

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**ANÁLISIS DEL RETORNO DE INVERSIÓN AL APLICAR
BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) EN UN
PROYECTO INMOBILIARIO. (LIMA - PERÚ)**

Tesis para optar el Título Profesional de **INGENIERO CIVIL**, que
presentan los bachilleres:

AUTORES:

Julio Cesar Cabrera Aguilar

Luis Fernando Quiroz Montoya

ASESOR:

Ing. José Félix Alejandro Benavides Vargas

Lima, Julio del 2020

RESUMEN

El alcance principal de la presente investigación busca medir la rentabilidad de una implementación BIM en un proyecto en el mercado peruano a través de un parámetro económico sencillo como lo es el retorno de inversión (ROI por sus siglas en inglés).

Así mismo, la importancia radica en encontrar indicadores que convenczan a los no usuarios de la metodología BIM en la industria peruana del valor que la implementación de esta generaría al reducir la variabilidad de alcances, costos y plazos (reducción de las pérdidas por incompatibilidad de diseños, reducción de las inadecuadas gestiones en la construcción ligadas a las metodologías tradicionales de construcción, entre otras); así como mejorar los procesos de control tradicionales en sus proyectos.

Para ello, se analizó un proyecto desarrollado bajo un enfoque tradicional y paralelamente se simuló este mismo proyecto bajo un enfoque BIM; posteriormente se procedió a comparar y analizar ambos resultados utilizando ciertos parámetros cualitativos y cuantitativos, para de esta forma poder determinar el valor agregado que otorgaría el implementar BIM en un proyecto inmobiliario.

Finalmente, pretendemos que los resultados, conclusiones y recomendaciones producto de esta investigación puedan sea usados como sustento para justificar futuras implementaciones BIM en proyectos y empresas similares del rubro construcción.



En agradecimiento a nuestros padres, por su incondicional apoyo durante las largas noches de desarrollo de la presente investigación, así como por su gran apoyo emocional y dedicación en todos estos años. De la misma manera, toda nuestra gratitud y aprecio para con nuestro asesor José Félix Benavides, por el tiempo dedicado y el valioso aporte de conocimientos y apoyo durante todo el proceso.

Tabla de Contenido

1. Generalidades	1	
1.1	Introducción	1
1.2	Justificación	2
1.3	Preguntas de Investigación	2
1.3.1	Pregunta Principal	2
1.3.2	Preguntas Especificas	2
1.4	Objetivos	2
1.4.1	Objetivo principal	2
1.4.2	Objetivos específicos	3
1.5	Hipótesis	3
2. Marco Teórico	4	
2.1	Proyectos de Construcción	4
2.1.1	Situación actual de los proyectos de construcción	4
2.1.2	Etapas de un proyecto de construcción	6
2.1.3	Project Delivery Method	10
2.1.4	Líneas base de un proyecto	13
2.1.5	Control integrado de cambios	15
2.1.6	Principales causas de cambios en proyectos	20
2.1.7	Métodos de estimación de costos	23
2.2	Building Information Modeling (BIM)	25
2.2.1	¿Qué es BIM?	25
2.2.2	Dimensiones BIM	28
2.2.3	Level of development (LOD)	32
2.2.4	Nivel de madurez	35
2.2.5	Integrated Project delivery	36
2.3	Retorno de inversión (ROI)	37
2.3.1	Definición	37
2.3.2	Cálculo del ROI	38
2.3.3	Limitaciones	39
3. Propuesta de Valor BIM	40	
3.1	Juicio de expertos	40
3.1.1	Resumen de entrevista a Ing. Carlos Jurado	40
3.1.2	Resumen de entrevista a Arq. Rómulo Berteyo	41
3.1.3	Resumen de entrevista a Ing. Leonardo Rischmoller	42
3.2	Valor percibido por los stakeholders	42
3.3	Principales Beneficios Económicos Producto de la Implementación	44
3.3.1	Reducción de incompatibilidades e interferencias	44
3.3.2	Reducción de errores de diseño y modificaciones de alcance	45
3.3.3	Reducción de tiempo de metrados y aumento de precisión	47
3.3.4	Incremento de productividad en etapa de planeamiento	47

4. Metodología	50
4.1 Resumen	50
4.2 Recolección de datos	52
4.3 Elaboración de modelo BIM.....	52
4.4 Análisis y categorización de información	54
4.5 Cálculo de costos prevenibles en la implementación.....	55
4.6 Cálculo de costos de implementación.....	59
4.7 Cálculo del ROI	59
5. Caso de Estudio	60
5.1 Descripción de la empresa constructora	60
5.1.1 Antecedentes	60
5.1.2 Descripción del flujo de trabajo	60
5.2 Proyecto en estudio	61
5.2.1 Descripción del proyecto.....	61
5.2.2 Análisis y categorización de información	64
5.2.3 Modelamiento y análisis BIM	66
5.2.4 Determinación de costos prevenibles	67
5.2.5 Costos de implementación	87
5.3 Cálculo del ROI	89
6. Análisis de Resultados	90
7. Conclusiones y Comentarios	96
7.1 Conclusiones.....	96
7.2 Comentarios.....	97
8. Bibliografía	99

Lista de Figuras

Figura 2-1 PBI sector construcción en millones de soles – 2018.....	4
Figura 2-2 Vivienda construida de manera informal.....	5
Figura 2-3 Indicador de rentabilidad según actividad económica, 2007.....	6
Figura 2-4 Interacción y secuencia de grupos de procesos en proyectos.....	7
Figura 2-5 Adaptación de fases de un proyecto inmobiliario según Guzmán 2008.....	8
Figura 2-6 Comparativo entre modelos DBB y CMAR.....	13
Figura 2-7 Numero de RFI por intervalo de días, contados desde la fecha de inicio.....	16
Figura 2-8 Tiempo de respuesta de RFI en días.....	17
Figura 2-9 Control Integrado de Cambios: Entradas, Herramientas - Técnicas, y Salidas.....	18
Figura 2-10 Diagrama típico para flujo de cambios en proyectos de construcción.....	19
Figura 2-11 Incompatibilidad en Campo – Proyecto Rizo Patrón.....	21
Figura 2-12 Ejemplo de análisis de regresión.....	25
Figura 2-13 Intercambio de información tradicional vs BIM.....	26
Figura 2-14 Aplicaciones típicas de BIM en diferentes etapas del ciclo de vida del proyecto.....	27
Figura 2-15 Evidencia de las fases de los proyectos inmobiliarios emprendidos con BIM.....	28
Figura 2-16 Esquema Dimensiones BIM.....	28
Figura 2-17 Modelado BIM 3D.....	29
Figura 2-18 Planificación BIM 4D.....	30
Figura 2-19 Control de Costos BIM 5D.....	31
Figura 2-20 Edificación Sustentable BIM 6D.....	32

Figura 2-21 Muro Albañilería LOD200.	33
Figura 2-22 Muro Albañilería LOD 300 – 350	34
Figura 2-23 Muro Albañilería LOD 400.	34
Figura 3-1 Beneficios percibidos por contratistas.	43
Figura 3-2 Percepción del ROI de involucrados en construcción.	44
Figura 3-3 Cantidad de Interferencias e Incompatibilidades por proyecto.	45
Figura 3-4 Cantidad de órdenes de cambio y RFI según caso de estudio.	46
Figura 3-5 Tabla de resultados de la investigación según atributos.	47
Figura 3-6 Comparativo entre los tiempos de planificación usando método tradicional y PAE.	48
Figura 3-7 Automatización de sectorización usando Dynamo para Autodesk Revit.	48
Figura 3-8 Resumen de diseño de workshop según etapa.	49
Figura 4-1 Esquema de errores de información en proyectos durante el inicio y fin.	50
Figura 4-2 Resumen de primeros pasos de la metodología.	51
Figura 5-1 Renderizado del Proyecto B2.	61
Figura 5-2 Cronograma del Proyecto B2.	62
Figura 5-3 RFI por especialidad y tipo.	64
Figura 5-4 RFI en el tiempo.	65
Figura 5-5 Vista interior en Modelo BIM.	66
Figura 5-6 Vista exterior en Modelo BIM.	67
Figura 5-7 Incompatibilidad en puerta de baño vista en plano CAD de IISS.	68
Figura 5-8 Selección de elementos para clash detection –Incompatibilidad 01.	69
Figura 5-9 Incompatibilidad 1 – Conflicto 1	70
Figura 5-10 Incompatibilidad 1 – Conflicto 2	70
Figura 5-11 Análisis de clash detection, tuberías ACI vs Vigas.	72
Figura 5-12 Corroboración de medidas en modelo compatibilizado.	72
Figura 5-13 Incompatibilidad 02 plano gas.	74
Figura 5-14 Incompatibilidad 02 plano Arq.	74
Figura 5-15 Incompatibilidad 2 en Autodesk Naviswork 2020.	74
Figura 5-16 Incompatibilidad 03 - Montante en cocina 1602	76
Figura 5-17 Incompatibilidad 03 - Salida de montante de ventilación en piso 17.	76
Figura 5-18 Incompatibilidad 3 en Autodesk Naviswork 2020.	77
Figura 5-19 Incompatibilidad 04 – Esquema sanitario baño administración.	78
Figura 5-20 Incompatibilidad 04 – Losa de piso en baño de administración	78
Figura 5-21 Incompatibilidad 04 – Losa de piso en baño de administración.	79
Figura 5-22 Obtención de metrado de albañilería en Autodesk Revit 2020.	82
Figura 6-1 Distribución de ahorros producto de la implementación BIM.	90

Lista de Tablas

Tabla 4-1 Formato de evaluación de RFI – ítems (1), (2), (3), (4) y (5).	52
Tabla 4-2 Alcance de modelo BIM.	53
Tabla 4-3 Criterio de asignación de costos directos prevenibles con BIM.	56
Tabla 4-4 Condiciones para determinar días de impacto en costo indirecto por RFI prevenibles.	57
Tabla 5-1 Presupuesto proyecto B2.	63
Tabla 5-2 Salario mensual y por HH de los distintos involucrados.	65
Tabla 5-3 Presupuesto subsanación ISS.	70

Tabla 5-4 APU picado y resane de punto de agua.....	71
Tabla 5-5 Presupuesto subsanación tubería de sistema contra incendios.....	73
Tabla 5-6 Presupuesto reubicación de punto de gas.....	75
Tabla 5-7 Presupuesto reubicación de tubería de ventilación.....	77
Tabla 5-8 Presupuesto picado de ladrillos de techo y viguetas.....	79
Tabla 5-9 Resumen de costos directos prevenibles por reducción de incompatibilidades.....	80
Tabla 5-10 Ahorros en costos indirectos producto de la reducción de interferencias.....	81
Tabla 5-11 Cuadro resumen de optimización en tiempo de metrados.....	82
Tabla 5-12 Estimación por 3 valores.....	83
Tabla 5-13 Ahorro en tiempo de metrados.....	83
Tabla 5-14 Costo invertido en realizar tren de trabajo.....	84
Tabla 5-15 Costo invertido en realizar sectorización.....	84
Tabla 5-16 Costo probable aplicando PAE.....	85
Tabla 5-17 Ahorro en tiempo de planificación.....	85
Tabla 5-18 Ratios de RFI y COR por cada proyecto.....	86
Tabla 5-19 HH invertida por RFI y COR.....	87
Tabla 5-20 Ahorro producto de la reducción de RFI y COR.....	87
Tabla 5-21 Costo de elaboración y gestión de modelo BIM.....	88
Tabla 5-22 Costo total de implementación BIM.....	89
Tabla 5-23 Retorno de la inversión (ROI) de la implementación BIM en el proyecto.....	89
Tabla 6-1 Flujo de caja de la inversión y cálculo de TIR.....	94

Lista de Fórmulas

Fórmula 2.1 Estimación Beta.....	24
Fórmula 2.2 ROI (Feibel 2003).....	38
Fórmula 4.1 Porcentaje de Reducción de Metrados.....	55
Fórmula 4.2 Porcentaje de Excititud de Metrados.....	55
Fórmula 4.3 Metraje prevenible con BIM.....	55
Fórmula 4.4 Ahorro por Interferencias Prevenibles.....	57
Fórmula 4.5 Ahorro por Reducción de COR.....	57
Fórmula 4.6 Ahorro por Reducción de Tiempo de Metrados.....	58
Fórmula 4.7 Ahorro por Incremento de Precisión de Metrados.....	58
Fórmula 4.8 Ahorro por Incremento de Productividad en Planeamiento.....	58
Fórmula 4.9 Costo Prevenible Total.....	58
Fórmula 4.10 Retorno de Inversión.....	59

1. Generalidades

1.1 Introducción

Desde la aparición de los neandertales hace 175.000 años y la primera construcción humana registrada la humanidad se ha visto envuelta en un constante proceso de transformación y actualización, tanto de los procesos constructivos como de las herramientas empleadas, siempre en la búsqueda de optimización de tiempos y esfuerzos demandados. Es así como hoy en día, vemos que, en el sector de la construcción, la evolución tecnológica ha traído consigo grandes avances, estos no sólo se pueden percibir durante la etapa de construcción, sino también a lo largo de todas las fases de un proyecto constructivo. Este es el caso de la metodología BIM, Building Information Modeling, por sus siglas en inglés, la cual brinda una visión más amplia e integral del proyecto mediante el modelamiento de éste por ordenador.

Las ventajas de BIM han permitido que la industria de la construcción transforme radicalmente los procesos de diseño, construcción y control de un proyecto. Como estándar en la mayoría de los países de primer mundo y para muchos profesionales de la construcción en nuestro país, la implementación BIM se justifica por la reducción de solicitudes de información (RFI), una forma por la cual se solicita el esclarecimiento de ciertas consultas por errores u omisiones en la información técnica del proyecto; además de reducción de demoras y la facilidad para la obtención de incompatibilidades e interferencias en los proyectos. Sin embargo, el alto costo inicial, la falta de información y el miedo al cambio existente en la industria de construcción en Perú han tenido como resultado una incipiente implementación BIM tanto en el sector privado como público; ya que, como sabemos el principal punto a evaluar por las empresas constructoras al momento de considerar la implementación BIM resulta el factor costo. Es por esta razón que nuestra tesis busca medir la rentabilidad de una implementación

BIM en un proyecto en el mercado peruano a través de un parámetro más simple y asequible para la mayoría de las personas como lo es el retorno de inversión (ROI). Finalmente, se

pretende que esta tesis sea usada como sustento para futuras implementaciones BIM en proyectos y empresas que lo requieran.

1.2 Justificación

Debido a que en el sector construcción peruano aún prevalecen los procesos de diseño, ejecución y control de obra tradicional, la importancia de la presente investigación radica en encontrar indicadores que convencen a los no usuarios de la metodología BIM, del valor que esta genera al reducir la variabilidad de alcances, costos y presupuestos, así como también poder reducir las pérdidas por incompatibilidad de diseños, inadecuadas gestiones en la construcción y mejorar el control de los procesos. Esto significaría un beneficio económico para las empresas que decidan aplicar dicha metodología, por ello es que resulta importante la implementación de esta metodología, ya que a su vez significaría un crecimiento en el desarrollo de una de las industrias más importantes del país.

1.3 Preguntas de Investigación

1.3.1 Pregunta Principal

- ¿Cuál es la relación entre el ahorro producto de implementar BIM en un proyecto inmobiliario y la inversión hecha?

1.3.2 Preguntas Especificas

- ¿Qué beneficios económicos trae consigo la implementación de BIM en un proyecto inmobiliario?
- ¿Resulta influyente el uso de esta metodología sobre la rentabilidad total del proyecto?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo principal

- Evaluar el retorno de inversión (ROI) como resultado de implementar Building Information Modeling (BIM) en el ámbito de un proyecto inmobiliario del mercado peruano.

1.4.2 Objetivos específicos

- Cuantificar los beneficios económicos de implementar Building Information Modeling (BIM) en un proyecto inmobiliario del mercado peruano.
- Analizar el impacto de la implementación en la rentabilidad total del proyecto

1.5 Hipótesis

- El indicador financiero (ROI) producto de la implementación BIM en un proyecto de construcción en Lima – Perú resultará positivo, debido a que esta metodología permite a los usuarios reducir las interferencias e incompatibilidades, RFIs y ordenes de cambio, las cuales, al ser solucionadas en etapas tempranas, evitan sobrecostos por retrabajos o tiempos paralizados; un ejemplo de ello es la fase de diseño.
- La implementación BIM trae consigo una serie de beneficios económicos producto de la reducción de retrabajos y el tiempo que estos involucran.
- El uso de la metodología BIM tiene un impacto positivo dentro de la utilidad total del proyecto.

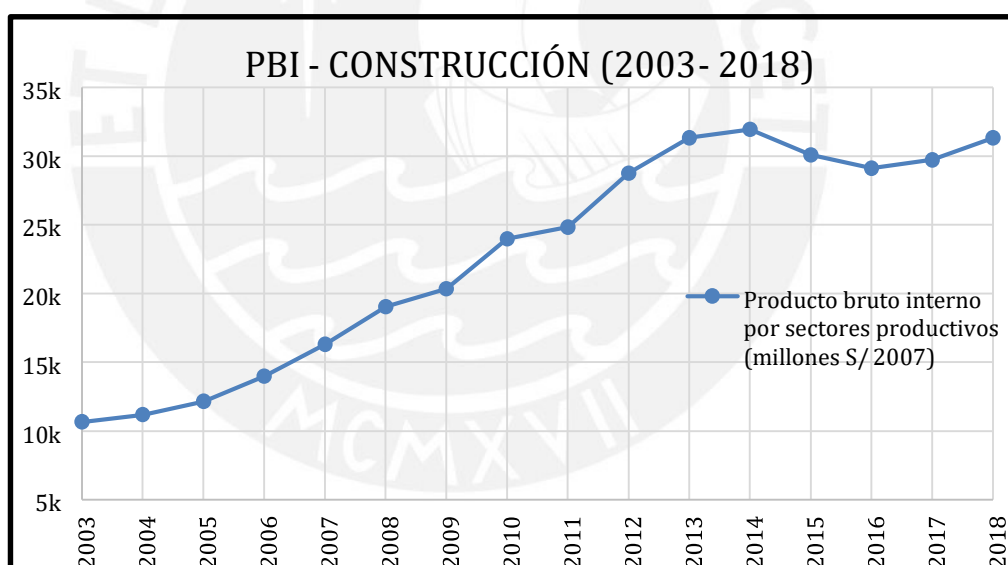
2. Marco Teórico

2.1 Proyectos de Construcción

2.1.1 Situación actual de los proyectos de construcción

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el sector construcción peruano ha mantenido una tendencia al crecimiento en los últimos 15 años, esto queda evidenciado en el PBI por sectores cuyo método de cálculo toma como base los valores obtenidos en las cuentas nacionales para el año 2007, así como una serie de variables dependientes de cada sector. Como puede verse en la Figura 2-1, este crecimiento ha sido casi sostenido, con excepción de los años 2015 y 2016, en los cuales se registraron variaciones negativas con respecto a años consecutivos y cuyas fechas correspondían a cambios de gobierno.

Figura 2-1 PBI sector construcción en millones de soles – 2018.



(Fuente: Banco Central de Reservas del Perú)

Dichos resultados, generaron un panorama muy atractivo para distintas empresas constructoras nacionales y extranjeras, tanto en el sector privado como en el público, debido a la cantidad de obras demandadas. Esto hizo que se cree una gran competencia de precios y propuestas técnicas al momento de licitar para ejecutar proyectos, como consecuencia de ello se descubrieron una serie de irregularidades en los procesos de licitaciones públicas en el año 2016. Casos como “lavajato” y el club de la construcción, evidenciaron los mecanismos de

corrupción que empleaban muchas de las grandes constructoras con el fin de ganar licitaciones; entre estos mecanismos de corrupción se descubrieron sobornos a altos funcionarios del estado, concertaciones entre los postulantes y manipulación de los expedientes técnicos, lo cual terminó generando adicionales que serían pagados mediante arbitrajes previamente acordados.

Por otro lado, la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO), menciona a la informalidad como otro de los grandes problemas de la construcción en el país.

Según Fort Dasso (2018), presidente del comité de proveedores, el acceso a la vivienda formal puede darse debido, principalmente, a los 3 siguientes condicionantes: La regulación del uso del suelo, que promueve o limita la existencia de uno o varios centros urbanos. La infraestructura de la movilidad urbana, que está correlacionada con la ubicación y el tamaño de las viviendas. Finalmente, las rigideces del mercado inmobiliario, que condiciona el acceso a la vivienda formal e influye en la formación de los asentamientos informales. (Revista Constructivo, 2019).

Así mismo, Javier Pique, ex ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento, señaló en una entrevista al canal del estado (TV Perú), que el 70% de las viviendas de Lima son informales, es decir, no se han construido siguiendo normas técnicas ni buenas prácticas (TV Perú, 2018).

Figura 2-2 Vivienda construida de manera informal.

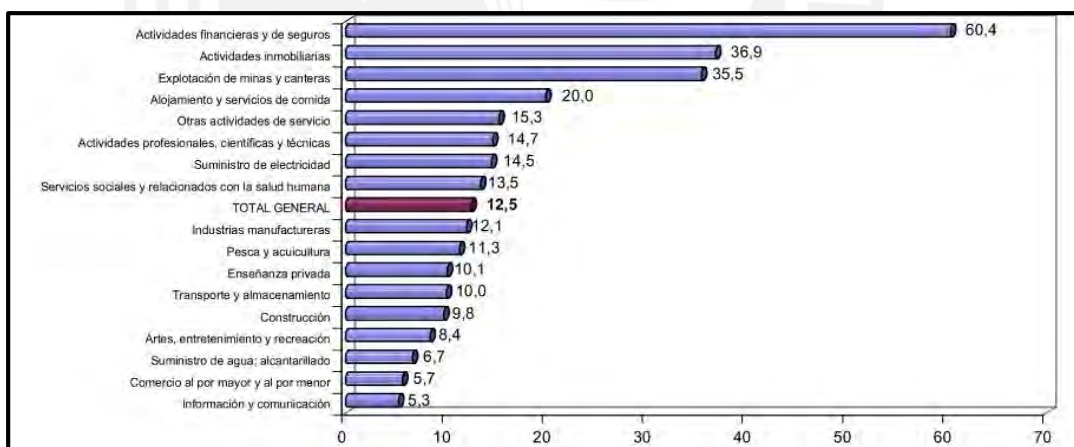


(Fuente: RPP noticias)

Por último, según los reportes de rentabilidad del INEI para el año 2007, muestra que la rentabilidad para el sector construcción (9.8%) resulta menor que la correspondiente a otras actividades económicas. Incluso aquellas que tienen como parte importante de su cadena de valor a la construcción, muestran porcentajes mayores, como es el caso de las actividades inmobiliarias, cuyo indicador de rentabilidad es de 36.9%.

Por ello, puede verse en la actualidad, que muchas empresas deciden tercerizar el servicio de construcción, ya que les resulta mucho más atractiva y rentable la actividad inmobiliaria, antes que generar utilidad “extra” ejecutando también la construcción. Esto puede resultar beneficioso hasta cierto nivel, pues esto promueve la especialización de la empresa inmobiliaria; sin embargo, en un mercado más volátil y con niveles de rentabilidad más ajustados, las empresas que puedan conseguir dichos puntos porcentuales “extra” serán las que persistirán en el sector inmobiliario local.

Figura 2-3 Indicador de rentabilidad según actividad económica, 2007.



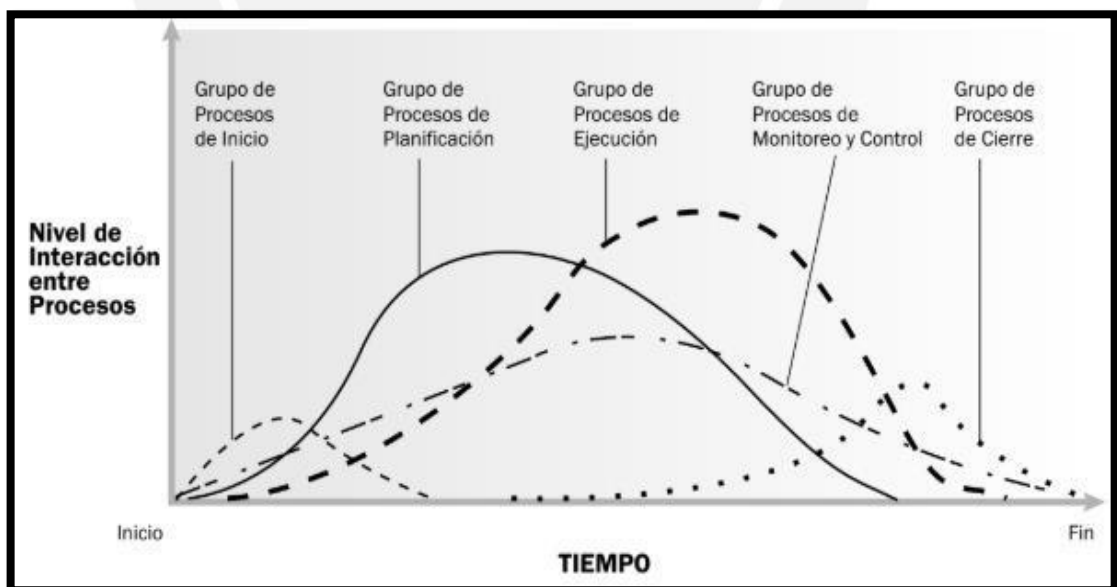
(Fuente: INEI)

2.1.2 Etapas de un proyecto de construcción

Una forma de mejorar la dirección, planificación y control de proyectos es la división en subconjuntos lógicos e interconectados, a las cuales denominaremos etapas. Dichas etapas pueden escogerse según la naturaleza de cada proyecto y la necesidad de entregables específicos en el tiempo, además suelen distribuirse a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto.

Así mismo, el Project Management Institute, en su guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (PMBOK) plantea una división estándar del ciclo de vida, la cual puede ser aplicada a cualquier tipo de proyecto. En ese sentido, se tienen 49 procesos, los cuales son agrupados dentro de los denominados grupos de procesos (inicio, planificación, ejecución, control y cierre) y suelen estar interconectados entre sí, como muestra la Figura 2-4. Esta conexión entre procesos y su distribución a lo largo del ciclo de vida, dependerá en gran medida del enfoque de desarrollo que se escoja para el proyecto. En enfoques de desarrollo predictivos, se suele tener una clara división en el tiempo de los grupos de procesos, pese a que ante cambios se tenga que volver a recorrer algunos o todos los grupos, la mayor cantidad de estos se da en un espacio temporal asignado dentro del ciclo de vida. Por otro lado, se tienen los enfoques de desarrollo adaptativos o ágiles, en los cuales se buscan tener ciclos cortos con los 5 grupos de proceso en cada uno, de esta manera se va agregando funcionalidad de manera incremental; este tipo de enfoque de desarrollo suele ser ampliamente usado en el desarrollo de software.

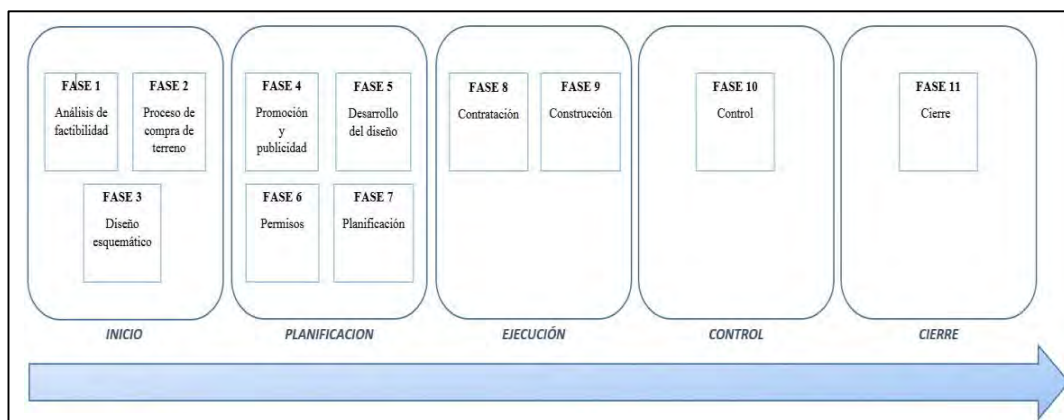
Figura 2-4 Interacción y secuencia de grupos de procesos en proyectos.



(Fuente: PMBOK, 6ta edición)

Pese a que suele existir cierta confusión entre las fases de un proyecto y los grupos de procesos, ya que en teoría estos 2 términos no suelen ser lo mismo, es usual para enfoques de desarrollo predictivos como es el caso de la construcción, que se pueda encasillar determinada fase dentro de un grupo de procesos específico. Por ejemplo, tal como muestra la Figura 2-5, podríamos encasillar a la mayor cantidad de trabajo de una fase de un proyecto inmobiliario dentro de un grupo de procesos.

Figura 2-5 Adaptación de fases de un proyecto inmobiliario según Guzmán 2008.



(Fuente: Elaboración propia)

A continuación, se procede a desarrollar cada grupo de procesos y su relación con las fases de un proyecto de construcción:

2.1.2.1 Inicio

En primer lugar, tenemos a los procesos de inicio, con los cuales se busca analizar el caso de negocio planteado para el proyecto y determinar la viabilidad de este con los objetivos estratégicos de la organización. Esta fase resulta sumamente importante, ya que se identifican a los interesados internos y externos; de esta forma se trata de alinear los objetivos con los requerimientos de estos, y lograr que brinden apoyo. (Project Management Institute, 2017). Así mismo, se ejecuta un análisis de alto nivel cuyos principales acuerdos quedan consignados en el acta de constitución del proyecto.

En cuanto a los proyectos inmobiliarios se sabe que durante esta etapa se realiza el estudio de viabilidad del proyecto, en el cual se evalúa la rentabilidad a través de indicadores financieros, tanto para el promotor inmobiliario como para los inversionistas, teniendo como base los parámetros urbanísticos de los posibles terrenos, así como la competencia de precios de mercado. Además, durante esta etapa también se realiza la compra del terreno y el proyecto esquemático o anteproyecto. (Guzmán, 2008)

2.1.2.2 Planificación

Seguidamente, se tienen a los procesos de planificación. Estos buscan refinar los objetivos planteados en pasos anteriores, además de establecer el plan de acción y elaborar los documentos necesarios para poder llevar el proyecto con éxito (Lledó, 2017). Es así como esta etapa resulta fundamental para el desarrollo del proyecto ya que traza el horizonte sobre el cual se desarrollarán las etapas subsiguientes. Asimismo, el Project Management Institute (2017) menciona que, en esta etapa, se explorarán todos los aspectos de alcance, tiempo, costo, calidad, comunicaciones, recursos humanos, riesgos, adquisiciones y participación de los interesados.

De igual forma que la fase anterior, es usual denominar a esta fase como “Fase de Proyecto”, la cual tiene como entregable final el expediente técnico, documento que reúne todos los aspectos mencionados líneas arriba, entre los cuales se encuentran las líneas base de tiempo, costo y alcance. En el ámbito inmobiliario, estos corresponden al íntegro del diseño arquitectónico, estructural y especialidades, según los requisitos de mercado asumidos en la etapa previa, así como los permisos requeridos para la ejecución del proyecto, presupuesto y cronograma de obra. (Guzmán, 2008)

2.1.2.3 Ejecución

Según el plan de acción planteado en la fase anterior, la presente busca completar los trabajos definidos necesarios para alcanzar los objetivos. Según el desarrollo de la ejecución, se podrían ir presentando desviaciones con respecto a las líneas base planteada en la planificación. Esto

podría significar el establecimiento de nuevas líneas base (Project Management Institute, 2017).

En el caso de los proyectos de construcción, podemos llamar a esta fase la de “Construcción”, cuyo entregable final será la edificación culminada.

2.1.2.4 Seguimiento y control

De manera paralela, este grupo de procesos busca asegurar el cumplimiento del plan de acción del proyecto y las líneas base establecida. Esto se logra a través de una serie de acciones correctivas y preventivas que permitan anticipar problemas. El fin principal del seguimiento y control, se resume en detectar dichas brechas con la mayor antelación posible, de esta forma las acciones que se deseen tomar pueden prevenir grandes desviaciones de los valores iniciales (OBS Business School, 2017).

2.1.2.5 Cierre

Por último, se tiene el cierre, el cual está compuesto por todas las actividades necesarias para culminar formalmente los proyectos, exitosos o no exitosos, así como todas las obligaciones contractuales existentes (Mulcahy et al., 2016). En el ámbito de la construcción, el cierre del proyecto podría darse con distintos entregables, según el tipo o esquema del proyecto; el entregable final podría ser el acta de recepción de la obra terminada, el acta de conformidad de obra, etc.

2.1.3 Project Delivery Method

Un PDM, método de entrega de proyecto traducido al español, es un sistema para organizar y financiar el diseño, construcción, operación y mantenimiento de un proyecto; el cual facilita la entrega del bien o servicio (Miller et al. 2000). Según (Sanvido y Konchar, 1999), pese a que existen diversos tipos de PDM, en lo que respecta a la industria de la construcción, podemos ver que en su gran mayoría todos se rigen por los siguientes tres tipos: Design-Bid-Build (DBB), Design-Build (DB) y Construction Management (CM).

2.1.3.1 Design-Bid-Build (DBB)

Conocido también como el método tradicional, por ser el más usado en el ámbito de construcción, fue diseñado principalmente para reducir el riesgo de casos de corrupción y sobrecostos. Este puede ser usado tanto en el ámbito público como privado y producir resultados de calidad, si se usa bajo las condiciones apropiadas; en este caso, el propietario contratará de forma separada con el diseñador y el constructor.

En primer lugar, contactará con la empresa de diseño o proyectista, quien se encargará de realizar el íntegro del diseño, así como la información técnica necesaria. Una vez culminada esta etapa, el propietario abrirá un proceso de licitación, en el cual solicitará propuestas económicas a los posibles constructores, para la realización del proyecto. Una vez escogido al ganador, usualmente con la mejor propuesta económica, empieza el proceso de construcción. (Konchar and Sanvido, 1999).

Entre las principales ventajas que tiene este método, podemos encontrar el fácil entendimiento y documentación de los procesos, la percepción de justicia, así como un mayor control para el propietario (Rojas and Kell 2008; Kenig 2011; U.S. DOT 2006). En contraparte, podemos mencionar que las desventajas más incidentes del presente método radican en la limitada oportunidad de colaboración, el desarrollo de relaciones adversas entre algunos involucrados y un incremento en la probabilidad de fallas por parte del constructor, debido a la competencia generada en el proceso de licitación. (Konchar 1997; O'Connor 2009; U.S. DOT 2006; Cox et al. 2011).

2.1.3.2 Design-Build (DB)

Es un método de entrega de proyectos, en el que el propietario contrata con una única entidad, para el desarrollo tanto de la fase de diseño como la de construcción, bajo un contrato de diseño-construcción. De esta forma, el propietario asigna toda la responsabilidad contractual a un único ente. Sin embargo, partes del proyecto podrán ser desarrollados por otras entidades, las cuales podrán ser contactadas a manera de subcontrato (Konchar and Sanvido, 1999).

Algunas de las ventajas de este método, son que el propietario no tendrá que preocuparse por ser intermediario en posibles disputas entre el diseñador y constructor, además de que los cambios y errores serán asumidos íntegramente por esta única entidad (Cushman and Loulakis, 2001).

Según un estudio realizado por (Rosner et al, 2009), el cual consistía en determinar el método más apropiado, bajo el cual se debió contratar la construcción de bases aéreas en los Estados Unidos, mediante el análisis de una muestra de 835 construcciones militares (557 construidas bajo DBB y 278 por DB); pudo encontrarse que el método DB superaba al tradicional DBB, principalmente en lo que respecta al incremento del costo y la cantidad de modificaciones por millón de dólares de construcción. Sin embargo, el DBB supero al DB, en el tiempo total de ejecución del proyecto.

2.1.3.3 Construction Manager At Risk (CMAR)

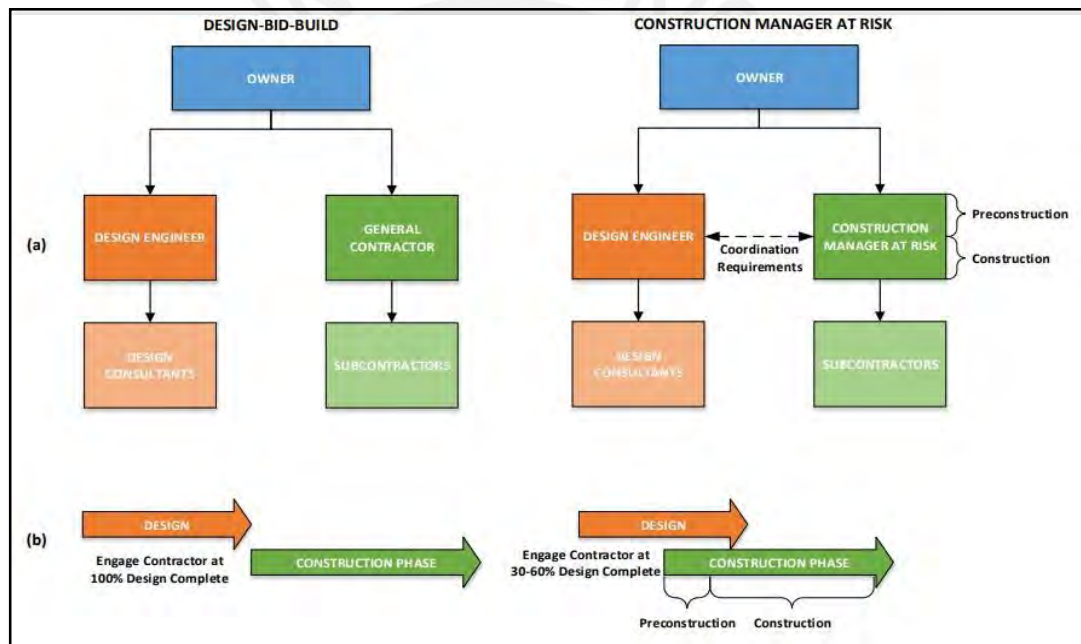
En este caso, el propietario contrata a un Construction Manager (CM), también conocido como administrador del sitio, para supervisar y dirigir varias operaciones dentro de un proyecto de construcción, quien asume la responsabilidad de construir el proyecto y asegura que el proyecto se ejecute a tiempo y dentro del presupuesto. Por otro lado, este deberá dar soporte al proyectista en temas de constructabilidad, el cual será contratado de forma independiente.

Según (Tober C, 2015), pese a que en este método también se genera una separación entre el diseñador y el constructor, también existen diferencias con respecto al DBB, las cuales se explica a continuación:

En un enfoque CMAR, el diseñador y el constructor deberán ser requeridos contractualmente para coordinar durante la fase de diseño. El constructor tendrá 2 contratos: El primero consistirá en un contrato de pre-construcción, el cual se desarrollará durante la fase de diseño, dando servicios de revisión de los diseños, revisión de constructabilidad, estimación de costo, ingeniería de valor y estimación de tiempos; por otro lado, el segundo contrato refiere a la construcción en si del proyecto previamente diseñado.

Por último, el proceso de selección del constructor dista en ciertos aspectos del DBB. Mientras que en un DBB podemos ver que el propietario escoge al constructor principalmente por la propuesta económica que este realiza, por encima de su experiencia, en un CMAR el propietario deberá escoger al constructor por una combinación de propuesta técnica y económica. Como se puede ver en la Figura 2-6, ambos métodos tienen similitudes, sin embargo, como se explicó líneas arriba, la principal diferencia radica en la intervención, coordinación y la responsabilidad contractual durante la fase de diseño por parte del constructor.

Figura 2-6 Comparativo entre modelos DBB y CMAR.



(Fuente: Tober C. Francon)

2.1.4 Líneas base de un proyecto

Uno de los principales objetivos de la etapa de planificación, es la creación del plan de acción del proyecto, el cual a su vez define todos los aspectos iniciales en cuanto a alcance, tiempo, costo, calidad, etc. Estos aspectos iniciales pueden considerarse como las líneas base del proyecto y su cumplimiento definirá el éxito de un proyecto. Es así como decidimos enfocarnos en las 3 principales líneas base: línea base de alcance, línea base de tiempo y línea base de costo.

2.1.4.1 Línea base de alcance

Luego de que se ha definido la totalidad del alcance del proyecto, el cual a su vez ha sido compatibilizado con los requisitos de todos los interesados, se obtiene la estructura de desglose del trabajo (EDT/WBS). Según el Project Management Institute (2017), las EDT logran cumplir las metas de los proyectos a través del fraccionamiento y clasificación escalonada del alcance total de un proyecto a ejecutar, dando como resultado una determinada lista de entregables.

Con respecto a la anterior mencionada línea base, Mulcahy (2016), nos indica que esta queda definida: “Con la aprobación del alcance definido, la EDT creada y el diccionario de la EDT (documento que brinda información sobre los entregables y demás componentes de la EDT)”

2.1.4.2 Línea base de tiempo

De acuerdo con Lledó (2017), la línea base de tiempo, refiere a la versión aprobada del cronograma, el cual a su vez compone el plan de dirección del proyecto. Este modelo de programación representa un conjunto de actividades relacionadas y planificadas cronológicamente, con una fecha de inicio y fin definidas, hitos y recursos asignados. Para su desarrollo se toman como datos de entrada la línea base de alcance, la cual incluye la EDT, la estimación de duración de las actividades, el registro de riesgos, entre otros. Podemos observar que la cantidad de recursos asignados al proyecto tienen una relación directa con la duración de las actividades, por lo que las desviaciones que se den con respecto a la línea base de tiempo podrían generar desviaciones en la línea base de costos. Este efecto se dará cuando los retrasos afecten a la ruta crítica del proyecto.

2.1.4.3 Línea base de costo

Una vez que se tienen definidas las líneas base de alcance y tiempo, se obtiene el presupuesto del proyecto. Este consiste en estimar los costos correspondientes a completar cada paquete de trabajo, así como los costos producto de la duración de cada uno. El presupuesto, resultará de la suma de todos los valores estimados, para cada actividad del cronograma. En ese sentido, El Project Management Institute (2017) define a la línea base de costos como: “la versión

aprobada del presupuesto por fases del proyecto, excluyendo cualquier reserva de gestión, que sólo se puede cambiar a través de procedimientos formales de control de cambios, y que se utiliza como base de comparación con los resultados reales (Project Management Institute, 2017).

Como mencionamos anteriormente, las variaciones en las líneas base de alcance y cronograma, tendrán implicancia directa en la línea base de costos por lo que la correcta aplicación de métodos de control reducirá las desviaciones entre los costos reales y la línea base.

2.1.5 Control integrado de cambios

2.1.5.1 Request for information (RFI)

Según Whited (2009), en muchos proyectos de construcción, es inevitable que los documentos contractuales y especificaciones aborden adecuadamente cada parte del proyecto. Diferencias, conflictos y ambigüedades podrían requerir información adicional para ser clarificadas. En ese sentido los *Request for information* (RFI) son usados comúnmente para resolver dichos temas. Por otra parte, estos deberían explicar de forma clara y sencilla el propósito por el cual se generan. En ese sentido, preguntas clasificadas como menores o que solo requieran de un “SI” o “NO” deberían ser evitadas.

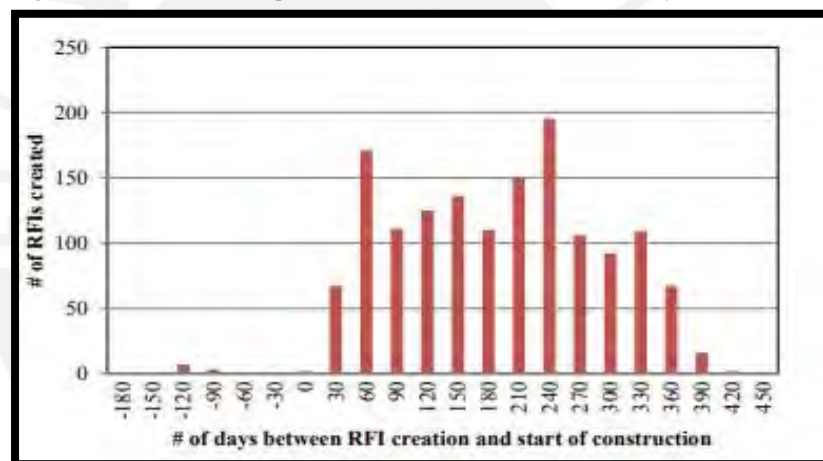
Adicionalmente, Hanna (2012), recomienda que la mayor cantidad de RFI deben ser evaluados antes de ser enviados ya que conllevan un potencial cambio en el costo y tiempo. Asimismo, estos deben ser minimizados durante la etapa de construcción, aunque pueden usarse para realizar coordinaciones y resolver conflictos.

Debido a ello, no resulta extraño pensar que la falta de calidad en la información técnica es un problema importante dentro de los proyectos de construcción, así como uno de los grandes retos de nuevas metodologías que han surgido en los últimos años. Con respecto a esto, Hughes, Wells, Nutter & Zack (2013), consideran que los impactos adversos de una gran cantidad de RFI y su mala gestión dentro de un proyecto de construcción, puede producir: 1) mayores tiempos de revisión y respuesta, 2) mayores gastos debido al incremento en el tiempo

de revisión y respuesta, 3) retrasos en el cronograma del proyecto, debido a retrasos en las respuestas y finalmente 4) potenciales reclamos.

Por otra parte, un estudio realizado por Shim, Carter y Kim (2016), en un proyecto de ampliación y remodelación de una universidad en el medio oeste de los Estados Unidos, ejecutado bajo un PDM de tipo CMAR con un aseguramiento del precio máximo. Mostró un total de 1484 RFI, de los cual se pudo ver que en el 61.66% de los casos, las respuestas a las consultas llegaban con más de una semana desde la emisión. Además, la mayor parte de los casos se dieron durante le etapa de construcción, poniendo en riesgo la ejecución debido a que podía afectarse la ruta crítica si no se recibía una respuesta a tiempo

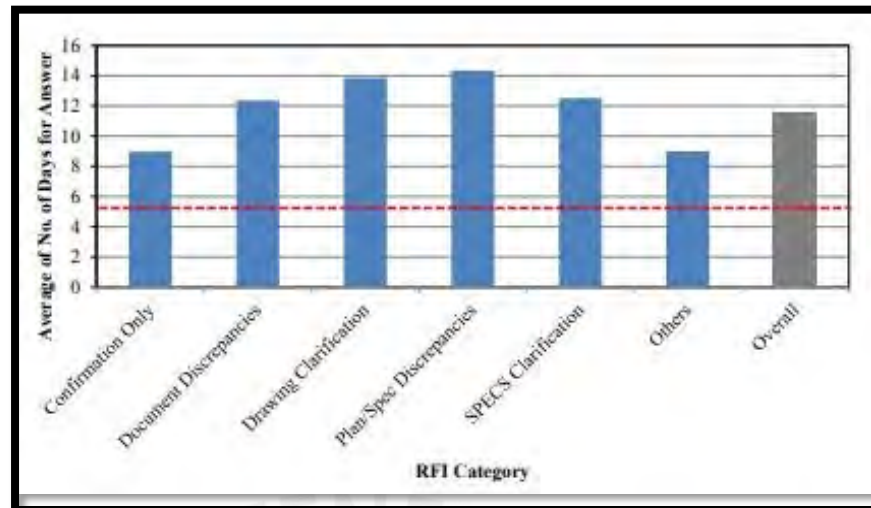
Figura 2-7 Numero de RFI por intervalo de días, contados desde la fecha de inicio.



(Fuente: Shim, Carter y Kim 2016)

Siguiendo la investigación de Shin et al. (2016), se pudo clasificar como principales causas de emisión de RFI a las 5 categorías detalladas en la Figura 2-8, siendo la de mayor incidencia confirmaciones al diseño y aclaraciones en los planos. Por otra parte, se puede ver que, para el proyecto en estudio, los RFI demoraron en promedio 11.5 días.

Figura 2-8 Tiempo de respuesta de RFI en días.



(Fuente: Shim, Carter y Kim (2016))

2.1.5.2 Ordenes de cambio (COR)

En muchas circunstancias, resulta necesario ejecutar modificaciones sobre las líneas base del proyecto, ya sea por la actualización de algún documento técnico o por algún proceso de mejora frente a los resultados de desempeño, entre muchas razones. Todo cambio que afecte las consideraciones iniciales del proyecto necesita un proceso formal, mediante el cual, se aprueben dichos cambios. En base al Project Management Institute (2017), las órdenes de cambio pueden incluir acciones correctivas o preventivas, así como alguna otra modificación o reparación que signifique una mejora en el proyecto. Estas se revisan y se procesan, y su aprobación producirá cambios en las líneas base, así como en el plan de ejecución del proyecto. Siguiendo lo mencionado en la guía del Project Management Institute (2017)

Según el proceso de cambios, se requiere de una evaluación del impacto en las distintas ramas del proyecto (tiempo, costo, riesgos, etc.). Debido a dicho impacto, se requiere de un proceso formal, mediante el cual se pueda realizar un correcto análisis del cambio en cuestión. Todas las ordenes de cambio deberán ser debidamente documentadas, para posteriormente ser aprobadas, aplazadas o rechazadas por el responsable, o de ser el caso, el comité de control de cambios.

En ese sentido, el American Institute of Architects (AIA) ha estandarizado el formato de solicitud de cambio en el documento AIA G701 Change of order form, el mismo que es ampliamente usado en muchos proyectos por su eficacia y simpleza.

2.1.5.3 Flujo de cambios

Partiendo del enfoque de gerencia de proyectos del PMI, podemos tomar como referencia el proceso de Realizar el Control Integrado de Cambios, perteneciente al grupo de procesos Monitorear y Controlar, en ese sentido, obtenemos las entradas, técnicas y salidas mostradas para el proceso en mención.

Figura 2-9 Control Integrado de Cambios: Entradas, Herramientas - Técnicas, y Salidas.

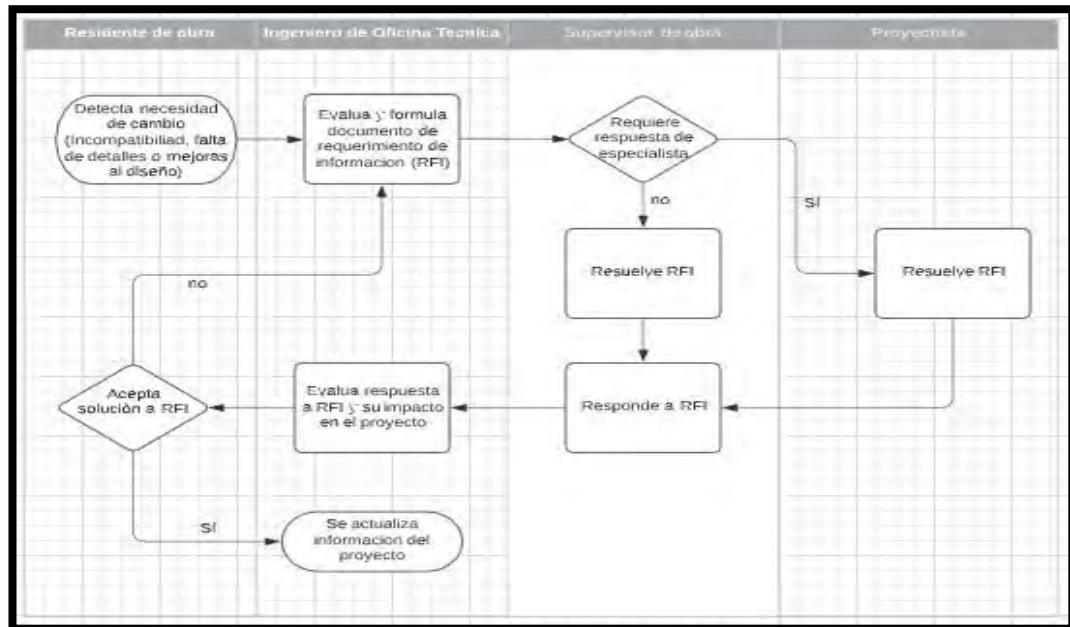


(Fuente: Guía del PMBOK 6ta edición)

Para un caso como este, en el que tenemos un proyecto de construcción, dicho flujo de procesos cambiará dependiendo de la estructura de la organización, así como del Project Delivery Method, sin embargo, el enfoque macro se alinea con los principios estipulados en el PMBOK. En líneas generales, podemos tomar el flujo mostrado en la Figura 2-10, el cual ha sido tomado de una empresa inmobiliaria y constructora peruana, dicho flujo pertenece a una estructura que cuenta con un área de proyectos cuya función es gestionar el diseño del proyecto, integrando los requerimientos iniciales con la información proporcionada por los especialistas (proyectistas). Por otra parte, el método de entrega de proyecto o Project Delivery

Method corresponde a un DBB. Como se explicó líneas arriba, en este método de entrega se tiene de forma separada el diseño y la construcción, por lo que todo cambio que afecte el diseño debe ser remitida al área de proyectos y a los proyectistas correspondientes.

Figura 2-10 Diagrama típico para flujo de cambios en proyectos de construcción.



(Fuente: Elaboración propia)

Como podemos observar, el flujo inicia con la detección de errores en la información técnica del proyecto; como es el caso de las incompatibilidades, la falta de detalle en el alcance inicial o alguna mejora en el diseño. Posteriormente, se procede a redactar el documento de requerimiento de información (RFI), con lo que se busca que el área correspondiente solucione o aclare la consulta; para el caso del esquema mostrado, es el supervisor de obra, el cual se encarga de evaluar si tiene la capacidad de responder a la consulta o si necesita de la opinión de alguno de los especialistas, comúnmente, el supervisor define únicamente temas de baja complejidad como los referentes a tipos o modelos de acabados. Una vez, se designe al responsable de dar solución a la consulta, esta pasa a ser resuelta y enviada al área de producción mediante la supervisión.

Finalmente, se evalúa si la solución dada es viable o no; si la respuesta es negativa se vuelve a generar un RFI, de no ser el caso se actualizan las líneas base del proyecto, pudiendo generar ampliaciones de plazo, adicionales monetarios, etc.

2.1.6 Principales causas de cambios en proyectos

Como se habló en apartados anteriores, uno de los métodos de entrega de proyectos más usados es el diseño-propuesta-construcción (DBB), el cual marca distancia entre las 2 fases principales de concepción del proyecto, como es el diseño y la construcción. Además, debido a que cada especialidad es diseñada por un ente distinto, no se tiene un entregable totalmente compatibilizado, entre todas las especialidades. Como consecuencia a ello, muchos de los errores presentes en el expediente técnico, son detectados en la fase de ejecución, provocando retrasos y en algunos casos retrabajos. (James Koch, 2010). Tomando como referencia el flujo de proceso mostrado en la Figura 2-10 del apartado 2.1.5, se mencionó que cada vez que se detecta uno de estos errores, se activa el proceso mostrado en la figura correspondiente, el cual comúnmente finaliza con una actualización en las líneas base de costo, tiempo y alcance. A continuación, se mostrarán las 3 causas más comunes de cambios en las líneas base, debido a errores en la información técnica del proyecto.

2.1.6.1 Interferencias e incompatibilidades

Como menciona Koch (2010), la fase de diseño se realiza por distintos entes, los cuales trabajan, en la mayoría de los casos, de forma separada o algunas veces con mínima coordinación; como consecuencia a ello el producto final resulta con una gran cantidad de errores, ya que los distintos documentos de cada especialidad no están compatibilizados entre sí. Esta incompatibilidad en la información técnica del proyecto trae consigo errores tales como las interferencias de elementos; es decir, dos o más elementos los cuales no deberían ocupar el mismo espacio en la realidad, lo hacen. En otros casos existen incongruencias entre las medidas descritas entre uno y otro plano.

Como ejemplo, podemos ver la Figura 2-11, la cual muestra una incompatibilidad entre las especialidades de arquitectura y estructuras de una edificación en el distrito de Surquillo –

Lima – Perú. Como se puede ver, el plano de arquitectura (imagen superior derecha) mostraba un volado de 10 cm, el cual distaba 1.33m desde la placa P-6 a la cara exterior, y sobre el cual se asentaría la tabiquería; sin embargo, el plano de estructuras (imagen superior izquierda) mostraba el mismo volado con una dimensión de 25 cm y a una distancia de 1.50m desde la placa P-6 a la cara exterior. Debido a que al momento de la construcción solo se tuvo en cuenta al plano de estructura, se emitió un RFI al proyectista de arquitectura, quien delibero en que tenía que respetar el plano de arquitectura, indicando que se debería picar la losa hasta llegar a la medida necesaria.

Figura 2-11 Incompatibilidad en Campo – Proyecto Rizo Patrón



(Fuente: OT proyecto Rizo Patrón)

Debido a que muchas de las incompatibilidades son detectadas posteriormente a su ejecución, los retrabajos producto de la corrección generan sobrecostos y afectan en muchos casos a la calidad los entregables.

2.1.6.2 Actualización o aclaración de detalles

En muchos proyectos de construcción, los documentos de diseño que forman parte de los documentos contractuales no tienen el nivel de detalle que la construcción requiere, por lo que es común que, durante la fase de ejecución, el constructor requiriera la información faltante a los diseñadores, con la intención de esclarecer y satisfacer las necesidades plasmadas en el diseño (Atkins and Simpson 2008).

El proceso de coordinación y de respuesta de las consultas, dependerá de los términos del contrato y de los equipos de trabajo presentes, así mismo dependerá mucho del método de entrega de proyecto escogido (Fisk and Reynolds 2010).

2.1.6.3 Mejoras de diseño

La constructabilidad, refiere a la optimización de los procesos de construcción, mediante el uso del conocimiento y experticia, para la mejora del planeamiento conceptual, ingeniería de detalle, procura y la operación en campo, para de esta forma alcanzar los objetivos del proyecto (Neil N. Eldin 1988). Sin embargo, se puede ver en la realidad que mucha de la documentación realizada durante la fase de diseño, resulta, en algunos casos, muy difícil de realizar ya que ha sido únicamente basada en el conocimiento teórico y no tomando en cuenta el criterio que otorga la experiencia. Esto ocasiona que muchas veces se opten por soluciones alternas, las cuales no tengan tanto impacto dentro del costo y tiempo (Construction Industry Institute 1986).

De igual forma, como se muestra en los casos anteriores, cuando se tiene un problema de constructabilidad, el proceso inicia con la comunicación hacia el área de proyectos o en su defecto, hacia los proyectistas, enviando una sugerencia de cambio, la cual deberá ser debidamente sustentada. De ser aprobada dicha propuesta, se actualiza la información técnica del proyecto, así como las líneas base de este.

2.1.7 Métodos de estimación de costos

2.1.7.1 Estimación análoga

Según el Project Management Institute, este método de estimación se basa en información histórica de proyectos con características similares. De esta forma, se busca parámetros tales como tiempo, costo, volumen o complejidad, como base para estimar los mismos parámetros o medidas para un proyecto futuro.

La estimación análoga también se puede emplear a nivel de las actividades, siempre que las actividades en cuestión se hayan realizado en los proyectos previos y si hay datos históricos sustanciales para respaldar la precisión de tal estimado. (Por ejemplo, las últimas dos veces que se completó esta actividad, llevó tres días en cada ocasión dado que no hay otra información de referencia, usaremos los tres días como estimado para esta actividad y cuando tengamos más detalles, revisaremos el estimado.)

2.1.7.2 Estimación por 3 valores

Como sabemos, las cosas no siempre salen según el plan, por lo tanto, a menudo es mejor plantear los estimados en un rango, utilizando estimados basados en tres valores. Si se analiza lo que pudiera salir bien (oportunidades) y lo que pudiera salir mal (amenazas), eso le puede servir de ayuda a los estimadores para determinar un rango esperado para cada actividad (Mulcahy et al., 2016).

Según el Project Management Institute, la precisión con la que se estiman los plazos utilizando un único valor de referencia, puede aumentar si se toma en cuenta el riesgo e incertidumbre del proyecto, es por esto que la estimación por tres valores define un ratio aproximado de plazo para una actividad determina tomando en cuenta distintos escenarios:

- **Más probable (cM):** Estimación en base los recursos que posiblemente se asignen a la actividad, así como la productividad esperada, la dependencia de los stakeholders y las interrupciones que puedan surgir.
- **Optimista (cO):** Estimación en base al escenario más favorable.

- **Pesimista (cP):** Estimación en base al escenario más desfavorable,

Con dichos valores planteados, podemos calcular las estimaciones de duración o costos según dos métodos comúnmente usados:

- **Estimación Triangular:** Consiste en sacar un promedio simple entre los 3 valores, de esta forma se le otorga el mismo peso a cada uno de ellos.
- **Estimación Beta:** En este caso, se pondera en mayor cantidad al valor más probable, llamada también PERT debido a la Técnica de Revisión y Evaluación de Programas. La fórmula para emplearse en este caso será:

Fórmula 2.1 Estimación Beta

$$\frac{cP + 4cM + cO}{6}$$

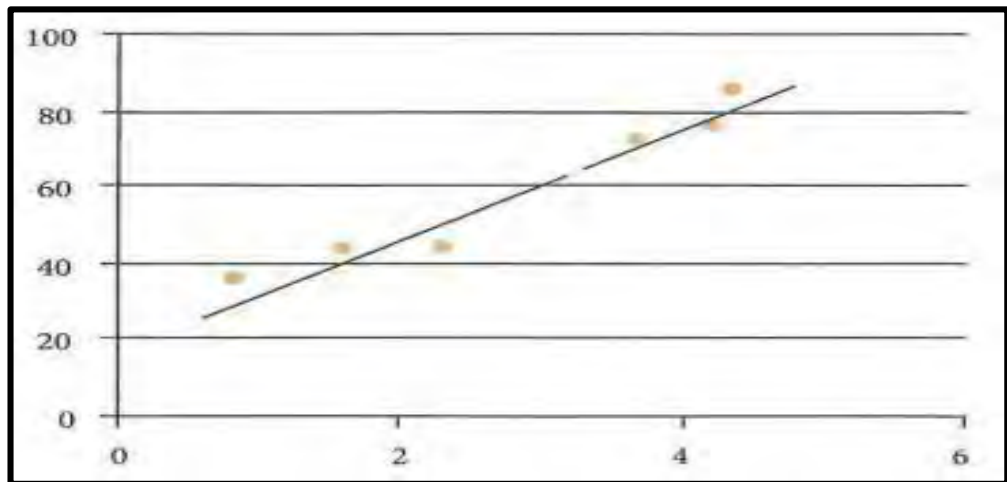
2.1.7.3 Estimación paramétrica

Estimación basada en ratios históricos de costo y plazo de proyectos similares, y características del proyecto, esta proyección relaciona los datos históricos (estadísticas) y parámetros presentes en el proyecto (por ejemplo número de pisos, m2 de construcción, área del terreno, ubicación del terreno). (Project Management Institute, 2017).

Según Mulcahy (2016), un estimador podría crear estimaciones paramétricas con los siguientes elementos:

- **Análisis de regresión (diagrama de dispersión):** Este diagrama da seguimiento a dos variables para determinar si están relacionadas, luego el diagrama se emplea para crear una fórmula matemática que se usará en futuras estimaciones paramétricas.
- **Curva de aprendizaje:** Para este caso podemos tomar como ejemplo: La centésima habitación que se pinte tomará menos tiempo que la primera debido a la eficiencia mejorada.

Figura 2-12 Ejemplo de análisis de regresión.



(Fuente: Preparación para el examen PMP – Mulcahy et al. 2016)

2.2 Building Information Modeling (BIM)

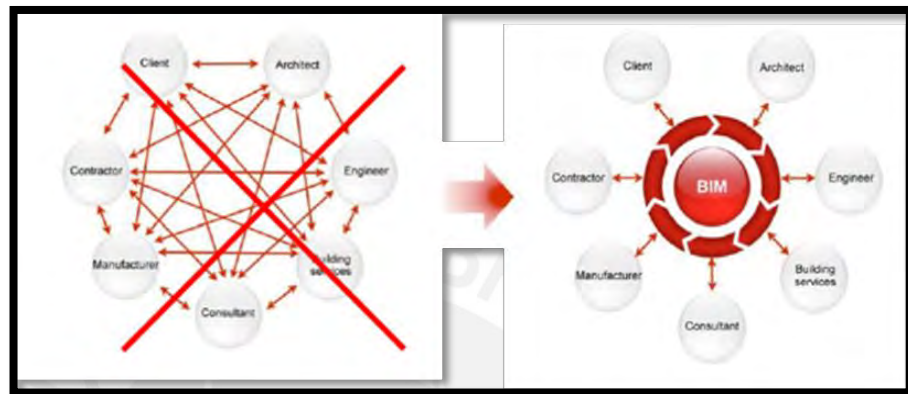
2.2.1 ¿Qué es BIM?

Building Information Modeling (BIM) es un proceso utilizado para el diseño o la integración de diseños que utilizan modelado 3D, programación, metrados y coordinación espacial para ayudar a crear una experiencia de trabajo en equipo mientras se construye digitalmente la estructura. Por ello es que el concepto BIM es un cambio de paradigma fundamental para toda la arquitectura, industria de la ingeniería y la construcción (AEC). Los objetivos finales no han cambiado: tener proyectos exitosos completados a tiempo, dentro del presupuesto y sin litigios. Para lograr estos objetivos, es necesario trabajar en un ambiente colaborativo, idealmente uno donde los roles y responsabilidades estén bien definidos y articulados. Las herramientas BIM ayudan a habilitar y fomentar esta colaboración, también posibilitando que los proyectos se beneficien de una mayor eficiencia, continuidad y eficacia. (American General Contractor 2017)

BIM también puede ser visto como un proceso virtual y ordenado que abarca todos los aspectos, disciplinas y sistemas de cada una de las especialidades dentro de un solo modelo virtual, permitiendo al equipo de diseño (propietarios, arquitectos, ingenieros, contratistas, subcontratistas y proveedores) colaborar de forma más eficiente que mediante el uso de

procesos tradicionales. A medida que se está desarrollando el modelo, los miembros del equipo están constantemente refinando y ajustando sus entregables, de acuerdo con las especificaciones del proyecto y los cambios de diseño, para asegurar que el modelo sea lo más preciso posible. (Stanford University 2012)

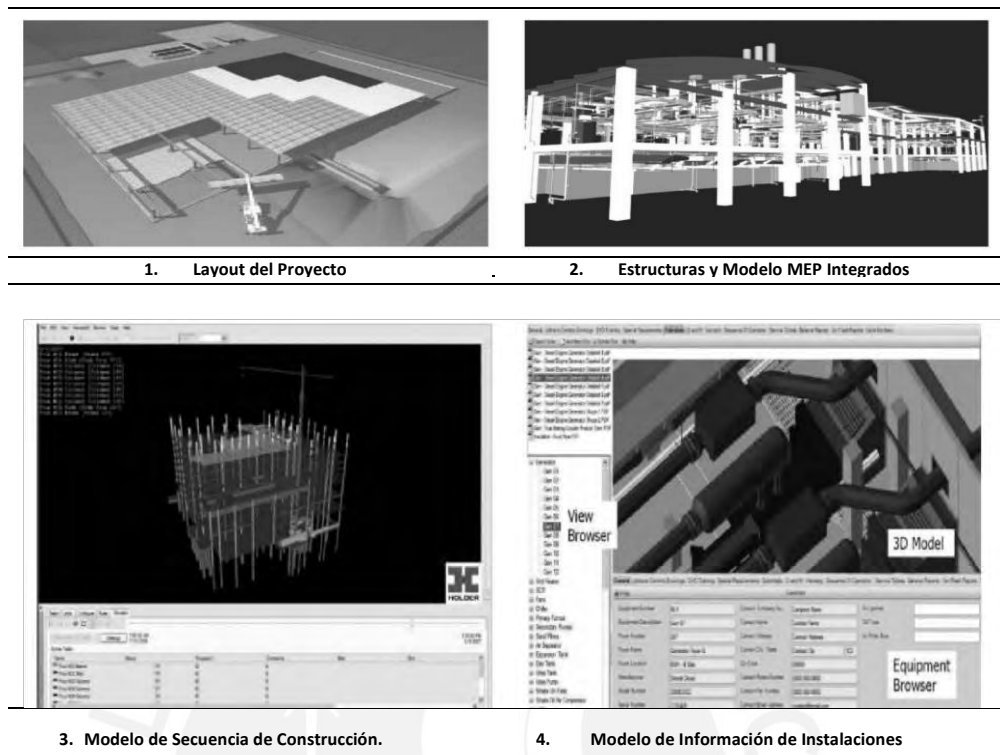
Figura 2-13 Intercambio de información tradicional vs BIM.



(Fuente: Allen Consulting Group, 2010)

Con la tecnología BIM, un modelo virtual preciso de un edificio, conocido como un modelo de información de construcción, se construye digitalmente. Una vez completado, el modelo de información de construcción contiene geometría precisa, datos relevantes necesarios para apoyar el diseño, adquisición, fabricación y las actividades de construcción requeridas para realizar el edificio. Una vez completado, este modelo puede ser utilizado para operaciones y mantenimiento. (Eastman et al. 2008)

Figura 2-14 Aplicaciones típicas de BIM en diferentes etapas del ciclo de vida del proyecto.

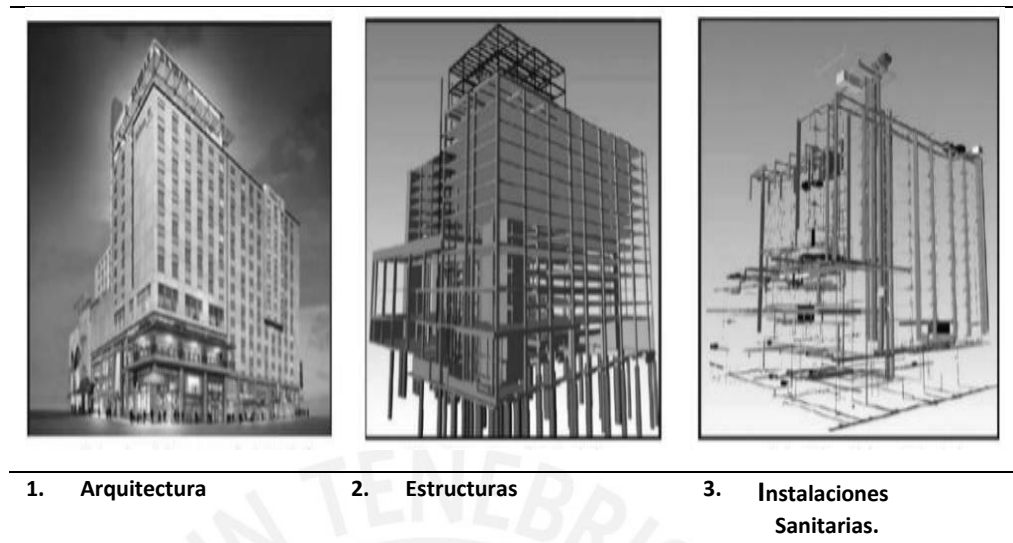


(Fuente: Holder Construction Company 2011)

Es importante tener en cuenta que BIM no representa solo al software; sino también a la secuencia ordenada de procesos de trabajo. BIM significa no solo usar modelos inteligentes tridimensionales sino también realizar cambios significativos en el flujo de trabajo y los procesos de entrega de proyectos (Hardin 2009). BIM representa un nuevo paradigma dentro de AEC, uno que fomenta la integración de los roles de todas las partes interesadas en un proyecto. Tiene el potencial de promover una mayor eficiencia y armonía entre los jugadores que, en el pasado, se vieron a sí mismos como adversarios (Azhar, Hein et al. 2008).

BIM también respalda el concepto de entrega integrada de proyectos, que es un enfoque novedoso de entrega de proyectos para integrar a las personas, sistemas y estructuras y prácticas empresariales en un proceso de colaboración para reducir el desperdicio y optimizar la eficiencia en todas las fases del ciclo de vida del proyecto. (Glick y Guggemos 2009)

Figura 2-15 Evidencia de las fases de los proyectos inmobiliarios emprendidos con BIM.



(Fuente: Glick y Guggemos 2009)

2.2.2 Dimensiones BIM

Las dimensiones BIM se refieren a una forma particular en la que se relacionan diferentes tipos de datos con un modelo de información, incrementar el nivel en estas dimensiones les da a los usuarios una mejor comprensión del modelo de construcción. Proporciona información y detalles de cómo, cuándo, por cuánto, etc. Todo comienza con BIM 2D que es donde sus modelos tienen un eje X y un eje Y simples, generalmente son dibujos a mano o CAD.

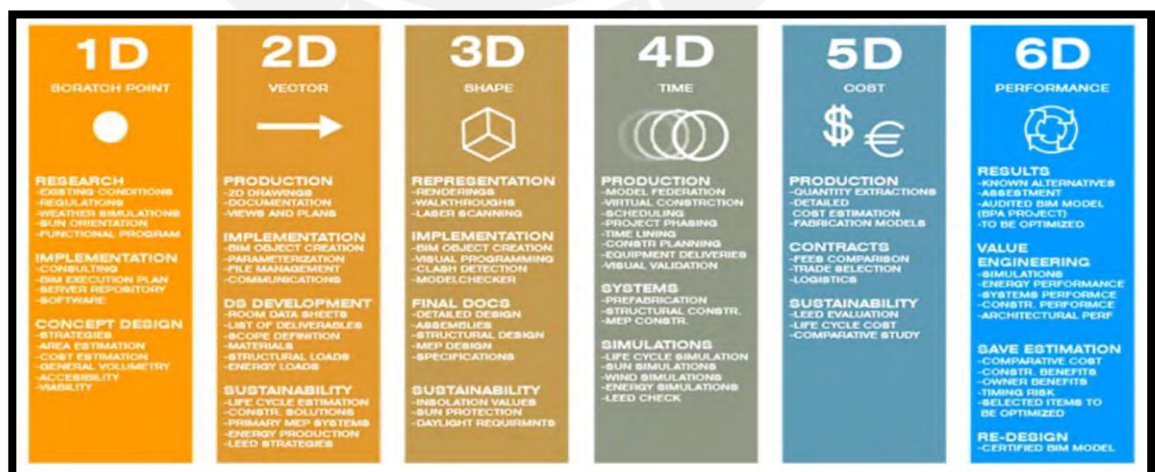


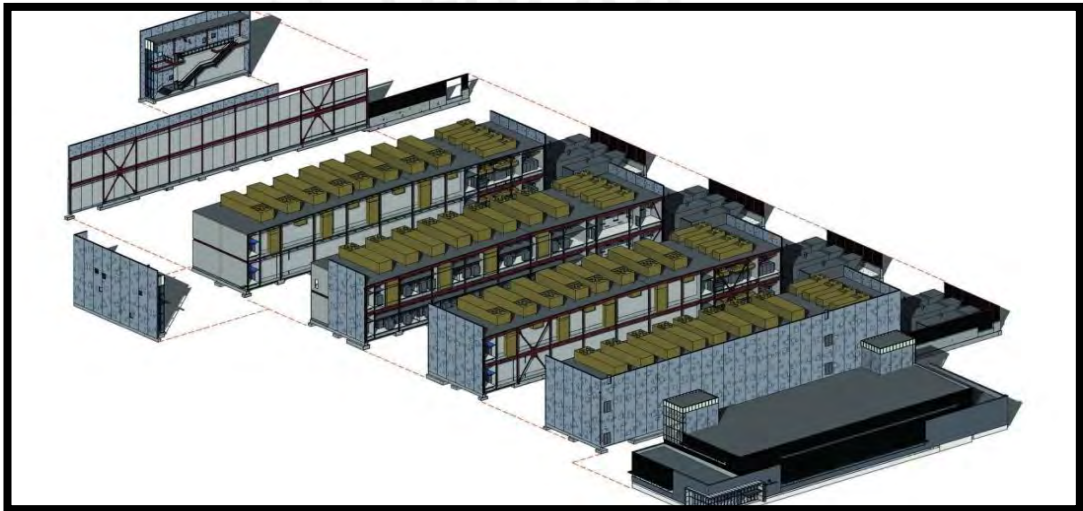
Figura 2-16 Esquema Dimensiones BIM.

(Fuente: Relevance & Applicability of Agile Driven Bim at Conceptual & Design Phases of a Project-A Case Study, 2019)

2.2.2.1 3D BIM

BIM tridimensional (3D), agrega un "eje Z" adicional a los ejes X e Y existentes. BIM 3D es quizás el tipo de BIM más conocido, un concepto con el que la mayoría de la gente está familiarizada; es el proceso de crear información gráfica y no gráfica, y compartir esta información en alguna base de datos. Esto ayuda a los participantes a gestionar la información multidisciplinaria de manera colaborativa y más eficaz. Además, se pueden recopilar datos exactos a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto y almacenarlos en el modelo de información del edificio.

Figura 2-17 Modelado BIM 3D.



(Fuente: Aljanh, 2017)

2.2.2.2 4D BIM

Subir un nivel a la 4ta dimensión o 4D BIM es tomar un modelo BIM 3D simple y aplicarle la variable "TIEMPO". 4D BIM agrega una dimensión adicional de información a un proyecto y modelo de información en forma de datos de programación, estos datos se agregan a los componentes que construimos en detalle, a medida que avanza el proyecto. La utilización de la tecnología 4D-BIM puede resultar en un control mejorado sobre la detección de conflictos o sobre la complejidad de los cambios que ocurren durante el curso de un proyecto de construcción, ya que la información puede usarse para obtener visualizaciones precisas del proyecto, mostrando cómo se desarrollará secuencialmente. 4D BIM proporciona enfoques para la gestión y la visualización de la información del estado del sitio, los impactos de

cambios o ciertos riesgos, así como también respaldar la comunicación en diversas situaciones, como informar al personal del sitio o advertirles sobre posibles amenazas.

Figura 2-18 Planificación BIM 4D.



Fuente: Zigurat, 2017

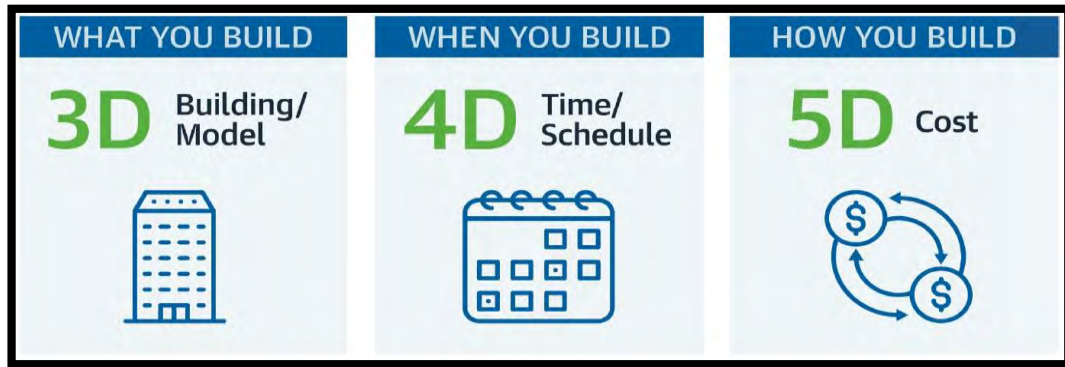
2.2.2.3 5D BIM

La 5ta. Dimensión (5D) toma una geometría 3D simple y aplica la variable "COSTO" a un proyecto, esto permite a los participantes visualizar el progreso de sus actividades y estimar el costo general asociado, lo que otorga un mejor análisis y control del proyecto. Así mismo, como en la mayoría de los casos los gerentes de proyecto están involucrados desde el inicio del proyecto, de igual forma que los equipos de diseño, el uso de BIM 5D da la posibilidad de darse cuenta exactamente cuál será el estado de costo en cada etapa del proyecto, ya que estos datos pueden consultarse en cualquier momento dado, siempre que la información se actualice regularmente en el software.

Comparando 5D con un enfoque tradicional, donde los informes de costos no se actualizan con regularidad o solo unas pocas veces; eso también solo durante las primeras etapas del proyecto, puede dar lugar a muchas modificaciones y cambios en los diseños y/o material requerido. Es posible que el gerente de proyecto tenga que acostumbrarse a trabajar antes y de

manera más iterativa que en un proceso tradicional, pero si eso significa un resultado de proyecto más exitoso, ¿por qué no?

Figura 2-19 Control de Costos BIM 5D

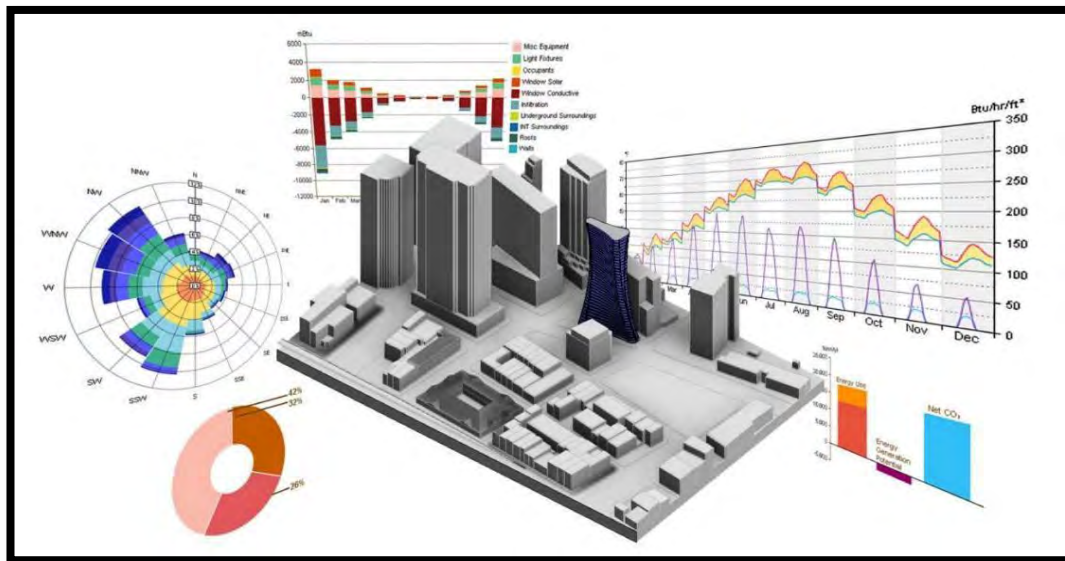


(Fuente: Sigma Estimates, 2017)

2.2.2.4 6D BIM

Finalmente, llegamos al proceso 6D BIM, también conocido como "información del ciclo de vida del proyecto". En ocasiones, se hace referencia a 6D como Gestión de Instalaciones. Cuando el diseñador crea un modelo y lo actualiza durante la fase de construcción, tendrá la capacidad de convertirse en un modelo "as build" que también puede entregarse al propietario. El modelo podrá contener todas las especificaciones, operación y mantenimiento e información de garantía, útil para el mantenimiento futuro. Esta etapa también permite utilizar BIM en un modelo para evaluar su eficiencia energética, monitorear el costo del ciclo de vida de un edificio y optimizar su eficiencia de costos; todo esto también permite al propietario evaluar la rentabilidad de futuras remodelaciones.

Figura 2-20 Edificación Sustentable BIM 6D.



(Fuente: Bimmers, 2017)

2.2.3 Level of development (LOD)

El término LOD, hacen referencia al acrónimo inglés que proviene de “Level of Detail” o “Level of Development”, y hace referencia al nivel de definición o desarrollo de un modelado de un proyecto BIM. (Gutierrez, 2015)

Actualmente el BIM Forum USA, publica una guía anualmente de especificaciones para los distintos niveles de detalle, esto representa un estándar internacional para la sincronización del nivel de información que se ingresa a un modelo.

2.2.3.1 LOD 100

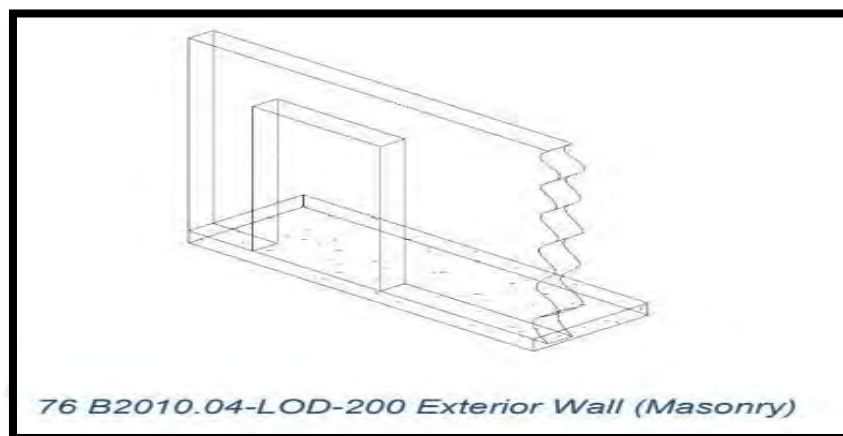
El elemento puede representarse gráficamente en el modelo con un símbolo u otra representación genérica. De acuerdo con la interpretación de BIMForum: los elementos LOD 100 no son representaciones geométricas, sino información adjunta a otros elementos o símbolos del modelo que muestran la existencia de un componente, pero no su forma, tamaño o ubicación precisa; por ello, cualquier información derivada de elementos LOD 100 debe considerarse aproximada.

2.2.3.2 LOD 200

En este nivel, el elemento se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema genérico, objeto o ensamblaje con cantidades, tamaño, forma, ubicación y orientación

aproximados; así también, la información no gráfica puede también ser adjuntada al elemento. Según la interpretación de BIMForum: en este LOD, los elementos son marcadores de posición genéricos, estos pueden ser modelados de la forma de los componentes que representan o pueden ser simplemente volúmenes que denotan cierto espacio. Cualquier información derivada de elementos LOD 200 debe considerarse aproximada.

Figura 2-21 Muro Albañilería LOD200.

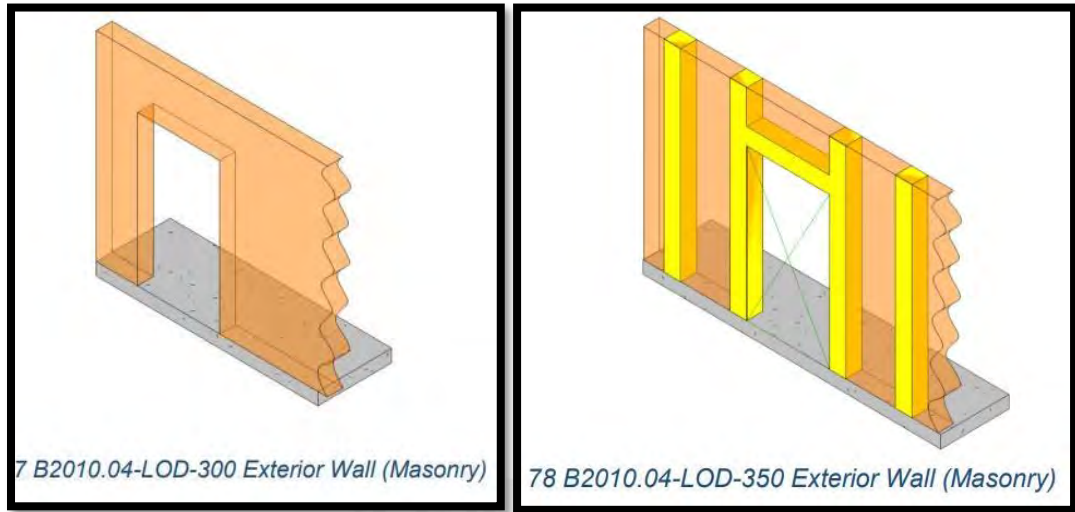


(Fuente: BimForum)

2.2.3.3 LOD 300

En este nivel, el elemento se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema, objeto o conjunto específico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación. Así también, la información no gráfica se puede adjuntar al elemento. Según la interpretación de BIMForum: la cantidad, el tamaño, la forma, la ubicación y la orientación del elemento tal como se diseñó se pueden medir directamente desde el modelo sin hacer referencia a información no modelada, tales como acotaciones o notas. En un LOD 300 se define el origen del proyecto, de este modo los elementos se ubican con precisión con respecto a dicho origen. Adicionalmente, se menciona que existe un nivel intermedio el cual es llamado LOD 350, este tiene cierto mayor detalle que el LOD 300. Según la interpretación de BIMForum, para un LOD 350 se modelan las partes necesarias para que el elemento interactúe con elementos cercanos o adjuntos, estas partes incluirán detalles como soportes y conexiones.

Figura 2-22 Muro Albañilería LOD 300 – 350

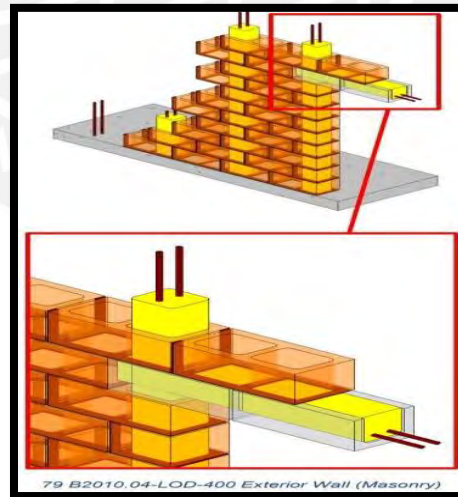


(Fuente: BimForum)

2.2.3.4 LOD 400

El elemento base se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema, objeto o ensamblaje específico en términos de tamaño, forma, ubicación, cantidad y orientación con información detallada, de fabricación, ensamblaje e instalación. La información no gráfica también se puede adjuntar al elemento base.

Figura 2-23 Muro Albañilería LOD 400.



(Fuente: BimForum)

Un elemento LOD 400 se modela con suficiente detalle y precisión para la fabricación del componente representado, es así como la cantidad, el tamaño, la forma, la ubicación y la

orientación del elemento tal como se diseñó se pueden medir directamente desde el modelo sin hacer referencia a información no modelada., como notas o llamadas de dimensión.

2.2.4 Nivel de madurez

El nivel de madurez es la definición aceptada de los criterios que deben considerarse para evaluar el nivel de adopción de esta metodología en una organización. El gobierno de Reino Unido ha reconocido que el proceso del sector construcción para migrar a un nivel de colaboración BIM completa es progresivo, con hitos claramente definidos y denominados “niveles”. Estos niveles van desde 0 a 3 y los conceptos son los siguientes:

2.2.4.1 Nivel 0 BIM

Es la forma más simple y significa no colaboración BIM. Solo se utiliza dibujos CAD 2D para producción de información. Los entregables y distribución son vía papel e impresiones electrónicas, o una mezcla de ambas. La mayoría de la industria se encuentra en este nivel. (NBS National BIM Report 2017).

2.2.4.2 Nivel 1 BIM

Esto generalmente comprende una mezcla de CAD 3D para el trabajo conceptual y 2D para la redacción de la documentación de aprobación legal y la información de producción. El intercambio electrónico de datos se lleva a cabo desde un entorno de datos común a menudo gestionado por el contratista. Para alcanzar el Nivel 1 BIM, Scottish Futures Trust establece que debe lograr lo siguiente:

- Deben acordarse los roles y responsabilidades.
- Deben adoptarse convenciones de nomenclatura.
- Deben establecerse acuerdos para crear y mantener los códigos específicos del proyecto y la coordinación espacial del proyecto.

- Debe adoptarse un "entorno de datos comunes" , por ejemplo, una extranet del proyecto o un sistema de gestión de documentos electrónicos para permitir que la información se comparta entre todos los miembros del equipo del proyecto.
- Se debe acordar una jerarquía de información adecuada que respalde los conceptos del sistema de gestión de documentos.

2.2.4.3 Nivel 2 BIM

El Nivel 2 BIM se distingue por el trabajo colaborativo y requiere "un proceso de intercambio de información específico para ese proyecto y coordinado entre varios sistemas y participantes del proyecto" (Scottish Futures Trust). Cualquier software CAD que se use debe ser capaz de exportarse a uno de los formatos de archivos comunes, como IFC (Industry Foundation Class).

2.2.4.4 Nivel 3 BIM

El Plan Estratégico BIM del Gobierno del Reino Unido, define las siguientes medidas para la adopción total de la metodología en ese país (Nivel 3):

- El establecimiento de un nuevo marco contractual para proyectos que se han adquirido con BIM para garantizar la coherencia, evitar confusiones y fomentar el trabajo abierto y colaborativo.
- La creación de un entorno cultural que sea cooperativo busque aprender y compartir
- Capacitar al cliente del sector público en el uso de técnicas BIM tales como requisitos de datos, métodos operativos y procesos contractuales.
- Impulsar el crecimiento y los empleos nacionales e internacionales en tecnología y construcción.

2.2.5 Integrated Project delivery

Integrated Project Delivery (IPD) es un método de entrega de proyectos creado para alinear los intereses de los principales involucrados, entre ellos los miembros del equipo, en busca de

un rendimiento óptimo en el proyecto utilizando un proceso colaborativo. Según la AIA California Council (2007), el IPD se enfoca en aportes de conocimiento y experiencia en etapas tempranas, aplicando nuevas tecnologías como BIM. De esta forma, todos los miembros del equipo pueden desarrollar de manera efectiva grandes beneficios al proyecto que servirán a lo largo del ciclo de vida. La base del IPD, es la colaboración, seguida de principios tales como la veracidad de la información, la transparencia del proceso, información abierta, una vinculación entre el éxito del equipo y el éxito del proyecto, entre otros factores. Todo ello, con la finalidad de obtener la oportunidad de diseñar, construir y operar de la manera más eficiente posible.

2.3 Retorno de inversión (ROI)

2.3.1 Definición

El retorno de inversión (ROI) es una de las muchas formas de evaluar las inversiones propuestas, ya que compara el beneficio potencial con el costo de inversión. El ROI se suele calcular tomando una proporción de los beneficios recibidos como un resultado de inversión sobre el precio de inversión, este valor se multiplica por cien para establecer un porcentaje que pueda ser utilizado como un indicador de desempeño (Feibel 2003).

Así como lo menciona Feibel "ROI es una medida de rentabilidad de la inversión, no una medida del tamaño de la inversión. Mide el porcentaje de retorno sobre una cantidad de gastos de capital." (Feibel 2003). Sin embargo, algunos otros definen el ROI como una relación de los beneficios netos producidos por una inversión sobre el costo de los tiempos de inversión multiplicado por 100 (Forsith 2005).

Cuando es aplicado a BIM, se sugiere que el ROI sea considerado como un porcentaje de ahorro neto de costo debido a que los potenciales ahorros resultados de la implementación de esta tecnología son considerados ganancias para los contratistas, diseñadores y otros stakeholders. (Autodesk 2016).

2.3.2 Cálculo del ROI

Ahora bien, una vez dado la definición de ROI, se procede a especificar la fórmula de cálculo.

Para lo cual, (Gestrón, 2014), empresa española especializada en asesoría financiera para PYMES, refiere que

“Para que el cálculo del ROI sea fiable, tendrás que medir los factores de inversión y beneficio generado en función dentro del mismo período, teniendo en cuenta datos arrojados o atribuidos a una misma fuente” (Gestrón, 2014).

Ahora bien, la fórmula es la siguiente:

Fórmula 2.2 ROI (Feibel 2003)

$$ROI = \frac{BENEFICIO DE LA INVERSION - COSTO DE LA INVERSION}{COSTO DE LA INVERSION}$$

Finalmente, Gestrón (2014) también refiere que, como dato adicional, “si el valor del ROI es positivo, el proyecto es rentable y, por lo tanto, válido. Sin embargo, si el valor es negativo la inversión no es rentable y estarás perdiendo dinero” (Gestrón, 2014).

Cabe precisar las razones objetivas de este parámetro financiero y el porqué de su popularidad en una prefactibilidad. Según Alexei Botchkarev (2011), del área financiera del Gobierno de Ontario – Canadá, las razones son las siguientes:

- Evidencia por juicio de expertos de su uso exitoso.
- Parámetro simple de entender y analizar.
- Cálculo relativamente sencillo si se posee toda la información contable de un proyecto.
- Promueve el prudente detallado del análisis financiero.
- Permite la comparación de rentabilidad con distintos proyectos o negocios a nivel de prefactibilidad.

2.3.3 Limitaciones

A pesar de que el ROI logra reducir una gran cantidad de cifras a un único porcentaje, Feibel (2003) indica que, al cuantificar el retorno de inversión, la mayoría de las veces se estiman y asumen valores. Esto trae consigo alta variabilidad y disminución en la precisión de los resultados, además se recomienda su uso para proyectos de beneficios cuantificables y de fácil cálculo, sobre todo para proyectos de ahorro y no para los de generación de ingresos.

Clara Vega Caballero (2014), consultora en control y gestión de pymes en Madrid, refiere que las limitaciones del ROI radican a causa de que:

- “No tiene en cuenta ni intereses pagados a bancos, ni impuestos” (Caballero, 2014).
- “No tiene en cuenta si lo facturado se ha cobrado en ese período o en otro” (Caballero, 2014).
- “No tiene en cuenta la rentabilidad que provocan en el futuro los beneficios generados en un año determinado (la rentabilidad está referida a un período, es decir, el beneficio bruto en un determinado período, con los recursos que había también en ese período)” (Caballero, 2014).
- Peter Andru (2011), del área financiera del Gobierno de Ontario – Canadá nos señala dos malos usos de este parámetro financiero que logró concluir en su investigación:
 - a) Se demostró que en inclusive simples análisis del ROI pueden llevar a cuestionables o equivocados resultados y análisis.
 - b) El ROI es una medida diseñada para ciertos propósitos, entre ellos medir la rentabilidad y la eficiencia financiera.

Andru (2011) también especifica que los resultados del ROI deben ser acompañados por una detallada descripción de los términos, condiciones y asunciones tomadas para el cálculo de este parámetro.

3. Propuesta de Valor BIM

3.1 Juicio de expertos

Para obtener información por parte de expertos en el tema, se realizaron entrevistas a 3 especialistas; estas entrevistas tuvieron lugar en el 4to congreso nacional de Lean Construction y abarcaron 3 preguntas sobre la percepción que tenían en cuanto a la implementación de la metodología BIM en proyectos inmobiliarios. Las personas entrevistadas fueron: Carlos Jurado, director del programa BIM management de la UPC; Rómulo Bertoya, gerente general de Pensaer Desarrollos y Leonardo Rischmoller, docente del departamento de ingeniería civil de la universidad de Stanford.

Las preguntas realizadas fueron las siguientes:

- a. ¿Considera usted que la aplicación de la metodología BIM traería consigo beneficios económicos tras implementarse en el mercado inmobiliario peruano?
- b. ¿Cómo considera (tiene pensado) que es la relación costo beneficio de la implementación BIM?
- c. ¿Cuáles cree usted que son las claves para tener una implementación BIM exitosa?

3.1.1 Resumen de entrevista a Ing. Carlos Jurado

Con respecto a la primera pregunta, el ingeniero considera que sí existen diversos beneficios de la implementación BIM en forma de ahorros, tanto en la etapa de diseño como de construcción. Esto dependerá mucho de cómo se calcule el beneficio, ya que existen cosas que son más cuantificables, mientras que otras dependen de la percepción que uno tenga y de la valoración que decida otorgarles. En ese sentido, los beneficios pueden ser muy variables; de un mismo proyecto, dos personas pueden sacar un beneficio totalmente distinto que puede cambiar en 50% entre uno y otro.

Con respecto a la segunda pregunta, la relación costo-beneficio resulta positiva según los casos que ya se han tenido en Perú y en otras partes del mundo. Por otro lado, existe la posibilidad

de que la implementación sea negativa, si no se realiza con el cuidado necesario, si la dirección del proyecto no está comprometida o si el esfuerzo es aislado y no ha sido controlado en el proceso; pese a ello, si el proceso se da de manera ordenada siempre es positiva.

Finalmente, con respecto a la última pregunta, se obtuvo que las claves para tener una implementación exitosa son: una dirección comprometida (en qué), entender el tiempo de los beneficios para ello se deben trazar metas a corto y largo plazo, y cambiar la forma de pensar de las personas para de esta forma establecer políticas, procesos, etc.

3.1.2 Resumen de entrevista a Arq. Rómulo Berteyo

Con respecto a la primera pregunta, el arquitecto basó su respuesta en su experiencia en el mercado argentino, para él una de las principales ventajas de BIM se obtiene debido a que asegura que el producto desarrollado al inicio, pueda mantenerse a lo largo del proceso; esto se logra a través de la reducción de malas interpretaciones y el aseguramiento de la calidad del proyecto arquitectónico, manteniéndolo alineado a las expectativas iniciales, además de permitir integrar a todas las personas del proyecto alrededor del proyecto y que todas puedan hablar un mismo idioma.

Con respecto a la segunda pregunta, pese a que el arquitecto explica que ha invertido en su empresa una fuerte suma de dinero en la implementación BIM, no tiene calculado un valor real del beneficio que ha obtenido en sus proyectos. Por otro lado, considera que no existe un condicionante del tipo de proyecto óptimo para aplicar BIM. Además, considera que la implementación se paga con una primera obra, por lo que hay que ver a la implementación de manera global, así como el impacto que tiene no en una obra, sino en la productividad de la empresa.

Finalmente, con respecto a la última pregunta, él considera que las claves para obtener una implementación exitosa son: entender que el BIM no es aprender un programa, sino que es cambiar los procesos de la empresa, por lo que, si no se cumple esta premisa, se va a gastar en aprender un software que no sabrás en qué utilizar; debido a que el cambio de paradigma de

construir antes de construir, obliga a los arquitectos proyectistas a saber que están construyendo, el éxito de la implementación se basa en integrar ambas capacidades: manejo de software y experiencia en construcción.

3.1.3 Resumen de entrevista a Ing. Leonardo Rischmoller

Con respecto a la primera pregunta, el ingeniero considera que la implementación BIM está trayendo diversos beneficios económicos a empresas grandes y pequeñas en el mercado peruano, no únicamente los tradicionales, tales como aumentar los márgenes, reducir los costos y plazos, sino beneficios tales como tener una ventaja competitiva frente a los demás, así como agregar valor a los clientes.

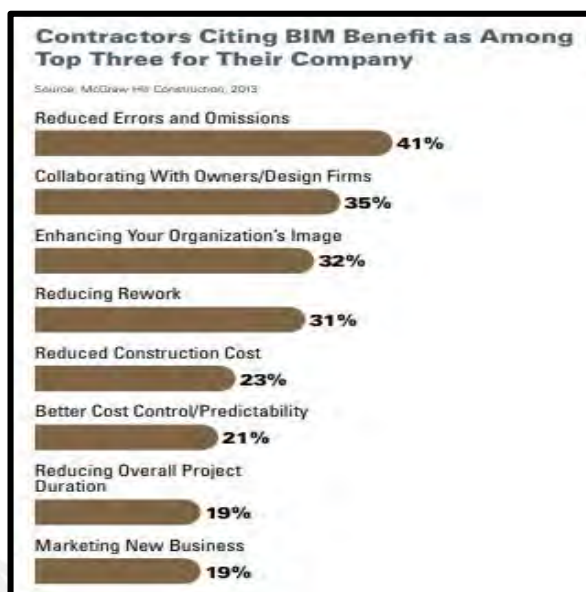
Con respecto a la segunda pregunta, la relación costo beneficio no se puede ver por proyecto, sino que esta se ve a largo plazo. Esto es similar a lo que sucedió en la transición del tablero de dibujo al AutoCAD, en la que la industria se movió en esa dirección, ahora la industria se mueve en dirección al BIM por lo que el desembolso de dinero no debería verse como un gasto sino como una inversión en la que los beneficios no se verán en el próximo proyecto sino en el mediano y largo plazo.

Finalmente, respondiendo a la última pregunta, el Ing. Rischmoller, considera que las claves de la implementación son: las personas, la cultura, vencer la resistencia al cambio y la educación que resulta diferente a la capacitación, ya que esta es solo aprender a usar el software mientras que la educación implica aprender algo que va más allá de lo que es una herramienta.

3.2 Valor percibido por los stakeholders

Según el artículo “The business value of BIM for construction in major global markets” de la compañía McGraw Hill Construction, existen una serie de beneficios percibidos por los principales involucrados.

Figura 3-1 Beneficios percibidos por contratistas.



(Fuente: McGraw Hill Construction)

Como puede verse, la mayor cantidad de estos radica en la reducción de errores y omisiones, así como la reducción de retrabajos. Así mismo pueden observarse algunos otros beneficios más cuantitativos como son: un aumento en el control del proyecto y un nuevo mercado de negocio.

En ese sentido, según el estudio se pueden definir tres categorías de beneficios:

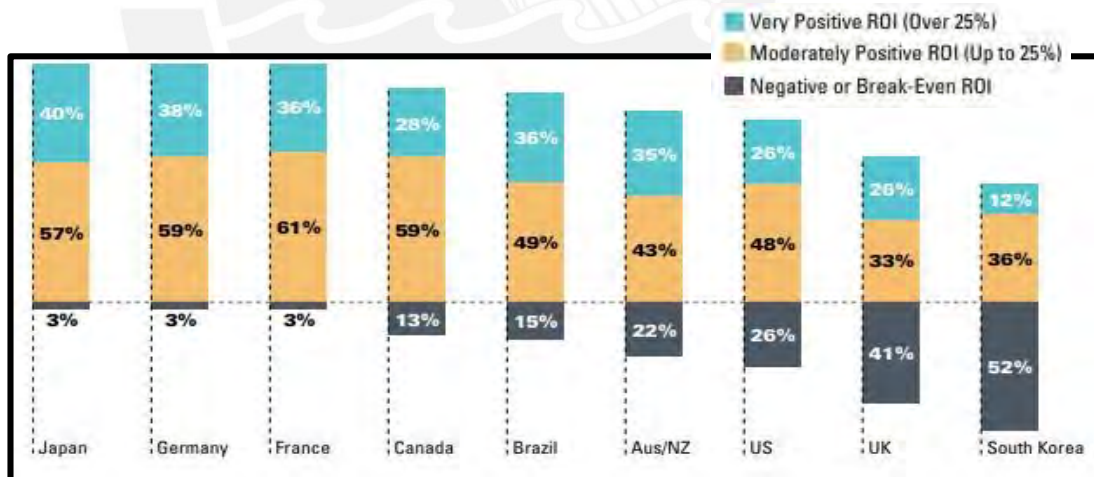
- **Beneficios internos:** Son aquellos beneficios que son obtenidos principalmente por el contratista que aplica BIM.
- **Beneficios al proyecto:** Son aquellos que benefician principalmente al proyecto en el que es aplicado.
- **Beneficios al proceso:** Son aquellos que mejoran el flujo de trabajo y el intercambio de información entre las partes involucradas en el proyecto.

En el caso de los beneficios internos, según la mayoría de los países en los que se realizó el estudio, el principal beneficio obtenido es el mejoramiento de la imagen empresarial. En países

tales como Brasil, el 41% de los entrevistados considera que este es el beneficio más importante, seguido por un nuevo mercado de negocio. Por otro lado, en cuanto a los beneficios al proyecto, la reducción de errores y omisiones son consideradas como la principal ventaja que otorga la implementación de la metodología BIM lo que a su vez implica una reducción de los retrabajos. Finalmente, el principal beneficio en el proceso resulta ser la posibilidad de colaboración entre los distintos involucrados, seguido por un mejor control del proyecto, así como la predictibilidad de costos.

En cuanto al ROI, los beneficios resultan muy positivos según la percepción de muchos involucrados en proyectos de construcción. Según el reporte, en la mayoría de los casos la percepción de un ROI positivo es mucho mayor a la de un valor negativo. En la Figura 3-2, podemos observar la percepción de los involucrados por país de origen en cuanto al retorno de inversión de aplicar BIM.

Figura 3-2 Percepción del ROI de involucrados en construcción.



(Fuente: McGraw Hill Construction)

3.3 Principales Beneficios Económicos Producto de la Implementación

3.3.1 Reducción de incompatibilidades e interferencias

Según diversas investigaciones, el principal beneficio que otorga la aplicación de la metodología BIM es la reducción de incompatibilidades e interferencias. Esto se obtiene

debido a una serie de ventajas, tales como la posibilidad de unificar los distintos modelos independientes en uno solo, sobre el cual se pueden aplicar herramientas tales como “clash detection”, que permite encontrar interferencias en cuanto a espacio geométrico entre dos elementos. Según Brittany K. Giel and Raja R. A. Issa (2013), se obtiene cierta reducción en cuanto a interferencias y ordenes de cambio en proyectos similares, en los cuales varía el método de ejecución. Tal como puede verse en la Figura 3-3, la cual fue adaptada de Brittany K. Giel (2013), los proyectos culminados antes de la implementación de la metodología por parte de la empresa (Pre-BIM), tuvieron una mayor cantidad de incompatibilidades que los proyectos que fueron transformados de CAD a BIM. Por ejemplo, puede verse que para el proyecto C (Pre-BIM), se obtuvieron un total de 142 interferencias e incompatibilidades, mientras que en el proyecto D (BIM), de similares características, solo se obtuvieron 49 casos.

Figura 3-3 Cantidad de Interferencias e Incompatibilidades por proyecto.

Project parameter	Case Study One		Case Study Two		Case Study Three	
	Project A (Pre-BIM)	Project B (BIM)	Project C (Pre-BIM)	Project D (BIM)	Project E (Pre-BIM)	Project F (BIM)
Total number of change orders	10	6	21	11	49	31
Total number of change orders preventable by BIM	3	0	4	1	11	2
Total number of RFIs	79	52	350	112	651	369
Number of VDC RFIs discovered during conversion of plans to BIM	—	9	—	17	—	57
Number of field RFIs discoverable by using BIM during construction	23	13	142	49	210	86

(Fuente: Brittany K. Giel)

3.3.2 Reducción de errores de diseño y modificaciones de alcance

Debido a que BIM otorga una visión integral de los proyectos de construcción, la gran mayoría de stakeholders puede obtener una idea más clara del entregable, pudiendo hablar todo el mismo idioma. En ese sentido, siguiendo con la investigación de Brittany K. Giel (2013), puede verse que en los proyectos desarrollados de forma tradicional se obtuvo una mayor cantidad de órdenes de cambio y RFI que en los asistidos por BIM, muchos de los cuales, según el estudio, hubiesen sido prevenibles.

Figura 3-4 Cantidad de órdenes de cambio y RFI según caso de estudio.

Issues	Project A number of BIM- discoverable RFIs	Project B number of RFIs discovered by BIM ^a	Project C number of BIM- discoverable RFIs	Project D number of RFIs discovered by BIM ^a	Project E number of BIM- discoverable RFIs	Project F number of RFIs discovered by BIM ^a
Dimensional inconsistencies	5 (22%)	2 (15%)	45 (32%)	7 (14%)	31 (15%)	20 (23%)
Documentation discrepancies between disciplines	6 (26%)	5 (39%)	26 (18%)	7 (14%)	36 (17%)	24 (28%)
2D errors and omissions	3 (13%)	2 (15%)	31 (22%)	18 (37%)	44 (21%)	20 (23%)
Grid and column alignment issues	2 (9%)	—	15 (10%)	1 (2%)	23 (11%)	5 (6%)
Direct clashes	7 (30%)	4 (31%)	25 (18%)	16 (33%)	62 (29%)	17 (20%)
Other	—	—	—	—	14 (7%)	—
Total	23	13	142	49	210	86

(Fuente: Brittany K. Giel)

Según Calderon-Hernandez, Paes, Irizarry y Brioso (2019) el uso de metodologías BIM acompañada de realidad virtual (VR) mejora el proceso cognitivo por el cual una persona logra comprender una estructura proyectada para futura construcción, esto comparado contra los tradicionales dibujos en 2D. La investigación consistió en seleccionar 2 grupos (A y B) con distintas condiciones de experiencia, edad, entre otros factores demográficos. A ambos grupos se les mostro parte de una estructura representada en planos 2D y realidad virtual, para de esta forma evaluar que representación lograba un mejor entendimiento de la estructura proyectada. De esta forma, se obtuvo que, en personas jóvenes con poca experiencia en el campo de la construcción, el uso de un modelo BIM proyectado a través de realidad virtual, reducía la posibilidad de errores por mala interpretación de planos, además de que el proceso resultaba más fácil y rápido, que de haber usado planos en 2D.

Debido a que el proceso cognitivo al que se hace referencia en la investigación es el mismo por el cual un cliente o interesado con potestad de realizar cambios en el proyecto concibe lo que se pretende construir; el uso de BIM junto a VR los ayudaría a lograr un mejor entendimiento del proyecto y reduciría la posibilidad de malas interpretaciones, que, en su defecto, podrían ocasionar cambios de alcance en etapas posteriores.

Figura 3-5 Tabla de resultados de la investigación según atributos.

Categories	Subcategories	Groups		Total	%	PSVT: R	Effectiveness	
		A	B				VR	2D
Gender	Male	7	8	15	78.95%	15.40	93.33%	86.67%
	Female	2	2	4	21.05%	20.25	100.00%	100.00%
Age	<25	5	3	8	42.11%	15.75	87.50%	75.00%
	25-30	3	4	7	36.84%	17.14	100.00%	100.00%
	31-35	-	1	1	5.26%	10.00	100.00%	100.00%
	36-40	1	1	2	10.53%	18.00	100.00%	100.00%
	41-50	-	1	1	5.26%	20.00	100.00%	100.00%
Working	Yes	4	6	10	52.63%	17.90	100.00%	100.00%
	No	5	4	9	47.37%	14.78	88.89%	77.78%
Years of Experience	<1	7	-	7	36.84%	16.43	100.00%	85.71%
	1-5	2	5	7	36.84%	15.57	85.71%	85.71%
	6-10	1	2	3	15.79%	14.67	100.00%	100.00%
	11-20	-	2	2	10.53%	22.00	100.00%	100.00%
Major	Architects and Engineers	5	10	15	78.95%	16.47	93.33%	86.67%
	Other majors	4	-	4	21.05%	16.25	100.00%	100.00%

(Fuente: Calderon-Hernandez, Paes, Irizarry y Brioso)

3.3.3 Reducción de tiempo de metrados y aumento de precisión

Debido a que los pilares de la tecnología BIM consisten en el manejo de información contenida en un modelo 3D, la información deseada puede obtenerse de manera rápida y con un alto grado de precisión, esto dependerá mucho del nivel de detalle (LOD) otorgado al modelo.

3.3.4 Incremento de productividad en etapa de planeamiento

En el enfoque tradicional, suele considerarse un espacio temporal de unas cuantas semanas, previo al inicio del proyecto; en donde se realizan las reuniones de planeamiento, esto con el fin de analizar las particularidades de cada obra. Entregables como: layout de obra, sectorización y trenes de trabajo son definidos en esta etapa. Sin embargo, al emplear la metodología BIM, se puede reducir en gran medida el tiempo empleado para el planeamiento, este es el caso del método de planificación acelerada para edificios; según Julio Mendoza (2019), el tiempo de elaboración del planeamiento de un proyecto puede reducirse a un tiempo de 6 horas en promedio. Como puede verse en la Figura 3-6, en cuatro edificaciones con distintos volúmenes de producción, se logró reducir el tiempo de planificación a uno estándar aplicando BIM. Esto debido a que, al ser procesado por software, el volumen del proyecto deja de tener cierta influencia en el tiempo de obtención de los trenes de trabajo, y otros entregables.

Figura 3-6 Comparativo entre los tiempos de planificación usando método tradicional y método PAE.

CNLC 2019 4º Congreso Nacional Lean Construction

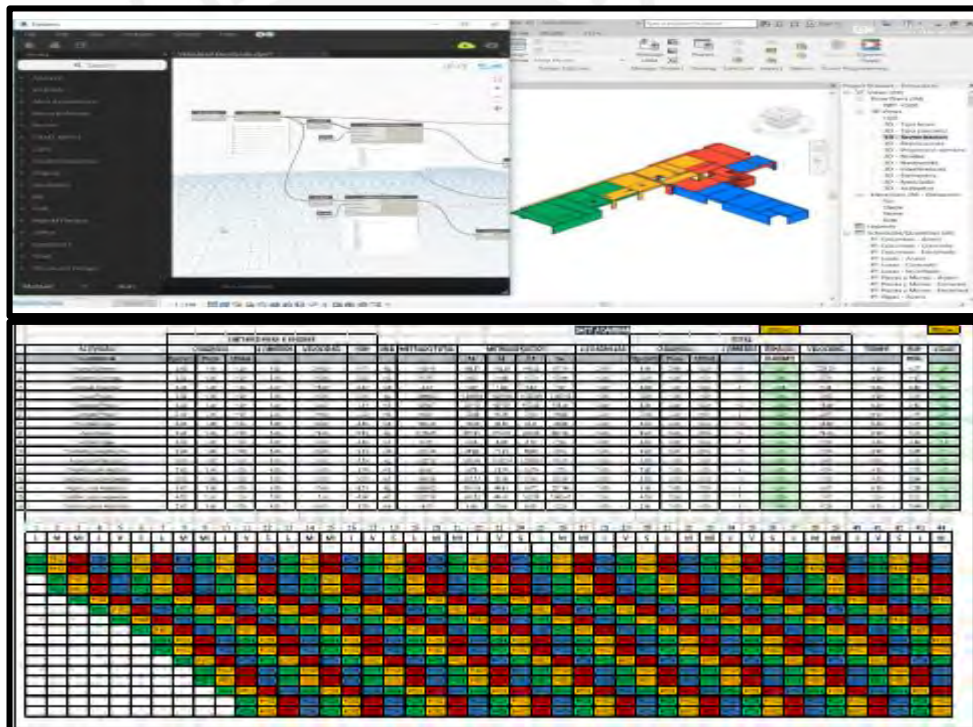
BIM en la etapa de planificación

Programación Acelerada para Edificios

EDIFICIO	TIEMPO DE PLANIFICACIÓN (TRADICIONAL)	TIEMPO DE PLANIFICACIÓN (PAE)
Multifamiliar 15 Pisos y 3 sótanos	Sectorización: 2 semanas Tren de trabajo: 1 semana	1. Obras provisionales: 1 hora (Colaborativo) 2. Sectorización: 1 hora 3. Creación modelo 4D: 1 hora 4. Tren de trabajo: 10 minutos Reunión con especialistas: 1 hora Total: 6 horas
Multifamiliar 18 pisos y 7 sótanos	Sectorización: 3 semanas Tren de trabajo: 1 semana	
Hospital 3 pisos y 5 sótanos	Sectorización: 4 semanas Tren de trabajo: 1 semana	
Multifamiliar 20 pisos y 5 sótanos	Sectorización: 3 semanas Tren de trabajo: 1 semana	

(Fuente: Julio Mendoza – CNLC2019)

Figura 3-7 Automatización de sectorización usando Dynamo para Autodesk Revit.



(Fuente: Julio Mendoza – CNLC2019)

De la misma forma, Brioso, Murguía y Urbina (2017), muestran los beneficios de la metodología BIM a la hora de realizar programación de obra, usando 3 de los métodos más empleados como es el caso de los trenes de trabajo, líneas de flujo o el tradicional método de programación por precedencia (PDM). La investigación encontró que, para proyectos lineales,

se logra tener una mejor selección y evaluación de los trenes de trabajo, así como una rápida cuantificación de los materiales necesarios para asegurar un flujo de trabajo continuo, según la sectorización escogida. Esto se evidencio comparando la forma tradicional de programación usando Microsoft Excel y planos en 2D, en este caso se realizaron las programaciones de forma manual, y se encontró dificultad para realizar las líneas de flujo, además de que no se prestó atención a las posibles interferencias. Por otro lado, al emplear BIM, mediante programas tales como Revit, Naviswork y Vico Office, se pudo extraer de manera rápida y automática información como las programaciones y líneas de flujo; además de poder detectar posibles interferencias.

Figura 3-8 Resumen de diseño de workshop según etapa.

Tab. 2: Summary of the workshop design.

	Scheduling methods	Tools	Tasks
Stage 1	Takt-time, flowlines, and PTPPR	2D drawings and Excel spreadsheets	Manual quantity takeoff Manual design of crews Use of Excel spreadsheets to create schedules Simulation of planned vs. mock-up actual execution
Stage 2	Takt-time, flowlines	3D models, 4D models, Revit, and Navisworks 2016	Automatic extraction of quantitative takeoff Visualize 4D models Detect process clashes in the 4D model Comparison with Stage 1
Stage 3	Takt-time, flowlines	3D models, 4D and 5D models, and Vico Office	Visualize 4D and 5D models Automatic creation of schedules in Vico Office Iteration of different crews changing data in 5D models Comparison with Stages 1 and 2

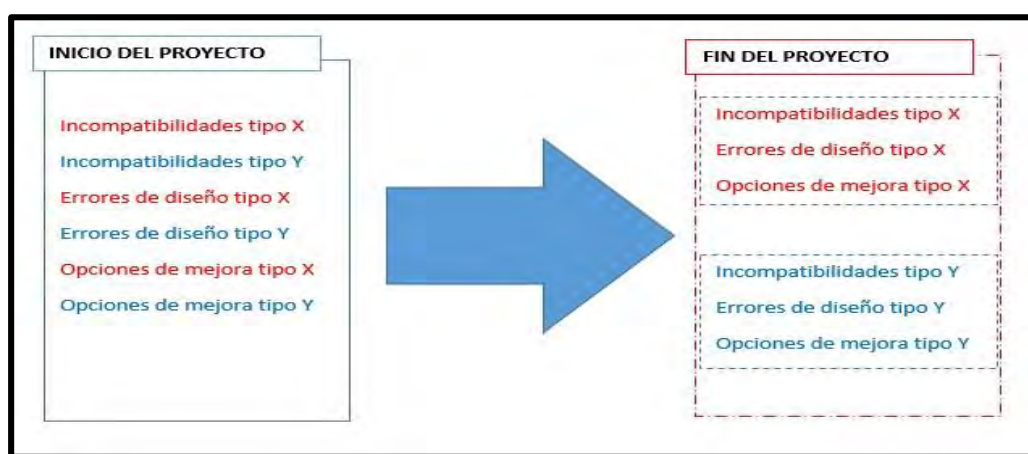
(Fuente: Brioso, Murguía y Urbina)

4. Metodología

4.1 Resumen

La metodología planteada se enfocó en calcular el potencial valor agregado de aplicar herramientas BIM en un proyecto llevado a cabo bajo el enfoque tradicional. En ese sentido, se pudo esquematizar a las incompatibilidades, errores de diseño y opciones de mejora de un proyecto de la siguiente manera:

Figura 4-1 Esquema de errores de información en proyectos durante el inicio y fin.



(Fuente: Elaboración propia)

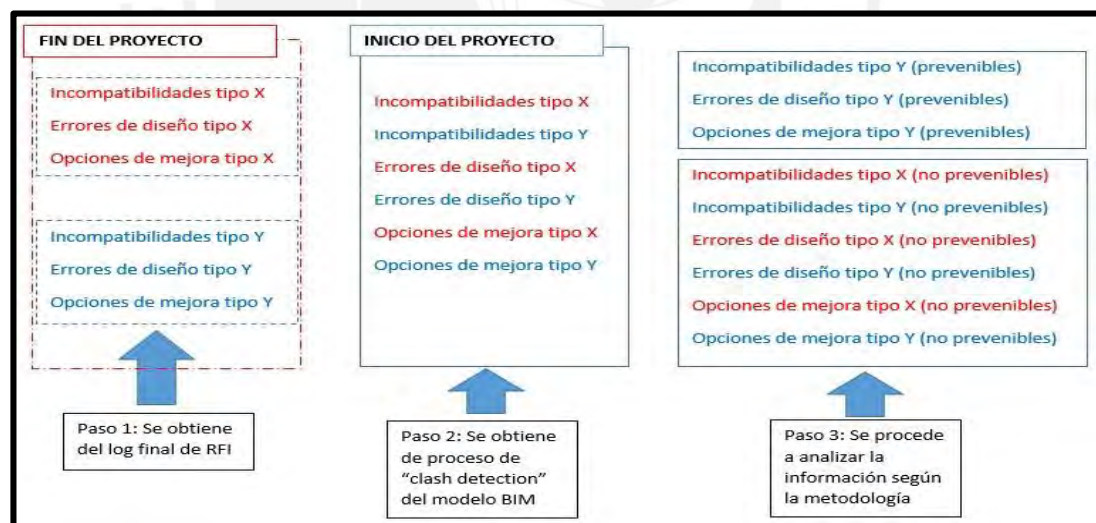
Se clasificó a los errores de información técnica en 2 tipos (X e Y). Los errores del tipo X, son aquellos que, bajo prácticas tradicionales, pudieron ser resueltos en campo, ya sea por la experiencia del staff o por la propia experiencia del personal obrero. Este tipo de errores no generaron mayor impacto ya que se asumió que estos fueron detectados y resueltos de manera oportuna. Por otro lado, los errores del tipo Y, son aquellos que no fueron descubiertos bajo prácticas tradicionales, por lo que de alguna forma generaron retrasos debido a que fueron sometidos al proceso tradicional de consulta mediante RFI; en ese sentido, estos impactaron en el costo del proyecto. Asimismo, mencionar que cualquier práctica aplicada que logre detectar este tipo de errores, dará valor agregado.

Luego de procesada la información, notamos que, al inicio del proyecto, la información técnica entregada al equipo de construcción contenía ambos tipos de errores; sin embargo, al analizar

el final de la obra se pueden obtener los 2 grupos de manera separada. Los errores del tipo Y quedarán plasmados en el log de RFI del proyecto, mientras que los del tipo X, suelen no ser documentados.

Iniciaremos la metodología yendo al fin del proyecto. En este punto, captaremos el log de RFI; aquí se plasman los errores del tipo Y que no fueron descubiertos bajo el método tradicional. Como segundo paso, iremos al inicio del proyecto para captar los errores del tipo X e Y que poseía la información técnica inicial; para ello, realizaremos el modelo BIM con los planos iniciales y se realizará el proceso de “clash detection” con el software Naviswork 2020. Siguiendo con la metodología, se compararán ambos registros para de esta forma identificar los errores del tipo Y que hubiesen sido prevenibles de haber aplicado herramientas BIM, ya que, asumimos, la identificación temprana de estos errores, podría generar un ahorro económico al proyecto.

Figura 4-2 Resumen de primeros pasos de la metodología.



(Fuente: Elaboración propia)

Finalmente, una vez procesados, analizados y categorizados todos los datos antes mencionados, se procedió a realizar el análisis del costo, o posible costo, que estos errores representaron. En los siguientes apartados del capítulo, se explica con mayor detalle la secuencia de trabajo y procedimientos aplicados.

4.2 Recolección de datos

La metodología planteada inició con el proceso de recolección de datos, este consistió en recaudar información referente a los RFI del proyecto, el cual se llevó a cabo bajo el enfoque tradicional, es decir, sin aplicar ningún tipo de herramienta BIM. Luego, según el formato definido en la Tabla 4-1, ítems (1), (2), (3), (4) y (5), se consignarán la codificación, descripción, fechas de emisión, fecha de respuesta y fecha de ejecución.

Tabla 4-1 Formato de evaluación de RFI – ítems (1), (2), (3), (4) y (5).

Nº	Fecha de Emisión	Descripción	Fecha de Respuesta	Fecha de Ejecución
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)

(Fuente: Elaboración propia)

Como siguiente paso se recaudó información referente a los procedimientos de respuesta de RFI, así como los involucrados que intervienen y el tiempo total que toma completar el flujo de información. Así mismo, se evaluarán los procedimientos de obra en cuanto a planificación, adquisiciones, etc. Para de esta forma, obtener el posible tiempo invertido en cada uno de estos procesos. Adicionalmente, se compiló información referente al alcance del proyecto, costos iniciales y cronograma (línea base), así como los valores de desperdicios de concreto y materiales incidentes.

4.3 Elaboración de modelo BIM

Con los planos iniciales recaudados, se procedió a realizar el modelado de la edificación en el programa Autodesk Revit 2019. Debido a que, para la metodología planteada en este caso se considera que el modelo se dará después de construida la edificación, tomaremos las siguientes consideraciones, teniendo como base el consolidado de RFI donde puede corroborarse qué especialidades fueron las que tuvieron mayor número de interferencias, consideramos el siguiente alcance para el modelo:

Tabla 4-2 Alcance de modelo BIM.

Especialidad	Alcance	Nivel
Estructuras	<ul style="list-style-type: none"> • Zapatas • Cimientos corridos • Vigas de cimentación • Columnas • Placas • Vigas • Losas aligeradas (como solido) • Losas macizas • Escaleras • Rampas 	LOD 300
Arquitectura	<ul style="list-style-type: none"> • Muros de tabiquería • Revoques • Pintura • Ventanas • Mamparas • Barandas • Puertas 	LOD 300
Instalaciones Sanitarias (Agua fría, caliente, desagüe, contraincendios)	<ul style="list-style-type: none"> • Tuberías empotradas y enterradas • Tuberías colgadas • Montantes • Cajas de Registro • Accesorios de tuberías y aparatos sanitarios • Sumideros y registros 	LOD 300
Instalaciones Eléctricas	<ul style="list-style-type: none"> • Conductos colgados y/o adosados mayores o iguales a 2" • Conductos empotrados en concreto • Ductos enterrados • Montantes • Bandejas Eléctricas • Luminarias adosadas, colgadas o empotradas • Dispositivos para tomacorrientes e Interruptores • Cajas de Paso mayores a 200x200x100 	LOD 300
Instalaciones de gas	<ul style="list-style-type: none"> • Tuberías empotradas y enterradas • Tuberías colgadas • Montantes • Cajas de Registro, medidores, válvulas de presión • Accesorios de tuberías 	LOD 300

(Fuente: Elaboración propia)

Una vez realizado el modelamiento de las especialidades, se procedió a realizar la compatibilización e integración de todo el modelo en Autodesk Naviswork 2019.

4.4 Análisis y categorización de información

Como siguiente paso, se procedió a analizar la información obtenida; en ese sentido, se categorizaron los RFI según el motivo por el cual se dio la consulta y se otorgaron 3 categorías: Incompatibilidades, falta de detalles o cambios al diseño, lo cual fue consignado en el ítem (6) del formato. Seguidamente se calcularon las horas-hombre invertidas en cada procedimiento de obra, tales como RFI, planeamiento y metrados. En cuanto a los RFIs, se contabilizaron cuántos de estos provocaron un sobre costo por retrabajos (identificación tardía del problema), y ya que el modelo BIM 3D se dio después de la construcción de la edificación; se usó el mismo para validar que los RFI que produjeron sobre costos, ítem (9) del formato, son parte del valor agregado que hubiese otorgado BIM si se hubiera usado en etapas tempranas. Para ello se tomaron del consolidado de RFI, los que se han categorizado como incompatibilidad. De forma paralela, se realizó el “clash detection” en el programa Naviswork, el cual fue consignado en el ítem (8) del formato. Las incompatibilidades que figuraron en ambos registros se consideraron como incompatibilidades prevenibles con BIM.

Para cuantificar las otras formas de valor que agrega BIM, se estimaron los beneficios según la información recabada en el capítulo 3. Propuesta de Valor BIM y los datos que pudieron obtenerse tras el análisis del modelo BIM, así mismo se tomaron como base los métodos de estimación descritos en el inciso 2.1.7 Métodos de estimación de costos.

En cuanto a la reducción del tiempo que toma el proceso de metrados, se calcularon los tiempos requeridos utilizando el modelo BIM vs los tiempos requeridos mediante el proceso tradicional (AutoCAD + Excel); esto se hizo tomando 3 muestras de distintas partidas, registrando en video el tiempo demandado de cada escenario. Al finalizar se tomó un promedio simple de los 3 valores obtenidos, cuya diferencia porcentual entre cada valor se consideró como el porcentaje de reducción de tiempo en metrados al aplicar BIM. Finalmente, el valor obtenido se relacionó al número total de HH invertidas en metrados, para calcular las horas hombre ahorradas de haberse aplicado BIM al inicio del proyecto.

Fórmula 4.1 Porcentaje de Reducción de Metrados

$$\%Reducción_{metrado} = \frac{\sum \left(\frac{TiempoMetoTradi - TiempoMetoBIM}{TiempoMetoTradi} \right) \times 100}{3}$$

De igual forma se calculó la diferencia del metrado de concreto entre lo realmente consumido y lo obtenido del metrado del modelo. Los desperdicios reales, producto de errores en metrados al momento de hacer los pedidos de concreto, fueron multiplicados por la diferencia porcentual entre lo real y lo obtenido del modelo para ser considerados como m3 ahorrados de haberse usado BIM.

Fórmula 4.2 Porcentaje de Exactitud de Metrados

$$\%Exactitud_{metrado} = \left(1 - \text{abs} \left(\frac{MetradoRealConc - MetradoBIMConc}{MetradoRealConc} \right) \right) \times 100$$

Fórmula 4.3 Metraje prevenible con BIM

$$m3preveniblesBIM = m3desperdicioxmetrado \times \%ExactitudBIM$$

4.5 Cálculo de costos prevenibles en la implementación

El siguiente paso en la metodología consistió en determinar el costo directo prevenible, para ello se tomó el costo, producto de los 4 criterios establecidos: Reducción de incompatibilidades e interferencias, Reducción de errores de diseño y modificaciones de alcance, Reducción de tiempo de metrados y aumento en la precisión e Incremento en la productividad en etapa de planeamiento.

En el caso de la reducción de incompatibilidades e interferencias, el costo directo prevenible se consideró como la suma de los RFI que cumplieron las siguientes dos condiciones: que

produjeron sobrecostos y que fueron identificados en el “clash detection” del programa Naviswork. Es decir, según los ítems (8) y (9) se consideraron costos prevenibles a los que cumplan lo siguiente:

Tabla 4-3 Criterio de asignación de costos directos prevenibles con BIM.

RFI detectado en clash detection? (8)	Costo directo	
	Sobrecosto (9)	Costo directo prevenible con BIM (10)
SI	SI	SI
NO	NO	NO
SI	NO	NO
NO	SI	NO

(Fuente: Elaboración propia)

Adicionalmente debido a que los RFI tienen un tiempo de respuesta, y muchas veces son identificados cerca a la ejecución, estos pueden tener impacto en el cronograma del proyecto, lo que a su vez se traduce en un costo indirecto debido a los gastos generales y otros. Por esto primero se determinó el costo diario indirecto (CDI) debido a gastos generales y otros dependientes del tiempo, para obtener así la pérdida monetaria por cada día de retraso. En base a la Tabla 4-3, analizamos el costo indirecto de la siguiente manera:

Asumimos como premisa que la ruta crítica de la línea base del cronograma no varió, seguidamente analizamos los RFI prevenibles (cuyos trabajos si afectaron dicha ruta crítica). Si la fecha de emisión del RFI (2), resultó mayor que la fecha de ejecución en cronograma (5), el proyecto ya se encontraba retrasado, por lo que los días de impacto fueron igual al tiempo que duró la aclaración de la consulta. Por otra parte, si la fecha de emisión es menor a la fecha de ejecución, pero la fecha de respuesta (4), resulta mayor a la ejecución, los días de impacto correspondieron a la diferencia entre la fecha de respuesta y la fecha de ejecución, ya que el proyecto, según lo asumido anteriormente, se encontraba sin retraso antes de la emisión del

RFI. Por último, si tanto la fecha de emisión como la fecha de respuesta resultan menor a la fecha de ejecución, no se consideraron días de impacto en el costo. En la Tabla 4-4 se muestra un esquema de la metodología adoptada:

Tabla 4-4 Condiciones para determinar días de impacto en costo indirecto por RFI prevenibles.

Caso	Condición	Días de impacto
1	Si (2)>(5) & (4)>(5)	(4) - (2)
2	Si (2)<(5) & (4)>(5)	(4) - (5)
3	Si (2)<(5) & (4)<(5)	0

(Fuente: Elaboración propia)

Ya con el listado de todos los RFI prevenibles con BIM que produjeron un sobre costo (directo o indirecto), el siguiente paso consistió en asignar los valores respectivos de los costos adicionales a cada RFI. En el caso de los costos indirectos se procedió a multiplicar los días de impacto en la ruta crítica por el valor de los gastos generales diarios.

En resumen, el ahorro producto de interferencias prevenibles se calculó como:

Fórmula 4.4 Ahorro por Interferencias Prevenibles

$$Ahorro_{interferencias} = \sum SobrecostosRFIprevenibles + (\sum Dias_{impacto} \times GG_{dia})$$

En cuanto a los costos por reducción de órdenes de cambio (COR), se tomó el porcentaje de reducción obtenido de la bibliografía y se calculó el tiempo en HH que involucra una orden de cambio; luego se multiplicó el valor obtenido por la cantidad de órdenes de cambio y finalmente se le aplicó el porcentaje de reducción.

Fórmula 4.5 Ahorro por Reducción de COR

$$Ahorro_{COR} = (HH_{COR} \times Costo_{HH}) N^{\circ}_{COR} \times \%reducci\acute{o}n_{COR}$$

Por otra parte, para considerar el ahorro producto de la reducción de tiempos de metrados e incremento de precisión, tomamos las fórmulas del apartado 4.3.

Fórmula 4.6 Ahorro por Reducción de Tiempo de Metrados

$$Ahorro_{metrados} = HH_{inv.met} \times \%Reduccion_{metrado} \times Costo_{HH}$$

Fórmula 4.7 Ahorro por Incremento de Precisión de Metrados

$$Ahorro_{precision} = m3_{desperdicio_{metrado}} \times Costo.m3 \times \%Exactitud_{metrado}$$

Por último, el ahorro producto del incremento de la productividad en la etapa de planeamiento se obtuvo mediante el método de estimación paramétrica, basándonos en la bibliografía recabada; para ello, se tomó la cantidad de HH empleadas en planeamiento y se multiplicaron por su valor monetario y por el porcentaje de incremento de productividad:

Fórmula 4.8 Ahorro por Incremento de Productividad en Planeamiento

$$Ahorro_{planeamiento} = HH_{planeamiento} \times Costo_{HH} \times \%Productividad_{planeamiento}$$

Finalmente, el costo ahorrado fue la sumatoria de cada valor parcial considerado.

Fórmula 4.9 Costo Prevenible Total

$$Costo_{prevenible} = Ahorro_{interferencias} + Ahorro_{COR} + Ahorro_{metrados} + Ahorro_{precision} + Ahorro_{planeamiento}$$

4.6 Cálculo de costos de implementación

En cuanto a los costos de implementación, se recaudó información de cotizaciones de proyectos similares, de esta forma se obtuvo mediante estimación análoga el costo de la implementación BIM; adicionalmente a ello, debido a que se requiere que ciertas personas del staff de obra reciban capacitaciones especiales, se consideró un curso corto para (Residente, Ingeniero de oficina técnica, Ingeniero de campo). Así mismo se consideró el valor de la depreciación de laptops y tabletas preparadas especialmente para soportar los programas BIM.

4.7 Cálculo del ROI

Una vez determinados los costos, procedimos a encontrar el ROI producto de la implementación BIM en el proyecto. Para ello tomamos la relación porcentual entre el costo de la implementación y costo prevenible:

Fórmula 4.10 Retorno de Inversión

$$ROI (\%) = \frac{CP}{CI} \times 100$$

Donde:

- *CP: Costo Prevenible con BIM*
- *CI: Costo de Implementación.*

5. Caso de Estudio

5.1 Descripción de la empresa constructora

5.1.1 Antecedentes

Como caso de estudios tomamos el proyecto “B2”, construido por la empresa constructora e inmobiliaria “U”. Dicha empresa se enfoca en la construcción de viviendas multifamiliares en la ciudad de Lima, teniendo más de 12 años de experiencia y 20 proyectos entregados. Al igual que la mayoría de las empresas del medio, la inmobiliaria “U”, mantiene el enfoque tradicional de gestión de proyectos, es decir sin implementar la tecnología BIM; por lo que sus proyectos presentan una considerable cantidad de RFIs. A continuación, mostramos el análisis realizado para el caso de estudio, el cual fue desarrollado en el distrito de Pueblo Libre, ciudad de Lima.

5.1.2 Descripción del flujo de trabajo

El flujo de trabajo de la empresa “U” sigue el típico enfoque de un DBB, el cual detallamos a continuación:

Se procede a contactar al arquitecto responsable del desarrollo del proyecto, luego de comprado el terreno. Una vez terminado el expediente de arquitectura, este se envía a los responsables del resto de especialidades. De forma paralela, el área de proyectos de la empresa es la responsable de coordinar con cada proyectista y de realizar revisiones de compatibilización de los entregables. Una vez culminado el proyecto, este es enviado al área de presupuestos para obtener el costo respectivo. Finalmente, el proyecto se envía al área de construcción, quien se encarga de materializar el proyecto.

Cuando es necesaria información adicional por parte del proyectista; el área de oficina técnica es el responsable de remitir al área de proyectos la consulta. Quien a su vez deliberará si se requiere derivar la consulta al proyectista, o caso contrario puede ser resuelta por ellos mismos.

Una vez atendida la consulta, el área de proyectos se encarga de enviar la respuesta al área de construcción, quien aceptará o no la solución propuesta, en base al impacto en costo y tiempo que esta representa, si existe costo adicional, este es reportado en los informes operativos.

5.2 Proyecto en estudio

5.2.1 Descripción del proyecto

5.2.1.1 Alcance

El proyecto B2 consistió en la construcción de un edificio destinado a vivienda multifamiliar, el cual consta de 75 unidades de departamentos y 50 estacionamientos. El edificio posee 18 pisos de altura y 3 sótanos, teniendo una cota final de + 49.90 sobre el nivel de vereda, además de edificarse sobre un terreno de 699 m², con un frente de 30 ml y un retiro de 5 ml desde el límite de propiedad. Debido a los parámetros urbanísticos, según la zonificación del distrito, el área libre a considerar fue del 40%, lo cual no deja con un área construida por piso de 392.65 m², en los pisos superiores (por encima del nivel +0.00), mientras que en los sótanos el área construida es de 633.43 m² en promedio. El área construida total es de 8 412.3 m².

La estructura consiste en la combinación de columnas y placas, las cuales están dispuestas cumpliendo los requisitos de las normas sismo resistentes. Además, debido a la cantidad de sótanos, el edificio está compuesto por muros pantalla en los niveles inferiores

Figura 5-1 Renderizado del Proyecto B2.



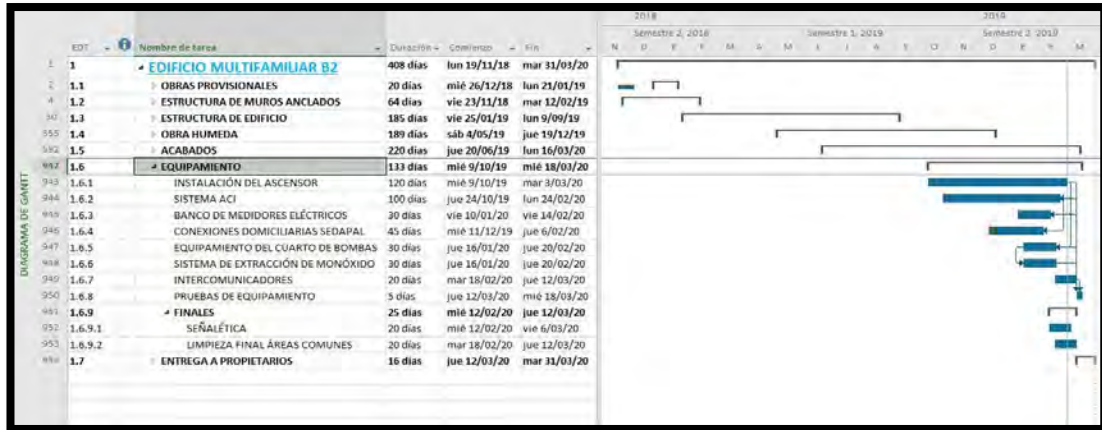
(Fuente: OT Empresa U)

5.2.1.2 Cronograma

En el caso del cronograma, el proyecto B2 tuvo una duración de 493 días efectivos, teniendo como fecha de inicio el 22/11/2017 y fecha fin el 30/03/2019. Respecto a la fecha de entrega, este fue entregado con 7 días de retraso, lo cual no tuvo mayor impacto en el costo, ya que la

construcción era para la misma empresa, además de tener cierta holgura con respecto a la entrega a clientes. La distribución de las partidas se detalla según el siguiente cronograma

Figura 5-2 Cronograma del Proyecto B2.



(Fuente: OT Empresa U)

5.2.1.3 Presupuesto

En el caso del presupuesto, su valor inicial fue de S/13,051,275.60 y como costo al cierre S/13,320,752.62. Esto origina una desviación de 2.1% con respecto a la línea base. Por otro lado, cabe resaltar que no se consideraron los montos correspondientes a imprevistos e incrementos, ya que estos son independientes de la gestión de obra. En la siguiente tabla podemos ver la distribución del presupuesto, así como el monto final al cierre.

Tabla 5-1 Presupuesto proyecto B2.

DESCRIPCIÓN	COSTO PRESUPUESTADO (S/.)	COSTO REAL (S/.)	DESVIACIÓN (S/.)	DESVIACIÓN (%)
OBRAS PROVISIONALES	1,629,295.61	1,762,495.05	133,199.44	8.2
MOVIMIENTO DE TIERRAS	209,857.60	190,000.46	(19,857.14)	(9.5)
CIMENTACION	60,117.08	41,220.57	(18,896.51)	(31.4)
ANCLAJES POSTENSADOS	80,576.89	92,603.19	12,026.30	14.9
ACTIVIDADES MURO PANT	76,857.67	59,741.45	(17,116.22)	(22.3)
OBRAS DE CONCRETO ARMADO	3,313,291.75	3,396,595.94	83,304.18	2.5
ALBAÑILERIA	823,853.29	822,956.83	(896.46)	(0.1)
DRYWALL	23,841.67	50,541.94	26,700.28	112.0
REVOQUES Y ENLUCIDOS	771,726.53	725,732.08	(45,994.45)	(6.0)
PISOS	474,423.34	479,034.02	4,610.68	1.0
ZOCALOS CONTRAZOCALOS	312,348.23	315,493.37	3,145.15	1.0
CARPINTERIA METALICA	233,679.06	233,679.06	0.00	0.0
CARPINTERIA DE MADERA	398,133.15	407,648.52	9,515.37	2.4
CERRAJERIA	28,688.78	28,688.78	0.00	0.0
CARPINTERIA DE ALUMINIO	324,567.25	342,290.01	17,722.76	5.5
APARATOS SANIT Y ACCES	136,018.20	138,152.64	2,134.44	1.6
EQUIPAMIENTO	1,065,641.12	1,012,583.34	(53,057.78)	(5.0)
INSTALACIONES ELECTRICAS	689,320.64	712,137.53	22,816.89	3.3
INSTALACIONES SANITARIAS	374,602.00	442,420.82	67,818.82	18.1
FACTIB AGUA Y DESAGUE	25,000.00	25,000.00	0.00	0.0
INSTALACION CONTRA INCENDIO	139,844.52	130,310.96	(9,533.56)	(6.8)
CONEXI AGUA Y ENERG ELECTR	45,000.00	45,000.00	0.00	0.0
POLIZA CAR	23,898.80	28,414.59	4,515.79	18.9
PINTURA	448,192.22	460,319.17	12,126.95	2.7
POST VENTA	131,460.00	131,460.00	0.00	0.0
VENTAS	61,810.00	63,898.30	2,088.30	3.4
GASTOS GENERAL VARIOS	87,970.96	109,149.45	21,178.49	24.1
GASTOS ADMINISTRACION	896,767.19	896,767.19	0.00	0.0
VARIOS	164,492.05	172,270.65	7,778.60	4.7
OTROS HC	0.00	4,146.70	4,146.70	0.0
TOTAL	S/. 13,051,275	S/. 13,320,752	S/. 269,477	2.1%

(Fuente: OT empresa U)

5.2.2 Análisis y categorización de información

Para el caso del análisis de los RFI, con la información recaudada por parte del área técnica del proyecto, se procedió a compilar la información según la tabla planteada en la metodología. Debido al volumen de información, el consolidado se considera en los anexos de la presente tesis. Del consolidado, se pudo obtener los siguientes resultados para la categorización de RFI, según la razón por la cual se originó el RFI.

Figura 5-3 RFI por especialidad y tipo.

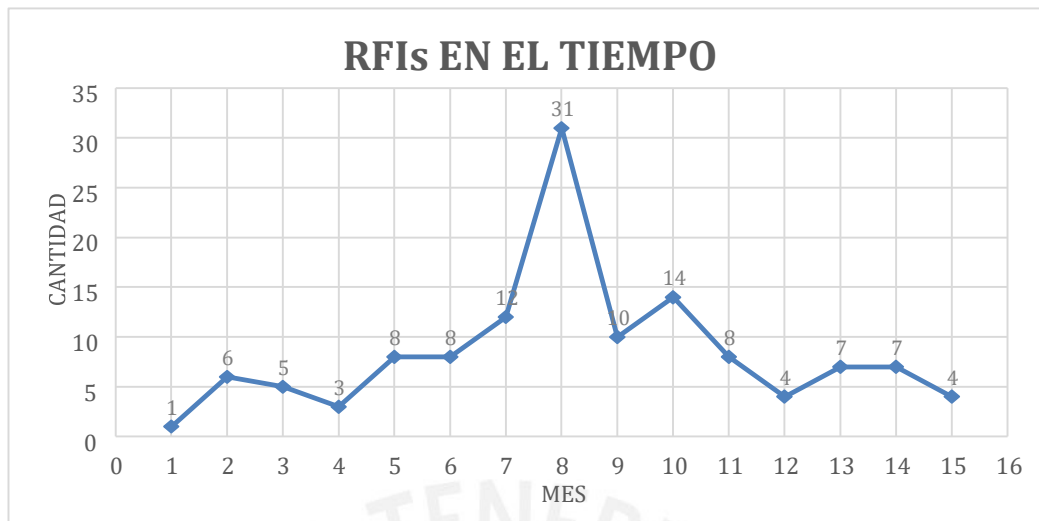


(Fuente: Elaboración propia)

De esta gráfica se puede observar, que la mayor cantidad de RFI involucraron a la especialidad de arquitectura. Así mismo, se pudo inferir que el 50% de los RFI de la especialidad de arquitectura, representan falta de detalles en cuanto a las especificaciones técnicas brindadas en los planos de obra.

Por otra parte, podemos ver en la Figura 5-4, que la mayor parte de RFIs se produjeron en el punto de mayor pendiente de una curva S, es decir, a la mitad de la obra. Ya que, para la cantidad de pisos del proyecto, el tren de actividades marcaba la ejecución de partidas de estructuras, obra gris y acabados, de forma paralela.

Figura 5-4 RFI en el tiempo.



(Fuente: Elaboración propia)

En cuanto a costos de mano de obra, se obtuvo información correspondiente al pago mensual, a un valor de costo empresa para los distintos involucrados en el proyecto. Esto sirvió para calcular el monto valorizado producto de las HH invertidas durante las distintas fases del proyecto. El costo por HH, se calculó asumiendo una jornada semanal de 48 horas con 4 semanas por mes en promedio

Tabla 5-2 Salario mensual y por HH de los distintos involucrados.

Involucrados	Salario Mensual	Costo HH
Residente de obra	S/.10,000.00	S/.52.08
Ingeniero de producción	S/.6,000.00	S/.31.25
Ingeniero de oficina técnica	S/.6,000.00	S/.31.25
Maestro de obra	S/.4,800.00	S/.25.00
Residente de obra	S/.10,000.00	S/.52.08

(Fuente: Elaboración propia)

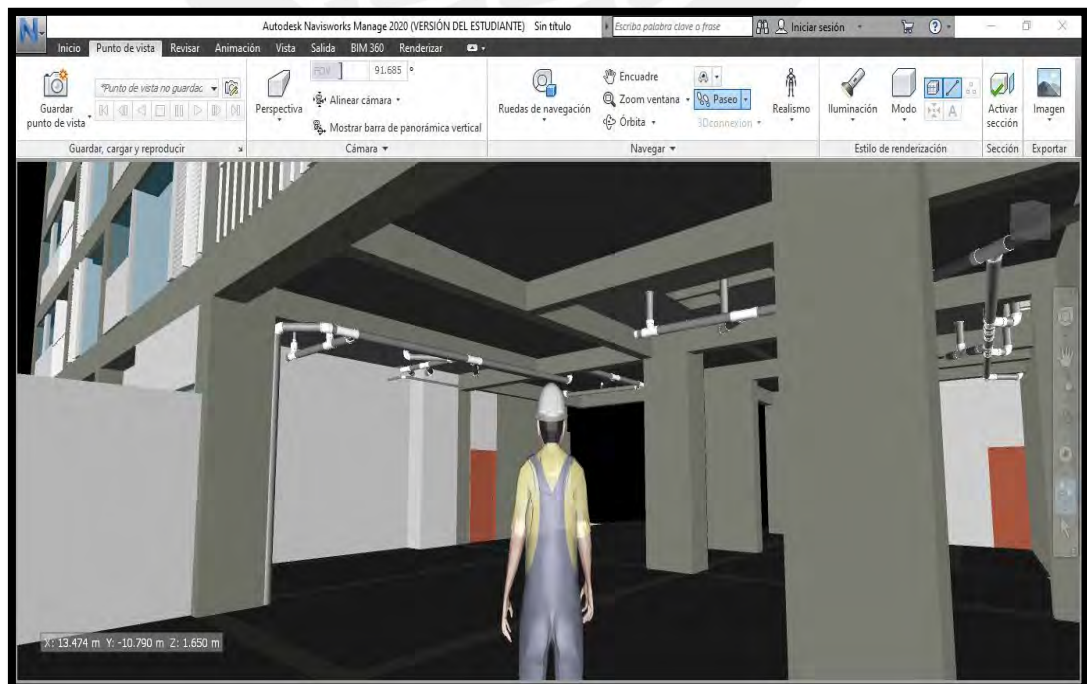
5.2.3 Modelamiento y análisis BIM

Tal como se menciona en la metodología, se emplearon los programas Autodesk Revit 2019, para el modelamiento de las distintas especialidades, así como Autodesk Naviswork 2020, para la gestión y análisis.

Para el modelo BIM usado en el proyecto, se consideraron las especialidades de arquitectura, estructuras, instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas e instalaciones de gas. Debido a que el análisis se basa en los RFI producto de incompatibilidades que causaron costos adicionales, el alcance del modelo se ajustó a estos RFI. Por ello, se contemplaron únicamente los muros, pisos, enchapes, ventanas y puertas, en la especialidad de arquitectura. Por otra parte, en instalaciones eléctricas, solo se consideraron la salida de los puntos de alumbrado y fuerza, así como las bandejas en sótanos.

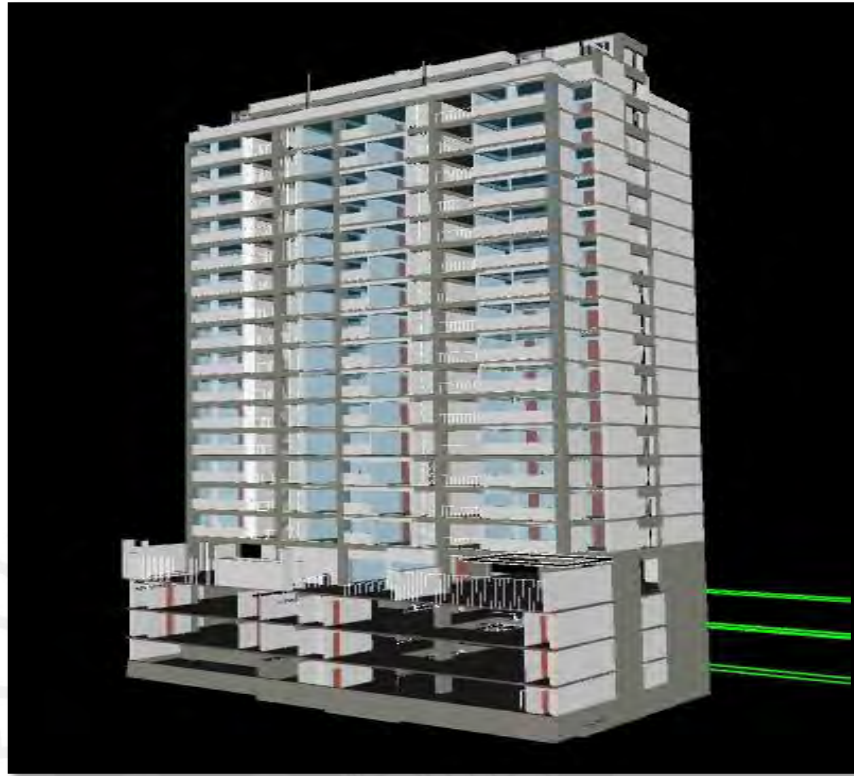
Para el análisis del modelo, se exportaron las distintas especialidades al programa Naviswork 2020. Y se hizo uso de la herramienta de “clash detection” para detectar las interferencias. Así mismo, se hicieron recorridos en tercera persona por todo el modelo compatibilizado, para de esta forma llevar a cabo un análisis cualitativo del proyecto.

Figura 5-5 Vista interior en Modelo BIM.



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 5-6 Vista exterior en Modelo BIM.



(Fuente: Elaboración propia)

5.2.4 Determinación de costos prevenibles

Como se mencionó en capítulos anteriores, la presente investigación busca sustentar la implementación de la metodología BIM en el proyecto, a través de 4 criterios los cuales agregan, hipotéticamente, valor monetario al proyecto.

5.2.4.1 Reducción de incompatibilidades e interferencias

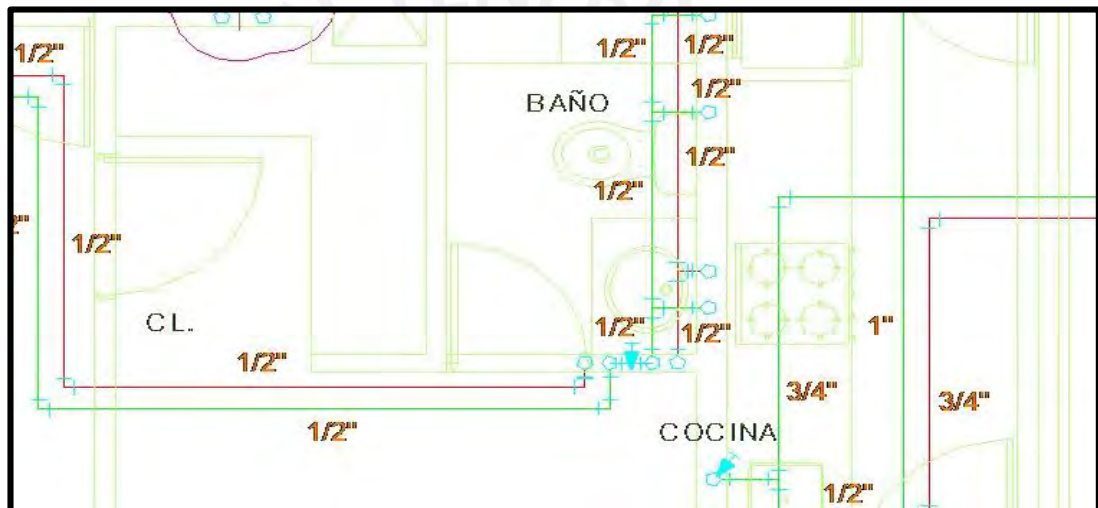
Para el presente criterio, se analizó el consolidado de RFI. Debido a que el enfoque planteado busca prevenir aquellos RFI del tipo incompatibilidad, ya que estos generan sobrecostos. Nos enfocamos únicamente en dichas solicitudes de información y, de esta manera, detectamos 5 incompatibilidades que hubiesen podido ser detectadas de forma rápida y sencilla, de haberse aplicado la metodología BIM en etapas tempranas.

5.2.4.1.1 Cruce entre puertas de dormitorio y tubería de agua caliente

Antecedentes

La presente incompatibilidad involucra a las especialidades de arquitectura e instalaciones sanitarias, como puede verse en los planos de IISS, la tubería de 2", queda embebida dentro de las puertas de los departamentos tipo X02 y X04. Dentro de obra, la incompatibilidad fue detectada al momento de realizar el trazo para tabiquería del piso 2. Para ese entonces, el avance de la obra en cuanto a instalaciones de losas se encontraba en el piso 12, por lo que tuvo que realizarse la corrección de 40 puntos (4 puntos por piso)

Figura 5-7 Incompatibilidad en puerta de baño vista en plano CAD de IISS.

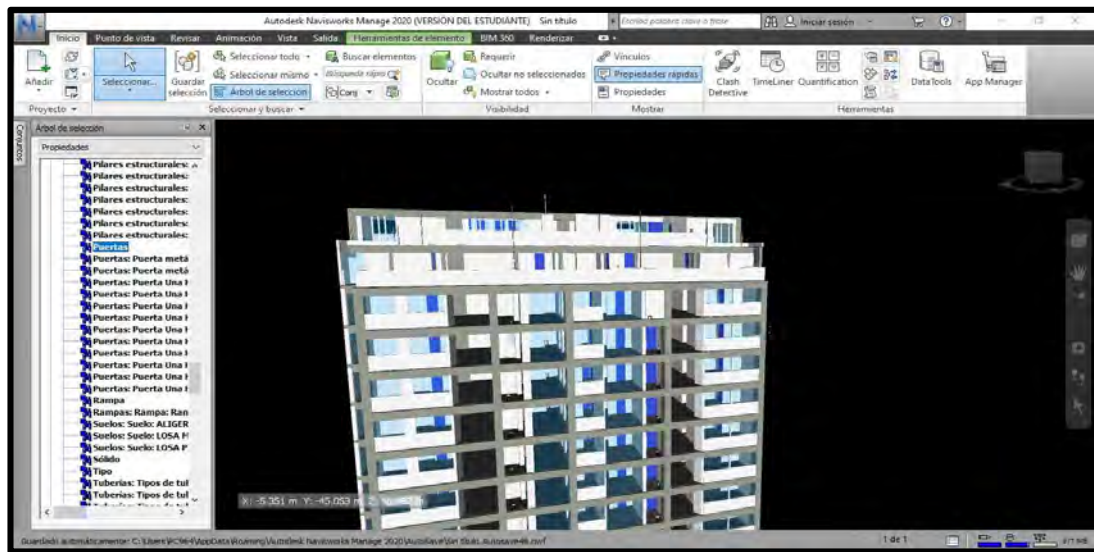


(Fuente: Elaboración propia)

Modelo BIM:

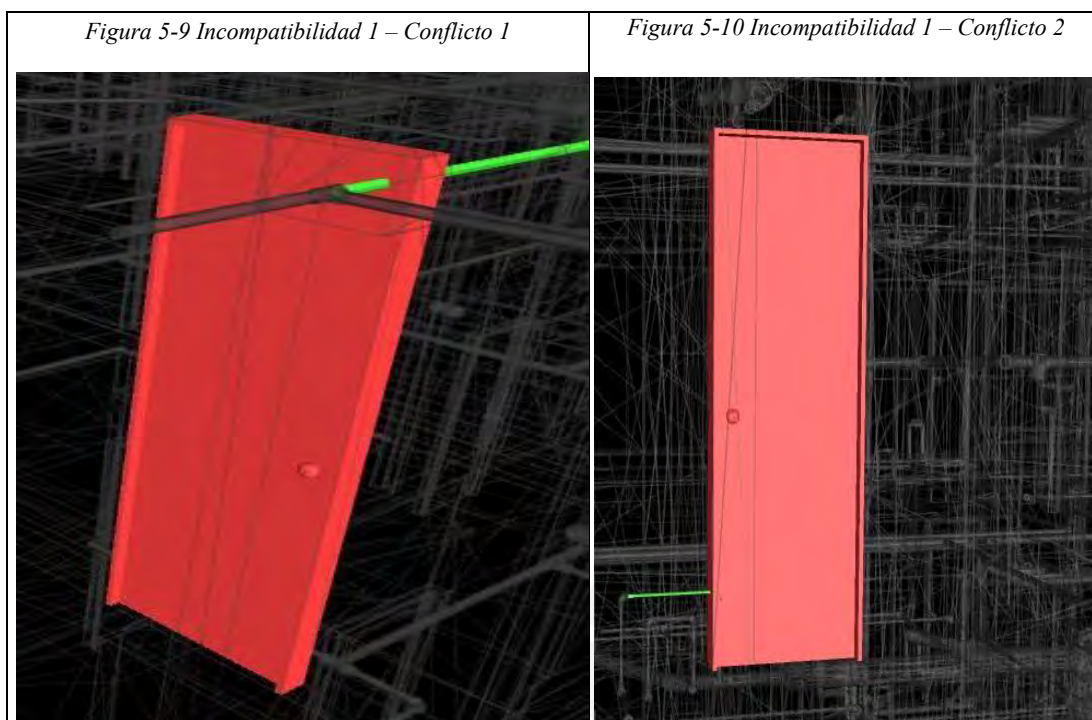
Para la detección de la incompatibilidad, realizamos el proceso de “clash detection” en el programa Naviswork 2020. En primera instancia, creamos el conjunto de elementos “puertas” vs el modelo de IISS y analizamos mediante la herramienta antes mencionada, para ello en el árbol de selección desplegamos la lista de propiedades y buscamos por elementos el tipo “puertas”, después guardamos selección.

Figura 5-8 Selección de elementos para clash detection –Incompatibilidad 01.



(Fuente: Elaboración propia)

Luego procedemos a realizar el análisis, para ello añadimos una prueba, teniendo como selección A al conjunto puertas y en la selección B al modelo IISS; una vez realizada la prueba, pudimos observar que existían 87 conflictos, los cuales se dividen básicamente en 2 tipos: el primer tipo de conflicto, muestra el cruce de tuberías del sistema contraincendios con puertas en depósitos, sin embargo, al no haber representado una incompatibilidad sustentada en un RFI, se asume que dicho conflicto fue resuelto en campo, desplazando la tubería, por lo que se confirma que, de haberse realizado el análisis en etapas temprana, se hubiese detectado y prevenido el sobrecosto generado. Finalmente, vemos que el número de conflictos resulta elevado ya que se están considerando 4 elementos sanitarios por puerta en interferencia (2 codos y 2 tubos), por lo que el sistema considera una interferencia por cada elemento.



(Fuente: Elaboración propia)

Análisis del costo

Según el APU entregado por el contratista de IISS, el trabajo de subsanación consistió en el picado de la losa, movimiento del tubo hacia dentro del tabique y el resane correspondiente. A continuación, se presenta el análisis de precio unitario (APU) y presupuesto del contratista por los retrabajos.

Tabla 5-3 Presupuesto subsanación ISS.

Descripción	Und	Cantidad	PU	Parcial
PICADO Y RESANE DE PUNTO DE AGUA CALIENTE	pto	40.00	S/. 97.70	S/. 3,907.86
COSTO DIRECTO				S/. 3,907.86
IGV (18%)				S/. 703.41
MONTO POR PAGAR				S/. 4,611.27

(Fuente: Contratista X)

Tabla 5-4 APU picado y resane de punto de agua.

PICADO Y RESANE DE PUNTO DE AGUA CALIENTE						
UNIDAD	PTO					
RENDIMIENTO	3.00			Ptos/día		
COSTO UNITARIO	97.70			N.Soles / m2		
INSUMO	Und	Cuadrilla	Incidencia	Costos (N.Soles)		
				Unitario	Parcial	Sub-total
Materiales						
Punta para rotomartillo	und		0.250	16.90	4.23	
Cemento Portland tipo I	Bls		0.120	19.81	2.38	
Arena Fina	m3		0.020	31.66	0.63	
Tubería PVC	ml		0.100	6.900	0.69	7.93
Mano de Obra						
Capataz	h-h	0.10	0.2667	22.43	5.98	
Operario	h-h	1.00	2.6667	18.38	49.01	
Peón	h-h	0.50	1.3333	13.83	18.44	73.43
Equipos y Herramientas						
Herramientas	%MO		0.0300	2.20	2.20	
Rotomartillo			0.1667	84.80	14.13	16.34
COSTO UNITARIO				PTO	S/. 97.70	

(Fuente: Contratista X)

5.2.4.1.2 Pase de tuberías contra incendio en vigas de sótano Antecedentes:

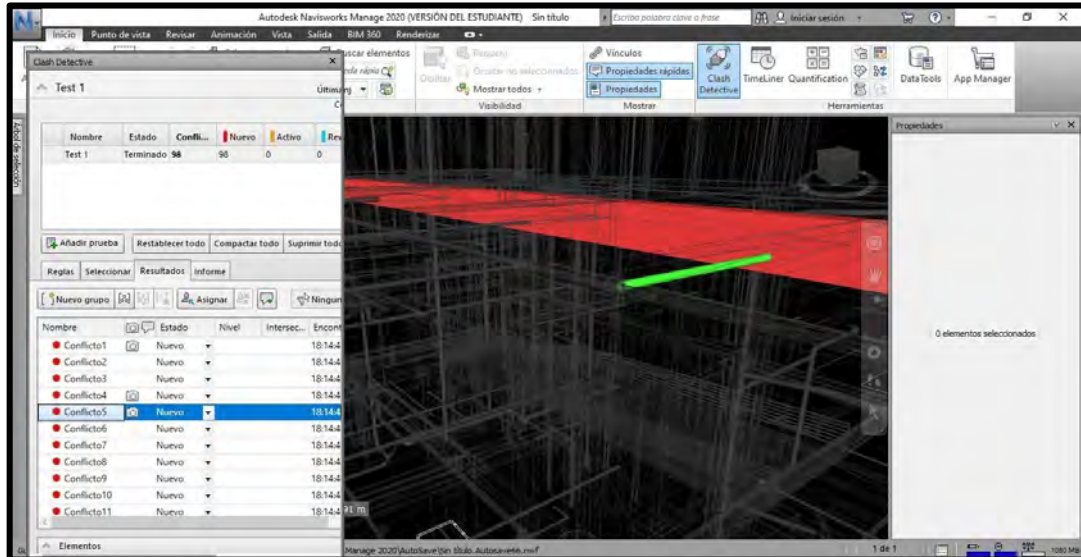
Una de las incompatibilidades más comunes detectadas en edificios, corresponde al pase de tuberías del sistema contra incendio con vigas en sótanos. Debido a que estas tuberías no van embebidas en las losas, sino que van colgadas del techo, es común que se intercepten con las vigas.

Modelo BIM:

Para la detección de la incompatibilidad, realizamos el proceso de “clash detection” en el programa Naviswork 2020. Para ello, creamos el conjunto “vigas” en el árbol de selección,

escogimos las correspondientes a los sótanos, y al conjunto “tuberías”, finalmente tras el análisis, encontramos 98 conflictos.

Figura 5-11 Análisis de clash detection, tuberías ACI vs Vigas.



(Fuente: Elaboración propia)

Al buscar soluciones alternativas en el modelo, podemos observar que la altura de piso a techo es de 2.35 m., por lo que, si la tubería se hubiese colocado bajo el nivel de las vigas, la altura del fondo de la tubería hasta el nivel de piso terminado aún hubiese estado dentro de los parámetros de la norma (2.10 m). De esta forma se hubiese evitado hacer los 98 pases en las vigas, lo cual más que un ahorro de dinero involucra cierta afectación al sistema estructural.

Figura 5-12 Corroboración de medidas en modelo compatibilizado.



(Fuente: Elaboración propia)

Análisis del costo

Para el análisis de costo, se consideró el monto por unidad que fue desembolsado para realizar el trabajo.

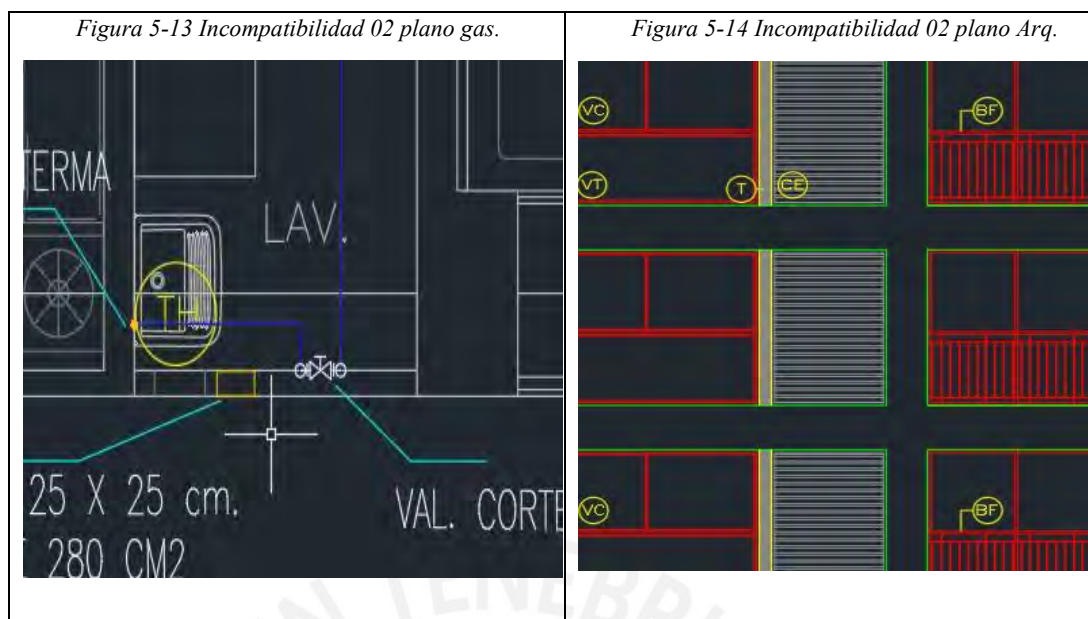
Tabla 5-5 Presupuesto subsanación tubería de sistema contra incendios.

Descripción	Und	Cantidad	PU	Parcial
PASE DE 3" EN VIGAS PARA TUBERIA ACI	pto	98.00	S/. 75.00	S/. 7,350.00
COSTO DIRECTO				S/. 7,350.00
IGV (18%)				S/. 1,323.00
MONTO POR PAGAR				S/. 8,673.00

(Fuente: Elaboración propia)

5.2.4.1.3 Cajuela para punto de gas Antecedentes:

La presente incompatibilidad involucra a la partida de instalaciones de gas y arquitectura. Como puede verse en el plano de gas, la válvula de corte de los departamentos X02 y X04 queda en un muro el cual da hacia la fachada; sin embargo, en los planos de arquitectura, podemos ver que en el lugar descrito se encuentra una celosía de ventilación, en campo esto sucedió cuando se inició la cotización de la carpintería metálica; para entonces, ya se tenía la tabiquería y el contrapiso al 100%. En este caso se tenían 2 opciones, la primera consistía en mover la válvula de corte hacia uno de los muros laterales, la segunda en hacer un parapeto que sirva de cajuela y de punto de anclaje para la celosía; según lo definido por el área de proyectos, se decidió mover la válvula de corte hacia el tabique lateral. Los trabajos involucrados consistían en picado, resane, y el movimiento de punto con caja en tabique.

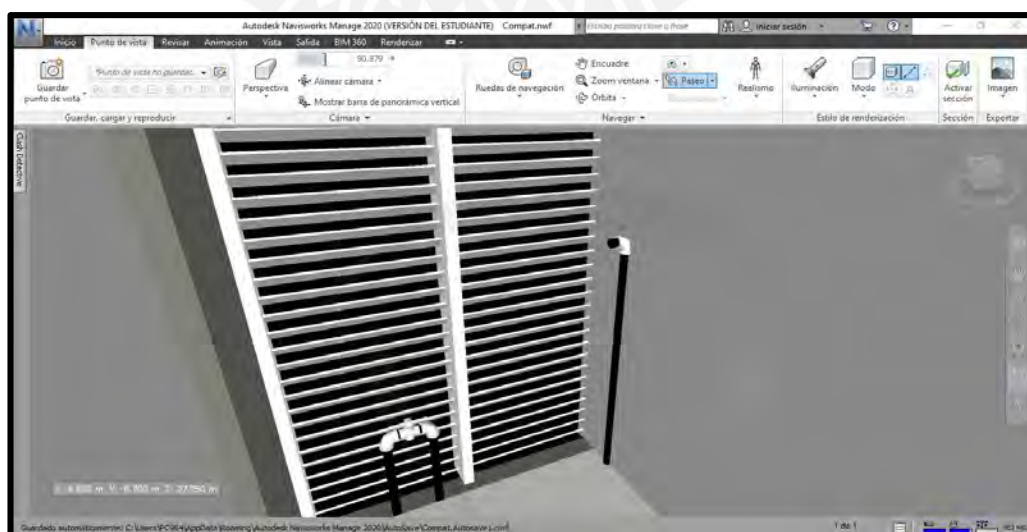


(Fuente: Elaboración propia)

Modelo BIM:

En el programa Naviswork 2020, se realizó el recorrido de los pisos típicos ambiente por ambiente. Para el problema descrito, se pudo detectar rápidamente la incompatibilidad al realizar el recorrido de los departamentos X02 y X04, se activó el modo de realismo en tercera persona para tener una mejor visualización de la compatibilización de planos y al encontrarnos con la incompatibilidad mostrada, asumimos que, de haberse realizado el análisis en etapas tempranas, se hubiese detectado fácilmente la incompatibilidad, evitando el sobrecosto.

Figura 5-15 Incompatibilidad 2 en Autodesk Naviswork 2020.



(Fuente: Elaboración propia)

Análisis del costo:

Como se mencionó líneas arriba, el problema se detectó cuando ya se tenían todos los puntos de gas en la posición que indicaba el plano, por lo que el retrabajo consistió en mover los puntos del piso 02 al 15 de 2 departamentos. Debido a que esto se realizó a todo costo por el contratista de instalación de gas, no se cuenta con el análisis del costo unitario, sin embargo, se muestra a continuación el detalle de la cotización.

Tabla 5-6 Presupuesto reubicación de punto de gas.

Descripción	Und	Cantidad	PU	Parcial
REUBICACIÓN DE VALVULA DE CORTE	pto	30	S/. 39.00	S/. 1,170.00
PICADO EN CONTRAPISO Y TABIQUE	ml	36.2	S/. 9.35	S/. 338.47
RESANE DE CONTRAPISO Y TABIQUE	ml	36.2	S/. 11.30	S/409.06
CAJA PARA VALVULA	und	30	S/. 58.30	S/. 1,749.00
COSTO DIRECTO				S/. 3,666.53
IGV (18%)				S/. 659.98
MONTO POR PAGAR				S/. 4,326.51

(Fuente: Elaboración propia)

5.2.4.1.4 Tubería de ventilación en fachada principal

Antecedentes:

La presente incompatibilidad involucra a la partida de instalaciones sanitarias y arquitectura; como puede verse en el plano de instalaciones sanitarias del piso 17, se tiene una tubería de ventilación proveniente de la cocina del departamento 1602 y 1604, la cual sube por un ducto que inicia en el piso mencionado y culmina en el techo de la azotea. Debido a que la tubería da hacia la fachada, interfiere con la vista hacia el exterior de las terrazas, en ese sentido, se tuvo que reubicar el trazado de la tubería, cubriendo con tabiquería el sector que atravesaba el piso 17 y haciendo un pase en la losa hacia los montantes de ventilación más próximas.

Figura 5-16 Incompatibilidad 03 - Montante en cocina 1602

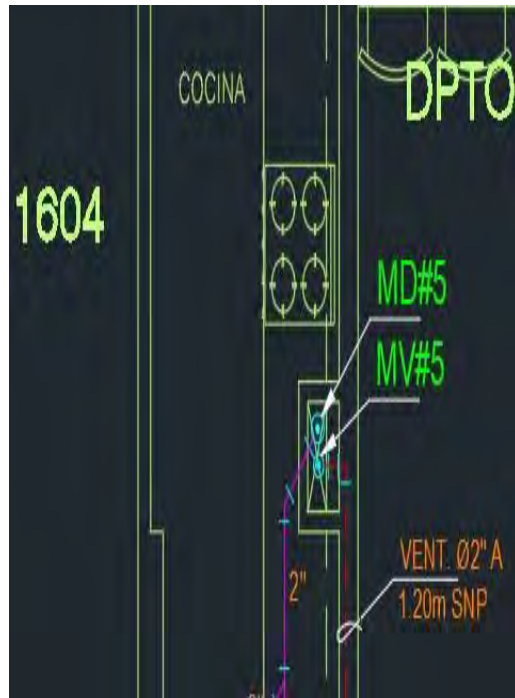
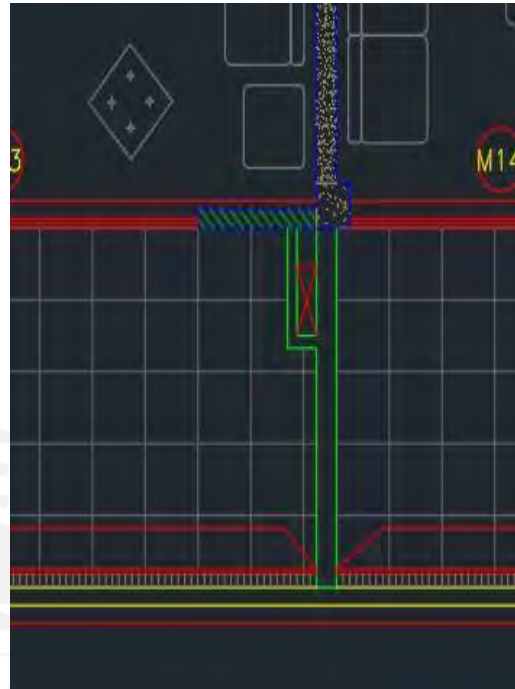


Figura 5-17 Incompatibilidad 03 - Salida de montante de ventilación en piso 17.

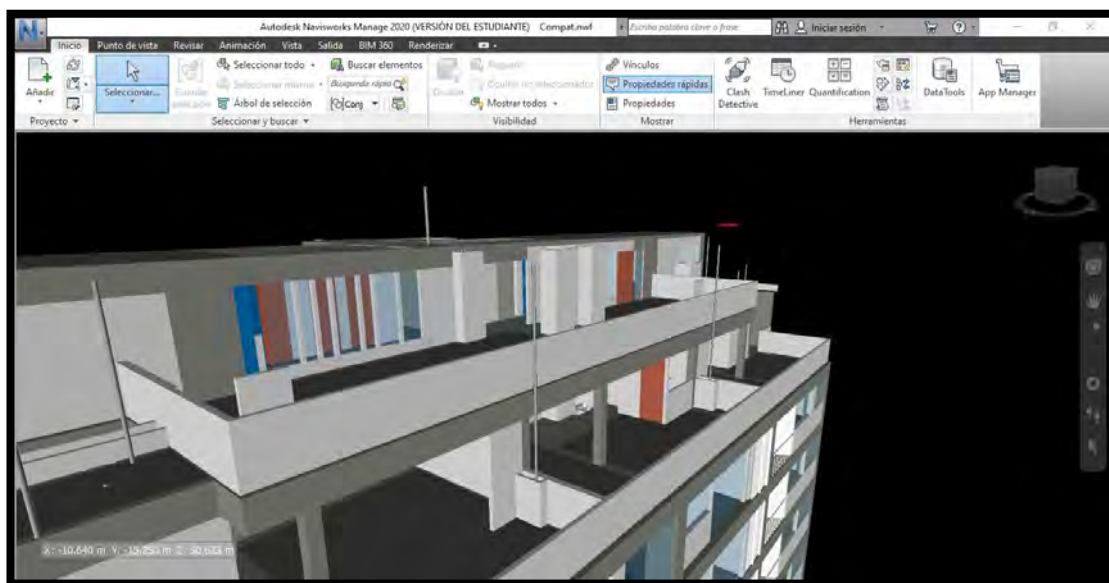


(Fuente: Elaboración propia)

Modelo BIM:

En el programa Naviswork 2020, se realizó el recorrido de los pisos típicos ambiente por ambiente, así como el análisis de las vistas exteriores del edificio. Para el problema descrito, se pudo detectar rápidamente la incompatibilidad al hacer un análisis de distintos ángulos de la fachada exterior, y al encontrarnos con la incompatibilidad mostrada, asumimos que, de haberse realizado el análisis en etapas tempranas, se hubiese detectado fácilmente, evitando el sobrecosto.

Figura 5-18 Incompatibilidad 3 en Autodesk Naviswork 2020.



(Fuente: Elaboración propia)

Análisis del costo:

El trabajo consistió en la reubicación de la tubería de ventilación hacia una de las montantes cercanos, debido a esto los trabajos cobrados abarcaron el picado, resane, recorrido extra de tubería, y tabiquería de drywall.

Tabla 5-7 Presupuesto reubicación de tubería de ventilación.

Descripción	Und	Cantidad	PU	Parcial
TUBERIA DE VENTILACION DE 2"	ml	15.2	S/. 39.00	S/. 592.80
PICADO DE LOSA Y TABIQUE (PISO 17)	ml	12.3	S/. 14.50	S/. 178.35
RESANE DE LOSA Y TABIQUE (PISO 17)	ml	12.3	S/. 14.50	S/. 178.35
TABIQUERIA EN DRYWALL	m ²	3.56	S/. 90.00	S/. 320.40
COSTO DIRECTO				S/. 1,269.90
IGV (18%)				S/. 228.58
MONTO POR PAGAR				S/. 1,498.48

(Fuente: Elaboración propia)

5.2.4.1.5 Tubería de desagüe en losas aligeradas

Antecedentes

Debido a que las losas aligeradas tienen 5 cm de recubrimiento, es muy complicado colocar tuberías de desagüe en dichas losas, ya que estas por lo general son de 4" (10 cm) adicional a la pendiente necesaria, lo que obliga a tener que romper viguetas y ladrillos. Por ello es común que la mayoría de las baterías de desagüe en baños estén ubicadas sobre losas macizas, sin embargo, esto no evita alguna omisión por parte del proyectista. En el caso del proyecto se detectó que el baño de administración, ubicado en el primer piso, se encuentra sobre una losa aligerada; debido a que la tubería de desagüe estaba conformada por un codo de 45°, fue inevitable tener que atravesar un par de viguetas. El trabajo adicional consistió en el picado de ladrillos de techo y viguetas.

Figura 5-19 Incompatibilidad 04 – Esquema sanitario baño administración.

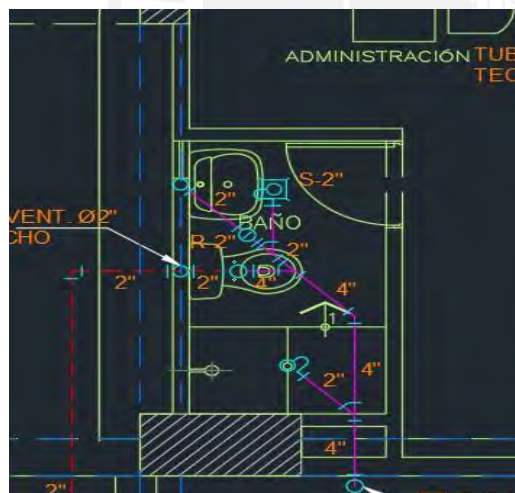
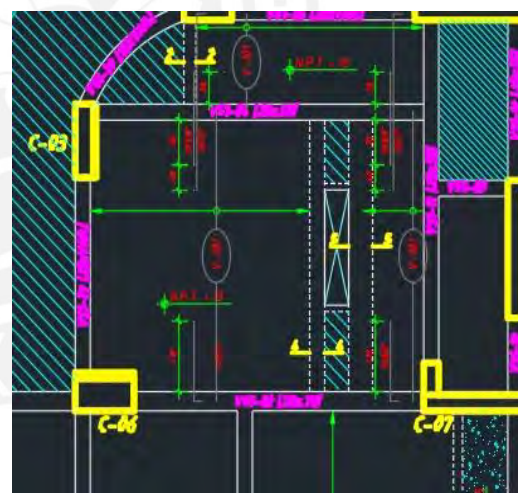


Figura 5-20 Incompatibilidad 04 – Losa de piso en baño de administración



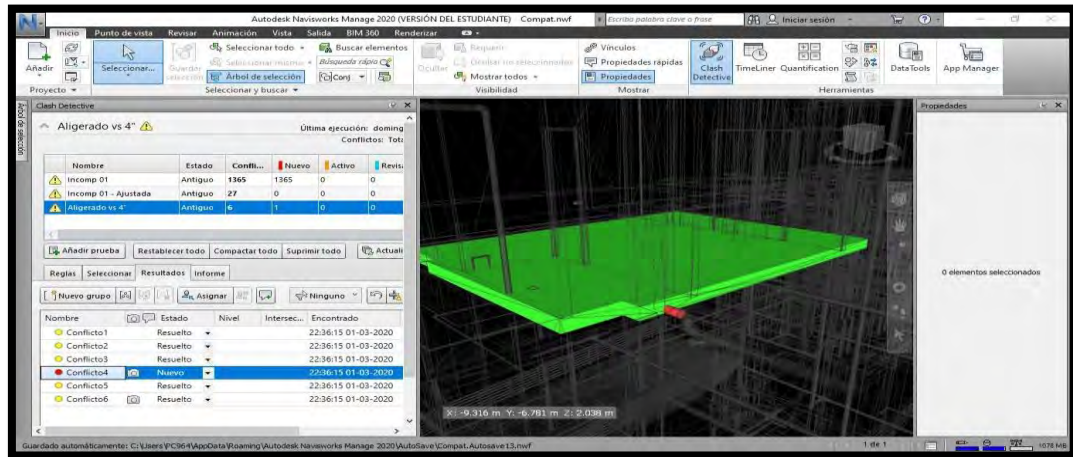
(Fuente: Elaboración propia)

Modelo BIM:

En este caso se usó la herramienta de “clash detection” para detectar la incompatibilidad, para ello se crearon los conjuntos “tubería de 4”, los cuales filtraron a los elementos según el diámetro exterior y “aligerado”, este se enfocó en los elementos del tipo piso que lleven ese nombre. Al realizar la detección, se encontraron 6 conflictos, sin embargo, 5 de ellos representaron las interferencias entre tuberías horizontales y losas, lo cual es válido;

finalmente, una de ellas mostró la interferencia mencionada, por ello podemos decir que de haberse usado el software en etapas tempranas se hubiese prevenido la incompatibilidad y el costo adicional.

Figura 5-21 Incompatibilidad 04 – Losa de piso en baño de administración.



(Fuente: Elaboración propia)

Análisis del costo:

Como se mencionó líneas arriba, el costo adicional consistió en el picado de viguetas y ladrillos de techo para poder pasar la tubería de 4”, debido a que este costo fue cobrado por el contratista de manera global, no se tiene el análisis de costo unitario de la partida. A continuación, se muestra el monto cobrado por los trabajos adicionales.

Tabla 5-8 Presupuesto picado de ladrillos de techo y viguetas.

Descripción	Und	Cantidad	PU	Parcial
HABILITACIÓN DE LOSA ALIGERADA PARA PASE DE TUBERÍA DE 4”	glb	1.0	S/. 300.00	S/. 300.00
COSTO DIRECTO				S/. 300.00
IGV (18%)				S/. 54.00
MONTO POR PAGAR				S/. 354.00

(Fuente: Elaboración propia)

Finalmente, podemos resumir los costos prevenibles producto de la reducción de incompatibilidades de la siguiente manera

Tabla 5-9 Resumen de costos directos prevenibles por reducción de incompatibilidades.

N° RFI	Fecha de consulta	Descripción RFI	Trabajo realizado	Costo
13	4/02/2018	Según el plano de IISS, se necesitará hacer pases en las vigas para el sistema de agua contraincendios.	Se realizaron 98 pases en los sótanos.	S/. 7,350.00
23	29/03/2018	Se puede observar en el plano de IISS que el baño de administración cae sobre una losa aligerada. Debido a que la tubería de desagüe es de 4" se deberá picar viguetas y ladrillos de techo.	Se realizó el picado de viguetas y ladrillos de techo.	S/. 300.00
47	5/06/2018	En el plano de gas, la válvula de corte de los departamentos X02 y X04 queda en un muro el cual da hacia la fachada; sin embargo, en los planos de arquitectura, podemos ver que en el lugar descrito se encuentra una celosía de ventilación.	Se reubicó la válvula de corte hacia los muros laterales y se realizó caja para válvula.	S/. 3,666.53
52	9/06/2018	En los planos de IISS, la tubería de 2", queda embebida dentro de las puertas de los departamentos tipo X02 y X04.	Se reubicaron los puntos de agua caliente respetando la ubicación y tamaño de la puerta.	S/. 3,907.86
75	5/07/2018	Como puede verse en el plano de instalaciones sanitarias del piso 17, se tiene una tubería de ventilación proveniente de la cocina del departamento 1602 y 1604, la cual sube por un ducto que inicia en el piso mencionado y culmina en el techo de la azotea. Debido a que la tubería da hacia la fachada, interfiere con la vista hacia el exterior de las terrazas, se consulta si se deberá mover la tubería hacia las montantes cercanas.	Se tapó la tubería de ventilación en el piso 17 con tabique de drywall y se reubicó el punto hacia las montantes cercanas en el piso 18.	S/. 1,269.90
TOTAL				S/. 16,494.29

(Fuente: Elaboración Propia)

En cuanto a los costos indirectos, estos se calcularon en base al atraso en ruta crítica que origina cada RFI detectable. Según la información recaudada, los gastos generales por día fueron de 2395 soles; en ese sentido, solo 2 de los RFI mostrados generaron impacto en la ruta crítica. De la misma manera, se puede ver en la Tabla 5-10 que, si bien ambos RFI se emitieron días antes del inicio en cronograma, la respuesta obtenida fue posterior a dicha fecha, por lo que al ser ruta crítica, se amplían en cierta cantidad de días la fecha fin del proyecto.

Tabla 5-10 Ahorros en costos indirectos producto de la reducción de interferencias.

N° RFI	Fecha de emisión	Fecha de respuesta	Fecha de ejecución	RFI detectado en Clash Detection	Días de Impacto	Afectación de Ruta Crítica	Costo Indirecto
23	29/03/2018	5/04/2018	4/04/2018	SI	1	SI	S/ 2,395.00
52	9/06/2018	13/06/2018	11/06/2018	SI	2	SI	S/ 4,790.00
TOTAL							S/ 7,185.00

(Fuente: Elaboración propia)

5.2.4.2 Reducción de tiempo de metrados

Como se mencionó en apartados anteriores, el uso de la metodología BIM permite una reducción en el tiempo de obtención de metrados, además de tener gran precisión en cuanto a la cuantificación de cantidades. En el caso del proyecto en estudio, se tomaron 3 muestras de partidas en distintas etapas, de esta forma se realizó el metrado de las muestras bajo el enfoque tradicional vs el metrado aplicando el programa Autodesk Revit 2020.

Las partidas escogidas fueron las siguientes: Concreto del sector 1 en un piso típico, tabiquería de todo el edificio y piso laminado de un piso típico. Es así como se muestra en los entregables de la presente tesis, los videos comparativos de cada muestra.

Figura 5-22 Obtención de metrado de albañilería en Autodesk Revit 2020.

A	B	C	D	E	F
Tipo	Anchura	Restricción de bas	Longitud	Área	Volumen
Muro e=0.25	0.250	Piso 02 NPT+4.00	6.525	16.42	4.10
Muro e=0.25	0.250	Piso 02 NPT+4.00	4.000	9.43	2.36
Muro e=0.30 m	0.300	Piso 02 NPT+4.00	0.525	1.72	0.51
Muro e=0.10 m	0.100	Piso 02 NPT+4.00	3.900	9.80	0.98
Muro e=0.10 m	0.100	Piso 02 NPT+4.00	2.500	4.65	0.47
Muro e=0.10 m	0.100	Piso 02 NPT+4.00	1.475	3.31	0.33
Muro e=0.15 m	0.150	Piso 02 NPT+4.00	4.050	9.92	1.49
Muro e=0.10 m	0.100	Piso 02 NPT+4.00	0.825	1.10	0.11
Muro e=0.10 m	0.100	Piso 02 NPT+4.00	2.600	4.90	0.49
Muro e=0.10 m	0.100	Piso 02 NPT+4.00	1.425	3.18	0.32
Muro e=0.10 m	0.100	Piso 02 NPT+4.00	4.050	9.66	0.97
Muro e=0.10 m	0.100	Piso 02 NPT+4.00	2.250	3.74	0.37
Muro e=0.15 m	0.150	Piso 02 NPT+4.00	0.725	1.47	0.22
Muro e=0.10 m	0.100	Piso 02 NPT+4.00	3.475	6.49	0.65
Muro e=0.25	0.250	Piso 02 NPT+4.00	2.072	4.96	1.24
Muro e=0.10 m	0.100	Piso 02 NPT+4.00	3.180	7.48	1.87
Muro e=0.10 m	0.100	Piso 02 NPT+4.00	1.326	3.37	0.34
Muro e=0.10 m	0.100	Piso 02 NPT+4.00	3.594	7.10	0.71
Muro e=0.10 m	0.100	Piso 02 NPT+4.00	1.975	2.94	0.29
Muro e=0.10 m	0.100	Piso 02 NPT+4.00	3.400	8.33	0.83
Muro e=0.10 m	0.100	Piso 02 NPT+4.00	2.700	3.91	0.39
Muro e=0.10 m	0.100	Piso 02 NPT+4.00	1.463	3.40	0.34
Muro e=0.15 m	0.150	Piso 02 NPT+4.00	1.193	2.92	0.44
Muro e=0.15 m	0.150	Piso 02 NPT+4.00	1.450	3.43	0.51
Muro e=0.10 m	0.100	Piso 02 NPT+4.00	2.526	6.13	0.61

(Fuente: Elaboración propia)

De esta forma se pudo obtener la Tabla 5-11, la cual muestra un resumen de cada caso analizado. En cuanto a los valores de metrado, puede observarse que la desviación entre cada método puede considerarse mínima y dentro de los valores tolerables; por otro lado, en cuanto al tiempo puede verse una marcada diferencia. En todos los casos, la optimización obtenida con BIM es mayor al 50%.

Tabla 5-11 Cuadro resumen de optimización en tiempo de metrados.

Video	Partida	METRADOS			TIEMPO		
		Tradicional (m2)	BIM (m2)	Desviación	Tradicional (min)	BIM (min)	Optimización
1	Concreto sector 1	41.78	41.33	1.08%	21.28	9.60	55%
2	Tabiquería	10024.7	10062.6	-0.36%	125	7.35	94%
3	Piso laminado	244.52	244.4	0.01%	14.5	2.33	84%

(Fuente: Elaboración propia)

Con los valores obtenidos, estimamos el ahorro producto de la reducción en los tiempos de metrado, para ello usamos el método de estimación por 3 valores, específicamente la distribución triangular, la cual resulta más conservadora.

Tabla 5-12 Estimación por 3 valores.

Estimación	
Triangular	PERT
77.65%	80.79%

(Fuente: Elaboración propia)

Según la información recabada por el área de oficina técnica de la empresa. Se invierten aproximadamente 8 horas-hombre semanales, haciendo remetrados del proyecto, esto con el fin de realizar pedidos de materiales o contratar los trabajos necesarios para la ejecución. Por otro lado, las personas comúnmente involucradas en este tipo de trabajos son los ingenieros de campo y los ingenieros de oficina técnica, quienes tienen costo por HH similares. Haciendo uso de las fórmulas descritas en el apartado 4.3, obtuvimos los siguientes valores de ahorro.

Tabla 5-13 Ahorro en tiempo de metrados.

Descripción	Cantidad	Unidad
Tiempo semanal metrado	8	hh
Tiempo mensual metrado	32	hh
Duración del proyecto	14	meses
Tiempo de metrado durante la ejecución	448	hh
Costo HH	31.25	soles/hh
Costo en metrados durante la ejecución del proyecto	14000	soles
% Reducción en metrado	77.65	%
Ahorro en tiempo de metrados	S/. 10,871.00	

(Fuente: Elaboración propia)

5.2.4.3 Incremento de productividad en etapa de planeamiento

En cuanto al planeamiento de la obra, la gerencia de construcción exige al equipo de obra realizar la sectorización y avance por tren de trabajo. En ese sentido, el ingeniero residente y el ingeniero de campo se encargan de realizar la sectorización del casco, esto debido a que la

metodología para la sectorización demanda una serie de iteraciones para lograr balancear las cantidades de cada sector. El tiempo que suele tomarles este proceso es de aproximadamente 2 semanas, en las cuales, el ingeniero de campo se encuentra abocado completamente a realizar la sectorización, mientras es supervisado por el residente. De esta manera, con los sueldos promedio mostrados en el apartado anterior, se puede calcular el costo monetario de realizar la sectorización.

Tabla 5-14 Costo invertido en realizar tren de trabajo.

Involucrado	Tiempo
Ingeniero de producción	2 semanas
Residente de obra	2 días
PARCIAL	S/. 3,833.33

(Fuente: Elaboración propia)

Una vez definida la sectorización, se plantean reuniones en las cuales asisten los demás involucrados del proyecto. Para el caso del proyecto en estudio, se realizaron 3 reuniones de coordinación, por lo que el costo producto de estas reuniones se calcula de igual forma que en el caso anterior.

Tabla 5-15 Costo invertido en realizar sectorización.

	Reunión 1	Reunión 2	Reunión 3
	Superintendente de obra	Residente de obra	Residente de obra
	Residente de obra	Ingeniero de producción	Ingeniero de producción
	Ingeniero de oficina técnica	Ingeniero de oficina técnica	Ingeniero de oficina técnica
	-	Maestro de obra	Maestro de obra
Duración (Horas)	4	4	4
Costo	S/. 645.83	S/. 558.33	S/. 558.33
PARCIAL		S/. 1,762.50	

(Fuente: Elaboración propia)

Por otro lado, si se hubiese ejecutado el método de Programación Acelerada de Edificaciones (PAE), el cual se describe en el capítulo 3. Propuesta de Valor BIM, puede observarse que el costo según los salarios descritos hubiese sido mucho menor. Adicionalmente, no se están considerando el costo de la asistencia de los proyectistas a las reuniones, ya que parte del contrato que se tiene con ellos, implica dichas reuniones y visitas a obra durante la ejecución del proyecto. La letra “T” simboliza el tiempo en horas de cada etapa, y la “P” es el costo parcial producto de la suma de las HH individuales multiplicadas por el tiempo.

Tabla 5-16 Costo probable aplicando PAE.

Asistente	Obras provisionales	Sectorización	Reunión con especialistas	Creación de Modelo 4D	Tren de trabajo	Reunión con especialistas
1	Residente de obra	Residente de obra	Superintendente de obra	Ingeniero de producción	Superintendente de obra	Superintendente de obra
2	Ingeniero de producción	Ingeniero de producción	Residente de obra		Residente de obra	Residente de obra
3	Ingeniero de oficina técnica	Ingeniero de oficina técnica	Ingeniero de producción		Ingeniero de producción	Ingeniero de producción
4		Maestro de obra			Maestro de obra	
T	1	1	2	1	0.17	1
P	S/. 114.58	S/. 139.58	S/. 322.92	S/. 31.25	S/. 31.08	S/. 161.46
PARCIAL				S/. 800.87		

(Fuente: Elaboración propia)

Finalmente obtenemos el valor del costo ahorrado si se hubiese aplicado una planificación tipo PAE:

Tabla 5-17 Ahorro en tiempo de planificación.

Costo planificación tradicional	S/. 5,595.83
Costo planificación PAE	(S/. 800.87)
Ahorro en tiempo de planificación	S/4,794.97

(Fuente: Elaboración propia)

5.2.4.4 Reducción de errores de diseño y modificaciones de alcance

Para el caso del ahorro producto de la reducción de RFI, se tomará como referencia los valores obtenidos según Brittany K. Giel and Raja R. A. Issa (2013). Como se menciona en el apartado 3, en dicho estudio se analizan 6 proyectos, los cuales han sido agrupados en 3 parejas con características similares. Según los datos obtenidos podemos calcular para cada proyecto el número de RFI y COR por m² de construcción;

Para cada grupo de proyectos podemos obtener la reducción en RFI y COR al aplicarse BIM; finalmente podemos estimar mediante estimación por 3 valores tanto la distribución triangular como el valor de reducción para cada caso.

Tabla 5-18 Ratios de RFI y COR por cada proyecto.

	S/BIM	C/BIM	S/BIM	C/BIM	S/BIM	C/BIM
Proyectos	A	B	C	D	E	F
RFI/m ²	0.00691	0.00230	0.03140	0.01801	0.01593	0.00870
COR/m ²	0.00088	0.00027	0.00188	0.00177	0.00120	0.00073

Proyecto	A-B	C-D	D-E
Reducción RFI (%)	66.7%	42.6%	45.4%
Reducción COR (%)	69.6%	6.1%	39.1%
Estimación Reducción RFI	51.57%		
Estimación Reducción COR	38.26%		

(Fuente: Brittany K. Giel and Raja R. A. Issa)

Procedimos a analizar el tiempo involucrado para cada tipo de proceso; debido a que la orden de cambio es una consecuencia de un RFI. Se tiene la siguiente tabla brindada por la oficina técnica de la empresa

Tabla 5-19 HH invertida por RFI y COR.

Actividad	RFI	COR
Formular RFI	1	0
Analizar Respuesta	2	0
Actualizar líneas base	0	4
TOTAL	3	4

(Fuente: Elaboración propia)

Con la información brindada podemos encontrar el ahorro monetario debido a la optimización de RFI y COR en el proyecto en estudio.

Tabla 5-20 Ahorro producto de la reducción de RFI y COR.

Descripción	Cantidad	Und
Costo por HH	31.25	soles
Tiempo por RFI	3.00	hh
Tiempo por COR	4.00	hh
N° RFI	131	und
N° COR	36	und
N° RFI prevenibles	67	und
N° COR prevenibles	13	und
Ahorro RFI	6,281.25	soles
Ahorro COR	1,625.00	soles
TOTAL AHORRO	7,906.25	soles

(Fuente: Elaboración propia)

5.2.5 Costos de implementación

Para determinar el costo de implementación se obtuvieron cotizaciones de empresas del medio que brindan este servicio, de esta forma, se consiguieron 2 cotizaciones para edificios de similares características al estudiado; además, debido a que el modelo en estudio no fue realizado por estas empresas, sino que fue hecho por los autores de la presente investigación, se trató de conseguir un alcance similar al de las cotizaciones, para que de esta forma resulte útil en el análisis.

A continuación, se muestra el detalle de una de las cotizaciones, cabe mencionar que la segunda cotización tiene el mismo costo y alcance, por lo que podemos usar cualquiera de ellas:

Tabla 5-21 Costo de elaboración y gestión de modelo BIM.

Ítem	Descripción	Und	Subtotal (S/.)
1	ELABORACIÓN DE MODELOS BIM-3D		
1.1	Modelo BIM- 3D de Arquitectura	glb	S/. 3,210.00
1.2	Modelo BIM- 3D de Estructuras	glb	S/. 4,200.00
1.3	Modelo BIM- 3D de Instalaciones	glb	S/. 5,050.00
2	OTROS		
2.1	Gestión de Ingeniería, reuniones de Compatibilización, reportes de Incompatibilidades, corrección de Planos CAD, revisión de compatibilidad de documentos del expediente técnico.	glb	S/. 6,100.00
2.2	Gastos generales y soporte para las reuniones	glb	S/. 1,220.00
COSTO FIJO TOTAL			S/. 19,780.00

(Fuente: Consultora BIM X)

Por otro lado, debido a que muchos de los ahorros asumidos involucran cierto conocimiento en la metodología BIM por parte de los usuarios, se considera también, un costo de capacitación. Para ello se ha tomado un valor de S/ 790 por curso, el cual involucra la gestión y análisis de modelos BIM, en este caso se consideró que la capacitación será otorgada a los ingenieros de campo y al ingeniero de oficina técnica, además de ello, los equipos a usarse deberán ser de gran capacidad, para ello hemos asumido un costo promedio de S/ 4 000 por equipo, sin embargo, solo se asumirá el valor correspondiente a la depreciación del bien (25%) durante los 16 meses que duro el proyecto. Finalmente, en cuanto a las licencias del software, se asume que se usará la versión estudiante, la cual es gratuita en todas las plataformas de Autodesk y tiene una validez de 3 años. Con todos los costos de implementación mencionados, obtenemos el costo total para la implementación BIM.

Tabla 5-22 Costo total de implementación BIM.

Costo de modelamiento y gestión	S/19,780.00
Capacitación	S/1,580.00
Depreciación	S/2,329.60
COSTO DE IMPLEMENTACIÓN BIM	S/23,689.60

(Fuente: Elaboración propia)

5.3 Cálculo del ROI

Para el cálculo del retorno de la inversión se tomaron en cuenta la sumatoria de los distintos tipos de ahorros, luego de ello se dividió el valor entre el costo de implementación para de esta forma obtener el ROI.

Tabla 5-23 Retorno de la inversión (ROI) de la implementación BIM en el proyecto.

Ahorro por reducción de interferencias	S/23,679.29
Ahorro producto de reducción de tiempo en metrados	S/12,424.00
Ahorro por incremento de productividad en etapa de planeamiento	S/5,595.83
Ahorro por reducción de órdenes de cambio y RFI	S/7,812.50
Total de ahorros	S/49,511.62
Costo de implementación BIM	S/23,689.60
Utilidad neta	S/25,822.02
ROI (%)	109%

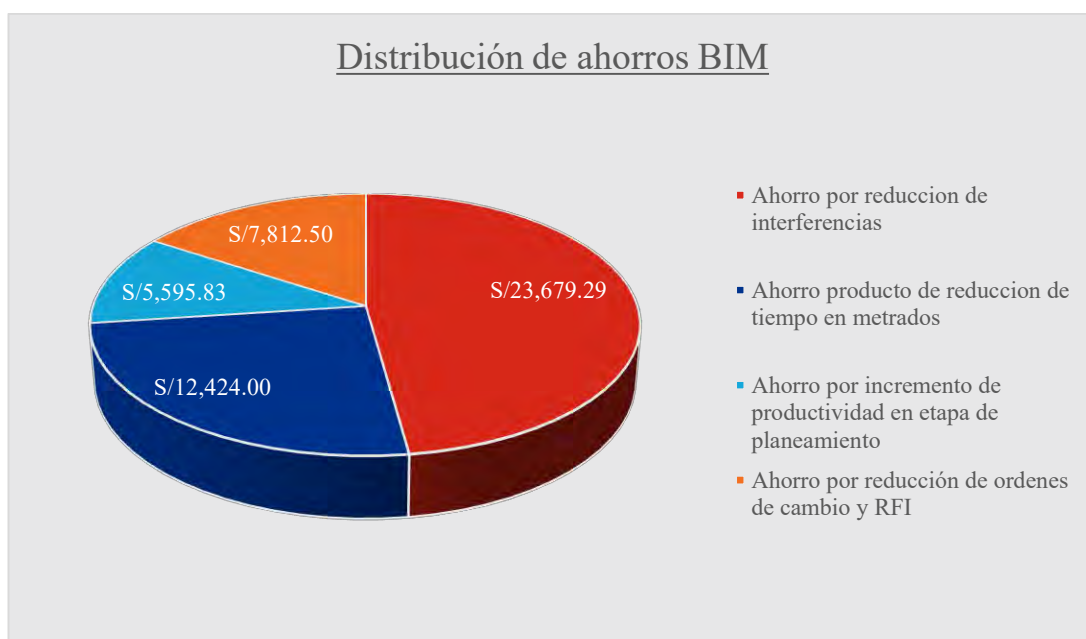
(Fuente: Elaboración propia)

Como puede verse se obtuvo una utilidad de S/25,822.02 así como un valor de 109% de retorno en la inversión, esto quiere decir que por cada sol que se hubiese invertido en BIM, se hubiera recibido S/ 2.09.

6. Análisis de Resultados

Según los resultados obtenidos, se puede verificar que el retorno de la inversión resulta positivo, así mismo, se corrobora lo mencionado en gran parte de la bibliografía al postular que la reducción de incompatibilidades constituye el principal beneficio económico que otorga BIM. En ese sentido podemos distribuir a los beneficios de la siguiente manera:

Figura 6-1 Distribución de ahorros producto de la implementación BIM



(Fuente: Elaboración propia)

En cuanto a la reducción de interferencias, podemos ver que, pese a haber existido una gran cantidad de interferencias solo una pequeña parte produjeron sobrecostos, esto debido a que en muchos casos se manejó en obra la incompatibilidad dando soluciones que no afecten directamente al presupuesto. De igual forma, en cuanto a los ahorros indirectos, solo dos de ellas generaron un atraso en la ruta crítica, pese a ello tuvieron un mediano impacto en el costo debido a los gastos generales. Así también, debido a que este valor depende mucho de una serie de factores, podemos asumir que el ahorro producto de la reducción de incompatibilidades resultará muy variable, pues si se tiene un staff altamente calificado, así como un equipo de trabajo muy bien desarrollado en etapa de diseño, se reducirán en gran

medida la cantidad de incompatibilidades, quitándole de esta forma la capacidad de generar valor al modelo BIM.

En cuanto a la reducción de metrados, se puede verificar la gran capacidad de los modelos BIM de reducir el tiempo de metrados, además, puede verse que el tiempo obtenido para los modelos BIM resulta independiente de la cantidad de metrado abarcado. Es decir, nos tomó el mismo tiempo obtener el metrado de todo el edificio que de un solo piso, lo cual es contrario a lo que sucede en el método tradicional; en este caso, debido a que pudo corroborarse la gran ventaja que otorga la implementación, podemos decir que el valor obtenido en este escenario puede ser aplicado con cierta confianza en otros proyectos, solo ajustando la cantidad de horas semanales en metrados y el costo de los involucrados.

De igual forma, puede verse el ahorro en tiempo por incremento en la productividad, pues se verificó que el tiempo obtenido resulta a una tasa “flat” independientemente del metrado; este caso también puede aplicarse en otros proyectos con cierta confianza, ajustando los mismos valores que en el caso anterior.

Por último, en cuanto a la reducción de RFI y ordenes de cambio, se tiene la misma incertidumbre que en el primer caso, por lo que dependerá mucho de los mismos factores antes mencionados.

En general, el proyecto en estudio fue desarrollado por un equipo de capacidades promedio en el mercado, tanto en la etapa de diseño como de construcción y bajo procesos comunes. Por lo mencionado, podemos decir que los valores resultan aplicables a proyectos dados dentro de un marco común en el mercado peruano; sin embargo, debido a la gran variabilidad vista en la bibliografía, se propone que, en futuras investigaciones del tema, se complementé el presente análisis aplicando la metodología descrita a distintos proyectos para poder determinar tendencias y ratios.

En ese sentido en cuanto a la pregunta problema 1, que trata de relacionar el ahorro producto de implementar BIM en un proyecto inmobiliario y la inversión hecha, podemos decir que se

tiene una relación positiva entre el ahorro generado y el costo de implementación es decir un retorno de inversión positivo.

Adicionalmente se debería considerar que el retorno de la inversión dependerá de factores tales como la dimensión de la empresa, la participación constante del grupo de trabajo, la meta que se proyecta, así como las características fundamentales de la empresa. Por otro lado, el presupuesto es muy voluble respecto a la realidad peruana, no se hallan montos exactos de cuánto ahorra el uso del BIM porque a la fecha no se está utilizando como metodología propiamente dicha, solo se están probando aquellos modelos de evaluación que aún no han trascendido en cuanto a los resultados, es decir, de forma empírica.

No obstante, se pueden tomar como fuentes de estudio determinadas dimensiones que permiten comprender la variabilidad del ahorro. Por otro lado, BIM promoverá un ahorro significativo siempre y cuando se le dé un uso más sofisticado que una adaptación dentro de un plano correctivo, así mismo, se tiene que buscar un modelo confiable para la recolección de datos precisos a fin de realizar un análisis confiable.

Con respecto a la pregunta problema 2, que trata de evaluar qué beneficios económicos trae consigo la implementación BIM en un proyecto inmobiliario. Se pudo ver que el uso de BIM genera una serie de beneficios que abalan la inversión hecha, esta puede verse en los cuatro casos considerados en el valor otorgado por BIM, donde se logra resultados positivos en cuanto a ahorros. Sin embargo, debe, considerarse como se explicó anteriormente, que los valores obtenidos dependen de una gran cantidad de factores los cuales van a determinar el monto total a ahorrarse, así como el costo de implementación. Por otro lado, podemos ver que existen otras formas en las que BIM agrega valor a los proyectos; sin embargo, considerar cada una de ellas puede cambiar las consideraciones de la inversión hecha; como ejemplo podemos mencionar la capacidad de crear recorridos virtuales a través de modelos de realidad aumentada, pero considerar este beneficio deberá contemplar otros gastos tales como la implementación de visores 3D.

Además, si bien BIM acarrea grandes beneficios para las constructoras, en el Perú todavía no es muy utilizado a causa del desconocimiento total de su naturaleza y de su complejidad. Aunque se debe señalar que algunas empresas poco a poco están comenzando a encaminarse sobre la utilización de BIM a fin de proyectar un mejor diseño y ejecución de los proyectos, todavía resulta un punto poco conocido.

Finalmente, con respecto a la pregunta problema 3, la cual pretende analizar la influencia de la implementación en la utilidad del proyecto, se analizó el compilado de RFI del proyecto y se generó un flujo de caja de la inversión, para de esta forma determinar el parámetro TIR, el cual evalúa la rentabilidad, incluyendo la distribución temporal de los ingresos y salidas de dinero.

Como podemos ver en la Tabla 6-1, para el proyecto B2, se consideró tanto la inversión inicial de implementación como los ahorros obtenidos.

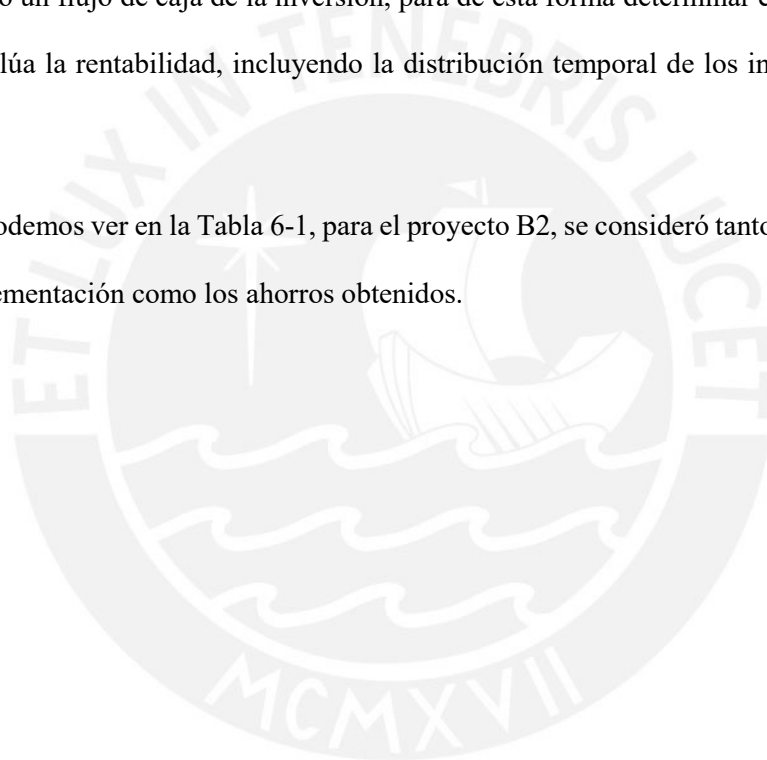


Tabla 6-1 Flujo de caja de la inversión y cálculo de TIR.

Mes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Ingresos incompatibilidades directos			7350.0	300.0			7574.4	1269.9									
Ingresos incompatibilidades indirectos					2395.0		4790.0										
Ingreso por optimización metrados		776.5	776.5	776.5	776.5	776.5	776.5	776.5	776.5	776.5	776.5	776.5	776.5	776.5	776.5	776.5	776.5
Ingreso por incremento de productividad	5596.0																
Ingreso por reducción de ordenes de cambio y RFI			384.2	256.1	128.1	512.3	512.3	768.4	1921.1	640.4	896.5	512.3	256.1	384.2	384.2	256.1	-
Total de ingresos en tiempo	5596.0	776.5	8511.0	1333.0	3300.0	1289.0	13653.0	2815.0	2698.0	1417.0	1673.0	1289.0	1033.0	1161.0	1161.0	1033.0	776.5
Total de egresos en tiempo	23689.6																
Flujo de caja	(12498.0)	776.5	8511.0	1333.0	3300.0	1289.0	13653.0	2815.0	2698.0	1417.0	1673.0	1289.0	1033.0	1161.0	1161.0	1033.0	776.5
TIR (%)	28%																

(*) Todas las unidades en Nuevos Soles (S/.)

(Fuente: Elaboración propia)

La tasa interna de retorno se calculó tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para los ingresos directos e indirectos por incompatibilidades fue de suma importancia el mes en el que fue emitido el RFI.
- Para los ingresos por optimización de metrados se consideró una distribución uniforme del monto a lo largo del proyecto, esto debido a que la cantidad de horas metrando se usó de manera uniforme durante todo el proyecto.
- Para los ingresos por incremento de la productividad, se tomó en cuenta que todo el proceso se diera al inicio del proyecto dentro de la etapa de planeamiento.
- Para los ingresos por reducción de órdenes de cambio y RFI se consideró el monto de forma proporcional a los meses en los que se emitieron RFI.

Podemos observar que el valor obtenido para el proyecto es del 28%, dicha tasa resulta atractiva ya que es mayor al valor de rentabilidad promedio del sector construcción (8%) y al del sector inmobiliario (20%). Cabe mencionar, que no se están tomando en cuenta otras ventajas las cuales en cierta medida podrían dar mayor valor al proyecto.

7. Conclusiones y Comentarios

7.1 Conclusiones

- Puede verse que la implementación BIM en un proyecto inmobiliario trae consigo una mayor ganancia que la inversión realizada, es decir un valor de ROI positivo. De esta forma se logra confirmar la primera hipótesis planteada para la investigación. Por otro lado, estos valores deben ser evaluados de forma conservadora, teniendo en cuenta factores tales como: la experiencia del área de proyectos, la experiencia del proyectista, etc.
- Debido a que, desde la definición de proyecto, cada resultado es único; además tal como se evidenció en la distribución monetaria de los beneficios, el mayor ingreso proviene de errores en la información técnica según la metodología planteada; el valor del ROI resulta casi tan volátil como la cantidad de incompatibilidades que puedan hallarse en un proyecto; pese a ello, debido a que es muy poco probable que un proyecto no tenga errores en la información técnica, además de que con una pequeña cantidad de errores prevenibles se logra compensar la inversión, se confirma la primera hipótesis de la investigación.
- Como resultado de la investigación, pudo comprobarse que el aplicar BIM otorga una serie de beneficios, los cuales agregan valor al proyecto. De esta forma se logra comprobar la segunda hipótesis de la investigación, además se corrobora la información obtenida en las referencias bibliográficas en cuanto a beneficios BIM. Del mismo modo, se puede concluir que además de los beneficios directos, existen beneficios monetarios colaterales. Ya que el impacto de la implementación BIM abarca a la mayoría de stakeholders; como es el caso de los subcontratistas, a quienes al darle información más confiable e impulsar un aumento en la productividad, estos tendrán menor riesgo por lo que se obtendrá un impacto positivo en los precios unitarios, beneficiando de forma colateral al cliente.
- Producto de la investigación pudo comprobarse que las 4 formas descritas en la investigación logran sus objetivos de otorgar valor económico al proyecto, en forma de

ahorros. De forma similar que las investigaciones realizadas por McGraw Hill Construction y Calderon-Hernandez et al, se confirmó que dichos beneficios radican en una mejora en el proceso cognitivo por el cual se entiende la estructura proyectada; así como una mejora en la velocidad de los procesos durante todas las etapas de un proyecto. Es así que, en primer lugar, el principal beneficio radica en la disminución de interferencias, lo cual genera menos retrabajos con alto costo; de forma seguida, se obtuvo que la reducción en tiempo de metrados aporta valor económico por una menor cantidad de horas hombre dedicadas a dicha actividad, además de un incremento en la precisión de los metrados. Finalmente, la reducción de cambios de diseño y aumento en la productividad también aportan valor, ya que reducen la cantidad de horas hombre en reuniones. Todo ello corrobora la segunda hipótesis planteada acerca de los beneficios de implementar BIM en un proyecto inmobiliario dentro del mercado peruano.

- Si bien el valor del ROI evaluado de forma aislada, es decir, analizando únicamente el retorno que se tendrá sobre la inversión, resulta muy positivo para el presente caso. Se debe tener en cuenta que, al evaluar la distribución de los ingresos en el tiempo, los valores de TIR siguen siendo positivos, pero resultan más cercanos a tasas de rentabilidad promedio del sector inmobiliario. Es así como se corrobora la tercera hipótesis de la investigación, la cual muestra que los valores de rentabilidad distribuidos en el tiempo también resultan positivos.

7.2 Comentarios

- Si tomamos como ejemplo a una empresa con un área de proyectos muy consolidada, así como un proyectista de gran experiencia. En el caso óptimo, no se tendrían RFI, por lo que la forma en la que se cuantificaría el beneficio BIM se vería muy reducida, es así que sería necesario incluir otros beneficios para sustentar la inversión y obtener un ROI positivo.

- La principal limitación del estudio es el tamaño de la muestra, debido a ello se deberán realizar futuras investigaciones, aplicando la metodología descrita, para de esta forma tener información más precisa. Por otro lado, se recomienda que para evaluar el éxito de la implementación en otros proyectos se haga un análisis caso por caso, considerando las necesidades de cada organización.
- Es recomendable definir previo a la implantación cuales son los beneficios que se desean obtener con el uso de BIM, según la necesidad de cada proyecto y organización. Dicho análisis debería ser la base para el desarrollo del Bim Execution Plan (BEP), para de esta forma asegurar que toda la información contenida dentro del modelo pueda ser usada para alcanzar dichos objetivos, y así evitar pérdidas de tiempo en información que no agrega valor. Además, se recomienda que el BEP tenga cierta relación con la estructura del desglose de trabajo para así maximizar la utilidad de la información.
- Para la presente investigación se consideraron beneficios que puedan ser bien cuantificados, siguiendo una correcta metodología. En ese sentido, se obtuvieron resultados sin hacer uso de datos cualitativos o producto de la percepción de los investigadores. Sin embargo, debe considerarse que existen otros beneficios menos cuantificables y cualitativos, los cuales pueden sumar valor monetario al proyecto, por lo que se espera que futuras investigaciones puedan abordar dichos beneficios, mediante una correcta metodología.
- La falta de adopción de BIM en su estado actual se debe a la falta de exposición, falta de capacitación, falta de herramientas y protocolos estandarizados, falta de relevancia y costo. Además, se debe considerar la buena rentabilidad presente en el sector inmobiliario peruano, lo cual hace que las empresas opten por seguir trabajando a partir de la forma tradicional, ya que siguen obteniendo buenos retornos.

8. Bibliografía

- AIA – California Council. (2007). “Integrated Project Delivery: A Guide”. American Institute of Architects – California Council, California. Recuperado de: http://info.aia.org/siteobjects/files/ipd_guide_2007.pdf
- Alfred O. (2011). Modelling the costs of corporate implementation of building information modelling. mayo, 20, 2019, de ResearchGate Sitio web: https://www.researchgate.net/publication/254189539_Modelling_the_costs_of_corporate_implementation_of_building_information_modelling
- Amer A. (2017). LEVEL OF DETAIL (LOD) SPECIFICATIONS, STANDARDS AND FILE-FORMAT CHALLENGES IN INFRASTRUCTURE PROJECTS FOR BIM LEVEL THREE. julio, 14, 2019, de ResearchGate Sitio web: https://www.researchgate.net/publication/316827457_LEVEL_OF_DETAIL_LOD_SPE-CIFICATIONS_STANDARDS_AND_FILE-FORMAT_CHALLENGES_IN_INFRASTRUCTURE_PROJECTS_FOR_BIM_LEVEL_THREE
- Atkins, J. B., and Simpson, G. A. (2008). Managing project risk: Best practice for architects and related professionals, Wiley, Hoboken, NJ.
- Bim Forum. (2019). Level Of Development (Lod) Specification Part I & Commentary For Building Information Models and Data. 19/06/2020, de BIM FORUM Sitio web: https://bimforum.org/resources/Documents/BIMForum_LOD_2019_reprint.pdf
- Brad Carter, Euysup Shim, Ph.D, Seongchan Kim, Ph.D.. (2016). Request for Information (RFI) Management: a Case Study. 09/12/2019, de Associated Schools of Construction Sitio web: <http://ascpro0.ascweb.org/archives/cd/2016/paper/CPGT118002016.pdf>

- Brittany K. Giel and Raja R. A. Issa. (Octubre 2013). Return on Investment Analysis of Using Building Information Modeling in Construction. JOURNAL OF COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING, 1, 511 - 521. 04/03/2019, De ASCE Base de datos.
- Brioso, X., Murguía, D., & Urbina, A. (2017). Comparing three scheduling methods using BIM models in the Last Planner System. Organization, Technology And Management In Construction: An International Journal, 9(1), 1604-1614. doi: 10.1515/otmcj-2016-0024
- BuildingSMART Spanish Chapter. (2014). Guía uBIM. España: INFOBIM
- Calderon-Hernandez, C., Paes, D., Irizarry, J., & Brioso, X. (2019). Comparing Virtual Reality and 2-Dimensional Drawings for the Visualization of a Construction Project. Computing In Civil Engineering 2019. doi: 10.1061/9780784482421.003
- CAPECO. (2019). CAPECO Perú presentó informe sobre el impacto de la informalidad en las construcciones en Perú. 05/12/2019, de Revista Constructivo Sitio web: <https://constructivo.com/actualidad/capeco-peru-presento-informe-sobre-el-impacto-de-la-informalidad-en-las-construcciones-en-peru-1520534912>
- Castillo, G. (2016). ¿Qué es BIM? Octubre 01, 2018, de Autodesk Inc. Sitio web: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/autocad/learnexplore/caas/simplecontent/content/-C2-BFqu-C3-A9-es-bim.html>
- Clara V. (2014). Medidas de rentabilidad en la empresa: ROI, ROE y TIR modificada en Excel. mayo, 18, 2019, de Tempora Consultores Sitio web: <http://temporaviabilidad.blogspot.com/2013/11/MedidaRentabilidadROIROETIRM.html>
- Construction Lifecycle. (2018). THE VARIOUS DIMENSIONS OF BIM EXPLAINED. 15/06/2020, de Construction Lifecycle Sitio web: <https://www.constructionlifecycle.com/operations-management/bim-dimensions/>

- Cushman, R. F., and Loulakis, M. C. (2001). Design-build contracting handbook, 2nd Ed., Aspen Law & Business, Gaithersburg.
- Editeca. (2017). Webinar – Uso del BIM en la fase de construcción. BIM 4D/5D con Synchro. abril, 15, 2019, de Editeca Webinar Sitio web: <https://editeca.com/webinar-bim-4d-5d-con-synchro>/<https://blog.structuralia.com/las-7-dimensiones-del-bim-y-las-razones-para-su-dominio>
- Feibel, B. (2003). Investment Performance Measurement. New York: Wiley and Sons
- Fisk, E. R., and Reynolds, W. D. (2010). Construction project administration, Pearson Education, Upper Saddle River, NJ.
- Forsyth J. (2007). Valoración de Empresas: Métodos y Consistencias. Lima: EPUB
- Guardia K. (2019). Precios de las viviendas repuntarán 8% este año, ¿en qué distritos de Lima? 25/04/2019, de Diario gestión Sitio web: <https://gestion.pe/tudinero/inmobiliarias/precios-viviendas-repuntaran-8-ano-distritos-lima-258063>
- Guzman, Cesar. (2008). Creación de una empresa inmobiliaria y de construcción civil. 05/01/2020, de Pontificia Universidad Católica del Perú Sitio web: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/819>
- Hanna, A. S. (2010). Construction labor productivity management, Hanna Consulting Group, Inc., Madison, WI.
- Hanna, A. S., Tadt, E. J., & Whited, G. C. (2012). Request for Information: benchmarks and metrics for major highway projects. Journal of Construction Engineering and Management, 138(2), 1347-1352.
- Hughes, N., Wells, M., Nutter, C. L., & Zack, J. G. (2013). Impact & Control of RFIs on Construction Projects. NAVIGANT, Chicago, IL.

- INEI. (2007). Capítulo 6: Indicadores de Rentabilidad. 06/12/2019, de INEI Sitio web: https://www.inei.gob.pe/media/MenhuRecursivo/publicaciones_digiales/Est/Lib0932/ca p06.pdf
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). PBI DE LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS, POR AÑOS. 11/01/2020, de Banco Central de Reserva del Perú Sitio web: <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/mensuales/pbi-por-sectores>
- James W. Rosner ; Alfred E. Thal Jr. ; and Christopher J. West (2009). “Analysis of the Design-Build Delivery Method in Air Force Construction Projects” J. Constr. Eng. Manage., 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000029
- Koch, J. E., Gransberg, D. D., & Molenaar, K. R. (2010). Project Administration for Design-Build Contracts. doi:10.1061/9780784410752
- Konchar, M., and Sanvido, V. (1998). “Comparison of U.S. project delivery systems.” J. Constr. Eng. Manage., doi: 10.1061/(ASCE)0733-9364(1998) 124:6(435), 435–444.
- León A. (2014). Construcción puede potenciar su crecimiento con el estándar BIM. Octubre 3, 2018, de Diario Gestión. Sitio web: <https://gestion.pe/tecnologia/construccion-potenciar-crecimiento-estandar-bim-64650>
- Lledo P. (2017). Director de proyectos: Cómo aprobar el examen PMP® sin morir en el intento. 6ta ed. USA: Pablo Lledó.
- Madsen A. (2008). National BIM Standard (USA). Octubre 01, 2018, de National Institute of Building Science. Sitio web: <http://www.nationalbimstandard.org/search/node>
- Mc Graw Hill Construction. (2009). THE BUSINESS VALUE OF BIM Getting Building Information Modeling to the Bottom Line. 28/04/2019, de Autodesk Sitio web: http://images.autodesk.com/adsk/files/final_2009_bim_smartmarket_report.pdf

- Miller, J., Garvin, M., Ibbs, C., & Mahoney, S. (2000). Toward a New Paradigm: Simultaneous Use of Multiple Project Delivery Methods. *Journal of Management in Engineering*, 16(3), 58-67. doi: 10.1061/(ASCE)0742-597X(2000)16:3(58)
- Morrical K. (2014). Is BIM Increasing Your ROI? Octubre 02, 2018, de Autodesk Inc. Sitio web: <https://www.autodesk.com/redshift/is-bim-increasing-your-roi>
- Mulcahy's R. et al. (2018). PMP Exam prep, 9th ed. USA: RMC Publications Inc.
- Neil N. Eldin,. (1988). CONSTRUCTABILITY IMPROVEMENT OF PROJECT DESIGNS. 15/12/2019, de J. Constr. Eng. Manage 10.1061/(ASCE)0733-9364(1988)114:4(631)
- O'Connor, P. J. (2009). "Integrated project delivery: Collaboration through new contract forms." Faegre & Benson LLP, Minneapolis
- OBS Business School. (2017). ¿Conoces cuáles son las etapas de un proyecto?. 12/12/2019, de OBS Business School Sitio web: <https://obsbusiness.school/es/blog-project-management/etapas-de-un-proyecto/conoces-cuales-son-las-etapas-de-un-proyecto>
- Paul Tilley, Adam Wyatt & Sherif Mohamed. (1996). Design & documentation deficiency INDICATORS OF DESIGN AND DOCUMENTATION DEFICIENCY. 15/06/2020, de Research gate Sitio web: https://www.researchgate.net/publication/267852762_Design_documentation_deficiency_INDICATORS_OF_DESIGN_AND_DOCUMENTATION_DEFICIENCY/stats
- Peter A., & Alexei B. (2011). The Use of Return on Investment (ROI) in the Performance Measurement and Evaluation of Information Systems. junio,19, 2019, de ReaserchGate Sitio web:

https://www.researchgate.net/publication/251422412_The_Use_of_Return_on_Investment_ROI_in_the_Performance_Measurement_and_Evaluation_of_Information_Systems

- Project Management Institute (2017). La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK). Pennsylvania, Estados Unidos: PA: Project Management Institute.
- Project Management Institute (2017). La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK). Pennsylvania, Estados Unidos: PA: Project Management Institute.
- Rojas, E. M., and Kell, I. (2008). “Comparative analysis of project delivery systems cost performance in Pacific Northwest public schools.” *J. Constr. Eng. Manage.*, 10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:6(387), 387–397.
- Sanvido, V. E., & Konchar, M. D. (1998). Project delivery systems: CM at risk, design-build, design-bid-build: Construction Industry Institute. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2003)129:6(635)
- Tober C. Francom. (2015). Performance of the Construction Manager at Risk (CMAR) Delivery Method Applied to Pipeline Construction Projects. 06/12/2019, de ARIZONA STATE UNIVERSITY. Sitio web: <https://pdfs.semanticscholar.org/2df3/fd2d01ccffb8828052433c06e43a4385bffe.pdf>
- TV Perú. (2018). Ministro Piqué precisa que cerca del 70% de viviendas son informales y necesitan reforzamientos antisísmicos. 06/12/2019, de TV Perú Sitio web: <https://tvperu.gob.pe/noticias/locales/ministro-pique-precisa-que-cerca-del-70-de-viviendas-son-informales-y-necesitan-reforzamientos-antisismicos>
- Whited, G. C. (2009). Project Communication Enhancement Effort (PCEE) User Manual. Madison, WI: Wisconsin Dept. of Transportation.