



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

## **T E S I S**

**APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA BIM PARA MEJORAR  
LA PLANIFICACIÓN DE OBRA EN LA EJECUCIÓN DE  
OBRAS DE EDIFICACIONES PARA OFICINAS  
ADMINISTRATIVAS EN LA REGIÓN TACNA**

**PRESENTADO POR**

**BACHILLER ANDERSON RÍOS VILCAPAZA**

**ASESOR**

**ING. RENÉ HERADIO FLORES PAURO**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO CIVIL**

**MOQUEGUA – PERÚ**

**2019**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
PORTADA	
Página de jurado.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Contenido.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	xviii

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.	Descripción de la realidad del problema .....	1
1.2.	Definición del problema.....	6
1.2.1.	Problema general.....	6
1.2.2.	Problemas específicos .....	6
1.3.	Objetivos de la investigación.....	6
1.3.1.	Objetivo general.....	6
1.3.2.	Objetivos específicos.....	6

1.4.	Justificación .....	7
1.5.	Alcances y limitaciones.....	7
1.6.	Variables.....	8
1.6.1.	Operacionalización de variables .....	8
1.7.	Hipótesis de la investigación .....	9
1.7.1.	Hipótesis general.....	9
1.7.2.	Hipótesis derivadas .....	9

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1.	Antecedentes de la investigación.....	10
2.2.	Bases teóricas.....	17
2.2.1.	Tecnología Building Modeling Information (BIM).....	17
2.2.2.	Planificación de obra.....	39
2.3.	Definición de términos .....	49

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

3.1.	Tipo de la investigación.....	51
3.2.	Diseño de la investigación.....	51
3.3.	Población y muestra .....	52
3.3.1.	Población .....	52
3.3.2.	Muestra.....	52

3.4.	Descripción de instrumentos para recolección de datos.....	52
------	--	----

## **CAPÍTULO IV**

### **DESARROLLO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

4.1.	Recolección de datos del proyecto gestionando de la manera tradicional .....	54
4.1.1.	Procesamiento de datos con la tecnología BIM.....	57
4.1.1.1.	Modelamiento de información de la edificación BIM. ....	57
4.1.1.2.	Elaboración del cronograma utilizando la tecnología BIM y la guía del PMBOK.....	75
4.1.1.3.	Construcción virtual en el entendimiento del cronograma.....	83

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

5.1.	Presentación de los resultados .....	85
5.1.1.	Gestión del cronograma de la manera tradicional.....	85
5.1.1.1.	Reducción de la variabilidad del proyecto. ....	85
5.1.1.2.	Cronograma de ejecución del proyecto.....	87
5.1.1.3.	Comprensión del proyecto y cronograma.....	90
5.1.2.	Gestión del cronograma de la metodología BIM.....	90
5.1.2.1.	Modelamiento de la información de la edificación (BIM) en la reducción de variabilidad del proyecto.....	90

5.1.2.2. Modelamiento de la información de la edificación (BIM) en la gestión del cronograma utilizando la guía del PMBOK.....	95
5.1.2.3. Construcción virtual. ....	97
5.2. Contrastación de hipótesis .....	99
5.3. Discusión de resultados .....	111

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1. Conclusiones .....	113
6.2. Recomendaciones.....	115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	194

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Operacionalización de variable independiente .....	8
Tabla 2. Operacionalización de variable dependiente .....	9
Tabla 3. Guía de revisión documental .....	53
Tabla 4. Registro de planos contractuales del proyecto.....	56
Tabla 5. Estimación del rendimiento de las actividades para la losa aligerada del primer nivel .....	80
Tabla 6. Registro de variabilidad por disciplinas encontradas mediante la metodología tradicional .....	86
Tabla 7. Registro de cronogramas realizado de manera tradicional presentadas durante la ejecución del proyecto.....	88
Tabla 8. Registro de variabilidad en la disciplina de estructuras encontrada mediante la tecnología BIM.....	91
Tabla 9. Registro de variabilidad de la disciplina de arquitectura encontrada mediante la tecnología BIM .....	92
Tabla 10. Registro de variabilidad de instalaciones sanitarias encontrada mediante la tecnología BIM .....	93
Tabla 11. Registro de variabilidad de la disciplina de instalaciones eléctricas e instrumentación con BIM.....	94
Tabla 12. Registro de variabilidad por disciplinas con la tecnología BIM.....	95
Tabla 13. Duración de actividades más importantes .....	97
Tabla 14. Comparación de resultados de la planificación elaborada con la metodología tradicional y BIM.....	99

Tabla 15. Prueba de corrección de Yates para determinar la aplicación de la tecnología BIM en la mejora de la planificación.....	101
Tabla 16. Registro de variabilidad mediante la forma tradicional y la tecnología BIM .....	102
Tabla 17. Prueba de t de student para determinar si el modelamiento de información de la edificación (BIM) influye positivamente en la variabilidad del proyecto.....	104
Tabla 18. Comparación de resultados la elaboración del cronograma con la metodología tradicional y BIM .....	105
Tabla 19. Tiempos de ejecución de obra mediante la metodología tradicional y BIM.....	106
Tabla 20. Prueba de corrección de Yates para determinar si el modelamiento de información de la edificación (BIM) interviene en la gestión del cronograma.....	108
Tabla 21. Comprensión del cronograma con la metodología tradicional y BIM	109
Tabla 22. Prueba de corrección de Yates para la visualización de la construcción virtual influye positivamente en el entendimiento del cronograma de obra.....	110

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Implantación BIM a nivel internacional.....	20
Figura 2. Implantación BIM en latinoamérica. ....	21
Figura 3. Curva de MacLeamy – beneficio del BIM.....	23
Figura 4. Software BIM más conocido y utilizado a nivel mundial.....	29
Figura 5. Esquema gráfico de niveles de desarrollo LOD 100 a LOD 300.....	30
Figura 6. Esquema gráfico de niveles de desarrollo LOD 300 y LOD 350.....	31
Figura 7. Niveles de desarrollo LOD 100 al LOD 500.....	32
Figura 8. Dimensiones del BIM. ....	35
Figura 9. Interpretación del modelo tradicional en los distintos participantes del proyecto.....	36
Figura 10. Comunicación y flujo de información de forma tradicional vs metodología BIM.....	37
Figura 11. Proceso de transformación de recursos. ....	39
Figura 12. Descripción general de la programación.....	40
Figura 13. Grupos de procesos de inicio a fin.....	42
Figura 14. Componentes de planificación en la EDT.....	44
Figura 15. Secuenciar actividades según la diagramación por procedencia.....	45
Figura 16. Diagrama de red del cronograma del proyecto.....	47
Figura 17. Plano contractual de la disciplina de estructuras. ....	55
Figura 18. Plano red line de la disciplina de arquitectura.....	56
Figura 19. Plataforma de trabajo del software Autodesk Revit 2018.....	58
Figura 20. Modelamiento de la cimentación estructural.....	58

Figura 21. Modelamiento de columnas estructurales. ....	59
Figura 22. Modelamiento de vigas peraltadas y losa aligerada.....	60
Figura 23. Modelamiento del acero de refuerzo.....	60
Figura 24. Modelamiento general de estructuras.....	61
Figura 25. Modelamiento de elementos exteriores del edificio administrativo. ...	62
Figura 26. Modelamiento de escalera de emergencia lado sur.....	62
Figura 27. Modelamiento de escalera de emergencia lado norte. ....	63
Figura 28. Modelamiento soporte para escalera lado norte. ....	64
Figura 29. Modelamiento de muros arquitectónicos. ....	64
Figura 30. Modelamiento de muros arquitectónicos y confinamientos.....	65
Figura 31. Familia y tipo de puerta utilizada en el modelamiento BIM.....	66
Figura 32. Modelamiento BIM de la escalera de concreto armado.....	66
Figura 33. Modelamiento de pisos arquitectónicos del primer nivel de la edificación. ....	67
Figura 34. Modelamiento general de las instalaciones sanitarias.....	68
Figura 35. Colocación de aparatos sanitarios en el modelo. ....	69
Figura 36. Modelamiento de la red de evacuación de aguas servidas (desagüe) ..	70
Figura 37. Modelamiento de la red de distribución de agua fría.....	71
Figura 38. Modelamiento de la red de distribución de agua caliente .....	71
Figura 39. Modelamiento de la canalización eléctrica para tomacorrientes primer nivel. ....	72
Figura 40. Modelamiento de equipos eléctricos en el cuarto eléctrico.....	73
Figura 41. Modelamiento de tomacorrientes y luminarias.....	73

Figura 42. Modelamiento de circuito eléctrico para tomacorrientes 120 v estabilizado.....	74
Figura 43. Modelo integral del proyecto REVIT .....	75
Figura 44. Estructura de desglose del trabajo (EDT) resumido .....	77
Figura 45. Descomposición del trabajo a un nivel de detalle manejable.....	77
Figura 46. Metrado de muros de albañilería primer nivel.....	78
Figura 47. Metrado de acero de refuerzo de vigas de cimentación. ....	78
Figura 48. Diagrama de precedencias de la partida losa aligerada.....	79
Figura 49. Calendario laboral del proyecto.....	81
Figura 50. Gráfico del recurso del oficial encofrador.....	82
Figura 51. Entradas para la construcción virtual.....	83
Figura 52. Plataforma del software Navisworks 2018.....	84
Figura 53. Variabilidad por disciplinas encontradas con la metodología tradicional.....	86
Figura 54. Variabilidad encontrada en los planos red line.....	87
Figura 55. Fechas de presentación y días de ejecución de cronogramas del proyecto.....	89
Figura 56. Fechas de presentación y días de ejecución de cronogramas del proyecto.....	90
Figura 57. Variabilidad encontrada con la metodología BIM en la disciplina de estructuras. ....	91
Figura 58. Variabilidad encontrada con la metodología BIM en la disciplina de arquitectura.....	92

Figura 59. Variabilidad encontrada con la metodología BIM en la disciplina de instalaciones sanitarias.....	93
Figura 60. Variabilidad encontrada con la metodología BIM en la disciplina de instalaciones eléctricas.....	94
Figura 61. Hitos del proyecto.....	96
Figura 62. Construcción virtual de la edificación.....	98
Figura 63. Planificación de obra utilizando la metodología tradicional y la tecnología BIM.....	100
Figura 64. Variabilidad del proyecto utilizando la metodología tradicional y la tecnología BIM.....	103
Figura 65. Comparación de la elaboración del cronograma con la metodología tradicional y BIM.....	106
Figura 66. Comparación de tiempos del cronograma con la metodología tradicional y BIM.....	107
Figura 67. Construcción virtual de la edificación de manera tradición y con la tecnología BIM.....	109

## ÍNDICE DE ECUACIONES

	<b>Pág.</b>
Ecuación 1. Distribución triangular.....	48

## ÍNDICE DE APÉNDICES

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Tablas.....	121
Apéndice B. Estructura de desglose del trabajo (EDT) detallado del proyecto...	180
Apéndice C. Cronograma detallado del proyecto con la metodología BIM.....	182
Apéndice D. Cronograma detallado del proyecto con la metodología tradicional .....	187
Apéndice E. Fotografías del proyecto.....	192

## RESUMEN

La presente investigación aborda la problemática de la influencia de la aplicación de la tecnología BIM en la mejora de la planificación de obras de edificación en comparación con la metodología tradicional. Teniendo como objetivos; realizar el modelamiento de información de la edificación (BIM) para determinar la reducción de la variabilidad, realizar el cronograma de obra utilizando el modelamiento de información (BIM) y la guía del PMBOK en su sexta edición y realizar la visualización de la construcción virtual para determinar el entendimiento del cronograma. El trabajo de investigación se desarrolló durante el año 2018 siendo una investigación del tipo aplicada con el diseño correlacional (no experimental) basado en la comparación de dos métodos tales como la metodología BIM y la forma tradicional de realizar la planificación obras de edificaciones. Los principales resultados obtenidos son: La aplicación de la tecnología BIM influye positivamente en la mejora de la planificación de obra en la ejecución de obras de edificaciones para oficinas administrativas en la región Tacna, mediante la reducción de la variabilidad del proyecto antes de la ejecución en 297 % siendo la falta de información el mayor problema en la ejecución del proyecto y la reducción del tiempo de ejecución en 22 %. Por lo tanto el modelamiento BIM es altamente beneficioso en la programación de obra ya que al solucionar las variabilidades y al utilizar la guía del PMBOK se logra un cronograma más realista.

*Palabras clave:* Modelamiento de información de la edificación (BIM), planificación de obra, construcción virtual, variabilidad.

## ABSTRACT

The present research addresses the problem of the influence of the application of BIM technology in the improvement of the planning of building works in comparison with the traditional methodology. Having as objectives; perform modeling of building information (BIM) to determine the reduction of variability, make the work schedule using the information modeling (BIM) and the PMBOK guide in its sixth edition and visualize the virtual construction for determine the understanding of the schedule. The research work was developed during 2018 being a research of the type applied with the correlational (non-experimental) design based on the comparison of two methods such as the BIM methodology and the traditional way of planning works for buildings. The main results obtained are: The application of BIM technology positively influences the improvement of the work planning in the execution of building works for administrative offices in the Tacna region, by reducing the variability of the project before execution in 297 % being the lack of information the biggest problem in the execution of the project and the reduction of the execution time in 22 %. Therefore, BIM modeling is highly beneficial in the programming of work since by solving the variabilities and using the PMBOK guide, a more realistic schedule is achieved.

*Keywords:* Building information modeling (BIM), work planning, virtual construction, variability.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación aborda, como su nombre menciona, la aplicación de la tecnología BIM para mejorar la planificación de obra, específicamente las obras de edificación.

En los proyectos de construcción de edificaciones antes del inicio de la ejecución se realiza la ingeniería a detalle de forma tradicional diseñados de acuerdo a las necesidades del cliente, teniendo entregables documentos como planos en AutoCAD (2D), especificaciones técnicas, metrados, entre otros documentos que son necesarios para llevar a cabo la ejecución del proyecto, además estos documentos sirven de base para una licitación y posterior entrega al contratista que ejecutará el proyecto, en lo ideal estos documentos tienen que estar completos, sin ambigüedades, sin conflictos y precisos, sin embargo ocurre todo lo contrario, el contratista empieza la ejecución con documentos que tienen mucha variabilidad por lo que se tiene que hacer consultas al proyectista en plena ejecución de obra, esta falencias en la elaboración de la ingeniería a detalle es uno de los principales problemas que enfrenta el sector de la construcción trayendo como consecuencia la culminación después de la fecha programada, o cuestan más de lo originalmente presupuestado, o bien no cumplen con las solicitudes de funcionalidad requeridos por el cliente, así mismo los programas necesarios para la planificación de obra, cuantificaciones, entre otros documentos, se realiza de forma independiente o aislada, conllevando a tener conflictos e incompatibilidades ya que no se integran a un solo modelo.

Debido al problema descrito se plantea la utilización de la tecnología BIM en la ejecución de proyectos de construcción de edificaciones aplicado

específicamente en la planificación de obra, con esta tecnología en la construcción de edificaciones se realiza la revisión del expediente técnico antes de la ejecución del proyecto, realizando una construcción virtual para buscar los problemas y resolverlos anticipadamente reduciendo así la variabilidad del proyecto de esta manera se realice una planificación mejorada y entendible.

La tecnología BIM es importante para el correcto desarrollo de una obra, ya que, permite buscar los problemas como interferencias, incompatibilidades en los planos, falta de información en los documentos contractuales, entre otros problemas que se detectarán antes de la ejecución de proyectos de edificación y de esta manera solucionarlos anticipadamente, permitiendo así una adecuada planificación de obra. Además, la visualización de la construcción virtual mejorará el entendimiento de la planificación en los distintos interesados del proyecto, así se entenderá de una mejor manera las fases o etapas del proyecto y lograr una planificación optimizada.

El objetivo principal del presente estudio es, determinar cómo influye la aplicación de la tecnología BIM en la mejora de la planificación de obra en la ejecución de obras de edificaciones para oficinas administrativas en la región Tacna, y como objetivos específicos es determinar cómo influye el modelamiento de información de la edificación (BIM) en la reducción de la variabilidad del proyecto, precisar de qué manera interviene el modelamiento de información de la edificación (BIM) en la gestión del cronograma utilizando la guía del PMBOK, y explicar de qué manera influye la visualización de la construcción virtual en el entendimiento del cronograma de obra.

La investigación se realizó por el interés de conocer la aplicación de la tecnología informático BIM en la etapa de planificación de proyecto de edificación,

e identificar los principales beneficios, en comparación al método tradicional, por otra parte, es demostrar que la utilización o aplicación de la tecnología BIM mejora la planificación de obra de edificaciones realizado de la manera tradicional, de tal manera que se culmina el proyecto en el tiempo establecido.

Se utilizó la técnica del análisis documental para la recolección de datos, para ello se ha elaborado una guía de revisión documental a los documentos del proyecto, para obtener la información referido a datos generales del proyecto, alcances, especificaciones técnicas, planos y fotografías. Una vez realizado la recolección de los datos se procede con el procesamiento utilizando herramientas de la informática como el software Autodesk Revit, Ms Project, Autodesk Naviswork y la guía del PMBOK.

La presente investigación se ha estructurado en los siguientes capítulos:

- En el capítulo I, se expone la descripción de la realidad problemática, definición del problema, los objetivos, la justificación, los alcances, las limitaciones, la operacionalización de variables y las hipótesis de la investigación.
- En el capítulo II, se describe los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y el marco conceptual.
- En el capítulo III, se expone la metodología utilizada, definiéndose el tipo de estudio, la población, la muestra y el método de recopilación de información.
- En el capítulo IV, se presenta el desarrollo de la tesis.
- En el capítulo V, se presenta los resultados y la discusión.
- En el capítulo VI, se presenta las conclusiones y recomendaciones.

Finalmente, se presenta las referencias bibliográficas y se adjuntan los anexos que corresponden.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Descripción de la realidad del problema**

El sector de construcción es el motor de la economía del país al utilizar insumos de otras industrias e importante para su desarrollo, proporcionando a la sociedad elementos básicos al realizar la construcción de hospitales, centros educativos, carreteras, puentes, entre otras construcciones, a pesar de su importancia aún existen problemas que enfrenta el sector que son bastante conocidas como por ejemplo: el incumplimiento de plazos de ejecución de obra, sobre costos en la ejecución, baja productividad, ineficiente calidad en el producto entregado, incompatibilidad entre disciplinas, información poco confiable para la toma de decisiones, escasa claridad en la información del proyecto, entre otros aspectos, la mayoría de estos problemas son imputables a una inadecuada planificación y control de proyectos (Saldias, 2010).

El notable avance de la industria de la construcción hace que los proyectos sean cada vez más diversos, complejos, con mayor exigencia del mercado y con clientes que van superando las expectativas. Esto hace que los proyectos de construcción tengan infinidad de detalles, variedad de sistemas de instalaciones y gran cantidad de información, debido a esta complejidad toda la información no

solo debe estar plasmadas en diversos planos 2D no integrados, los cuales omiten detalles e información espacial produciéndose incompatibilidades e interferencias, en la mayoría de veces estos errores se corrigen en plena construcción (Alcantara, 2013).

El desarrollo de una adecuada ingeniería o expediente técnico influye significativamente en la ejecución de proyectos, la mayoría de instituciones públicas y privadas desarrollan ingeniería de forma tradicional la cual tiene deficiencias tales como: los conflictos o discrepancias entre los planos 2D y especificaciones técnicas, la inexistente coordinación interdisciplinaria y la falta de constructabilidad, todo esto implica que el contratista o la institución que realiza la ejecución del proyecto tenga información incompleta, erróneos e incompatibles, conllevando a que el contratista en plena ejecución del proyecto realice consultas al proyectista, influyendo así negativamente en los costos y plazos de ejecución (Alcantara, 2013).

En la última década, la mayoría de empresas constructoras utilizan documentos tradicionales para la planificación y control de proyectos como: las cartas gantt, curvas “S”, planos en 2D, especificaciones técnicas, alcances, entre otros documentos que los utilizan para entender y comunicar el alcance y el desempeño del proyecto a los distintos interesados y áreas del proyecto que participan en la construcción. La cantidad de información que el proyecto contiene y brinda a distintas áreas influye directamente en la dificultad e incertidumbre del proyecto y la falta de información tales como, la falta de constructabilidad, las interferencias identificadas en el momento de la ejecución, los requerimiento de materiales y equipos a destiempo, los planos en 2D incompatibles, las

especificaciones técnicas discrepan con los planos, entre otras cosas que influyen negativamente en el control del proyecto creando variabilidad en la ejecución generando así pérdidas significativas (Saldías, 2010).

La comunicación de la programación de obra entre los distintos participantes de un proyecto como el personal obrero se da a través de sistemas tradicionales tales como las barras gantt la cual dificulta su comprensión, debido al grado de educación de la mayoría del personal obrero lo cual resulta una representación muy abstracta de un proceso difícil para su entendimiento, sumado a esto se mantiene la idea de que los profesionales o el personal de mayor experiencia en la ejecución de un trabajo que garantiza un buen resultado. El compromiso de cumplimiento de plazo y la falta de entendimiento del cronograma hace que el equipo de trabajo no este comprometido con los hitos del proyecto las cuales en la mayoría de casos están incluidos en el contrato. El desconocimiento de los hitos origina que el personal trabaje sin un objetivo en común generando entregas tardías, afectando variables contractuales como penalidades que alteran el desempeño económico del proyecto (Artica y Lopez, 2013).

En el sector de la construcción el mayor reto del gerente es lograr culminar el proyecto de acuerdo a lo planificado en plazo, costo y calidad, el cual se trata de una tarea compleja, en la práctica consiste en medir el progreso, evaluar planes y tomar acciones. Durante los últimos 40 años se han desarrollado diversos métodos tales como gráfico de barras gantt, programa de evaluación y revisión técnica PERT y método del camino crítico, de igual manera existe una variedad de paquetes de software como MS Projet, Primavera, Asta Power, entre otros, los cuales a pesar

del amplio uso de estos métodos y software como metodología tradicional, muchos proyectos sufren pérdidas de tiempo y sobrecostos (Hinojosa y Pinilla, 2014).

A nivel del mundo, los problemas más comunes en la gestión de proyectos se han ido solucionando con la implementación de la metodología BIM en los diferentes proyectos de edificaciones; sin embargo esta metodología sigue en auge a nivel mundial, ya que está siendo más generalizada en los distintos países. En Latinoamérica más del 40 % de países ya usan la tecnología BIM en sus proyectos debido a que con esta metodología se obtienen múltiples beneficios en la gestión de proyectos (Gonsalves, 2016).

En el Perú, para solucionar problemas más comunes que se presentan en la ejecución de proyectos de edificaciones, diversas empresas privadas optan por gestionar sus proyectos con la metodología BIM, todos coinciden en que el BIM no es una opción, es una necesidad, la adopción del BIM lo han realizado, fundamentalmente, las empresas constructoras más trascendentales y las principales gerencias de proyectos de Lima; sin embargo a nivel de las regiones del país se encuentran rezagadas en este proceso de implementación. La evolución en los últimos 10 años ha sido promovida por la empresa privada, con mucha influencia en el sector público; sin embargo hay varios factores que impiden la expansión teniendo como mayor obstáculo a la corrupción y las prácticas poco limpias en los distintos proyectos de construcción que trae como consecuencias el incremento del valor inicial de la obra al 100 o 200 %, otro factor que impide la implementación en diferentes regiones del país es el desconocimiento de lo que realmente es la tecnología BIM y de lo que se logra hacer (Quiroz, 2018).

En la ciudad de Tacna los proyectos de edificaciones han ido cambiando a lo largo del tiempo, siendo cada vez más complejos, teniendo edificaciones de mayor altura y con mayores exigencias de parte de los clientes; sin embargo la gestión de proyectos en la ciudad de Tacna no ha cambiado a pesar de los constantes problemas que se evidencian como las ampliaciones de plazo y adicionales de obra, con lo que el monto presupuestado aumenta, sin embargo se siguen construyendo con metodologías tradicionales, estas metodologías hoy en día se vuelven poco eficientes, estos problemas generan mayor malestar en los clientes y afecta el prestigio por parte de las empresas constructoras. Además en la ciudad de Tacna se evidencia el desconocimiento de nuevas metodologías para la construcción de edificaciones se desconoce debido a la poca investigación y a la falta de innovación. La metodología BIM en la ciudad de Tacna es poco conocida si bien es cierto hay un mayor conocimiento en la ciudad de Lima, este conocimiento no está bien desarrollado debido a que existe una resistencia al cambio por parte de los gerentes de proyecto (Apaza, 2015).

Ante la situación de mejora e innovación que sufre el sector, nace este nuevo concepto llamado BIM como una alternativa de forma de trabajo. La tecnología BIM (BIM es un acrónimo de *Building Information Modeling*) es una metodología de trabajo que permite la gestión integral de los proyectos de construcción, en todas sus fases y durante el ciclo de vida completa del edificio, por medio de modelos virtuales y de forma colaborativa entre los diferentes agentes intervinientes.

## **1.2. Definición del problema**

### **1.2.1. Problema general**

El problema identificado para el presente trabajo de investigación es buscar la respuesta a la siguiente interrogante:

¿Cómo influye la aplicación de la tecnología BIM en la mejora de la planificación de obra en la ejecución de obras de edificaciones para oficinas administrativas en la región Tacna?

### **1.2.2. Problemas específicos**

¿Cómo influye el modelamiento de información de la edificación (BIM) en la reducción de la variabilidad del proyecto?

¿De qué manera interviene el modelamiento de información de la edificación (BIM) en la gestión del cronograma utilizando la guía del PMBOK?

¿De qué manera influye la visualización de la construcción virtual en el entendimiento del cronograma de obra?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar cómo influye la aplicación de la tecnología BIM en la mejora de la planificación de obra en la ejecución de obras de edificaciones para oficinas administrativas en la región Tacna.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Determinar cómo influye el modelamiento de información de la edificación (BIM) en la reducción de la variabilidad del proyecto.

Precisar de qué manera interviene el modelamiento de información de la edificación (BIM) en la gestión del cronograma utilizando la guía del PMBOK.

Explicar de qué manera influye la visualización de la construcción virtual en el entendimiento del cronograma de obra.

#### **1.4. Justificación**

La presente investigación contribuye a resolver uno de los problemas más comunes de obras de edificaciones, principalmente la ampliación de plazo. La importancia de la investigación es demostrar que la utilización o aplicación de la tecnología BIM mejora la planificación de obra de edificaciones respecto a la metodología tradicional, de tal manera que se logra la culminación del proyecto en el tiempo establecido generando beneficios como la satisfacción del cliente.

El motivo por el cual se decidió realizar esta investigación fue precisamente el hacer uso de nuevas tecnologías informáticas como la tecnología BIM en la etapa de planificación de proyecto de edificación, e identificar los principales beneficios en comparación al método tradicional, de tal manera solucionar los problemas más frecuentes en la planificación de obras de edificaciones.

El presente trabajo de investigación es un aporte para mejorar la planificación de obra de proyectos de edificaciones en la región Tacna mediante el uso de las metodologías BIM.

#### **1.5. Alcances y limitaciones**

El alcance del presente trabajo de investigación comprende la ejecución del modelamiento de información BIM y la planificación de obra comprendido

únicamente bajo los lineamientos del PMBOK en su sexta edición, aplicado a un proyecto real, concebido y desarrollado de forma tradicional.

El presente trabajo de investigación se limita a la aplicación de la tecnología BIM solo a proyectos de edificaciones.

## 1.6. Variables

**Variable independiente:** Tecnología BIM.

La tecnología BIM es la técnica de modelar una edificación en forma tridimensional, el cual incluye toda la información del proyecto para gestionar y documentar durante el ciclo de vida del proyecto.

**Variable dependiente:** Planificación de obra.

La planificación de una obra es el conjunto de actividades secuenciados entre sí, el cual determinan el proceso de ejecución del proyecto en el transcurso del tiempo.

### 1.6.1. Operacionalización de variables

En la tabla 1, se presenta la operacionalización de la variable independiente.

**Tabla 1**

*Operacionalización de variable independiente.*

Variable independiente			
Dimensiones	Definiciones	Indicadores	Escala de medición
Modelamiento de información de la edificación (BIM).	Son dibujos 3D al cual se introduce toda la información que contiene el proyecto.	Información del proyecto en forma tridimensional.	Ordinal.
Construcción virtual.	Se visualiza la construcción de la edificación en forma virtual y con la secuencia animada.	Visualización de la planificación de obra en forma virtual.	Ordinal.

En la tabla 2, se presenta el detalle de las consideraciones para la operacionalización de la variable dependiente.

**Tabla 2**

*Operacionalización de variable dependiente*

<b>Variable dependiente</b>			
<b>Dimensiones</b>	<b>Definiciones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Escala de medición</b>
Planificación de obra.	La planificación de una obra es el conjunto de actividades secuenciados entre si el cual determinan el proceso de ejecución del proyecto en el transcurso del tiempo.	Cronograma de obra.	Ordinal.

## **1.7. Hipótesis de la investigación**

### **1.7.1. Hipótesis general**

La aplicación de la tecnología BIM influye positivamente en la mejora de la planificación de obra en la ejecución de obras de edificaciones para oficinas administrativas en la región Tacna.

### **1.7.2. Hipótesis derivadas**

- El modelamiento de información de la edificación (BIM) influye positivamente en la reducción de la variabilidad del proyecto.
- El modelamiento de información de la edificación (BIM) interviene positivamente en la gestión del cronograma utilizando la guía del PMBOK.
- La visualización de la construcción virtual influye positivamente en el entendimiento del cronograma de obra.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

La mayoría de las investigaciones sobre el Building Information Modeling (BIM) tanto en el ámbito nacional como internacional, están orientadas a conocer los beneficios que se obtiene al utilizar la tecnología BIM en los proyectos de construcción de edificaciones, donde todas las investigaciones obtienen como resultado que la utilización de la tecnología BIM en proyectos de construcción de edificaciones afecta positivamente en todo el ciclo de vida del proyecto desde la concepción hasta su mantenimiento, obteniendo mayores utilidades para la empresa, reduciendo pérdidas, cumpliendo el tiempo planificado, mejor entendimiento del proyecto por parte de los involucrados, satisfacción del cliente, entre otros beneficios, además muchas investigaciones hacen mención a la implementación de la tecnología BIM en las empresas y en los gobiernos de diferentes países, algunos autores mencionan que aun varios proyectos siguen gestionando con la metodología tradicional y presentan mucha resistencia al cambio como son las instituciones del gobierno peruano que no implementa la tecnología de la informática en sus proyectos perdiendo tiempo y dinero.

A continuación, se mencionan investigaciones más recientes e importantes sobre la tecnología BIM en el ámbito nacional e internacional.

### **2.1.1. En ámbito nacional**

Artica y Lopez (2013) en su tesis de maestría denominada “*Aplicación de modelos 4D para la comunicación de la programación durante la construcción de estructuras de concreto armado*” cuyo objetivo fue mostrar todos los beneficios del uso de herramientas tecnológicas en la programación realizando modelo 4D de un edificio de concreto armado, del cual concluyen que; la aplicación de modelos 4D facilita la comunicación de la programación y por lo tanto la secuencia constructiva acordada por el equipo que dirige el proyecto. Los modelos 4D permiten evaluar la constructabilidad antes del inicio, identificando interferencias entre las distintas disciplinas y encontrando el momento adecuado de participación de cada una de ellas en la etapa de construcción. Permite conocer de mejor manera la secuencia constructiva, mejora la coordinación de la llegada de materiales a obra y la visualización donde se requiere equipos y personal, por lo tanto, la tecnología BIM tiene un impacto significativo en el éxito del proyecto.

Alcántara (2013), en su tesis de grado denominada “*Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construcción virtual usando tecnologías BIM*”, el propósito de su investigación fue utilizar la tecnología BIM para estudiar sus aplicaciones, beneficios y su impacto que produce en los proyectos y de esta manera evaluar su aplicabilidad e implementación en empresas constructoras. Al final su investigación concluye que; el realizar un modelado BIM-3D de la edificación permite equivocarnos virtualmente en el modelo 3D y no en campo, ahorrando costos por procesos mal diseñados. El modelo no sólo se utiliza

para identificar conflictos entre disciplinas, sino que se convierte en una herramienta de análisis para revisar los criterios de diseño y la adecuada funcionalidad del conjunto entre las distintas instalaciones dependientes. El BIM provee un modelo exacto del diseño requerido para cada sector del proyecto, esto provee las bases para mejorar el planeamiento y programación de subcontratistas y ayudar a para asegurar la llegada justo a tiempo (just-in-time) de personas, equipamiento y materiales.

Ulloa y Salinas (2013) en su tesis de maestría denominada *“Mejoras en la implementación de BIM en los procesos de diseño y construcción de la empresa marcan”*, proponen mejoras en la implementación de la tecnología BIM en los procesos de diseño y construcción de la empresa Marcan. Finalmente concluyen mencionando que; la utilización de la tecnología BIM en las etapas de diseño y construcción permiten decisiones tempranas, eliminando desperdicios y obteniendo mejoras en la productividad. Para obtener más beneficios de la tecnología BIM este deberá aplicarse desde su inicio con los usuarios, proyectistas, proveedores, constructores y contratistas mejorando además la comunicación de todo el personal involucrado. El éxito de la implementación de la tecnología BIM se dará de una mejor manera si se enriquece el modelo por parte de los involucrados, por ello es necesario que exista un responsable (BIM manager).

Eyzaguirre (2015) en su tesis de grado denominado *“Potenciando la capacidad de análisis y comunicación de los proyectos de construcción mediante herramientas virtuales BIM 4D durante la etapa de planificación”* investiga las importancias del BIM en proyectos de construcción durante la planificación de obra, del cual menciona las siguientes conclusiones; al incluir un modelo 3D en un

flujo de trabajo tradicional representa un problema, si es que no se tiene un claro entendimiento y una estrategia BIM establecida previamente, tanto para su implementación como para su ejecución. Un modelo 3D solitario, independiente, disociado, solo interrumpirá en el flujo de trabajo de un proyecto tradicional creando mayor confusión y mal entendimiento. La implementación de la tecnología BIM y el lean construction en proyectos de construcción ofrecen garantías para el éxito del mismo, teniendo posibilidades de integrar sus procesos bajo el principio de la construcción sin pérdidas. El modelamiento BIM 4D, desde su perspectiva del cliente resulta fácil imaginar e interpretar la programación el cómo se desarrollará la obra sin embargo mediante herramientas tradicionales como diagramas de gant y representaciones en 2D resulta difícil su entendimiento. El solo utilizar herramientas del 4D no garantiza que el trabajo sea el idóneo ni mucho menos reemplazará el raciocinio de las personas, pero esto ayudará de gran manera a optimizar los resultados ya que sin esta difícilmente llegarían a ser percibidos.

Céspedes y Mamani (2016) en su tesis de grado denominado *“Modelo de gestión de proyecto aplicando la metodología building modeling information BIM en la planta agroindustrial de Lurín”* con el objetivo de obtener un modelo de gestión para proyectos aplicando la tecnología BIM a fin de mejorar la calidad, productividad y los costos del proyecto en Lurín, obteniendo los siguientes resultados; al aplicar la metodología BIM existen mejoras ya que se detectaron incompatibilidades en los distintos planos del proyecto antes de la ejecución. Los metros contractuales comparados con la metodología BIM presentan pequeñas variaciones, el presupuesto gestionado con la tecnología BIM mejora en un 14,11 % el presupuesto contractual y el modelamiento de información con el software

Revit conjuntamente con el software Naviswork mejoran la planificación del proyecto, reduciendo en 11,25 % el plazo de ejecución contractual del proyecto.

### **3. En ámbito Internacional**

Hernández (2011) en su tesis de grado denominado "*Procedimiento para la coordinación de especialidades en proyectos con plataforma BIM*" realiza la investigación con el objetivo de generar procedimientos para la correcta coordinación entre disciplinas basado en plataforma BIM, concluyendo que: "es necesario un mejor entendimiento entre las especialidades de un proyecto, principalmente entre las de proyecto de arquitectura con proyecto de cálculo; juntas, según los encuestados, están involucradas en un 59 %" (p.73).

Saldias (2010) en su tesis de grado denominado "*Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM*", donde realizó el estudio de tres obras de construcción con la tecnología BIM del cual identificaron distintas fallas cometidas en proyectos de construcción de edificaciones gestionadas de manera tradicional, así mismo afirma que los errores se evitan gestionando los proyectos con la tecnología BIM, del trabajo de investigación concluye mencionando lo siguiente; que a mayor sea el monto del proyecto mayor será el beneficio de ahorro con la aplicación de la tecnología BIM. Con la implementación de BIM desde etapas tempranas y cambiando idealmente la forma tradicional de trabajo, se tendrán variados otros beneficios que no solo mejorarán la rentabilidad del proyecto global, sino que también aumentará la calidad del producto construido, por todo lo que esta nueva forma de trabajo conlleva: una mejor comunicación, una mayor colaboración, visualización y

entendimiento, trabajos más eficientes y eficaces, etc. Más del 40 % del total de solicitudes de información emitidas, que potencialmente indujeron a atrasos en el programa de construcción, se evitan con la tecnología BIM.

Los autores Valdez y Valenzuela (2014) En su tesis de maestría titulada *“Estudio de viabilidad del uso de la tecnología BIM en un proyecto habitacional en altura”*, Evaluaron la implementación de las herramientas de la informática como el BIM con el fin de optimizar sus procesos y reducir los riesgos asociados al desarrollo de un proyecto de construcción y mejorar la calidad del producto. De su investigación concluyen en lo siguiente; la utilización de la tecnología BIM en la gestión del proyecto de construcción aumenta hasta un 13 % la rentabilidad de un proyecto al compararlo con uno que no usa la tecnología BIM, reduce hasta un 40 % los imprevistos de la descoordinación provenientes del diseño. El uso de la tecnología BIM en proyectos de edificación mejora hasta en un 6 % del costo de construcción, además la implementación de la tecnología BIM en proyectos no es costoso y se considera que el peor escenario de implementación del BIM afectaría en una reducción del 5 % de la rentabilidad esperada en el 17 % de los casos.

Los autores Hinojosa y Pinilla (2014) en su tesis denominada *“Razón de costo-efectividad de la implementación de la metodología BIM y la metodología tradicional en la planeación y control de un proyecto de construcción de vivienda en Colombia”* del cual concluye que; los proyectos gestionados con la metodología tradicional se dejan de obtener el 14 % de utilidad bruta con respecto con la utilización de la tecnología BIM, la relación de costo efectividad es satisfactoria en el caso de la utilización de la metodología BIM ya que como resultado se obtuvo el valor de 0,6 siendo este menor a 1,0 esto se debe principalmente a que la efectividad

de la metodología es mayor a la influencia en términos de costo. En el caso de la utilización de la metodología tradicional se evidencia que la relación costo-efectividad supera el valor de 1,0 con un factor de 4,5 lo que quiere decir que obra no se ajustó a lo planeado de tal manera que esa diferencia se asocia a re-procesos administrativos y operativos, mayores cantidades, pérdida de tiempo en mano de obra etc.

Tur (2014) en su tesis denominado *“Desarrollo de un proyecto de construcción con la tecnología Building Information Modeling (BIM). Edificio La Venta (Lliria, Valencia)”* el cual desarrolla un proyecto de construcción con la tecnología BIM con el fin de saber la mejora que produce el BIM respecto a la metodología tradicional, donde obtuvo como resultado que; usando la tecnología BIM se obtiene grandes diferencias en comparación a la metodología tradicional así como las ventajas que aporta el BIM tales como trabajar en un modelo virtual el cual permite trabajar de una manera coordinada, permite manejar toda la información actualizada y disponible evitando de esta manera incongruencias, facilita la toma de decisiones anticipadas, aumenta la calidad del producto al tener mayor control del proyecto.

Gomez (2013) en su tesis de grado *“Interacción de procesos BIM sobre una vivienda del movimiento moderno. La Ville Savoye”* donde analiza el modelo digital de una edificación desde su inicio y su desarrollo por diferentes vertientes de esta manera analizar los diferentes beneficios y desventajas que presenta la tecnología BIM donde concluyen que; los beneficios que trae el BIM son productivas para los proyectos donde se obtiene alta eficiencia en las labores que se les encarga a distintos miembros del proyecto, existe una sola plataforma más entendible para todo el equipo de proyecto, los elementos que se presentan en el modelo virtual son

con propiedades como el tipo de material, colores entre otras cosas, tiene asociación bidireccional con otros programas que desarrollan BIM. Las desventajas que se tiene el gestionar el proyecto con la tecnología BIM como costo en las licencias del software para desarrollo, entrenar al equipo del proyecto para el desarrollo de la tecnología BIM y adaptarse al sistema BIM.

### **3.1. Bases teóricas**

#### **3.1.1. Tecnología Building Modeling Information (BIM)**

##### ***3.1.1.1. Origen Del Building Modeling Information (BIM).***

Varios autores mencionan conceptos sobre el origen del BIM, tales como:

Mattos y Valderrama (2014) mencionan que el concepto de BIM se remonta aproximadamente al año 1975, como programa en computadores u ordenadores se remonta al año 1984, y como termino BIM al año 1992, por lo tanto, no se trata de una técnica nueva, sin embargo, hoy en día se a echo más conocida debido a los múltiples problemas que presenta en el sector de la construcción.

Eyzaguirre (2015) indica que el concepto BIM apareció en el año de 1962 donde el inventor Douglas C. Engelbart tiene una nueva visión del diseño arquitectónico basadas en diseños con objetos paramétricos, posteriormente en 1984 la empresa Huangara, Graphisoft crea su primer software BIM en el mundo denominado ArchiCAD y fue lanzado dos años después de crear el AutoCAD 2D (diseño asistido por computador) el cual manifestó un cambio importante en la industria de la ingeniería y construcción donde paso de dibujar los planos y realizar la ingeniería a mano a realizar en un computador con la ayuda de un software, a pesar de que existía el modelo 3D, se optó por dibujar con software 2D debido a

que resultaba más familiar para personas que iniciabas a dibujar a computador y en el año 2005 empieza a tomar fuerza la metodología BIM teniendo hoy en día varias herramientas para su aplicación.

Rodriguez y Valdez (2012) hacen mención que Autodesk para sus modelos tridimensionales 3D, fue el primero que utilizó el término de BIM, además el profesor Charles M. Eastman, de Georgia Tech Institute of Technology fue una de las personas en difundir la terminología BIM como un modelo de información de edificaciones.

Por otra parte Ulloa y Salinas (2013) indica que la primera persona que utilizó el término BIM fue el arquitecto Phil Bemstein y el analista industrial Jerry Laiserin fue el que se encargó de popularizarlo el cual utilizó para intercambiar la información en representación digital o formato digital.

### **3.1.1.2. Definición de Building Modeling Information (BIM).**

Varios autores definen el término acerca del BIM de varias maneras ya que no existe una definición oficial y lo definen de la siguiente manera:

Según Pico (2008, p.10) menciona que el BIM es el acrónimo de Building Information Modeling (modelado de la información del edificio) y se refiere al conjunto de metodologías de trabajo y herramientas caracterizado por el uso de información de forma coordinada, coherente, computable y continua; empleando una o más bases de datos compatibles que contengan toda la información en lo referente al edificio que se pretende diseñar, construir o usar.

Gonsalves (2016, p.2) menciona que “BIM es una metodología de trabajo colaborativo que documenta todo el ciclo de vida de la edificación y las

infraestructuras, haciendo uso de herramientas informáticas con el fin de generar un repositorio único con toda la información útil”.

Según Cerdán (2016) BIM o modelo de la información de la construcción es la metodóloga o proceso que sirve para crear, gestionar y almacenar de forma estructurada la información de una edificación o partes de una edificación.

Mattos y Valderrama (2014) hacen mención que la tecnología BIM es una técnica para modelar una edificación en tres dimensiones (3D), el cual incluye toda la información para analizar, definir y documentar el proyecto, además de construirlo en forma virtual e incluso operar la edificación durante su vida útil.

Rodríguez y Valdez (2012) definen como BIM a la geometría relacionada con el espacio e información, propiedades, cantidades de un edificio y es utilizado para mostrar los distintos procesos en las edificaciones, secuencias constructivas para ser analizados y definidos, además se realizan los mantenimientos de una manera eficiente e incluso realizar la demolición.

Según SIKKA (2016) BIM es una nueva forma de trabajo colaborativo, el cual tiene como soporte herramientas como los software que hacen que las informaciones de las edificaciones estén disponibles y se realice el análisis de la edificación.

### ***3.1.1.3. Adopción del BIM en el mundo.***

En norte américa la adopción de la metodología BIM está siendo más generalizada que en latinoamérica debido a que cada vez más son los clientes quienes exigen que el desarrollo de sus proyectos estén con esta metodología. En Estados Unidos algunos estados han creado estándares para desarrollar y realizar entregables de sus

proyectos con tecnología BIM estableciendo de esta manera un mismo lenguaje para el manejo de la información en forma digital (Alcantara, 2013), en la figura 1 se muestra la implantación del BIM en un contexto internacional.

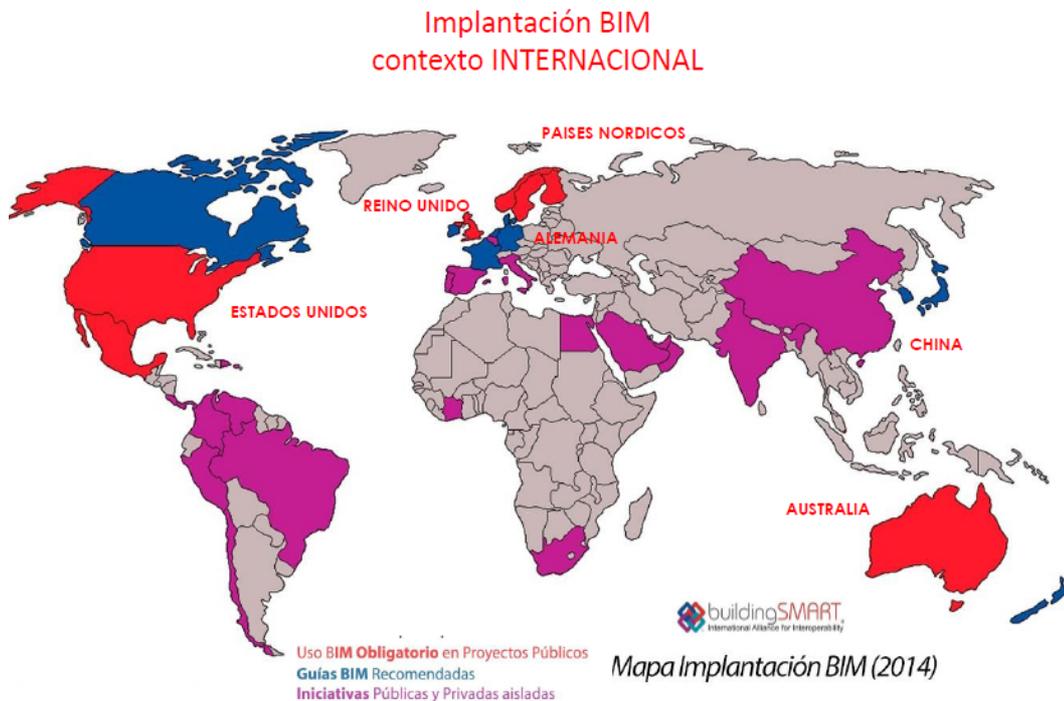


Figura 1. Implantación BIM a nivel internacional

Fuente: Mikel, 2015

Algunos países europeos han formalizado una hoja de ruta gubernamental con el único fin de implementar la utilización de la metodología BIM en forma progresiva., sin embargo, en países como España desde hace mucho tiempo se ha empleado BIM en sus proyectos principalmente en fases de ejecución de edificaciones (Gonsalves, 2016).

En latinoamérica el uso de la metodología BIM crece a pasos agigantados hoy en día más del 40 % utilizan la metodología BIM en sus proyectos y según algunos estudios en el 2020 el mercado BIM aumentara en 11 % en las regiones de latinoamérica, la integración del BIM en proyectos de Latinoamérica no es homogénea, en países como Chile, Perú y Colombia ya es una realidad con mucha

aceptación en proyectos públicos sin embargo esta implantación no crece al mismo ritmo en todo el continente y lo cierto es que en varios países de habla hispana la implantación del BIM sigue una progresión muy lenta (EDITECA, 2018), en la figura 2 se muestra la implantación del BIM en los países de latinoamérica, que se encuentran en pleno auge o en pleno desarrollo.



Figura 2. Implantación BIM en latinoamérica

Fuente: EDITECA, 2018

En el Perú, la metodología BIM llegó en el año 2014 de la mano de grandes corporaciones y hace dos años recién se ha empezado a ver sus ventajas y matrices, los inicios de la implantación BIM en Perú han sido motivadas por las nuevas tecnologías informáticas que se han convertido en un reto para las empresas privadas, el futuro del BIM en el Perú pasa por que los jóvenes profesionales de la arquitectura e ingeniería, tengan una buena formación de la utilización y beneficios del BIM en forma completa y de calidad (EDITECA, 2018).

#### **3.1.1.4. Beneficios de la tecnología BIM.**

BIM es más que un modelo tridimensional, es un modelo que contiene información y es mucho más ventajosa que los modelamientos en 2D, y lo más ventajoso del modelo BIM es que los objetos tridimensionales contienen información real del proyecto, además este modelo permite una mejor coordinación entre las distintas disciplinas para un trabajo en equipo, también sirve como herramienta de gestión para realizar las cubicaciones, detectar interferencias, mejorando de esta manera notablemente la producción, reduciendo el tiempo de ejecución ya que con este modelo se toma una decisión anticipada y con mejor documentación (Rodríguez y Valdez, 2012).

El modelamiento BIM de los componentes que se tiene en el proyecto o edificación mejora la planificación del proyecto ya que es un diseño más detallado, reduciendo de esta manera los problemas en la ejecución de la obra. El otro beneficio es el modelamiento BIM 4D el cual se le agrega el factor tiempo al modelo 3D para visualizar la construcción en forma virtual a cualquier velocidad y desde cualquier punto de vista, de esta manera solucionando problemas de manera anticipada, permitiendo analizar la constructibilidad de forma dinámica (Valdez y Valenzuela, 2014).

La inversión en la fase de diseño del proyecto en forma detallada con la tecnología BIM permite mejorar una reducción general de costos, centrando los esfuerzos tempranos en la fase de diseño esto mejora el tiempo y recursos posteriores, en la siguiente imagen 3 se muestra la curva de MacLeamy la cual fue desarrollado por Patrick MacLeamy donde muestra las ventajas de la utilización del BIM respecto a la forma tradicional (SIKA, 2016).

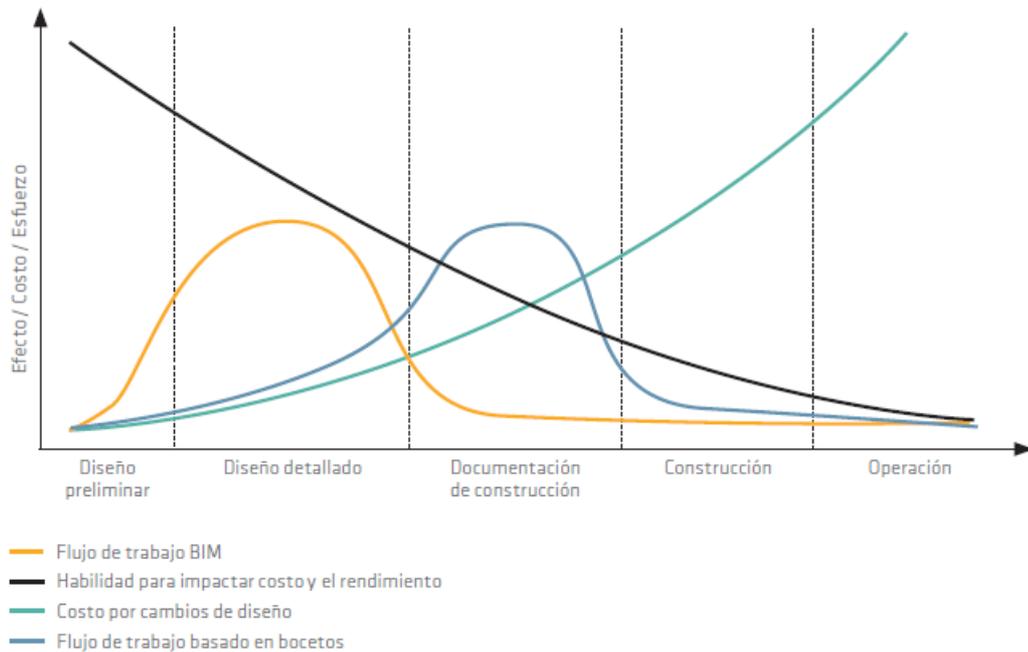


Figura 3. Curva de MacLeamy – Beneficio del BIM

Fuente: SIKA, 2016

Según SIKA (2016) al trabajar con la tecnología BIM en proyectos de edificación se obtienen los siguientes beneficios:

- Simplifica la detección temprana de discrepancias entre disciplinas: Evitando el doble trabajo con lo que se incrementa el tiempo y costo.
- Incremento en productividad: Mejorando el flujo de trabajo, con herramientas BIM permite cambios en los diseños de una manera más sencilla y rápida e incluyen en el modelo los datos que son compartidos a todo el equipo del proyecto ahorrando tiempo en la comunicación.
- Ahorro de tiempo y costos: Está ligado al incremento de la productividad, el cual se da por ahorro de mano de obra y costos de material, desde la fase de diseño a detalle hasta su construcción.
- Un más alto retorno de inversión (ROI): Más del 80 % de expertos BIM han asegurado que los retornos son positivos tras la utilización de dicha metodología.

- Ganar ventajas competitivas: La metodología BIM cada vez más es exigido por los clientes, por lo que hace que las empresas implemente dicha metodología para ser competitivos.
- Documentos efectivos de soporte: Todos los aspectos detallados de la edificación se encuentran en un modelo BIM por ende el modelo digital sirve para la construcción, operación y mantenimiento de la edificación.

Según Gonsalves (2016) las ventajas del BIM son apreciables durante todo el ciclo de vida del proyecto, algunas de estas ventajas se mencionan a continuación:

- En la etapa de planificación: el uso del BIM facilita la definición de los distintos requisitos del proyecto y su aceptación como ingeniería básica, también se utiliza como base para planeamientos previos.
- En la etapa de diseño: facilita la comunicación entre los profesionales de distintas disciplinas haciendo que la información este siempre actualizada y accesible, permite una toma de decisiones tempranas, mejora la comunicación y reduce las incoherencias, discrepancias entre disciplinas mejorando así la calidad final del proyecto, permite analizar la constructibilidad así como simular la construcción en forma virtual.
- En la construcción: permite que todos los participantes en el proyecto tengan un mejor control en la documentación y su permanente actualización facilita la realización de una planificación y control de costos más eficientes minimizando los errores en la planificación que impactan en el tiempo de ejecución, mejora el seguimiento mediante la visualización del avance de obra y su posible desviación, facilita la identificación de los controles de calidad a realizar,

facilita la coherencia de la información y la gestión de cambios y modificaciones dado que toda la información se encuentra en un solo modelo.

Según Rodríguez y Valdez (2012) la tecnología BIM trae muchos beneficios en la construcción de proyectos de edificación con respecto a otros modelos tradicionales, a continuación, se mencionan los siguientes beneficios:

- Mejora la comunicación y la coordinación entre distintas disciplinas del proyecto.
- Realiza revisiones de constructibilidad.
- Realiza la construcción virtual del proyecto, con el cual se plantea diversas alternativas de construcción y buscando la manera más eficiente antes de la ejecución del proyecto.
- Efectúa la detección anticipada de interferencias en el proyecto, de esta manera dar soluciones anticipadas a los problemas.
- Mejora el control de la información del proyecto, el cual mantiene la información de manera centralizada y actualizada evitando tener varias versiones.
- Realiza el diseño y mejora el nivel de detalle facilitando un mejor entendimiento al cliente con modelos tridimensionales.

Cerdán (2016) hace mención sobre las ventajas del uso de la metodología BIM en proyectos de edificación las cuales son las siguientes:

- Coordinación de la documentación: la documentación generada con la tecnología BIM siempre se encuentra actualizada y no se producen contradicciones ya que todos los datos se encuentran en un solo modelo así

mismo al ser modificada por otro agente este modelo se actualiza automáticamente evitando errores de coordinación.

- Cooperación entre agentes: cada responsable aporta información al modelo el cual se comprueba con lo que aporta el resto así facilitar la coordinación entre distintos tipos de documentos.
- Toma de decisiones anticipada: al tener un modelo virtual o una maqueta virtual del proyecto se detectan problemas con anticipación, así como analizar el diseño o el modo de ejecutar dicho proyecto. Esto reduce en gran medida los imprevistos y modificaciones que se pudieran dar en la ejecución y mantenimiento de las obras.
- Calidad y rapidez: con el uso de la metodología BIM la calidad de los documentos aumenta considerablemente en las etapas de diseño, construcción y mantenimiento de una obra. Con el tiempo ahorrado se invierte en mejorar aún más la calidad de los documentos.
- Economía: Todo lo indicado anteriormente conduce a la reducción de costos o ventajas económicas para todos los que intervienen en el proceso.

#### ***3.1.1.5. Software para el desarrollo del BIM.***

Los software para el desarrollo de la tecnología BIM son capaces de lograr mejoras mediante representaciones gráficas tridimensionales de los componentes que tiene un proyecto y son utilizado para el diseño y construcción de edificaciones, la representación gráfica basada en objetos 3D es un cambio con respecto a lo tradicional CAD 2D, que se basa en representaciones vectorial. Hoy en día hay un cambio del CAD por el BIM esto quiere decir que hay varios software que tienen la capacidad para realizar diseños tridimensionales desde el inicio del proyecto al

cual también se le ingresa información a los elementos que contienen el 3D, a su vez estos programas tienen la capacidad de integrar la ingeniería, especialidades, etc. (Rodríguez y Valdez, 2012).

Algunos programas para el desarrollo BIM más conocidos en el sector de construcción se mencionan a continuación:

*a. Autodesk Revit®.*

Este software BIM permite realizar diseños tridimensionales (3D) con objetos paramétricos, la plataforma de este software es distinta a la de AutoCAD ya que permite diseñar en modelos 3D como en 2D, a medida que se va dibujando el programa va recopilando la información sobre el proyecto. El software Revit trabaja sobre modelos dinámicos es decir que al realizar un cambio este se actualiza en todos los documentos automáticamente. Este software está compuesto por varios componentes que incluyen Revit Arquitectura, Revit Estructuras y Revit MEP. Una de las ventajas que tiene el programa es de fácil de aprender el cual está organizado de una manera amistosa con amplias librerías que contienen objetos o familias paramétricas (Ulloa y Salinas, 2013).

*b. Tekla BIM.*

Este software fue desarrollado por una empresa finlandesa TEKLA, el programa fue creado para el diseño a detalle, fabricación, despiece y montaje de todo tipo de estructuras de construcción, con este software se modela y analiza cualquier tipo de estructura ya sea de concreto o acero no importando su tamaño, con gran precisión y sobre todo ahorrando tiempo, este programa se maneja de dos maneras como único usuario y multiusuario este último permite que varios profesionales

intervengan en el modelo al mismo tiempo. Al igual que muchos software BIM este modelo no dibuja simplemente lianas sino modelos tridimensionales con objetos paramétricos, con este programa los elementos estructurales están pre definidos las cuales se definen de una manera más fácil las uniones y nudos estructurales en caso de estructuras metálicas (Ulloa y Salinas, 2013).

*c. Archicad GRAPHISOFT®.*

Uno de los software BIM más antiguos creados en la década de los 80s, este programa permite el trabajo en modelo tridimensional con objetos paramétricos, con lo cual se crea un edificio virtual con elementos virtuales como paredes, techos, puertas, etc. Archicad permite trabajar en modelos 2D y 3D en pantalla, toda la documentación del proyecto que se requiera como los alzados, cortes o secciones son generados desde el modelo virtual del proyecto las cuales son constantemente actualizadas, entre sus ventajas tiene que el modelo es fácil de usar y tiene una amplia librería (Ulloa y Salinas, 2013).

*d. Naviswork.*

Es un software que permite la revisión de un proyecto, esta herramienta nos permitirá una mejor coordinación, realizar la construcción virtual del proyecto y la revisión del proyecto para su análisis y un mejor control. Una de las mayores ventajas es la detección de conflictos el cual nos permitirá resolver los problemas de una manera adecuada y anticipada (Autodesk, Productos Autodesk, 2016). Con esta herramienta se logra realizar el modelamiento BIM 4D con la ayuda de un cronograma realizado por otro software como MS Project, Primavera, u otro software de gestión del tiempo.

A nivel mundial existen varios software para el desarrollo de la metodología BIM, de los cuales según (MSIBIM, 2016). El software más utilizado es el Autodesk Revit, seguido por Archicad tal como se muestra en la figura 4.

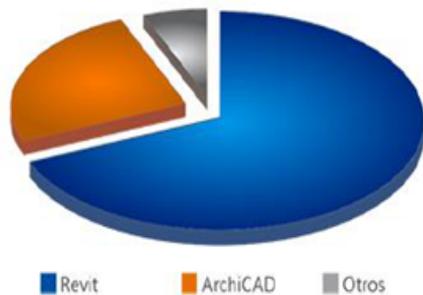


Figura 4. Software BIM más conocido y utilizado a nivel mundial

Fuente: MSIBIM, 2016

#### **3.1.1.6. Niveles de detalle BIM – LOD.**

LOD es un acrónimo de level of development el cual es una descripción de referencia y permite que los profesionales del sector de la arquitectura e ingeniería realicen el intercambio de información con claridad en su contenido. Del mismo modo el LOD ayuda al equipo que modela la información a especificar los entregables del BIM y de esta manera poder obtener una imagen clara de lo que incluirá el modelo (Tur, 2014).

Para poder definir los distintos niveles de desarrollo algunos autores la definen de la siguiente manera:

##### *a. LOD 100.*

Es el nivel básico donde el elemento u objeto del modelo solo se representa gráficamente, que en realidad es un dibujo referencial donde varía las características del objeto (Madrid, 2013). LOD 100 es un diseño conceptual de la edificación que proporciona un análisis de la orientación, volumen y área (Tur, 2014).

b. *LOD 200.*

El elemento se representa gráficamente como algo genérico el cual contiene poca información como cantidades aproximadas, tamaño, forma, ubicación y la orientación, a este modelo también se le añade la información no gráfica (Madrid, 2013).

c. *LOD 300.*

En este nivel el elemento se representa gráficamente como algo específico el cual contiene información como cantidades aproximadas, tamaño, forma, ubicación con respecto al conjunto del proyecto. A este modelo también se le añade la información no gráfica (Madrid, 2013).

Se trata de un nivel donde el elemento aporta información y geometría precisa y donde la estimación de los costos del modelo se basan en datos específicos con métodos de estimación de costos conceptuales (Tur, 2014). En la figura 5 se aprecia el LOD 100 el cual solo se tiene graficado los muros, en el LOD 200 ya se tiene más detalles como los inodoros y lavatorios y en el LOD 300 ya es más detallado que el anterior conteniendo información básica para la construcción.

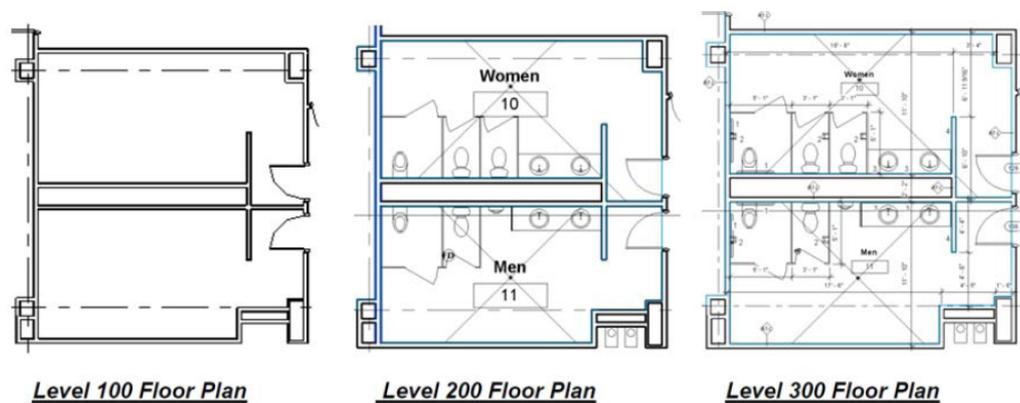


Figura 5. Esquema gráfico de niveles de desarrollo LOD 100 a LOD 300

Fuente: Madrid, 2013

d. *LOD 350.*

Es equivalente al LOD 300 sin embargo en este nivel se incluye la detección de interferencias entre los distintos elementos del modelo, para ello se requiere una correcta coordinación entre las distintas disciplinas que participan en el proyecto de esta manera se realiza una correcta ejecución de la obra, reduciendo errores y modificaciones que ocasionan mayores costos (Madrid, 2013). En la figura 6 se muestra la diferencia que existe entre el nivel LOD 300 y 350, en el LOD 300 existe interferencia de la tubería con el muro y en el LOD 350 ya se tiene solucionado dicha interferencia.

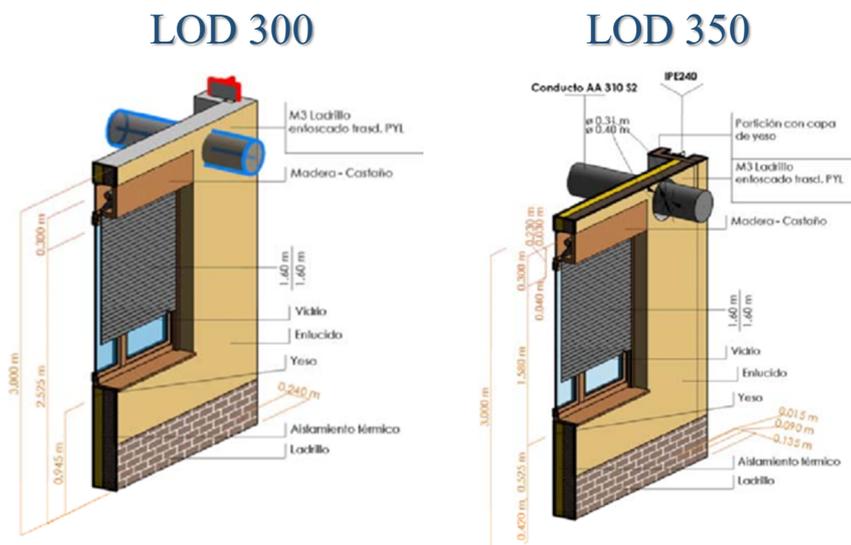


Figura 6. Esquema gráfico de niveles de desarrollo LOD 300 y LOD 350

Fuente: Madrid, 2013

e. *LOD 400.*

El elemento del modelo el cual es representada gráficamente como un sistema, objeto específico en temas de tamaño, forma, ubicación, cantidad y orientación con detalle, fabricación, montaje y toda la información que se requiere para el montaje e instalación, también se le incluye la información no gráfica (Madrid, 2013). Se trata de un nivel donde se tiene objetos con un detalle necesario para la ejecución

de una obra, la estimación de los costos está dado por el costo real de los objetos que contiene el modelo (Tur, 2014).

f. *LOD 500.*

El elemento de modelo está definido geoméricamente en detalle o representación sobre el terreno el cual se verificará el tamaño, forma, ubicación, cantidad y la orientación con detalle, fabricación, montaje y toda la información necesaria. Este nivel está vinculado al futuro el cual incluye: la determinación de estado actual, especificaciones y aprobaciones del producto, mantenimientos directos, gestión y explotación, así como las modificaciones y renovaciones de la edificación, a este elemento también se le incluye la información no gráfica (Madrid, 2013). Es el último nivel de detalle y representa el proyecto que ya está construido, el cual consta de elementos reales y precisos en todos los términos (Tur, 2014).

En la figura 7, se muestra los distintos niveles de detalle BIM.

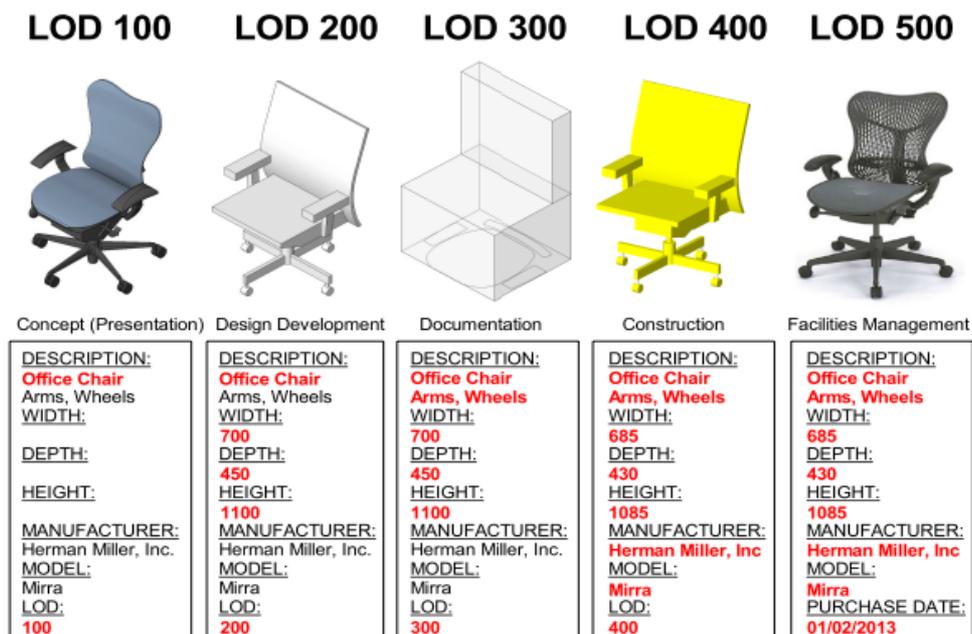


Figura 7. Niveles de desarrollo LOD 100 al LOD 500

Fuente: Madrid, 2013

### **3.1.1.7. Dimensiones del BIM.**

La tecnología del Building Information Modeling (BIM) no solo es un simple modelamiento tridimensional sino también tiene dimensiones, las cuales se clasifican en cinco dimensiones como el modelo 3D el cual se desarrolla un modelo tridimensional, para la gestión del tiempo se tiene el modelo 4D, para gestión del costo se tiene la dimensión del 5D, la sostenibilidad se realiza en el modelo 6D y la dimensión del 7D donde se tiene el modelo para realizar la operación y el mantenimiento de la edificación (MSIBIM, 2016).

#### *a. Dimensión BIM 3D.*

Son dibujos tridimensionales 3D al cual se introduce toda la información que contiene el proyecto como terreno, estructura, columnas, puertas, ventanas etc., también contienen dentro del modelo cantidades y características de los materiales como tipo de concreto, acero, etc. (MSIBIM, 2016).

#### *b. Dimensión BIM 4D.*

Según Mattos y Valderrama (2014) a los modelos 3D se añade el tiempo y se obtiene el modelo denominado BIM 4D, con esta metodología se visualiza la construcción de la edificación en forma virtual y con la secuencia animada a cualquier velocidad permitiendo así analizar dinámicamente el proceso constructivo, al agregar el tiempo al modelo tridimensional permite obtener los problemas que aparecen durante la ejecución con sistemas tradicionales como:

- Interferencias dinámicas como encofrado trepador y una grúa.
- Realización de trabajos en el mismo momento y espacio.
- Trabajos inseguros, como labores que se realizan por encima de otros trabajos.

- Imposibilidad de introducir la maquinaria o equipamiento al su lugar de destino.

Una vez iniciada la ejecución de la obra es posible saber las causas de la desviación con lo planificado el cual también se realiza el análisis y corregir las desviaciones en la planificación (Mattos y Valderrama, 2014).

*c. Dimensión BIM 5D.*

En esta etapa del BIM se realiza la estimación de los recursos y los costos del proyecto, como también el seguimiento y control de los costos durante la ejecución del proyecto (MSIBIM, 2016).

*d. Dimensión BIM 6D.*

Esta dimensión nos permite conocer el comportamiento de la edificación o del proyecto de manera energética y dependiendo del objetivo del proyecto se tomara decisiones para mejorar el consumo de energía. Para esto se requiere la orientación del edificio, información de materiales utilizados para el proyecto, etc. (MSIBIM, 2016).

*e. Dimensión BIM 7D.*

El BIM 7D se refiere a la operación y mantenimientos que se realizan en la edificación una vez construido, esta dimensión nos permite conocer el estado actual de la edificación como las instalaciones y toda la información necesaria para el correcto funcionamiento de la edificación (MSIBIM, 2016).

Por último según Mattos y Valderrama (2014, p.302) “el modelo as-built, ajustado a la realidad de lo ejecutado, se usa para planificar el mantenimiento,

puesto que contiene toda la información necesaria de todos y cada uno de los elementos de equipamiento, sus fechas de reparación o sustitución”.



Figura 8. Dimensiones del BIM

Fuente: MSIBIM, 2016

### 3.1.1.8. Aplicación de BIM en la etapa de construcción.

Desde la década de los 80 existe las herramientas que permiten modelar edificaciones tridimensionalmente con el cual se han generado modelos casi realistas, sin embargo no se ha utilizado para ver los proceso de construcción operación y mantenimiento de la edificación, hasta la llegada de la tecnología BIM (Mattos y Valderrama, 2014).

En los últimos 10 años, el dibujar en CAD, era líneas con color, grosor etc. pero solo era un dibujo a través de herramientas como el AutoCAD, ahora con la llegada de la tecnología BIM va más allá de solamente un dibujo, sino que con la ayuda de herramientas informáticas (software) y con los conocimientos se logra realizar un modelo virtual con elementos paramétricos o elementos que tienen

características comerciales vale decir elementos que se encuentran en el mercado. (MSIBIM, 2016).

El sector de la construcción es bien conocido por tener extensa información y única para cada proyecto donde el trabajo en papel es hasta ahora una forma de comunicar la información a los distintos interesados o actores del proyecto. En la figura 9, se grafica la comunicación que se tiene actualmente donde el cliente trasmite una idea al proyectista o arquitecto y este la interpreta y genera un modelo mental el cual la plasma en planos y especificaciones, seguidamente el ingeniero recibe la información del arquitecto y la interpreta de una forma distinta a la idea principal, finalmente llegará al constructor donde la interpreta de otra manera y realizara sus consultas y dudas, resultando así una mala comunicación en planos 2D por ende se genera retrasos al proyecto (Eyzaguirre, 2015).

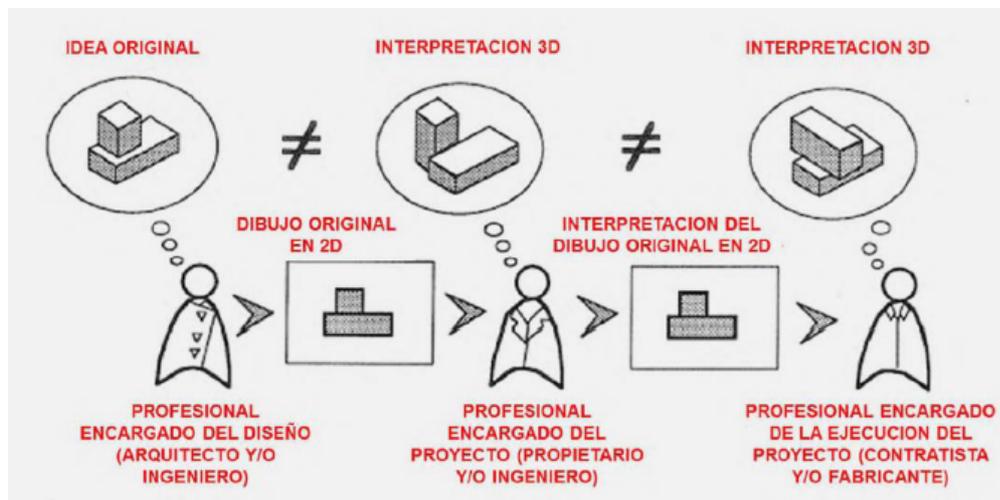


Figura 9. Interpretación del modelo tradicional en los distintos participantes del proyecto

Fuente: Eyzaguirre, 2015

Debido a la mala interpretación de los dibujos 2D en los distintos profesionales que intervienen en un proyecto y con la comunicación y flujo de información de manera tradicional tiene muchas desventajas en los proyectos, para

ello la metodología BIM ofrece una gran manera de mejorar el sistema de coordinación, supervisión y control del diseño de forma centralizada tal como se aprecia en la figura 10 (Eyzaguirre, 2015).

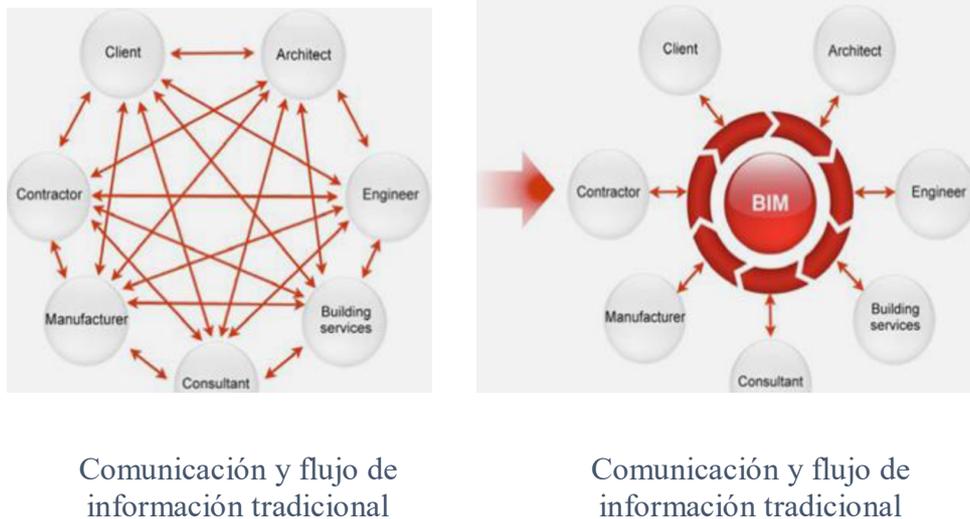


Figura 10. Comunicación y flujo de información de forma tradicional vs metodología BIM  
Fuente: Eyzaguirre, 2015

Con la metodología BIM en la etapa de construcción se obtienen distintos tipos de documentación que sirven para realizar la planificación, la estimación de costos, etc., entre ellos tenemos los siguientes:

a. *Estimación de cantidad de materiales.*

La estimación de cantidad o bien conocido en como metrados, con BIM se obtiene de una manera rápida y sencilla, después de finalizar el modelamiento 3D, ya que el modelo está representado por objetos paramétricos que tienen información no grafica como cantidad, dimensiones etc. para ello el software BIM genera reportes de los distintos objetos introducidos al modelo (Alcantara, 2013).

b. *Detección de conflictos.*

La construcción de obra consiste en la materialización de la ingeniería de las distintas disciplinas, debido a que la ingeniería es desarrollada por varios

profesionales existen conflictos que son detectados en el momento de la ejecución el cual generan pérdidas de costo y tiempo, sin embargo, con la tecnología BIM se detectan estos conflictos de una manera anticipada. Entre los beneficios para la detección de conflictos con BIM están: (Alcantara, 2013)

- Ayuda a la coordinación en la ingeniería del proyecto.
- Facilita la revisión en forma completa de los diseños.
- Permite la detección de conflictos de manera rápida.
- Brinda capacidad para explorar distintas opciones.
- Permite hacer el seguimiento de las actividades en la construcción.
- Minimiza los desperdicios y el reproceso.
- Ayuda a mejorar la calidad de los diseños.

*c. Visualización.*

La visualización en la etapa de construcción ayuda a generar distintos escenarios de ejecución de la obra, esto ayuda a obtener mejor planificación de la obra, ya que la forma tradicional en realizar el planeamiento de obra es un factor crítico en la gerencia de proyectos (Alcantara, 2013).

*d. Simulación 4D.*

Al modelo 3D se le agrega la planificación realizado en un software de gestión, de ello nace la construcción virtual o también denominado BIM 4D en el cual se visualiza la ejecución de la obra en forma virtual en base a lo planificado, con esta información se logra ver cómo va avanzando el proyecto de una forma gráfica de esta manera el manejo del 4D ayudará a reducir la variabilidad del proyecto, optimizando los tiempo en el ciclo de producción, en general ayuda a incrementar la confiabilidad de la planificación de obra (Alcantara, 2013).

### 3.1.2. Planificación de obra

#### 3.1.2.1. Modelo tradicional.

El proceso de planificación y control de obra desempeñan un papel importante en los proyectos ya que tienen un alto impacto en el rendimiento de la producción debido a ello existen técnicas como PERT/CPM que permiten crear cronogramas de obra con numerosas actividades que están interconectadas entre si y el grado de detalle deseado que depende del planificador hasta que nivel quiere descender, este cronograma sirve para dirigir las tareas diarias de ejecución. Los diagramas de barras o cronograma son generados a partir de la planificación, es un procedimiento bien definido plasmado gráficamente en barras (Mattos y Valderrama, 2014).

El método del PERT/CPM es una forma de conversión tradicional de general un cronograma de obra, donde el proceso de transformación del recurso es tal como se muestra en la figura 11 (Rodríguez y Valdez, 2012).

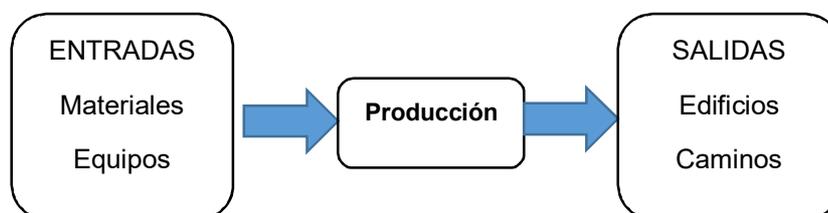


Figura 11. Proceso de transformación de recursos.

Fuente: Rodríguez y Valdez, 2012

El proceso está fundamentada de forma errada debido a que el modelo elimina el concepto de flujos físico entre los procesos tradicionales estos flujos generalmente como movimientos esperas e inspecciones (Rodríguez y Valdez, 2012).

Según el Project Management Institute (PMI, 2017) uno de los métodos para realizar la planificación es el método tradicional de la ruta crítica con el cual

se crea el cronograma del proyecto de una manera general, proporcionando de manera detallada el momento en que se iniciará y finalizará cada una de las actividades del proyecto y sirve como herramienta para la comunicación, en la figura 12 muestra de una manera general la programación, mostrando las interacciones que se dan entre los métodos, herramientas y salidas del cronograma para generar un modelo de programación.

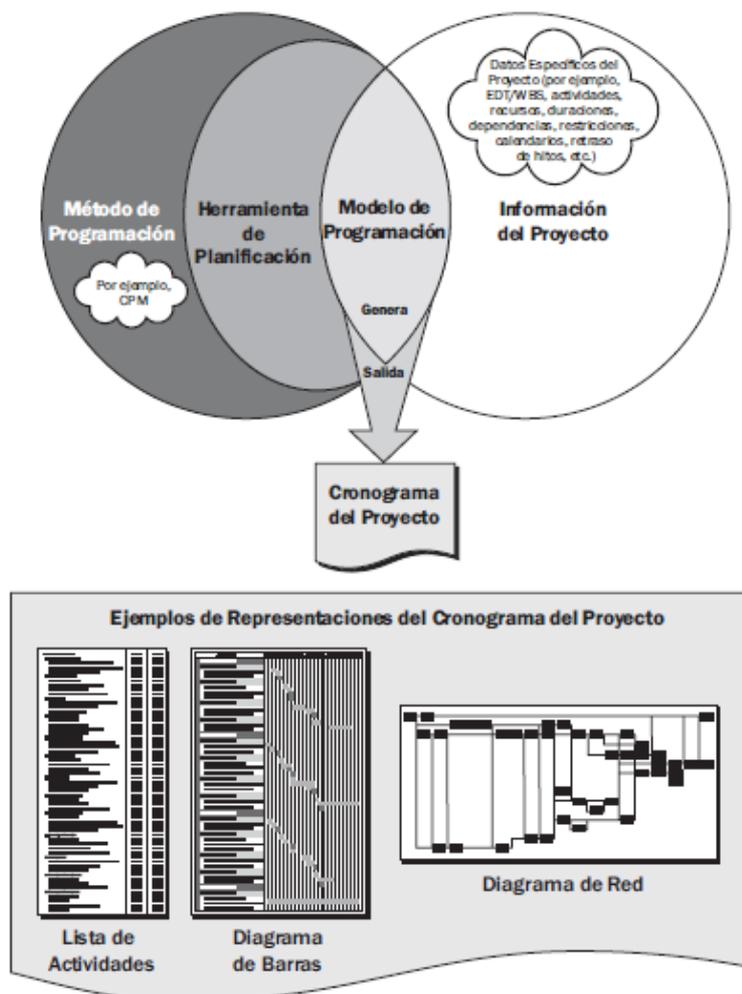


Figura 12. Descripción general de la programación

Fuente: Project Management Institute, 2017

### 3.1.2.2. Guía del PMBOK.

La guía PMBOK (Project Management Body of Knowledge) es un guía que proporciona pautas para la dirección de proyectos de tal manera se ejecuten

proyectos exitosos, así mismo esta guía describe el ciclo de vida de la dirección de proyecto el cual contiene estándares que son reconocidos mundialmente además de métodos, normas y prácticas establecidas (PMI, 2017).

La guía del PMBOK (Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos), proporciona pautas y define conceptos relacionados con la dirección de proyectos, es una guía de reconocimiento mundial un documento formal que describe normas, métodos, procesos y practicas establecidas así mismo esta guía proporciona y promueve un vocabulario común para el uso y la aplicación de los conceptos de la dirección de proyectos dentro de la profesión de la dirección de proyectos. (PMI, 2017)

El Project Management Institute (PMI) en la Guía PMBOK®, define a un proyecto como un emprendimiento temporal cuyo objetivo principal es crear un producto o servicio único (Repetto, 2003).

El objetivo máximo de un director de proyecto es conducir a la organización a lograr materializar el mismo con el alcance solicitado, con la calidad especificada, dentro del presupuesto establecido y en el plazo programado. Para ello, debe gestionar los inevitables conflictos entre el alcance, la calidad, los costos y el tiempo de un proyecto (Repetto, 2003).

### ***3.1.2.3. Procesos de la dirección de proyectos.***

Según PMI (2017) la dirección de proyectos consiste en la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas, basadas en las mejores prácticas provenientes de diversas áreas del conocimiento, y en un grupo de cinco procesos que siguen el ciclo de vida del proyecto.

- a. *Procesos de Iniciación:* Definen y autorizan un nuevo proyecto.
- b. *Procesos de Planificación:* Se definen el alcance del proyecto, los objetivos, asunciones, restricciones, criterios de aceptación y se planifica las iniciativas requeridas para lograr los objetivos establecidos.
- c. *Procesos de Ejecución:* Estos procesos implican la coordinación de personas y recursos, preparar contratos, realizar las compras y contrataciones, realizar las actividades del proyecto, de acuerdo con el plan de gestión del proyecto, asegurar la calidad, re planificar, gestionar los cambios y disparar los planes de acción contra las contingencias.
- d. *Procesos de Monitoreo y Control:* Permiten monitorear en forma proactiva los desvíos para la adecuada y oportuna toma de decisiones preventivas y correctivas.
- e. *Procesos de Cierre del proyecto:* Formaliza la aceptación de la obra terminada y la forma de transferencia al cliente.

Los procesos de dirección de proyectos descritos están interrelacionados y se superponen en algunas fases del proyecto, ver la figura 13 (Repetto, 2003).

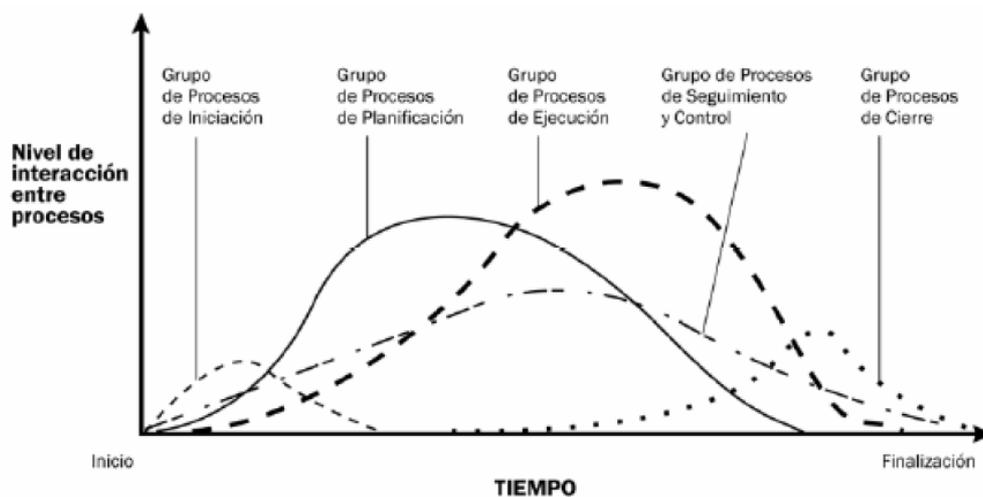


Figura 13. Grupos de procesos de inicio a fin

Fuente: Repetto, 2003

#### **3.1.2.4. Estructura de desglose del trabajo (EDT/WBS).**

La estructura de desglose del trabajo (EDT) es una descomposición jerárquica del trabajo, orientada al entregable, que será ejecutado por el equipo del proyecto para lograr los objetivos establecidos. La EDT subdivide el trabajo del proyecto en porciones de trabajo más pequeñas y fáciles de manejar, donde cada nivel descendente de la EDT representa una definición cada vez más detallada del trabajo del proyecto. El objeto de la EDT es descomponer al alcance en unidades de trabajo más manejables que mejoren la precisión a la hora de estimar costos y tiempos (Repetto, 2003).

Mulcahy (2010) hace mención que existen pocas reglas establecidas para crear una EDT alguna de estas son las siguientes:

- La EDT se crea con la ayuda del equipo.
- Debe finalizarse el primer nivel antes de desglosar más.
- Cada nivel de la EDT es una pieza más pequeña del nivel superior.
- Todo el proyecto se incluye en cada uno de los niveles de la EDT.
- La EDT incluye únicamente entregables que son realmente necesarios.
- Los entregables no incluidos en la EDT no son parte del proyecto.
- Los niveles de la EDT se enumeran para facilitar su localización.

La EDT es la base del proyecto, esto significa que casi todo lo que sucede en el proceso de planificación después de la creación de la EDT está directamente relacionado con la EDT (Mulcahy, 2010).

#### **3.1.2.5. Gestión del cronograma del proyecto.**

Según PMI (2017) dentro de esta gestión incluye los procesos necesarios para culminar el proyecto en el tiempo planificado como:

a. Definir las actividades del proyecto.

Este proceso implica especificar todas las actividades necesarias para culminar el proyecto, el cual sirve como base para la estimación, programación, ejecución y monitoreo. Uno de las herramientas y técnicas utilizadas para la definición de las actividades es la estructura de desglose del trabajo (EDT), tal como se aprecia en la figura 14 descomponiendo el trabajo en componentes menores (paquetes de trabajo) con un nivel detalle que de tal manera sean más pequeñas y manejables.

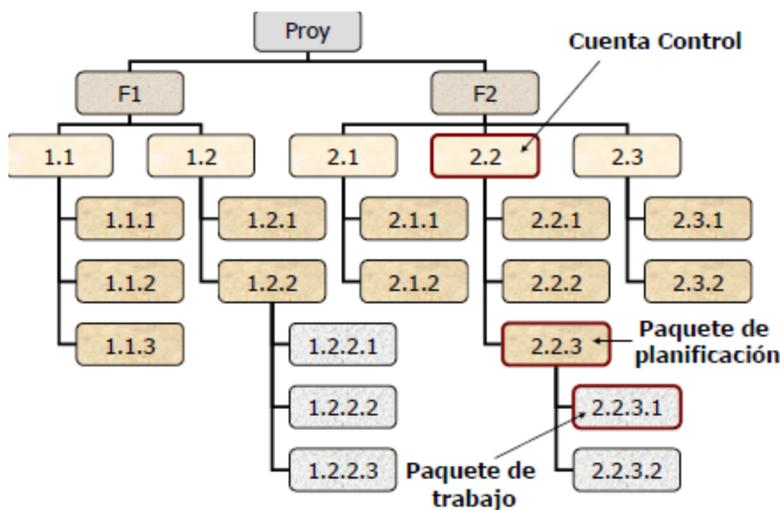


Figura 14. Componentes de planificación en la EDT

Fuente: Lledo, 2009

La salida de este proceso es la lista de actividades suficiente para que el equipo del proyecto entienda el trabajo que debe realizar, otra salida importante es la lista de hitos de duración nula, donde se menciona los eventos significativos dentro del proyecto (PMI, 2017).

b. Secuenciar las actividades.

Secuenciar las actividades consiste en identificar las relaciones que existen entre las distintas actividades del proyecto, el mayor beneficio de este proceso es la secuencia lógica de las actividades para obtener la máxima eficiencia esto es posible gracias a las técnicas y herramientas como el método de diagramación por

precedencia, determinación e integración de las dependencias y definir los adelantos o retrasos (Mulcahy, 2010).

El método de diagramación por precedencia (PDM) o también denominado actividad en el nodo (AON) son métodos más utilizados por los software de gestión de proyectos el cual utilizan nodos que se conectan con flechas y muestran la dependencia, con este método se realizan cuatro tipos de secuencias tal como muestra la figura 15 y se describe a continuación (Lledo, 2009):

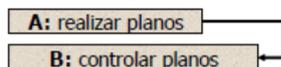
- Final – Inicio (FS): Donde la actividad no comienza si la actividad antecesora no culmina por ejemplo no se logra realizar el vaciado de concreto si no está terminado el encofrado.
- Inicio – inicio (SS): Esta secuencia permite realizar dos actividades en paralelo como por ejemplo colocar falso cielo raso y pintar muros exteriores.
- Fin – Fin (FF): En esta secuencia las actividades deben de terminar juntas como por ejemplo vaciado de vigas con el vaciado de techo o losa aligerada.
- Inicio – Final (SF): Esta secuencia es muy poco utilizada ya que una actividad debe iniciar antes que culmine la sucesora.

#### Tipos de dependencias:

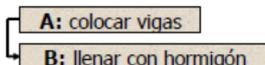
**Final a Inicio:** B comienza cuando finaliza A



**Final a Final:** B no puede finalizar hasta que finalice A



**Inicio a Inicio:** B no puede comenzar hasta que comience A



**Inicio a Fin:** B no puede finalizar hasta que comience A

Figura 15. Secuenciar actividades según la diagramación por precedencia

Fuente: Lledo, 2009

La determinación e integración de las dependencias se clasifican en cuatro tipos y de las cuatro dependencias solo se aplican dos simultáneamente como dependencia obligatoria internas, dependencia obligatoria externa, dependencia discrecional interna y dependencia discrecional externa. La dependencia obligatoria son aquellas que tienen limitaciones físicas como por ejemplo no se logra realizar el las columnas si no se tiene el cimientto sin embargo en las dependencias discretionales se realizan según mejores prácticas o por alguna razón se desea una secuencia específica como por ejemplo realizar el trabajo eléctrico luego del trabajo de plomería, sin embargo este orden no es obligatorio ya que ambas actividades se logran realizar en simultaneo. La dependencia externa esta fuera del control del equipo del proyecto, por ejemplo para prueba de un software depende de la entrega del proveedor (por parte externa) sin embargo la dependencia interna está bajo el control del equipo del proyecto como por ejemplo el equipo no consigue probar una maquina mientras no lo haya ensamblado (PMI, 2017).

El equipo del proyecto determina si requirieren un adelanto o retraso para definir con exactitud la relación lógica. Se agrega un adelanto para lograr iniciar una actividad antes que la actividad predecesora termine así mismo se agrega retrasos para esperar un tiempo entre actividades (Mulcahy, 2010).

La salida de este proceso de secuenciar actividades es el diagrama de red del cronograma del proyecto el cual es una representación gráfica de las relaciones lógicas entre las distintas actividades del proyecto (PMI, 2017).

En la figura 14 se aprecia un ejemplo de diagrama de red del cronograma.

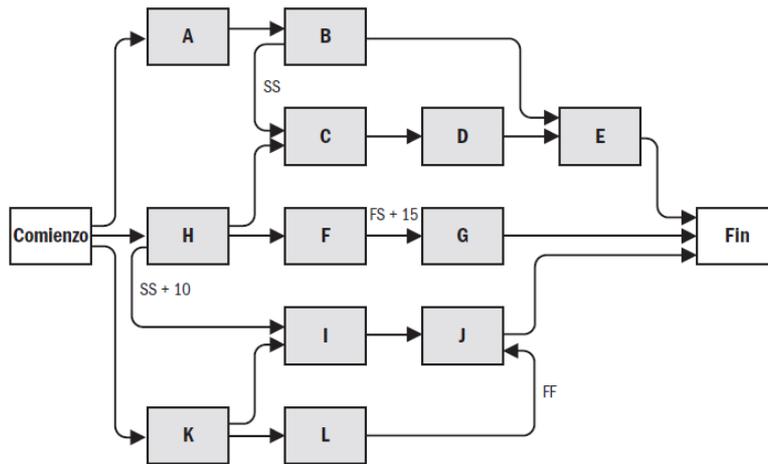


Figura 16. Diagrama de red del cronograma del proyecto

Fuente: Lledo, 2009

c. *Estimar la duración de las actividades.*

En este proceso se estima la cantidad de periodos necesarios para la culminación de cada actividad con los recursos asignados, la estimación se realiza de manera progresiva y tiene gran probabilidad de no acertar la estimación, algunos factores a ser considerados para realizar la estimación son: el alcance del trabajo, tipos de recursos, niveles de habilidades, ley de rendimientos ascendentes, numero de recursos, avances tecnológicos y motivación personal. La experiencia en obra del profesional que lo realiza es muy importante para realizar una estimación más acertada, para ello se utiliza los métodos de estimación análoga, estimación paramétrica, estimación por tres valores. Para la estimación análoga se toma duraciones de otros proyectos similares y con la experticia de los ingenieros de campo, la estimación paramétrica se basa en la relación entre datos estadísticos como por ejemplo el tiempo por metro cuadrado de construcción etc., y para la estimación basada en valores (PERT) se utiliza la siguiente ecuación de distribución triangular (PMI, 2017).

$$tE = \frac{tO+tM+tP}{3} \dots\dots\dots[\text{Ecuación 1. Distribución triangular}]$$

Donde:

tE = Duración estimada.

tO = Tiempo más optimista.

tP = Tiempo más pesimista.

tM = Tiempo más probable.

*d. Desarrollar el cronograma.*

Para el desarrollo cronograma general del proyecto se recopilará toda la información obtenida como la definición de las actividades, secuencia de las actividades, estimación de la duración, todos estos datos son ingresados al software de gestión de proyectos donde lograremos un análisis “que pasa si” simulando de cómo cambia el cronograma si se aplica alguna variable o se enlaza de otra manera, método de cadena crítica o modificando el cronograma teniendo en cuenta las restricciones de recursos agregando colchones de duración, nivelación de recursos, adelantos y retrasos, para mejorar la eficiencia de los recursos, ver la ruta crítica o el camino más largo del proyecto además de las holguras de cada actividad (Lledo, 2009).

Según Repetto (2003) es necesario una reserva para acomodar los riesgos que existen en el proyecto, por lo general al cronograma ideal se ajusta las restricciones físicas de tiempo nivelando y balanceando los recursos disponibles, colocando buffer al final de los proyectos y en los ramales que alimentan las tareas críticas. El buffer permite absorber los posibles riesgos que se logren generar en el proyecto ya que generalmente en la realidad lo planificado suele ser distinta a lo

realmente ejecutado. En proyectos de construcción generalmente se estima un buffer que va desde el 10 % hasta el 20 % del plazo útil.

De la salida de este proceso se obtiene una línea base del cronograma en versión aprobada que solo se modifica con procedimientos formales y que se utiliza como base de comparación con resultados reales, el cronograma que presenta una fecha de inicio y fin, el cronograma se presenta en forma de resumen o también llamado cronograma maestro, el cronograma generalmente se presenta en forma gráfica como diagrama de barras, diagrama de hitos y diagrama de red del cronograma.

### **3.2. Definición de términos**

- Tecnología BIM: La tecnología BIM es la técnica de modelar una edificación en forma tridimensional, el cual incluye toda la información del proyecto para gestionar y documentar durante el ciclo de vida del proyecto.
- Modelamiento de información de la edificación: Son dibujos tridimensionales 3D al cual se introduce toda la información que contiene el proyecto de edificación.
- Planificación de obra: La planificación de una obra es el conjunto de actividades secuenciadas entre si el cual determinan el proceso de ejecución del proyecto en el transcurso del tiempo.
- PMBOK (Project Management Body of Knowledge): Es un guía que proporciona pautas para la dirección de proyectos para que de esta manera se ejecuten proyectos exitosos.
- Construcción virtual: La construcción virtual visualiza la construcción de la edificación en forma virtual y con la secuencia animada a cualquier velocidad.

- Variabilidad: La variabilidad afecta negativamente todos los ámbitos de la producción y también es algo negativo para el cliente, por lo cual es importante la reducción de la variabilidad para evitar problemas con las programaciones y la satisfacción del cliente.
- Constructibilidad: Se define como la manera en la cual el diseño de una edificación busca reducir el trabajo no productivo durante la etapa de ejecución del proyecto y reducir el proceso de construcción de una manera más simple de tal manera poder administrar la ejecución eficientemente.
- Constructabilidad: Se refiere a la habilidad y experiencia que se tiene en la ejecución de proyectos de edificaciones para diseñar, planificar y construir de tal manera alcanzar los objetivos planteados.
- Buffer: Son tiempos adicionales al cronograma para que absorban los imprevistos del proyecto y que permitan por tanto ejecutarlo (con garantías) en plazo.

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

#### **3.1. Tipo de la investigación**

El presente trabajo de investigación es del tipo aplicada, ya que pretende resolver uno de los problemas más comunes en la ejecución de proyectos de construcción de edificaciones como la planificación de obra, proponiendo la aplicación de la tecnología BIM (Vara, 2012).

#### **3.2. Diseño de la investigación**

Se ha utilizado el diseño transeccional correlacional (no experimental) para diferencia de grupos, ya que la presente investigación está basado en la comparación de dos métodos tales como la metodología BIM y la forma tradicional de realizar la planificación obra de edificación para oficinas en la región de Tacna (Hernández , Fernández y Baptista, 2014).

### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población**

Se ha considerado como población a los proyectos de edificación ejecutados en la región Tacna.

#### **3.3.2. Muestra**

Se considera una muestra no probabilístico como la muestra intencional donde la muestra es constituida por el tesista según el propósito de investigación ya que se cuenta con la información necesaria para realizar la recolección de datos para la investigación debido a ello se consideró como muestra el proyecto “Obras multidisciplinarias para facilidades operativas de nuevos talleres de mantenimiento de equipos mina” correspondiente a un edificio administrativo (Charaja, 2011).

### **3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos**

Para la recolección de datos se utilizó la técnica de análisis documental de acuerdo a una guía de revisión documental, el cual se realizó a los documentos del proyecto que se tiene como muestra, considerando las variables como: datos generales del proyecto, alcances, especificaciones técnicas, planos a detalle, planos red line, planos as built, consultas RFI y fotografías. En la siguiente tabla se muestra las variables y su definición de la guía de revisión documental.

**Tabla 3***Guía de revisión documental*

<b>Documentos</b>	<b>Definición</b>
Datos generales del proyecto.	Datos generales del proyecto como tiempo de ejecución, costo de la obra, ubicación del proyecto, alcance general de proyecto, etc.
Alcances.	Trabajos a realizar o ejecutar en el proyecto.
Especificaciones Técnicas.	Exigencias, normas o procedimientos a ser aplicados en las distintas actividades de la obra.
Planos a detalle	Planos a detalle del proyecto en las distintas disciplinas del proyecto.
Planos red line	Planos modificados mediante red line en las distintas disciplinas del proyecto.
Planos as built	Planos finales de obra de distintas disciplinas del proyecto.
Consultas RFI	RFI's emitidas y respondidas.
Fotografías	Fotografías de la ejecución del proyecto.
Cronograma de ejecución de obra	Cronogramas de ejecución emitidas y aprobadas.
Duración real del proyecto	Duración real del proyecto.

## **CAPÍTULO IV**

### **DESARROLLO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

#### **4.1. Recolección de datos del proyecto gestionando de la manera tradicional**

##### **a) Datos Generales del proyecto.**

Como caso de estudio se tiene una edificación para oficinas administrativas ubicado en el yacimiento minero Toquepala, departamento de Tacna, el proyecto se edificó en las instalaciones denominada casa redonda, el área se caracteriza por pendientes moderadas a fuertes con presencia de afloramiento rocoso. La edificación consta de un sistema aporticado con dos niveles, en el primer piso se ubican los módulos de oficinas y auditorio y en el segundo nivel oficinas y sala de reuniones.

##### **b) Alcance general del proyecto.**

El alcance general del proyecto incluye lo siguiente:

- Obras civiles como: obras de movimiento de tierras, zapatas, vigas, columnas, losas de piso y techo, losa aligerada, escaleras, veredas, muros de albañilería, revoques, puertas, ventanas, entre otros.
- Instalaciones sanitarias como: sistema de distribución de agua fría, sistema de distribución de agua caliente, sistema de evacuación de desagüe, sistema de evacuación de aguas pluviales y la instalación de los aparatos sanitarios

- Instalaciones eléctricas y comunicación como: salidas para alumbrado, tomacorrientes, interruptores, telefonía y datos, canalización mediante tubería de PVC y bandejas, cableado eléctrico, cableado estructurado, suministro e instalación de tableros, transformadores, entre otros.

c) Planos contractuales del proyecto.

Los planos contractuales de las distintas disciplinas como Arquitectura, Estructuras, Instalaciones sanitarias, Instalaciones eléctricas e instrumentación, se encuentran elaborados con el software de AutoCAD, modelados en 2D como se muestra en la figura 17.

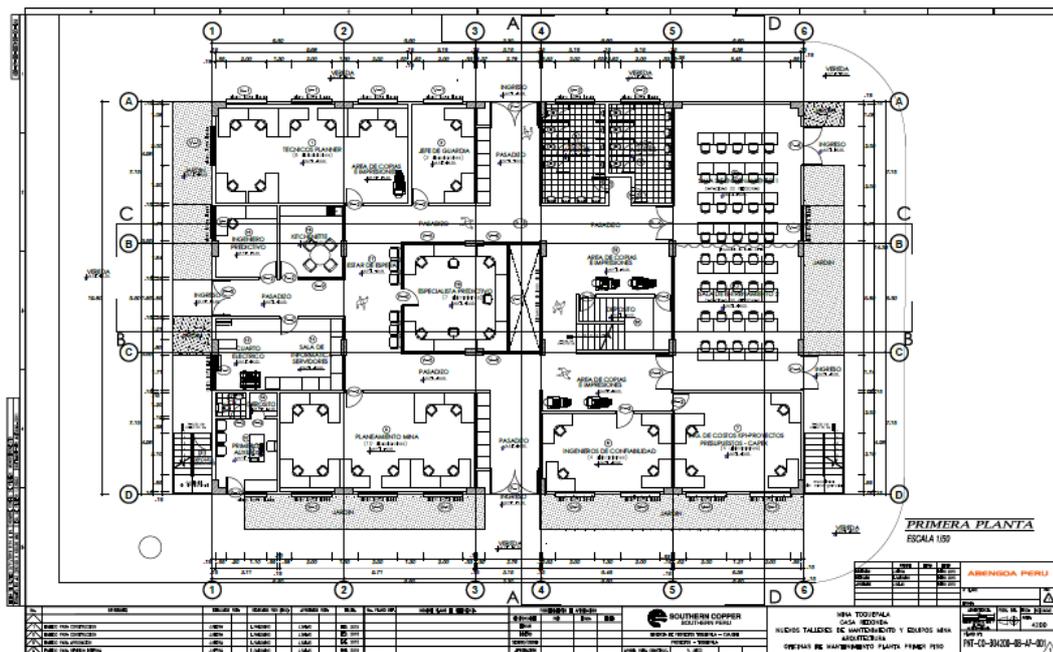


Figura 17. Plano contractual de la disciplina de estructuras

En la tabla 4 se muestra el registro de los planos contractuales del proyecto, mostrando la disciplina y cantidad de planos, los cuales se utilizó para la ejecución del proyecto, cabe mencionar que no se hallaron planos de compatibilización de las distintas disciplinas.

**Tabla 4**

*Registro de planos contractuales del proyecto*

Disciplina	Cantidad de planos
Arquitectura	15
Estructuras	11
Instalaciones Sanitarias	06
Instalaciones Eléctricas	12
Instrumentación	4

d) Planos Red Line.

Los cambios y/o modificaciones que se realizaron durante la ejecución del proyecto se registraron en los planos contractuales. Para cada cambio se escribió con lapicero de color rojo, el número de cambio, la descripción del cambio, la fecha y firma del supervisor autorizando el cambio o modificación. En la figura 18 se aprecia el plano PNT-CO-304200-03-CC-003 con los cambios y modificaciones autorizadas.

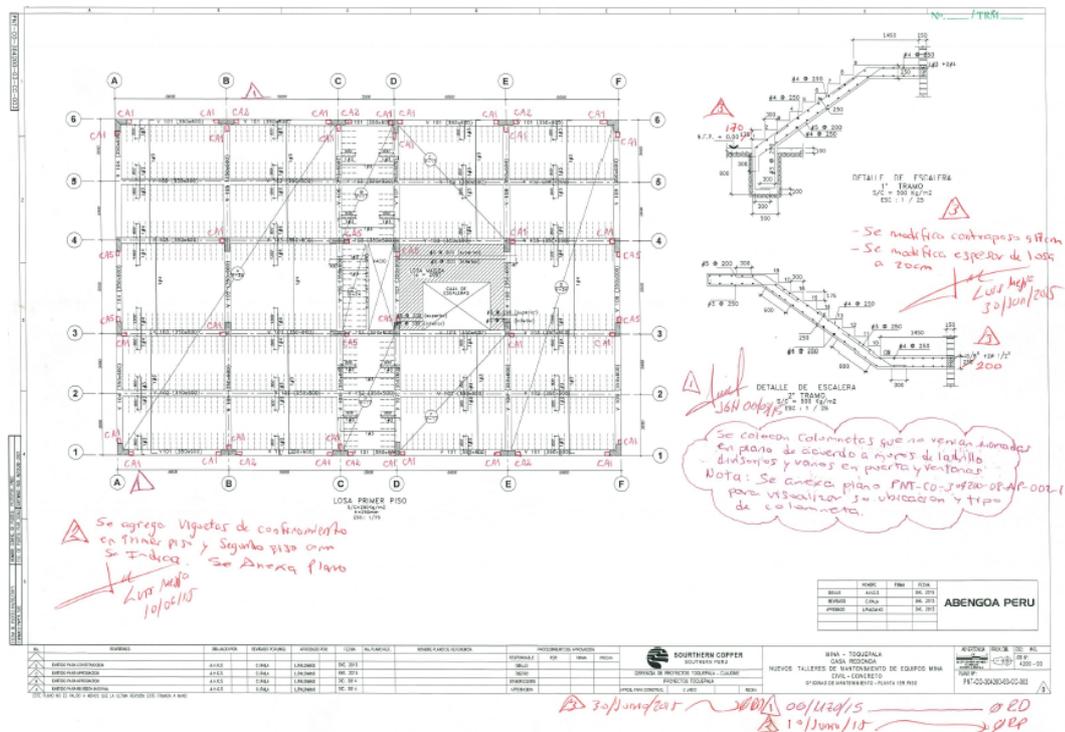


Figura 18. Plano red line de la disciplina de arquitectura.

e) Planificación de obra.

El cronograma contractual de obra fue elaborado de forma tradicional utilizando un software de gestión denominado primavera P6, en el cual se muestra las actividades más importantes, como la ruta crítica y las fechas de inicio y fin, además se aprecia que la duración contractual del proyecto de 113 días el cual tiene como fecha de inicio el 04 de octubre del 2014 y como fecha de culminación el 24 de enero del 2015, sin embargo durante la ejecución se presentaron varias versiones del cronograma con distintas fechas y cada vez con mayor cantidad de días, siendo finalmente 229 días hábiles de ejecución iniciando el 08 de enero del 2015 y culminando el 01 de octubre del 2015.

#### **4.1.1. Procesamiento de datos con la tecnología BIM**

##### ***4.1.1.1. Modelamiento de información de la edificación BIM.***

Se realizó el modelamiento de la información de la edificación (BIM) con un nivel de detalle LOD 350, tomando como base los planos contractuales de las distintas disciplinas del proyecto, para ello se utilizó como herramienta el software Autodesk Revit en su versión 2018 el cual tiene una interfaz muy amigable y fácil de manejar como se aprecia en la figura 19. El modelamiento BIM 3D se realizó con objetos paramétricos el cual facilito realizar la cuantificación o metrado de cada una de las actividades del cronograma, así mismo el modelamiento se realizó siguiendo el mismo proceso constructivo ya que esto facilitará el correcto modelamiento y posteriormente se obtenga asociar con mayor facilidad a cada actividad del cronograma de obra además de una buena comprensión e interpretación de los planos. Durante el modelamiento se evidenciaron y registraron los distintos

inconvenientes en el modelamiento como incompatibilidad, falta de información, información errónea, aclaración del plano, etc.

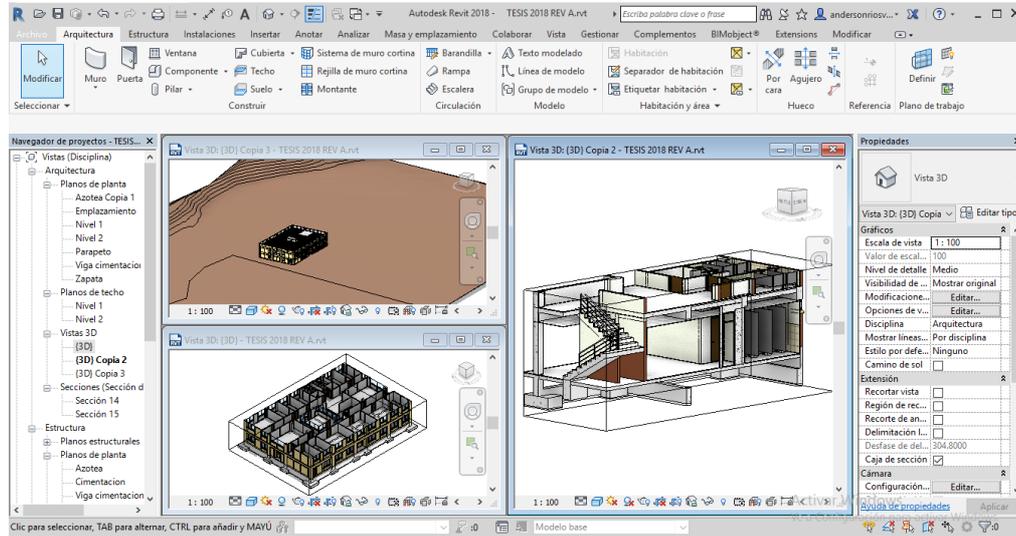


Figura 19. Plataforma de trabajo del software Autodesk Revit 2018

a) Modelamiento de la disciplina de estructura.

El modelamiento de estructuras se realizó empezando por la cimentación con la colocación del solado, zapatas rectangulares, columnas y vigas de cimentación independientes es decir que van de columna a columna tal como se aprecia en la figura 21. A todos estos objetos además de las dimensiones se les asigno el material y recubrimiento para un posterior modelado del acero de refuerzo.

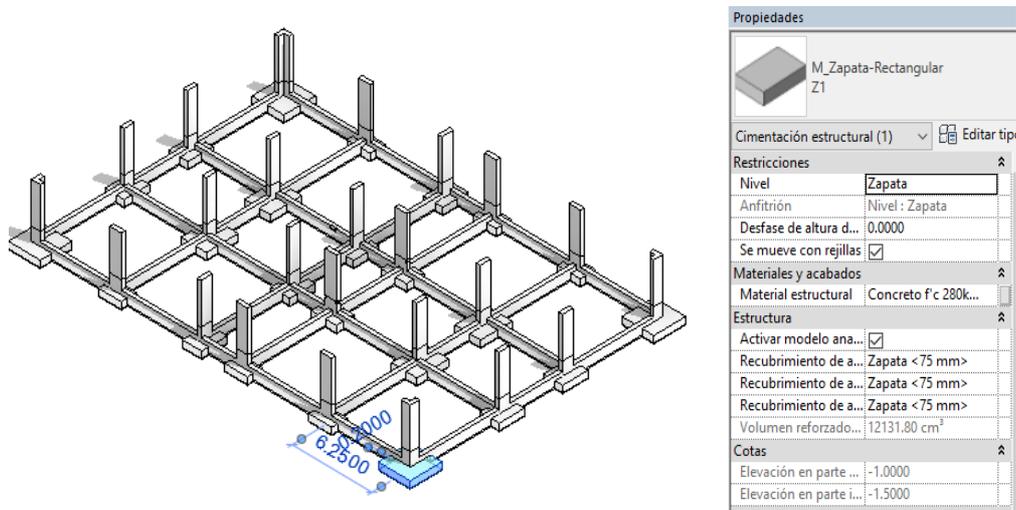


Figura 20. Modelamiento de la cimentación estructural

Las columnas del proyecto son de sección rectangular y en forma de “L” las cuales se modelaron de acuerdo a los niveles de vaciado de concreto por niveles y como realmente se ejecutará, tal como se muestra en la figura 21. A los distintos elementos se les asignaron las dimensiones, la resistencia del concreto (material) y recubrimientos de los distintos elementos.

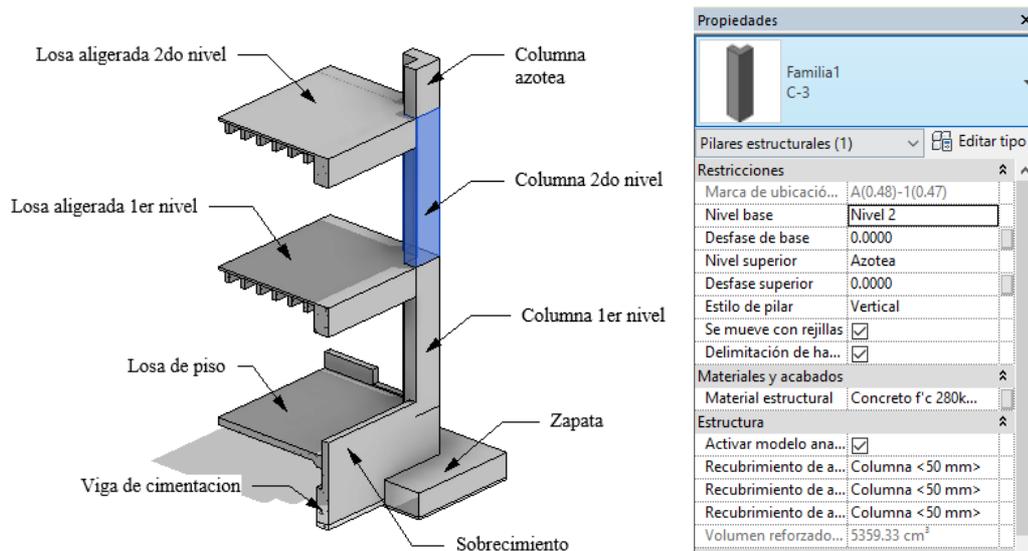


Figura 21. Modelamiento de columnas estructurales

El modelamiento de vigas peraltadas, losas aligeradas y macizas, se realizó de acuerdo a las dimensiones indicadas en los planos estructurales del proyecto, las vigas modeladas independientemente es decir de columna a columna formando pórticos, de igual manera las viguetas de la losa aligerada van de viga a viga, para que de esta manera las cuantificaciones sean de una manera más detallada. Cada uno de estos objetos paramétricos contiene dimensiones, materiales, recubrimiento entre otras informaciones. En la figura 22 se muestra el modelamiento las vigas y losa aligerada del primer nivel.

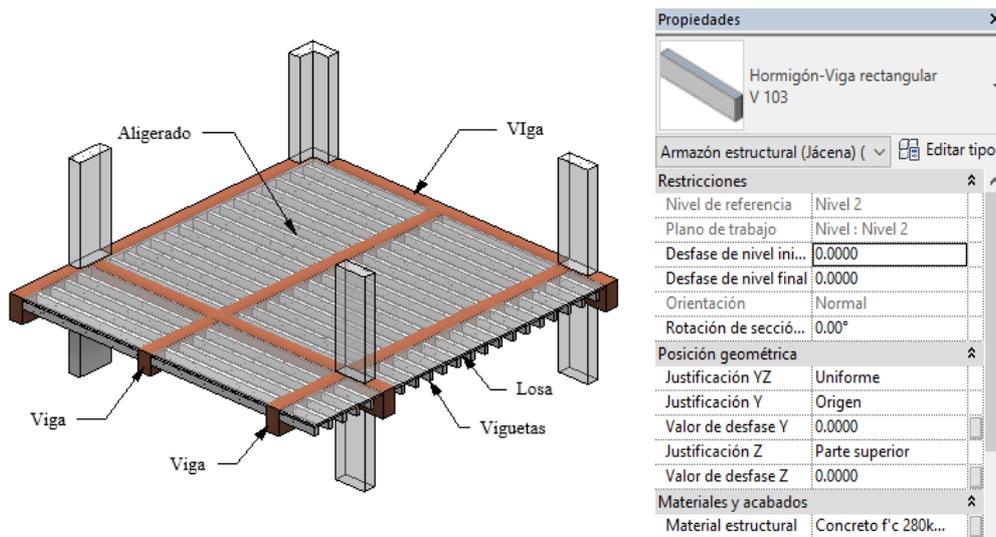


Figura 22. Modelamiento de vigas peraltadas y losa aligerada

El modelado de acero de refuerzo de los distintos elementos de concreto armado se realizó a través del plugin instalado al Revit denominado Revit Extensión con el que se facilita el modelamiento del acero de acuerdo a lo indicado en los planos estructurales, en los elementos como zapatas, vigas de cimentación, columnas, vigas, losas aligeradas, losas macizas, losas de piso, etc. Para el modelamiento se ha tenido en consideración el recubrimiento, diámetro y distribución de las varillas de acero, para una mejor identificación se le asignaron distintos colores a cada diámetro como se aprecia en la figura 23.

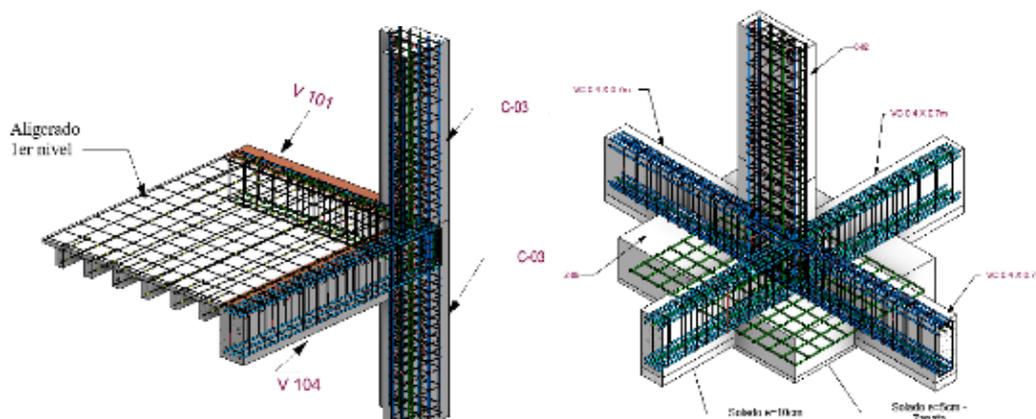
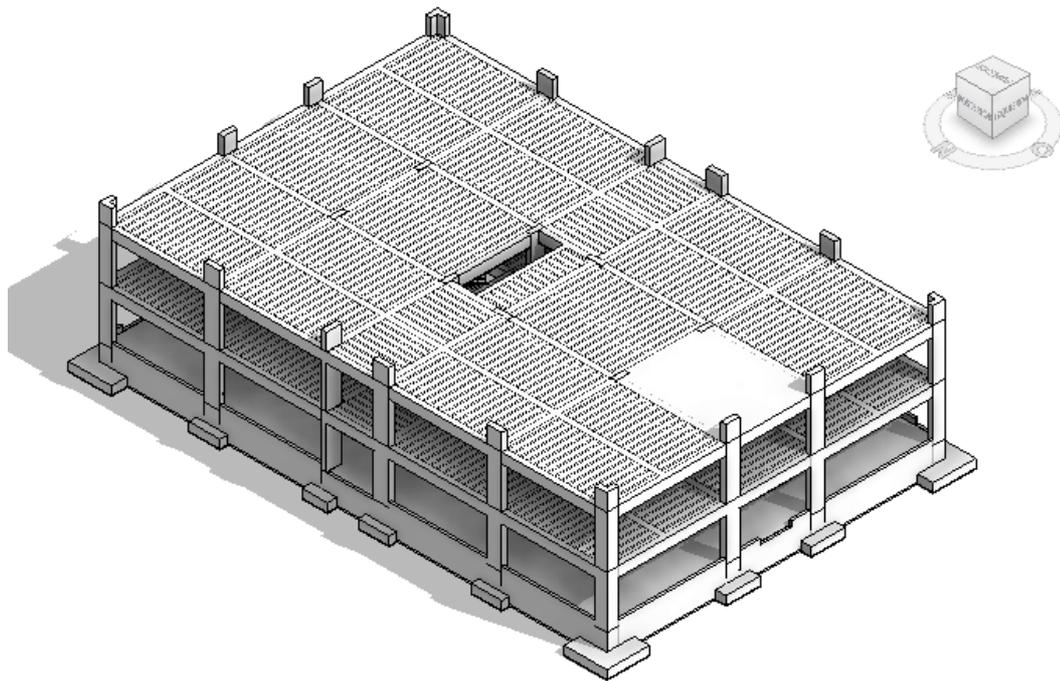


Figura 23. Modelamiento del acero de refuerzo

En la figura 24 se muestra en forma general el modelamiento de todos los elementos estructurales de la edificación, en base a este modelo estructural se procedió a realizar las disciplinas de arquitectura, instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas e instrumentación, y las estructuras que se encuentran en el exterior como veredas y escaleras de emergencia.



*Figura 24.* Modelamiento general de estructuras

Una vez culminado el modelamiento estructural del edificio administrativo se procedió a realizar el modelamiento de la parte exterior el cual comprende los elementos como veredas, rampas, muro de contención, escalera de emergencia lado norte y lado sur, tal como se visualiza en la figura 25. Los distintos elementos son modelados con objetos paramétricos para ello se ingresaron datos como las dimensiones, espesores, material, recubrimientos, etc. De dichos objetos paramétricos se obtendrá distintos datos como los metrados para realizar posteriormente el cronograma.

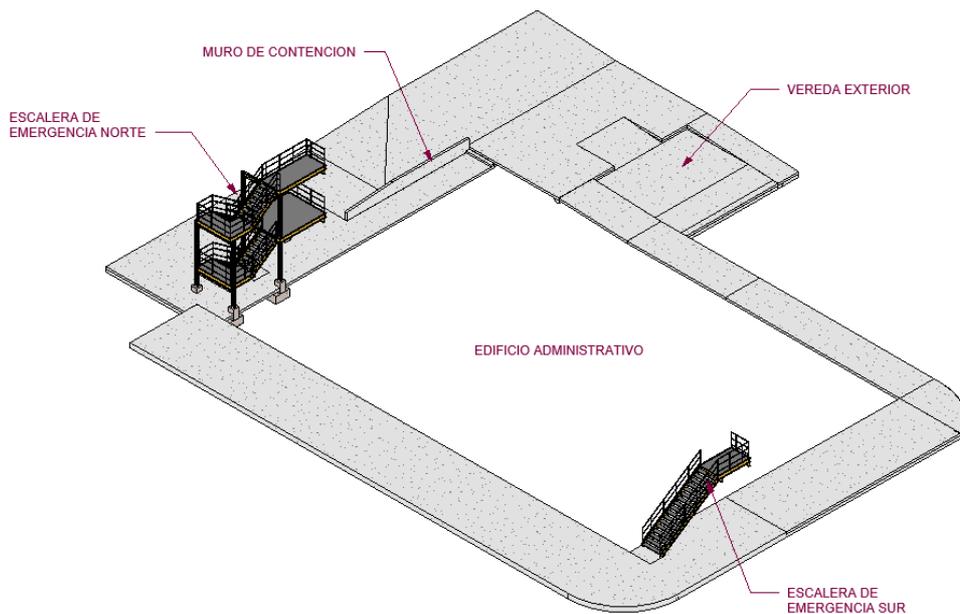


Figura 25. Modelamiento de elementos exteriores del edificio administrativo

En la figura 26 se muestra el modelamiento de la escalera perteneciente al sector sur, con acceso al segundo nivel del edificio, esta escalera esta soportado por perfil W 10 x 20 anclado en la viga de concreto y la estructura de la escalera conformado por perfiles C 10 x 20, pasos con grating y barandas metálicas.

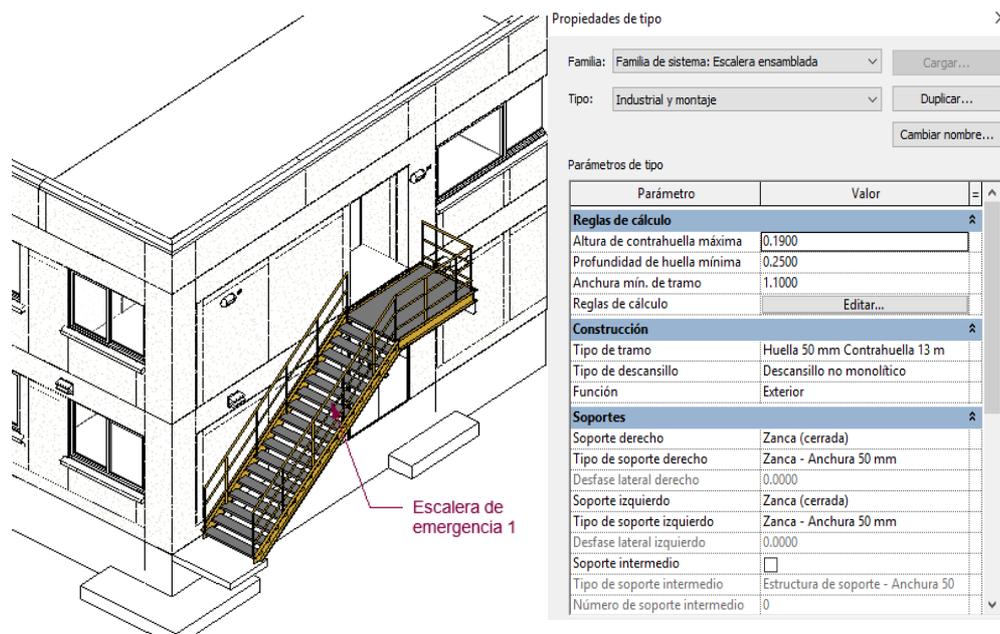


Figura 26. Modelamiento de escalera de emergencia lado sur

En la figura 27 se muestra la escalera de emergencia del sector norte el cual cuenta con acceso al segundo nivel y a la azotea de la edificación, que consta con soporte para la escalera con perfiles W 10 x 20 tanto en columnas como vigas y la estructura de la escalera con perfiles C 10 x 20, pasos con grating y barandas metálicas.

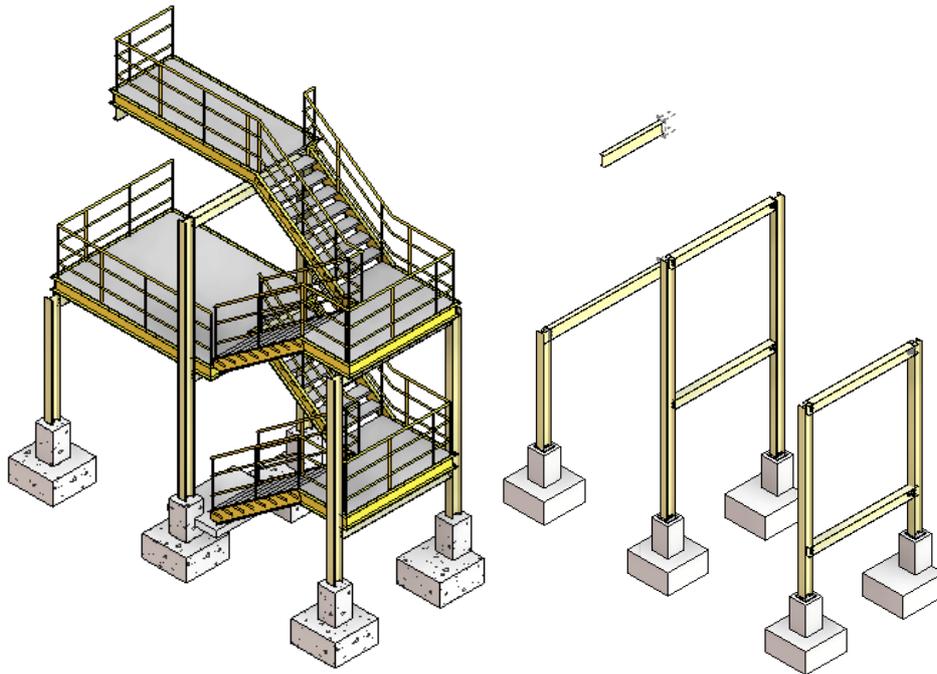


Figura 27. Modelamiento de escalera de emergencia lado norte

El soporte de la escalera de emergencia del lado norte consta de elementos como zapatas, pedestales y estructura metálica, las cuales se modelaron teniendo en consideración lo siguiente: los elementos de concreto armado como las zapatas y pedestales se ha considerado las dimensiones, materiales, recubrimientos y el modelamiento del acero de refuerzo, identificando los diámetro por color y en las estructuras metálicas se consideró el tipo de perfil, la conexión entre la columna y vigas así como la colocación de la placa base con sus respectivos pernos de anclaje insertados en los pedestales tal como se aprecia en la figura 28.

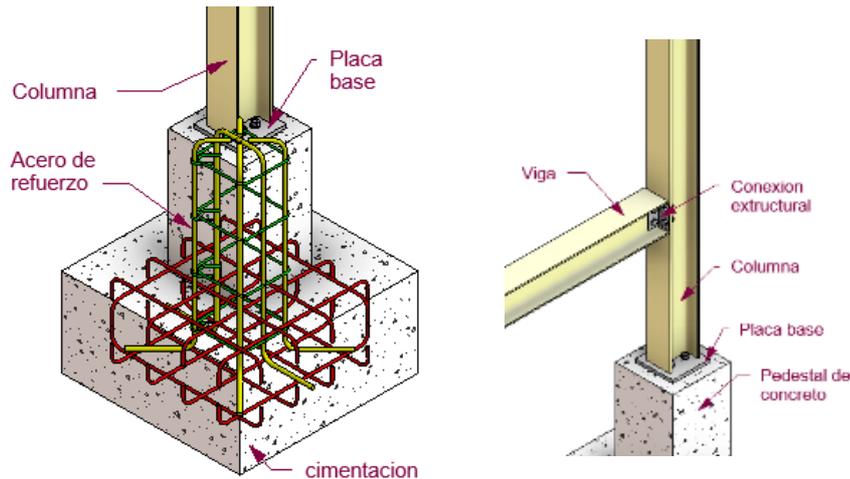


Figura 28. Modelamiento soporte para escalera lado norte

b) Modelamiento de la disciplina de Arquitectura.

Se realizó el modelamiento arquitectónico basado en planos contractuales como plantas, cortes, elevaciones, cuadro de vanos, entre otros detalles, considerando las especificaciones técnicas y alcances. Para el modelamiento de la tabiquería se consideró las divisiones de acuerdo a los planos en planta, la tabiquería está compuesta por ladrillos apilados de saga confinados por columnetas y viguetas así como su acabado revestido de cemento y pintado, como se aprecia en la figura 29.

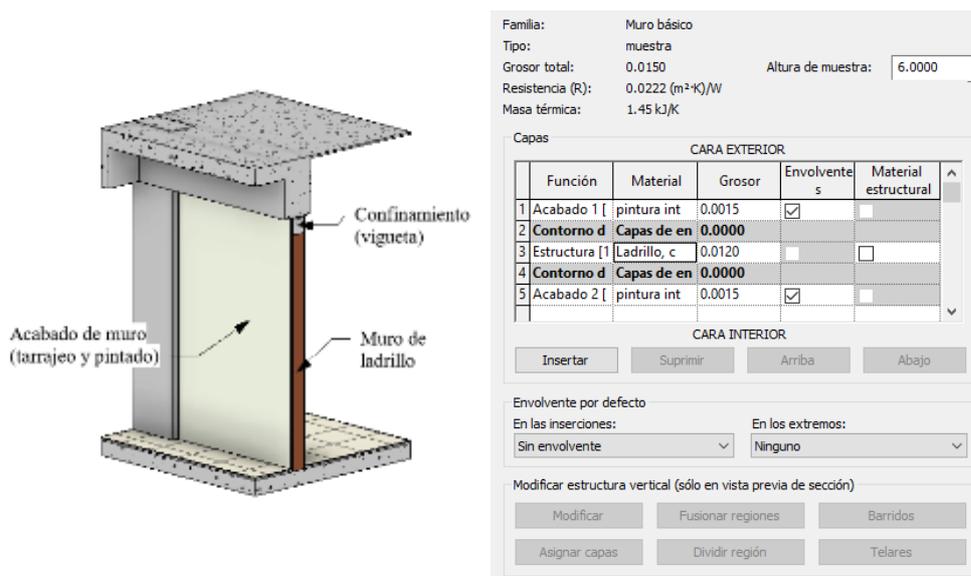
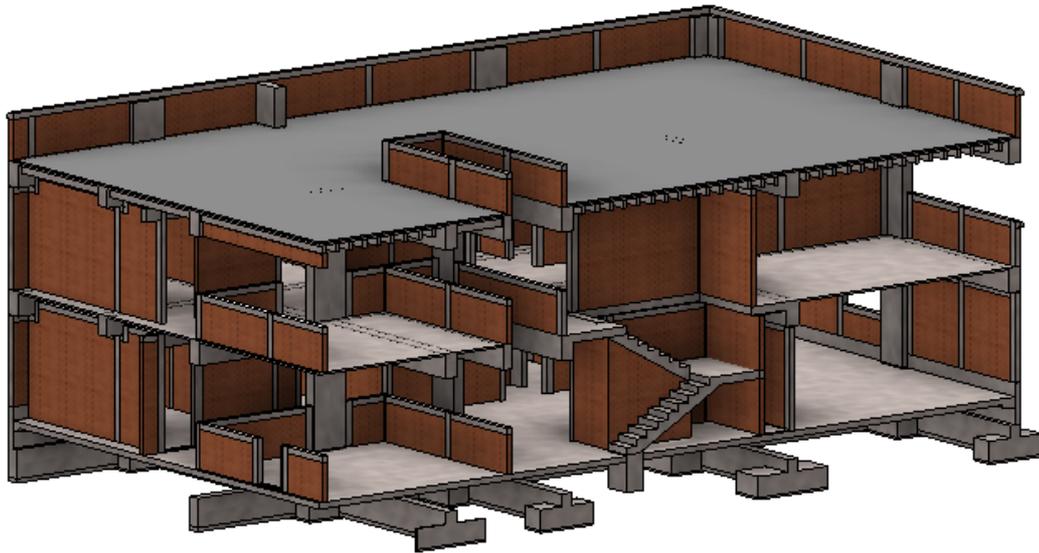


Figura 29. Modelamiento de muros arquitectónicos

Todos los muros de albañilería son confinados por elementos de concreto armado como viguetas (15 cm x 15 cm) y columnetas (15 cm x 15 cm, 15 cm x 20 cm, 15 cm x 25 cm), estos elementos aíslan la tabiquería de los elementos estructurales como vigas y columnas. Las columnetas están cimentadas en las losas aligeradas y losa de piso (primer nivel). En el modelo BIM, se a identificar bien los elementos para una mejor cuantificación y más detallada, por ello para los muros se ha creado familias para los distintos niveles.



*Figura 30.* Modelamiento de muros arquitectónicos y confinamientos

En el proyecto se cuenta con puertas metálicas con barra antipático, puertas de madera contra placada y ventanas con marco de aluminio, las cuales fueron modeladas de acuerdo a las dimensiones y materiales indicados en los planos de arquitectura como el cuadro de vanos, los cortes y elevaciones. En el modelamiento se le asignaron el tipo de puerta o ventana con su respectiva nomenclatura también se definió el piso en que se encuentran para una cuantificación más detallada. En la figura 31 se muestra la familia y tipo de puerta metálica utilizada en el modelo BIM.

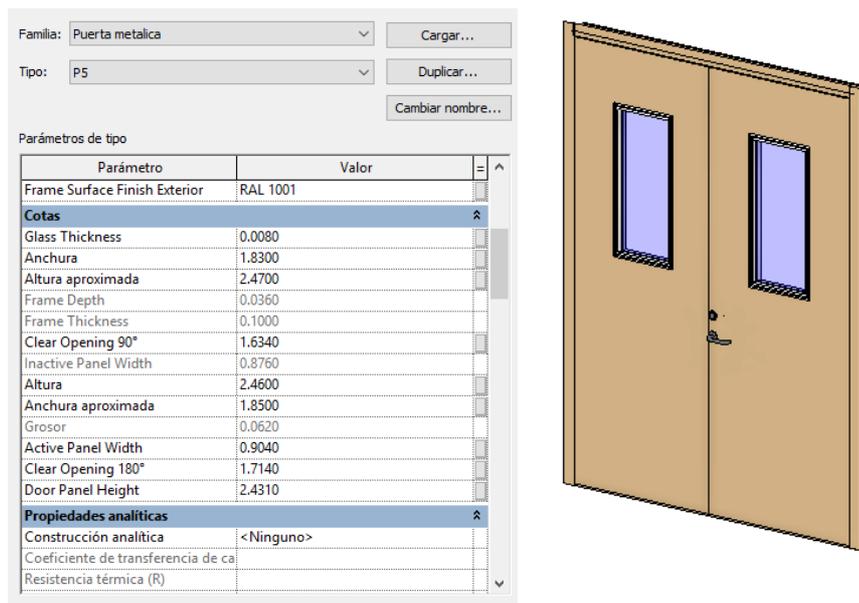


Figura 31. Familia y tipo de puerta utilizada en el modelamiento BIM

En el proyecto la escalera de concreto está ubicada en el interior de la edificación el cual sirve como acceso al segundo nivel, dicha escalera se modelo ingresando los siguientes datos: profundidad de huella, altura máxima de huella y trazo de la escalera, con estos datos el software realizó el cálculo de número de pasos y la altura de la huella según la altura de entrepiso, ver figura 32.

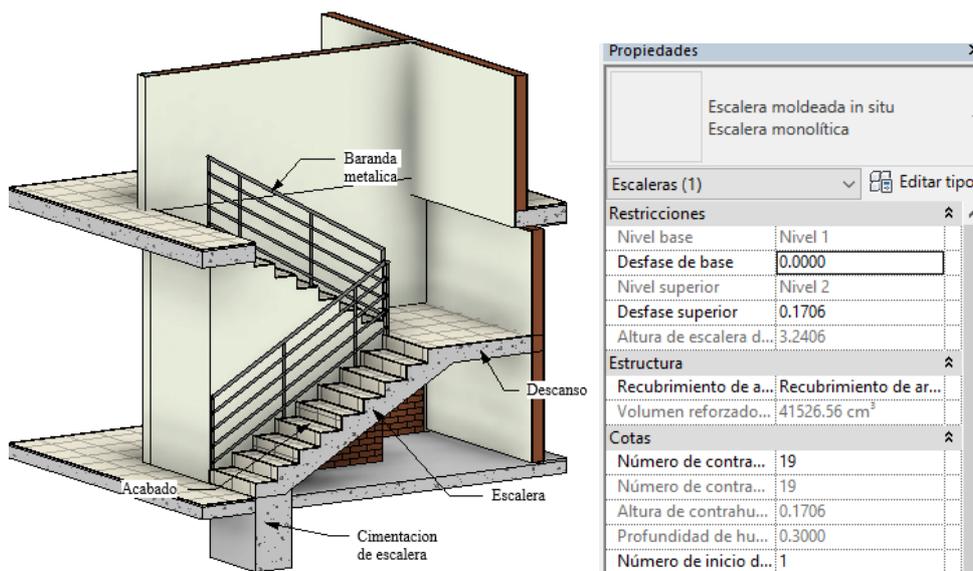


Figura 32. Modelamiento BIM de la escalera de concreto armado

El modelamiento de los pisos se realizó de acuerdo a lo indicado en los planos arquitectónicos del proyecto como, donde para el interior de la edificación se considera dos tipos de acabado una de cemento pulido en los ambientes de cuarto eléctrico y depósitos ubicado en el primer nivel y para los demás ambientes de la edificación se consideró un acabado con cerámico antideslizante, los pisos se modelaron creando tipos para cada nivel de esta forma se identifica y cuantifica de una manera más detallada. Por otra parte para el exterior de la edificación se consideró un acabado pulido para veredas y rampas. En la figura 33 se muestra los acabados de en el primer nivel de la edificación.

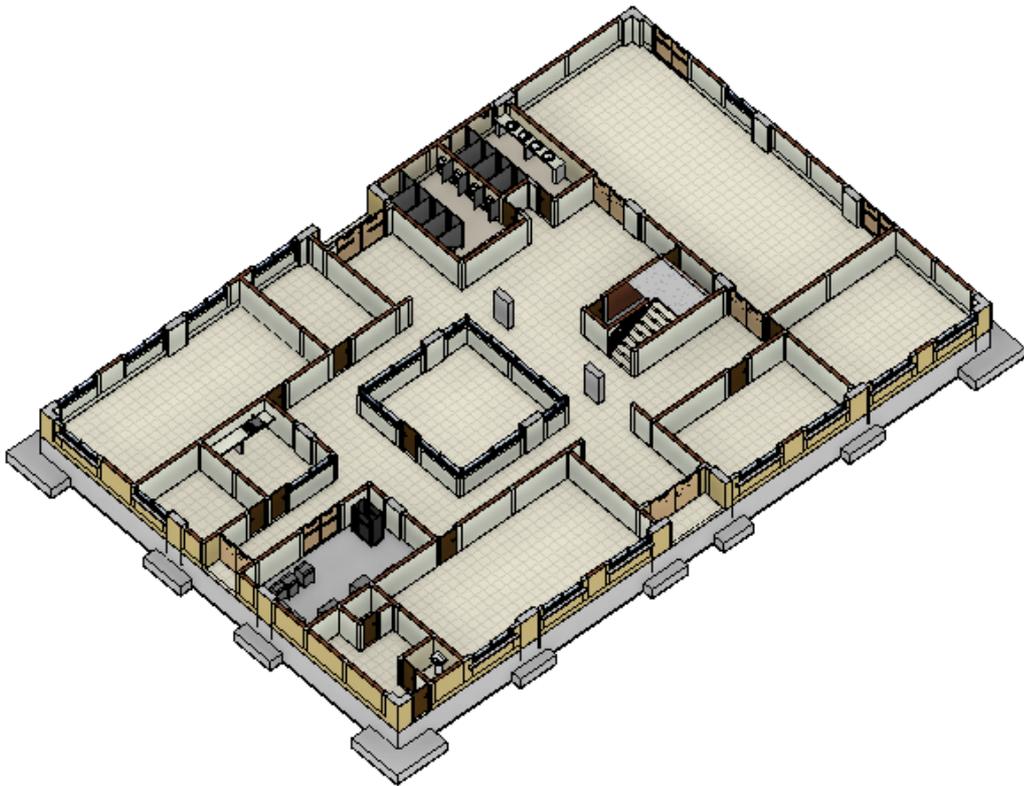
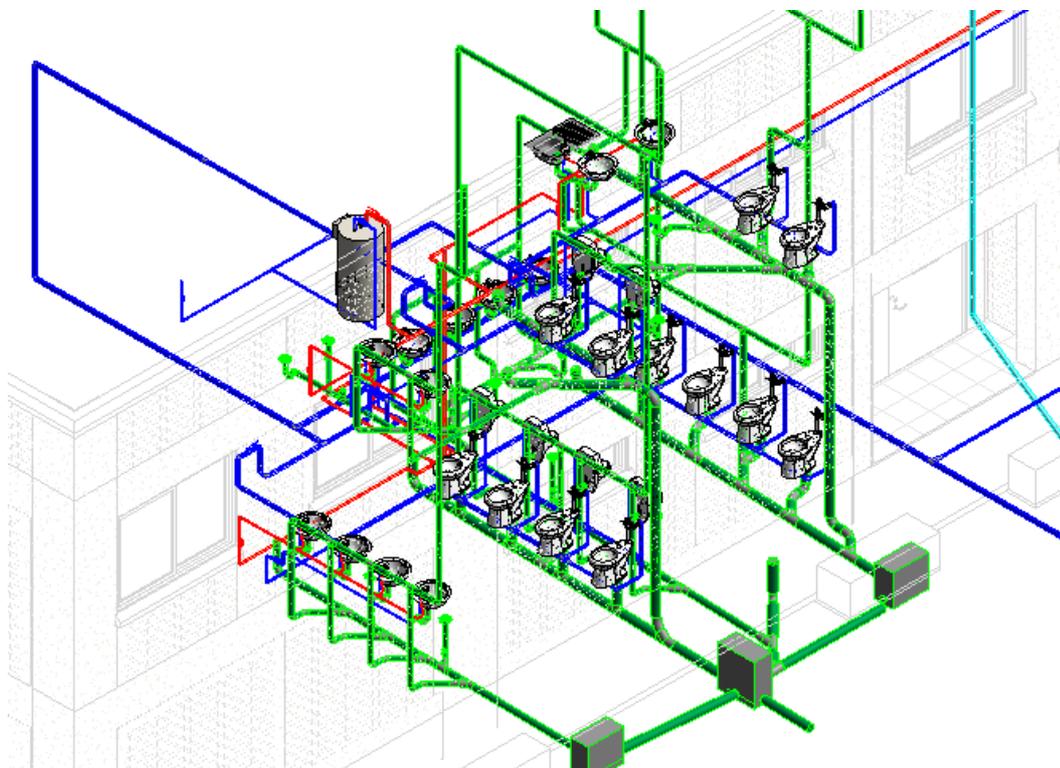


Figura 33. Modelamiento de pisos arquitectónicos del primer nivel de la edificación

*c) Modelamiento de la disciplina de instalaciones sanitarias.*

El modelamiento de las instalaciones sanitarias se realizó a través del software Autodesk Revit con la herramienta MEP, el modelo se desarrolló teniendo como

base los planos contractuales de instalaciones sanitarias del proyecto, las cuales cuenta con los sistemas de distribución de agua fría identificado en el modelo de color azul, sistema de distribución de agua caliente identificado en el modelo de color rojo, sistema de evacuación de desagüe identificado en el modelo de color verde y el sistema de evacuación de aguas pluviales identificado en el modelo de color celeste, a cada sistema del modelo se ingresó datos como diámetro de tubería, pendiente en caso del sistema de evacuación desagüe, tipos de accesorios, material de las tuberías, clasificación del sistema, etc. Se ha tenido mayor atención al sistema de desagüe ya que las pendientes generan interferencias con otros sistemas. En la figura 34 se muestra todos los sistemas del proyecto identificadas por colores (verde corresponde al desagüe, azul corresponde al agua fría, rojo corresponde al agua caliente y celeste al drenaje).



*Figura 34.* Modelamiento general de las instalaciones sanitarias

Antes de iniciar con el modelamiento de las redes de distribución y evacuación, se colocaron los aparatos sanitarios como inodoros con fluxómetro, urinarios, lavatorios, lavaderos, sumideros, calentador de agua (termo tanque), registros roscados, entre otros, colocados en los lugares indicados en el plano, cada aparato con el diámetro para el abastecimiento de agua y evacuación del desagüe indicado por el fabricante. En la figura 35 se muestra un aparato sanitario donde se indica la salida de desagüe de 4" e ingreso de agua de 1", en base a estos puntos de ingreso y salida se inicia el recorrido de la red de distribución y evacuación.

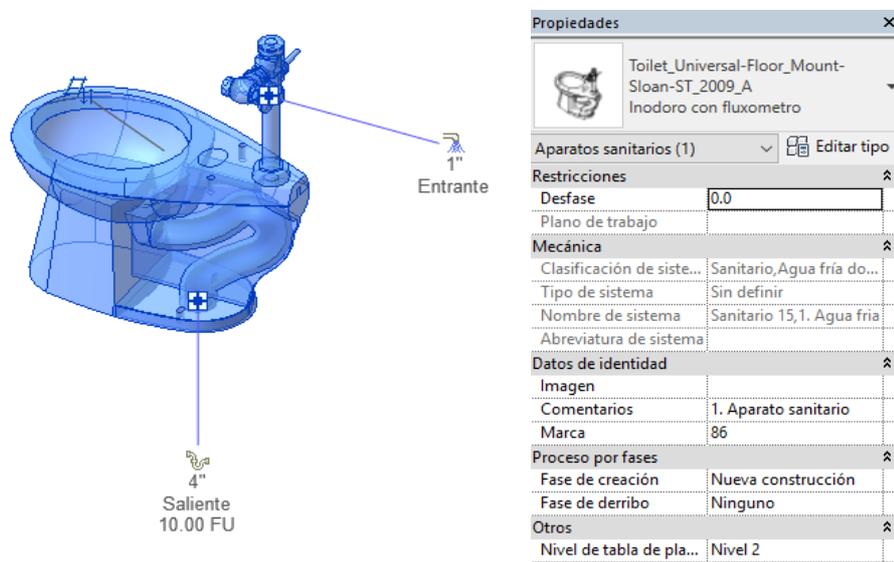
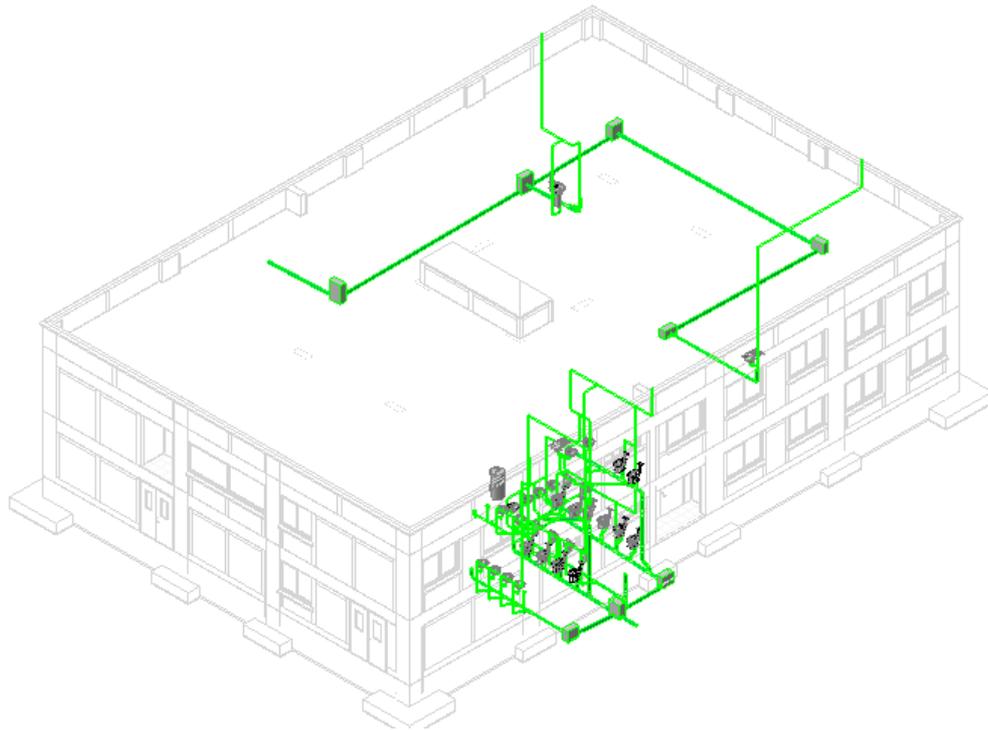


Figura 35. Colocación de Aparatos Sanitarios en el modelo

Una vez instalada todos los aparatos sanitarios en el modelo, se inició el modelamiento de las instalaciones de desagüe, donde en la red de evacuación de desagüe para los inodoros con fluxómetro se consideró tubería con diámetro de 4" y para los aparatos como lavatorio, lavadero, urinario, etc. se consideraron red de evacuación con tuberías de 2" y 3", esta red en evacua hacia las montantes y cajas de registro para luego ser evacuadas a la red matriz. En la figura 36 se parecía la red de evacuación de aguas servidas (desagüe).



*Figura 36.* Modelamiento de la red de evacuación de aguas servidas (desagüe)

El sistema de distribución de agua fría, se modelo teniendo en consideración lo siguiente; la ubicación de los puntos de abastecimiento de cada aparato sanitario, los diámetros de la tubería, el material de la tubería, la ubicación de cajas de paso con sus respectivas válvulas, tubería flexible, así como la clasificación del sistema por niveles para una cuantificación más detallada. En la figura 37 se muestra la red de distribución de agua fría.

El modelamiento de sistema de distribución de agua caliente, se realizó a partir del calentador de agua ubicado en el segundo nivel, distribuyendo a los aparatos requeridos como lavatorios, en el modelo se ha considerado lo siguiente; el diámetro y material de la tubería, cajas de paso con su respectiva válvula, puntos de salida de agua caliente, tubería flexible entre el punto de salida y el aparato sanitario, etc. en la figura 38 se muestra el sistema de agua caliente.

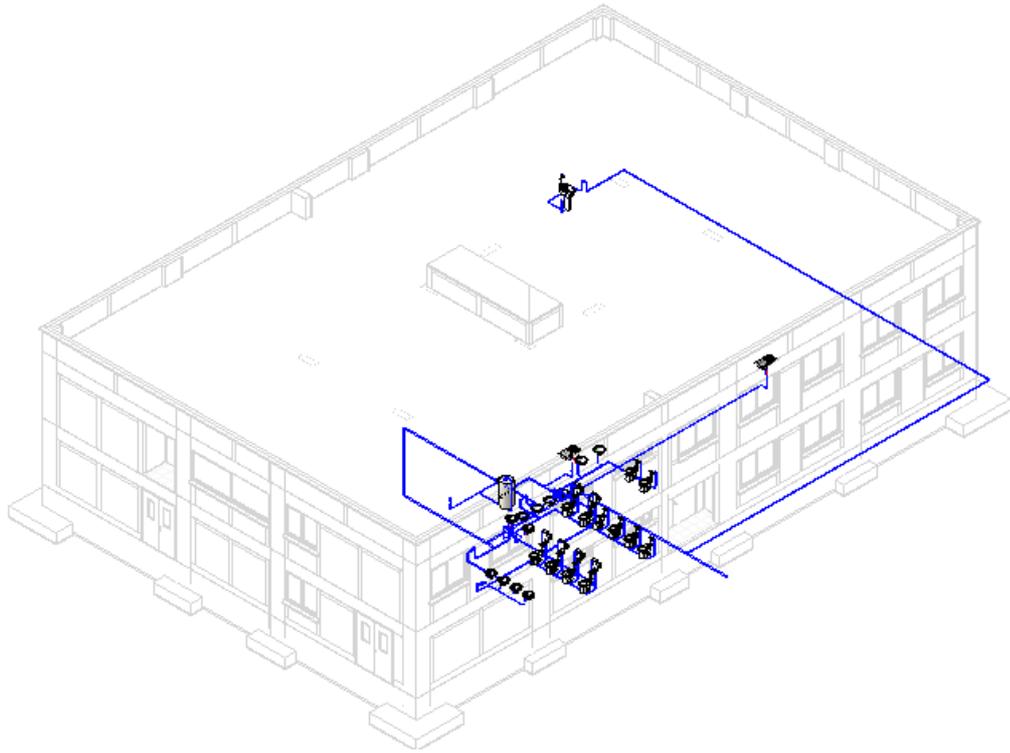


Figura 37. Modelamiento de la red de distribución de agua fría

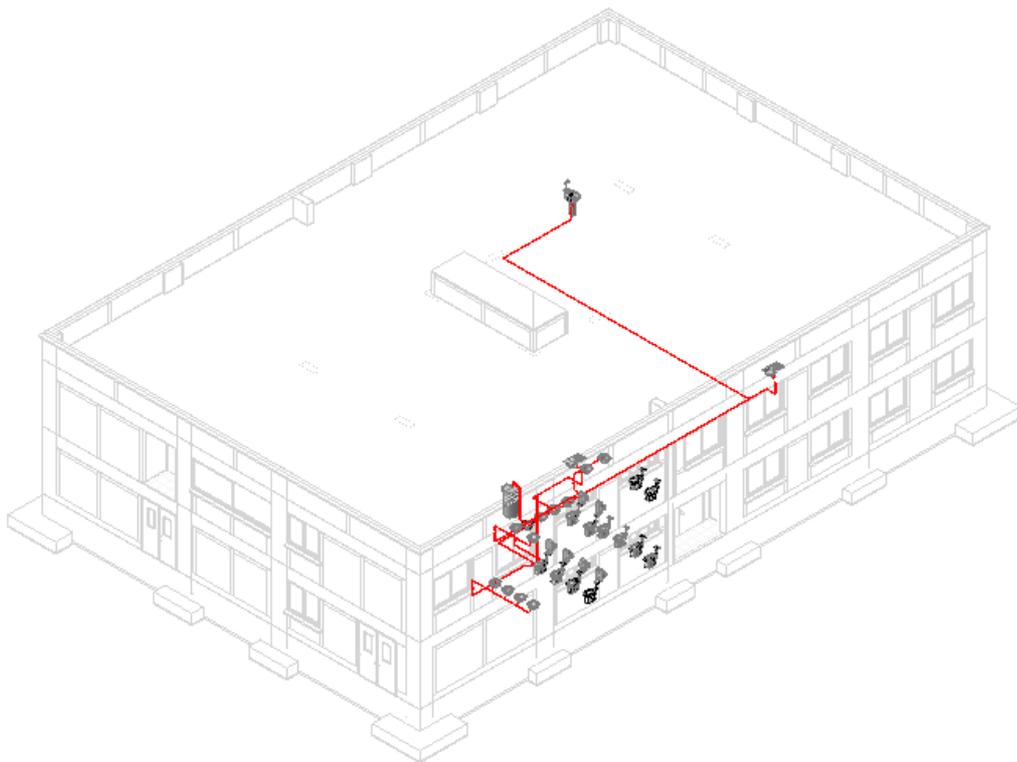
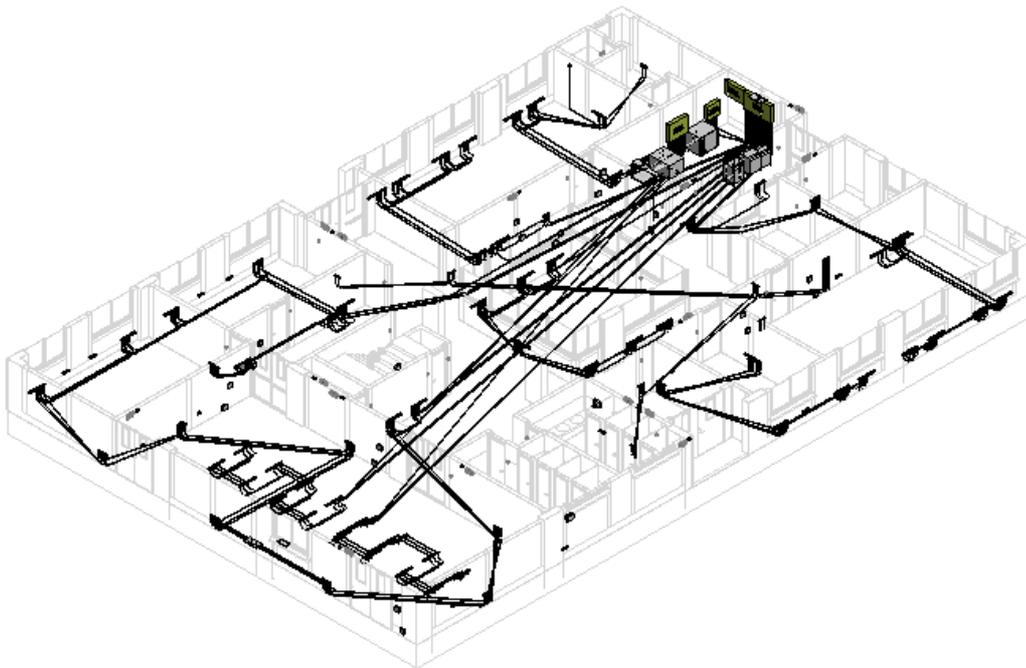


Figura 38. Modelamiento de la red de distribución de agua caliente

*d) Modelamiento de la disciplina de instalaciones eléctricas e instrumentación.*

Antes de realizar el modelamiento de la canalización y los circuitos se colocaron los equipos y aparatos eléctricos como; tableros, tomacorrientes, luminarias, salidas de data y telefonía, cajas de paso, etc. La canalización para los distintos circuitos se realizó teniendo en consideración el tipo y diámetro de tubería, así como el nivel de referencia para que de esta manera se cuantifique de una manera más detallada, el a figura 39 se muestra la canalización de tomacorrientes del primer nivel.



*Figura 39. Modelamiento de la canalización eléctrica para tomacorrientes primer nivel*

En el ambiente del cuarto eléctrico se asignaron los equipos eléctricos como tableros, UPS, transformadores, estabilizador, gabinete de comunicaciones, etc. así como la canalización mediante bandejas eléctricas y tuberías de PVC  $\frac{3}{4}$ ". En la figura 40 se muestran la disposición de equipos eléctricos y canalización como bandejas eléctricas.

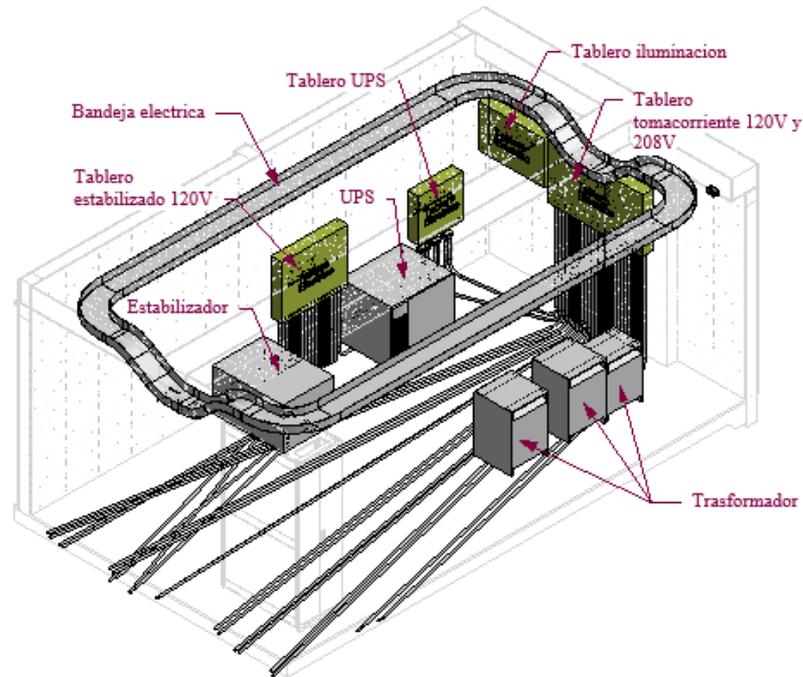


Figura 40. Modelamiento de equipos eléctricos en el cuarto eléctrico

En la figura 42 se muestra los aparatos eléctricos como tomacorrientes y luminarias adosadas al techo, cabe mencionar que en el proyecto se modelaron tres tipos de tomacorriente como; tomacorriente 120 v, tomacorriente 120 v estabilizado y tomacorriente 208 v, también se considera toma de datos y telefonía.

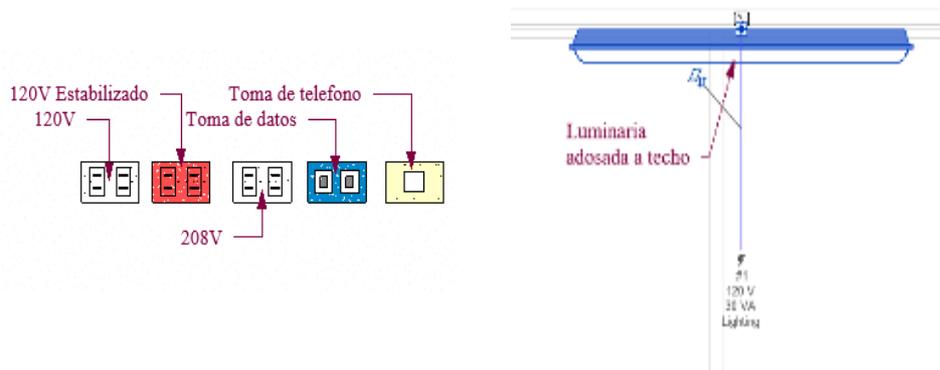


Figura 41. Modelamiento de tomacorrientes y luminarias

Los circuitos se realizaron de acuerdo a lo indicado en los planos del proyecto teniendo en consideración el diámetro, recubrimiento y el recorrido del

cable. Los distintos circuitos del proyecto fueron modelados a partir de los tableros electricos que van hacia los distintos aparatos como tomacorrientes y luminarias, además, para una mejor cuantificación se ha tenido especial cuidado en los niveles de referencia para una mejor cuantificación es decir por niveles. En la figura 42 se muestra el circuito eléctrico para tomacorrientes 120 v estabilizado el cual tiene origen en el tablero estabilizado del cuarto eléctrico.

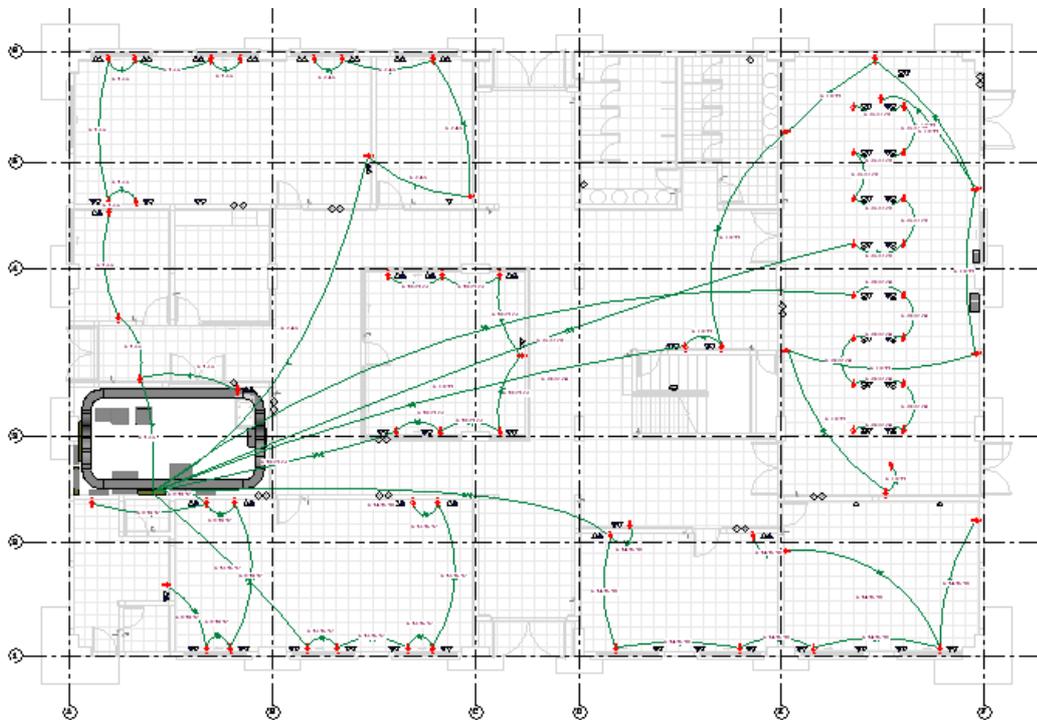


Figura 42. Modelamiento de circuito eléctrico para tomacorrientes 120 v estabilizado

#### e) Integración del proyecto BIM.

El modelamiento de las distintas disciplinas se realizó en archivos diferentes motivo por el cual una vez concluido se realizó la integración de todas las disciplinas dentro de un único modelo, para ello en cada modelo se ha considerado el mismo punto base de coordenadas para poder trabajar adecuadamente sin desfases a la hora de juntar o vincular archivos.

En el modelo general mostrado en la figura 43 se tiene el proyecto integral correctamente modelado y compatibilizado, el cual contiene las todas las disciplinas como arquitectura, estructuras, instalaciones sanitarias e instalaciones eléctricas e instrumentación, siendo este modelo el punto de partida para las cuantificaciones, para mejorar el entendimiento del proyecto, para realizar un modelo de construcción virtual, etc.

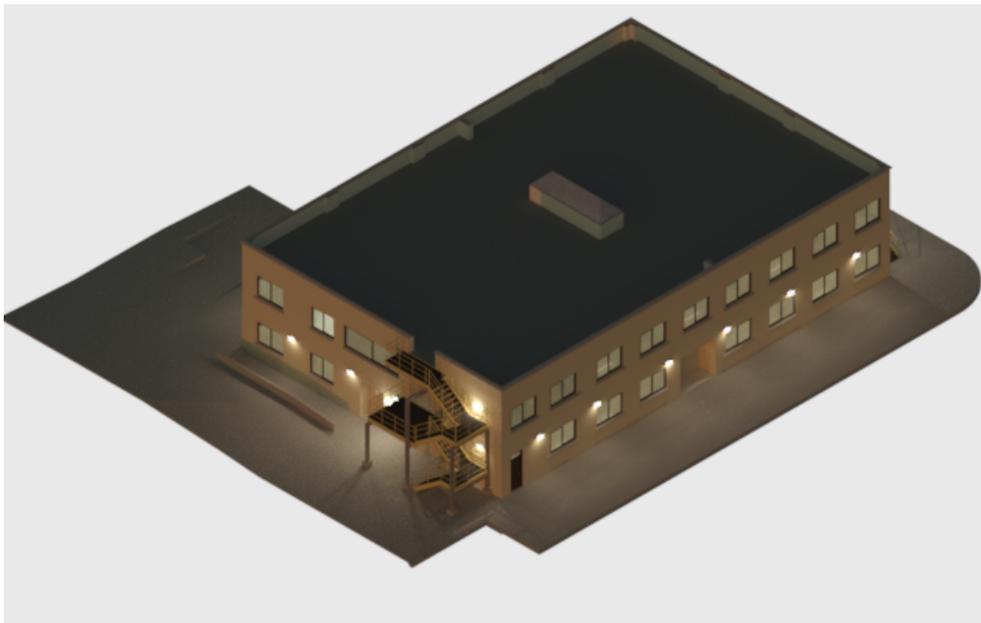


Figura 43. Modelo integral del proyecto REVIT

#### ***4.1.1.2. Elaboración del cronograma utilizando la tecnología BIM y la guía del PMBOK.***

Una vez culminado el modelamiento de la edificación (BIM), se realizó planificación del proyecto utilizando la guía del PMBOK específicamente la gestión del cronograma, con la ayuda de esta guía se determinó el momento o día en que se entregarán los productos y culminará el proyecto, para ello realizó los procesos de: definir las actividades, descomposición del proyecto, ordenar la secuencia lógica de acuerdo a las dependencias físicas, definir las posibles

restricciones, estimar la duración de las actividades teniendo en cuenta el buffer, asignar recursos, establecer hitos a cumplir y determinar cadena crítica.

Para el desarrollo de la programación de obra del proyecto se realizó con el apoyo tecnológico mediante el uso de la tecnología BIM a través de su modelo tridimensional en forma paramétrico, de donde se consiguieron datos necesarios para el desarrollo del cronograma.

Esta fase corresponde generar la línea base del cronograma y calendarios del proyecto, donde se determinara la fecha de inicio y finalización de cada actividad, esta información que se genera (cronograma de obra) conjuntamente con el modelamiento BIM, es utilizada posteriormente como base para realizar el modelamiento 4D o construcción virtual del proyecto, con el cual se verificara el correcto proceso constructivo del cronograma.

*a) Definición de actividades.*

El proceso de definir las actividades permite identificar cada actividad necesaria que debe ser realizada para ejecutar todos los entregables del proyecto, es decir cumplir con el alcance del proyecto. Una buena definición de actividades requiere de una clara comprensión del proyecto y su alcance para ello se utilizó las herramientas de la tecnología BIM, el cual se utilizó para tener una mejor idea y conocer mejor lo que se debe hacer o tiene que hacer en el proyecto.

Para determinar las actividades que se requiere para la culminación del proyecto, se utilizaron una de las herramientas como la descomposición subdividiendo el alcance del proyecto en partes más pequeñas y manejables. La EDT y la lista de actividades se han manejado de manera simultánea y secuencial, en la siguiente figura 44 se muestra en forma resumida la EDT del proyecto.

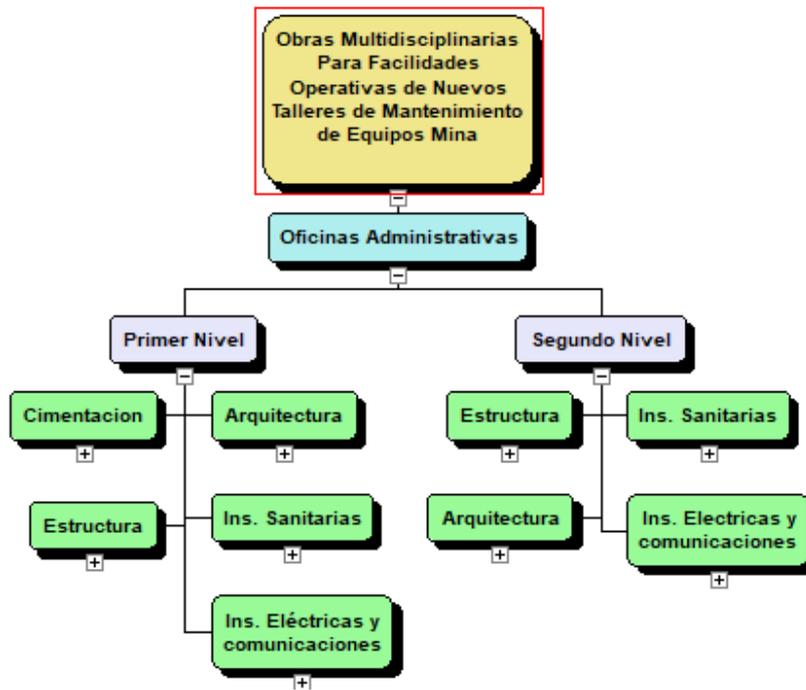


Figura 44. Estructura de desglose del trabajo (EDT) resumido

Finalmente luego de desarrollar la EDT del proyecto, esta nos proporcionará las tareas con su respectivo identificador que deben ser ejecutadas, como se aprecia en la figura 45, el cual muestra las actividades necesarias para la losa aligerada, losa maciza y columnetas.

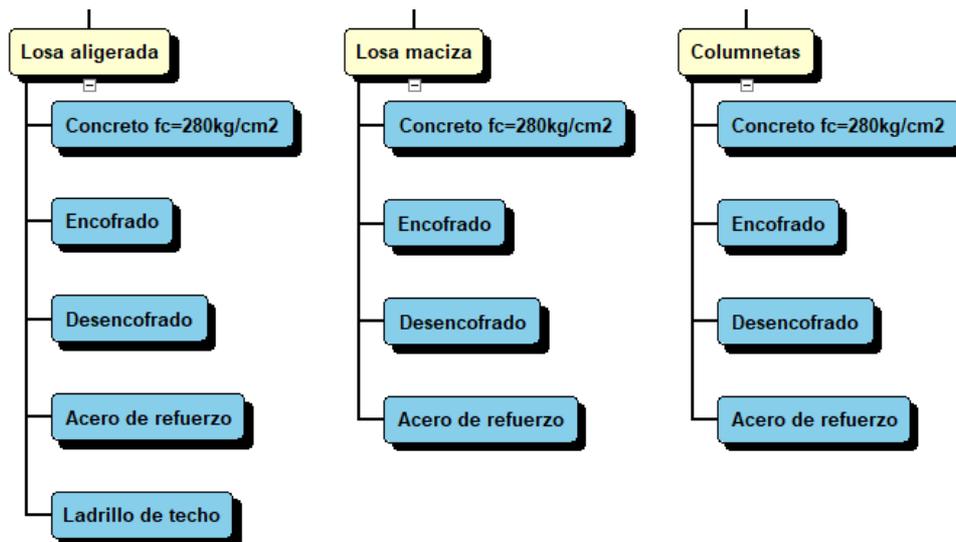


Figura 45. Descomposición del trabajo a un nivel de detalle manejable

b) *Medrado o cuantificaciones de las actividades.*

Antes de realizar el medrado se determinó la unidad de medida, una vez determinado ello se procedió a realizar la cuantificación o medrado de cada actividad, para esto se utilizó el modelo integral BIM, ya que contiene toda la información de los distintos elementos que conforma el proyecto. Se calculó la cantidad de cada actividad para determinar posteriormente el tiempo necesario que demorará en ejecutar la actividad. En la figura 46 se muestra el medrado de muros de albañilería de soga del primer piso, además se crearon tipos para determinar si pertenece al interior o exterior de la edificación.

<1.1.3.1.1 Muro de albañilería KK soga>

A	B	C	D	E	F
Tipo	Descripción	Anchura	Longitud	Área	Desfase de base
Albañilería 15cm	1. Muro albañilería	0.15		297.67 m <sup>2</sup>	0.00
Albañilería 15cm: 43				297.67 m <sup>2</sup>	
Albañilería exterior 1er piso	1. Muro albañilería	0.15		91.75 m <sup>2</sup>	0.00
Albañilería exterior 1er piso: 17				91.75 m <sup>2</sup>	
Total general: 60				389.43 m <sup>2</sup>	

Figura 46. Medrado de muros de albañilería primer nivel

En la figura 47 se muestra el medrado en forma resumida la cantidad de acero del acero de refuerzo de las vigas de cimentación, en el que se muestra el diámetro de acero y peso en kg de cada tipo de diámetro de la barra.

<1.1.1.3.2.3 Acero de refuerzo f'y 4200kg/cm2>

A	B	C	D	E	F	G
Acero	Comentarios	Cantidad	Longitud de barra	Longitud total de ba	Peso/m	peso
#5	VC	1	483705 mm	483705 mm	1.55	749.74
#5: 20			483705 mm	483705 mm		749.74
#6	VC		976977 mm	2930920 mm	2.24	6 565.26
#6: 40			976977 mm	2930920 mm		6 565.26
Estribo #3	VC	▼	453230 mm	2229412 mm	0.56	1 248.47
Estribo #3: 253			453230 mm	2229412 mm		1 248.47
Total general: 313			1913912 mm	5644037 mm		8 563.47

Figura 47. Medrado de acero de refuerzo de vigas de cimentación

c) *Secuenciar las actividades.*

Las actividades se secuenciaron de acuerdo a secuencia lógica constructiva, para ello se realizó mediante la utilización del software de gestión de proyecto Project 2013 con la técnica de diagramación por precedencia el cual se consideró básicamente dos de los cuatro tipos de dependencia como fin-comienzo y comienzo – comienzo, utilizando en su mayoría FS (fin – inicio). Además fue necesario utilizar retrasos entre las actividades para poder sostener un cronograma más realista y viable. En la figura 48 se muestra un ejemplo de la diagramación de precedencias para la actividad de losa aligerada, donde se consideró la dependencia fin comienzo (FS) entre las actividades encofrado, ladrillo de techo, acero de refuerzo y concreto; sin embargo entre la actividad de colocación de concreto y el desencofrado se utilizó un retraso de 14 días para respetar el tiempo recomendado para desencofrar la losa.

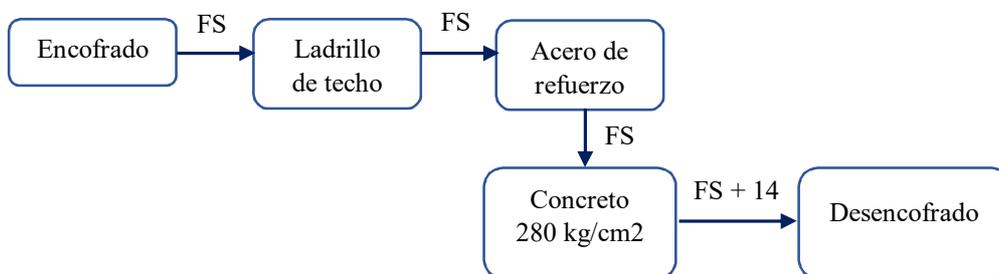


Figura 48. Diagrama de precedencias de la partida losa aligerada

Siguiendo este proceso, se determinó las relaciones entre las actividades restantes del proyecto de tal manera que se tenga un diagrama de precedencias general de todo el proyecto, para poder determinar el camino más largo o ruta crítica del proyecto que es el camino que tiene holgura cero y las que determinan la duración total del proyecto. También se determinó la integración de las

dependencias para las actividades donde para la mayoría se utilizó la dependencia obligatoria interna.

*d) Estimar la duración de las actividades.*

Se procedió a realizar la estimación de la duración de las actividades, para deducir de una manera aproximada la duración para culminar el proyecto. Para determinar la duración en días de cada actividad previamente se realizó la estimación del rendimiento utilizando las técnicas indicadas en el PMBOK como la estimación análoga buscando rendimiento de proyectos similares, la estimación paramétrica utilizando rendimiento indicado en textos y la estimación basada en tres valores determinando el rendimiento más probable (tM), el rendimiento optimista (tO) y el rendimiento pesimista (tP), para determinar el rendimiento estimado (tE) se realizó a través del promedio, finalmente se optó por el menor valor por dar holgura a la actividad. En la tabla 5 se muestra la estimación del rendimiento para realizar la losa aligerada del primer nivel el cual comprende las actividades de concreto, encofrado, acero, ladrillo y desencofrado.

**Tabla 5**

*Estimación del rendimiento de las actividades para la losa aligerada del primer nivel*

Definición de actividades		Estimación de rendimiento						Rend/día
		A	P	Tres valores			tE	
Descripción de actividad	Unid.			tM	tO	tP		tE
Concreto	m3	70	100	70	100	90	87	70
Encofrado	m2	15	12	12	15	10	13	12
Desencofrado	m2	36	36	28	36	25	30	30
Acero	kg	250	250	250	300	200	250	250
Ladrillo	und	1 600	2 000	1 600	2 000	1 000	1 534	1 500

Nota: Elaboración de acuerdo a la guía PMBOK, donde A: estimación análoga, P: estimación paramétrica, tM: rendimiento más probable, tO: rendimiento optimista, tP: rendimiento pesimista, tE: rendimiento esperado

Finalmente se procedió a determinar la duración de cada actividad multiplicando el rendimiento de la actividad (tiempo/unidad) con el metrado (unidad), este tiempo logra reducirse al incrementar más cuadrillas a la actividad.

*e) Desarrollar el cronograma.*

Finalmente el desarrollo del cronograma de obra consiste en integrar la definición de las actividades, los metrados, la estimación de la duración y la secuencia de las actividades, esta información se procesó con el software de gestión de proyectos MS Project 2013. Como punto de partida se creó el calendario laboral del proyecto en el que el horario de trabajo comprende de lunes a sábado no existiendo feriados ya que los trabajadores laboran bajo un régimen de 35x7 tal como se aprecia en la figura 49, además se ingresó la fecha de inicio del proyecto 08 de enero del 2015.

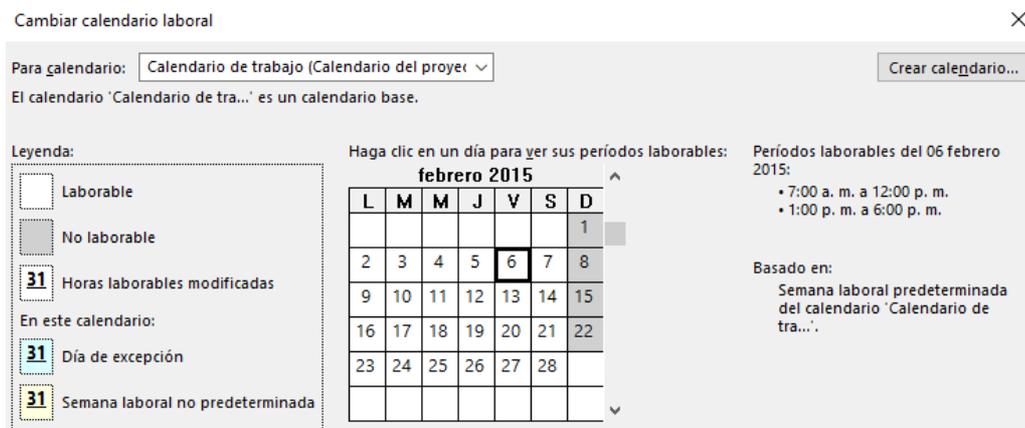


Figura 49. Calendario laboral del proyecto

Para la elaboración del cronograma se ah considera lo indicado en la guía del PMBOK para ello se realizó lo siguiente:

- Se realizó el análisis de los distintos escenarios “que pasa si”, simulando de cómo cambia el cronograma si se aplica alguna variable o se enlaza de otra manera.

- Durante el análisis de la red se realizaron varios retrasos a las actividades como por ejemplo a la actividad de desencofrado de la losa aligerada del primer nivel a esta actividad se aplicó un retraso de 14 días después de la colocación de concreto, este retraso es inevitable ya que es el tiempo exigido para que el concreto alcance su resistencia y se alcance a desencofrar.
- Para poder acortar la duración del cronograma se utilizó cuidadosamente la compresión del cronograma a través de la intensificación y ejecución rápida, donde se ha programado actividades casi en paralelo como por ejemplo pintar los muros de la edificación conjuntamente con realizar la colocación de válvulas de agua fría.
- La optimización de recursos se utilizó para ajustar las fechas en función a los recursos disponibles nivelando los recursos, se determinó la nivelación de las actividades de tal manera que los recursos estén disponibles y sean constantes en lo posible como se aprecia en la figura 50, esta nivelación hace que a veces varíe la ruta crítica original, para que no suceda lo mencionado se utiliza la holgura libre de cada actividad.

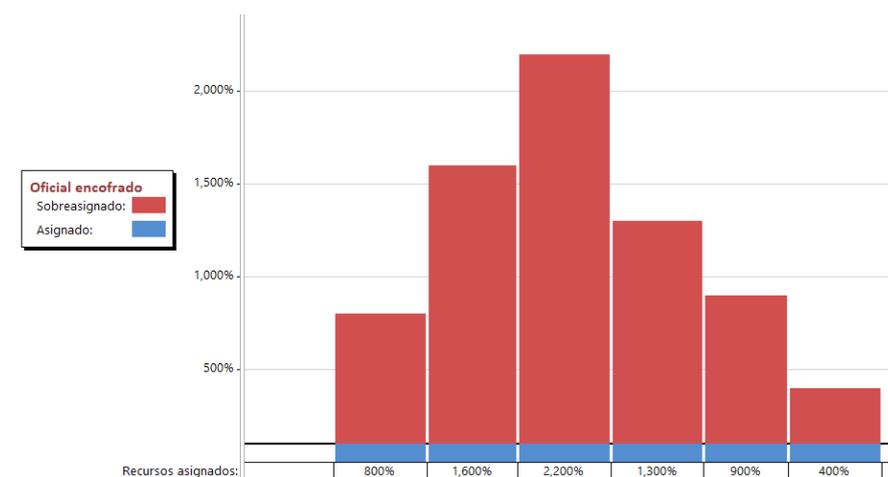


Figura 50. Gráfico del recurso del oficial encofrador

#### 4.1.1.3. Construcción virtual en el entendimiento del cronograma.

Una vez culminada el modelamiento de información de la edificación (BIM) y el cronograma de obra, se procedió a realizar la construcción de la edificación en forma virtual para ello se asignó al modelo 3D el factor tiempo mediante el diagrama Gantt. En la figura 51 se muestra en forma gráfica que la suma del cronograma más el modelamiento BIM genera la construcción virtual (BIM 4D).

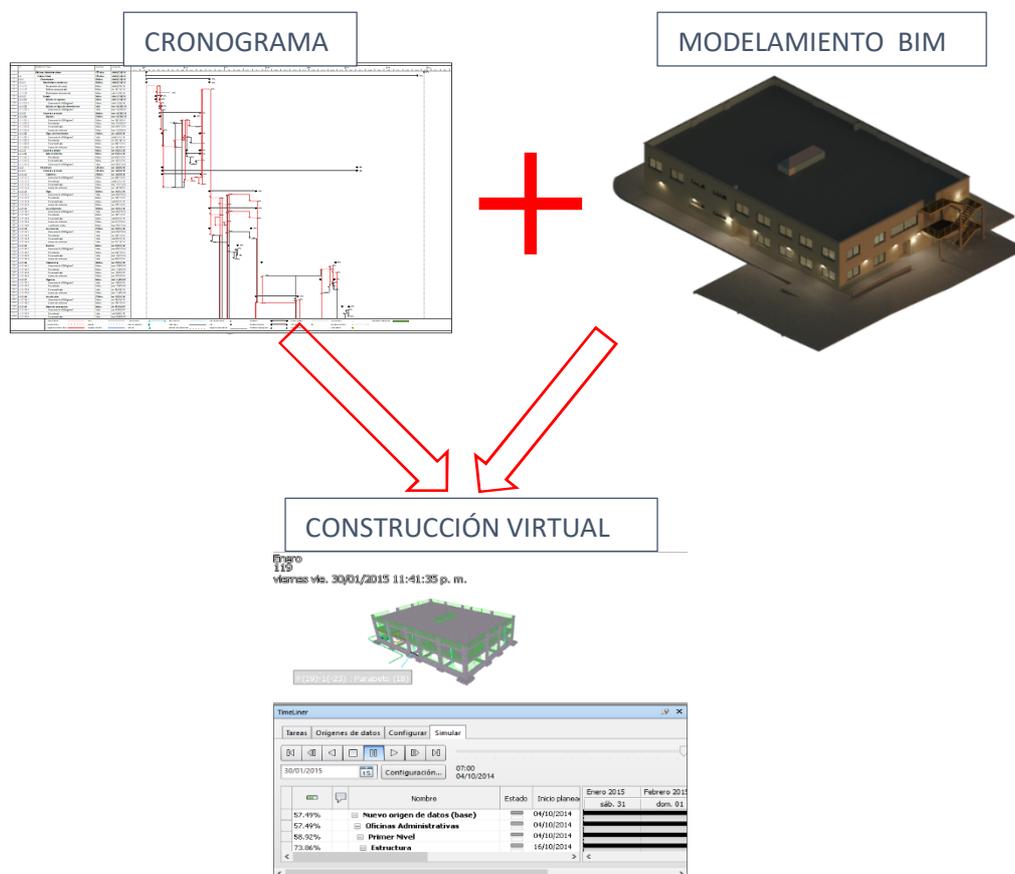


Figura 51. Entradas para la construcción virtual

Para realizar la construcción virtual se ha utilizado el software Autodesk Navisworks en su versión 2018, para ello se importaron a la plataforma del software el modelo BIM 3D integrado es decir todas las disciplinas en un solo modelo realizado en el software Autodesk Revit 2018 y la programación de obra realizado en el software Project 2013, básicamente el diagrama Gantt, un vez en el modelo

Navisworks se realizó la vinculación de las actividades con los elementos del modelo 3D, para su posterior simulación animada en la que se muestra el orden en que las actividades van a ser completados es decir que a medida se desarrolla el programa se visualiza el modo virtual de la construcción.

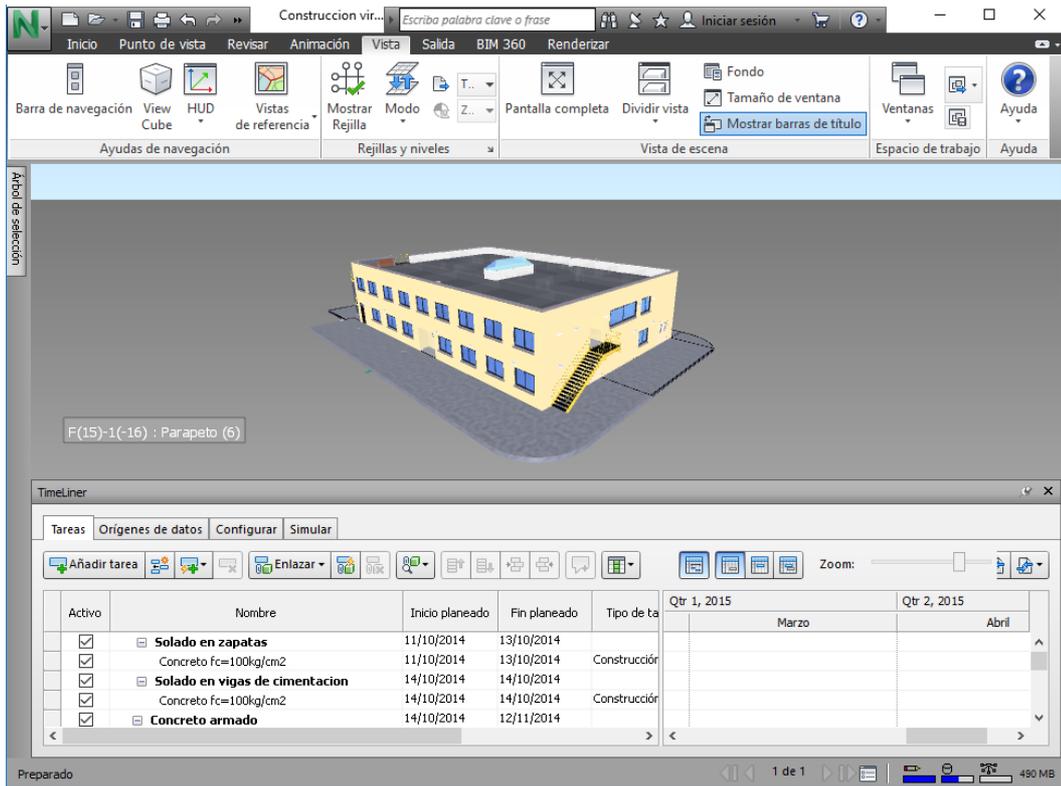


Figura 52. Plataforma del software Navisworks 2018

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1. Presentación de los resultados**

Se presenta los resultados obtenidos de la recolección de información sobre la planificación de obra realizado de manera tradicional y los resultados del modelamiento de información de la edificación (BIM) en la planificación de obra aplicado al proyecto “Obras multidisciplinarias para facilidades operativas de nuevos talleres de mantenimiento de equipos mina” correspondiente a un edificio administrativo.

##### **5.1.1. Gestión del cronograma de la manera tradicional**

###### ***5.1.1.1. Reducción de la variabilidad del proyecto.***

Para la elaboración del cronograma de manera tradicional existió escasa búsqueda de la variabilidad como interferencias, falta de información, incompatibilidades, etc. Los problemas del proyecto fueron detectados en el mismo momento de la ejecución. En el proyecto se realizaron diversos tipos de cambio en varios planos contractuales, dichos cambios fueron autorizados por la supervisión de obra colocando la firma correspondiente, las disciplinas en las que se registran los

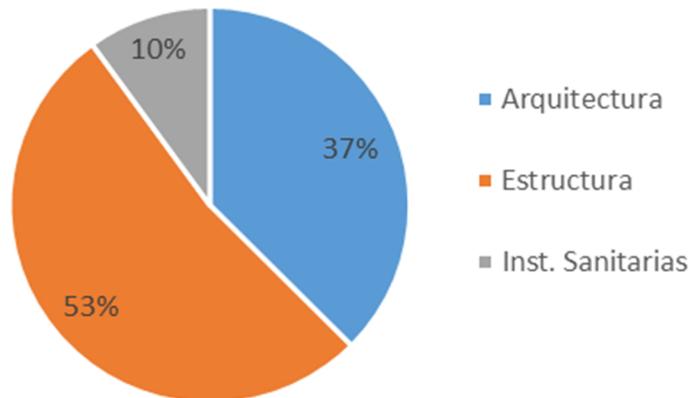
cambios fueron en tres, tales como las disciplinas de arquitectura, estructuras e instalaciones sanitarias.

En la tabla 6 se muestra la cantidad de variabilidad encontrada en las distintas disciplinas con la metodología tradicional.

**Tabla 6**

*Registro de variabilidad por disciplinas encontradas mediante la metodología tradicional*

Variabilidad	Disciplinas			Total
	Arquitectura	Estructura	Inst. Sanitarias	
Falta de información	01	04	00	05
Incompatibilidad	04	01	00	05
Información errónea	01	01	02	04
Aclaración del plano	01	06	00	07
Modificación de ingeniería	08	08	02	18
Total	15	20	04	39



*Figura 53. Variabilidad por disciplinas encontradas con la metodología tradicional*

De la tabla 6 y figura 53, se observa que la mayoría de los cambios registrados en los planos red lines fueron en la disciplina de estructuras con 53 %, seguido por la disciplina de arquitectura con el 37 % y en las instalaciones sanitarias solo se registraron 10 % de cambios, cabe mencionar que en la disciplina de instalaciones eléctricas e instrumentación no se registraron cambios.

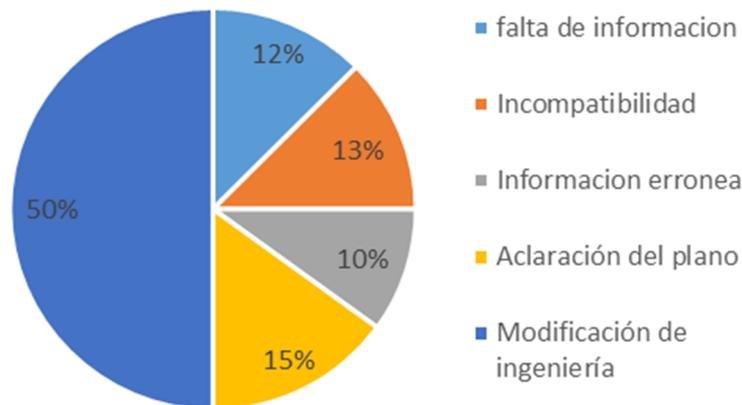


Figura 54. Variabilidad encontrada en los planos red line

De la figura 54 se percibe que las modificaciones realizadas en los planos red line, el 50 % son atribuibles a modificaciones de ingeniería o cambios por el cliente, seguido por la aclaración al plano, incompatibilidad, falta de información e información errónea con 15 %, 13 %, 12 % y 10 % respectivamente, del cual se concluye, que el desarrollo de la ingeniería o expediente técnico tiene muchas deficiencias lo cual se trató de solucionar en el momento de la construcción.

En conclusión, existe un expediente técnico deficiente el cual conllevó a que durante la ejecución del proyecto se detectaran varios problemas como falta de información, incompatibilidad, interferencias, cambio de ingeniería, etc. debido a ello se realizaron varias modificaciones en los planos contractuales a estos cambios denominados planos red line, en su mayoría fueron realizados en plena ejecución. Finalmente estos cambios fueron modificados en los archivos de AutoCAD para la presentación de planos finales de obra (As Built).

#### **5.1.1.2. Cronograma de ejecución del proyecto.**

El cronograma contractual del proyecto cuenta 113 días de ejecución, teniendo como fecha de inicio el 04 de octubre del 2014 y como fin 24 de enero del 2015.

En la tabla 7 se muestra el tipo de documento presentado a la supervisión para su aprobación como líneas base del proyecto, recuperación de obra, ampliación de plazo, etc. Así como las fechas de inicio, fecha de finalización y la duración en días de los distintos cronogramas realizados de la manera tradicional.

**Tabla 7**

*Registro de cronogramas realizado de manera tradicional presentadas durante la ejecución del proyecto*

Ítem	Tipo de documento	Documentación		Área 4200 (Oficina Administrativa)		
		Fecha	Documento	Star	Finish	Días
1	Línea base del proyecto	14/08/2014	ABG-014-078	04/10/2014	24/01/2015	113
2	Recuperación de obra	08/11/2014	ABG-486-014	15/11/2014	28/02/2015	106
3	Recuperación de obra	10/11/2014	ABG-492-014	15/11/2014	28/02/2015	106
4	Reporte semanal	18/11/2014	ABG-536-014	19/11/2014	12/03/2015	114
5	Recuperación de obra	24/11/2014	ABG-563-014	01/12/2014	06/03/2015	96
6	Recuperación de obra	04/12/2014	ABG-621-014	17/12/2014	16/02/2015	62
7	Recuperación de obra	18/12/2014	ABG-688-014	03/01/2015	10/03/2015	67
8	Recuperación de obra	07/01/2015	ABG-741-015	08/01/2015	19/03/2015	71
9	Plan de recuperación	10/02/2015	ABG-993-015	08/01/2015	27/04/2015	110
10	Cronograma	25/03/2015	ABG-1336-015	08/01/2015	06/06/2015	150
11	Ampliación de plazo	06/05/2015	ABG-1661-015	08/01/2015	28/06/2015	172
12	Ampliación de plazo	30/06/2015	ABG-2153-015	08/01/2015	31/07/2015	205
13	Ampliación de plazo	03/09/2015	ABG-2552-015	08/01/2015	01/10/2015	229

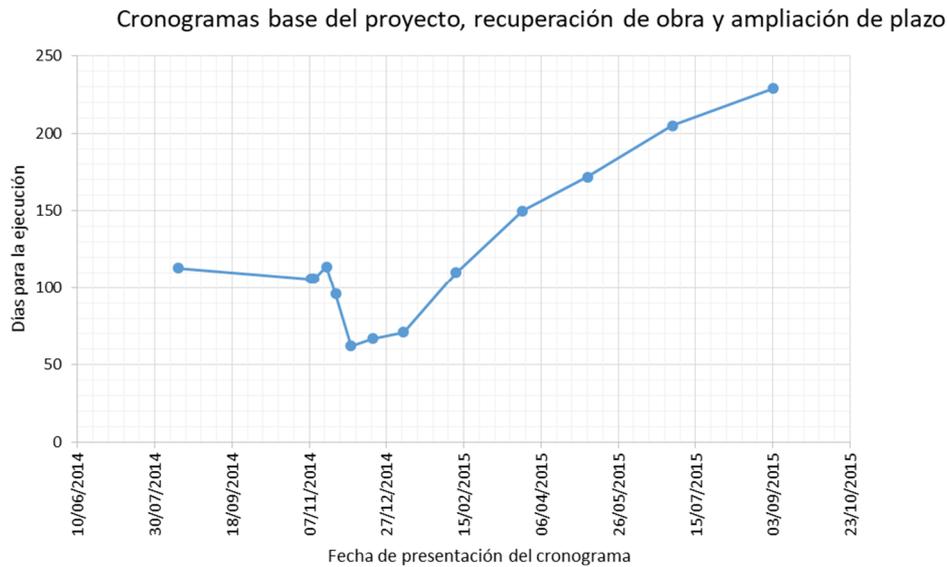


Figura 55. Fechas de presentación y días de ejecución de cronogramas del proyecto

De la tabla 7 y figura 55, se aprecia que al inicio se indicó al cliente que se culminará el proyecto en el tiempo contractual; sin embargo con el pasar del tiempo se van aumentando los días para culminar el proyecto llegando así de 113 días a 229 días, de donde se concluye que para la elaboración del cronograma de obra se ha tenido varios inconvenientes como la reducción de la variabilidad antes de la ejecución del proyecto, insuficiente comprensión del proyecto, entre otros inconvenientes en la programación, ya que no se logró acertar la fecha aproximada de cuando se culminaría el proyecto.

Una de las causas que genera mayores tiempos de ejecución es la no reducción de la variabilidad del proyecto antes de la ejecución de las actividades, además que no existe una metodología para realizarlo, estas variabilidades al solucionarlos en el momento de la ejecución y al encontrarse en las actividades que contemplan la ruta crítica proyecto hace que el tiempo de ejecución sea mayor, teniendo como principales consecuencias la disconformidad del cliente y los mayores costos que este genera.

En la figura 56 se presenta una muestra de los retrasos que genera las modificaciones en el momento de la ejecución en las actividades de la losa de piso.

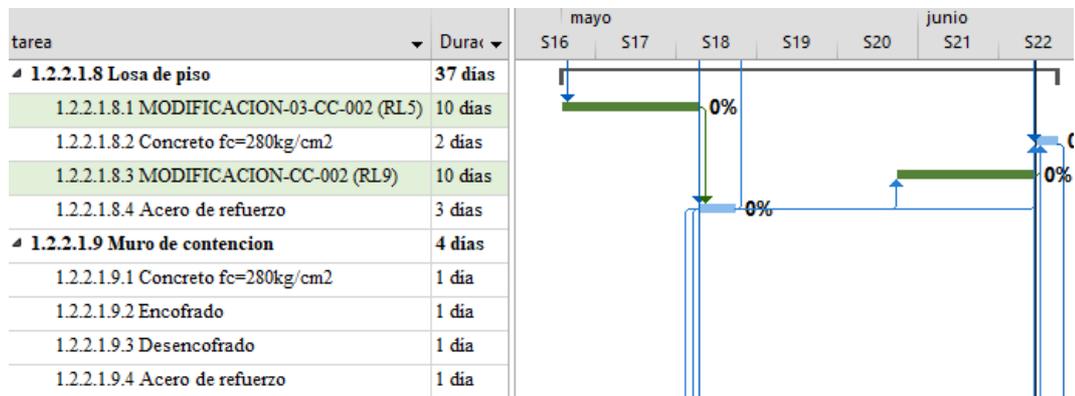


Figura 56. Retrasos generados en las actividades por modificación en el momento de la ejecución

Se concluye que; el cronograma final elaborado de la manera tradicional muestra deficiencias en la búsqueda anticipada de problemas en el proyecto, teniendo como consecuencia retrasos en la ejecución de las actividades.

### 5.1.1.3. *Comprensión del proyecto y cronograma.*

Para la comprensión del proyecto, se utilizó los planos en 2D elaborados en AutoCAD, especificaciones y el alcance del proyecto, sin embargo para el entendimiento y verificación del cronograma se utilizó diagramas gantt, del cual se concluye que resulta difícil imaginar e interpretar el cronograma además de mucho esfuerzo de raciocinio de las personas para el entendimiento del mismo.

## 5.1.2. Gestión del cronograma de la metodología BIM

### 5.1.2.1. *Modelamiento de la información de la edificación (BIM) en la reducción de variabilidad del proyecto.*

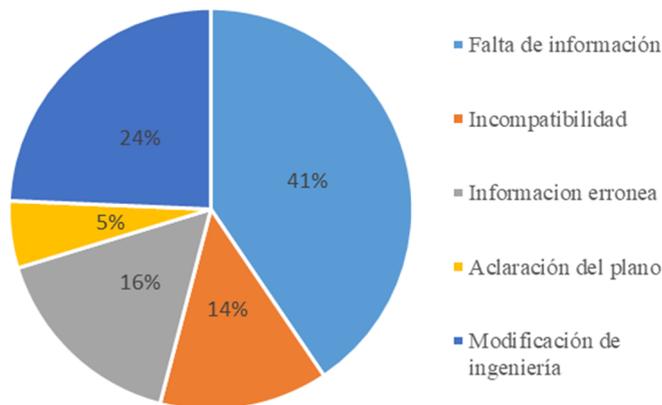
Se realizó la búsqueda y reducción de las variabilidades del proyecto de las distintas disciplinas a través del modelamiento de información BIM, antes de realizar el cronograma de obra.

En la disciplina de estructuras, se detectaron 37 variabilidades en total. El registro detallado de todas las variables se aprecia en la tabla A2 del apéndice A y en la tabla 8 se muestra el resumen.

**Tabla 8**

*Registro de variabilidad en la disciplina de estructuras encontrada mediante la tecnología BIM*

Variabilidad	Disciplina
	Estructuras
Falta de información	15
Incompatibilidad	05
Información errónea	06
Aclaración del plano	02
Modificación de ingeniería	09
Total	37



*Figura 57. Variabilidad encontrada con la metodología BIM en la disciplina de estructuras*

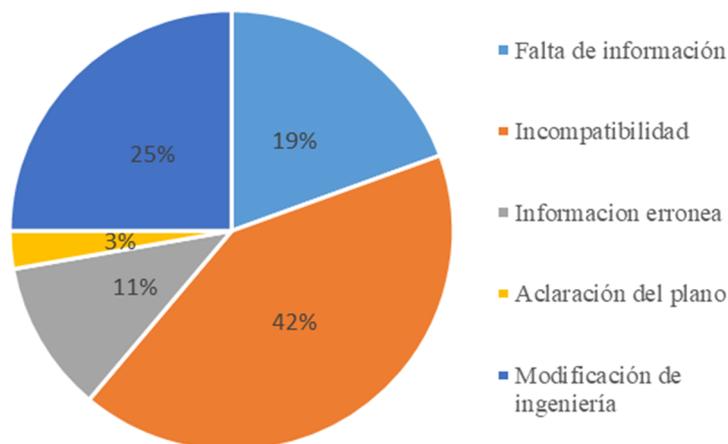
En la tabla 8 y figura 57, se muestra la variabilidad encontrada con la tecnología BIM en la disciplina de estructuras, donde la mayor cantidad fue por falta de información con el 41 % seguido por la modificación de ingeniería con 24 %, por información errónea 16 %, por incompatibilidad 14 % y por aclaración al plano con 5 %. Se concluye que los inconvenientes detectados se solucionan antes de la ejecución y en pleno modelamiento BIM.

La búsqueda y reducción de la variabilidad que se realizó con la metodología BIM en la disciplina de arquitectura, del cual se detectó 36 inconvenientes en total. El registro detallado de todas las variables se aprecia en la tabla A1 del apéndice A y en la tabla 9 se muestra el resumen.

**Tabla 9**

*Registro de variabilidad de la disciplina de arquitectura encontrada mediante la tecnología BIM*

Variabilidad	Disciplina
	Arquitectura
Falta de información	07
Incompatibilidad	15
Información errónea	04
Aclaración del plano	01
Modificación de ingeniería	09
Total	36



*Figura 58. Variabilidad encontrada con la metodología BIM en la disciplina de arquitectura*

En la tabla 9 y figura 58, se aprecia la variabilidad encontrada con la metodología BIM en la disciplina de arquitectura, obteniendo como resultado que la mayor cantidad es atribuible a la incompatibilidad con 42 %, seguido por modificación de ingeniería con 25 %, falta de información con 19 %, información errónea con 11 % y aclaración al plano con 3 %. De donde se concluye, que los

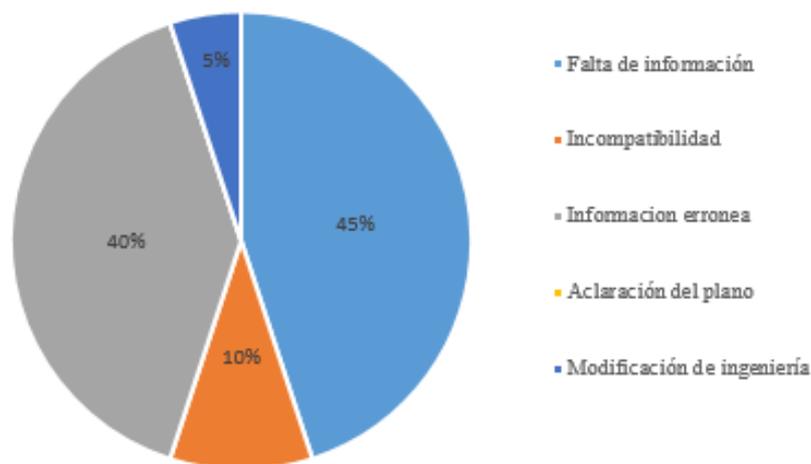
inconvenientes detectados se solucionan antes de la ejecución y en pleno modelamiento BIM.

En el modelamiento BIM de la disciplina de instalaciones sanitarias se encontraron 20 variabilidades. El registro detallado de todas las variables se aprecia en la tabla A3 del apéndice A y en la tabla 10 se muestra el resumen.

**Tabla 10**

*Registro de variabilidad de instalaciones sanitarias encontrada mediante la tecnología BIM*

Variabilidad	Disciplina
	Inst. Sanitaria
Falta de información	09
Incompatibilidad	02
Información errónea	08
Aclaración del plano	00
Modificación de ingeniería	01
Total	20



*Figura 59. Variabilidad encontrada con la metodología BIM en la disciplina de Inst. Sanitarias*

En la tabla 10 y figura 59, se aprecia la variabilidad encontrada con la tecnología BIM en la disciplina de instalaciones sanitarias del que se tiene como resultado que la mayor cantidad es atribuible a la falta de información con 45 %, seguido por información errónea con 40 %, por incompatibilidad con 10 % y por

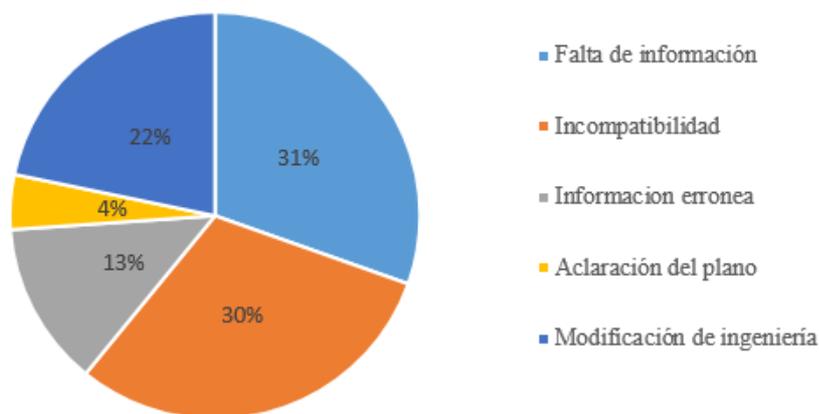
modificación de ingeniería con 5 %. Donde se concluye, que los inconvenientes detectados se solucionan antes de la ejecución.

Las variabilidades encontradas en la disciplina de instalaciones eléctricas e instrumentación durante el modelamiento fueron 23, El registro detallado de todas las variables se aprecia en la tabla A4 del apéndice A y en la tabla 11 se muestra el resumen.

**Tabla 11**

*Registro de variabilidad de la disciplina de instalaciones eléctricas e instrumentación con BIM*

Variabilidad	Disciplina
	Inst. Eléctricas e Instrumentación
Falta de información	07
Incompatibilidad	07
Información errónea	03
Aclaración del plano	01
Modificación de ingeniería	05
Total	23



*Figura 60.* Variabilidad encontrada con la metodología BIM en la disciplina de inst. eléctricas

En la tabla 11 y figura 60, se aprecia la variabilidad encontrada con la metodología BIM en la disciplina de instalaciones eléctricas e instrumentación del que se tiene como resultado que la mayor cantidad es atribuible a la falta de

información e incompatibilidad con 31 %, seguido por información la modificación de ingeniería con 22 %, información errónea con 13 % y aclaración al plano con 4 %. Se concluye que los inconvenientes detectados se solucionan antes de la ejecución y en pleno modelamiento BIM.

En la tabla 12, se muestra en forma resumida el registro de todas las variabilidades de las distintas disciplinas del proyecto encontradas durante el modelamiento de información de la edificación (BIM).

**Tabla 12**

*Registro de variabilidad por disciplinas con la tecnología BIM*

Variabilidad	Disciplinas				Total
	Arq.	Estruct	Inst. Sanitarias	Inst. Eléctricas e Instrumentación	
Falta de información	7	15	9	7	38
Incompatibilidad	15	5	2	7	29
Información errónea	4	6	8	3	21
Aclaración del plano	1	2	0	1	4
Modificación de ingeniería	9	9	1	5	24
Total	36	37	20	23	116

**5.1.2.2. Modelamiento de la información de la edificación (BIM) en la gestión del cronograma utilizando la guía del PMBOK.**

La elaboración del cronograma mediante la utilización de la guía del PMBOK y el modelamiento de información BIM, hace que facilite la elaboración del cronograma proporcionando dota la información necesaria y sea más realista. El cronograma del proyecto cuenta con las actividades necesarias para culminar el proyecto, la duración de cada actividad, la secuencia entre actividades e hitos.

En la siguiente imagen 61 se presenta los cinco hitos de duración nula o eventos significativos dentro del proyecto como la colocación de concreto en

cimentación y columnas, colocación de concreto en la losa aligerada del primer nivel y la colocación de concreto en la losa aligerada del segundo nivel, las cuales son obligatorios para no retrasar el proyecto.

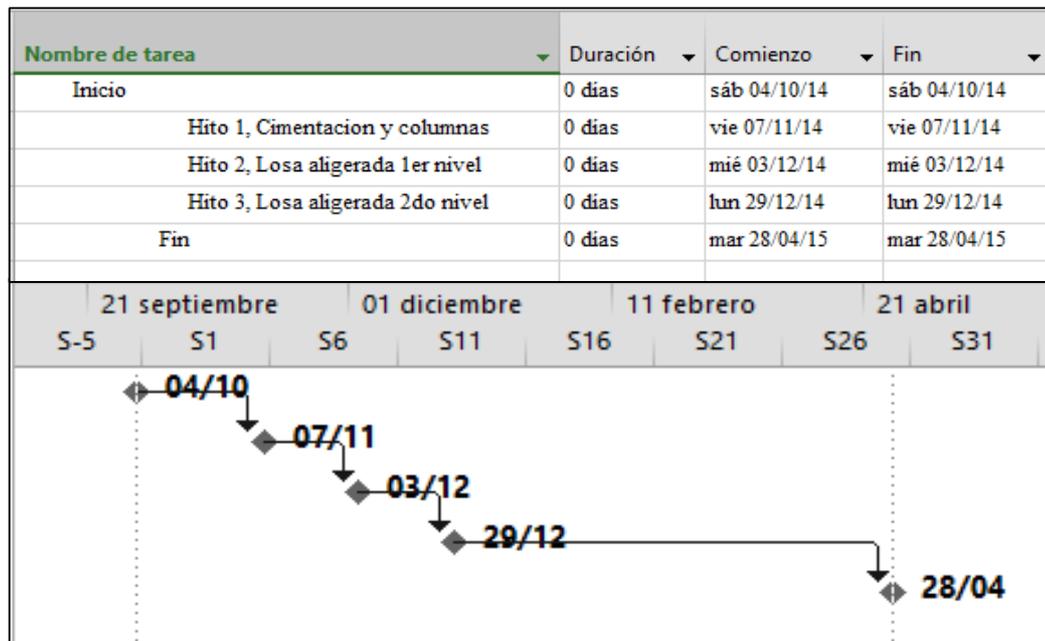


Figura 61. Hitos del proyecto

En la tabla 13 se muestra la fecha de inicio, fin y la duración de las actividades más importantes del proyecto y en el apéndice B, se muestra en cronograma general con su respectivo diagrama de Gantt, donde los diagramas de barra de las actividades se muestran en el eje horizontal, las actividades del proyecto se muestra en el eje vertical y las fechas de inicio, fin, y la duración se muestra en el eje horizontal, además de color rojo se muestra la ruta crítica del proyecto. Cabe mencionar que los diagramas de barra de cada actividad son relativamente fáciles de leer sin embargo la secuencia constructiva de todo el proyecto se hace complicado de leer ya que hay que tener bastante concentración e imaginación.

**Tabla 13***Duración de actividades más importantes*

<b>EDT</b>	<b>Nombre de tarea</b>	<b>Duración</b>	<b>Comienzo</b>	<b>Fin</b>
1	Oficinas administrativas	177 días	sáb 04/10/14	mar 28/04/15
1.1	Primer nivel	177 días	sáb 04/10/14	mar 23/04/15
1.1.1	Cimentación	40 días	sáb 04/10/14	mié 19/11/14
1.1.2	Estructura	124 días	jue 16/10/14	lun 09/03/15
1.1.3	Arquitectura	74 días	lun 26/01/15	mar 21/04/15
1.1.4	Inst. sanitarias	91 días	jue 25/12/14	jue 09/04/15
1.1.5	Inst. eléctricas y comunicaciones	127 días	jue 27/11/14	mar 23/04/15
1.2	Segundo nivel	131 días	jue 27/11/14	mar 28/04/15
1.2.1	Estructura	63 días	jue 04/12/14	sáb 14/02/15
1.2.2	Arquitectura	74 días	lun 19/01/15	mar 14/04/15
1.2.3	Inst. sanitarias	116 días	jue 27/11/14	vie 10/04/15
1.2.4	Inst. eléctricas y comunicaciones	131 días	jue 27/11/14	mar 28/04/15

Se concluye indicando que el modelamiento de la información BIM influye positivamente en la elaboración del cronograma del proyecto a través de su modelo tridimensional de donde se realiza la compatibilización de la información del proyecto, detectando la falta de información, realizando los metrados con una validación visual y un mejor entendimiento del proyecto a través de su modelo tridimensional.

### **5.1.2.3. Construcción virtual.**

Al tener el modelo de información de la edificación (BIM) tridimensional y además poder agregarle un diagrama Gantt, se consigue la construcción virtual (simulación 4D) el cual se generó un video del proceso constructivo conforme al cronograma desarrollado, para ello se presenta un storyboard del video en la figura 62, como resultado de este proceso se obtiene que la construcción virtual permite conocer de mejor manera la secuencia constructiva, resulta fácil imaginar e interpretar la

programación el cómo se desarrollará la obra optimizando recursos, trabajar de manera coordinada, facilita la toma de decisiones anticipadas y mejora el entendimiento del cronograma en todos los interesados del proyecto.

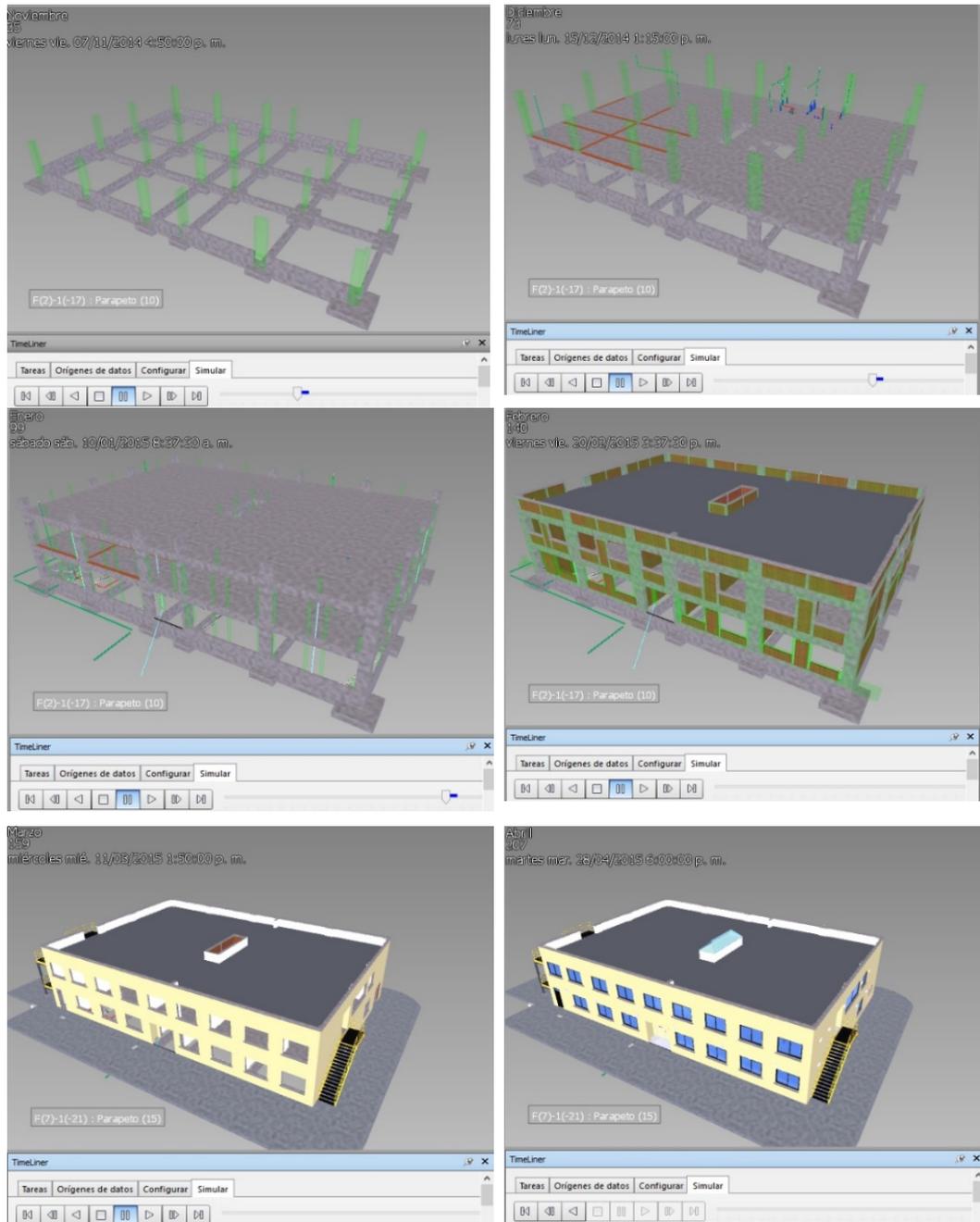


Figura 62. Construcción virtual de la edificación

## 5.2. Contrastación de hipótesis

### 5.2.1. Hipótesis general

*La aplicación de la tecnología BIM influye positivamente en la mejora de la planificación de obra en la ejecución de obras de edificaciones para oficinas administrativas en la región Tacna.*

De los resultados obtenidos en el proceso de investigación, se ha obtenido la siguiente información de los dos métodos sobre la planificación.

**Tabla 14**

*Comparación de resultados de la planificación elaborada con la metodología tradicional y BIM*

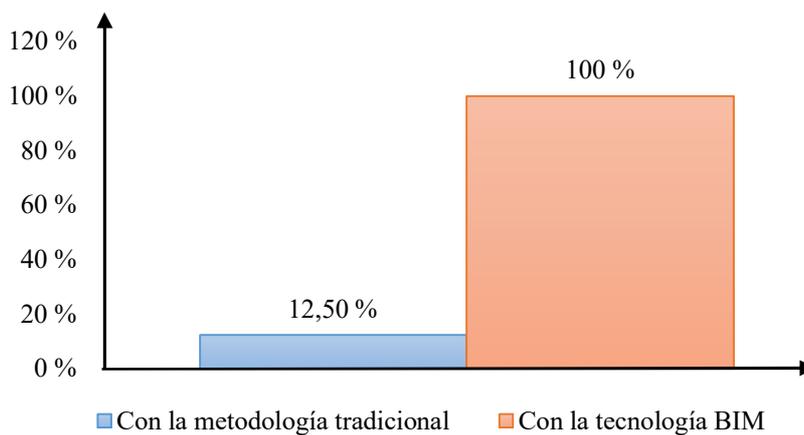
Ítem	Descripción de actividades para realizar la planificación de obra	Con la metodología tradicional (Sí/No)	Con la tecnología BIM (Sí/No)
1	¿Se realiza una revisión del expediente técnico antes de la ejecución del proyecto?	No	Sí
2	¿Se genera una maqueta virtual para el mejor entendimiento del proyecto?	No	Sí
3	¿Se compatibiliza la información antes de la ejecución de proyecto?	No	Sí
4	¿Se detecta la falta de información en el proyecto antes de la ejecución?	No	Sí
5	¿Existe una base de datos donde se concentra toda la información necesaria para la planificación y ejecución de proyectos?	No	Sí
6	¿Se realiza la validación visual para la aprobación de los Metrados?	No	Sí
7	¿La información del proyecto se muestra en un modelo tridimensional 3D, para un mejor entendimiento antes de realizar la programación?	No	Sí
8	¿Se realizan varios escenarios en la programación para la ejecución del proyecto?	Si	Sí
9	¿Se busca problemas y resuelven antes de ejecutar el proyecto?	No	Sí

**Tabla 14**

*Comparación de resultados de la planificación elaborada con la metodología tradicional y BIM (continuación).*

Ítem	Descripción de actividades para realizar la planificación de obra	Con la metodología tradicional (Sí/No)	Con la tecnología BIM (Sí/No)
10	¿Se realiza un recorrido del proyecto en forma virtual?	No	Sí
11	¿Se visualiza la simulación del proceso constructivo del cronograma?	No	Sí
12	¿Se realiza la validación del cronograma?	No	Sí
13	¿Se detectan problemas constructivos en el cronograma?	No	Sí
14	¿Se analiza varios escenarios para la ejecución del proyecto?	Si	Sí
15	¿Se genera un video de la secuencia constructiva para el entendimiento del personal?	No	Sí
16	¿Busca interferencias entre distintas disciplinas del proyecto?	No	Sí

Nota: Elaboración a partir de los resultados obtenidos del modelamiento BIM y la recolección de información del proyecto gestionado de la manera tradicional.



*Figura 63. Planificación de obra utilizando la metodología tradicional y la tecnología BIM*

En la tabla 14 y figura 63, se aprecia la comparación de los resultados obtenidos de la planificación de obra realizado de la manera tradicional y con la tecnología BIM, de donde se concluye que la aplicación de la tecnología BIM mejora

significativamente la planificación de obra en la ejecución de obras de edificaciones para oficinas administrativas, puesto que los beneficios del BIM en la planificación son el 100 % comparativamente con respecto al tradicional que se muestra beneficios en un 12,50 %.

### **5.2.1.1. Contrastación de la Hipótesis General**

Planteamiento de la hipótesis estadística al 5 % de error

- *Hipótesis nula ( $H_0$ ):* La aplicación de la tecnología BIM no mejora significativamente la planificación de obra en la ejecución de obras de edificaciones para oficinas administrativas en la región Tacna.
- *Hipótesis alterna ( $H_1$ ):* La aplicación de la tecnología BIM mejora significativamente la planificación de obra en la ejecución de obras de edificaciones para oficinas administrativas en la región Tacna.

Regla para tomar una decisión:

- Si Sig. <0,05 Se rechaza la hipótesis nula.
- Si Sig.  $\geq$ 0,05 No se rechaza la hipótesis nula.

**Tabla 15**

*Prueba de corrección de Yates para determinar la aplicación de la tecnología BIM en la mejora de la planificación.*

<b>Estadísticas</b>	<b>Valor</b>	<b>df</b>	<b>Significación asintótica (bilateral)</b>	<b>Significación exacta (bilateral)</b>	<b>Significación exacta (unilateral)</b>
Chi-cuadrado de Pearson	24,889	1	0,000		
Corrección de continuidad	21,460	1	0,000		
Razón de verosimilitud	31,803	1	0,000		
Prueba exacta de Fisher				0,000	0,000
Asociación lineal por lineal	24,111	1	0,000		
N de casos válidos	32				

- Interpretación y análisis.

Según la tabla 15, se observa que muestra un valor significancia de 0,000 por tanto es menor al 5 % de error, consecuentemente se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Por lo tanto se concluye que:

La aplicación de la tecnología BIM mejora significativamente la planificación de obra en la ejecución de obras de edificaciones para oficinas administrativas en la región Tacna.

### 5.2.2. Hipótesis específicas 1

*El modelamiento de información de la edificación (BIM) influye positivamente en la reducción de la variabilidad del proyecto.*

En la siguiente tabla 16 se presenta las variabilidades encontradas mediante la forma tradicional y con la tecnología BIM.

**Tabla 16**

*Registro de variabilidad mediante la forma tradicional y la tecnología BIM*

Variabilidad	Reducción de la variabilidad		Variación (%)
	Mediante la forma tradicional	Mediante la tecnología BIM	
Falta de información	5	38	760 %
Incompatibilidad	5	29	580 %
Información errónea	4	21	525 %
Aclaración del plano	7	4	57,14 %
Modificación de ingeniería	18	24	133,33 %
Total	39	116	297,44 %

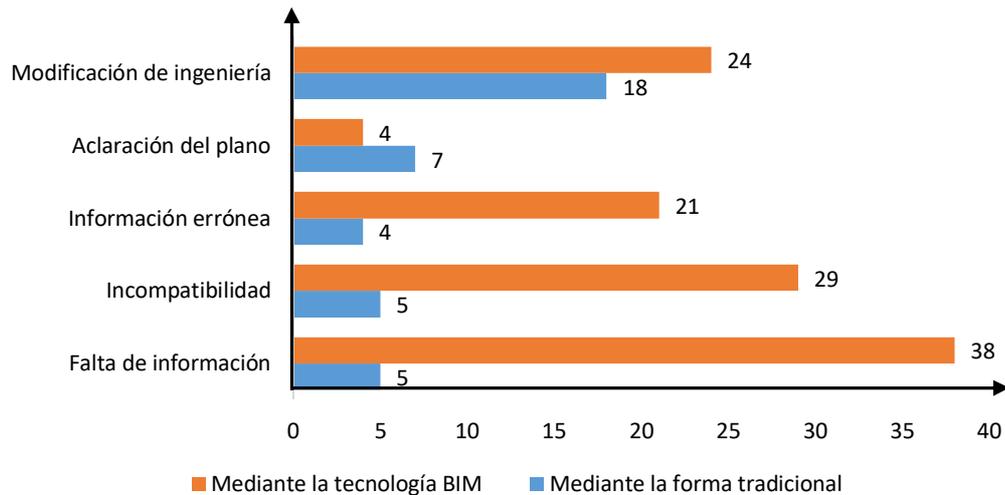


Figura 64. Variabilidad del proyecto utilizando la metodología tradicional y la tecnología BIM

Se aprecia en la tabla 16 y figura 64, que con el uso de la tecnología BIM en proyectos de edificaciones es posible la reducción de la variabilidad del proyecto en 297 % respecto al tradicional, es decir, es evidente la diferencia que existe entre las dos metodologías, con lo que se demuestra la hipótesis: el modelamiento de información de la edificación (BIM) influye positivamente en la reducción de la variabilidad del proyecto.

### 5.2.2.1. Contrastación de la hipótesis específica 1

Planteamiento de la hipótesis estadística al 5 % de error

- *Hipótesis nula:* El modelamiento de información de la edificación (BIM) no influye positivamente en la variabilidad del proyecto.
- *Hipótesis alterna:* El modelamiento de información de la edificación (BIM) influye positivamente en la variabilidad del proyecto.

Regla para tomar una decisión:

- Si Sig. <0,05 Se rechaza la hipótesis nula.
- Si Sig.  $\geq$ 0,05 No se rechaza la hipótesis nula.

**Tabla 17**

*Prueba de t de student para determinar si el modelamiento de información de la edificación (BIM) influye positivamente en la variabilidad del proyecto*

CATEGORÍAS	Prueba de Levene de igualdad de varianzas	F	1,287	
		Sig.	0,290	
	Se asumen varianzas iguales prueba t para la igualdad de medias	t	-2,496	
		gl	8	
		Sig. (bilateral)	0,037	
		Diferencia de medias	-15,400	
		Diferencia de error estándar	6,17090	
		95 % de intervalo de confianza de la diferencia	Inferior	-29,630
			Superior	-1,1698
		No se asumen varianzas iguales prueba t para la igualdad de medias	t	-2,496
			gl	5,644
			Sig. (bilateral)	0,049
			Diferencia de medias	-15,400
			Diferencia de error estándar	6,17090
95 % de intervalo de confianza de la diferencia	Inferior		-30,733	
	Superior	-,06675		

- *Interpretación y análisis*

Como el P valor es 0,037 es menor que 0,05 se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, en conclusión, a un nivel de significancia de 0,05 el modelamiento de información de la edificación (BIM) influye positivamente en de variabilidad del proyecto.

### 5.2.3. Hipótesis específicas 2

*El modelamiento de información de la edificación (BIM) interviene positivamente en la gestión del cronograma utilizando la guía del PMBOK.*

De los resultados obtenidos en el proceso de investigación, se ha obtenido la siguiente información de los dos métodos sobre el cronograma de obra.

**Tabla 18**

*Comparación de resultados la elaboración del cronograma con la metodología tradicional y BIM*

<b>Ítem</b>	<b>Descripción de actividades para realizar la planificación de obra</b>	<b>Con la metodología tradicional (Sí/No)</b>	<b>Con la tecnología BIM (Sí/No)</b>
1	¿Se compatibiliza la información antes de la ejecución de proyecto?	No	Sí
2	¿Se detecta la falta de información en el proyecto antes de la ejecución?	No	Sí
3	¿Existe una base de datos donde se concentra toda la información necesaria para la planificación y ejecución de proyectos?	No	Sí
4	¿Se realiza la validación visual para la aprobación de los metrados?	No	Sí
5	¿La información del proyecto se muestra en un modelo tridimensional 3D, para un mejor entendimiento antes de realizar la programación?	No	Sí
6	¿Se realiza varios escenarios en la programación para la ejecución del proyecto?	Si	Sí
7	¿Se busca problemas y resuelven antes de ejecutar el proyecto?	No	Sí

Nota: Elaboración a partir de los resultados obtenidos del modelamiento BIM y la recolección de información del proyecto gestionado de la manera tradicional.

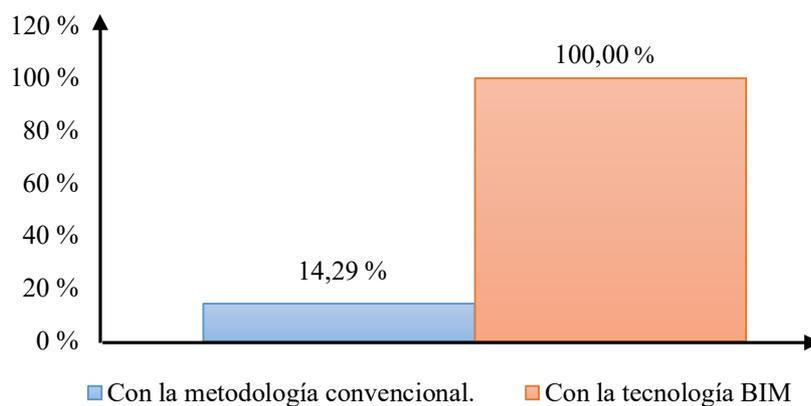


Figura 65. Comparación de la elaboración del cronograma con la metodología tradicional y BIM

En la tabla 18 y figura 65, se presenta la comparación de beneficios en la elaboración del cronograma de forma tradicional y mediante la tecnología BIM, de donde se concluye que la aplicación de la tecnología BIM interviene positivamente en la elaboración del cronograma con la guía PMBOK, permitiendo realizar un cronograma más realista en 100 %, comparativamente, con respecto al tradicional con 14,29 %.

En la tabla 19 y figura 66, se muestra la comparación de tiempos de ejecución realizado con la metodología tradicional y mediante el uso de la tecnología BIM.

**Tabla 19**

*Tiempos de ejecución de obra mediante la metodología tradicional y BIM*

Tiempo de ejecución				
Cronograma	Inicio	Fin	Duración (días)	% de reducción
Metodología tradicional	08/01/2015	01/10/2015	229	
Tecnología BIM	08/01/2015	01/08/2015	177	77,29 %
Diferencia de tiempos			52	22,21 %

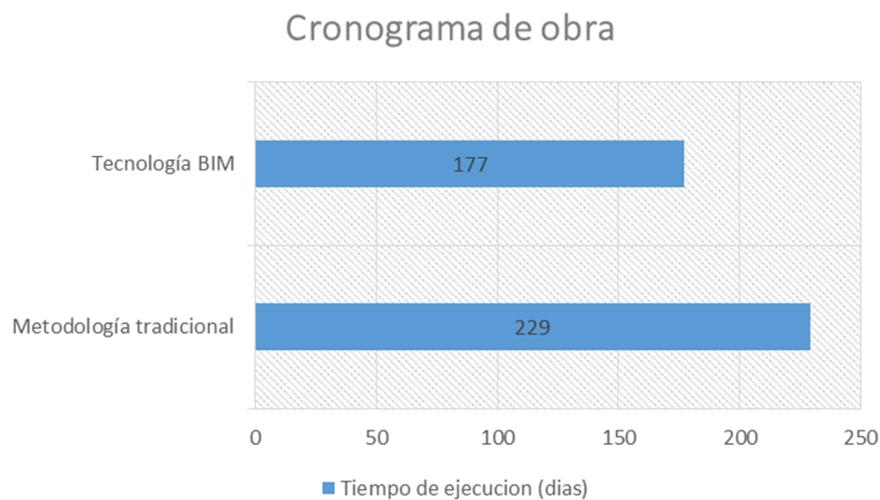


Figura 66. Comparación de tiempos del cronograma con la metodología tradicional y BIM

Se concluye que el cronograma de obra realizado con la metodología BIM reduce el tiempo de ejecución de obras de edificaciones en la región de Tacna hasta un 22,21 %.

### 5.2.3.1. Contrastación de la hipótesis específica 2.

Planteamiento de la hipótesis estadística al 5 % de error

- *Hipótesis nula:* El modelamiento de información de la edificación (BIM) no interviene positivamente en la gestión del cronograma utilizando la guía del PMBOK.
- *Hipótesis alterna:* El modelamiento de información de la edificación (BIM) interviene positivamente en la gestión del cronograma utilizando la guía del PMBOK.

Regla para tomar una decisión:

- Si Sig. <0,05 Se rechaza la hipótesis nula.
- Si Sig.  $\geq$ 0,05 No se rechaza la hipótesis nula.

**Tabla 20**

*Prueba de corrección de Yates para determinar si el modelamiento de información de la edificación (BIM) interviene en la gestión del cronograma*

<b>Estadísticas</b>	<b>Valor</b>	<b>df</b>	<b>Significación asintótica (bilateral)</b>	<b>Significación exacta (bilateral)</b>	<b>Significación exacta (unilateral)</b>
Chi-cuadrado de Pearson	10,500	1	0,001		
Corrección de continuidad	7,292	1	0,007		
Razón de verosimilitud	13,380	1	0,000		
Prueba exacta de Fisher				0,005	0,002
Asociación lineal por lineal	9,750	1	0,002		
N de casos válidos	14				

- *Interpretación y análisis*

Como el P valor es 0,007 es menor que 0,05 se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, en conclusión, a un nivel de significancia de 0,05 el modelamiento de información de la edificación (BIM) interviene positivamente en la gestión del cronograma utilizando la guía del PMBOK.

### **5.2.4. Hipótesis específicas 3**

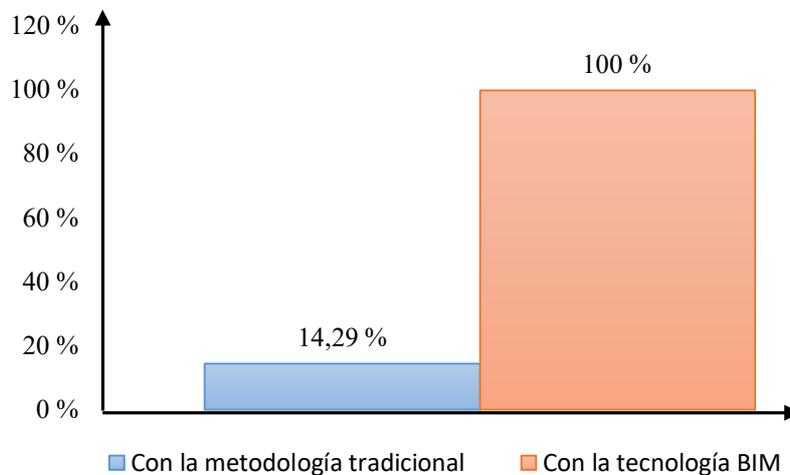
*La visualización de la construcción virtual influye positivamente en el entendimiento del cronograma de obra.*

De los resultados obtenidos en el proceso de investigación, se ha obtenido la siguiente información de los dos métodos sobre el cronograma de obra.

**Tabla 21***Comprensión del cronograma con la metodología tradicional y BIM*

Ítem	Descripción	Con la metodología tradicional (Sí/No)	Con la tecnología BIM (Sí/No)
1	¿Se realiza un recorrido del proyecto en forma virtual?	No	Sí
2	¿Se visualiza la simulación del proceso constructivo del cronograma?	No	Sí
3	¿Se realiza la validación del cronograma?	No	Sí
4	¿Se detectan problemas constructivos en el cronograma?	No	Sí
5	¿Se analiza varios escenarios para la ejecución del proyecto?	Si	Sí
6	¿Se genera un video de la secuencia constructiva para el entendimiento del personal?	No	Sí
7	¿Busca interferencias entre distintas disciplinas del proyecto?	No	Sí

Nota: Elaboración a partir de los resultados obtenidos del modelamiento BIM y la recolección de información del proyecto gestionado de la manera tradicional.

*Figura 67. Construcción virtual de la edificación de manera tradición y con la tecnología BIM*

En la tabla 21 y figura 67, se presenta la comparación de beneficios en la comprensión del cronograma de forma tradicional y mediante la tecnología BIM, de donde se concluye que la visualización de la construcción virtual influye positivamente en el entendimiento del cronograma de obra al 100 % comparativamente, con respecto al tradicional con 14,29 %.

#### 5.2.4.1. Contrastación de la hipótesis específica 3

Planteamiento de la hipótesis estadística al 5 % de error

- *Hipótesis nula:* La visualización de la construcción virtual no influye positivamente en el entendimiento del cronograma de obra.
- *Hipótesis alterna:* La visualización de la construcción virtual influye positivamente en el entendimiento del cronograma de obra.

Regla para tomar una decisión:

- Si Sig. <0,05 Se rechaza la hipótesis nula.
- Si Sig.  $\geq$ 0,05 No se rechaza la hipótesis nula.

**Tabla 22**

*Prueba de corrección de Yates para la visualización de la construcción virtual influye positivamente en el entendimiento del cronograma de obra*

<b>Estadísticas</b>	<b>Valor</b>	<b>df</b>	<b>Significación asintótica (bilateral)</b>	<b>Significación exacta (bilateral)</b>	<b>Significación exacta (unilateral)</b>
Chi-cuadrado de Pearson	10,500	1	0,001		
Corrección de continuidad	7,292	1	0,007		
Razón de verosimilitud	13,380	1	0,000		
Prueba exacta de Fisher				0,005	0,002
Asociación lineal por lineal	9,750	1	0,002		
N de casos válidos	14				

- *Interpretación y análisis*

Como el P valor es 0,007 es menor que 0,05 se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, en conclusión, a un nivel de significancia de 0,05 la visualización de la construcción virtual influye positivamente en el entendimiento del cronograma de obra.

### **5.3. Discusión de resultados**

A partir de los hallazgos encontrados, aceptamos la hipótesis general que establece que la aplicación de la tecnología BIM influye positivamente en la mejora de la planificación de obra en la ejecución de obras de edificaciones para oficinas administrativas en la región Tacna.

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Artica y Lopez (2013), Alcantara (2013), Eyzaguirre (2015), Cespedes y Mamani (2016), Saldias, (2010). Estos autores expresan que la tecnología BIM mejora la planificación de obra, a través de una mejor visualización del proyecto, identificando interferencias antes de la ejecución, conociendo de mejor manera la secuencia contractiva, mejorando la comunicación y la participación de la programación de obra de todo el personal involucrado, de esta manera reduciendo el plazo de ejecución. Ello es acorde con lo que en este estudio se halla.

En lo que respecta con el modelamiento de información de la edificación (BIM) influye positivamente en la reducción de la variabilidad del proyecto, los resultados obtenidos guardan relación con lo que sostiene Artica y Lopez (2013), Alcantara (2013), Cespedes y Mamani (2016), Saldias (2010), Valdez y Valenzuela (2014). Estos autores expresan que se reduce la variabilidad del proyecto identificando interferencias, detectando incompatibilidades y errores antes de la

ejecución del proyecto, reduciendo los requerimientos de información (RFI) y los imprevistos de la descoordinación provenientes del diseño.

En lo que respecta con el modelamiento de información de la edificación (BIM) interviene positivamente en la gestión del cronograma utilizando la guía del PMBOK, los resultados guardan relación con lo que sostiene Artica y Lopez (2013), que el BIM mejora la comunicación y la participación en la programación de todo el personal involucrado, por su parte Eyzaguirre (2015), menciona que la herramienta BIM y la planificación ayuda de gran manera a optimizar los resultados garantizando el éxito del proyecto y Céspedes y Mamani (2016) encontró que el BIM mejora la planificación del proyecto reduciendo 11 % el plazo de ejecución.

En lo que respecta con la visualización de la construcción virtual influye positivamente en el entendimiento del cronograma de obra, los resultados guardan relación con lo indicado por Artica y Lopez (2013) quien afirma que la visualización de la construcción virtual permite conocer de mejor manera la secuencia contractiva, por su parte Alcantara (2013) señala que permite una mejor visualización del proyecto, por otro lado Eyzaguirre (2015) afirma que la construcción virtual resulta fácil imaginar e interpretar la programación el cómo se desarrollará la obra optimizando recursos ya que sin esta sería difícilmente percibidos. Según Tur (2014) menciona que trabajar en un modelo virtual trae ventajas como trabajar de manera coordinada, facilita la toma de decisiones anticipadas, aumenta la calidad del producto al tener mayor control del proyecto.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

**Primera.-** Se ha demostrado que la aplicación de la tecnología BIM influye positivamente en la mejora de la planificación de obra en la ejecución de obras de edificaciones para oficinas administrativas en la región Tacna, mediante la reducción de la variabilidad en 297 % y la reducción del tiempo de ejecución en 22 %.

**Segunda.-** El modelamiento de información de la edificación (BIM) influye positivamente en la reducción de la variabilidad en el proyecto antes de la ejecución, reduciendo hasta en un 297 % respecto al tradicional, siendo la falta de información el mayor problema en la ejecución del proyecto con 760 %, por lo que el modelamiento BIM es altamente beneficioso en la programación de obra ya que al solucionar las variabilidades se logra un cronograma más realista.

**Tercera.-** El modelamiento de información de la edificación (BIM) interviene positivamente en la gestión del cronograma utilizando la guía del PMBOK, con el cual se logra reducir el tiempo de ejecución en 22,71 %, además el BIM genera una base de datos donde se concentra toda

la información necesaria para realizar el cronograma como el modelo tridimensional para el entendimiento del proyecto, los metrados de cada actividad validados de forma visual y la búsqueda y solución de los problemas en el expediente técnico anticipadamente haciendo que el cronograma sea realista y libre de conflictos.

**Cuarta.-** La visualización de construcción virtual influye positivamente en el entendimiento del cronograma de obra, esta visualización es altamente beneficioso para el proyecto el cual permite conocer de mejor manera la secuencia constructiva. Esto hace que todos los interesados del proyecto conozcan de una manera visual lo que se debe realizar en el tiempo establecido del cronograma.

## **6.2. Recomendaciones**

**Primera.-** Se recomienda la implementación de la tecnología BIM en las entidades públicas y privadas de la región de Tacna en la ejecución de obras de edificaciones, especialmente en la etapa de planificación, para cumplir con los plazos de ejecución de obra programada, optimizar el uso de recursos que se traduzca en menores costos, poner en operación y servicio en forma oportuna, debiendo promover el desarrollo de capacidades del personal en el manejo de la metodología BIM para mejorar el manejo del proyecto en forma tradicional.

**Segunda.-** Antes de realizar la programación y ejecución del proyecto se recomienda la revisión de todo el expediente técnico utilizando herramientas para el modelamiento de información BIM, esto facilitará a todos los involucrados a resolver los problemas antes de la ejecución y así se ejecute la obra libre de problemas, además se recomienda mostrar en modelo tridimensional a todo el personal involucrado en la ejecución del proyecto en especial al personal obrero para que conozcan de forma más dinámica lo que deben realizar.

**Tercera.-** Se recomienda realizar el modelamiento de información de la edificación (BIM) antes de la elaboración del cronograma ya que facilita el entendimiento del proyecto, además el personal logra optimizar recursos y tiempo en la obtención de información para la elaboración del cronograma como los metrados.

**Cuarta.-** Se recomienda realizar la verificación del correcto proceso constructivo que se plantea en el cronograma a través de la visualización de construcción virtual, además este video generado se debe mostrar a todo el personal que interviene en el proyecto ya que facilitara el entendimiento del cronograma y del proyecto en general.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcantara, P. (2013). *Tesis “Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construcción virtual usando tecnologías BIM”*. Lima - Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Apaza, J. (2015). *Aplicación de la metodología BIM para mejorar la gestión de proyectos de edificaciones en Tacna*. Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Artica, P. y Lopez, M. (2013). *Tesis “Aplicación de modelos 4D para la comunicación de la programación durante la construcción de estructuras de concreto armado”*. Lima - Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Autodesk. (2016). *Productos Autodesk*. Recuperado de Naviswork: <http://www.autodesk.com/products/navisworks/features/all>.
- Cerdán, A. (2016). Que es el BIM y sus ventajas. *La metodología BIM la nueva revolución de la ingeniería*, pág. 4-10.
- Cespedes, A. y Mamani, C. (2016). *Modelo de gestión de proyecto aplicando la metodología building information modeling BIM en la planta agroindustrial de Lurín*. Lima: Universidad de San Martín de Porres.
- Charaja, F. (2011). *El MAPIC en la Metodología de Investigación*. Puno: Sagitario impresores.
- EDITECA. (2018). *BIM en latinoamerica*. Recuperado de <https://editeca.com/bim-en-latinoamerica/>
- Eyzaguirre, R. (2015). *Potenciando la capacidad de análisis y comunicación de los proyectos de construcción mediante herramientas virtuales BIM 4D*

- durante la etapa de planificación*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Gonsalves, J. (2016). *BIM en 8 puntos*. Barcelona: Es.BIM.
- Gomez, I. (2013). *Tesis: "Interacción de procesos BIM sobre una vivienda del movimiento moderno la Ville Savoye"*. España: Escola Universitaria de Arquitectura Técnica.
- Hernández , R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- Hernandez, N. (2011). *Tesis: Procedimiento para la coordinación de especialidades en proyectos con plataforma BIM*. Chile: Universidad de Chile.
- Hinojosa, N. y Pinilla, J. (2014). *Tesis: "Razón de costo-efectividad de la implementación de la metodología BIM y la metodología tradicional en la planeación y control de un proyecto de construcción de vivienda en Colombia"*. Bogotá - Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Lledo, P. (2009). *Director profesional de proyectos*. Mendoza: Pablo Lledo.
- Madrid, J. (2013). *Nivel de desarrollo LOD*. España: Atanga.
- Mattos, A. y Valderrama, F. (2014). *Métodos de planificación y control de obras del diagrama de barras al BIM*. Barcelona: Editorial Reverté.
- Mikel, O. (2015). *Introducción al BIM*. Donostia: FRL-ARQ.
- MSIBIM. (2016). *BIM es el presente no el futuro*. Recuperado de <http://www.bimbarcelona.com/bim-es-el-presente-no-el-futuro/>

- Mulcahy, R. (2010). *Preparación para el examen PMP*. Estados Unidos de América: RMC Publications.
- Pico, E. (2008). *Introducción a la tecnología BIM*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Project Management Institute. (2017). *Project management body of knowledge*. Estados Unidos: PMI.
- Quiroz, J. (2018). *Avances de la adopción BIM en el Perú*. Recuperado de Avances de la adopción BIM en el Perú: <http://bimsummit.pe/avances-de-la-adopcion-bim-en-el-peru/>
- Repetto, M. (2003). Administración de proyectos en la construcción parte dos. *Administración de proyectos en la construcción planeación y control de proyectos y obras*, pág. 285.
- Rodríguez, W. y Valdez, D. (2012). *Mejoramiento de la productividad en la construcción de obras con lean construction, trenchless, CYCLONE, EZStrobe, BIM*. Lima - Perú: Editorial Cultura Abierta.
- Saldías, R. (2010). *Tesis: Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM*. Chile: Universidad de Chile.
- SIKA. (2016). BIM para su proyecto. *BIM - buiding information modeling - con Sika*, pág. 1-7.
- Tur, A. (2014). *Tesis: “Desarrollo de un proyecto de construcción con la tecnología Building Information Modeling (BIM). Edificio La Venta (Llíria, Valencia)”*. Valencia - España: Escuela Politécnica de Valencia.

Ulloa, K., y Salinas, J. (2013). *Tesis: “Mejoras en la implementación de BIM en los procesos de diseño y construcción de la empresa Marcan”*. Lima - Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Valdez, A. y Valenzuela, M. (2014). *Tesis: Estudio de viabilidad del uso de la tecnología BIM en un proyecto habitacional en altura*. Santiago - Chile: Universidad de Chile.

Vara, A. (2012). *Siete pasos para una tesis exitosa*. Lima: USMP.