USD 209,054.50

y un costo de implementación BIM de USD 13,513.51. A partir de esos valores, el cociente global obtenido fue $B/C = 15.47$. La composición interna del ahorro total reveló una participación de 55.86% para el ahorro directo y de 44.14% para el ahorro indirecto. La matriz auxiliar adicional registró una relación costo observado / costo baseline = 0.5567.

En cuarto término, la integración del bloque OE3 mostró que el caso analizado reúne de manera concurrente tres condiciones observables: **participación física predominante de prelosas, incorporación documentada de la solución dentro de la secuencia del modelado estructural e índice beneficio-costo global mayor que 1.00**. El resultado, en consecuencia, no quedó restringido a un solo tipo de evidencia; quedó compuesto por metrados de losa, registros MOD y cálculo económico global dentro de la misma unidad de estudio.

En síntesis, el objetivo específico 3 permitió relacionar, en el Proyecto Alto Prada, una participación de prelosas de 81.69%, una trazabilidad documental de coordinación estructural que incorpora la revisión MOD-07 y un índice beneficio-costo global de 15.47, construido sobre un ahorro total de USD 209,054.50 frente a un costo de implementación BIM de USD 13,513.51. Esa es la configuración empírica final que arroja el objetivo específico 3.

4.1.4. Contrastación de resultados con hipótesis y objetivos

4.1.4.1. Contrastación respecto a la hipótesis específica 1. “El modelado 3D implementado en la construcción del Proyecto Alto Prada se caracteriza por cobertura de especialidades modeladas, trazabilidad documental secuencial e integración de especialidades en el entorno BIM”.

La hipótesis específica 1 queda comprobada y el objetivo específico 1 queda alcanzado plenamente. La hipótesis específica 1 establece que el modelado 3D implementado en la construcción del Proyecto Alto Prada se caracteriza por cobertura de especialidades modeladas, trazabilidad documental secuencial e integración de especialidades en el entorno BIM. El

objetivo específico 1, por su parte, consiste en caracterizar el modelado 3D implementado en la construcción del mismo proyecto. Existe, por tanto, correspondencia directa entre hipótesis y objetivo: ambos se concentran en la cualificación empírica del modelado 3D como dimensión de la Gestión BIM y ambos se verifican mediante el mismo instrumento técnico, la ficha de Modelado 3D/Coordinación, organizada sobre el indicador de cobertura de especialidades modeladas y reforzada por la secuencia documental de los códigos MOD.

Los resultados del ROE1 confirman sin ambigüedad los tres componentes de la hipótesis. En primer lugar, la cobertura quedó acreditada con una aprobación de **13 registros sobre 13 planificados**, lo que equivale a **100.00%** del universo previsto. En segundo lugar, la trazabilidad documental quedó demostrada por la secuencia **MOD-01 a MOD-13**, la cual reconstruye de manera ordenada el proceso de modelado desde el levantamiento preliminar del lote hasta la incorporación de estructura, arquitectura, instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas, seguridad e instalaciones mecánicas. En tercer lugar, la integración de especialidades quedó verificada porque el expediente no registró una modelación fragmentaria, sino un entorno federado en el que cada disciplina fue incorporada en relación con las demás y con referencia documental identificable. La especialidad **Estructura** concentró la mayor continuidad de revisión, lo que confirma su papel como eje articulador del modelo, mientras que arquitectura e instalaciones quedaron progresivamente absorbidas dentro de la misma secuencia BIM.

El soporte empírico se fortalece todavía más cuando se examinan las observaciones técnicas asociadas al bloque. Los registros del modelado consignan decisiones concretas de coordinación y ajuste del expediente, entre ellas cambios estructurales vinculados a la grúa torre, refinamientos arquitectónicos y revisión de la solución de prelosas. Esto prueba que el modelado 3D no operó como simple representación geométrica del proyecto, sino como un sistema documental y técnico de revisión de decisiones. Bajo esa evidencia, la hipótesis

específica 1 queda comprobada porque el caso Alto Prada exhibió exactamente lo que el enunciado hipotético postuló: cobertura de especialidades modeladas, secuencia trazable de revisiones e integración disciplinaria dentro del entorno BIM. En consecuencia, el objetivo específico 1 queda alcanzado plenamente, ya que la investigación logró caracterizar el modelado 3D con base en registros verificables y no en apreciaciones generales.

4.1.4.2. Contrastación respecto a la hipótesis específica 2. “Las interferencias registradas en la construcción del Proyecto Alto Prada se relacionan con diferencias en el ahorro de costos directos y en el ahorro de costos indirectos obtenidos en la evaluación ex post del proyecto”.

La hipótesis específica 2 queda comprobada y el objetivo específico 2 queda alcanzado plenamente. La hipótesis específica 2 establece que las interferencias registradas en la construcción del Proyecto Alto Prada se relacionan con diferencias en el ahorro de costos directos y en el ahorro de costos indirectos obtenidos en la evaluación ex post del proyecto. El objetivo específico 2 consiste en comparar las interferencias con el ahorro de costos directos y con el ahorro de costos indirectos logrados en la construcción del Proyecto Alto Prada. La simetría lógica entre ambos enunciados es completa: la hipótesis introduce la relación y la diferencia entre componentes económicos; el objetivo exige la comparación empírica de esas mismas magnitudes. La variable independiente se expresa en la dimensión **Interferencias** y la variable dependiente en las dimensiones **Ahorro de costos directos** y **Ahorro de costos indirectos**, de acuerdo con la matriz de operacionalización aprobada.

Los resultados del ROE2 verifican esta hipótesis con claridad. El proyecto registró **19 interferencias** codificadas entre **INT 001 e INT 019**, distribuidas principalmente en sótanos y semisótano, con predominio de conflictos entre estructura, arquitectura, instalaciones y seguridad. La concentración espacial de los eventos en los niveles inferiores confirma que el proyecto enfrentó una complejidad coordinativa efectiva en las zonas de mayor densidad

técnica. Esa cartera documentada de incompatibilidades constituye el bloque empírico de partida del contraste. Paralelamente, el análisis económico mostró un ahorro de costos directos de **USD 116,784.23** y un ahorro de costos indirectos de **USD 92,270.27**, resultado este último de la reducción del plazo de obra de **24 a 18** meses. La comparación entre ambos componentes produjo un efecto económico acumulado de **USD 209,054.50**, con una participación de **55.86%** para el ahorro directo y de **44.14%** para el ahorro indirecto.

La hipótesis no exige identidad entre ambos tipos de ahorro; exige diferencias asociadas al bloque de interferencias registradas, y esas diferencias quedaron efectivamente demostradas. El ahorro directo presentó una magnitud superior al ahorro indirecto, mientras que ambos mantuvieron signo positivo y consistencia interna con la evidencia del caso. El valor explicativo del contraste radica precisamente en esa doble condición: el proyecto no solo documentó interferencias, sino que mostró que la resolución técnica del caso se tradujo en dos salidas económicas distintas, de diferente peso relativo, ambas favorables. En consecuencia, la hipótesis específica 2 queda comprobada porque las interferencias registradas se relacionaron con un comportamiento económico diferencial entre ahorro directo y ahorro indirecto. Del mismo modo, el objetivo específico 2 queda alcanzado plenamente, ya que la investigación comparó empíricamente el bloque técnico de interferencias con los dos componentes de ahorro financiero y demostró su articulación dentro del caso Alto Prada.

4.1.4.3. Contrastación respecto a la hipótesis específica 3. “La prefabricación y el modelado 3D y coordinación implementados en la construcción del Proyecto Alto Prada se relacionan positivamente con el índice beneficio-costos global obtenido en la evaluación ex post del proyecto”.

La hipótesis específica 3 queda comprobada y el objetivo específico 3 queda alcanzado plenamente. La hipótesis específica 3 establece que la prefabricación y el modelado 3D y coordinación implementados en la construcción del Proyecto Alto Prada se relacionan

positivamente con el índice beneficio-costo global obtenido en la evaluación ex post del proyecto. El objetivo específico 3 consiste en relacionar la prefabricación y el modelado 3D/coordinación con el índice beneficio-costo global obtenido en la construcción del Proyecto Alto Prada. La estructura lógica entre ambos enunciados es exacta: el objetivo plantea la relación analítica y la hipótesis anticipa el sentido positivo de esa relación. La verificación corresponde al bloque OE3, complementado con los resultados ya obtenidos en OE1 y OE2.

Los resultados del ROE3 comprueban los tres elementos de la hipótesis. En el plano físico, la ficha de prefabricación registró 4,053.4979 m² de área ejecutada con prelosas sobre un total de 4,962.3128 m², lo que equivale a una participación global de 81.69%. Esa participación fue alta en todos los niveles analizados y no descendió por debajo de 76.26%, de modo que la prefabricación quedó verificada como solución predominante y no como uso marginal. En el plano documental, la relación con el modelado 3D/coordinación quedó acreditada por la secuencia estructural del expediente BIM, en la que aparece de forma expresa el registro MOD-07: ESTRUCTURAL PRELOSAS PROYECTO. REVISIÓN 01. Ese registro demuestra que la prelosa no quedó fuera del sistema BIM, sino que fue incorporada dentro del modelado estructural y de la coordinación técnica del proyecto. En el plano económico, la ficha B/C mostró un ahorro total de USD 209,054.50, un costo de implementación BIM de USD 13,513.51 y un índice beneficio-costo global de 15.47.

La relación positiva postulada por la hipótesis queda, por tanto, plenamente confirmada. La prefabricación fue dominante en términos de superficie, el modelado estructural incorporó de manera explícita la revisión de prelosas y el resultado económico global del caso fue ampliamente favorable. No existe neutralidad ni ambivalencia en la evidencia: los tres componentes convergen en la misma dirección. En consecuencia, la hipótesis específica 3 queda comprobada y el objetivo específico 3 queda alcanzado plenamente, porque la tesis no solo midió la participación de la prefabricación ni solo calculó el B/C, sino que articuló ambos

resultados con la secuencia documentada de modelado y coordinación BIM del Proyecto Alto Prada.

4.1.4.4. Contrastación de la hipótesis general. “La implementación de la gestión BIM en la construcción del Proyecto Alto Prada se relaciona positivamente con la rentabilidad financiera del proyecto, expresada en ahorro de costos directos, ahorro de costos indirectos e índice beneficio-coste global”.

La hipótesis general queda comprobada y el objetivo general queda alcanzado plenamente. La hipótesis general establece que la implementación de la gestión BIM en la construcción del Proyecto Alto Prada se relaciona positivamente con la rentabilidad financiera del proyecto, expresada en ahorro de costos directos, ahorro de costos indirectos e índice beneficio-coste global. El objetivo general consiste en evaluar la rentabilidad de la implementación de la gestión BIM en la construcción del Proyecto Alto Prada mediante una evaluación ex post. Ambos enunciados guardan una correspondencia directa: el objetivo exige evaluar la rentabilidad y la hipótesis anticipa una relación positiva entre la variable independiente **Gestión BIM** y la variable dependiente **Rentabilidad financiera**. La matriz de operacionalización ratifica esta articulación al descomponer la Gestión BIM en modelado 3D, interferencias y prefabricación, y la Rentabilidad financiera en ahorro directo, ahorro indirecto e índice B/C.

La comprobación de la hipótesis general resulta de la convergencia de los tres objetivos específicos ya verificados. El primer bloque probó que el proyecto contó con modelado 3D aprobado en el **100.00%** del universo planificado, trazabilidad documental secuencial e integración de especialidades. El segundo bloque probó que el proyecto registró **19 interferencias** y, simultáneamente, generó un **ahorro de costos directos de USD 116,784.23** y un **ahorro de costos indirectos de USD 92,270.27**. El tercer bloque probó que la prefabricación mediante prelosas cubrió **81.69%** del área total de losas, quedó incorporada al

modelado estructural BIM y culminó en un **índice beneficio-costo global de 15.47**. Esta secuencia empírica recorre de manera íntegra la estructura de la hipótesis general: todas las dimensiones de la Gestión BIM fueron verificadas y todas las salidas de rentabilidad financiera fueron medidas con signo favorable.

En investigaciones de caso único ex post no se requiere prueba inferencial poblacional para validar la hipótesis general; se requiere consistencia plena entre hipótesis, indicadores, resultados y síntesis del caso. Esa consistencia ha quedado establecida. La Gestión BIM del Proyecto Alto Prada no se expresó como una abstracción tecnológica, sino como modelado coordinado, tratamiento de interferencias y prefabricación estructural; y la rentabilidad financiera no quedó como apreciación genérica, sino como ahorro directo, ahorro indirecto y B/C global. Por consiguiente, la hipótesis general queda comprobada porque la implementación de la gestión BIM se relacionó positivamente con la rentabilidad financiera del proyecto. En el mismo sentido, el objetivo general queda alcanzado plenamente, ya que la evaluación ex post demostró con indicadores concretos la conveniencia financiera de la implementación BIM en el caso estudiado.

4.1.4.5. Integración de hallazgos respecto del objetivo general. La integración de hallazgos confirma de manera definitiva que el objetivo general de la investigación queda plenamente verificado. La evaluación ex post del Proyecto Alto Prada demostró que la implementación de la gestión BIM se relacionó positivamente con la rentabilidad financiera del proyecto y que esa relación se manifestó de manera convergente en los tres objetivos específicos. El primer hallazgo integrado fue la consolidación de un entorno BIM documentado, secuencial e interdisciplinario, con cobertura aprobada total del modelado. El segundo hallazgo fue la coexistencia de una cartera técnica de 19 interferencias con un efecto económico acumulado de USD 209,054.50, distribuido entre ahorro directo e indirecto. El tercer hallazgo fue la implantación predominante de prelosas, con 81.69% del área total de losas y su articulación al modelado estructural y al B/C global de 15.47. La tesis, por tanto, no produjo resultados aislados; produjo una cadena verificatoria cerrada entre prácticas BIM y resultados financieros del caso.

Esta integración permite afirmar, además, un criterio de cierre plenamente válido en la lógica de la investigación: **al haber quedado comprobadas las hipótesis específicas 1, 2 y 3, queda también comprobada la hipótesis general.** Ese razonamiento es correcto en este estudio porque las hipótesis específicas no funcionan como bloques autónomos desconectados, sino como desarrollos parciales de las dimensiones que componen la hipótesis general. La Gestión BIM fue verificada a través de modelado, interferencias y prefabricación; la rentabilidad financiera fue verificada a través de ahorro directo, ahorro indirecto y B/C global. Una vez confirmados todos esos componentes, la comprobación de la hipótesis general no es una inferencia retórica, sino la consecuencia lógica de la estructura misma de la investigación.

En consecuencia, la integración final de hallazgos establece que el Proyecto Alto Prada constituye un caso empíricamente comprobado de relación positiva entre Gestión BIM y Rentabilidad financiera. El modelado 3D proporcionó soporte documental y coordinación; la

gestión de interferencias se articuló con ahorros de costos directos e indirectos; y la prefabricación, incorporada al modelado estructural, se vinculó con un índice beneficio-costo global favorable. La convergencia de estos hallazgos clausura el capítulo de contrastación con un resultado inequívoco: la hipótesis general queda comprobada, el objetivo general queda alcanzado plenamente y la tesis demuestra, dentro del caso estudiado, la conveniencia financiera de la implementación de la gestión BIM.

Tabla 37

Síntesis de contrastación de hipótesis y objetivos

Hipótesis / objetivo	Enunciado de contraste	Evidencia principal	Decisión
HE1 / OE1	El modelado 3D se caracteriza por cobertura, trazabilidad e integración disciplinaria	Cobertura aprobada 100.00%; 13 registros MOD; secuencia documental integrada	Comprobada / alcanzado
HE2 / OE2	Las interferencias registradas se relacionan con diferencias en ahorro directo e indirecto	19 interferencias; ahorro directo USD 116,784.23; ahorro indirecto USD 92,270.27	Comprobada / alcanzado
HE3 / OE3	La prefabricación y el modelado/coordinación se relacionan positivamente con el B/C global	Participación de prelosas 81.69%; MOD-07; B/C = 15.47	Comprobada / alcanzado
HG / OG	La implementación BIM se relaciona positivamente con la rentabilidad financiera del proyecto	Convergencia de OE1, OE2 y OE3; ahorro total USD 209,054.50; B/C favorable	Comprobada / alcanzado

Nota. Elaboración propia a partir de la contrastación de hipótesis y objetivos del proyecto.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Discusión de resultados del objetivo específico 1

Los resultados del objetivo específico 1 muestran que el modelado 3D del Proyecto Alto Prada alcanzó cobertura aprobada total sobre el universo planificado, con trece registros aprobados de trece previstos, aunque solo siete quedaron consignados como entregados, lo que revela una trazabilidad de entrega parcial y una trazabilidad de aprobación completa. Este patrón coincide parcialmente con lo expuesto por Yin et al. (2023), quienes sostienen que la utilidad del BIM no depende solo de la existencia del modelo, sino de la capacidad de consulta y explotación efectiva de su información; en el caso estudiado, la información sí fue suficiente para sostener una secuencia documental continua, pero la diferencia entre entrega y aprobación sugiere que el cierre administrativo del modelado fue más robusto que su registro operativo. A la vez, los hallazgos convergen con Yana-Castro et al. (2023), quienes observaron que la metodología BIM-VDC mejora la colaboración, reduce errores en documentación bidimensional y actualiza automáticamente cantidades y costos; en Alto Prada, la secuencia MOD-01 a MOD-13 confirma precisamente un proceso progresivo, interdisciplinario y coordinado, en el que estructura actuó como eje del entorno BIM y luego absorbió arquitectura, sanitarias, eléctricas, seguridad y mecánicas. Sin embargo, el caso matiza a Acuña et al. (2023), porque si bien reproduce la idea de que BIM fortalece la coordinación entre especialidades y el control integrado del proyecto, también evidencia que la madurez documental no fue homogénea entre disciplinas: sanitarias y el plano preliminar tuvieron continuidad completa entre entrega y aprobación, mientras arquitectura, INDECI e instalaciones mecánicas quedaron aprobadas sin entrega consignada. En consecuencia, el estudio no solo confirma HE1, sino que precisa su alcance: el modelado 3D sí se caracterizó por cobertura, secuencia e integración disciplinar, pero esa integración fue más sólida en la lógica del expediente aprobado que en la trazabilidad uniforme de entrega por especialidad.

5.2. Discusión de resultados del objetivo específico 2

El objetivo específico 2 mostró una configuración más compleja que la anticipada por la hipótesis, porque el proyecto registró diecinueve interferencias, predominantemente de severidad media, y ninguna calificó como interferencia crítica resuelta antes de obra bajo la regla restrictiva del indicador; no obstante, el mismo caso exhibió un ahorro directo de 116,784.23 dólares, un ahorro indirecto de 92,270.27 dólares y un efecto económico acumulado de 209,054.50 dólares. Este resultado coincide en su dirección con Abdulwahhab et al. (2022), quienes encontraron que BIM mejora la precisión en costos y cronogramas y reduce pérdidas asociadas a métodos manuales, ya que en Alto Prada la comparación baseline observado confirmó una contracción económica importante en partidas estructurales y en el plazo de ejecución. También converge con Peña et al. (2024), pues ellas documentaron reducción de costos, incremento de productividad y mejor coordinación interdisciplinaria; en el presente caso, el mayor ahorro se concentró en losas, encofrados, acero, bovedillas, viguetas y tarrajeos, precisamente donde la coordinación entre estructura, instalaciones y prefabricación era más exigente. Sin embargo, el estudio matiza la literatura optimista sobre clash detection anticipatorio, porque Viñan et al. (2025) sostienen que BIM mejora control de costos y tiempos mediante mejor planificación y reducción de desperdicios, mientras que aquí la evidencia muestra algo menos lineal: sí hubo beneficios económicos claros, pero no a partir de un portafolio de interferencias críticas cerradas ex ante, sino desde una cartera amplia de incompatibilidades medias gestionadas dentro de la dinámica del proyecto. Esa diferencia es metodológicamente relevante, porque indica que HE2 se confirma no por la vía ideal de interferencias críticas resueltas antes de obra, sino por la coexistencia empírica entre interferencias documentadas y reducciones sustantivas de costos directos e indirectos. El caso, por tanto, no contradice a los antecedentes; más bien los vuelve más precisos al mostrar que la

eficiencia financiera puede emerger incluso cuando la madurez de la gestión de interferencias no alcanza el umbral más alto previsto por el indicador.

5.3. Discusión de resultados del objetivo específico 3

Los resultados del objetivo específico 3 fueron los más concluyentes del estudio, porque la prefabricación mediante prelosas alcanzó 81.69 por ciento del área total de losas, quedó documentada dentro de la secuencia estructural del modelado BIM mediante la revisión MOD-07 y se asoció a un índice beneficio costo global de 15.47, calculado sobre un ahorro total de 209,054.50 dólares frente a un costo de implementación BIM de 13,513.51 dólares. Este hallazgo coincide con Alsofiani (2024), quien afirmó que la digitalización en infraestructura aporta ahorro de costo y tiempo, aunque su adopción tropieza con dudas sobre el valor empresarial; precisamente, el caso Alto Prada responde a esa objeción al mostrar una relación beneficio costo ampliamente favorable, difícil de interpretar como ganancia marginal. Asimismo, converge con Wang et al. (2024), quienes demostraron que la coordinación digital avanzada y los gemelos digitales cerrados mejoran productividad y reducen ineficiencias; en Alto Prada no hubo robots ni un sistema cerrado equivalente, pero sí una secuencia de revisión estructural que integró la prelosa al entorno BIM y luego la trasladó a una implantación física predominante, lo que sugiere un principio común: la ganancia económica aparece cuando la solución prefabricada deja de ser un añadido y se incorpora al núcleo coordinado del modelo. También coincide con Castañeda-Parra et al. (2021), quienes mostraron que BIM 5D mejora la transparencia económica y la previsión de flujos; en el presente estudio, el B/C de 15.47 y la relación auxiliar de costo observado sobre costo baseline de 0.5567 evidencian exactamente esa visibilidad financiera del efecto BIM. En consecuencia, HE3 queda robustecida no solo por el valor alto del B/C, sino por la convergencia de tres registros independientes: magnitud física de la prefabricación, trazabilidad estructural en el modelado y resultado económico global. El caso no solo confirma que prefabricación y coordinación BIM se relacionan positivamente con

el índice beneficio costo; muestra, además, que esa relación adquiere máxima fuerza cuando la prefabricación ocupa una proporción dominante del sistema estructural del edificio.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1 Se evaluó la rentabilidad de la implementación de la gestión BIM en la construcción del Proyecto Alto Prada mediante una evaluación ex post sobre la obra finalizada en 2024, y se determinó que la relación entre gestión BIM y rentabilidad financiera fue favorable dentro del caso estudiado. La evidencia mostró un entorno BIM con cobertura aprobada total del modelado, una cartera de 19 interferencias documentadas, una implantación de prelosas equivalente a 81.69 por ciento del área total de losas y un ahorro económico acumulado de 209,054.50 dólares, compuesto por 116,784.23 dólares de ahorro directo y 92,270.27 dólares de ahorro indirecto. Sobre esa base, el índice beneficio costo global alcanzó 15.47 veces el costo de la implementación del BIM, valor claramente superior al umbral de equilibrio. En consecuencia, la hipótesis general quedó comprobada y el objetivo general quedó plenamente alcanzado, al demostrarse la conveniencia financiera de la gestión BIM en el Proyecto Alto Prada.
- 6.2 Se caracterizó el modelado 3D implementado en la construcción del Proyecto Alto Prada y se estableció que su desempeño documental fue alto y secuencialmente consistente. La ficha correspondiente registró 13 códigos MOD, todos planificados y aprobados, lo que produjo una cobertura aprobada de 100.00 por ciento respecto del universo previsto. De ese total, 7 registros fueron consignados como entregados, equivalentes a 53.85 por ciento, lo que evidenció una diferencia entre trazabilidad de entrega y cierre aprobatorio, sin afectar la cobertura formal del indicador. La especialidad Estructura concentró 4 registros, seguida por arquitectura, instalaciones sanitarias e instalaciones eléctricas con 2 registros cada una, lo que mostró una integración interdisciplinaria progresiva. Asimismo, la secuencia de revisiones y observaciones confirmó que el modelado se utilizó para desarrollar, ajustar e integrar especialidades dentro del entorno BIM.

- 6.3 Se compararon las interferencias con el ahorro de costos directos y el ahorro de costos indirectos logrados en la construcción del Proyecto Alto Prada, y se verificó una relación favorable entre la cartera técnica documentada y los resultados económicos obtenidos. La ficha registró 19 interferencias distribuidas en sótanos, semisótano, pisos intermedios y azotea, con 17 casos de severidad media y 2 de severidad baja; por la regla estricta del indicador, no se registraron interferencias críticas resueltas antes de obra. Pese a ello, el análisis económico evidenció un ahorro directo de 116,784.23 dólares frente a un costo baseline de 263,449.71 dólares y un costo observado de 146,665.48 dólares. A su vez, la reducción del plazo de 24 a 18 meses generó un ahorro indirecto de 92,270.27 dólares. En conjunto, el efecto económico acumulado alcanzó 209,054.50 dólares, por lo que el objetivo específico 2 fue alcanzado.
- 6.4 Se relacionó la prefabricación y el modelado 3D y coordinación con el índice beneficio costo global obtenido en la construcción del Proyecto Alto Prada, y se determinó una asociación positiva y empíricamente consistente. La prefabricación mediante prelosas cubrió 4,053.4979 metros cuadrados de un total de 4,962.3128 metros cuadrados de losa, lo que representó una participación de 81.69 por ciento y confirmó un predominio físico del sistema prefabricado. Esta solución quedó vinculada al modelado estructural mediante el registro MOD-07, que documentó la revisión específica de prelosas dentro de la secuencia BIM del proyecto. En el plano económico, el ahorro total ascendió a 209,054.50 dólares frente a un costo de implementación BIM de 13,513.51 dólares, produciendo un índice beneficio costo global de 15.47. En consecuencia el objetivo específico 3 fue alcanzado, al demostrarse que la prefabricación coordinada dentro del entorno BIM se vinculó con una rentabilidad claramente favorable.

VII. RECOMENDACIONES

- 7.1 Se recomienda a las empresas constructoras, gerencias de proyectos y promotores inmobiliarios que incorporen la gestión BIM como práctica obligatoria desde la fase de diseño hasta la evaluación ex post, formalizando presupuestos de implementación, indicadores de ahorro directo e indirecto y seguimiento del índice beneficio costo en obras multifamiliares de mediana y alta complejidad. Asimismo, se sugiere a los futuros investigadores ampliar esta evaluación a otros proyectos edificatorios y comparar resultados entre distintos niveles de madurez BIM, a fin de precisar la estabilidad financiera del modelo en diferentes contextos constructivos.
- 7.2 Se recomienda a las oficinas técnicas, coordinadores BIM y responsables de especialidades estructurales, arquitectónicas y de instalaciones que estandaricen la trazabilidad del modelado 3D mediante protocolos únicos de planificación, entrega, revisión y aprobación por disciplina, con registros homogéneos que eviten diferencias documentales entre entrega efectiva y cierre aprobatorio. Del mismo modo, se sugiere a los futuros investigadores profundizar en la calidad de la trazabilidad del modelo, incorporando variables como oportunidad de actualización, completitud documental y consistencia entre revisiones, para determinar cómo esas condiciones afectan la coordinación interdisciplinaria y el desempeño técnico del proyecto.
- 7.3 Se recomienda a los jefes de obra, coordinadores de producción y especialistas BIM que implementen un sistema de gestión de interferencias vinculado directamente con el control de costos y plazos, de modo que cada incompatibilidad detectada pueda asociarse a decisiones correctivas, retrabajos evitados y variaciones económicas verificables. Asimismo, se exhorta a los futuros investigadores a replicar este análisis en otros edificios multifamiliares, comparando proyectos con distinta severidad de interferencias y diferentes momentos de resolución, para precisar en qué medida la

gestión temprana de incompatibilidades incrementa el ahorro directo y reduce los costos indirectos de obra.

- 7.4 Se recomienda a las empresas constructoras, calculistas estructurales y responsables de planeamiento que evalúen la adopción de prelosas integradas al modelado 3D y a la coordinación BIM en proyectos con geometrías repetitivas y alta concentración de losas, dado que esta solución mostró predominio físico y una relación beneficio costo ampliamente favorable. En el plano académico, se sugiere a los futuros investigadores contrastar este resultado en edificios de distinta altura, sistema estructural o escala económica, incorporando análisis de sensibilidad del costo de implementación BIM y del grado de participación de prefabricación para verificar la consistencia del índice beneficio costo en otros escenarios.

VIII. REFERENCIAS

- Abdulwahhab, R., Naimi, S., & Abdullah, R. (2022). Managing cost and schedule evaluation of a construction project via BIM technology and experts' points of view. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 9(6), 1515-1522. <https://doi.org/10.18280/mmep.090611>
- Acuña, L. A., Molina, R. I., Valdés, M. G., & Acevedo, S. A. (2023). Impacto de la metodología BIM en la gestión de proyectos de construcción. *Tecnología en Marcha*, 36(7), 66–77. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i7.6860>
- Alsofiani, M. (2024). *Digitalization in infrastructure construction projects: A PRISMA-based review of benefits and obstacles* [Preprint]. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.16875>
- Ashcraft, H. (2008). Building information modeling: A framework for collaboration. *Construction Lawyer*, 28, (3), 5–15.
- Azhar, S. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241-252. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- Babbie, E. (2016). *The practice of social research* (14.^a ed.). Cengage Learning.
- Baca, G. (2022). *Evaluación de proyectos* (7.^a ed.). McGraw-Hill.
- Barlish, K., & Sullivan, K. (2012). How to measure the benefits of BIM—A case study approach. *Automation in Construction*, 24, 149-159. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.02.008>.

- Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2013). The project benefits of building information modelling (BIM). *International Journal of Project Management*, 31(7), 971-980. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001>
- Castañeda-Parra, K. M., Sánchez-Rivera, O. G., & Porras-Díaz, H. (2021). Planificación del flujo de caja de proyectos de construcción basada en BIM y dinámica de sistemas. *Entramado*, 17(1), 272–288. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.6305>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5.^a ed.). SAGE Publications.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors* (2.^a ed.). John Wiley & Sons.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors and facility managers* (3.^a ed.). John Wiley & Sons.
- Eichler, C. C., Schranz, C., Krischmann, T., Urban, H., Hopferwieser, M., & Fischer, S. (2024). *BIMcert handbook: Basic knowledge openBIM*. Mironde-Verlag.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Hernández Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista, P. (2018). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill.
- Holzer, D. (2016). *The BIM manager's handbook: Guidance for professionals in architecture, engineering, and construction*. John Wiley & Sons.

- International Organization for Standardization. (2018). *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Part 1: Concepts and principles* (Norma ISO 19650-1). <https://www.iso.org/standard/68078.html>
- Jaillon, L., & Poon, C. S. (2009). The evolution of prefabricated residential building systems in Hong Kong: A review of the public and the private sector. *Automation in Construction*, 18(3), 239–248. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.09.002>
- Kerlinger, F. N., & Lee, H. B. (2000). *Foundations of behavioral research* (4.^a ed.). Wadsworth/Thomson Learning.
- Ministerio de Economía y Finanzas del Perú. (2019). *Plan Nacional de Infraestructura para la Competitividad: PNIC 2019*. <https://apam-peru.com/wp-content/uploads/2019/07/Plan-Nacional-de-Infraestructura.pdf>
- Park, C. (2016). *Contemporary engineering economics* (6.^a ed.). Pearson. https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781292109107_A26648360/preview-9781292109107_A26648360.pdf
- Peña, P. V. D., & Andrade, Á. M. C. (2024). Análisis de la implementación de la metodología BIM: Estudios de caso de proyectos de construcción. *CITAS: Ciencia, Innovación, Tecnología, Ambiente y Sociedad*, 10(2), 1–18. <https://revistas.usantotomas.edu.co/index.php/citas/article/view/10133>
- Pincay, G. M. I., Chavéz, E. J. Q., Alcívar, J. A. C., & Calle, V. A. L. (2025). Gestión de riesgos en planificación de obras civiles: Mitigación de retrasos y sobre costos en construcción, un análisis textual discursivo. *Revista Ingenio Global*, 4(1), 160-174. <https://doi.org/10.62943/rig.v4n1.2025.203>

- Sapag Chain, N., & Sapag Chain, R. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos* (6.^a ed.). McGraw-Hill.
- Shadish, W. R., Cook, T. D., & Campbell, D. T. (2002). *Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference*. Houghton Mifflin.
- Sullivan, W. G., Wicks, E. M., & Koelling, C. P. (2015). *Engineering economy* (16.^a ed.). Pearson.
- Tommelein, I. D., & Gholami, S. (2012). Root causes of clashes in building information models. *Proceedings of the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 1–12). International Group for Lean Construction. <https://iglc.net/papers/Details/850>
- Vega, S. (2021). *Evaluación financiera de proyectos* [Material didáctico]. Instituto Centroamericano de Administración Pública. https://campusvirtual.icap.ac.cr/pluginfile.php/229069/mod_resource/content/1/Lectura%205%20Evaluaci%C3%B3n%20Financiera.pdf
- Viñan, C. M. L., Baloy, V. M. P., Bravo, G. M. V., & Calle, V. A. L. (2025). Uso de modelos BIM en la planificación de obras civiles: Un análisis textual discursivo de artículos de investigación. *Revista Ingenio Global*, 4(1), 175–189. <https://doi.org/10.62943/rig.v4n1.2025.209>
- Wang, X., Love, P. E., Kim, M. J., Park, C. S., Sing, C. P., & Hou, L. (2013). A conceptual framework for integrating building information modeling with augmented reality. *Automation in Construction*, 34, 37-44. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.012>
- Wang, X., Yu, H., McGee, W., Menassa, C. C., & Kamat, V. R. (2024). Enabling building information model-driven human-robot collaborative construction workflows with

- closed-loop digital twins. *Computers in Industry*, 161, Artículo 104112.
<https://doi.org/10.1016/j.compind.2024.104112>
- Yana-Castro, A. S., & Yoctún-Ríos, R. R. (2023). Evaluación del flujo de trabajo en la fase de diseño a través del uso de la metodología BIM-VDC aplicado en una edificación multifamiliar en Lima. *Informes de la Construcción*, 75(570), Artículo e490.
<https://doi.org/10.3989/ic.6181>
- Ye, Z., Antwi-Afari, M. F., Tezel, A., & Manu, P. (2025). Building information modeling (BIM) in project management: A bibliometric and science mapping review. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 32(5), 3078–3103.
<https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2023-0355>
- Yin, M., Tang, L., Webster, C., Xu, S., Li, X., & Ying, H. (2023). An ontology-aided, natural language-based approach for multi-constraint BIM model querying. *Journal of Building Engineering*, 76, Artículo 107066.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.15116>
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6.^a ed.). SAGE Publications.

IX. ANEXOS

ANEXO A. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 38

Matriz de consistencia de la investigación

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL
PG: ¿En qué medida la Gestión BIM influye en la Rentabilidad financiera en del Proyecto Alto Prada, Magdalena del Mar, 2024?	OG: Evaluar la rentabilidad de la implementación de la gestión BIM en la construcción del proyecto Alto Prada, Magdalena del Mar, 2026.	HG. La Gestión BIM influye en la Rentabilidad de la construcción del Proyecto Alto Prada, Magdalena del Mar, 2026.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS
PE1. ¿Cómo se caracteriza el Modelado 3D / Coordinación implementado en la construcción del Proyecto Alto Prada, Magdalena del Mar, 2024?	OE1: Caracterizar el Modelado 3D implementados en la construcción del Proyecto Alto Prada en sus diversas etapas.	HE1. El Modelado 3D / Coordinación implementado en la construcción del Proyecto Alto Prada, Magdalena del Mar, 2026 presenta características definidas de la gestión BIM en sus diversas etapas. (Opcional porque es una hipótesis de trabajo con una variable)
PE2. ¿En qué medida las Interferencias se relacionan con el ahorro de costos directos y el ahorro de costos indirectos obtenidos en la construcción del Proyecto Alto Prada, Magdalena del Mar, 2024?	OE2: Comparar las Interferencias con el Ahorro de costos directos y el Ahorro de costos indirectos logrados en la construcción del Proyecto Alto Prada.	HE2. Existen diferencias en el ahorro de costos directos y el ahorro de costos indirectos según el nivel de interferencias registradas en la construcción del Proyecto Alto Prada, Magdalena del Mar, 2026.
PE3. ¿En qué medida se relacionan la Prefabricación y el Modelado 3D / Coordinación con el índice Beneficio-Costo global obtenido en la construcción del Proyecto Alto Prada, Magdalena del Mar, 2024?	OE3: Relacionar la Prefabricación y el Modelado 3D / Coordinación con el Índice Beneficio-Costo global obtenido en la construcción del Proyecto Alto Prada.	HE3. La combinación de prefabricación y modelado 3D / coordinación se relaciona con el índice Beneficio-Costo global obtenido en la construcción del Proyecto Alto Prada, Magdalena del Mar, 2026.

ANEXO B. MATRIZ DE OPERACIONAL

Tabla 39

Matriz de operacionalización de variables de la investigación

Tipo	Definición conceptual	Definición operativa	Dimensión	Indicador	Unidad	Escala	Técnica	Instrumento de investigación
Variable independiente (Gestión BIM)	Conjunto articulado de prácticas de modelado digital y coordinación interdisciplinaria orientadas a anticipar conflictos, optimizar secuencias y sustentar decisiones (modelado 3D, gestión de interferencias y prefabricación).	Condición observable ex post del proyecto ya culminado a partir de evidencia documental (modelos 3D, reportes de coordinación, registros de interferencias y alcance de prefabricación).	D1. Modelado 3D	Cobertura de especialidades modeladas	Porcentaje (%)	Razón (0–100)	Revisión y auditoría documental; cotejo de especialidades; tabulación porcentual estandarizada	Ficha de verificación de especialidades modeladas (tabla de cotejo: listado de especialidades vs. modelos 3D entregados/aceptados)
			D2. Interferencias	Recuento de interferencias críticas resueltas antes de obra	Recuento (n)	Razón (0,1,2, ...)	Análisis de reportes de coordinación; filtrado por severidad; conteo consolidado	Registro consolidado de interferencias críticas (tabla de cierre de clashes por severidad y estado)
			D3. Prefabricación	Participación de prelosas en el total de losas	Porcentaje (%)	Razón (0–100)	Revisión de metrados y valorizaciones; cálculo de proporciones de área	Cuadro de metrado de losas y prelosas (m²) (resumen por niveles y tipología de losa)

Tipo	Definición conceptual	Definición operativa	Dimensión	Indicador	Unidad	Escala	Técnica	Instrumento de investigación
Variable dependiente (Rentabilidad financiera)	Resultado económico atribuible a eficiencias de costo frente a un manejo tradicional; se centra en ahorro de costos directos e indirectos y en la conveniencia económica global (B/C) de la adopción BIM.	Relación observable ex post entre costos reales del proyecto y un baseline reconstruido homogéneo del mismo año, expresada como Δ costo directo, % ahorro de indirectos y B/C.	D1. Ahorro de costos directos (Δ costo USD)	Δ costo directo	USD constantes 2024	Razón (≥ 0)	Comparación documental baseline–observado; homologación monetaria; diferencia por partidas	Ficha comparativa de costos directos (tabla baseline vs. observado por partidas y total)
			D2. Ahorro de costos indirectos (% ahorro sobre baseline)	% ahorro de indirectos	Porcentaje (%)	Razón (0–100)	Lectura de cronogramas y gastos indirectos; cálculo porcentual de reducción	Cuadro de gastos indirectos por mes (tabla baseline vs. observado; consolidado y % de reducción)
			D3. Índice Beneficio–Costo global (B/C)	B/C	Adimensional	Razón (≥ 0)	Síntesis de ahorros directos+indirectos y costo de implementación; cociente B/C	Hoja resumen de cálculo B/C (tabla: ahorro total [directo + indirecto] y costo de implementación BIM)

ANEXO C. HOJAS DE CÁLCULO

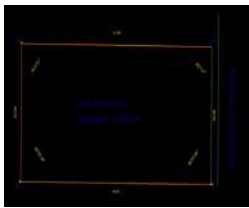
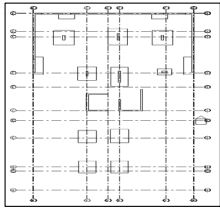
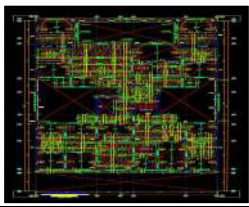
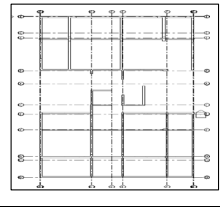
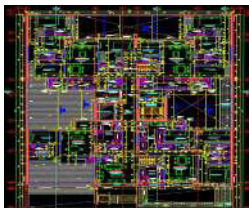
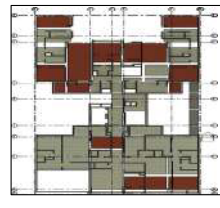
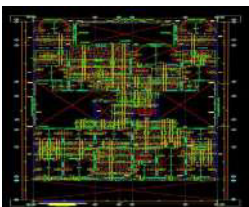
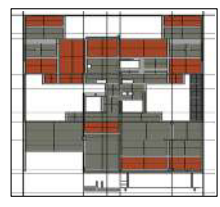
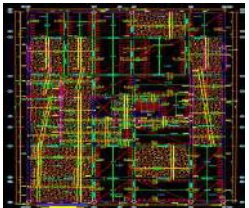
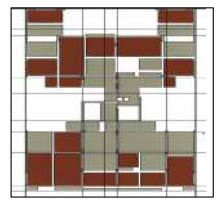
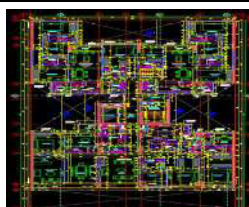
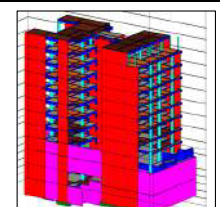
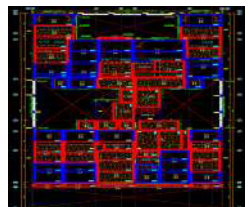
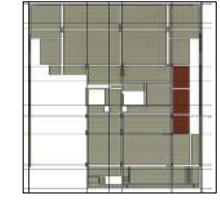
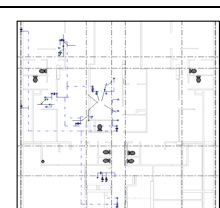
Ficha – OE1: Modelado 3D / Coordinación

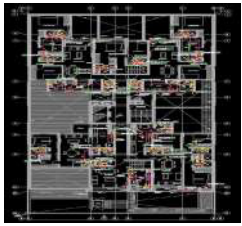
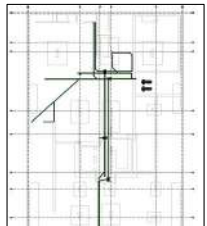
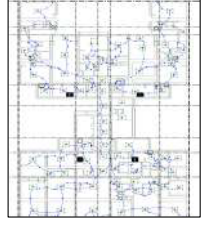
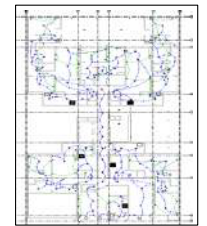
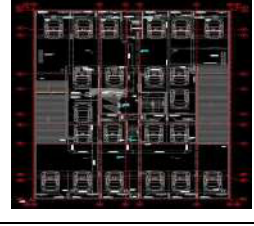
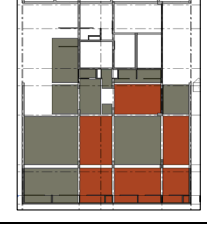
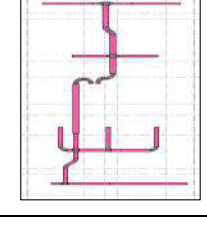
Memoria Descriptiva del edificio
Plano o esquema de planta del edificio (este es el plano o esquema que se a utilizado)
Indicador (VI-d1): Cobertura de especialidades modeladas (%).

Proyecto	CODIGO	Especialidad (Arquitectura/Estructuras/Sanitarias/Eléctricas/MEP/OTRA)	Planificado (Sí/No)	Modelado 3D entregado (Sí/No)	Aprobado (Sí/No)	Fecha de aceptación (DD/MM/AAAA)	Observaciones
Edificio Alto Prada	MOD - 01	Plano Preliminar	Si	Si	Si	2025	Se realizo el levantamiento de medidas del lote inicialmente, para poder el diseño de las demas especialidades
Edificio Alto Prada	MOD - 02	Estructura	Si	Si	Si	2025	Se elaboro el primer modelado de la Especialidad de Estructuras del archivo Autocad que lleva el nombre de Estructuras - Edificio Multifamiliar A.P -1° REVISIÓN, por lo cual según plano de detalle de zapata, detalle de vigas y placas se pudo modelar.
Edificio Alto Prada	MOD - 03	Arquitectura	Si	No	Si	2025	Se realizo el primer modelado de la Especialidad de Arquitectura del archivo Autocad que lleva como nombre, Plano ALTO PRADA-PROYECTO-1° REVISIÓN, se tiene como base el modelado en estructuras
Edificio Alto Prada	MOD - 04	Estructura	Si	Si	Si	2025	Se realizaron modificaciones al plano de estructuras por lo tanto se modelo usando el plano Estructuras - Edificio Multifamiliar A.P -2° REVISIÓN
Edificio Alto Prada	MOD - 05	Estructura	Si	No	Si	2025	La Grúa torre está instalada en una esquina entre los ejes 10-11 Y B-C, este paño en el sótano 2 está diseñada con losa aligerada por lo tanto en la plano Estructuras - Edificio Multifamiliar A.P -3° REVISIÓN se modifico el paño a losa aligerada
Edificio Alto Prada	MOD - 06	Arquitectura	Si	No	Si	2025	Se realizo las ultimas modificaciones del baño por el departamento 301 del plano autocad ALTO PRADA-PROYECTO-1° REVISIÓN-2.
Edificio Alto Prada	MOD - 07	Estructura	Si	Si	Si	2025	Se modifico los diseños de la losas en sotanos y los niveles supervision por lo tanto se tomo el dibujo de autocad ESTRUCTURAL PRELOSOS PROYECTO. REVISION 01 para las modificaciones correspondientes
Edificio Alto Prada	MOD - 08	Instalaciones Sanitarias	Si	Si	Si	2025	Se modelo en Revit el plano de instalaciones Sanitarias - Agua por lo que se uso el plano de Autocad - AP IISS Agua-Rev01
Edificio Alto Prada	MOD - 09	Instalaciones Sanitarias	Si	Si	Si	2025	Se modelo en Revit el plano de instalaciones Sanitarias - Agua por lo que se uso el plano de Autocad - AP IISS Desague -Rev01
Edificio Alto Prada	MOD - 10	Instalaciones Electricas	Si	Si	Si	2025	Se modelo en Revit el plano de instalaciones Sanitarias - Agua por lo que se uso el plano de Autocad - GDCO-EP-IE 05@14 Alumbrado_Rev1
Edificio Alto Prada	MOD - 11	Instalaciones Electricas	Si	No	Si	2025	Se modelo en Revit el plano de instalaciones Electricas por lo que se uso el plano de Autocad GDCO-EP-IE 15@24 Tomacorriente_Rev1
Edificio Alto Prada	MOD - 12	INDECI	Si	No	Si	2025	Se modelo en Revit el plano de INDECI por lo que se uso el plano de Autocad ALTO PRADA-PROYECTO-INDECI-1°REVISIÓN
Edificio Alto Prada	MOD - 13	Instalaciones Mecanicas	Si	No	Si	2025	Se modelo en Revit el plano de instalaciones Mecanicas por lo que se uso el plano de Autocad ALTO PRADA_IM_DUCTERIA

Resumen (al pie): Cobertura (%) = (N.º especialidades aprobadas / N.º especialidades planificadas) × 100.

El orden de prioridad fue de acuerdo desde la especialidad de estructuras, arquitectura, sanitarias y electricas (gemelo digital) Fotos del modelo BIM, Captura de pantalla Poner reporte del revit. Colocar Fotos, numero de elementos, captura de pantalla

CODIGO	MOD - 01	Plano Preliminar		Plano Preliminar	
CODIGO	MOD - 02	Estructuras - Edificio Multifamiliar A.P -1° REVISIÓN		Plano de Estructuras modelado en BIM	
CODIGO	MOD - 03	NOMBRE - REFERENCIA A CADA UNO DE LAS INTERFERENCIAS		Plano de Arquitectura modelado en BIM	
CODIGO	MOD - 04	Estructuras - Edificio Multifamiliar A.P -2° REVISIÓN		Plano de Estructuras modelado en BIM	
CODIGO	MOD - 05	plano Estructuras - Edificio Multifamiliar A.P -3° REVISIÓN		Plano de Estructuras modelado en BIM	
CODIGO	MOD - 06	ALTO PRADA-PROYECTO 1° REVISIÓN-2		Plano de Estructuras modelado en BIM	
CODIGO	MOD - 07	ESTRUCTURAL PRELOSAS PROYECTO. REVISION 01		Plano de Estructuras modelado en BIM	
CODIGO	MOD - 08	AP IISS Agua-Rev01		Plano de Estructuras modelado en BIM	

C O D I G O	MOD - 09	AP IISS Desague -Rev01		Plano de Estructuras modelado en BIM	
C O D I G O	MOD - 10	GDCO-EP-IE 05@14 Alumbrado_Rev1		Plano de Estructuras modelado en BIM	
C O D I G O	MOD - 11	GDCO-EP-IE 15@24 Tomacorriente_Rev1		Plano de Estructuras modelado en BIM	
C O D I G O	MOD - 12	ALTO PRADA-PROYECTO INDECI-1ª REVISIÓN		Plano de Estructuras modelado en BIM	
C O D I G O	MOD - 13	ALTO PRADA_IM_DUCTERIA		Plano de Estructuras modelado en BIM	

Ficha – OE2: Interferencias

Indicador (VI-d2): Recuento de interferencias críticas resueltas antes de obra (n)

Proyecto	ID Clash/RFI	CODIGO	Disciplina A	Disciplina B	Ubicación (Nivel/Eje/Zona)	Severidad (Alta/Media/Baja)	Estado de cierre (Resuelta antes de obra / Otro)	Fecha de cierre (DD/MM/AA AA)	Observaciones
Edificio Alto Prada	Construccion de Muro	INT 001	Estructuras	Instalaciones de Desague	Eje de cimienta con tubos de desague Se encuentra en el Sotano 03 de los Eje E-E entre los ejes 7-7- y eje 8-8	Baja	No fue resuelta antes de la obra pero si se hizo durante la ejecucion del proyecto	2025	Estructura de Cimentacion con las Instalaciones de Desague (Sotano 03 de los Eje E-E entre los ejes 7-7- y eje 8-8, se a decidido reubicar la tubería para que no se encuentra con la zapata de cimentacion
Edificio Alto Prada	Plano de Pre losa	INT 002	Losa Maciza	IIEE IE-26	Eje de pre-losa con puntos de luz Se encuentra en semisotano de los Eje C-C EJE F-F entre los ejes 5-5 y eje 6-6	baja	Se a considerado pases de punto de luz pero eran pases de dicroicos en la losas prefabricadas	2025	El diseño de la Prelosa que corresponde al plano de Estructuras a sido modificado por lo tanto el plano de Instalaciones Electricas tuvo modificaciones e incompatibilidad en campo, por lo tanto en la ejecucion se tuvo de subsanar las observaciones y generar mayor costo
Edificio Alto Prada	Construccion de losa aligerada	INT 003	Pre-Losa	Instalaciones de Desague	Eje de pre-losa con tubos de desague Se encuentra en el Piso 07 de los Eje B-B EJE D-D entre los ejes 5-5 y eje 6-6	Media	Existe bastante desarrollo de la tubería de desague que pasa por la pre-losa	2025	Estructura de Prelosa con las Instalaciones de Desague (Piso0 07 de los Eje B-B Eje D-D entre los ejes 5-5- y eje 6-6), se ha decidido dejarlo vacío para que la tubería de desague tenga la pendiente minima. Durante la ejecucion de obra se determino dejarlo un corte para poder cumplir con la pendiente minima, y que losa volverla losa maciza.
Edificio Alto Prada	Plano de Estructuras	INT 004	Arquitectura	Estructuras	Sotano 2	Media	En el plano de estructuras no se tienen incluídos unos pases para la ventilación del sótano 2. Se requiere hacer los pases. Por lo tanto se solicita detalle para el refuerzo al hacer los pases ya que está vaciada la losa.	2025	Estructura con Arquitectura (Sotano 02 de los Eje B-B Eje D-D entre los ejes 6-6- y eje 7-7), con el Plano de estructuras del sonato 02, se ha decido realizar el pase por lo tanto se reforzo al hacer el pase. Por lo tanto durante la ejecucion se solicito el plano de refuerzo y el proceso constructivo donde detalle los aceros de refuerzo y que tipo de aditivo usar para unir concreto nuevo con el antiguo
Edificio Alto Prada	Construccion de losa aligerada en Grúa	INT 005	Estructura Losa Aligerada	Plano de Grúa	ejes 10-11 Y B-C, este paño en el sótano 2	Media	La Grúa torre está instalada en una esquina entre los ejes 10-11 Y B-C, este paño en el sótano 2 está diseñada con losa aligerada.	2025	Estructura de Losa Maciza en el paño donde esta instalacion la grúa torre debido a mejorar el proceso constructivo en la edificacion debido a que en el paño quedo abierto hasta el retiro de la grúa torre, por lo tanto se considero losa maciza para no tener complicacion durante el vaciado de la losa.
Edificio Alto Prada	ALTURA DE SARDINEL DE JARDINERA COSTADO DE VENTANA V-12	INT 006	PLANTA DEL ARQUITECTURA	PLANO DE DETALLES DE FACHADA VISTA 8	Se encuentra en el Piso 1 al 7 de los Eje B-B EJE C-C entre los ejes 3-3 y eje 4-4 VENTANA V-12	Media	En los planos de arquitectura revisados no se encuentra detalle de sardinel de jardinera ubicada en la fachada posterior. Por lo tanto se solicita la altura de esta jardinera Se encuentra en el Piso 1 al 7 de los Eje B-B EJE C-C entre los ejes 3-3 y eje 4-4	2025	Plano de Arquitecta con el plano de detalle donde no se encuentra la altura de sardinel de jardinera. Por lo que durante la ejecucion de la obra se realizo la consulta al proyectista pero por criterio de determino una altura recomendada, tambien se solicita el proceso constructivo y los aditos ya que la jardinera es un elemento monolitico e impermeable por las filtraciones de la misma jardinera

Ficha – OE2: Interferencias

Indicador (VI-d2): Recuento de interferencias críticas resueltas antes de obra (n)

Proyecto	ID Clash/RFI	CODIGO	Disciplina A	Disciplina B	Ubicación (Nivel/Eje/Zona)	Severidad (Alta/Media/Baja)	Estado de cierre (Resuelta antes de obra / Otro)	Fecha de cierre (DD/MM/AAAA)	Observaciones
Edificio Alto Prada	CAJA DE PASE DE DOMOTICA EN MURO DE COCINA	INT 007	Instalaciones Electricas	Arquitectura	Se encuentra en el Piso 8 de los Eje E-E EJE F-F entre los ejes 4-4 y eje 5-5 dpto 804	Media	Se tiene en el dpto 804 el interruptor en la zona de la refrigeradora	2025	Plano de Instalaciones Electricas IE-14 con el plano de arquitectura en el dpto 804 donde el interruptor se encuentra en la zona de la refrigeradora. Durante la ejecucion se recomendo realizar la consulta y reubicar el punto de interruptor por lo que al especialista de las instalaciones electricas se recomendo reubicar el punto..
Edificio Alto Prada	Sensor	INT 008	IM_03.12.18_DUCTERIA	Estructuras	Se encuentra en el Sotano 1 de los Eje D-D EJE E-E entre los ejes 4-4 y eje 5-51	Media	En el sótano 1 se ubica el sensor al costado de la columna y en un muro de albañilería. LAMINAS IM-02	2025	Existe interferencia con el planos de IM_03.12.18_DUCTERIA y el plano de Estructuras donde el sótano 1 se ubica el sensor al costado de la columna y en un muro de albañilería. LAMINAS IM-02, por que se recomienda realizar la consulta al proyectista pero del mismo modo se recomienda reubicarlo ,a ubicacion del sensor debido a que el muro de albañilería lo estaria interrumpiendo
Edificio Alto Prada	Detalle de Cisterna	INT 009	Instalacion Sanitaria	Instalacion Sanitaria	Se encuentra en el Sotano 3 de los Eje E-E EJE F-F entre los ejes 4-4 y eje 5-5	Media	Se tiene en el plano de cuarto de bombas y cisternas las tuberías de succión con diametro 6" y 4" para cisterna de agua de consumo y para ACI respectivamente. Por lo tanto se solicita la confirmación de dichas medidas	2025	Existe interferencia con el plano de instalacion Sanitarias en el detalle del cuarto de bombas y cisternas las tuberías de succión con diametro 6" y 4" para cisterna de agua de consumo y para ACI respectivamente. Por lo tanto se solicita la confirmación de dichas medidas debido a que se estan realizando las adquisicion de los equipos e tuberis de dicha diametro
Edificio Alto Prada	TUBERIA DE VENTILACION SH3 201	INT 010	Arquitectura	IISS-DESAGUE	Se encuentra en el dpto 201 Piso 2 de los Ejes 8-8 y Eje 9-9 con los Ejes F-F y Eje G-G	Media	Se tienen una tubería de ventilación en el SH3 del 201 que se debe mover porque se cambió la ubicación de la puerta	2025	Se encuentra interferencia entre la especialidad de Arquitectura con el plano de instalaciones de desagüe debido a una tubería de ventilación en el SH3 del 201 que se debe mover porque se cambió la ubicación de la puerta. Por lo tanto se recomienda reubicarlo para no tener complicaciones en la etapa de pos venta. ya que genera tiempo y costo adicional durante la entrafá del dpto
Edificio Alto Prada	Se reubica el inodoro según batería de desagüe general (801)	INT 011	IISS _DESAGUE	Plano con cambios 801	Se encuentra en el dpto 801 Azotea de los Ejes 8-8 y Eje 9-9 con los Ejes E-E y Eje F-F	Media	Se tiene en el plano general rev09 la salida de desagüe del inodoro del BV en otra ubicación (801)	2025	Existe interferencia entre la especialidad de instalaciones de desagüe con el plano de arquitectura, la salida de desagüe del inodoro debido a que la especialidad de arquitectura a sido modificado, en ese caso se solicito la especialista dicha consulta para tener la mejor solucion en obra
Edificio Alto Prada	Se mantiene batería de desagüe de BV según plano general (802)	INT 012	IISS _DESAGUE	Plano con cambios 802	Se encuentra en el dpto 802 Azotea de los Ejes 8-8 y Eje 9-9 con los Ejes C-C y Eje D-D	Media	Se tiene en el plano general rev09 la montante de desagüe del BV 802 en el plano con cambios difiere del plano general	2025	Existe interferencia entre la especialidad de arquitectura y el plano de instalaciones sanitarias debido a que a sido modificado el plano de arquitectura, en ese caso se solicita al especialista dicha consulta para tener la mejor solucion en obra

Ficha – OE2: Interferencias

Indicador (VI-d2): Recuento de interferencias críticas resueltas antes de obra (n)

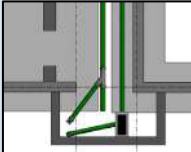
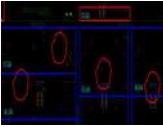
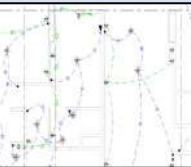
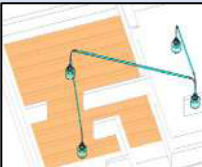
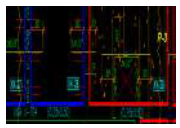
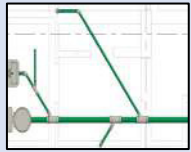
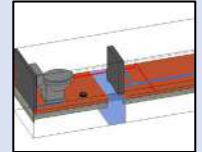
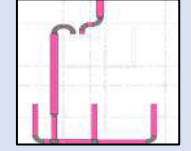
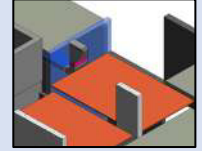
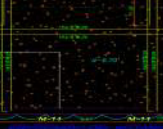
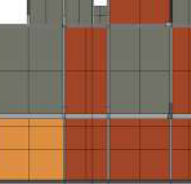
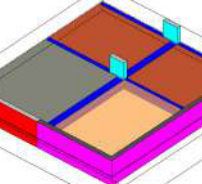
Proyecto	ID Clash/RFI	CODIGO	Disciplina A	Disciplina B	Ubicación (Nivel/Eje/Zona)	Severidad (Alta/Media/Baja)	Estado de cierre (Resuelta antes de obra / Otro)	Fecha de cierre (DD/MM/AAAA)	Observaciones
Edificio Alto Prada	caja de pase de domotica en el muro que da a la cocina	INT 013	Arquitectura	Comunicaciones	Se encuentra en el dpto 204 en los Ejes 8-8 y Eje 9-9 con los Ejes C-C y Eje D-D	Media	Se tenía en planos generales una caja de pase de domotica en el muro que da a la cocina . Este muro se ha cortado por ende dicha caja debe reubicarse .	2025	Existe interferencia entre la especialista de arquitectura y comunicaciones debido al plano general de una caja de pase de domotica en el muro que da ala cocina, En ese muro se a cortado por ende dicha caja debe ser reubicada en obra por lo tanto se realizo la consulta paraq que el especialista determine la mejor solucion
Edificio Alto Prada	UBICACIÓN DE TELEFONO DE BOMBERO EN SÓTANO 3	INT 014	INDECI_LAMINA A-11	IIEE IE-26	Se encuentra en el Sotano 03 en los Ejes 6-6 y Eje 7-7 con los Ejes D-D y Eje E-E	Media	Se tiene una incompatibilidad entre el plano de IIEE(láminas de comunicaciones)y de INDECI	2025	Existe interferencia entre la especialida de instalacion electricas y la especialidad de indecia debido a que hay incompatibilidad por lo que se recomendo al especialista determinar la solucion a dicho problema. UBICACIÓN DE TELEFONO DE BOMBERO EN SÓTANO 3
Edificio Alto Prada	PUNTO DE LUZ ADICIONAL SEGÚN INDECI EN ESTACIONAMIENTO 46	INT 015	INDECI_LAMINA A-11	IIEE IE-05	Se encuentra en el estacionamiento 46 Sotano 3 en los Ejes 5-5 y Eje 6-6 con los Ejes E-E y Eje F-F	Media	Se tiene una incompatibilidad entre el plano de IIEE y de INDECI lo que respecta a un punto de luz mas en el estacionamiento 46.	2025	Existe interferencia entre el plano de indeci y la especialidad de instalaciones electricas respecto al punto de luz en los estacionamiento del sotano 3, se toma conocimiento del caso por lo tanto se solicito al consultor absolver la consulta y tener el diametro del cable a usarlo, para evitar algunos problemas que pueden ocurrir en la etapa de pos venta
Edificio Alto Prada	INCOMPATIBILIDAD DE SALIDAS DE LUZ EN PLANO DE INDECI & IIEE	INT 016	INDECI_LAMINA A-11	IIEE IE-06	Se encuentra en el estacionamiento 28 Y 29 del Sotano 2 en los Ejes 5-5 y Eje 6-6 con los Ejes E-E y Eje F-F	Media	Se tiene en el plano de INDECI mas puntos de luz en el sótano 2.	2025	Existe interferencia entre el plano de indeci y la especialidad de instalaciones electricas respecto al punto de luz en los estacionamiento del sotano 2, se toma conocimiento del caso por lo tanto se solicito al consultor absolver la consulta y tener el diametro del cable a usarlo, para evitar algunos problemas que pueden ocurrir en la etapa de pos venta
Edificio Alto Prada	INCOMPATIBILIDAD DE PASE DE VENTILACION ENTRE ESTRUCTURAS Y ARQUITECTURA	INT 017	Arquitectura	Estructuras	Se encuentra en el Sotano 3 en los Ejes 4-4 y Eje 5-5 con los Ejes B-B y Eje E-E	Media	Se tiene en el plano de estructuras sin el pase de ventilacion con la especialidad de arquitectura por lo tanto hay un incompatibilidad de especialidades	2025	existe interferencia entre el plano de arquitectrua y la especlidad de estructuras donde el paso de ventilacion entre el sotano 03 no se contempla en el plano, por lo tanto se solicito al especialiad mandar el plano de refuerzo entre los pases de ventilacion para determinar el mejor proceso constructivo
Edificio Alto Prada	INCOMPATIBILIDAD DE PASE DE DESAGUE ENTRE ARQUITECTURA Y EL PLANO DE INSTALACIONES SANITARIAS	INT 018	Arquitectura	Instalaciones de Desague	Se encuentra en el Piso 3 en los Ejes 10-10 y Eje 11-11 con los Ejes B-B y Eje C-C	Media	Se tiene en el plano de instalaciones sanitarias donde el muro de arquitectura se a movido	2025	Existe interferencia entre el plano de Instalacions sanitarias y la especialidad de arquitectura por lo que la montante baja por el muro que ya no existe, debido a eso se realizo la consulta al proyectista, por lo tanto se realizo un falso muro donde cubre la montante de bajada.

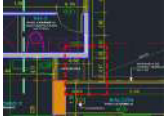
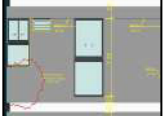
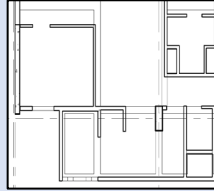
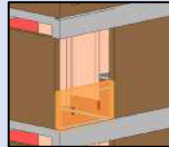
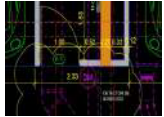
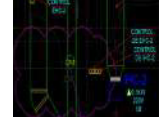
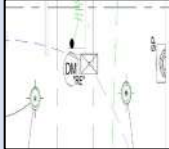
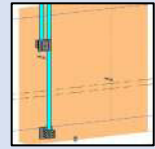
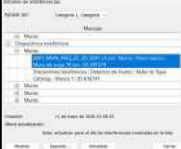
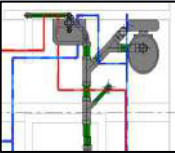
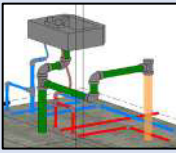
Ficha – OE2: Interferencias

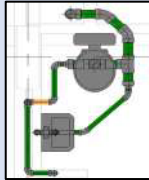
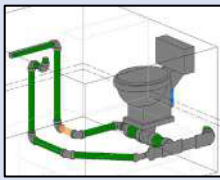
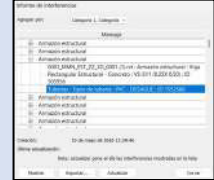
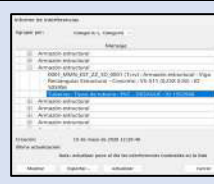
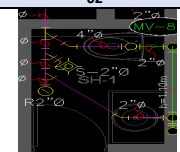
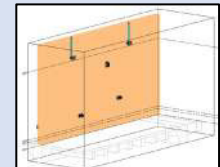
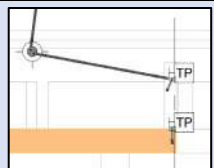
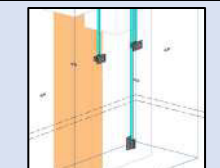
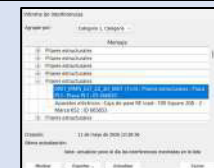
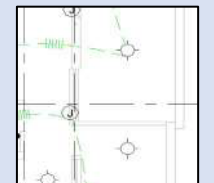
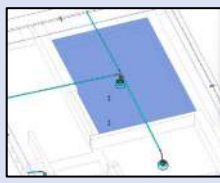
Indicador (VI-d2): Recuento de interferencias críticas resueltas antes de obra (n)

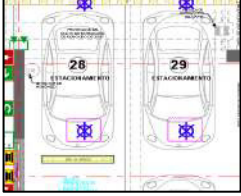
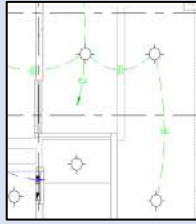
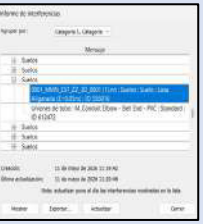
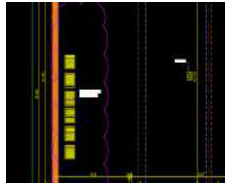
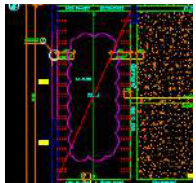
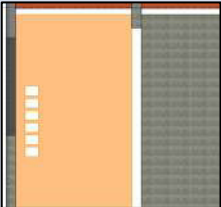
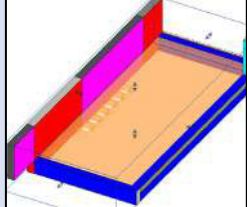
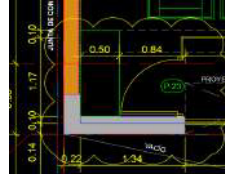
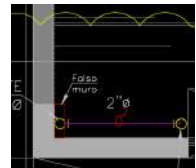
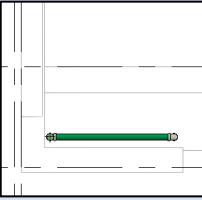
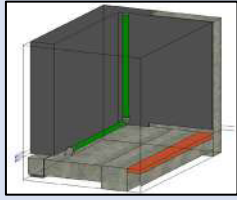
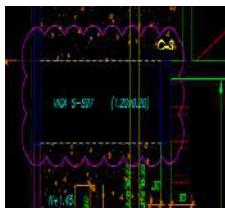
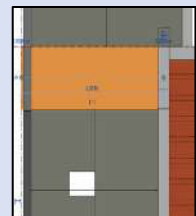
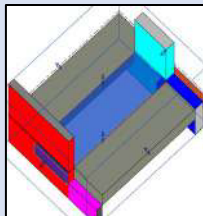
Proyecto	ID Clash/RFI	CODIGO	Disciplina A	Disciplina B	Ubicación (Nivel/Eje/Zona)	Severidad (Alta/Media/Baja)	Estado de cierre (Resuelta antes de obra / Otro)	Fecha de cierre (DD/MM/AAAA)	Observaciones
Edificio Alto Prada	INCOMPATIBILIDAD DE ESPESOR ENTRE LA PRELOSA DEBIDO A QUE NO ESTARIA QUEDANDO RECUBRIMIENTO Y TARRAJEO EN LA VIGA CHATA VIGA S-S07 (1.20x0.20)	INT 019	Estructuras de Losa Aligerada	Estructuras - Pre losa	Se encuentra en los niveles del semisotano hasta los niveles superiores en los Ejes 4-4 y Eje 5-5 con los Ejes B-B y Eje G-G	Media	Se tiene en el plano de prelosa donde se detalla que esa viga chata comprende un paño de la prelosa	2025	Existe interferencia entre el plano de estructuras con el plano de pre losa, debido a que es una viga chata de 1.20x 0.20 de espesor no estaria quedando recubrimiento al acero mas el acabado de tarrajeo, por lo tanto en obra se observe realizarlo de la manera tradicional

Conteo del indicador: solo “Severidad = Alta” y “Estado = Resuelta antes de obra”.

			Especialidad 01		Especialidad 02	Modelado en BIM - Planta	Modelado en BIM - 3D	Interferencia en BIM - 3D
			Especialidad de Estructuras	UBICACIÓN	Especialidad de Instalaciones Sanitarias - Desague			
CODIGO	INT 001	Construccion de Muro		Se encuentra en el Eje E-E entre los ejes 7-7- y eje 8-8				
			Especialidad 01		Especialidad 02	Modelado en BIM - Planta	Modelado en BIM - 3D	Interferencia en BIM - 3D
			Plano IE 08 Alumbrado semisotano ver 01	UBICACIÓN	PLANO DE ESTRUCTURAS AZ01 VERSION 02			
CODIGO	INT 002	Se a considerado pases de punto de luz pero eran pases de dicroicos en la losas prefabricadas		Eje de pre-losa con puntos de luz Se encuentra en semisotano de los Eje C-C EJE F-F entre los ejes 4-4 y eje 5-				
			Especialidad 01		Especialidad 02	Modelado en BIM - Planta	Modelado en BIM - 3D	Interferencia en BIM - 3D
			Plano de Estructuras	UBICACIÓN	Plano de Instalacion Sanitarias - Desague			
CODIGO	INT 003	interferencia entre desague y la losa aligerado pre-losa debido a que la tuberia tiene mayor desarrollo y pendiente		Se encuentra en el Piso 08 de los Eje B-B EJE D-D entre los ejes 5-5 y eje 6-6				
			Especialidad 01		Especialidad 02	Modelado en BIM - Planta	Modelado en BIM - 3D	Interferencia en BIM - 3D
			Plano de Arquitectura	UBICACIÓN	Plano de Estructuras			
CODIGO	INT 004	Pase en el Muro Estructural para la ducto de ventilacion		Se encuentra en el Sotano 02 de los Eje B-B EJE D-D entre los ejes 6-6 y eje 7-7				
			Especialidad 01		Especialidad 02	Modelado en BIM - Planta	Modelado en BIM - 3D	Interferencia en BIM - 3D
			Plano de Estructuras Ver 01	UBICACIÓN	Plano de Estructuras Ver 02			
CODIGO	INT 005	Construccion de losa aligerada en Grúa		Se encuentra en el Sotano 02 de los Eje B-B EJE D-D entre los ejes 10-10 y eje 11-11				

			Especialidad 01		Especialidad 02	Modelado en BIM - Planta	Modelado en BIM - 3D	Interferencia en BIM - 3D
			Plano Arq - Planta	UBICACIÓN	Plano Arq - Elevacion			
CODIGO	INT 006	ALTURA DE SARDINEL DE JARDINERA COSTADO DE VENTANA V-12		Se encuentra en el Piso 1 al 7 de los Eje B-B EJE C-C entre los ejes 3-3 y eje 4-4				
			Especialidad 01		Especialidad 02	Modelado en BIM - Planta	Modelado en BIM - 3D	Interferencia en BIM - 3D
			Piso 08 departamento 804 IE 14 ver 01	UBICACIÓN	Piso 08 departamento 804 IE 14 ver 2			
CODIGO	INT 007	Se tiene en el dpto 804 el interruptor en la zona de la refrigeradora		Se encuentra en el Piso 8 de los Eje E-E EJE F-F entre los ejes 4-4 y eje 5-5 dpto 804				
			Especialidad 01		Especialidad 02	Modelado en BIM - Planta	Modelado en BIM - 3D	Interferencia en BIM - 3D
			Plano IM 02	UBICACIÓN	Plano IM 02			
CODIGO	INT 008	En el sótano 1 se ubica el sensor al costado de la columna y en un muro de albañilería. LAMINAS IM-02		Se encuentra en el Sotano 1 de los Eje D-D EJE E-E entre los ejes 4-4 y eje 5-5				
			Especialidad 01		Especialidad 02	Modelado en BIM - Planta	Modelado en BIM - 3D	Interferencia en BIM - 3D
			Plano IS 01	UBICACIÓN	Plano IM 01			
CODIGO	INT 009	Se tiene en el plano de cuarto de bombas y cisternas las tuberías de succión con diametro 6" y 4" para cisterna de agua de consumo y para ACI respectivamente. Por lo tanto se solicita la confirmación de dichas medidas		Se encuentra en el Sotano 3 de los Eje E-E EJE F-F entre los ejes 4-4 y eje 5-5				
			Especialidad 01		Especialidad 02	Modelado en BIM - Planta	Modelado en BIM - 3D	Interferencia en BIM - 3D
			Plano IS 08 ver 01		Plano IS 08 ver 02			
CODIGO	INT 010	Se tienen una tubería de ventilación en el SH3 del 201 que se debe mover porque se cambió la ubicación de la puerta		Se encuentra en el dpto 201 Piso 2 de los Ejes 8-8 y Eje 9-9 con los Ejes F-F y Eje G-G				

			Especialidad 01		Especialidad 02	Modelado en BIM - Planta	Modelado en BIM - 3D	Interferencia en BIM - 3D
			Plano IISS Desague Azotea dpto 801 ver 01		Plano IISS Desague Azotea dpto 801 ver 02			
CODIGO	INT 011	Se reubica el inodoro según batería de desague general (801)		Se encuentra en el dpto 801 Azotea de los Ejes 8-8 y Eje 9-9 con los Ejes E-E y Eje F-F				
			Plano IISS Desague Azotea dpto 802 ver 01		Plano IISS Desague Azotea dpto 802 ver 02			
CODIGO	INT 012	Se mantiene batería de desague de BV según plano general (802)		Se encuentra en el dpto 802 Azotea de los Ejes 8-8 y Eje 9-9 con los Ejes C-C y Eje D-D				
			Plano IIEE 10 Alumbrado y Domoticadpto 204 ver 01		Plano Arquitectura dpto 204 ver 01			
CODIGO	INT 013	caja de pase de domotica en el muro que da a la cocina		Se encuentra en el dpto 204 en los Ejes 8-8 y Eje 9-9 con los Ejes C-C y Eje D-D				
			Plano IIEE 26 Comunicaciones sotano 03 ver 01		Plano A 11 INDECI sotano 03 ver 01			
CODIGO	INT 014	UBICACIÓN DE TELEFONO DE BOMBERO EN SÓTANO 3		Se encuentra en el Sotano 03 en los Ejes 6-6 y Eje 7-7 con los Ejes D-D y Eje E-E				
			Plano IE 05 Alumbrado sotano 03 ver 01		Plano A11 Índice sotano 03 ver 01			
CODIGO	INT 015	PUNTO DE LUZ ADICIONAL SEGÚN INDECI EN ESTACIONAMIENTO 46		Se encuentra en el estacionamiento 46 Sotano 3 en los Ejes 5-5 y Eje 6-6 con los Ejes E-E y Eje F-F				

			Especialidad 01		Especialidad 02	Modelado en BIM - Planta	Modelado en BIM - 3D	Interferencia en BIM - 3D
			Plano IE 05 Alumbrado sotano 02 ver 01		Plano A11 Indice sotano 02 ver 01			
CODIGO	INT 016	INCOMPATIBILIDAD DE SALIDAS DE LUZ EN PLANO DE INDECI & IIEE		Se encuentra en el estacionamiento o 28 Y 29 del Sotano 2 en los Ejes 5-5 y Eje 6-6 con los Ejes E-E y Eje F-F				
			Especialidad 01		Especialidad 02	Modelado en BIM - Planta	Modelado en BIM - 3D	Interferencia en BIM - 3D
			Plano A-01 Arquitectura sotano 03 ver 01		Plano E04 Indice sotano 03 ver 01			
CODIGO	INT 017	INCOMPATIBILIDAD DE PASE DE VENTILACION ENTRE ESTRUCTURAS Y ARQUITECTURA		Se encuentra en el Sotano 3 en los Ejes 4-4 y Eje 5-5 con los Ejes B-B y Eje E-E				
			Especialidad 01		Especialidad 02	Modelado en BIM - Planta	Modelado en BIM - 3D	Interferencia en BIM - 3D
			Plano de arquitectura nivel 03		Plano de instacion sanitaria - deague piso 03			
CODIGO	INT 018	INCOMPATIBILIDAD DE PASE DE DESAGUE ENTRE ARQUITECTURA Y EL PLANO DE INSTALACIONES SANITARIAS		Se encuentra en el Piso 3 en los Ejes 10-10 y Eje 11-11 con los Ejes E-E y Eje F-F				
			Especialidad 01		Especialidad 02	Modelado en BIM - Planta	Modelado en BIM - 3D	Interferencia en BIM - 3D
			Plano de estructuras		Plano de pre losa			
CODIGO	INT 019	INCOMPATIBILIDAD DE ESPESOR ENTRE LA PRELOSA DEBIDO A QUE NO ESTARIA QUEDANDO RECUBRIMIENTO Y TARRAJEO EN LA VIGA CHATA VIGA S-507 (1.20x0.20)		Se encuentra en los niveles del semisotano hasta los niveles superiores en los Ejes 4-4 y Eje 5-5 con los Ejes B-B y Eje G-G				

Ficha – OE2: Ahorro de costos directos (Δ costo USD 2024)

Indicador (VD–d1): Δ costo directo (USD 2024)

Proyecto	Código de partida	Partida/Descripción	Unidad	Metrado	Precio Unitario	Costo baseline (USD 2024)	Metrado - observado	Precio Unitario - observado	Costo observado (USD 2024)	Δ costo directo (USD 2024)	Comentario
	10010208.00	LOSAS ALIGERADAS - SOTANOS									
Edificio Alto Prada	10010208.01	LOSA ALIGERADA , CONCRETO PREMEZCLADO f'c= 210 kg/cm2, 7 días	m3	36.96	\$89.59	\$3,311.54	33.91	\$88.07	\$2,986.55	\$324.98	Debido al modelado BIM y la utilizacion de la prelosa se realizo el detallado bajando el metrado de concreto, tambien aumentando el rendimiento un 15% , bajo la mano de obra y tambien la metodologia BIM hubo una reduccion significativa en costo durante la ejecucion
Edificio Alto Prada	10010208.02	LOSA ALIGERADA , ENCOFRADO Y DEENCOFRADO FIRTH	m2	210.56	\$6.71	\$1,412.49	210.56	\$3.25	\$683.48	\$729.01	Debido al modelado BIM y la utilizacion de la prelosa se realizo el detallado de la partida encofrado de losa aligerada, esta partida bajo su costo debido a que la partida solamente se esta considerando la instalacion de las soleras mas no el encofrado de fondo de viga debido a que la prelosa venia con el acabado final
Edificio Alto Prada	10010208.03	LOSA ALIGERADA , ACERO CORRUGADO F'y= 4,200 kg/cm2	kg	1799.73	\$1.00	\$1,804.59	1439.78	\$0.98	\$1,408.65	\$395.94	Debido al modelado BIM y la utilizacion de la prelosa se realizo la instalacion del acero para la losa aligerada, debido a que la prelosa venia con el acero positivo de las viguetas solamente se considerada el acero negativo y el acero de temperatura por lo que el costo bajo un 20%, bajo la mano de obra y tambien la metodologia BIM hubo una reduccion significativa en costo durante la ejecucion
Edificio Alto Prada	10010208.04	LOSA ALIGERADA , LADRILLO BOVEDILLA DE ARCILLA 15 @ 50 CM	und	4960.00	\$1.00	\$4,960.00	0.00	\$1.00	\$0.00	\$4,960.00	Debido al modelado BIM y la utilizacion de la prelosa se considero que la prelosa tenga los casoteros de tecnopor para aliviar la carga y tambien el diseño, por lo que no se uso en el proyecto el ladrillo bodedilla de arcilla 15 por lo que el metrado se a considerado 0, en todo caso hubo un ahorro del 100% del costo de la partida
Edificio Alto Prada	10010208.05	VIGUETA PRETENSADA FIRTH TA-01,02,03,04,05,06,07,08 / VIGUETAS TA1..8	ml	1018.55	\$4.45	\$4,531.17	0.00	\$4.45	\$0.00	\$4,531.17	Debido al modelado BIM y la utilizacion de la prelosa ya no se considero viguetas pretensadas por lo tanto la partida no se llevo a ejecutar, en todo caso el ahorro fue del 100%
	10010209.00	LOSAS MACIZAS - SOTANOS									
Edificio Alto Prada	10010209.01	LOSA MACIZA , CONCRETO PREMEZCLADO f'c= 210 kg/cm2, 7 días	m3	60.77	\$89.59	\$5,444.50	27.35	\$87.08	\$2,381.27	\$3,063.23	Debido al modelado BIM y la utilizacion de la prelosa se realizo el detallado bajando el metrado de concreto en losa maciza, tambien aumentando el rendimiento un 15% , bajo la mano de obra y tambien la metodologia BIM hubo una reduccion significativa en costo durante la ejecucion
Edificio Alto Prada	10010209.02	LOSA MACIZA , ENCOFRADO Y DEENCOFRADO CARAVISTA	m2	303.84	\$11.75	\$3,570.54	303.84	\$8.20	\$2,491.34	\$1,079.21	Debido al modelado BIM y la utilizacion de la prelosa se realizo el detallado de la partida encofrado de losa aligerada, esta partida bajo su costo debido a que la partida solamente se esta considerando la instalacion de las soleras mas no el encofrado de fondo de viga debido a que la prelosa venia con el acabado final
Edificio Alto Prada	10010209.03	LOSA MACIZA , ACERO CORRUGADO F'y= 4,200 kg/cm2	kg	15366.78	\$1.00	\$15,408.31	12293.42	\$0.95	\$11,729.28	\$3,679.03	Debido al modelado BIM y la utilizacion de la prelosa se realizo el detallado de la partida encofrado de losa maciza, esta partida bajo su costo debido a que la partida solamente se esta considerando la instalacion de las soleras mas no el encofrado de fondo de viga debido a que la prelosa venia con el acabado final, aumento el rendimiento un 20% y bajo la mano de obra debido a que solamente se realizaba el segundo enmallado

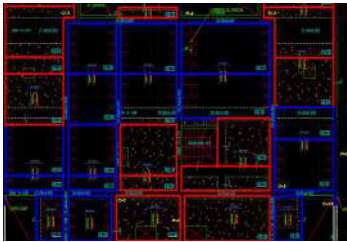
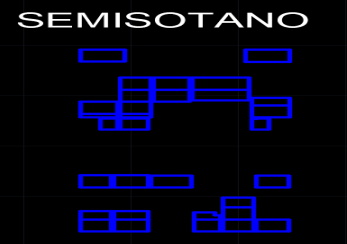
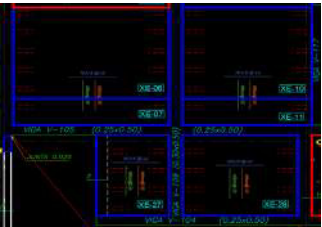
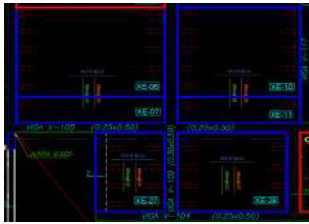
Ficha – OE2: Ahorro de costos directos (Δ costo USD 2024)

Indicador (VD–d1): Δ costo directo (USD 2024)

Proyecto	Código de partida	Partida/Descripción	Unidad	Metrado	Precio Unitario	Costo baseline (USD 2024)	Metrado - observado	Precio Unitario - observado	Costo observado (USD 2024)	Δ costo directo (USD 2024)	Comentario
Edificio Alto Prada	10210001.00	TUBERÍA DE PVC SAP DE 4" (MONTANTE)	ml	241.67	\$11.27	\$2,723.03	241.67	\$11.07	\$2,676.20	\$46.84	Debido al modelado BIM se pudo reducir la mano de obra un 8% por lo cual es modelado encontro las interferencias con las otras especialidades.
	101007.00	CARPINTERÍA METÁLICA - SÓTANOS									
	101007.01	ACERO - SÓTANOS									
Edificio Alto Prada	101007.06	REJILLAS DE 0,15 M - 7.48 6.10 3.07 ML	und	3.00	\$166.61	\$499.83	3.00	\$164.82	\$494.46	\$5.37	Debido al modelado BIM se pudo reducir la mano de obra un 5% por lo cual es modelado encontro las interferencias con las otras especialidades.
Edificio Alto Prada	101007.07	REJILLAS DE 0,19 M - 6.34 ML	und	1.00	\$239.40	\$239.40	1.00	\$213.66	\$213.66	\$25.74	Debido al modelado BIM se pudo reducir la mano de obra un 5% por lo cual es modelado encontro las interferencias con las otras especialidades.
Edificio Alto Prada	101007.08	REJILLAS CTO DE BOMBAS	und	1.00	\$259.46	\$259.46	1.00	\$256.67	\$256.67	\$2.79	Debido al modelado BIM se pudo reducir la mano de obra un 5% por lo cual es modelado encontro las interferencias con las otras especialidades.
Totales (al pie): Σ baseline, Σ observado, Σ Δ costo directo.						TOTAL		TOTAL	\$146,665.48	\$116,784.23	

Ficha – OE2: Ahorro de costos directos (Δ costo USD 2024)

Indicador (VD-d1): Δ costo directo (USD 2024)

Item	Código de partida	Descripción	Planta	Fotografía
001	10010208.01	Debido al modelado BIM y la utilización de la prelosa se realizó el detallado bajando el metrado de concreto, también aumentando el rendimiento un 15%, bajo la mano de obra y también la metodología BIM hubo una reducción significativa en costo durante la ejecución		
002	10010208.02	Debido al modelado BIM y la utilización de la prelosa se realizó el detallado de la partida encofrado de losa aligerada, esta partida bajo su costo debido a que la partida solamente se está considerando la instalación de las soleras mas no el encofrado de fondo de viga debido a que la prelosa venia con el acabado final		
003	10010208.03	Debido al modelado BIM y la utilización de la prelosa se realizó la instalación del acero para la losa aligerada, debido a que la prelosa venia con el acero positivo de las viguetas solamente se consideró el acero negativo y el acero de temperatura por lo que el costo bajo un 20%, bajo la mano de obra y también la metodología BIM hubo una reducción significativa en costo durante la ejecución		
004	10010208.04	Debido al modelado BIM y la utilización de la prelosa se consideró que la prelosa tenga los casoteros de tecnopor para aliviar la carga y también el diseño, por lo que no se usó en el proyecto el ladrillo bodedilla de arcilla 15 por lo que el metrado se consideró 0, en todo caso hubo un ahorro del 100% del costo de la partida		
005	10010208.05	Debido al modelado BIM y la utilización de la prelosa ya no se consideró viguetas pretensadas por lo tanto la partida no se llegó a ejecutar, en todo caso el ahorro fue del 100%		

Ficha – OE2: Ahorro de costos indirectos

Indicador (VD–d2): % ahorro de indirectos (% sobre baseline) describe una duración menor del plazo de ejecución, de 24 meses a solo 18 meses

Proyecto	Gasto indirecto mensual baseline (USD/mes)	Meses baseline	indirectos baseline (USD/mes)	Gasto Indirecto Mensual Programado (USD)	Meses observados	Indirecto observado (USD/mes)	Gasto Indirectos Mensual observados (USD)	Ahorro indirectos (USD)	% ahorro de indirectos (%)
Edificio Alto Prada	Residente de Obra	24	\$2,702.70	\$64,864.86	18	\$2,702.70	\$48,648.65	\$16,216.22	25%
Edificio Alto Prada	Maestro de Obra	24	\$1,081.08	\$25,945.95	18	\$1,081.08	\$19,459.46	\$6,486.49	25%
Edificio Alto Prada	Ingeniero de Seguridad	24	\$1,081.08	\$25,945.95	18	\$1,081.08	\$19,459.46	\$6,486.49	25%
Edificio Alto Prada	Personal de Apoyo en Obra	24	\$2,162.16	\$51,891.89	18	\$2,162.16	\$38,918.92	\$12,972.97	25%
Edificio Alto Prada	Seguridad y Vigilancia en Obra	24	\$675.68	\$16,216.22	18	\$675.68	\$12,162.16	\$4,054.05	25%
Edificio Alto Prada	Personal en Obra	24	\$675.68	\$16,216.22	18	\$675.68	\$12,162.16	\$4,054.05	25%
Edificio Alto Prada	Movilidad en Obra (Caja Chica)	24	\$1,351.35	\$32,432.43	18	\$1,351.35	\$24,324.32	\$8,108.11	25%
Edificio Alto Prada	Equipos de computo Obra	24	\$256.76	\$6,162.16	18	\$256.76	\$4,621.62	\$1,540.54	25%
Edificio Alto Prada	Luz y Agua en Obra	24	\$324.32	\$7,783.78	18	\$324.32	\$5,837.84	\$1,945.95	25%
Edificio Alto Prada	Agua para consumo Obra	24	\$256.76	\$6,162.16	18	\$256.76	\$4,621.62	\$1,540.54	25%
Edificio Alto Prada	Pruebas de Concreto Obra	24	\$675.68	\$16,216.22	18	\$675.68	\$12,162.16	\$4,054.05	25%
Edificio Alto Prada	Polizar CAR Obra	24	\$405.41	\$9,729.73	18	\$405.41	\$7,297.30	\$2,432.43	25%
Edificio Alto Prada	Poliza SCTR/VIDA Obra	24	\$405.41	\$9,729.73	18	\$405.41	\$7,297.30	\$2,432.43	25%
Edificio Alto Prada	Planos de Obra	24	\$486.49	\$11,675.68	18	\$486.49	\$8,756.76	\$2,918.92	25%
Edificio Alto Prada	Baños Portatiles Obra	24	\$810.81	\$19,459.46	18	\$810.81	\$14,594.59	\$4,864.86	25%
Edificio Alto Prada	Vecinos de Obra	24	\$810.81	\$19,459.46	18	\$810.81	\$14,594.59	\$4,864.86	25%
Edificio Alto Prada	Utiles de Oficina Obra	24	\$135.14	\$3,243.24	18	\$135.14	\$2,432.43	\$810.81	25%
Edificio Alto Prada	Arbitrios y Predial del Terreno	24	\$405.41	\$9,729.73	18	\$405.41	\$7,297.30	\$2,432.43	25%
Edificio Alto Prada	Otros Gastos de Obra (Caja Chica)	24	\$675.68	\$16,216.22	18	\$675.68	\$12,162.16	\$4,054.05	25%
			TOTAL	\$369,081.08			TOTAL	\$276,810.81	\$92,270.27

Cálculos: Total baseline = mensual×meses; Total observado = mensual×meses; Ahorro = baseline–observado; % ahorro = (Ahorro / baseline)×100

Ficha – OE3: Prefabricación (prelasas)

Indicador (VI–d3): Participación de prelasas en el total de losas (%)

Proyecto	CODIGO	Nivel/Paño	Área total de losa (m²)	Área con prelasas (m²)	Participación de prelasas (%)	Observacion	Descripcion
Edificio Alto Prada	PREL - SEM01	SEMITOTANO	545.9308	452.1268	83%	Cambio el diseño de la losa de lo tradicional a la prelosa en el diseño del nivel del semisotano	El diseño de la losa del Semisotano se realizo mediante la manera tradicional pero debido a la reduccion de tiempo y costo se opto por el proceso constructivo de prelasas por lo que hubo interferencia evidenciales si se usara la metodologia BIM las observaciones seria la minima y poder realizar mejor el costo beneficio en la ejecucion de la obra
Edificio Alto Prada	PREL - 001	PISO 01	567.2041	464.1208	82%	Cambio el diseño de la losa de lo tradicional a la prelosa en el diseño del nivel del Piso 01	El diseño de la losa del Piso 01 se realizo mediante la manera tradicional pero debido a la reduccion de tiempo y costo se opto por el proceso constructivo de prelasas por lo que hubo interferencia evidenciales si se usara la metodologia BIM las observaciones seria la minima y poder realizar mejor el costo beneficio en la ejecucion de la obra. Durante la ejecucion del nivel 01 se realizo el izzage con la grua torre, teniendo consideraciones de calidad, antes de la instalacion y otras consideracion como solicitar tecnopor de mayor densidad, bajar 05 cm de la vigas para que la losa este envevida con la vigas de amarre
Edificio Alto Prada	PREL - 002	PISO 02	567.2228	464.1208	82%	Cambio el diseño de la losa de lo tradicional a la prelosa en el diseño del nivel del Piso 02	El diseño de la losa del Piso 02 se realizo mediante la manera tradicional pero debido a la reduccion de tiempo y costo se opto por el proceso constructivo de prelasas por lo que hubo interferencia evidenciales si se usara la metodologia BIM las observaciones seria la minima y poder realizar mejor el costo beneficio en la ejecucion de la obra. Durante la ejecucion del nivel 01 se realizo el izzage con la grua torre, teniendo consideraciones de calidad, antes de la instalacion y otras consideracion como solicitar tecnopor de mayor densidad, bajar 05 cm de la vigas para que la losa este envevida con la vigas de amarre
Edificio Alto Prada	PREL - 003	PISO 03	566.058	431.6582	76%	Cambio el diseño de la losa de lo tradicional a la prelosa en el diseño del nivel del Piso 03	El diseño de la losa del Piso 03 se realizo mediante la manera tradicional pero debido a la reduccion de tiempo y costo se opto por el proceso constructivo de prelasas por lo que hubo interferencia evidenciales si se usara la metodologia BIM las observaciones seria la minima y poder realizar mejor el costo beneficio en la ejecucion de la obra. Durante la ejecucion del nivel 01 se realizo el izzage con la grua torre, teniendo consideraciones de calidad, antes de la instalacion y otras consideracion como solicitar tecnopor de mayor densidad, bajar 05 cm de la vigas para que la losa este envevida con la vigas de amarre
Edificio Alto Prada	PREL - 004	PISO 04	565.7556	462.6759	82%	Cambio el diseño de la losa de lo tradicional a la prelosa en el diseño del nivel del Piso 04	El diseño de la losa del Piso 04 se realizo mediante la manera tradicional pero debido a la reduccion de tiempo y costo se opto por el proceso constructivo de prelasas por lo que hubo interferencia evidenciales si se usara la metodologia BIM las observaciones seria la minima y poder realizar mejor el costo beneficio en la ejecucion de la obra. Durante la ejecucion del nivel 01 se realizo el izzage con la grua torre, teniendo consideraciones de calidad, antes de la instalacion y otras consideracion como solicitar tecnopor de mayor densidad, bajar 05 cm de la vigas para que la losa este envevida con la vigas de amarre
Edificio Alto Prada	PREL - 005	PISO 05	565.9755	467.4813	83%	Cambio el diseño de la losa de lo tradicional a la prelosa en el diseño del nivel del Piso 05	El diseño de la losa del Piso 05 se realizo mediante la manera tradicional pero debido a la reduccion de tiempo y costo se opto por el proceso constructivo de prelasas por lo que hubo interferencia evidenciales si se usara la metodologia BIM las observaciones seria la minima y poder realizar mejor el costo beneficio en la ejecucion de la obra. Durante la ejecucion del nivel 01 se realizo el izzage con la grua torre, teniendo consideraciones de calidad, antes de la instalacion y otras consideracion como solicitar tecnopor de mayor densidad, bajar 05 cm de la vigas para que la losa este envevida con la vigas de amarre
Edificio Alto Prada	PREL - 006	PISO 06	565.7556	462.6759	82%	Cambio el diseño de la losa de lo tradicional a la prelosa en el diseño del nivel del Piso 06	El diseño de la losa del Piso 06 se realizo mediante la manera tradicional pero debido a la reduccion de tiempo y costo se opto por el proceso constructivo de prelasas por lo que hubo interferencia evidenciales si se usara la metodologia BIM las observaciones seria la minima y poder realizar mejor el costo beneficio en la ejecucion de la obra. Durante la ejecucion del nivel 01 se realizo el izzage con la grua torre, teniendo consideraciones de calidad, antes de la instalacion y otras consideracion como solicitar tecnopor de mayor densidad, bajar 05 cm de la vigas para que la losa este envevida con la vigas de amarre

Ficha – OE3: Prefabricación (prelasas)

Indicador (VI–d3): Participación de prelasas en el total de losas (%)

Proyecto	CODIGO	Nivel/Paño	Área total de losa (m²)	Área con prelasas (m²)	Participación de prelasas (%)	Observacion	Descripción
Edificio Alto Prada	PREL - 007	PISO 07	565.9755	466.2913	82%	Cambio el diseño de la losa de lo tradicional a la prelosa en el diseño del nivel del Piso 07	El diseño de la losa del Piso 07 se realizo mediante la manera tradicional pero debido a la reduccion de tiempo y costo se opto por el proceso constructivo de prelasas por lo que hubo interferencia evidenciales si se usara la metodologia BIM las observaciones seria la minima y poder realizar mejor el costo benificio en la ejecucion de la obra. Durante la ejecucion del nivel 01 se realizo el izzage con la grua torre, teniendo consideraciones de calidad, antes de la instalacion y otras consideracion como solicitar tecnopor de mayor densidad, bajar 05 cm de la vigas para que la losa este envevida con la vigas de amarre
Edificio Alto Prada	PREL - 008	PISO 08	452.4349	382.3469	85%	Cambio el diseño de la losa de lo tradicional a la prelosa en el diseño del nivel del Piso 08	El diseño de la losa del Piso 08 se realizo mediante la manera tradicional pero debido a la reduccion de tiempo y costo se opto por el proceso constructivo de prelasas por lo que hubo interferencia evidenciales si se usara la metodologia BIM las observaciones seria la minima y poder realizar mejor el costo benificio en la ejecucion de la obra. Durante la ejecucion del nivel 01 se realizo el izzage con la grua torre, teniendo consideraciones de calidad, antes de la instalacion y otras consideracion como solicitar tecnopor de mayor densidad, bajar 05 cm de la vigas para que la losa este envevida con la vigas de amarre
			4962.31	4053.50	82%		

Resumen (al pie): Participación (%) = $(\Sigma \text{área con prelasas} / \Sigma \text{área total losa}) \times 100$

Ficha – OE3: Índice Beneficio–Costo (B/C)

Indicador (VD–d3): B/C (adimensional)

Proyecto	Descripción	Ahorro directo (USD)	Ahorro indirecto (USD)	Ahorro total (USD)	Costo implementación BIM (USD)	B/C (adimensional)	Observación
Edificio Alto Prada	PRESUPUESTO TOTAL GENERAL	\$116,784.23	\$92,270.27	\$209,054.50	\$13,513.51	15.47	Es el costo que conlleva en la realización de la prelosa con BIM en la ejecución de la obra Alto Prada
Edificio Alto Prada	En mano de obra referido a la sumatorias de partidas ACU simples	-	-	\$20.46	-	0.81	Tomado como costo acumulado de mano de obra en las partidas ACU programadas y observadas, para luego determinar un B/C estimado como consecuencia de la aplicación del BIM y de las prelosas
Edificio Alto Prada	En materiales referido a la sumatorias de partidas ACU simples	-	-	\$9.86	-	0.97	Tomado como costo acumulado de materiales en las partidas ACU programadas y observadas, para luego determinar un B/C estimado como consecuencia de la aplicación del BIM y de las prelosas
Edificio Alto Prada	En equipo referido a la sumatorias de partidas ACU simples	-	-	\$1.01	-	0.99	Tomado como costo acumulado de materiales en las partidas ACU programadas y observadas, para luego determinar un B/C estimado como consecuencia de la aplicación del BIM y de las prelosas

Cálculos: Ahorro total = Ahorro directo + Ahorro indirecto; B/C = Ahorro total / Costo implementación BIM.

Matriz de relación (síntesis para resultados)

(para análisis de OE2 y OE3)

Proyecto	costo	Costo baseline (USD 2024)	Costo observado (USD 2024)	Δ costo (USD 2024)	B/C (adimensional)	% ahorro	Observaciones
Edificio Alto Prada	directo	\$263,449.71	\$146,665.48	\$116,784.23	0.56	44.33%	La implementación del BIM produjo un ahorro del 33% respecto de la programación inicial, y la relación B/C es 15.47, es decir el beneficio es 15.47 veces el costo de inversión en BIM
	indirecto	\$369,081.08	\$276,810.81	\$92,270.27	0.75	25.00%	
	Total	\$632,530.79	\$423,476.29	\$209,054.50	0.67	33.05%	