

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**SISTEMAS Y HERRAMIENTAS DIGITALES PARA LA GESTIÓN
COLABORATIVA**

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLER EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

AUTORA:

Angélica Patricia BASUALDO URBANO

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLER EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

AUTOR:

Piero Alexander MORALES ROMERO

André GARCÍA CASTAÑEDA

Juan Armando TORRES CÓRDOVA

José Antonio HERRERA MAQUERA

ASESOR:

Carlos Raúl HOYOS VERTIZ

Lima, Julio 2021

RESUMEN

En los últimos años, la gestión de proyectos de construcción ha progresado, ya que se han ido desarrollando e integrando los conceptos del trabajo colaborativo, los cuales desplazan a la denominada “gestión tradicional”. La principal deficiencia identificada dentro del método de trabajo tradicional es la falta de comunicación y colaboración entre los especialistas involucrados en el proyecto, lo cual, ocasiona incompatibilidades en el diseño, así como presupuestos y cronogramas imprecisos. Es a partir de esta insatisfacción que se desarrollan los conceptos de trabajo colaborativo acompañados con el uso de herramientas digitales, que buscan solucionar estas debilidades dentro de la gestión de proyectos de construcción. En esta investigación, se profundiza en el análisis del uso de sistemas y herramientas digitales para la aplicación de la gestión colaborativa en proyectos de construcción en el Perú. Para ello, se detalla acerca de dos metodologías de trabajo colaborativo establecidos en Perú: el Building Information Modelling (BIM) y el Virtual Design and Construction (VDC). En primer lugar, se presentan las herramientas de comunicación, y el entorno de datos compartidos, conocido como CDE por sus siglas en inglés, los cuales fortalecen la colaboración y comunicación entre los diseñadores del proyecto. En segundo lugar, están las herramientas digitales que permiten elaborar los modelos virtuales, los cuales tienen múltiples campos de aplicación sea durante la etapa de diseño, en la planificación o en la elaboración del presupuesto del proyecto. Mediante un análisis de los sistemas y herramientas digitales, se identifican aquellas más frecuentes y actuales con sus respectivas aplicaciones para el diseño, costo, tiempo y eventualmente su integración mediante los denominados modelos 4D y 5D que involucran todos estos temas. Este análisis ayuda determinar sus beneficios en comparación a una gestión tradicional y su aplicación en procesos de diseño, costo y tiempo. Finalmente, se elabora una propuesta para el proyecto “Edificación Multifamiliar Carabayllo” en la cual se concluye que la metodología

BIM es la más adecuada debido al alcance del proyecto y a la formulación de un Plan Bim Perú. Asimismo, se selecciona las herramientas digitales más convenientes mediante matrices comparativas en las cuales se destaca como factores principales para la selección: el nivel de especialización de los usuarios, interoperabilidad entre softwares, y el alcance del proyecto.



ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	i
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
1. Generalidades	1
1.1.Introducción	1
1.2.Justificación	2
1.3.Alcance	3
1.4.Objetivos	4
1.5.Metodología	5
2. Revisión de la literatura.....	6
2.1.Gestión tradicional de proyectos de construcción	6
2.2.Gestión colaborativa de proyectos de construcción.....	8
2.2.1. Sistemas de contratación y entrega de proyecto	9
2.2.2. Estrategias de Comunicación.....	13
2.2.3. Metodología BIM.....	17

2.2.4. Metodología VDC.....	23
2.3. Sistemas y herramientas digitales	25
2.3.1. Open BIM e IFC	25
2.3.2. Sistemas y herramientas digitales.....	26
3. Desarrollo de investigación.....	39
3.1. Beneficios de la gestión colaborativa BIM.....	39
3.2. Proyecto Multifamiliar Carabayllo	43
3.3. Análisis de sistemas y herramientas digitales.....	45
3.3.1. Caracterización e incidencia por etapa de proyecto.....	45
3.3.2. Elección de metodología de gestión colaborativa.....	48
3.3.3. Matriz comparativa de sistemas y herramientas digitales.....	50
3.4. Propuesta de modelo de gestión colaborativa.....	64
4. Conclusiones y recomendaciones.....	72
5. Bibliografía.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

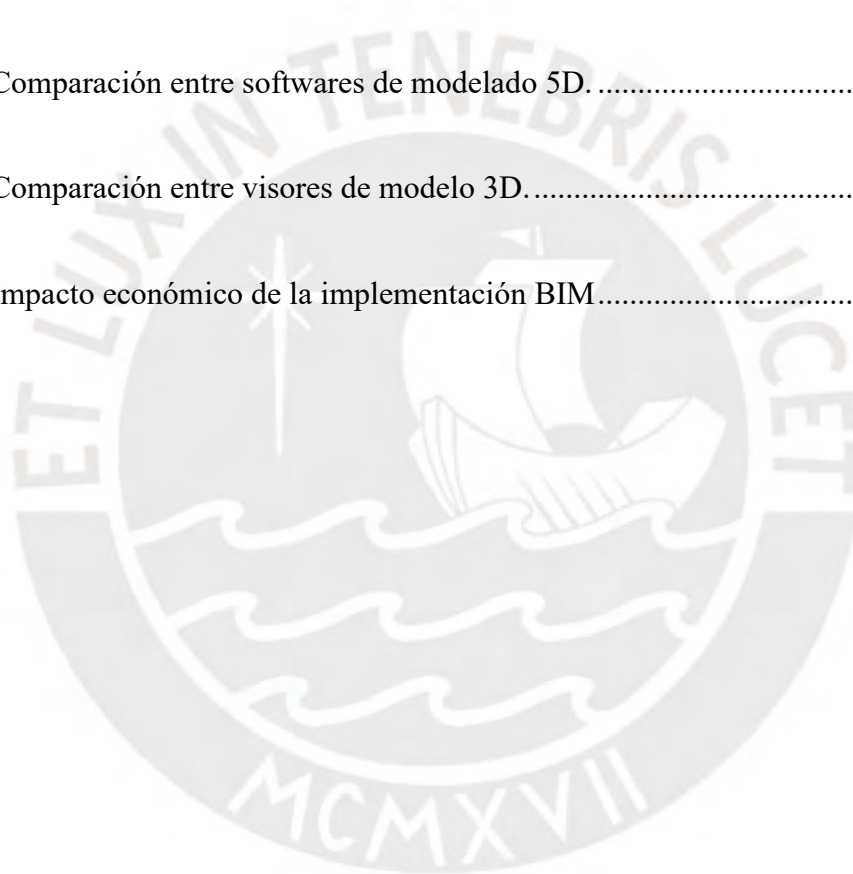
Figura 1. Participación de involucrados con una gestión tradicional	7
Figura 2. Forma de trabajo con gestión colaborativa.....	8
Figura 3. Participación de involucrados con una gestión colaborativa.....	9
Figura 4. Esquema de relaciones entre los principales involucrados con método DBB....	10
Figura 5. Esquema de relaciones entre los principales involucrados con método DB.	11
Figura 6. Esquema de relaciones entre los principales involucrados con método CMR... 11	
Figura 7. Equipo de Trabajo en un sistema IPD	13
Figura 8. Contenedores de información en transición entre estados	15
Figura 9. Diferencias de tiempo entre las diversas metodologías de comunicación	17
Figura 10. Reporte de interferencias en Navisworks	21
Figura 11. Modelo 4D de un proyecto en el software Synchro	22
Figura 12. Reporte diferenciado de gastos en el software Bexel Manager.....	23
Figura 13: Softwares de modelación BIM usados en España.....	26
Figura 14. Modelación de instalaciones en REVIT	27
Figura 15: Interfaz de ARCHICAD	28
Figura 16. Interfaz de Navisworks 2020.....	34

Figura 17. Interfaz de Microsoft Project 2019.....	35
Figura 18. Interfaz de Microsoft Project 2019.....	37
Figura 19. Beneficios de una metodología BIM.....	39
Figura 20: Herramientas digitales en el ciclo de vida.....	45
Figura 21. Propuesta de gestión colaborativa durante la etapa de Prediseño y Diseño.....	65
Figura 22. Propuesta de gestión colaborativa durante la etapa de Prediseño y Diseño.....	66



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación entre softwares de EDC.....	51
Tabla 2. Comparación entre softwares de modelado 3D.....	53
Tabla 3. Comparación entre softwares de modelado para estructuras.....	56
Tabla 4. Comparación entre softwares de modelado 4D.....	59
Tabla 5. Comparación entre softwares de modelado 5D.....	61
Tabla 6. Comparación entre visores de modelo 3D.....	63
Tabla 7. Impacto económico de la implementación BIM.....	70



1. Generalidades

1.1. Introducción

En los últimos años, la evolución tecnológica ha permitido que diversos sectores económicos desarrollen y automaticen sus procesos. El sector construcción no es ajeno a estos cambios y la implementación de herramientas digitales es común en nuestro entorno. Este cambio inició en la década de los 90s con la introducción a los softwares CAD, los cuales reemplazaron el dibujo de planos a mano. En este mismo sentido, la gestión de proyectos también ha progresado, ya que se ha ido desarrollando e integrando los conceptos del trabajo colaborativo, los cuales desplazan a la denominada “gestión tradicional”. Como se detalla en párrafos más abajo, la principal deficiencia dentro del método de trabajo tradicional es la falta de comunicación y colaboración entre los especialistas involucrados en el proyecto, lo cual, en muchos casos, ocasiona incompatibilidades en el diseño, así como presupuestos y cronogramas imprecisos. Es a partir de esta insatisfacción que se desarrollan los conceptos de trabajo colaborativo, que buscan solucionar estas debilidades dentro de la gestión de proyectos de construcción.

En esta investigación, se profundiza en la evaluación de dos metodologías de trabajo colaborativo establecidos en Perú: el Building Information Modelling (BIM) y el Virtual Design and Construction (VDC). El BIM es una metodología que se basa en mejorar la gestión de información dentro de un proyecto a través del uso de modelos virtuales, los cuales pueden almacenar información útil, con miras a etapas futuras como la ejecución o mantenimiento. Mientras que el VDC integra los conceptos de BIM y de Project Production Management (PPM) en un sistema de trabajo que busca hacer más eficientes los procesos involucrados en la producción de los entregables del proyecto.

Análogamente, se detallan las herramientas que permiten que estas metodologías puedan ejecutarse. En primer lugar, se presentan las herramientas de comunicación como son las sesiones ICE, Integrated Concurrent Engineering, y el entorno de datos compartidos, conocido como CDE por sus siglas en inglés; los cuales fortalecen la colaboración y comunicación entre los diseñadores del proyecto. En segundo lugar, están las herramientas digitales que permiten elaborar los modelos virtuales, los cuales tienen múltiples campos de aplicación sea durante la etapa de diseño, en la planificación o en la elaboración del presupuesto del proyecto.

Ciertamente, el sistema de trabajo colaborativo es una realidad en Perú y es necesario comprender estos conceptos para hacer más eficientes los procesos de diseño, planificación y ejecución.

1.2. Justificación

Un sistema de gestión colaborativa permite una gran sinergia en la etapa de planificación, su valor reside en la visualización de la información mediante un modelo virtual detallado e integral sobre cualquier proyecto constructivo, tal que toda la información esté a disposición de los afectados e involucrados lo cual facilita la toma de decisiones (Porrás et al, 2015)

Se puede describir las principales ventajas de una gestión colaborativa frente a una gestión tradicional partiendo de 2 puntos de origen, el primero por el empleo de un modelo único que contiene todas las especialidades y el segundo debido a toda la cantidad de información que puede almacenar dicho modelo (Gonzales, 2015). Por mencionar alguno de los beneficios comprobados, está la detección temprana de incompatibilidades entre especialidades durante la etapa del diseño, factor importante en la ejecución de obra. Acorde a

esto, Gonzáles Pérez (2015) establece que ya existe una conciencia en gran parte del mundo en el uso más progresivo de esta metodología.

Finalmente, es necesario comprender los conceptos de la filosofía BIM dado que el Perú ya ha mostrado avances en este aspecto, ya que mediante el DS N° 082-2019 del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), se ha establecido el Plan BIM Perú con meta al año 2030 cuyo propósito es reducir los sobrecostos y atrasos en la ejecución de proyectos de infraestructura, así como propiciar transparencia en los procesos de inversión pública (MEF, 2020). Según un estudio de Murguía (2020), el 39.1% de proyectos analizados en Lima Metropolitana y Callao emplearon una metodología BIM lo que muestra un incremento en comparación al año 2017, donde solo un 24.5% de los proyectos llevados a cabo en las mismas localidades emplearon BIM.

1.3. Alcance

El alcance de este trabajo se centra en realizar una investigación en los sistemas y herramientas digitales que abarca el uso de softwares y aplicativos webs aplicados para una gestión colaborativa en proyectos de construcción. Se identificará aquellos sistemas y herramientas más frecuentes y actuales con sus respectivas aplicaciones para el diseño, costo, tiempo y eventualmente su integración mediante los denominados modelos 4D y 5D que involucran todos estos temas. Este análisis ayudará a determinar sus beneficios en comparación a una gestión tradicional y su aplicación en procesos de diseño, costo y tiempo para, finalmente, establecer la metodología de gestión a utilizar para esta investigación y, con ella, elaborar una propuesta para un modelo colaborativo del proyecto “Edificación Multifamiliar Carabaylo”.

Este proyecto consiste en una edificación de 4 pisos ubicado en el distrito de Carabaylo en la ciudad de Lima. El área construida del proyecto es de 1290 m², donde el primer piso está orientado para uso de estacionamientos y se plantean 6 departamentos del 2do al 4to piso. Los departamentos cuentan con 3 habitaciones, cocina, lavandería, 2 baños, sala y comedor. El ascensor del edificio cuenta con acceso directo a cada departamento. Asimismo, cada departamento cuenta con una salida directa a las escaleras de emergencia.

1.4. Objetivos

Objetivo general

Analizar el uso de sistemas y herramientas digitales para la aplicación de la gestión colaborativa en proyectos de construcción en el Perú.

Objetivos específicos

- Identificar las metodologías de trabajo colaborativo y determinar la más conveniente para el proyecto multifamiliar de Carabaylo.
- Describir los beneficios de la gestión colaborativa seleccionada ante una convencional.
- Identificar los sistemas y herramientas digitales más utilizadas para las etapas de diseño, construcción, presupuesto, cronograma y su integración.
- Determinar los beneficios de la aplicación de herramientas digitales en proyectos de construcción.
- Establecer el plan de trabajo para la gestión colaborativa para el proyecto multifamiliar de Carabaylo.

1.5. Metodología

- Describir los conceptos que involucran la gestión de proyectos tradicionales y sistemas integrados.
- Describir las metodologías de gestión colaborativa BIM y VDC.
- Describir los conceptos de las dimensiones BIM.
- Recolectar información sobre los sistemas y herramientas virtuales, y sus respectivos campos de aplicación.
- Sustentar la elección de BIM como metodología de trabajo.
- Identificar los beneficios en las diversas etapas del proyecto (diseño y construcción) de los sistemas y herramientas digitales seleccionadas.
- Establecer un diagrama de flujo que muestre los procesos involucrados en un proyecto de construcción desde la etapa de diseño hasta la etapa de construcción.
- Presentar una propuesta de modelo de gestión colaborativa en el proyecto de Carabayllo.

2. Revisión de la literatura

En este acápite, se revisará la bibliografía concerniente a los diferentes sistemas de gestión de proyecto, tanto tradicional como colaborativo, a fin de comprender el aporte y perspectiva de ambos. Además, se mostrará la información recopilada respecto a dos de las metodologías más populares para la gestión de proyectos de construcción: *Building Information Modelling* y *Virtual Design and Construction*, en el que se ahondará y mencionará softwares que participan en las distintas fases de un proyecto.

2.1. Gestión tradicional de proyectos de construcción

A pesar del carácter multidisciplinario que comprende un proyecto de construcción, su proceso de diseño suele ser iterativo donde hay un proceso de error y corrección, donde los especialistas trabajan independientemente en distintos espacios bajo un esquema secuencial y comparten entregables sin contar con metodologías de trabajo, y cuya consecuencia directa se da en una baja productividad y constantes modificaciones del diseño (Muñoz-La Rivera, 2019).

En principio, surge la necesidad del cliente para la elaboración de un proyecto por lo que suele contactar a un arquitecto, este último es quien elabora un diseño preliminar de la estructura y establece el propósito del diseño. Posteriormente, se convoca la participación de una empresa de ingeniería para ejecutar el diseño estructural donde se hacen aún modificaciones a los planos arquitectónicos para que luego se trabaje con un grupo de especialista en instalaciones que se deben adaptar al diseño previamente definido. Como parte final del planeamiento, se establece el costo y tiempo de construcción empleando el expediente técnico alcanzado para dar el paso final que consiste en la ejecución del diseño. Es en esta etapa final donde el ingeniero constructor lleva a cabo las indicaciones y materializa todos los planos

entregados, siendo en el desarrollo de esta donde se notarán algunas incompatibilidades, realizarán consultas en cuanto al diseño, y donde el costo y plazo determinado se ven en su mayoría alterados. La Figura 1 muestra en varias líneas de tiempo en qué puntos del proceso los involucrados ingresan al proyecto, y cómo los roles de quién, cómo y la ejecución tienen tardía aparición en el proyecto en un sistema tradicional.

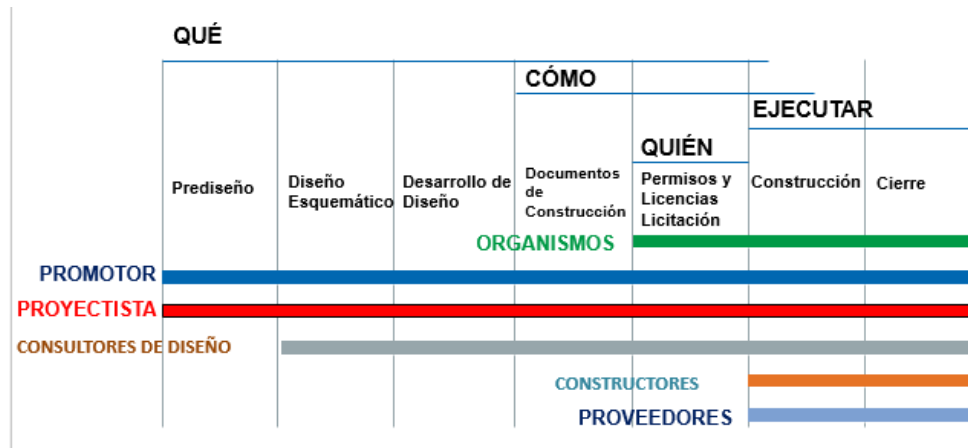


Figura 1. Participación de involucrados con una gestión tradicional
Tomado de *The American Institute of Architects (2007) Integrated Project Delivery: A guide*

Entonces, las principales fallas de un sistema tradicional de gestión parten de la secuencialidad de participación, puesto que no logra un consenso simultáneo entre los involucrados del diseño y construcción. Estas fallas tienden a incidir, además de un costo más elevado que el planteado inicialmente, en un plazo mayor de entrega, insatisfacción del cliente por los niveles de calidad e incluso puede incurrir en problemas legales contractuales entre el cliente y el constructor. Como menciona Eyzaguirre (2015), uno de los problemas que posee el sistema tradicional es también la complicada transmisión de conceptos de diseño, que si bien inicia una conceptualización del diseño en 3D, este se plasma en un plano 2D que luego es interpretado por el constructor, lo cual puede llevar a confusiones del modelo construido final; por otro lado, una gestión colaborativa promueve el uso de un único modelo 3D desde el inicio del proyecto.

2.2. Gestión colaborativa de proyectos de construcción

La gestión colaborativa es una metodología de trabajo con marcada diferencia a la gestión tradicional, ya que, en este tipo de trabajo, la información y responsabilidad es compartida entre todos los interesados del proyecto durante toda la duración del planeamiento hacia la ejecución, lo que se traduce en una optimización en la productividad, tiempo y costo durante la operación (Thomassen, 2011). El propósito de este nuevo enfoque de gestión de proyectos busca que la construcción o infraestructura sea construable, operable y sostenible. Como se observa en la Figura 2, una gestión colaborativa busca que los involucrados, también llamados *stakeholders*, (considerando al propietario, arquitecto, constructor, ingenieros y proveedores) participen simultáneamente en todo el proceso de creación del proyecto como una unidad de colaboración para entregar como producto la obra terminada.



Figura 2. Forma de trabajo con gestión colaborativa
Tomado de Thomassen (2011) *BIM & Collaboration in the AEC Industry*.

Asimismo, en la Figura 3 se muestra de manera sobrepuesta cómo se requiere la participación de todos los involucrados en el transcurso del proyecto desde su conceptualización hasta la construcción y cierre, considerando desde el punto de partida los roles clave de quién, qué y cómo a fin de designar responsabilidades desde antes del diseño del proyecto, que encaja con la visión de una gestión colaborativa.

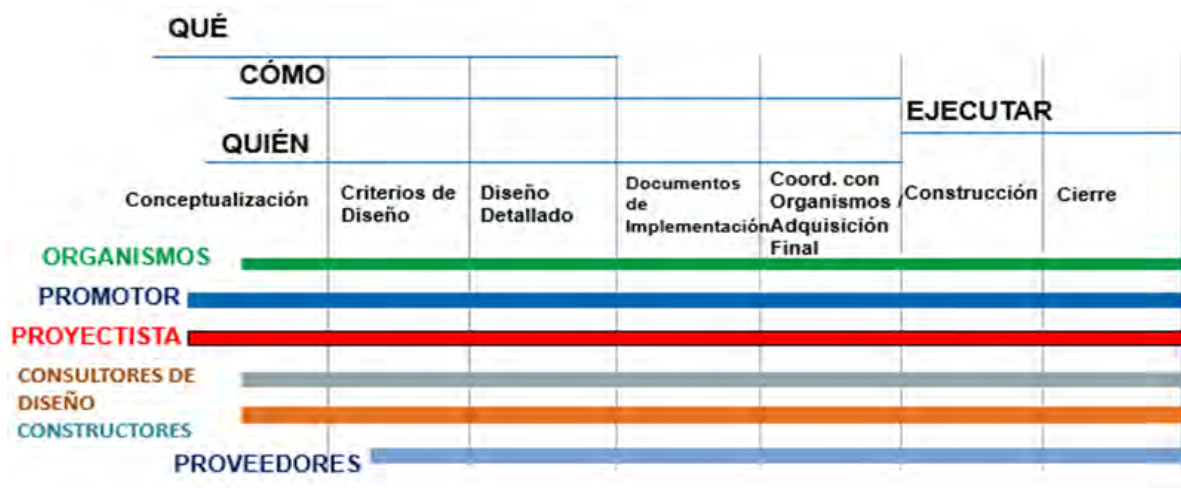


Figura 3. Participación de involucrados con una gestión colaborativa
Adaptado de The American Institute of Architects (2007) Integrated Project Delivery: A guide.

2.2.1. Sistemas de contratación y entrega de proyecto

La definición del contrato entre los *stakeholders* es un factor clave en el éxito que asegura un proyecto debido a que indica las especificaciones, estructura del proceso y funciones entre propietario, diseñador, contratista y participantes clave (Viana et al, 2020). En el presente capítulo, se presentan los principales sistemas de contratación y los métodos de entrega de proyecto definidos en el contrato tradicional y la nueva modalidad.

2.2.1.1. Sistemas de contratación

Principalmente, se pueden considerar tres principales sistemas tomando de referente principal el presupuesto (Lozano, 2019):

- Suma Alzada: Se fija un costo total invariable
- Precios unitarios: Debido a la variación del metrado, solo se fija el costo por partida
- Mixto: Emplea ambos sistemas

2.2.1.2. Métodos de entrega de proyecto

Este término hace referencia a todos los sistemas de contratación y distribución de responsabilidades y funciones de los involucrados en un proyecto de construcción. Existen diferentes sistemas de entrega de un proyecto según Touran (2009) que consideran un entorno de trabajo colaborativo:

- **Diseño, Licitación y Construcción (DBB):** En esta modalidad, el cliente contacta con el diseñador a quien le encarga terminar el diseño para que, después, el expediente se oferte y se contrate a quien se haga cargo de la construcción, trabajando ambos con contratos separados. Si bien esta modalidad promueve la competencia y un costo bajo de construcción, analizando desde un punto de vista colaborativo, la total incomunicación entre diseñador y constructor en fase temprana impide la aplicación de una gestión colaborativa. El esquema de relaciones entre involucrados mediante comunicación oral y contratos lo muestra la Figura 4:

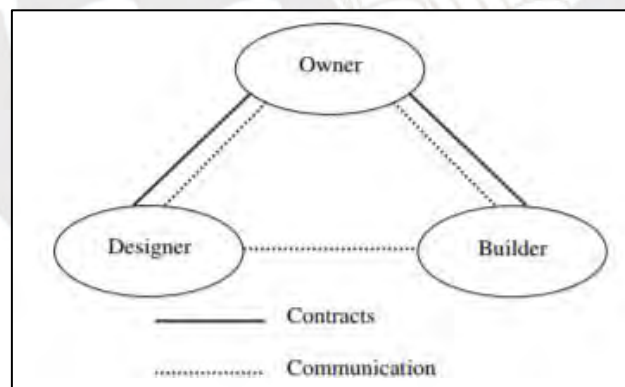


Figura 4. Esquema de relaciones entre los principales involucrados con método DBB.
Tomado de Touran et al (2009). *A Guidebook for the Evaluation of Project Delivery Methods*

- **Diseño y Construcción (DB):** El cliente elabora un único contrato para un mismo ente que se encargará del diseño y construcción. Aquí la metodología colaborativa tiene mayor inserción pues ambos representan los mismos intereses, y facilitan la eliminación de demoras y sobrecostos. Así también, el cliente busca un mayor rendimiento, mientras que el único

contratista busca disminuir los costos y asume mayor responsabilidad. El trato entre los involucrados lo muestra la Figura 5.

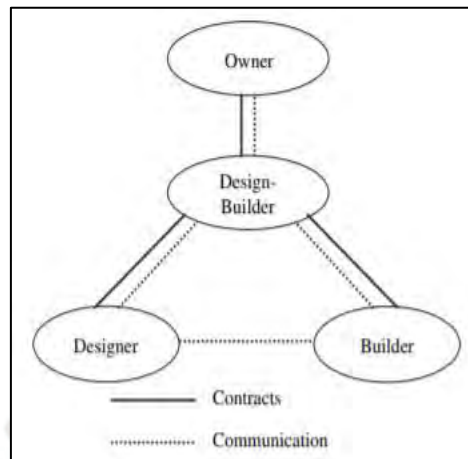


Figura 5. Esquema de relaciones entre los principales involucrados con método DB.
 Tomado de Touran et al (2009). *A Guidebook for the Evaluation of Project Delivery Methods*

- Gerencia de Proyectos con Riesgo (CMR): Similar al sistema de *Design-Build*, la diferencia reside en que el contratista general y el cliente establecen un Precio Máximo Garantizado, por lo que el contratista controla la etapa de diseño y supervisa la construcción que se trabajan por separado. Si el valor acordado se excede el gerente debe cubrir tal gasto, por lo mismo, la preocupación del cliente recae sobre el contratista. El esquema de relación lo explica la Figura 6:

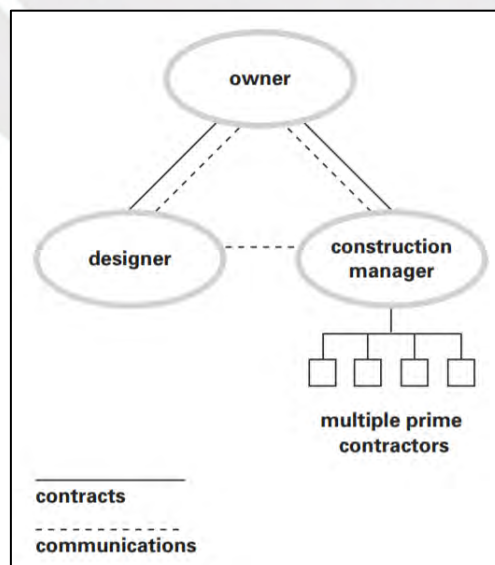


Figura 6. Esquema de relaciones entre los principales involucrados con método CMR.
 Tomado de Touran et al (2009). *A Guidebook for the Evaluation of Project Delivery Methods*

- **Integrated Project Delivery (IPD):** Es una relativamente nueva modalidad de entrega que surge frente a la insatisfacción de varios profesionales, por los resultados de los sistemas tradicionales, y destaca por una colaboración entre los distintos equipos de las diferentes disciplinas donde existe un contrato individual para cada involucrado, que reparte el riesgo del proyecto entre todos, y su rol inicia desde la etapa de diseño.

El Instituto Americano de Arquitectos (2007) señala que el sistema IPD correctamente estructurado propicia que los involucrados pongan esfuerzo hacia los resultados del proyecto más que a los logros individuales, por lo que su principal pilar es la confianza. Este, también, estaba basado en una serie de principios tales como:

- ✓ Respeto mutuo entre cliente, diseñador, contratista, subcontratista y proveedores que deben entender la importancia del trabajo en equipo.
- ✓ Beneficios por valor añadido al proyecto y recompensas por la temprana planificación.
- ✓ Innovación, que se promueve en el intercambio de ideas.
- ✓ Participación temprana de los involucrados, para que la toma de decisiones se facilite al contar con el conocimiento y experiencia de los especialistas.
- ✓ Planificación dedicada, reconociendo que el esfuerzo aplicado en el planeamiento causa un mayor rendimiento y escudos de tiempo en la ejecución.
- ✓ Comunicación abierta y directa como integrantes de equipo, que permite resolver disputas y confusiones con prontitud.
- ✓ Empleo de tecnologías desde el inicio del proyecto que convierten el diseño a un modelo tridimensional funcional que permite la integración de las especialidades.

La Figura 7 muestra como los involucrados principales del diseño, el cliente, el equipo de diseño y el de construcción, deben formar un equipo con entendimiento colectivo y cuáles son

sus roles principales en la creación del proyecto de construcción y donde todos están presentes en las actividades del otro, aunque sea en menor incidencia.

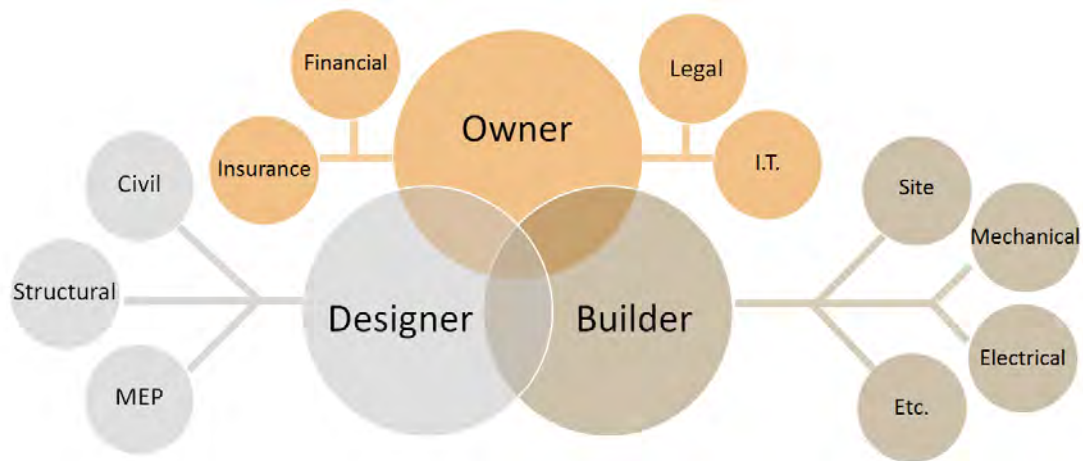


Figura 7. Equipo de Trabajo en un sistema IPD
Tomado de Tono Group (2019). *How to build a successful Integrated Project Delivery Team*

2.2.2. Estrategias de Comunicación

Los proyectos de construcción presentan muchos problemas entre los cuales se encuentra la baja eficiencia en la gestión durante las etapas de planificación y ejecución. Estos problemas conllevan adicionales en obra y retrasos en la etapa de construcción (Salinas & Prado, 2019). Esto se debe a la poca comunicación entre los involucrados del proyecto por lo que se definen el entorno de datos compartidos (EDC) y las sesiones ICE.

2.2.2.1. Entorno de datos compartidos

Para una correcta gestión colaborativa, es esencial una estrategia de colaboración asincrónica, la cual se puede realizar mediante el denominado Entorno de Datos Compartidos (EDC). Según la ISO 19650 (2018), este se define como una fuente de información para

proyectos o activo con el fin de recolectar, gestionar y distribuir la información mediante un proceso gestionado y ordenado. Este puede ser una herramienta digital o cualquier proceso de trabajo para intercambiar información.

Este sistema de gestión permite que múltiples interesados y disciplinas trabajen en una plataforma común en la cual la comunicación e intercambio de información se facilita mediante la definición de cuatro estados de la información. Estos permiten que la producción de información sea supervisada y compartida adecuadamente según sea requerido. En la Figura 9, se explica el flujo de información por los siguientes cuatro estados descritos de los contenedores de información según la ISO 19650 (2018):

- Work in progress (WIP)

En esta etapa, también llamada trabajo en progreso, se permite el intercambio de información entre una disciplina o equipo de trabajo sin la posibilidad de visualización para externos.

- Shared

Para cumplir el estado compartido, esta información debe ser chequeada, revisada y aprobada según la metodología del proyecto y bajo control del mismo equipo. Se realizan consultas a otros equipos externos, pues la información solo es visible no editable. En caso se requiera realizar modificaciones, se debe coordinar con el equipo autor sea en reuniones interdisciplinarias u otro tipo de entrega de consulta. Este proceso es repetitivo y se realiza con las diferentes áreas del proyecto en cuestión.

- Published:

Para ser información publicada, es requerido que esta sea autorizada y cumpla los requerimientos necesarios para realizar diseños más detallados, la construcción o la gestión de activos. Esta información se comparte con todos los interesados.

- Archive:

El estado archivado sirve como un diario de la transacción de información y un seguimiento de la auditoría del proceso de la producción de información.

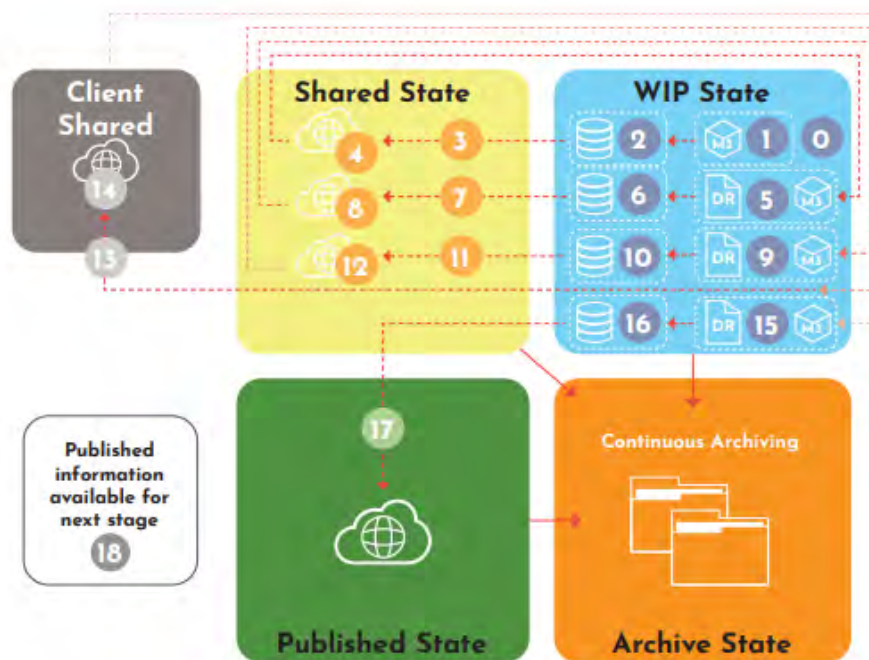


Figura 8. Contenedores de información en transición entre estados
 Tomado de Ford et al. (2020) *Information management according to BS EN ISO 19650 - Guidance Part C Facilitating the common data environment (workflow and technical solutions)*

2.2.2.2. Sesiones ICE

Las sesiones ICE son sesiones de trabajo colaborativo con un entorno diferente a las reuniones, las cuales permiten una colaboración multidisciplinaria entre los especialistas involucrados del proyecto (Quiso et al, 2021). En estas sesiones, se plantean los objetivos a

resolver en el proyecto, los cuales deben de ser resueltas durante la reunión. Chachere (2009) indica que las sesiones ICE o conocido como Integrated Concurrent Engineering son un método social, el cual empleando diversas aplicaciones o softwares tecnológicos, se pueden evaluar diversos modelos de diferentes especialidades en una sola. Se obtienen diversos beneficios de estas sesiones.

El primer beneficio es tener un mejor enfoque de los problemas resultado en una mejor toma de decisiones por parte de los especialistas. El segundo beneficio es una comunicación más efectiva y se pueden llevar a acuerdos en diversas decisiones a la vez. El tercer beneficio es la cantidad de tiempo que transcurre entre una solicitud de información y la recepción de una respuesta satisfactoria, esta descripción se define como latencia. Como consecuencia de ello, la respuesta a las incompatibilidades se obtiene en un periodo corto de tiempo a comparación con las prácticas convencionales. Existen diversos factores que ayudan a reducir la latencia y permiten que las sesiones ICE se realicen con éxito. Entre ellos, se encuentran los trabajos realizados en paralelo, diferentes responsabilidades dentro de las sesiones, plantear objetivos, softwares interoperables con esquemas de fácil interpretación y entre otros más. (Chachere et al, 2009).

En la Figura 9, se presentarán las diferencias de tiempo entre las diversas metodologías de comunicación, el cual se puede observar que el sistema de serial resuelve los problemas en forma consecutiva, resultando ser un procedimiento simple, lento y confiable. En el sistema Fast Track, existe coordinación entre los involucrados del proyecto, pero es menos eficiente por la presencia de trabajos rehechos. En el sistema en Paralelo, aumenta la coordinación entre especialistas y el trabajo es más rápido que el anterior, pero es más propenso a errores. Finalmente, se encuentran la ingeniería concurrente integrada (ICE), el cual contiene una

mayor eficiencia en la respuesta a los problemas por resolver los problemas en paralelo debido a su latencia corta y la duración de coordinación breve, sin embargo, su implementación conlleva un alto costo de instalación y una correcta implementación entre los asistentes.

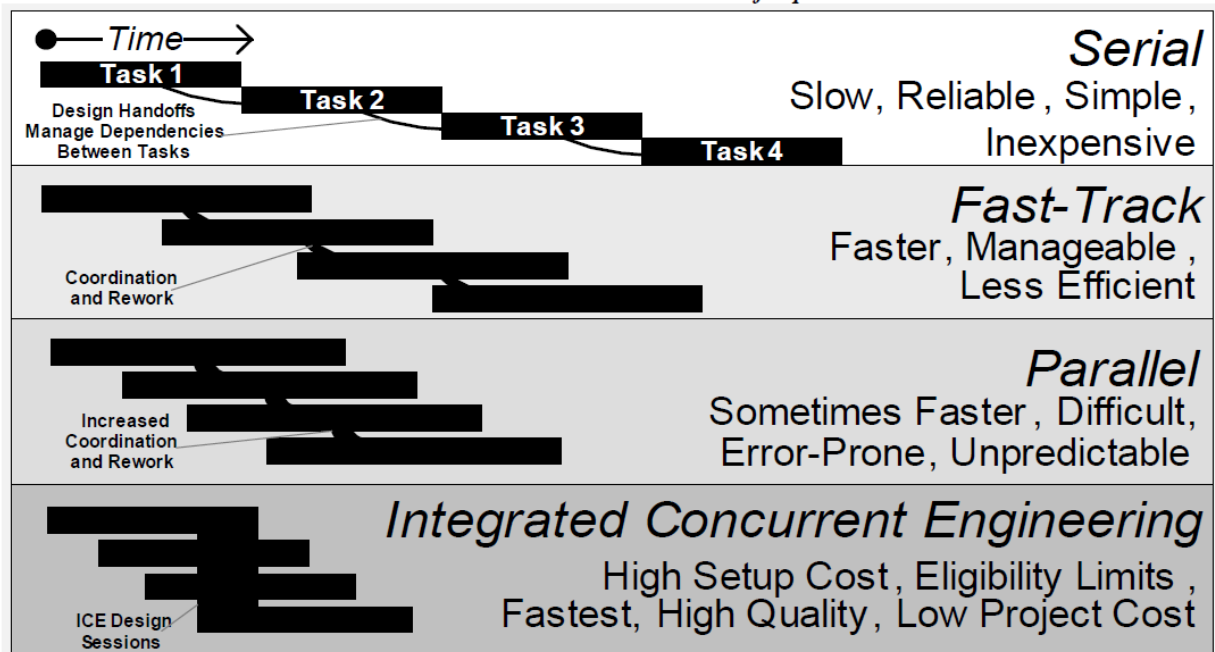


Figura 9. Diferencias de tiempo entre las diversas metodologías de comunicación

Tomado de Chachere et al. (2009) *The Role of Reduced Latency in Integrated Concurrent Engineering*.

2.2.3. Metodología BIM

BIM nace como una necesidad de la industria de la construcción ante la decreciente productividad que venía mostrando. Esta metodología combina 3 componentes, los cuales son las herramientas, procesos y personas involucradas. La correcta implementación de ello logra el éxito en el desarrollo del proyecto (Salinas & Prado, 2019). En este inciso, se definen el termino BIM y los pasos que contiene el plan de ejecución BIM (PEB).

2.2.3.1. Definición

Building Information Modeling, más conocido por sus siglas BIM, está caracterizado por no presentar una definición universal; sin embargo, las definiciones existentes convergen en una idea. En la realidad peruana, BIM es una metodología de trabajo colaborativa, basado en el modelamiento digital de la información, para la creación y gestión de un proyecto de construcción, durante todo el ciclo de vida del proyecto, con el objetivo de centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital creado por todos sus agentes.

BIM tiene como objetivo mejorar la gestión de la ejecución de las inversiones, para ello, es necesario definir con claridad el objetivo general y los específicos. El objetivo general se define en base a la meta de la implementación de BIM en el proyecto. Los objetivos específicos se definen como metas especializadas a tareas medibles que responden a problemas concretos del proyecto, las metas pueden ser varias; sin embargo, deben guardar relación con el objetivo general de la implementación de BIM en el proyecto (Soto et al, 2019).

2.2.3.2. Plan de ejecución BIM

El plan de ejecución BIM es el documento, por lo general precontractual, que es generado por cada proveedor y está presente en cada fase del proyecto, en el cual se detallan las características técnicas, roles y responsabilidades, funciones, metodología de trabajo, hitos y productos a entregar para asegurar que todos los involucrados en el proyecto tengan conocimiento de las oportunidades y responsabilidades asociadas a la incorporación de BIM en los flujos de trabajo del proyecto.

Según MEF (2020), Penn State (2010) y la ISO 19650-2 (2018), el plan de ejecución BIM tiene una secuencia de pasos a seguir que se describe por:

- a) Identificar las metas y usos BIM, es decir, se debe definir el valor potencial de BIM en el proyecto y para el equipo de trabajo mediante la definición del proyecto y de los objetivos generales de la implementación de BIM en el mismo.
- b) Diseñar un proceso de ejecución BIM, se realiza un mapeo del proceso de ejecución del proyecto.
- c) Identificar los intercambios de información que ocurra entre los participantes del proyecto, asimismo, designar las responsabilidades y los entregables de cada especialidad.
- d) Establecer los requisitos e hitos de entrega de la información.
- e) Desarrolla la infraestructura necesaria para la implementación del proceso BIM.
- f) Realiza un listado de softwares que se utilizarán durante la ejecución del proyecto, esto debe de partir desde la etapa de diseño hasta operación-mantenimiento.
- g) Establecer estrategias de comunicación y el entorno de datos compartidos (CDE)
- h) Definir los procedimientos para la generación, revisión, aprobación y autorización de información.

2.2.3.3. Dimensiones de modelación

El diseño de proyectos inició con el dibujo de planos, algo conocido hoy en día como dibujos 2D. Actualmente, los modelos tridimensionales son el punto de partida para poder mejorar la gestión de un proyecto de construcción. Sin embargo, un modelo 3D no es suficiente, pues este debe apoyarse en la vinculación de información referente al proyecto. Es así que se conciben las dimensiones de modelación, el cual es una clasificación que depende del tipo de información asociada al modelo 3D. En esta sección, se describe los conceptos tras las dimensiones 3D, 4D y 5D. Existen otras dos dimensiones denominadas 6D y 7D las cuales

buscan mejorar la sostenibilidad y la gestión del ciclo de vida del proyecto, sin embargo, no serán detalladas en la presente investigación.

- Modelación 3D

Las herramientas virtuales de la actualidad permiten elaborar modelos digitales de proyectos de construcción para que los diseñadores y stakeholders puedan tener una mejor visualización y comprensión del proyecto. La navegación a través de los modelos 3D permite observar detalles sobre la interacción de los elementos geométricos, ya sea concernientes a una misma o múltiples disciplinas. Un modelo 3D integrado consiste de un modelo donde exista interacción entre los diseños de cada especialidad técnica. De tal manera que se pueda aplicar la actividad conocida como “*model checking*”, el cual se subdivide en dos actividades: el *code checking* y el *clash detection*.

El *code checking* consiste en evaluar el diseño de cada disciplina con los requerimientos establecidos por el cliente y las limitaciones que establecen las normas. El *clash detection* consiste en analizar el modelo 3D y obtener un reporte de conflictos entre los elementos modelados, ya sea respecto a una misma o múltiples especialidades (BibLus, 2021). La Figura 10 muestra un reporte de interferencias generado por Navisworks, donde se puede apreciar el cruce entre dos tipos de ductos.

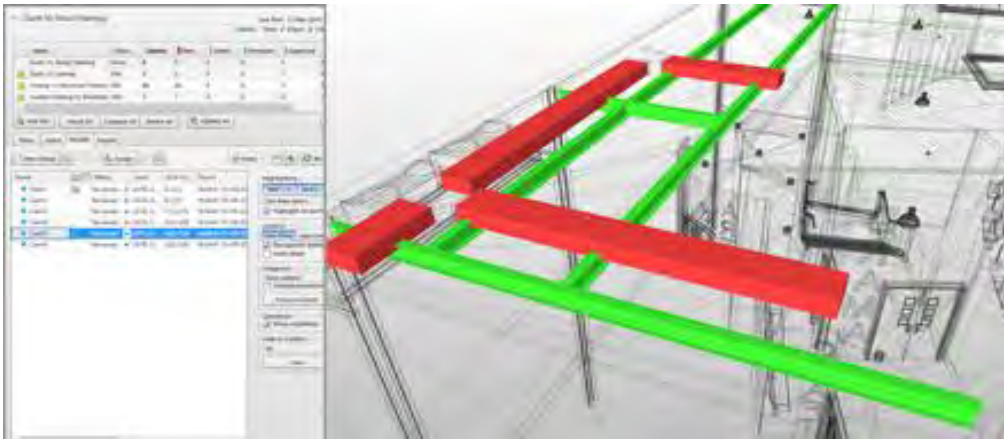


Figura 10. Reporte de interferencias en Navisworks
 Tomado de INFINITE BIM (s.f.) NAVISWORKS BIM LEVEL 2: CLASH AVOIDANCE

- Planificación 4D

Un modelo 4D consiste en agregar la variable de tiempo al modelo 3D. Para ello es necesario la elaboración y definición del WBS - Work Breakdown Structure, el cual consiste en elaborar un diagrama desglosado del proyecto, que establezca un orden lógico de ejecución. Este desglose es realizado a diferentes niveles como: Bloques de construcción, Pisos, Sectores o Partidas; siendo este último nivel de detalle denominado como paquete de trabajo (BibLus, 2021).

El cronograma del proyecto es obtenido al establecer duraciones y secuencias lógicas a cada paquete de trabajo. Finalmente, para poder obtener un modelo 4D es necesario vincular el cronograma al modelo 3D, relacionando cada paquete de trabajo a un elemento modelado. A partir de esto, los softwares de planificación 4D permiten realizar una simulación de la ejecución del proyecto. En la Figura 11 se presenta un modelo 4D. En la parte superior se encuentra el cronograma, donde se encuentra resaltado de color amarillo ciertas actividades, lo cual causa que ciertos elementos en el modelo 3D se sombreen de color morado, indicando que estos son los elementos que serán ejecutados.

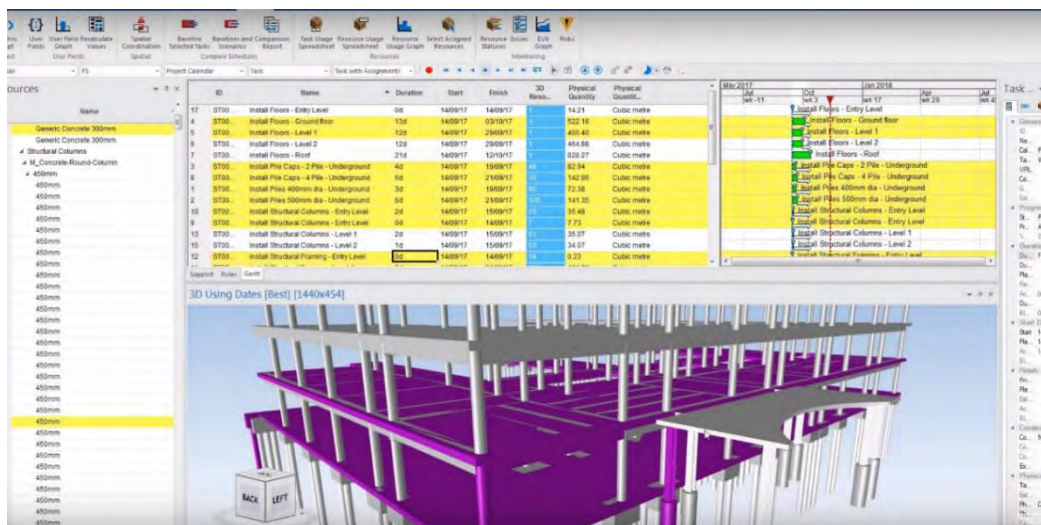


Figura 11. Modelo 4D de un proyecto en el software Synchro
Tomado de PBI Projectia (2019) BIM 4D ¿Cómo se Planifica?

- Modelo 5D

Un modelo 3D permite realizar el “Quantity Take Off”, que consiste en obtener las cantidades de materiales a usar en el proyecto de construcción. Esto es básico para obtener un modelo 5D que consiste básicamente en integrar las variables de costo al modelo 3D, y así obtener un presupuesto más acertado.

Luego de realizar el “Quantity Take Off”, es necesario definir y asignar los análisis de precios unitarios para cada elemento. De esta manera, se obtendrá un subtotal por cada partida definida y finalmente un presupuesto total. El asignar información del costo al modelo se permite que, en caso se realicen modificaciones al diseño, estos sean actualizados automáticamente y así evitar que ciertos datos se pierdan durante el proceso de actualización (BibLus, 2021). La Figura 12 muestra un reporte de gastos mensuales del proyecto. Las barras tienen múltiples colores debido a que cada color representa un tipo específico de gasto, ya sea materiales o mano de obra. De esta manera, se puede observar el impacto de cada tipo de gasto.

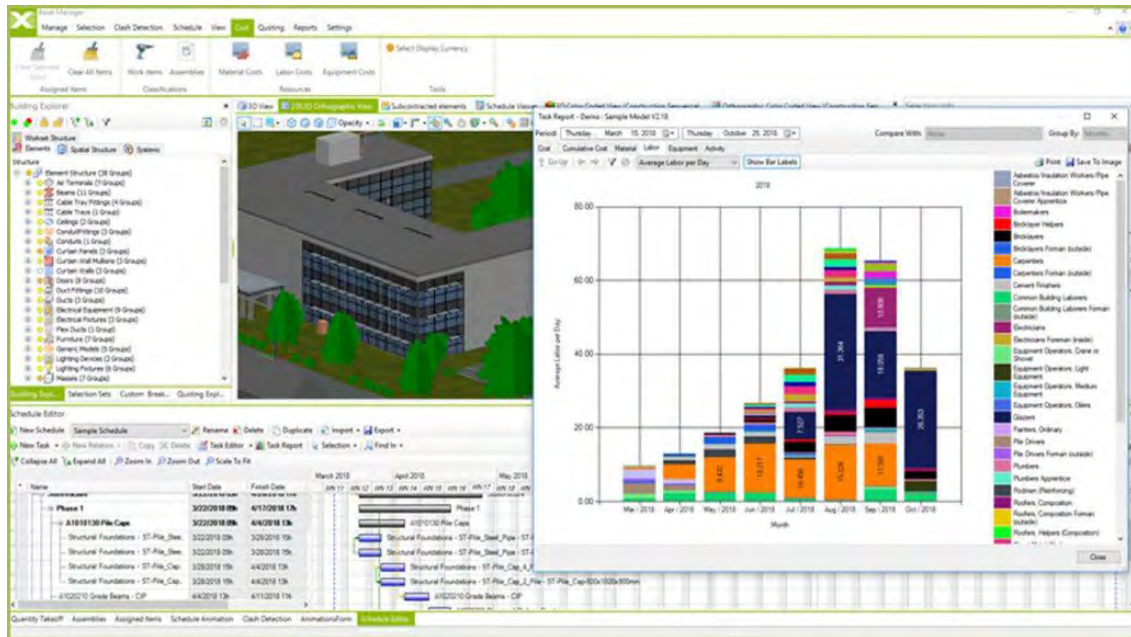


Figura 12. Reporte diferenciado de gastos en el software Bexel Manager
Tomado de ARCHSUPPLY (s.f.) BEXEL Manager

2.2.4. Metodología VDC

El Virtual Design and Construction (VDC) se define como el uso de modelos de desempeño multidisciplinarios de proyectos de diseño y construcción en los cuales se incluye el producto, la organización del equipo de trabajo y los procesos del trabajo para apoyar a alcanzar los objetivos (Kunz et al., 2012). Este crea un sistema integrado y una serie de métodos para predecir el comportamiento del proyecto, gestionarlo y, asimismo, el negocio en donde se incluye las siguientes bases teóricas del VDC (Fisher et al., 2004):

- Método de ingeniería para el modelado para el producto, organización y procesos
- Método de análisis basados en modelos que incluyen la programación, costo, modelos 4D y 5D, entre otros.
- Métodos de visualización
- Métricas de negocio y gestión estratégica
- Impacto económico

Una de las bases del VDC es el Project Production Management (PPM), el cual es el enfoque que adopta para el desarrollo de sus procesos. Este sistema de producción permite entender cómo debería desarrollarse cada actividad con el fin de entregar un producto de calidad, sin exceder los plazos de entrega o el presupuesto. En el ámbito de construcción, a menudo es confundido con el Lean Construction, ya que ambos se enfocan en mejorar los procesos de producción.

Por un lado, Lean Construction mejora los procesos a través de 3 dimensiones: gobernanza, organización de stakeholders y organización de las actividades. Sin embargo, debido a esta larga cobertura no le es posible enfocarse profundamente en alguno de ellos. Lean Construction se enfoca en mejorar los procesos actuales a través del factor humano, lo que no le permite abordar nuevas técnicas o métodos en los procesos. Por otro lado, PPM se enfoca solo en la organización y el control de las actividades de trabajo. Esto le permite comprender a profundidad los límites de cada actividad, así como el flujo de trabajo de las mismas, dando acceso a mejoras en el desarrollo de procesos en costo, tiempo y calidad. PPM basa su trabajo en el desarrollo de la ciencia tras las operaciones de cada actividad, esta información representa una ventaja frente a proyectos con trabajos complejos. (Shenoy R., 2017)

Por otro lado, y con igual importancia, se encuentra BIM, el cual es parte de uno de los factores clave donde se obtiene los modelos 3D para el VDC donde se permite la obtención de información, visualización, análisis y organización de las diferentes disciplinas. Cabe recalcar que BIM por si solo representa solo el producto con el cual se va a trabajar, el cual es crucial, pero solo es una pequeña fracción del marco completo del VDC y su uso de los modelos POP (Production-Organization-Process) donde se trabaja con el producto mencionado, la organización y los procesos del proyecto con ayuda del PPM.

En adición, debido a que los proyectos de construcción son trabajos multidisciplinarios, se requiere crear entornos colaborativos en donde se realice la organización correspondiente al proyecto de manera participativa y conjunta, y se evalúe el proceso de trabajo según requerimiento de las diferentes especialidades. Según Kunz et al. (2012), implementar ICE provee una metodología excepcional para enseñar y aplicar la metodología VDC, y, asimismo, permite obtener proyectos de gran calidad y de manera rápida. Estas reuniones ICE son el complemento como se menciona para aplicar una metodología VDC, pues ayudan a establecer los objetivos, métodos y responsabilidades para el proyecto según el punto de vista de cada equipo y requerimientos del proyecto en cuestión.

2.3. Sistemas y herramientas digitales

Esta sección inicia con la explicación del Open BIM e IFC, conceptos desarrollados por el buildingSMART con el fin de mejorar el trabajo colaborativo entre softwares de múltiples compañías. A partir de estos conceptos, se detallan múltiples softwares agrupados de acuerdo a su campo de aplicación: modelación, planificación o presupuesto. Asimismo, se destacarán los atributos que hacen diferentes a cada software.

2.3.1. Open BIM e IFC

OpenBIM es un enfoque de trabajo orientado al trabajo colaborativo, desde el diseño hasta la puesta en operación de las construcciones. El objetivo es facilitar el intercambio de datos entre todos los especialistas involucrados en la elaboración del modelo BIM, pasando por las múltiples etapas de su ciclo de vida. Con este objetivo es que buildingSMART International desarrolla el formato IFC. Este es un formato neutral que permite la interoperabilidad entre múltiples softwares involucrados en la industria de la construcción. Esto se debe a que IFC

permite exportar e importar información tales como geometría, posición, características, función, etc.

2.3.2. Sistemas y herramientas digitales

En esta sección, se abarca las herramientas digitales aplicados para una gestión colaborativa y se dividen según su ámbito de aplicación para obtener modelos 3D, modelos 4D, modelos 5D, modelos para análisis y diseño de estructuras, visores BIM y plataformas para un Entono de Datos Compartidos.

2.3.2.1. Modelación 3D

En el año 2016, la comisión BIM de España realizó una encuesta sobre los softwares de modelación más usados. Los resultados se muestran en la Figura 13, donde podemos apreciar a los softwares listados líneas más abajo (es.BIM, 2017). Es importante mencionar que un 18% de los encuestados usaba otro tipo de software, ya que siempre se promueve la experimentación con nuevos programas que salen al mercado cada año.

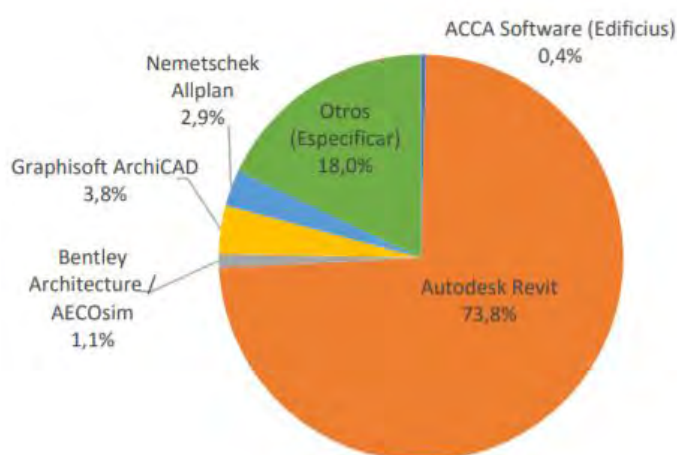


Figura 13: Softwares de modelación BIM usados en España

Tomado de es.BIM (2017) Encuesta de Situación Actual.

- REVIT

Revit es un software de modelación BIM de la compañía Autodesk y es el más usado en el mercado. El programa permite al usuario realizar un modelado tridimensional virtual de los objetos mediante el uso de objetos paramétricos, lo que le permite almacenar grandes cantidades de información, que serán útiles durante la etapa de ejecución del proyecto. Revit permite acceder a múltiples especialidades como Arquitectura, Instalaciones y Estructuras, por lo que es competente para trabajos colaborativos. Precisamente, la Figura 14 muestra la modelación de la especialidad de instalaciones. Este software está disponible solo para sistemas operativos Windows y requiere una PC con un procesador de alto nivel para poder ser ejecutado sin problemas. Con respecto a la funcionalidad, Revit posee Dynamo, un sistema de programación que permite automatizar tareas cotidianas (Finance Online, 2021). Finalmente, la licencia anual de este software cuesta \$2545.00 (Autodesk, 2021).

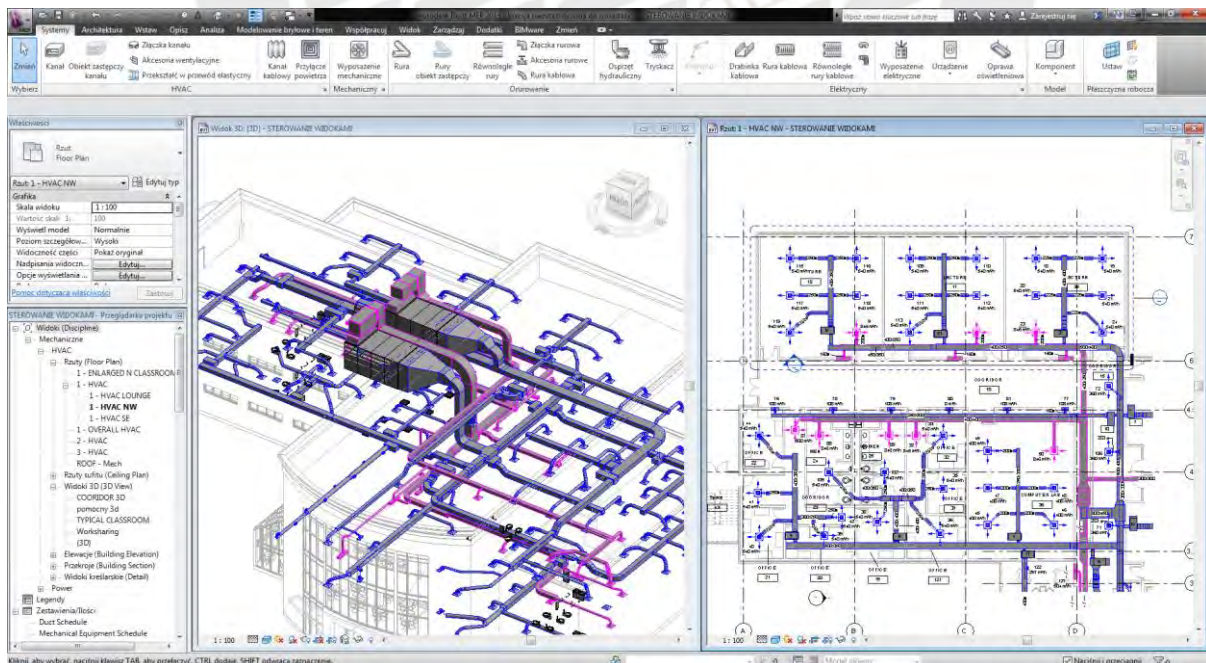


Figura 14. Modelación de instalaciones en REVIT
 Tomado de Allison J. (s.f.) ¿Qué es Revit MEP y cuáles son sus principales funciones?

- ARCHICAD

ARCHICAD es un software de modelado de la empresa GRAPHISOFT. Ha sido desarrollado por y para arquitectos con el fin de desarrollar modelos arquitectónicos mucho más detallados ya que posee una amplia biblioteca de objetos prediseñados. La Figura 15 muestra la interfaz de ARCHICAD, donde se puede ver su diseño limpio y minimalista, lo que le permite al usuario navegar con mayor facilidad a través del modelo. Similar a REVIT, este software permite almacenar información en los elementos modelados y tiene alta compatibilidad con softwares de la empresa GRAPHISOFT, además de poder exportar en el formato IFC. Este programa está disponible para los sistemas operativos Mac y Windows, y no requiere equipos con procesadores de alto rendimiento para poder ser ejecutado sin problemas (Zepeda R., 2019). Finalmente, la licencia anual de este software es de \$2412.34 (SIMBIM, 2021).

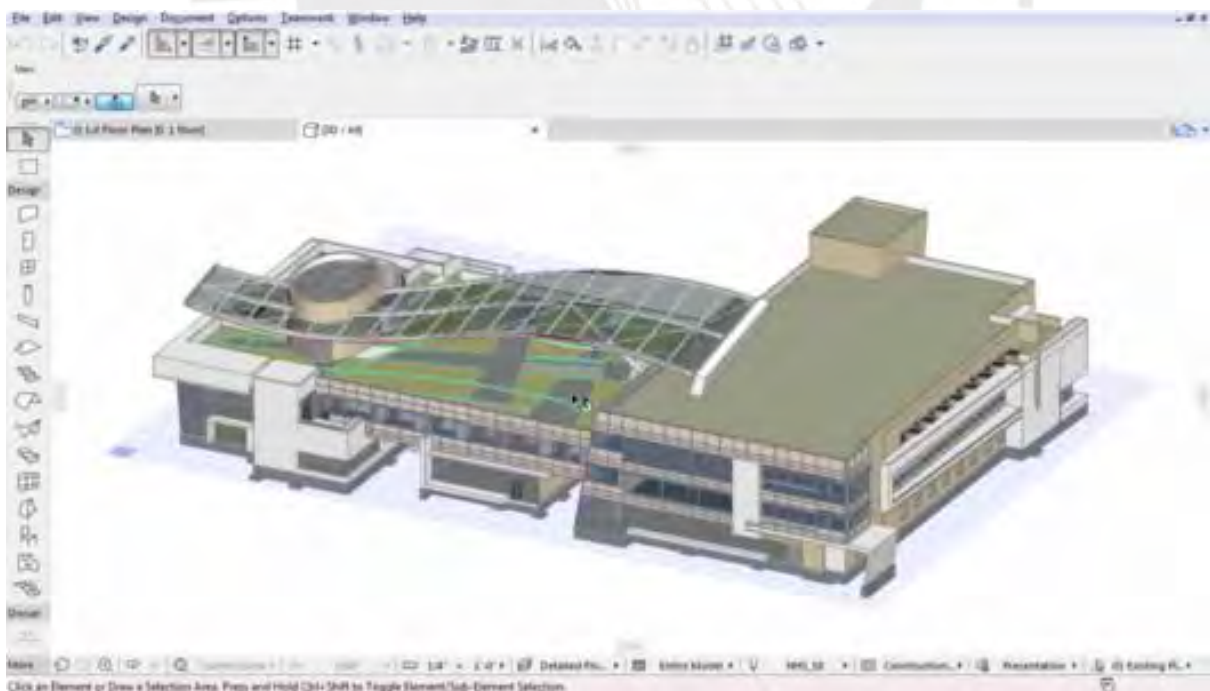


Figura 15: Interfaz de ARCHICAD

Tomado de Zepeda R. (2019) ArchiCAD versus Revit, ¿cuál elegir?

- AECOsim Building Designer

AECOsim es un software diseñado por Bentley Systems, orientado al modelado de infraestructuras. Regularmente, es usado en grandes proyectos, ya que puede trabajar eficientemente aun así exista una gran cantidad de información a manejar. AECOsim posee una interfaz multidisciplinaria, lo que permite que especialistas de arquitectura, estructuras e instalaciones, puedan trabajar simultáneamente en una misma plataforma. Además, al igual que Revit, posee un detector de interferencias que rápidamente marca y notifica entre especialidades. Sin necesidad de *plugins* adicionales, este software permite analizar la performance energética del proyecto emitir reportes tales como picos de carga, gasto energético anual, consumo de energía, etc. Respecto a la compatibilidad, AECOsim es compatible con softwares desarrollados por Bentley, además de poseer exportación en formato IFC. Está disponible para los sistemas operativos Windows y Mac. La adquisición de la licencia se hace mediante un solo pago de \$5633.00 (FinanceOnline, 2021).

2.3.2.2. Modelo de estructuras

En este inciso, se presentarán los softwares de modelamiento de estructuras que permiten realizar el dibujo, análisis y diseño de estructuras los cuales se muestran a continuación.

- TEKLA STRUCTURES

Es un software BIM que permite crear, combinar y compartir modelos 3D de diversos materiales, y con ello realizar el diseño y detalle de la estructura (TEKLA, s.f.). Esta herramienta se caracteriza por realizar el diseño y dibujo a detalle con posibilidad de llegar a un nivel de detalla de LOD500. Asimismo, aparte de poseer un intercambio de información

IFC, esta comparte una integración con la herramienta de colaboración en la nube, Trimble Connect, pues son de la misma empresa y, además, posee múltiples herramientas de colaboración y de gestión de la información.

- **TEKLA STRUCTURES DESIGNER**

Esta herramienta, también, es una herramienta BIM, la cual realiza un análisis y diseño estructural con el método de elementos finitos con interoperabilidad mediante IFC e integración con Revit. Es aplicable todo tipo de estructuras como estructuras de acero, prefabricados y cast-in-situ. Asimismo, se caracteriza por realizar un diseño automatizado en el cual se optimiza para obtener el mejor diseño posible para ahorrar tanto en tiempo como en costo (Tekla, s.f.)

- **ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL**

Es un software diseñado por Autodesk para el diseño y análisis estructural. Permite verificar el cumplimiento de las normas y tiene alta compatibilidad con Revit. Algunos de sus atributos son: simulación de cargas de viento, malla automática de elementos finitos, trabaja con estándares específicos de cada país (Autodesk, s.f.). Este software se encuentra disponible en la colección Architecture, Engineering y construction, el cual incluye un conjunto de programas de Autodesk tales como Revit, Autocad, Civil 3D, Infracore y Naviswork. La suscripción anual actual de la colección es \$ 3115 (Autodesk, 2021).

- **ETABS**

Es un software diseñado para realizar el análisis de estructural y dimensionamiento de edificios. Asimismo, ofrece herramientas de modelado y visualización de objetos 3D. En la metodología de colaboración, es compatible con softwares de intercambio IFC resultando en

el aumento de la eficacia gracias al intercambio de información. La suscripción anual del software es \$ 5000 (CSI, s.f.).

- SAP 2000

Este software es un programa de elementos finitos con interfaz gráfico 3D, el cual permite realizar la modelación, análisis y predimensionamiento de los elementos estructurales integrados de la edificación. Asimismo, posee gran versatilidad en modelar estructuras como puentes, estadios, presas y todo tipo de infraestructura que requiera ser dimensionada, el cual lo diferencia a los otros programas similares. Además, es totalmente compatible con otros softwares como Revit y Tekla Structures por el intercambio IFC que presenta. La suscripción anual del software es \$ 5000 (CSI, s.f.).

2.3.2.3. Visores BIM

Los visores BIM como se menciona en su mismo nombre son visualizadores de modelos IFC que permiten la navegación virtual en 3D dentro del proyecto y colaboración ente los involucrados en tiempo real.

- BIMx

BIMx es un software diseñado por Graphisoft realiza la creación de un Hyper-modelo. Tiene compatibilidad total con ARCHICAD de fácil y compartición en tiempo real acceso mediante la web con vínculos externos, apps móviles y carpetas de escritorio para ordenadores con Windows. Este software, en su versión gratuita, permite la visualización de contenido 2D y 3D con visualización de planos y transiciones suaves para recorrer el modelo (GRAPHISOFT, s.f.). Mientras que la versión PRO posee una integración con BIMCloud que

permite un trabajo colaborativo al mejorar la comunicación entre involucrados mediante la plataforma y permite realizar anotaciones (Google Play, s.f.). Asimismo, posee herramienta para realizar mediciones, un soporte con Google Cloud Print y modo de visualización llamado presentación. Con respecto a su costo, la plataforma es gratuita, pero si se quiere acceder a las características de la versión BIMx con más herramientas, se debe realizar un costo de \$50 (EquipoBIMnD,2019)

- UsBIM.browser

Según ACCA Software (s.f.), esta es una herramienta de visualización y gestión de modelos, archivos y datos online con cualquier dispositivo y guardados en la nube, a gran velocidad y sin límites de dimensiones. Permite gestionar de diferentes formatos (IFC, EDF, RVT, RFA, etc) y unirlos en un modelo para su navegación en 3D en la cual se pueden crear anotaciones, exportar data del proyecto y crear los denominad Tag, el cual es definido por la empresa como una información adicional que enriquece los modelos 3D con información nueva. Con respecto a su precio, esta aplicación es gratuita y se puede acceder en conjunto con otras 9 herramientas digitales gratuitas de la misma empresa que permiten una mejor gestión colaborativa.

- BIMvision

Es visor gratuito de modelos IFC2x3 y 4 con una interfaz para plugin el cual permite navegar los modelos, monitorizar cambios en el proyecto, abrir varios archivos de IFC de diferentes especialidades, realizar múltiples mediciones y posee opciones de corte en el modelo (BIMvision, s.f.). Aquello llamativo acerca de esta plataforma disponible para escritorio y tabletas es la gran cantidad de plugin disponibles en su página que permiten desde detectar

incompatibilidades hasta genera presupuesto rápido y entre otras muchas herramientas disponibles. Con respecto a su costo, este es gratuito; sin embargo, los plugin poseen un costo.

2.3.2.4. Planificación: Modelo 4D

Como se ha explicado en acápites anteriores, la fase de planificación resulta de vital importancia para una gestión colaborativa porque permite que los participantes tengan plazos definidos, abastecimiento de materiales y se pueda ejercer el control y supervisión de avance en obra. Las herramientas que sirven a este propósito principalmente son:

- Naviswork

Es un software de Autodesk que permite combinar modelos 3D, navegar por ellos y revisar el modelo mediante herramientas que ofrece el mismo como anotar comentarios flotantes, evaluar distintos puntos de vista en primera persona y realizar mediciones. Por ende, maneja un nivel elevado de animaciones, pero en un proceso bastante rápido en comparación a demás programas, aunque en ciertos casos puede verse sobrecargado de herramientas, o generar archivos de gran tamaño. Actualmente, Naviswork es una de las mejores herramientas de visualización 3D y su uso es más recurrente en la etapa de planificación y construcción, principalmente para detección de incompatibilidades, y también para elaborar simulaciones de avance de proyecto en el tiempo. La Figura 16 muestra la interfaz del programa con la barra superior de tareas, el modelado 3D central y la planificación por Gantt al inferior. El plan anual que ofrece Autodesk por este software tiene un valor de \$ 2 400.00 e incluye solamente el

programa para ordenadores con Windows y compatibilización con BIM 360° (Autodesk, 2021).



Figura 16. Interfaz de Navisworks 2020
Tomado de EADIC (2021) Autodesk Navisworks Manage: Coordinación y Gestión BIM

- Microsoft Project

Project es un software de gestión de proyectos el cual permite desarrollar cronogramas del proyecto y administrar presupuestos, por lo mismo es empleado en su mayoría durante la etapa de planeamiento. El programa presenta compatibilidad con otros softwares y solo está disponible para ordenadores de escritorio. No es complicado de emplear y sus funciones básicas son bastante sencillas de comprender, como ejemplo la Figura 17 muestra la interfaz del programa donde en la zona izquierda permite la designación de tareas y al lado derecho muestra el diagrama de Gantt generado. El plan anual con servicio en la nube de Microsoft cuesta \$ 660.00 mientras que también se brinda la opción de un pago único por el programa sin acceso al almacenamiento compartido por \$ 1 250.00 (Microsoft 365, 2021).

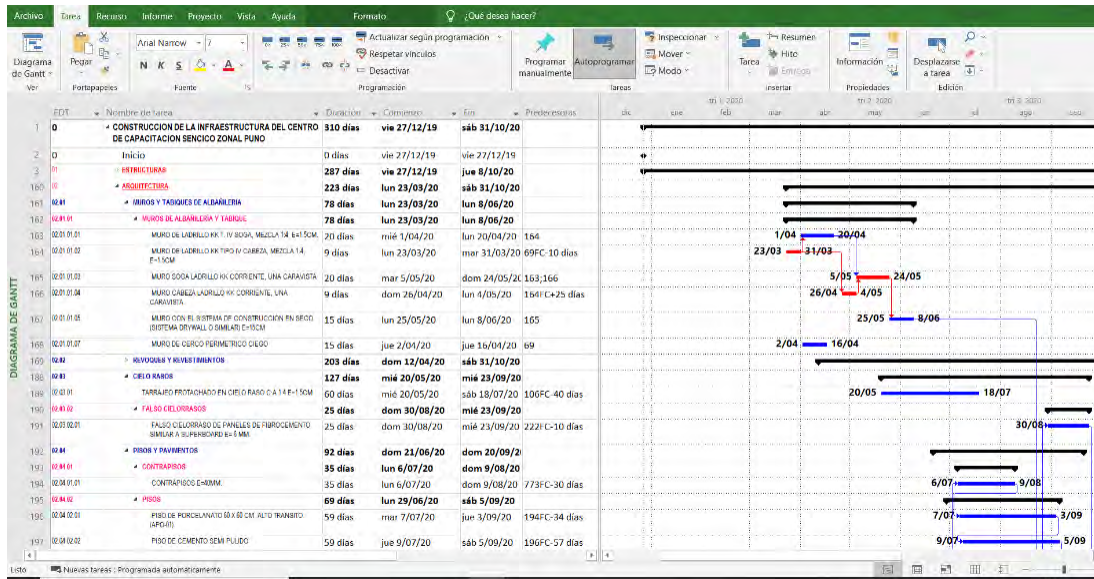


Figura 17. Interfaz de Microsoft Project 2019

Tomado de Microsoft (2021) Presentación del Microsoft Project 2019

- SYNCHRO

SYNCHRO es un software desarrollado por Bentley para la gestión de la construcción digital. Sus funciones de gestión de tareas te permiten planificar y optimizar los recursos del proyecto. Es un software versátil ya que se puede acceder a los datos del proyecto desde dispositivos móviles. La interfaz es bastante sencilla de manejar y cuenta con los atajos de herramienta necesarios, aunque requiere una tarjeta gráfica dedicada debido a que el proceso de visualización es pesado. El plan anual tiene un costo de \$ 4 000.00 aunque también cuenta con una versión gratuita (Bentley, 2018).

2.3.2.5. Presupuesto: Modelo 5D

El modelado 5D introduce el concepto de presupuesto en su procedimiento de gestión de proyectos. Esto permitirá obtener el presupuesto de la obra mediante metrados, precios unitarios. Se presentarán los softwares Arquímedes - CYPE y Presto.

- Arquímedes - CYPE

Arquímedes es un software desarrollado por CYPE Ingenieros el cual está orientado a la gestión de proyectos. El software permite desarrollar mediciones, presupuestos, pliegos de condiciones y certificaciones, así como un manual de uso y mantenimiento. El programa ha sido diseñado para obtener y generar un presupuesto a partir de un modelo BIM de Revit (EspacioBIM, s.f.). La licencia del software presenta un costo de renovación anual de \$ 145.00.

- Presto

Presto es un software de presupuesto 5D orientado a BIM que integra la gestión y control de tiempo de edificación desarrollado por la compañía RIB Software SE. El software proporciona un entorno de datos compartidos mediante la integración de toda la información en el presupuesto, desde la planificación hasta las certificaciones, asimismo incluye el control económico de la obra, la información de los sistemas de gestión de la calidad y la documentación de la obra terminada (RIB Software SE [RIB Spain], s.f.). Asimismo, facilita la confección de presupuestos, creación de partidas, precios unitarios e importa y exporta información en modelos IFC. La licencia del software presenta un costo de renovación anual de \$510.00.

2.3.2.6. Plataformas CDE

Las siguientes plataformas digitales permiten un trabajo colaborativo y la creación de un entorno de datos compartidos, los cuales se han creado para mejorar la comunicación a través de estos softwares de manera virtual y facilitar el intercambio de información para las diferentes etapas de un proyecto de construcción.

- Autodesk BIM 360 Docs

El software Autodesk Docs, software que forma parte del grupo BIM360, es una plataforma de trabajo colaborativo conectada a la nube de Autodesk que sirve como una herramienta para una gestión de proyectos integradas. Los principales beneficios son la centralización y gestión del documento, la gestión de calidad, gestión de seguridad, coordinación y revisión de conflictos, reportes y análisis de data. Es usado con frecuencia en distintas etapas de un proyecto y es muy útil en etapas de construcción, porque permite el acceso en tiempo real mediante equipos portátiles. La Figura 18 muestra el sistema de organización de archivos que maneja el programa, donde se muestra la previsualización del modelo y el navegador a la izquierda. Su costo anual es de \$ 420 por año (Autodesk, s/f).

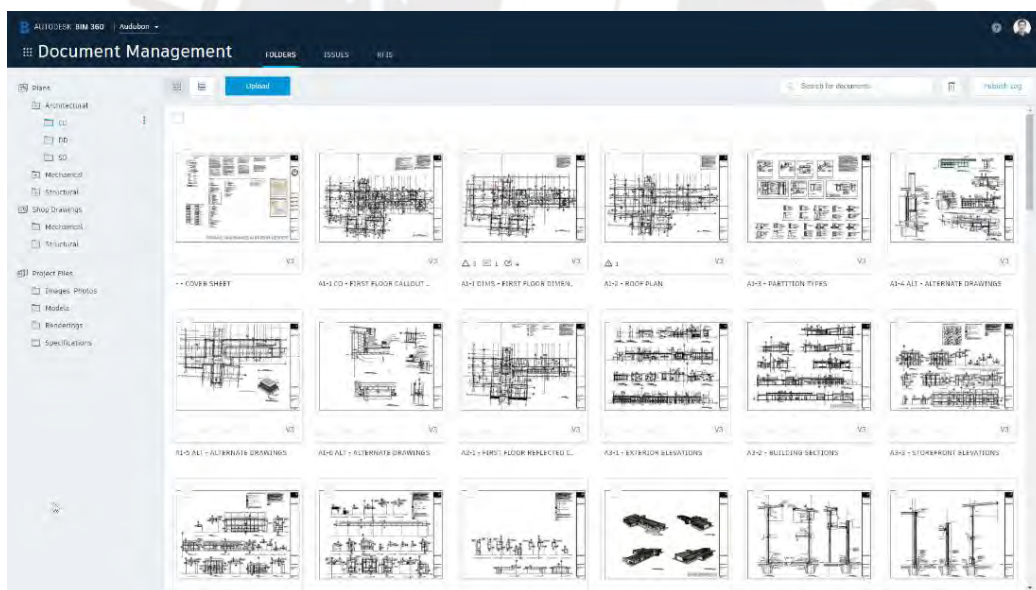


Figura 18. Interfaz de BIM360 - Autodesk Docs

Tomado de AECScene(2017) The new Autodesk BIM360 Docs interface

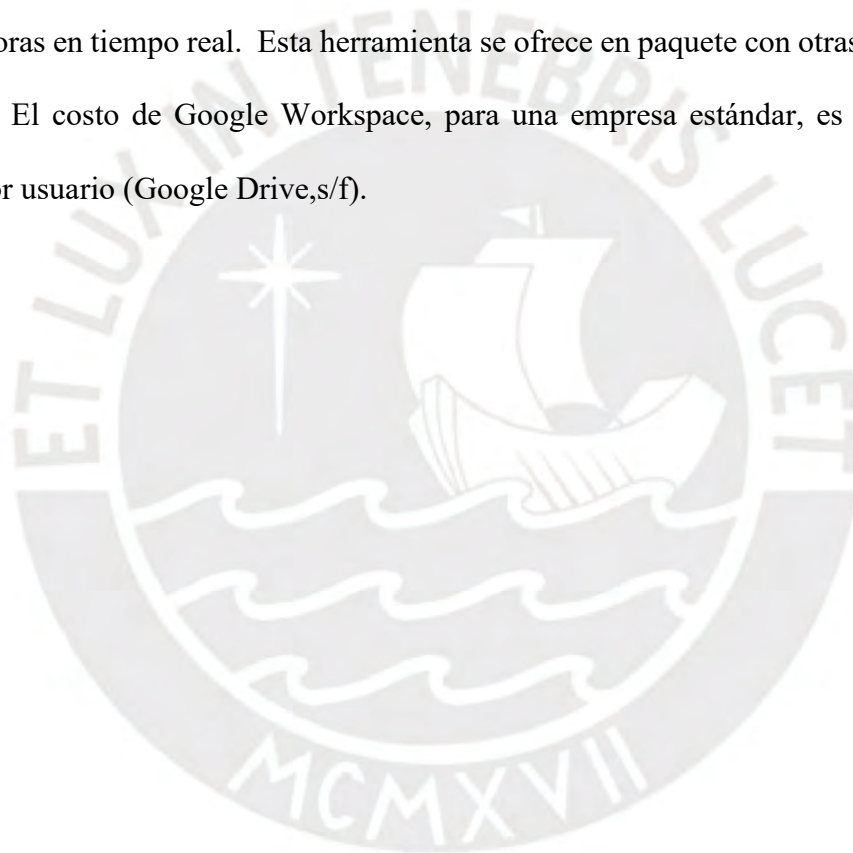
- Trimble Connect

El software Trimble Connect es una herramienta de trabajo colaborativo, la cual está conectada a la nube. Los principales beneficios son la centralización y gestión de documento

para su acceso en tiempo real, revisión y trazabilidad desde cualquier lugar en todo el ciclo de vida de un proyecto. En general, el software presenta muchas similitudes con el programa anterior. Su costo anual para una empresa es de \$ 250 por año y por usuario (Trimble, s/f).

- Google Drive

Este es un servicio de gestión de archivos que permite almacenar, crear, compartir y acceder archivos a través de un navegador en red y, asimismo, esto se puede conectar a través de computadoras en tiempo real. Esta herramienta se ofrece en paquete con otras herramientas de Google. El costo de Google Workspace, para una empresa estándar, es 10.80 dólares mensuales por usuario (Google Drive,s/f).



3. Desarrollo de investigación

3.1. Beneficios de la gestión colaborativa BIM

En base a la revisión bibliográfica realizada, se pueden destacar beneficios que desprenden de la aplicación de un sistema colaborativo BIM mediante herramientas digitales, así como se muestra en la Figura 19, los cuales se agruparon en base a cinco áreas de impacto.

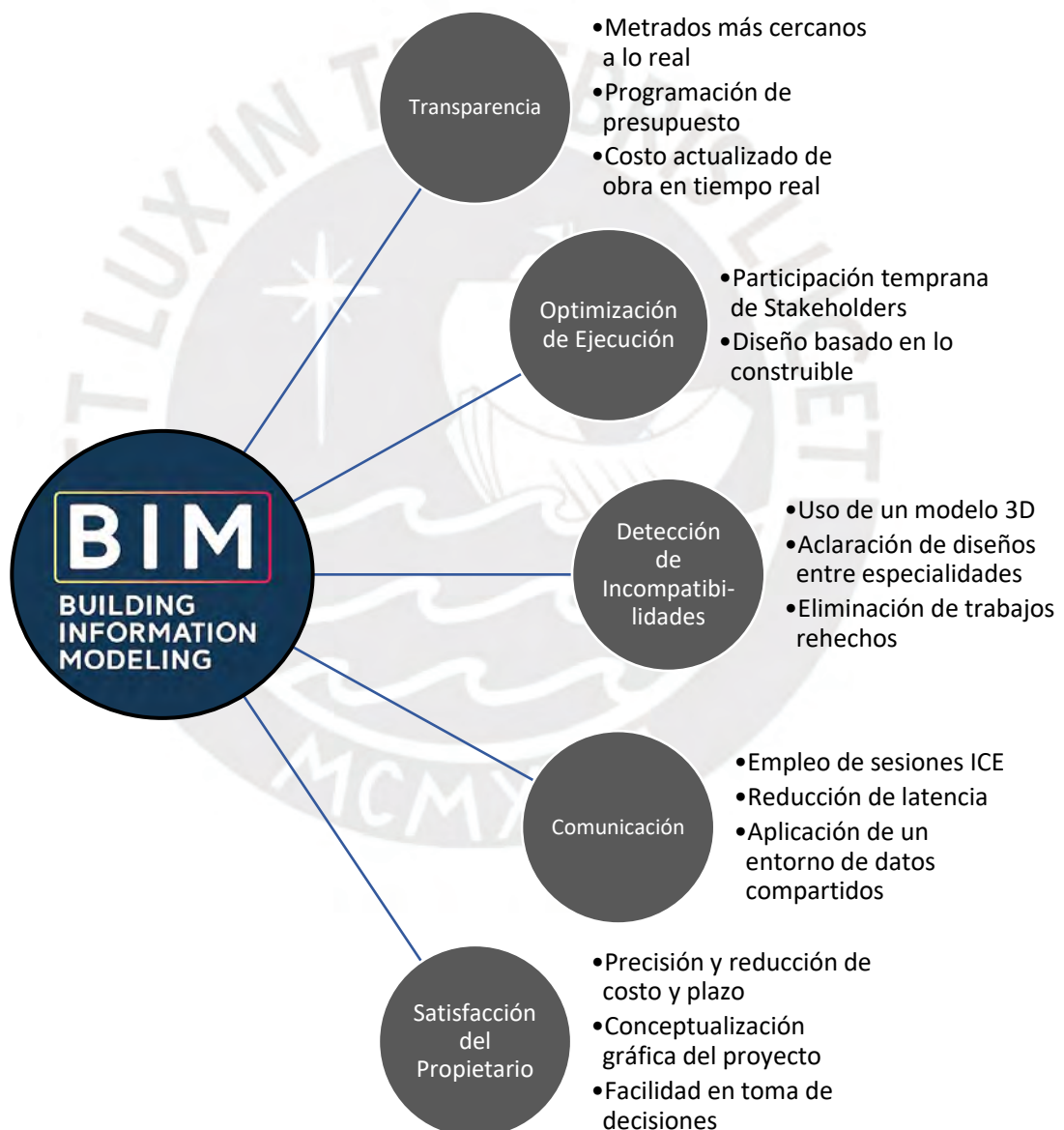


Figura 19. Beneficios de una metodología BIM.

✓ Transparencia

Como muestra el primer aspecto, en un sistema tradicional la planificación en el cronograma y el avance de un proyecto suelen estimarse en base a metrados bastante inexactos sin indicar con precisión cuánto será el porcentaje de avance para cada fecha; por otro lado, para la administración del costo, se hace empleo de porcentajes fijados del presupuesto contractual que no están relacionados generalmente al avance in situ y cuyos valores no han sido explicados al detalle. En cambio, una metodología colaborativa, al manejar un modelo unificado, permite en principio tener un metrado fidedigno sobre los materiales y visión de su nivel de calidad a través del modelo, donde, valiéndose de herramientas de presupuesto, muestra un detalle sobre el costo unitario para cada partida visible ante todos los involucrados y mediante la simulación 4D muestra cómo influirá la planificación en la etapa constructiva. Además, permite un mejor manejo de tiempo y costo en tiempo real ante los cambios en diseño, pues son datos que se corrigen automáticamente por los softwares (Behzad y Hashem, 2013).

Según un estudio del Center for Integrated Facility Engineering (CIFE), debido a la aplicación de BIM en proyectos hay una reducción del 40% de cambios fuera de presupuesto, el presupuesto se maneja desde un inicio con una precisión del 97% y el tiempo para estimar los costos se ve reducido hasta en 80% (Citado en Azhar et al, 2008).

✓ Detección de incompatibilidades

En el método de trabajo de un sistema tradicional, las incompatibilidades más recurrentes surgen por cruces de diseños entre las distintas especialidades o errores de dimensionamiento y especificaciones entre planos de diferente especialidad, tales como estructuras y arquitectura versus instalaciones sanitarias o mecánicas (González, 2014). Ellas son detectadas durante la

construcción o en sesiones previas a la ejecución, lo que implica una rápida toma de decisiones, trabajos rehechos y trámites de consulta. Sin embargo, mediante un sistema de trabajo BIM, se implica la constante revisión del modelo 3D el cual se vale de las herramientas mencionadas anteriormente para detectar inconformidades desde el surgimiento de las mismas y, por medio de sesiones ICE, permite comunicar a las especialidades involucradas, y proceder a detallar las soluciones o aclaraciones respectivas. Referido al costo de proyecto, esta ventaja puede generar un ahorro de hasta el 10% del valor contractual (Azhar et al, 2011).

✓ Satisfacción del propietario

Si bien la implementación de un sistema BIM implica un costo adicional, diferentes proyectos con aplicación BIM muestran que hay un factor de retorno de inversión en el modelo de hasta 10 veces su valor (Saldías, 2010). Se debe resaltar además que, ante el propietario, el manejo de un modelo visible 3D facilita la toma de decisiones y asegura un nivel de satisfacción mayor puesto que conoce con precisión el resultado final del proyecto.

Asimismo, un análisis realizado por Bryde, Broquetas y Jürgen (2013) para distintos casos de aplicación BIM en 35 proyectos de edificación muestra el nivel de percepción del éxito sobre el resultado acorde a puntuaciones para siete tipos de criterio: reducción y manejo del costo, reducción y manejo del plazo, mejora de comunicación, mejora en coordinación, mejora de nivel de calidad, reducción de riesgos, aclaración de alcance y mejora de organización. En el mismo, se concluye que los tres aportes principales son de reducción de costo, reducción del plazo y mejora de la coordinación como directo beneficio al propietario.

- ✓ Optimización en ejecución: participación temprana de stakeholders.

En un sistema tradicional, tiene una secuencia diseño-construcción, en el cual no existe comunicación entre ambas partes. Debido a ello, se presentan procesos de error y corrección en la etapa de construcción del proyecto. Los involucrados que se encuentran más afectados por esta deficiencia son los constructores y proveedores, los cuales se involucran en el proyecto en la etapa de construcción y cierre. Estos participantes detectan las incompatibilidades en una etapa tardía del proyecto, por el cual les resulta difícil solucionarlo ocasionando gastos de trabajos rehechos y demoras en procesos constructivos.

Caso contrario ocurre en un sistema de gestión colaborativa, el cual busca que todos los stakeholders, el cual son las personas que se involucran en las actividades del proyecto, participen simultáneamente a lo largo de proceso desde el inicio del mismo. Debido a ello, los constructores participan desde la conceptualización del proyecto, logrando detectar las incompatibilidades a tiempo junto con los otros especialistas, el cual evita realizar trabajos rehechos. Asimismo, los proveedores se involucran desde los criterios de diseño, el cual permite tener una lista de insumos y el tiempo de llegada de los mismos acordes al cronograma del proyecto. Otro involucrado que se beneficia con esta gestión colaborativa son los organismos, como las entidades de estado. La participación temprana de ellos permite la adquisición rápida de permisos y licencias de construcción, los cuales aceleran el inicio de construcción.

- ✓ Comunicación entre involucrados del proyecto

Para la correcta implementación de una gestión colaborativa, se requiere de una plataforma común de datos, en la cual los involucrados intercambien información de forma

segura. Esto permite una mejor comunicación entre los especialistas al momento de requerir un entregable de otra especialidad. Asimismo, ante cambios de información, estos se actualizan de forma rápida en todos los documentos involucrados. Caso contrario ocurre en el sistema tradicional, el cual tiene modelo 2D en sus entregables y presentan errores en la conceptualización del diseño en 3D. Otro beneficio que mejora en la comunicación de los especialistas son las sesiones ICE, los cuales permiten detectar a tiempo las incompatibilidades de los entregables y se solucionan en un menor tiempo comparado con el tradicional. Además, mejora la toma de decisiones, ya que los diversos especialistas presentan propuestas para solventar el error reduciendo el tiempo de latencia.

3.2. Proyecto Multifamiliar Carabaylo

El proyecto consiste en la construcción de una vivienda multifamiliar de 4 pisos, en el condominio “Valle Grande”. El terreno destinado para el proyecto cuenta con un área de 422.29 m² y se encuentra ubicado en la calle Vía Metropolitana del distrito de Carabaylo en la provincia de Lima. El terreno no tiene linderos ni construcciones en sus alrededores. El primer piso está destinado para el ingreso, recepción, cuarto de bombas y estacionamientos, mientras que los departamentos ocupan los otros 3 pisos típicos. La zona de estacionamientos posee un ligero desnivel de -0.55m; por su parte, la zona de recepción tiene un NPT de +0.28m. Los accesos a estas zonas se realizan mediante rampas y escaleras. El alcance del proyecto consiste del diseño arquitectónico y estructural, red sanitaria, red eléctrica, ejecución de los acabados arquitectónicos, implementación de aparatos sanitarios, eléctricos y mecánicos, y el amoblado del área de cocina de los departamentos.

La edificación presenta un sistema estructural de muros y presenta regularidad en planta y altura. Con respecto a la red de agua, se plantea la construcción de una cisterna enterrada,

que proveerá agua mediante el uso de dos bombas hidráulicas. Otros equipos mecánicos que incorpora el proyecto son el ascensor, el cual es del tipo *gearless* con capacidad para 6 personas, por lo que no se plantea un cuarto de máquinas. El ascensor permite el ingreso directo a las viviendas, por ello posee 2 puertas de acceso en 180°. Asimismo, el proyecto exige la instalación de 2 motores que permitan la automatización de las puertas corredizas para el ingreso al estacionamiento.

El costo directo determinado para el proyecto es de aproximadamente 1.74 millones de soles y se planea ejecutar en 7 meses. Las especialidades de arquitectura y estructuras tienen un costo directo parcial de 624.4 y 601.7 miles de soles, que representan un 70% del costo directo. El presupuesto destinado para los gastos generales del proyecto representa un 15% del costo directo. Para la estimación del tiempo, se ha planteado ejecutar las excavaciones, y construcción de cimientos y falso piso, en un mes y medio. Posterior a ello, se estima una semana y media para la ejecución un piso del casco estructural, avanzando las actividades por sectores. En paralelo, posterior a un mes del vaciado de concreto, se empiezan a ejecutar las partidas de arquitectura como tabiquería, y finalmente los acabados, culminando así el proyecto en 7 meses.

El costo y plazo para la elaboración del expediente técnico se establece mediante ratios de proyectos similares elaborados siguiendo la metodología tradicional. Debido a ello se plantea un plazo de 4 meses para la elaboración del expediente técnico y un costo aproximado de S/. 250 000.00.

3.3. Análisis de sistemas y herramientas digitales

Basándose en la revisión de literatura presentada se desarrollará la explicación del flujo y participación de los programas descritos a través de las fases del proyecto de construcción; asimismo, se comparará el empleo de tales para cada aspecto del ejecutable.

3.3.1. Caracterización e incidencia por etapa de proyecto

Conociéndose cuáles son las fases del proyecto y cuáles los softwares a evaluar, se establece la participación de cada uno como lo indica la Figura 20:



Figura 20: Herramientas digitales en el ciclo de vida

En el desarrollo de una correcta gestión colaborativa, se necesita establecer un entorno de datos compartidos, en el cual los especialistas involucrados en el proyecto intercambian información de forma segura en una plataforma común. Esta estrategia de información se encuentra conformada por cuatro estados, los cuales indicarán la actualización del entregable. Esto se debe a que esta información necesita ser aprobada y revisada por el encargado de la gestión de la información para ser compartida con las otras especialidades, el cual ocasionaría ser la base de toda la gestión colaborativa. Esta información se emplea desde la etapa de conceptualización de diseño hasta la etapa de operación y mantenimiento, el cual se indica en la Figura 20. Se encuentran diversos entornos de datos que cumplen dichas funciones, las más representativas son Google Drive, BIM360 Docs y Trimble Connect.

El modelado 3D permite representar en tercera dimensión los elementos geométricos que conforman el proyecto. Asimismo, se decide el nivel de desarrollo (LOD) dependiendo las condiciones del entregable de la especialidad. En la figura 20, se observa el periodo del empleo del modelo 3D, el cual se realiza desde la etapa de conceptualización de diseño hasta la etapa de operación y mantenimiento. La etapa inicial del proyecto consta de desarrollar el diseño conceptual del mismo, el cual tiene que cumplir las necesidades y necesidades del cliente. En esta etapa se sugiere un nivel de desarrollo LOD 100, donde se define gráficamente los elementos en tamaño, forma y ubicación.

A continuación, se desarrolla del expediente técnico, el cual es un conjunto de documentos de carácter técnico o económico que permite la correcta ejecución de obra y desarrollado por las diferentes especialidades. Estas se diferencian en arquitectura, estructuras e instalaciones sanitarias y eléctricas. Según el planteamiento del PEB, se establece el nivel de desarrollo para el entregable de cada especialidad. El nivel de detalle en esta etapa va de un LOD 300 a 400. Posteriormente a ello, se encuentra la etapa de construcción, donde con ayuda

de los visores como BIMVision y BIMx se detectan las incompatibilidades de construcción. Otra característica de los visores es su uso desde tempranas etapas del ciclo de proyecto ya que ayuda a identificar las incompatibilidades entre modelos y el acceso a la visualización del mismo desde una gran variedad de dispositivos. Asimismo, se pueden añadir complementos que permiten expandir las funciones en la obtención del metrado. Finalmente, el modelo BIM puede ser entregado al cliente para que pueda realizar las operaciones de mantenimiento con mayor facilidad.

Los softwares de diseño de estructuras permiten evaluar si la edificación se encuentra estable, segura y rígida acorde a la normativa vigente. Los softwares que ayudan a realizar el diseño estructural de forma segura y rápida son TEKLA STRUCTURES DESIGNER, ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL, ETABS y SAP2000. Estos programas ofrecen herramientas de modelado y visualización de objetos 3D, capacidad analítica lineal y no lineal. Asimismo, estos softwares poseen una gran variedad de materiales, opciones de dimensionamiento y representación de resultados más entendibles y amigables al usuario.

A partir de la compatibilización final del modelo 3D, se puede iniciar con el desarrollo del modelo 4D, el cual incorpora la planificación de la ejecución del proyecto. Inicialmente es necesario establecer una Estructura del desglose del trabajo (EDT). Esencialmente, esto consiste en darle orden e identificar las secuencias entre las partidas establecidas durante la elaboración de las especificaciones técnicas para cada especialidad. Con respecto al nivel de detalle que deben tener estas actividades, esto no se encuentra estandarizado, por lo que depende de una decisión de parte del equipo del proyecto. En Perú, el sistema de planificación más usado es el sistema Last Planner, el cual es parte de la metodología Lean Construction. Este sistema plantea un nivel de detalle progresivo a medida que se va acercando a la ejecución de la actividad. Entonces, definido las actividades y el nivel de detalle, se elabora el cronograma

del proyecto, el cual puede ser elaborado por los softwares que se indican en la Figura 20 Ms Project es una herramienta de apoyo que, si bien no permite realizar simulaciones 4D, facilita la elaboración de cronogramas que luego pueden ser vinculados a softwares tales como Navisworks y Synchro. El cronograma se realiza mediante la estimación de tiempos y recursos para el proyecto, por lo que siempre está sujeto a cambios. Es debido a esto, que el modelo 4D es esencial para el control y monitoreo durante la etapa de ejecución.

Un modelo 5D incorpora el presupuesto al modelo 4D previamente desarrollado. Un modelo BIM 5D permite calcular las cantidades de materiales de obra, gracias a que el modelo es una representación digital de los elementos del proyecto de construcción, además permite modelar otras obras como rellenos o excavaciones (Galvis et. al, 2014). Esta cantidad de materiales, es lo que en Perú se conoce como “metrados”, el cual en la gestión tradicional es elaborado manualmente mediante el uso de plantillas de Excel, en los cuales se transcriben las medidas establecidas en los planos. El beneficio de obtener materiales directamente a través de un software, es que se pueden obtener mediciones mucho más precisas, lo que culminaría en un presupuesto mucho más acertado. En la Figura 20, se plantea el uso de un modelo 5D durante la ejecución del proyecto, ya que permiten el monitoreo, así como apoyo para la sustentación de las valorizaciones. De igual manera, permite advertir las variaciones en el presupuesto y plazo, en caso se realice algún replanteo.

3.3.2. Elección de metodología de gestión colaborativa

La industria de la construcción presenta problemas por baja productividad, por ello, el Plan Nacional de Competitividad y Productividad mediante la medida política denominada Plan BIM Perú plantea modernizar y digitalizar los sistemas de formulación, ejecución y funcionamiento de proyectos de inversión. La medida política busca garantizar la eficiencia de

las inversiones mediante la adopción de un sistema moderno, sostenible y funcional el cual, de acuerdo al contexto global, es la implementación de BIM en los procesos.

En la actualidad existe la metodología de diseño virtual y construcción, más conocida por su acrónimo VDC, la cual se ha desarrollado como un método eficiente de obtener proyectos caracterizados por una mejor calidad, así como también, menores tiempos y costos (Cabrera, 2018). La metodología emplea como herramienta base los modelados BIM y en conjunto con estrategias de gestión y comunicación permiten generar un entorno colaborativo con enfoque a la mejora continua. En adición, la metodología permite a los usuarios realizar evaluaciones de alternativas de diseño, lo cual aporta a prevenir con anticipación aspectos ligados a impactos en costos y mantenimiento que se pueden generar en la infraestructura. Las ventajas de la implementación de la metodología VDC y del desarrollo de modelos BIM son múltiples y van de acuerdo a los objetivos del proyecto. No obstante, la implementación de sistemas complejos como el VDC, generalmente se da en proyectos de gran envergadura, los cuales permiten una sostenibilidad entre el costo de implementación y la reducción de pérdidas.

En el sector constructivo peruano, según lo expuesto en el segundo estudio de adopción BIM, el uso de BIM, en la modelación de proyectos de construcción, se da con mayor frecuencia hasta una tercera dimensión y, debido al alto nivel de colaboración interorganizacional, los usos ligados a la cuarta dimensión son muy bajos (Murguía, 2021). Según lo mencionado y en base al alcance del proyecto, el cual es una vivienda multifamiliar se va a considerar una propuesta de implementación de BIM hasta la cuarta dimensión.

El nivel de detalle final en los diseños de las especialidades de estructuras, arquitectura, instalaciones sanitarias y eléctricas va a ser un LOD 350, el cual está definido por BIM Forum cuando el modelo es representado gráficamente en el modelo como un sistema u objeto

especifico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación, orientación e interfaces con otros sistemas de proyecto. El fundamento por el cual se define este nivel de detalle radica en que un LOD 350 muestra elementos, como soportes o conexiones, y proporciona información que serán de utilidad para la ejecución del proyecto. Cabe mencionar que el ascensor es un equipo moderno y dicho nivel de detalle es beneficioso para su instalación; asimismo, sirve para proyectar al mantenimiento del mismo.

3.3.3. Matriz comparativa de sistemas y herramientas digitales

En esta sección, se aborda un análisis multicriterio para realizar una comparación de los sistemas y herramientas digitales, y seleccionar aquellas más aplicables para el proyecto multifamiliar de Carabayllo. Se utilizará diversas matrices comparativas para seleccionar un software para establecer un CDE, un modelado 3D, 4D y 5D, y, asimismo, se seleccionará un visor. Cabe recalcar que, para cada caso mencionado, se evalúa si el uso de la herramienta es necesario o se omite según requerimientos del proyecto.

Para optar por una opción en cada ámbito, se realizará una comparación cualitativa teniendo en cuenta la magnitud tanto de la empresa encargada como del proyecto ejecutable, así como la difusión en el mercado peruano y otros factores como su uso en el mercado, su demanda, los requerimientos del sistema para el uso de la herramienta digital, herramientas de trabajo colaborativo incluidas, características de la plataforma, y, finalmente, se evaluará con respecto a su precio.

A continuación, se presentan las tablas comparativas y la sustentación para la selección de las herramientas digitales para establecer un CDE, un modelado 3D, 4D y 5D, y un visor.

- **Entorno de Datos Compartidos (EDC)**

Para el entorno de trabajo colaborativo, se evalúan los softwares BIM360 Docs, Trimble Connect y Google Drive tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Comparación entre softwares de EDC.

Factores	PLATAFORMAS IDC		
	BIM360 Docs	TRIMBLE CONNECT	GOOGLE DRIVE
Compatibilidad	Windows 10. Para móviles con Android o iOS.	Windows 10. Para móviles con Windows, Android o iOS.	Con Windows 7 en adelante. Para móviles con Android o iOS.
Difusión	El más empleado a nivel nacional para este rubro.	Mayor difusión en la zona europea. No hay registro de uso en Perú.	Emplo masivo por diferentes usuarios, no exclusivo de proyectos.
Trabajo colaborativo	<p>Visor de modelos IFC en tiempo real y simultáneo</p> <p>Permite asignación de tareas y definición de roles</p> <p>Colaboración con todo software del grupo Autocad</p> <p>Lector de modelo 3D con posibilidad de navegación y anotación</p> <p>Integración con herramientas de Microsoft Office</p> <p>Puede alcanzar la fase 7D de modelado</p>	<p>Visor de modelos IFC en tiempo real y simultáneo</p> <p>También permite formatos CPA, DWG, RVT, DXF, DGN, STEP</p> <p>Trabaja con modelos Revit, Tekla E structures, SketchUp y Vico office.</p> <p>Permite mensajería entre los involucrados</p> <p>Lector de modelo 3D con posibilidad de navegación y anotación</p> <p>Integración con herramientas de Microsoft Office</p>	<p>Permite el rápido intercambio de todo tipo de archivo</p> <p>Para abrir un formato especial requiere de complementos</p>
Características plataforma	Plataforma de gran calidad y con pestañas diferenciables	Navegación intuitiva, maneja pestañas diferenciables	interfaz clara, de fácil interpretación
Orientado a	Empresas Grandes	Empresas medianas o grandes	Toda empresa o usuario
Valor agregado	Integra la función de detección de incompatibilidades	Permite trabajar el modelo superpuesto empleando realidad mixta.	No requiere conocimientos previos. Sirve de complemento.
Precio	\$ 420 / anual	\$ 250 / anual	\$ 125 / anual

Respecto a BIM360 Docs y Trimble Connect, ambos son programas más completos y orientado a proyectos de construcción que trabajan con almacenamiento en la nube, y permiten la visibilidad y navegación de los modelos 3D de forma simultánea. Ambos implementan la lectura de todo tipo de modelo generado, la facilidad de generar anotaciones, una integración de los programas Office para edición de documentos, manejan un historial de ediciones y permiten restringir los accesos por especialidades. Entre ellos BIM360 docs permite una mayor coordinación con la designación de tareas y la definición de roles, así como la sencilla integración de modelos de softwares Autodesk. Google drive, en cambio, si bien presenta la plataforma más empleada a nivel de usuario, el enfoque que maneja no es hacia proyectos de construcción por lo que la visibilidad y navegación en modelo no es posible y para la lectura de archivos de formato especial requiera la implementación de extensiones.

Para fines del proyecto, se opta por emplear al Google Drive como un complemento para el almacenamiento de documentación o respaldos; sin embargo, principalmente, para el manejo de los modelados se empleará la herramienta BIM360 Docs, por su afinidad a los demás programas a emplear puesto que pertenecen al mismo desarrollador Autodesk.

- **Modelado 3D**

Para el modelado 3D, se evalúan los softwares Revit, Archicad y Aecosim como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparación entre softwares de modelado 3D.

Factores	3D		
	REVIT	ARCHICAD	AECOSim
Uso en el mercado	Uso para modelado de la información de proyecto de edificaciones	Uso para el modelado tridimensional de proyectos en la especialidad de arquitectura	Uso para modelado de la información de proyectos de gran infraestructura
Demanda uso en el mercado	Alta demanda en Perú para edificaciones	Alta demanda en Perú para la especialidad de arquitectura	Alta demanda en proyectos de infraestructura compleja
Requerimiento de sistema	Windows 7/8/10	Windows 10 y MacOS 10.15	Windows 7/ 8/ 8.1/ 10
Trabajo colaborativo	Intercambio de información mediante IFC Intercambio de información bidireccional con softwares de Autodesk como Naviswork, Robot, entre otros	Intercambio de información mediante IFC Cuenta con integración directa con Solibri el cual es un software de coordinación 4D y 5D más potente que Naviswork	Intercambio de información mediante IFC Intercambio bidireccional de información con el portafolio multidisciplinario de aplicaciones de modelado de diseño, análisis y construcción de Bentley
Características plataforma	Plataforma amigable e intuitiva por ser conocida en el mercado Soporte por email y Custom center	Es un programa de elementos finitos y la interfaz que presenta es amigable a los usuarios Soporte por email y Custom center	Aprendizaje y soporte técnico online 24/7
Valor agregado	Sistema Raytracer para renderizado el cual permite realizarlo en la nube mediante la aplicación Autodesk 360	Modelado push/pull, la geometría es instantánea y personalizable	Presenta una aplicación de render integrada el cual es de alta gama. El software también tiene en cuenta el análisis de energía conceptual y proporciona cargas máximas, cálculos de energía anual, consumos de energía, emisiones de carbono y costos de combustible.
Precio	\$2545/año	\$2412/año	\$5633/año

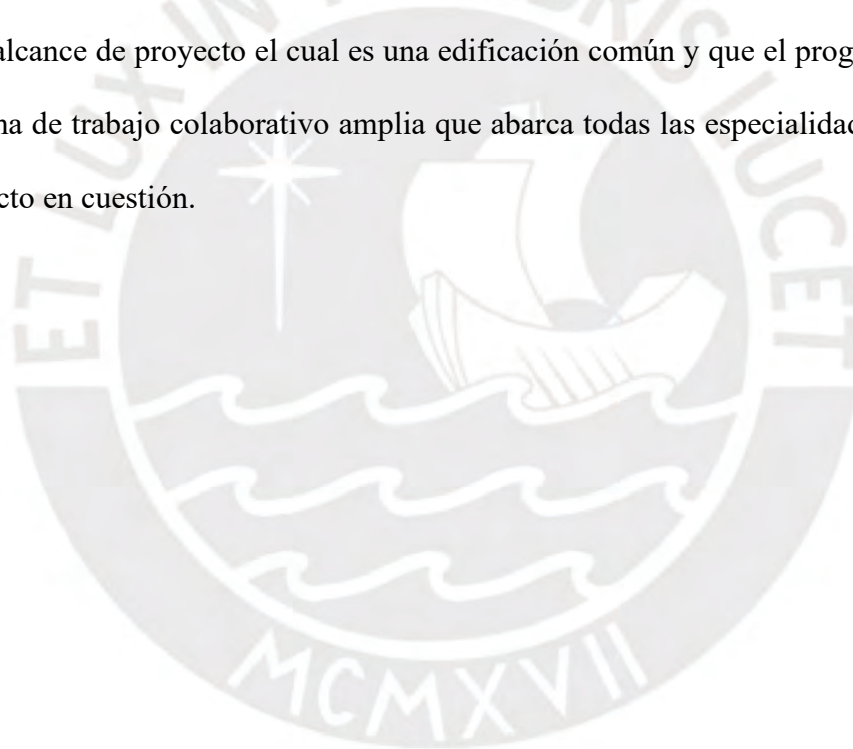
Respecto a los programas 3D, se presentan múltiples softwares para el modelado tridimensional de las estructuras. Entre los más populares, según la encuesta de la comisión Interministerial BIM publicada el año 2017 el software presenta el mayor porcentaje de demanda de uso, se considera al software Revit el cual es desarrollado por la empresa Autodesk (MITMA mencionado en ESPACIOBIM, sf). Revit permite al usuario crear diseños basados en modelos coordinados; dicho software permite agrupar las disciplinas de arquitectura, ingeniería, instalaciones mecánicas, sanitarias y eléctricas en un modelo unificado. El programa permite al usuario un flujo de información eficiente con los programas de la misma empresa mediante la importación de modelos nativos; asimismo, puede realizar trabajos colaborativos con otros softwares de diferentes empresas mediante los formatos IFC. En adición, el programa posee herramientas de planificación y un sistema Raytracer el cual permite renderizar los modelos en la nube mediante la aplicación Autodesk 360. Sin embargo, el software al presentar una gran variedad de aplicaciones requiere equipos de gama alta para el correcto funcionamiento.

De manera similar, el software ARCHICAD presenta una alta demanda para el modelado tridimensional de proyectos de la especialidad de arquitectura. El software de manera homologa a Revit presenta la opción de trabajo colaborativo con otros programas mediante los ficheros IFC. Asimismo, el programa está caracterizado por un modelado de sistema push/pull mediante la cual se crea una geometría instantánea y personalizable en adición a una herramienta de extrusión múltiple la cual permite el desarrollo de un diseño de concepto sencillo.

Igualmente, el software de la empresa alemana Bentley AECOSim es una de las opciones para el trabajo colaborativo. El programa es conocido por su capacidad para procesar proyectos

complejos de gran infraestructura. Como se observa en la tabla, el software presenta características similares a Revit al presentar facilidad de flujo de información entre los softwares propios de la empresa y la opción de compartir información mediante el formato IFC. El software presenta una aplicación de render integrada de alta gama y cuenta con aplicaciones que permiten el análisis de energía, cálculos de consumos de energía, emisiones de carbono y costos de combustible.

Para la selección del software, se opta por seleccionar Revit debido a la alta demanda de uso lo cual permite que el nivel de especialización del software sea mayor. En adición, se considera el alcance de proyecto el cual es una edificación común y que el programa presenta una plataforma de trabajo colaborativo amplia que abarca todas las especialidades requeridas para el proyecto en cuestión.



- **Modelado de Estructuras**

Se elaboró una matriz comparativa para la selección del software de estructuras, la cual se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Comparación entre softwares de modelado para estructuras.

ESTRUCTURAS					
Factores	ETABS	SAP2000	Tekla Structures	Tekla Structural Designer	Autodesk Robot Structural
Uso en el mercado	Uso para análisis y diseño de proyecto de edificaciones	Uso para el análisis y predimensionamiento de todo tipo de estructura (puentes, edificios, presas, otros más)	Uso para detalles de acero, prefabricados, y detalles de concreto armado dirigido para ingeniero y contratista para proyecto desde pequeña a alta complejidad	Uso para análisis y diseño de manera eficiente y rentable	Uso para diseño y análisis proyecto estructuras grandes y complejas debido a capacidades avanzadas de análisis estructural
Demanda uso en el mercado	Alta demanda en Perú para edificaciones	Alta demanda en Perú para todo tipo de estructuras	Demanda para proyecto complejos	Demanda para proyecto complejos	Demanda para proyecto complejos
Requerimientos del sistema	Windows 7,8 y 10	Windows 7,8 y 10	Windows 8.1 y 10	Windows 8.1 y 10	Windows 10
Desventajas/ventajas durante el análisis y diseño	Requiere programas adicionales para análisis de losas y cimentaciones	Software más completo en relación a su versatilidad en analizar las estructuras	Crea y modifica dibujos de prefabricado, cast-in-situ y acero	Produce automáticamente documentación precisa y detallada (reportes de cálculo, presupuesto material y dibujos) Diseño automático y eficiente Compara esquema de diseño	Tecnología MEF
	Intercambio de información mediante IFC	Intercambio de información mediante IFC	Gran nivel de detalle (hasta LOD 500)		
Trabajo colaborativo	Interoperabilidad bidireccional con TEKLA	Interoperabilidad bidireccional con TEKLA	Intercambio de información mediante IFC	Intercambio de información mediante IFC	Intercambio de información mediante IFC
	Integración con Revit mediante CSI Revit	Integración con Revit mediante CSI Revit	Integración con Revit y especialidades	Diseño con Tekla Structures o Revit	Intercambio bidireccional con Revit
			Posee Tekla Open API integra con otros softwares de esta rama	Sincronización inteligente	Integración con softwares de Autodesk en especial con Advanced Steel
			Herramientas de planeamiento 4D	Información en tiempo real	API abierto y flexible
			Trabajo multiusuario	Exportar datos en un rango amplio de formatos	Generación de reportes
			RFI y detección de interferencias		
			Generación de documentos en tiempo real (reportes, materiales, dibujos)		
Características plataforma	Plataforma amigable e intuitiva por ser conocida en el mercado	Es un programa de elementos finitos y la interfaz que presenta es amigable a los usuarios	Aprendizaje y soporte técnico online 24/7	Aprendizaje y soporte técnico online 24/7	Aprendizaje y soporte online
	Soporte por email y Custom center	Soporte por email y Custom center			
Precio	\$5000/año	\$5000/año	-	\$7500/año	\$3115/año

Con respecto a los softwares para la especialidad de estructuras, se presenta diversos programas para su análisis, dibujo y diseño de estructuras. Entre los más recalculables para un trabajo colaborativo, se encuentra Tekla Structures y Tekla Structures Designer como un paquete de softwares BIM pertenecientes a la misma empresa con múltiples herramientas de colaboración como se observa en la Tabla 4 que permiten un flujo de información más eficiente entre diversos colaboradores en tiempo real. Asimismo, posee herramientas de planificación y presupuesto automáticos que ninguno de los otros softwares en comparación posee. Sin embargo, una desventaja con respecto a este programa es que el uso de estos softwares está orientado a proyectos de alta complejidad donde se requiere un gran nivel de detalle especialmente si son estructuras de acero, prefabricado o cast-in-situ. Con respecto a su precio, se debe realizar una cotización con alguno de los distribuidores autorizados en el país.

De igual manera, Robot Structural presenta una integración con BIM mediante IFC y especialmente con otros softwares de la misma familia de Autodesk como Advance Steel y Revit en la cual la información se comparte de manera bidireccional de manera muy efectiva. Por otro lado, a pesar de que no posee tantas ventajas con respecto a los anteriores programas mencionados, este software posee gran capacidad de análisis y diseño estructural para proyectos complejos, pues utiliza el método de elementos finitos. Se resalta que su precio es el menor a los demás softwares analizados y viene acompañado con otros softwares de Autodesk, lo cual es una ventaja a favor de otras.

Asimismo, se presentan dos softwares que provienen de la misma empresa: ETABS Y SAP2000. Como se observa en la Tabla 4, estos poseen las mismas características de interoperabilidad, pero se diferencian en que la última plataforma es aplicable a diferentes tipos de estructuras desde edificaciones hasta más complejas, mientras que ETABS se centra más en

el análisis de edificaciones y es más limitado en su análisis. SAP2000 presenta técnicas de mallado muy sofisticadas que permiten un mejor análisis de la edificación misma y permite analizar otros elementos estructurales independientes como losas o cimentaciones.

Para la selección del programa para el proyecto en cuestión, se optó por seleccionar SAP2000 debido a que, en el Perú, según conocimiento propio obtenido en la universidad, tanto su uso como demanda es alta y presenta una plataforma muy amigable a comparación de otras, lo cual permite que el nivel de especialización o de conocimiento del programa sea mayor. Asimismo, este software es muy aplicado para proyectos de edificaciones pequeñas como es este proyecto en cuestión y permite a la vez realizar un análisis más detallado.

La única desventaja con respecto este es su precio y su falta de herramientas de colaboración; sin embargo, si se optará por otros programas más complejos, como Robot Structural o aquellos provenientes de Tekla, se requería de personal más especializado que sepa manejar este programa, lo cual conllevaría a una inversión en capacitaciones y probablemente un flujo de trabajo más lento. Por tanto, se destaca como un factor para la toma de decisión el nivel de especialización.

Para contrarrestar su falta de herramientas colaborativas, se utilizará un enlace llamado CSI REVIT de la empresa del software SAP2000 que permitirá un intercambio de información bidireccional para la etapa de diseño conceptual y el desarrollo del diseño de la edificación junto a las demás ingenierías y el equipo de arquitectura. Cabe recalcar que esta tiene un costo adicional al costo del programa de 500 dólares (CSI, s.f.). A pesar que su costo sea un poco elevado, esta herramienta permitirá un trabajo más continuo, ya que no será necesario la realización de planos a detalle para realizar los modelos de estructuras en Revit y se permitirá rápida compatibilización con las otras especialidades.

- **Modelado 4D**

Se elaboró la Tabla 4 para mostrar los softwares de planificación que servirán para elaborar la programación de obra:

Tabla 4. Comparación entre softwares de modelado 4D.

MODELACIÓN 4D: PLANIFICACIÓN			
Factores	Navisworks	SynchroPro	Ms Project
Uso en el mercado	Uso para planificación, detección de incompatibilidades y simulación 4D.	Uso para planificación, detección de incompatibilidades y simulación 4D.	Uso exclusivo para diagramas Gantt de planificación
Demanda uso en el mercado	Regular demanda en Perú para edificaciones. El reporte BIM señala un uso de 60% en Perú.	Nivel bajo de demanda en América. El reporte BIM señala un uso estimado de 4% en Perú.	Demanda para proyectos de cualquier ámbito.
Requerimiento de sistema	Windows 10	Windows 7, 8, 10 y Windows Server 2012 hasta 2019	Windows 10 y Windows Server 2019
Requisitos	Requiere conocimiento y complementación con programas de modelado.	Requiere conocimiento y complementación con programas de modelado.	No maneja un modelo 3D,
Trabajo colaborativo	Intercambio de información mediante IFC Trabajo interactivo con plataformas del grupo Autodesk Permite simulación 4D mediante conocimientos de animación Detección detallada de interferencias Navegación con perspectiva y renderizado de modelo	Intercambio de información mediante IFC Permite interacción con: Asta, Project, Primavera, Excel Permite intercambio con softwares de modelación: del grupo Autodesk, Bentley, SketchUp, Catia, Unigraphics Importa cualquier tipo de modelado 3D y lo convierte a su formato Permite la edición y generación de nuevos modelos.	Permite exportar sus diagramas Permite trabajo simultáneo mediante OneDrive Permite automatizar la asignación de tareas
Características plataforma	Interfaz intuitiva y familiar a softwares Autodesk	Interfaz ligeramente complicada.	Claro y fácil de manejar. Es de uso genérico.
Valor agregado	Trabaja de manera más fluida ante modelos pesados. Genera animaciones	Software de interfaz más amable. Navegación más didáctica.	Software ligero y básico, no demanda un procesador o tarjeta dedicado.
Precio	\$ 2400 / anual	\$ 4000 / anual	\$ 660 / anual

Para el caso de simulaciones 4D, los softwares Navisworks y SynchroPro resultan ser los más completos para la detección de incompatibilidades, para la planificación y simulación 4D mediante sus herramientas de animación, interoperabilidad con distintos programas de modelación arquitectónica y estructural, renderizados de alta definición y fluidez en navegación sobre el modelo. Por un lado, Navisworks destaca por su popularidad en el mundo y a nivel de Perú ha alcanzado un mayor nivel de especialización (Murguía, 2021), mientras que SynchroPro conviene en un programa más independiente, de menor requerimiento y con mayor facilidad de conversión de modelos 3D. Otro software como Ms Project no maneja un nivel de simulación ni modelado por lo que se integra a este grupo por el exclusivo manejo de diagramas Gantt que sirven de base para la planificación de los programas mencionados, por lo cual su data suele importarse a tales. Se decide que la opción adecuada para el estudio vendría a ser Navisworks, debido al grupo de Softwares designados previamente con los que presenta mayor interoperabilidad y por el nivel de popularidad que goza el programa en la zona del proyecto.

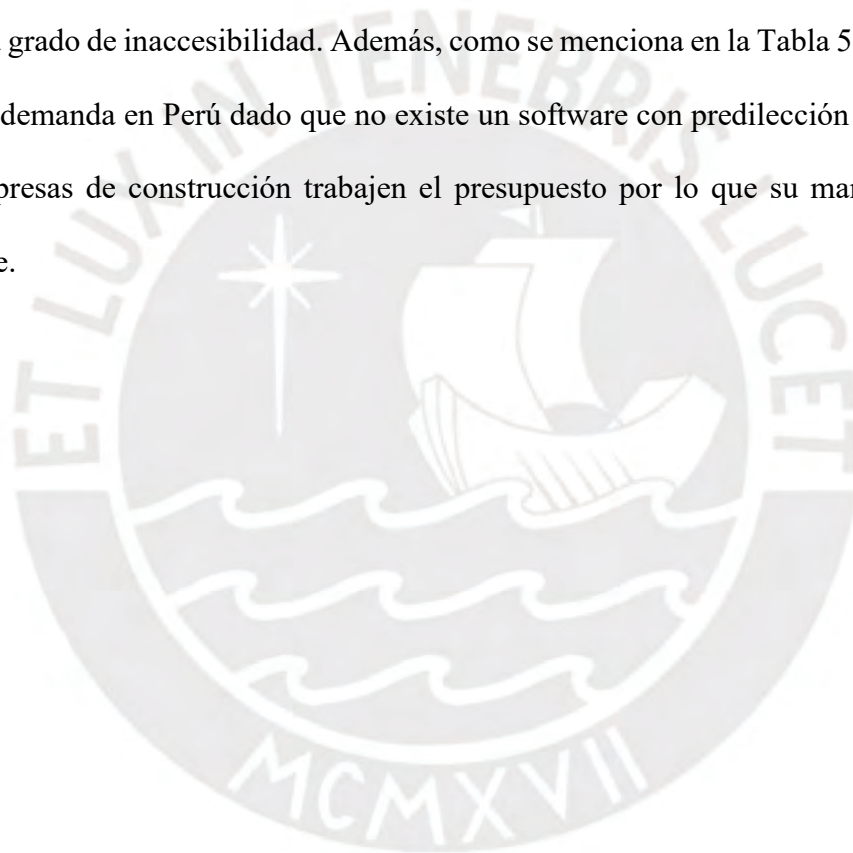
- **Modelado 5D**

Para el modelado 5D, se evalúan los softwares Arquímedes y Presto como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Comparación entre softwares de modelado 5D.

Factores	MODELACION 5D: PRESUPUESTO	
	ARQUIMEDES	PRESTO
Uso en el mercado	No presenta registros de demanda en Perú	No presenta registros de demanda en Perú
Demanda uso en el mercado	Demanda en planificación de edificaciones	Demanda en planificación de edificaciones
Requerimiento de sistema	Windows 10	Windows 10
Desventajas/ ventajas	<p>Presenta un Generador de Presupuestos, sin embargo, no es personalizable</p> <p>Posee una gran biblioteca de bases de datos con precios que son actualizados periódicamente</p> <p>Permite el control de costes durante la ejecución del proyecto</p>	Permite el desarrollo de facturación de las actividades
Trabajo colaborativo	Intercambio de información mediante FIEBDC-3 (Formato de Intercambio Estándar para Bases de Datos de la Construcción)	<p>Intercambio de información mediante IFC</p> <p>Intercambio de información con Microsoft Office, Primavera, Revit y otros programas utilizados en el proyecto y la ejecución de obras</p>
Características plataforma	Plataforma amigable e intuitiva por ser conocida en el mercado	Plataforma amigable
Valor agregado	Presupuesto y medición de modelos BIM	Presenta tres módulos orientados a revit los cuales permiten presupuestar, planificar y certificar los modelos
Precio	\$145/año	\$510/año

Respecto a los softwares de BIM 5D, se rescata que Arquímedes y Presto son programas eficientes en la generación detallada de presupuesto, aunque continúen en desarrollo, destacando el primero por una interfaz más amigable. Los softwares en mención presentan múltiples similitudes respecto a funciones como la conectividad con Revit para realizar presupuestos. No obstante, para efectos del proyecto se opta por no alcanzar este nivel de BIM debido al alto costo de implementación para la construcción de un edificio multifamiliar de 4 pisos y por su grado de inaccesibilidad. Además, como se menciona en la Tabla 5, los softwares no presentan demanda en Perú dado que no existe un software con predilección a nivel global para que empresas de construcción trabajen el presupuesto por lo que su manejo suele ser independiente.



- **Visores**

Se elaboró una matriz comparativa para la selección de un visor para el proyecto, el cual se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Comparación entre visores de modelo 3D.

Factores		VISORES		
		BIMx	BimVISION	usBIM.browser
Requerimiento de sistema	App móvil	Android 8.0+/ Apple iOS 12+	Window 7+	Window 7+
	CPU	Window 10/MacOs13+		
Trabajo colaborativo	<p>Visor de modelos IFC en tiempo real</p> <p>Acceso mediante aplicaciones portátiles, por escritorio y browser</p> <p>Visor documentos 2D e hyper-modelo 3D</p> <p>Acceso información BIM modelos</p> <p>Fácil acceso y compartición mediante visor web</p> <p>Integración con BIMCloud y Graphisoft</p> <p>Corte 3D en tiempo real</p> <p>Soporte Google Cloud Print</p> <p>Mediciones en plano 2D y 3D (versión PRO)</p> <p>Anotaciones (versión PRO)</p>	<p>Visor de modelos IFC</p> <p>Opcion de corte y seccion transversal</p> <p>Vistas con transparencia total o parcial</p> <p>Formato BVF (permite guardar IFC)</p> <p>Monotorizar y gestiona cambios en el proyecto</p> <p>Interfaz para plugins de gestión colaborativa</p> <p>API</p> <p>Mediciones área, peso y volumen</p>	<p>Visualizar y gestionar directamente online modelo 3D con cualquier dispositivo de diferentes formatos (IFC, EDF, EDL, etc)</p> <p>Federar varios modelos IFC en vista única</p> <p>Colaborar y compartir con usuarios en tiempo real</p> <p>Utilizar Issue modelo y comentar el archivo IFC directamente sobre el modelo</p> <p>Información extra agregando los #TagBIM</p> <p>Disponibilidad para adjuntar información en modelos</p> <p>Genera anotaciones y georreferencias</p> <p>Interacción con otras aplicaciones: usBIM.render, usBIM.reality, etc.</p> <p>10 aplicaciones útiles de usBIM para gestión colaborativa</p>	
	Características plataforma	Plataforma reconocida por su gran calidad y carácter amigable	Interfaz clara, fácil navegación y fácil de usar	Navegación de calidad de archivos de grandes dimensiones
Calidad gráfica	Modo de navegación volar y pasear Modo foto realista y 3D estéreo	Modo de navegacion volar	Modelo en Render, realiad aumentada y virtual inmersiva	
Valor agregado	Premiado 2016 por A+AWARDS	Aplicación adaptable por gran cantidad de plugins útiles	Certificado por BuildingSMART	
Precio	Gratuito	Gratuito sin incluir plugins	Gratuito en conjunto con 10 aplicaciones de UsBIM	

En la tabla 6, se observa un comparativo de diversos visores que comparten muchas características colaborativas en común, pues todo permiten una visualización de un modelo mediante IFC en tiempo real. Entre ellos, está el más conocido y aclamado es BIMx, el cual pertenece a Graphisoft y presenta integración con programas de esta empresa (Archicad y BimCloud). Una de sus grandes rasgos es su fácil acceso y compartición en tiempo real para un hypermodelo de gran calidad sea mediante un visor web o cualquier elemento portátil con su app. Sin embargo, un punto negativo es que su versión PRO requiere un costo y limita ciertas herramientas colaborativas (anotaciones y mediciones). Por otro lado, BimVision se descarga solo en PC o Tablets mediante su página web. Este, además de servir como visor, monitoriza y gestiona cambios en el proyecto, y realiza mediciones de manera gratuita. Se destaca por su posible aplicación de plugins que permitirían mejorar la gestión de proyectos, pero a un costo adicional.

Como último software a analizar, se presenta usBIM.browser, el cual se destaca porque se puede descargar conjuntamente con otras 9 herramientas de la misma empresa ACCA SOFTWARE. Asimismo, como se observa en la tabla, esta plataforma presenta más herramientas colaborativas a comparación de las demás sin ningún costo. Por tanto, se convertiría en uno de los visores más adecuados, sino se hubiera seleccionado BIM 360 anteriormente, ya que, este último software, como se mencionó previamente en la tabla, no solo es una herramienta de gestión, sino además sirve como un visor en cualquier dispositivo electrónico y presenta muchas más herramientas de colaboración.

3.4. Propuesta de modelo de gestión colaborativa

En la Figura 21 y 22 se muestra un esquema el sistema de trabajo colaborativo propuesto para la edificación multifamiliar Carabayllo.

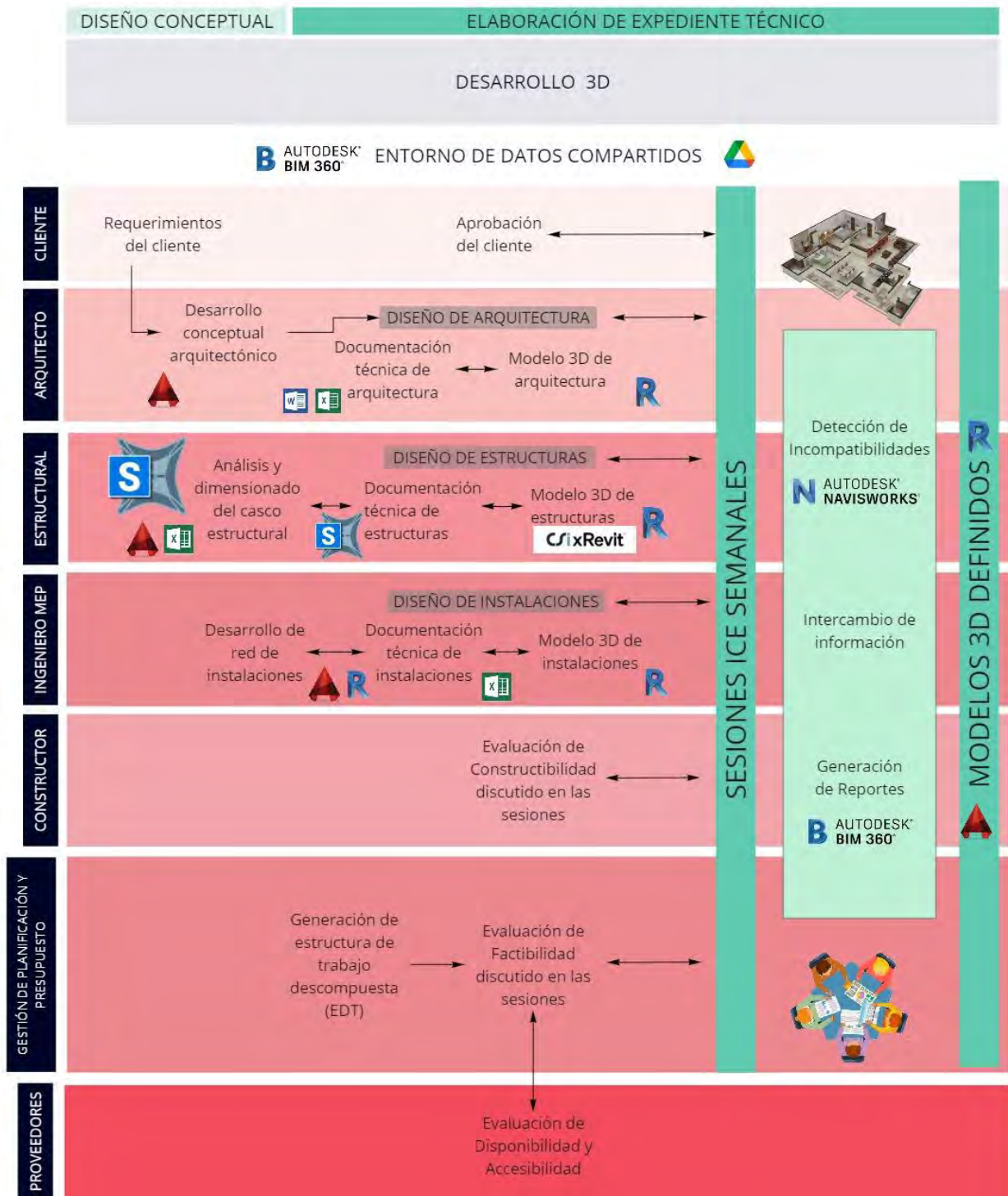


Figura 21. Propuesta de gestión colaborativa durante la etapa de Prediseño y Diseño.

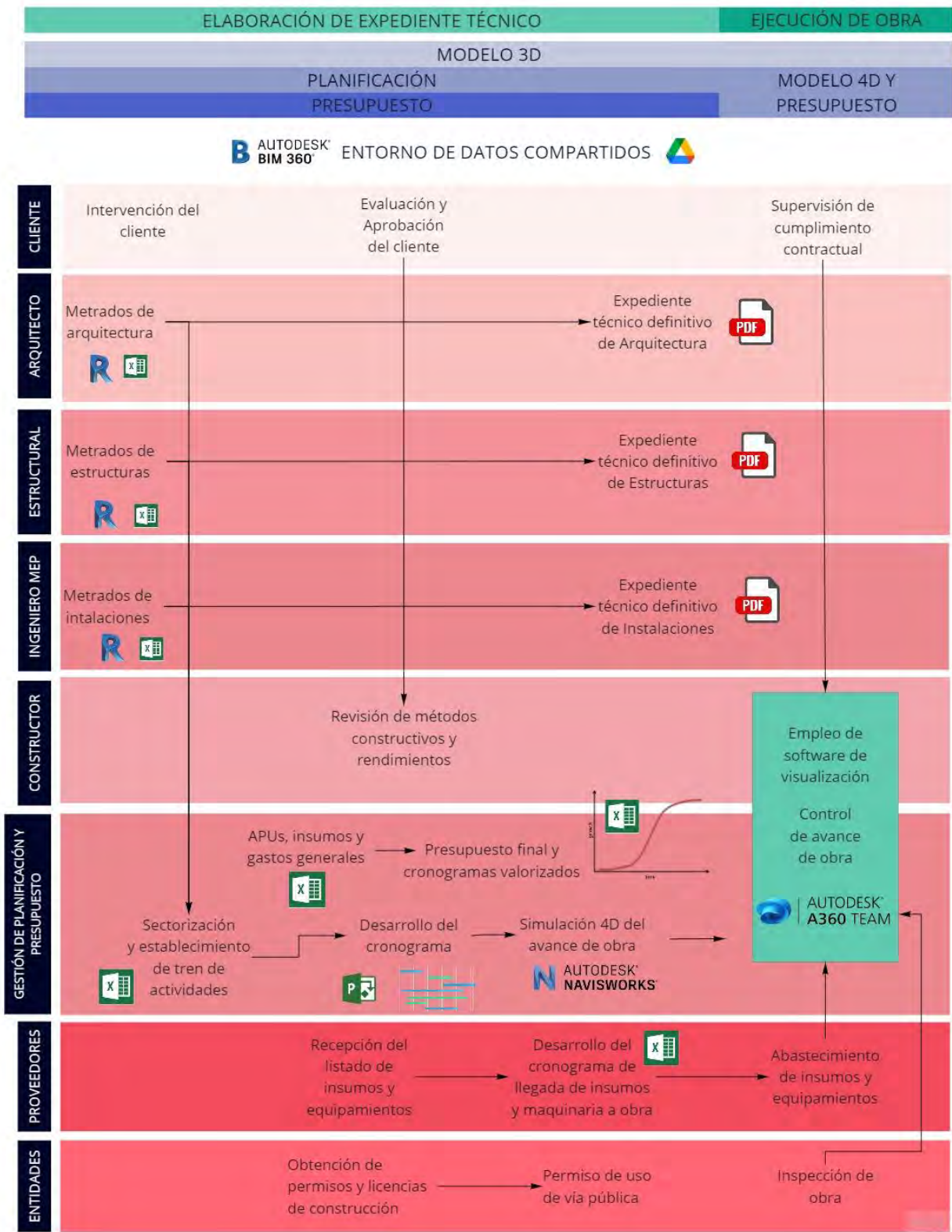


Figura 22. Propuesta de gestión colaborativa durante la etapa de Prediseño y Diseño.

A lo largo de esta investigación, se han logrado identificar las opciones más idóneas para el proyecto propuesto, tanto en metodología de trabajo o herramientas digitales. En párrafos anteriores, se concertó que la opción más viable para este proyecto, es aplicar la metodología BIM. El primer paso para desarrollar un proyecto con esta metodología es establecer el Plan de Ejecución BIM, en el cual se establecen los requerimientos del cliente, de la empresa y softwares a usar. Es precisamente, este último punto, sobre el cuál se abordará en los siguientes párrafos.

Iniciando por la selección del Entorno de Datos Compartidos, se plantea el uso de Google Drive y BIM360 Docs. Este último tiene múltiples funciones, tales como la visión de modelos 2D o 3D y la asignación de roles y tareas, los cuales hacen más eficiente el trabajo colaborativo. Google Drive permite intercambiar información con agentes externos que no tengan acceso a la plataforma de BIM360 Docs.

La modelación inicia desde el diseño conceptual del proyecto y se propone el uso del software Revit, en línea con el BIM360 Docs y la familia de softwares Autodesk. El diseño conceptual es desarrollado por el arquitecto, quien es parte del equipo del cliente, y es esencial al ser este un proyecto inmobiliario. Este diseño es plasmado en un modelo 3D con un nivel de desarrollo bajo como el LOD 100. Luego, este modelo es compartido en el CDE donde el gestor de información distribuye los accesos entre los involucrados que los requieran dicha información para la generación de sus entregables. El equipo de diseño toma esto como punto inicial para el desarrollo de la arquitectura y estructura del proyecto.

En base al modelo conceptual, se desarrollan los modelos tridimensionales detallados de arquitectura, estructuras e instalaciones sanitarias, eléctricas y mecánicas con empleo de Revit, para el generado de renderizados que contribuyan la puesta en mercado del multifamiliar. Tales

modelos se apoyarán en hojas Excel, para los cálculos de diseño estructural y de instalaciones, y con uso de SAP2000 para el análisis estructural y dimensionamiento del sistema de muros que presenta el proyecto. La información de este último software que respecta al dimensionado de elementos estructurales será importada del mismo hacia Revit por medio del programa CSITRevit, que ofrece esta facilidad para distintos programas de análisis estructural.

Los descritos modelos 3D interactuarán entre sí y su problemática será resuelta por medio de sesiones ICE semanales donde se realizará la coordinación y reporte del avance; así como la documentación necesaria mediante BIM360 Docs. En adición, se mostrarán las variaciones y las incompatibilidades detectadas entre las cuatro especialidades mediante Navisworks. Durante el proceso, se propone la participación de: el constructor, para que proporcione los datos de constructibilidad; el grupo de costos y planificación, que inicie la generación del estudio de trabajo y que indique la factibilidad del desarrollo basado en el presupuesto; el cliente, que evaluará y aprobará, o no, la propuesta; y los proveedores, que considerarán la accesibilidad de la zona en Carabayllo y la disponibilidad de los materiales y maquinaria.

La etapa de planificación se lleva cabo cuando los modelos 3D se encuentran definidos y revisados por todos los especialistas. Con dichos modelos y los detalles técnicos de los elementos, se realizan los metrados de cada especialidad, los cuales son llevados a cabo por los especialistas de cada área. Estos entregables son empleados por el equipo de gestión de planificación, los cuales se encargan de realizar una correcta sectorización priorizando estimar uniformemente los recursos en todos los sectores. En un principio, se desarrolla un cronograma maestro acorde al rendimiento de trabajo que se llevará durante la ejecución de obra, lo que se concibe como el primer paso de la implementación de una metodología Last Planner.

Una vez iniciada la construcción se detallarán las actividades a realizar de cada partida acorde a la aproximación del mismo. Asimismo, se desarrolla el proceso Lookahead, donde los equipos de trabajo identificarán las actividades a realizar durante las siguientes 3 semanas, sus limitaciones y asignar responsables para evitar retrasos de cada partida. Estas reuniones se convocarán semanalmente. Para la realización de estas actividades, se emplea el uso de Excel, el cual es un software amigable y confiable al usuario.

Después de ello, se desarrolla el cronograma total del proyecto incluyendo todas las partidas del mismo en el software Ms Project, el cual tiene un bajo costo comparado con sus similares. Estos mismos se vinculan a softwares que se encargan del modelado 4D como Naviswork, el cual fue seleccionado por su familiaridad con Autodesk. Finalmente, estos modelos se encuentran sujetos a cambios por imprevistos durante la ejecución de obra.

En paralelo a la etapa de planificación se desarrolla el presupuesto el cual parte de los metrados realizados por las especialidades. En esta fase, usando Ms Excel, se desarrollan análisis de precios unitarios, los insumos y gastos generales los cuales forman parte del presupuesto final.

La ejecución inicia una vez el proceso de planificación y presupuesto haya terminado, y toda la información del proyecto (modelos en Revit, cronogramas de obra, expedientes técnicos, simulación 4D, etc.) se encuentre de manera ordenada en la nube en este caso en BIM360 Docs para su fácil acceso para todo el equipo involucrado en esta etapa: constructor, equipo de planificación y presupuesto, contratistas, supervisor, etc.

Con respecto a la plataforma mencionada, esta presenta las facilidades para una gestión aplicada al proceso de ejecución llamada BIM360 Cost que permitirá un supervisión y control

de obra más eficiente, pues permite una visualización de dibujos 2D y modelos 3D como acceso a toda la información necesaria desde equipos portátiles en donde se pueden realizar anotaciones, observar pendientes de obra y peticiones a la central para obtener información. Asimismo, al mismo tiempo, como se observa en el diagrama de flujo de la Figura, se realizará la coordinación para el abastecimiento de insumos y equipamientos según el avance de obra.

En general, BIM360 Docs permite mejorar el flujo de trabajo en obra y trabajo colaborativo con el equipo de oficina, ya que se comparte información. Una vez concluido la construcción, se procede a la recepción de obra para levantamiento de observaciones, la liquidación donde se realiza la entrega de la edificación al cliente con toda la documentación solicitada y planos As-Built, la cual, para un más fácil acceso, se compartirá en digital mediante Google Drive.

Tabla 7. Impacto económico de la implementación BIM

Softwares	Fase de Aplicación	Costo por Separado (\$)	Costo por Paquete (\$)	% Costo Directo
BIM360 (Autodesk Docs)	Entorno de Datos Compartidos	420.00	6750.00 (*)	0.02%
CSI Revit	Diseño	500.00	500.00	0.03%
Drive Google	Entorno de Datos Compartidos	125.00	125.00	0.01%
Autocad 2D	Diseño	1775.00	(*)	0.10%
Revit	Diseño	2545.00	(*)	0.14%
SAP2000	Diseño	5000.00	5000.00	0.27%
Navisworks	Planificación	2400.00	(*)	0.13%
Ms Project	Planificación	660.00	660.00	0.04%
Microsoft Office	Documentación	150.00	150.00	0.01%
TOTAL (S/.)		S/ 51,585.00	S/ 50,103.00	2.72%

*Nota: Forma parte del producto Autodesk - AEC Collection de costo único.

En la Tabla 7, se observa que esta propuesta plantea un incremento de S/.50 103.00 en el presupuesto base, los cuales algunos de ellos presentan alternativas de adquirirlos en paquetes de softwares. No obstante, si son comprados por separado, el costo se incrementa a S/.51 585.00. Cabe resaltar que las licencias anuales de los programas mostrados en la tabla previamente mencionada se encuentran en dólares americanos USD, por el cual se realizó el cálculo del presupuesto final con un tipo de cambio de S/.3.80. Estos costos representan el

2.72% del costo directo y un 18.32% de los gastos generales del proyecto de estudio, el cual tiene una duración de ejecución de 7 meses. Asimismo, la tabla 7 muestra que el software más costoso es el SAP2000, el cual es usado principalmente para el diseño estructural. Además, los precios, en el presupuesto de la propuesta, no se consideran los costos de capacitación, ya que resultaría ser un incremento mayor para la implementación de estos softwares. Es importante recalcar que implementar softwares desarrollados por la misma empresa, en este caso Autodesk, permite una mejor gestión del proyecto, debido a que existe una alta compatibilidad del mismo.

Finalmente, con respecto a los plazos de la elaboración del expediente técnico y de la ejecución, la implementación de una gestión colaborativa permite reducir los tiempos de las etapas en mención. En base a esto, se estima que el plazo del expediente técnico se reduciría a 3 meses. Por su parte, el plazo de ejecución no variará, pero sí se evitará procesos contractuales que modifiquen las cláusulas de contratos de obra como la ampliación del plazo, debido a que un expediente técnico compatibilizado evita los trabajos rehechos y permite un mejor control de obra.

4. Conclusiones y recomendaciones

Debido a los beneficios de una gestión colaborativa a comparación de una tradicional, ha surgido diferentes metodologías que permiten mejorar el flujo de trabajo, promueven la integración de todos los involucrados y evitan pérdidas durante el desarrollo del ciclo de vida de cualquier proyecto. Por ello, se establece una metodología de trabajo colaborativo para el proyecto multifamiliar de Carabayllo y el uso de ciertas herramientas digitales que faciliten la producción o intercambio de información.

A continuación, se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de investigación.

A) Conclusiones

- De la aplicación de una metodología colaborativa aplicada a proyectos de construcción, se destacan los siguientes beneficios: mayor transparencia en la gestión del costo, detección temprana de incompatibilidades, mayor satisfacción del propietario, mejora en la comunicación entre los stakeholders y optimización en la etapa de ejecución.
- La elección de BIM como metodología colaborativa se da en base al alcance del proyecto y debido a la formulación de un Plan BIM Perú. Si bien es cierto que existe otra metodología más eficiente como el VDC, dicha metodología es más aplicable a proyectos de gran envergadura con mayor complejidad y presupuesto.
- Entre uno de los factores más influyentes para toda la selección de las herramientas digitales, se considera el alcance del proyecto, ya que se requiere de las herramientas digitales más adecuadas y aplicables para el diseño y ejecución de una vivienda multifamiliar de cuatro pisos.

- Otro factor considerado de importancia es el nivel de especialización en el uso de las herramientas digitales en el marco peruano, puesto que se requiere de personal capacitado que se pueda desenvolver en la plataforma. Caso contrario, se seleccione nuevas herramientas para la aplicación de un proyecto, se necesita una inversión adicional tanto en tiempo como en dinero para realizar capacitaciones. Debido a ello, se optó por SAP2000, Revit, Navisworks y BIM360 Docs.
- Respecto al costo total de las herramientas digitales definidas en la propuesta de Carabayllo, se evidencia que este representa un estimado 2.72% del costo directo, equivalente al 19.04% de los gastos generales. De este conjunto de programas, SAP2000 representa la mayor inversión con un 40% del costo de implementación de softwares.
- En relación con los entornos de trabajo colaborativo seleccionados para el proyecto en cuestión, se utiliza BIM360 Docs como la herramienta de comunicación principal. Su gran cantidad de herramientas para la gestión de información para el equipo de arquitectura, ingeniería y construcción permite un diseño multidisciplinario de los departamentos. Asimismo, se utiliza Google Drive, ya que permite compartir información a agentes externos al proyecto en una plataforma más amigable.
- Respecto a la propuesta del multifamiliar Carabayllo, se seleccionó el software Revit para el modelado 3D debido a su alto nivel de difusión, especialización y accesibilidad a nivel nacional. Este software servirá de base debido a que permite la modelación y visualización de diferentes especialidades, así como para realizar los metrados e ingresar información requerida de las especificaciones técnicas.
- El modelo estructural basará sus dimensiones en los análisis realizados por el software SAP2000, mismo que contendrá el modelo del sistema de muros, y se apoyará en una

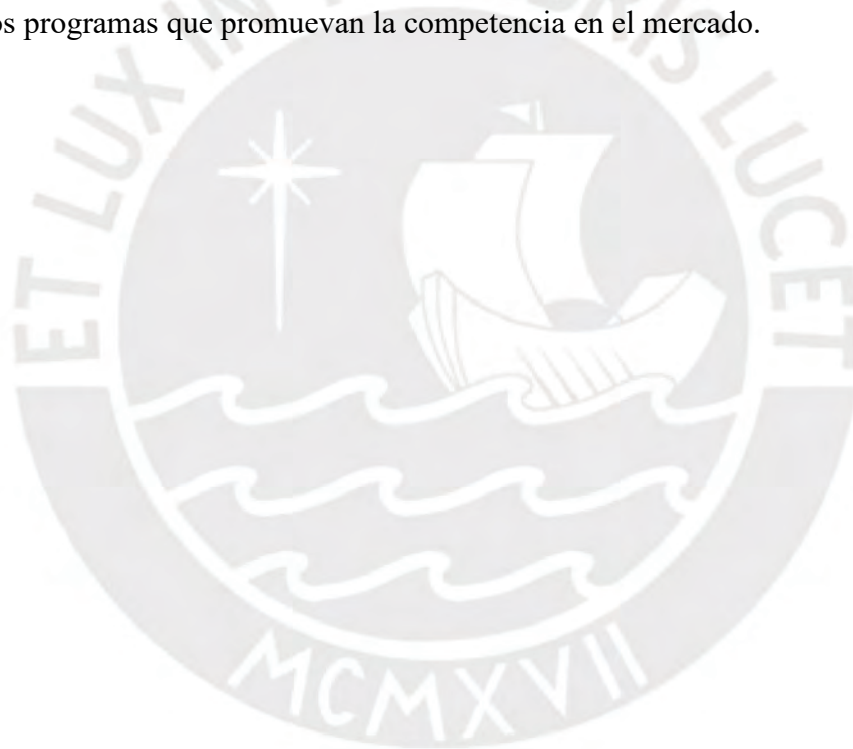
serie de cálculos realizados en cuadros de Excel. Para la realización del modelado estructural se tomará como dibujo base el modelo conceptual y se exportará el modelo final a Revit mediante el *plug in* (extensión) Csix Revit.

- Para el proyecto, se establece utilizar hasta un modelo 4D, ya que el uso de un modelo 5D se consideraría inviable, pues el proyecto es de baja envergadura con un presupuesto limitado para la inversión en softwares.
- En el proyecto Carabayllo, para la etapa de diseño se plantean sesiones ICE semanales, debido a que este proyecto es multidisciplinario y requiere esta estrategia de comunicación para el intercambio información, coordinación y planificación del diseño entre las distintas especialidades, la cuales se facilitarían con el uso de Naviswork y BIM360 Docs.
- Finalmente, para el proyecto, se utilizará Naviswork debido a la facilidad de visualización de la edificación y de las incompatibilidades entre las especialidades mediante un sistema de navegación tridimensional que permitiría un mejor diseño colaborativo.

B) Recomendaciones

- Se aconseja elaborar un estudio a nivel nacional o regional sobre el uso de los distintos softwares que emplean las empresas que trabajan mediante metodología BIM. De igual forma, se debe hacer un reporte de la percepción de los trabajadores en el uso de estos softwares para conocer su impacto positivo o negativo.
- Se recomienda realizar más estudios sobre el impacto económico que conlleva la implementación de la metodología BIM en un proyecto; en vista de que los artículos que mencionan el factor de rendimiento por costo de inversión son muy escasos.

- A nivel de programa, las desarrolladoras que otorgan las licencias deben contar con un sistema de calificación para cada uno de sus productos ante sus compradores. Mediante lo cual evalúe distintos criterios que podría llevar a establecer los puntos de mejora para cada programa, tal como hacen ciertas páginas de recomendaciones pero que no cuentan con fuentes confiables.
- Se recomienda a las empresas evaluar los nuevos softwares que salen cada año al mercado del sector construcción y examinar sus beneficios, como la búsqueda de mejorar su productividad a futuro. De igual manera, esto promoverá el desarrollo de nuevos programas que promuevan la competencia en el mercado.



5. Bibliografía

- ACCA SOFTWARE (s.f.) usBIM.browser. Recuperado de <https://www.accasoftware.com/en/bim-viewer>
- Azhar, S., Hein, M., & Sketo, B. (2008). "Building information modeling: Benefits, risks and challenges." Proc., 44th Associated Schools of Construction National Conference, Auburn, Alabama. Recuperado de <https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29LM.1943-5630.0000127>
- American Institute of Architects (2007) Integrated Project Delivery: A Guide. American Institute of Architects, California. Recuperado de http://info.aia.org/siteobjects/files/ipd_guide_2007.pdf
- Autodesk (s.f.). *ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL*. Recuperado el 04 de junio de 2021 de <https://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/overview?term=1-YEAR>
- Autodesk (s.f.). *AUTODESK BIM 360*. Recuperado el 04 de junio de 2021 de <https://www.autodesk.com/bim-360/>
- Autodesk (s.f.). *BIM 360 Docs*. Recuperado el 04 de junio de 2021 de <https://aecscene.com/2017/06/new-autodesk-bim-360-docs-user-interface/>
- Autodesk (s.f.). *REVIT Software BIM multidisciplinario para diseños coordinados de mayor calidad*. Recuperado el 02 de junio de 2021 de <https://latinoamerica.autodesk.com/products/revit/overview?term=1-YEAR>
- BibLus (s.f.). *Las dimensiones del BIM: 3D, 4D, 5D ,6D, 7D*. Recuperado de: <https://biblus.accasoftware.com/es/las-dimensiones-del-bim-3d-4d-5d-6d-7d/>
- BIMvision (s.f) Sobre BIMvision. Recuperado el 01 de junio del 2021 de. <https://bimvision.eu/es/sobre-bimvision/>

- EquipoBIMnD (2019) *BIMx la herramienta definitiva para arquitectura*. Recuperado el 01 de junio del 2021 de <https://www.bimnd.es/bimx-la-herramienta-definitiva-para-arquitectura/>
- Bryde, D., Broquetas, M. y Jürgen, M. (2013). The project benefits of Building Information Modelling (BIM). *International journal of project management*, 31(7), 971-980. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001>
- Cabrera Villa, J. (2018). La nueva tendencia del sector construcción: la gestión colaborativa. Recuperado 20 de junio de 2021, de Conexión Esan website: <https://www.esan.edu.pe/conexion/actualidad/2018/08/17/la-nueva-tendencia-del-sector-construccion-la-gestion-colaborativa/>
- Cervera, J. (1982). *Tres teoremas fundamentales de la teoría del diseño de estructuras*. *Revista Informes de la construcción* (Vol. 40), 57 – 66.
- Chachere, J., Kunz, J. & Levitt, R. (2009) *The Role of Reduced Latency in Integrated Concurrent Engineering*.
- Computer Integrated Construction Research Program (2010). *BIM Project Execution Planning Guide*. Pennsylvania State University. EEUU.
- Corado, M., Paiz, C., & García, A. (2020). Repensar el trabajo multidisciplinar en el diseño de un objeto arquitectónico. Propuesta de metodología de trabajo entre diseñadores estructurales y arquitectos como transición hacia una metodología BIM en Guatemala. (Spanish). *Cuadernos Del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación*, 24(115), 195–208. Recuperado de <http://search.ebscohost.com.ezproxybib.pucp.edu.pe:2048/login.aspx?direct=true&db=asu&AN=145308382&lang=es&site=ehost-live>.
- CSI SPAIN (2021) Características y funcionalidades. Recuperado de https://www.csiespana.com/software_features.php?software_id=5
- CSI (s.f.) *CSI PRODUCTO PRICING*. Recuperado de <https://www.csiamerica.com/sales>

- CYPE Ingenieros. (s.f.). Arquímedes. Recuperado de <http://arquimedes.cype.es/m>
- es.BIM (mayo del 2017). *Encuesta de Situación Actual*. Recuperado de <https://salineropampliega.com/admcms/wp-content/uploads/2017/08/encuesta-esbim.pdf>
- Espaciom BIM (s.f.). ARQUÍMEDES: DE CYPE. Recuperado de <https://www.espaciobim.com/software-bim/arquimedes-cype>
- Espaciom BIM (s.f.). AECOSim. Recuperado de <https://www.espaciobim.com/aecosim>
- Eyzaguirre Vela, R. (2015) Potenciando la capacidad de análisis y comunicación de los proyectos de construcción, mediante herramientas virtuales BIM 4D durante la etapa de planificación. Tesis de Licenciatura. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- FinancesOnline (s.f.). *AECOSim Building Designer Review*. Recuperado el 02 de junio de 2021 de <https://reviews.financesonline.com/p/aecosim-building-designer/>
- FinancesOnline (s.f.). *Allplan Architecture Review*. Recuperado el 02 de junio de 2021 de <https://reviews.financesonline.com/p/allplan-architecture/>
- FinancesOnline (s.f.). *ARCHICAD Review*. Recuperado el 02 de junio de 2021 de <https://reviews.financesonline.com/p/archicad/>
- FinancesOnline (s.f.). *Revit Review*. Recuperado el 02 de junio de 2021 de <https://reviews.financesonline.com/p/revit/>
- Fischer, M., & Kunz, J. (2004). Changes in the cellular composition of the mesenterial lymph nodes of rats during experimental venous stagnation. CIFE Technical Report, 156, 1-17.
- Ford, J. (2020). Information management according to BS EN ISO 19650 - Guidance Part C Facilitating the common data environment (workflow and technical solutions). UK BIM Framework, 1–31. <https://www.ukbimframework.org/standards-guidance/>
- Galvis Guerra, J. A., Porras Díaz, H. & Sánchez Rivera, O. G. (2014). Metodología para la elaboración de modelos del proceso constructivo 5d con tecnologías “Building

Information Modeling”. En R, Llamosa Villalba (Ed.). Revista Gerencia Tecnológica Informática, 14(38), 59-73. ISSN 1657-8236

GRAPHISOFT (s.f.) *BIMx*. Recuperado el 02 de junio de 2021 de <https://graphisoft.com/es/solutions/products/bimx>

González Pérez, C. (2015). *Building Information Modeling: Metodología, aplicaciones y ventajas. Casos prácticos en gestión de proyectos*. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10251/56357>

González Guzmán, F. (2014). Beneficios de la coordinación de proyectos BIM en edificios habitacionales. Tesis de Licenciatura. Universidad de Chile. Recuperado en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/116294>

Google Play (s.f.) *BIMx- BIM eXPLORER*. Recuperado el 04 de junio de 2021 de https://play.google.com/store/apps/details?id=com.graphisoft.bimx&hl=es_PE&gl=US

Huatuco Rodríguez, R. (2017). *Mejorando la visualización y la comunicación en el last planner system a través del uso de modelos BIM*. Tesis de Licenciatura. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.

Kunz, J., & Fischer, M. (2012). Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions. CIFE Working Paper, 97(Version14),1-50. <http://www.stanford.edu/group/CIFE/online.publications/WP097.pdf>

Lozano, M. (2019). Gestión de la Producción – Clase 7. Diapositivas de clase. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima, Perú.

Millasaky Avilés, C. (2018) Cuantificación de los beneficios económicos de subcontratar servicios BIM (Building Information Modeling) en la etapa de diseño para proyectos de edificaciones en Lima Metropolitana. Tesis de Licenciatura. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.

- Ministerio de Economía y Finanzas (2020). Lineamientos para la utilización de la metodología BIM en las inversiones públicas. Perú. https://www.mef.gob.pe/contenidos/archivos-descarga/anexo_RD007_2020EF.pdf
- Muñoz-La Rivera, F.; Vielma, J. C.; Herrera, R. F. & Carvallo, J. (2019). Methodology for Building Information Modeling (BIM) Implementation in Structural Engineering Companies (SECs). *Advances in Civil Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/8452461>
- Organización Internacional de Normalización (2018). *Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información al utilizar BIM (Building Information Modelling). Parte 2: Fase de desarrollo de los activos (ISO 19650-2:2018)*.
- Porras Díaz, H., Sánchez Rivera, O. G., & Galvis Guerra, J. A. (2015). *Metodología para la elaboración de modelos del proceso constructivo 5d con tecnologías "Building Information Modeling"*. En R, Llamosa Villalba (Ed.). *Revista Gerencia Tecnológica Informática*, 14(38), 59-73. ISSN 1657-8236.
- Quiso, E. & Rivera, J. (2021). *Propuesta de aplicación de la metodología virtual design and construction mediante las sesiones ICE y el BIM para mejorar la comunicación entre el equipo de proyecto en la etapa de cimentación de edificios multifamiliares del distrito de Surquillo – Lima*. Repositorio UPC.
- RIB Spain (s.f.). Presto. https://www.rib-software.es/presto_21
- Salinas, J & Prado, G (2019). *"Building information modeling (BIM) to manage desing and construction phases of Peruvian public projects"*. *Building & Management*, vol. 3(2), 48-59.
- Shenoy R. (2017). *A Comparison of Lean Construction with Project Production Management*. Project Production Institute. Vol 2. Recuperado de <https://projectproduction.org/wp-content/uploads/2017/09/PPI-JOURNAL-PPIPP-A-Comparison-of-Lean-Construction-with-Project-Production-Management.pdf>

- SIMBIM Solutions (s.f.). *ARCHICAD (R) - SUBSRIPCIÓN ANUAL*. Recuperado el 02 de junio de 2021 de <https://simbim.es/es/graphisoft/30-archicad-22-subscripcion.html>
- Soto, C, Manriquez S. & Godoy P. (2019). *PlanBim: Estándar BIM para proyectos públicos, intercambio de información entre solicitante y proveedores*. Santiago, Chile.
- Tapia Nieto, G. (2018). *Primer estudio del nivel de adopción BIM en proyectos de edificación en Lima Metropolitana y Callao*. Tesis de Licenciatura. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- Tekla (s.f.). *Tekla Structural Designer*. Recuperado el 04 de junio de 2021 <https://www.tekla.com/products/tekla-structural-designer>
- Tekla (s.f.). *Tekla Structures*. Recuperado el 04 de junio de 2021 de <https://www.tekla.com/la/productos/tekla-structures>
- Thomassen, M. (2011). BIM and Collaboration in the AEC Industry. Department of Mechanical and Manufacturing Engineering. Universidad de Aalborg, Dinamarca. Recuperado de http://projekter.aau.dk/projekter/files/55376698/BIM_Collaboration_in_the_AEC_Industry_by_Mats_Thomassen.pdf
- TONO Group (2019). How to build a successful integrated project delivery team. Recuperado de <https://www.tonogroup.com/blog/posts/2019/04/24/integrated-project-delivery-building-a-successful-team/>
- Touran, A., Gransberg, D.D., Molenaar, K.R., Ghavamifar, K., Mason, D.J., & Fithian, L.A. (2009). *A Guidebook for the Evaluation of Project Delivery Methods*. Washington, DC: The National Academies Press. Recuperado de <https://doi.org/10.17226/14238>.
- TRIMBLE (2021) Introducción de usuario de Tekla Structures. https://teklastructures.support.tekla.com/es/2021/es/gen_interface_overview
- Viana, M., Hadikusumo, B., Mohammad, M. & Kahvandi, Z. (2020). Integrated Project Delivery (IPD): An Updated Review and Analysis Case Study. *Journal of Engineering*,

Project, and Production Management,10(2) 147-161. Recuperado de <https://doi.org/10.2478/jeppm-2020-0017>

Zepeda R. (2019). *ArchiCAD versus Revit, ¿cuál elegir?*. ArchDaily. Recuperado de <https://www.archdaily.pe/pe/915678/archicad-versus-revit-cual-elegir>

