

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) Y LEAN
CONSTRUCTION EL CASO DE UN CENTRO EDUCATIVO EN LA
REGIÓN CUSCO**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES:

Franco Rene Salazar Flores

Manuel Torres Achahuanco

ASESOR:

José Félix Alejandro Benavides Vargas

Lima, Marzo, 2025

Informe de Similitud

Yo, JOSE FELIX ALEJANDRO BENAVIDES VARGAS, docente de la Facultad de Ciencias e ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis/ trabajo de investigación titulado:


Building Information Modeling (BIM) y Lean Construction, el caso de un Centro Educativo en la Región Cusco

De los autores: MANUEL TORRES ACHAHUANCO y FRANCO RENE SALAZAR FLORES

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 14%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 13/03/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 15 de marzo del 2025

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>Benavides Vargas, José Félix Alejandro</u>	
DNI: 10141857	Firma 
ORCID: 0000-0001-7231-6168	

RESUMEN

En los últimos años, en Perú, se ha observado una problemática común en el sector público de la construcción donde los proyectos de infraestructura son vinculados, en su mayoría, a obras de mala calidad, demoras en la ejecución y ampliaciones de presupuestos. Uno de los principales motivos ante esta problemática es la baja eficiencia en la planificación de obra. Por ello, el objetivo del presente trabajo de investigación es analizar la viabilidad de implementar las herramientas *BIM* y herramientas *Lean Construction*, en la etapa de planificación, dentro de la edificación de un centro educativo en el distrito de San Jerónimo en la provincia de Cusco. El trabajo de investigación se concretará con el análisis de deficiencias del expediente técnico y el levantamiento de observaciones con el uso de las herramientas *BIM* y *Lean Construction*, para las especialidades de estructuras, arquitectura e instalaciones sanitarias. Además, la implementación de estas herramientas será comparada con la metodología tradicional durante la etapa de planificación en el flujo de trabajo, tiempo de duración de obra y el costo total directo.

Finalmente, durante la etapa de planificación y, con ayuda de la implementación de las herramientas *BIM* y *Lean Construction*, se analizó que existen incompatibilidades entre las especialidades de estructuras, arquitectura e instalaciones sanitarias; reducción en la duración de ejecución del proyecto en 17 días y un ahorro en el costo directo de S/.32,693.98 (treinta y dos mil seiscientos noventa y tres con 98/100 soles).

AGRADECIMIENTOS

“La educación es el arma más poderosa que podemos utilizar para cambiar el mundo”

En primer lugar, a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino, su luz iluminó mis días de esfuerzo y me dio la perseverancia para alcanzar esta meta.

A mis padres, por su amor incondicional, sus sacrificios y su apoyo inquebrantable.

Gracias por inculcarme valores, enseñarme el sacrificio del esfuerzo y creer en mí incluso en los momentos difíciles. Este logro no es solo mío, sino también de ustedes mis queridos padres.

Con el título en la mano y los sueños en el corazón, brindamos por un futuro lleno de éxitos, este no es solo un título, es el resultado de incontables horas de trabajo, de sacrificios, risas compartidas y desafíos superados. En este día no solo recordemos lo que aprendimos en las aulas, sino también la fuerza que descubrimos dentro de nosotros mismos.

No quiero despedirme sin antes agradecer, a mis profesores, por impartir conocimiento, cultivar la curiosidad y ser faros de orientación en mi camino académicas, y a todas aquellas personas que han sido parte de este hermoso viaje académico y a mi compañero de tesis.

Muchas gracias.

Manuel Torres Achahuanco

Agradezco profundamente a mis padres, a mi hermana y a mi novia, quienes nunca dejaron de creer en mi potencial y me apoyaron incondicionalmente.

Franco Rene Salazar Flores

ÍNDICE

CAPITULO 1. ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Planteamiento del Problema de Investigación	2
1.2.1 Ideas de Investigación.....	2
1.2.2 Preguntas de Investigación	3
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Hipótesis	4
1.5 Justificación	4
1.6 Limitaciones y alcance.....	4
1.7 Metodología	5
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Antecedentes	7
2.2 Problemática actual en el Perú.....	11
CAPITULO 3. METODOLOGÍAS.....	15
3.1 Metodología tradicional y sus problemáticas	15
3.2 <i>Building Information Modeling (BIM)</i>	15
3.2.1 Conceptos <i>BIM</i>	15
3.2.2 Beneficios del <i>BIM</i>	16
3.2.3 Dimensiones del <i>BIM</i>	18
3.2.4 Herramientas <i>BIM</i>	21
3.2.4.1 Revit Autodesk.....	23
3.2.4.2 Navisworks Autodesk	26
3.2.4.3 Delphin Express	26
3.2.5 Interoperabilidad en el <i>BIM</i> – Formato <i>IFC</i>	27
3.2.6 Niveles de Desarrollo de los Elementos <i>BIM (LOD)</i>	28
3.3 Metodología <i>Lean Construction</i>	29
3.3.1 Origen del <i>Lean Construction</i>	29
3.3.2 Conceptos del <i>Lean Construction</i>	30
3.3.3 Principios del <i>Lean Construction</i>	34

3.3.4 Herramientas <i>Lean Construction</i>	38
3.4 Integración de Herramientas <i>BIM</i> y <i>LC</i>	43
CAPITULO 4. CARACTERISTICAS DEL PROYECTO A EVALUAR.....	46
4.1 Descripción del Proyecto	46
4.1.1 Información General del Proyecto	46
4.1.2 Información sobre Planificación del Proyecto.....	47
CAPITULO 5. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN	49
5.1 Elaboración de Modelado	49
5.1.1 Modelado 3D. Revit 2021	50
5.1.1.1 Modelado 3D: Especialidad de Estructura.....	50
5.1.1.2 Modelado 3D: Especialidad de Arquitectura.....	60
5.1.1.3 Modelado 3D: Especialidad de Instalaciones Sanitarias	72
5.1.2 Modelo 4D. Navisworks 2021	74
5.1.2.1 Sectorización y tren de actividades.....	77
5.1.3 Modelo 5D. Delphin 360	82
5.1.3.1 Inconvenientes durante el modelado.....	84
CAPITULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	85
6.1 Resultados	85
6.2 Discusión de Resultados	88
CAPITULO 7. PROPUESTA DE VALOR.....	92
CAPITULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
BIBLIOGRAFÍA	98
ANEXOS.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico de curva de esfuerzo de procesos de diseño Tradicional vs Procesos de diseño con <i>BIM</i>	13
Figura 2. Tiempos de trabajo Pre – <i>Lean Construction</i>	14
Figura 3. Productividad post <i>Lean Construction</i> : Sectorización y tren de actividades	14
Figura 4. Etapas o Dimensiones <i>BIM</i>	19
Figura 5. Grilla de G2 <i>Crowd</i> para <i>software's Building Information Modeling (BIM)</i>	22
Figura 6. Intercambio de información <i>IFC</i>	28
Figura 7. Fuente de Perdidas.....	35
Figura 8. Pasos clave para una correcta sectorización.....	39
Figura 9. Ejemplo de tren de actividades – Colegio Educativo Inicial Suncco (Cusco – Perú)	41
Figura 10. Sectorización y rendimientos por cuadrilla	42
Figura 11. Beneficios específicos de <i>Lean</i> y <i>BIM</i> para los campos de la gestión de proyectos	43
Figura 12. Plano de ubicación del proyecto (anexo 01)	47
Figura 13. Modelo 3D – Estructuras.....	52
Figura 14. Plano de rampa de acceso peatonal de plano de estructura ES11 (anexo 01).....	53
Figura 15. Análisis modelo estructural del proyecto	53
Figura 16. <i>Render</i> de detalle del proyecto (Noreste) – anexo 05	54
Figura 17. Plano de arquitectura (elevación lateral derecha) del plano AR 03 - anexo 01	55
Figura 18. Modelo 3D de especialidad de estructuras del proyecto	55
Figura 19. Detalle de acero positivo y negativo sobre losa aligerada (plano ES05 – anexo 01)	57
Figura 20. Detalle de sección típico de losa aligerada (plano ES05 – anexo 01).....	57
Figura 21. Detalle de vigueta ensanchada sección B-B del (plano ES05 – anexo 01)	58
Figura 22. Detalle de sección típica de losa maciza (plano ES05 – anexo 01)	58
Figura 23. Detalle de planta de losa aligerada de cubierta (plano ES08 – anexo 01).....	59
Figura 24. Detalle de plano en planta de estructuras (plano ES01 – anexo 01)	60
Figura 25. Detalle de sección de columnas y placas (plano ES04 – anexo 01).....	60
Figura 26. Modelo 3D – Arquitectura (Lado Norte)	62

Figura 27. Plano en planta del segundo nivel de la especialidad de arquitectura del E.T (plano AR01 – anexo 01)	64
Figura 28. Modelado 3D de la especialidad de arquitectura en Revit (Suroeste).....	64
Figura 29. <i>Render</i> del detalle arquitectónico obtenido del E.T (anexo 05)	65
Figura 30. Plano lateral lado derecho del proyecto (plano AR03 – anexo 01).....	65
Figura 31. Plano de AR02 corte F-F – anexo 01	66
Figura 32. Metrado de la especialidad de arquitectura – partida de cubierta de policarbonato sobre estructura metálica.....	66
Figura 33. <i>Render</i> de fachada de acceso principal (Lado Sureste) – anexo 05	67
Figura 34. <i>Render</i> proporcionado del E.T, acabado del eje 1-1 (Lado Noroeste)	68
Figura 35. Plano en planta del primer y segundo piso obtenido del E.T (AR01 – anexo 01) ..	68
Figura 36. Modelado 3D especialidad de arquitectura (Lado Noroeste).....	69
Figura 37. Metrados de parapetos de concreto de especialidad de estructuras – anexo 02	69
Figura 38. Modelado 3D fachada principal (Lado Sur).....	70
Figura 39. Modelado 3D fachada principal (Lado Este) – plano AR03 – anexo 01	71
Figura 40. Cuadro de vanos (plano AR01 – anexo 01)	71
Figura 41. Altura de puerta y ventana.....	72
Figura 42. Modelo isométrico 3D - Instalaciones Sanitarias.....	73
Figura 43. Plano IS 02 – anexo 01	74
Figura 44. Modelo 3D (Importación de estructuras, arquitectura e instalaciones sanitarias).75	
Figura 45. Compatibilidad de especialidades en Navisworks Manage	75
Figura 46. Interferencia de tubo de ventilación con viga estructural inclinada y salida hacia zona de iluminación de techo.....	77
Figura 47. Pasos clave para una correcta sectorización.....	79
Figura 48. Rendimientos tradicionales y rendimientos <i>Lean Construction</i> para estructura...80	
Figura 49. Rendimientos tradicionales y rendimientos <i>Lean Construction</i> para arquitectura 81	
Figura 50. Modelo 4D – Estructuras.....	82
Figura 51. Modelo 4D – Arquitectura	82
Figura 52. Lista de insumos (extracción del E.T).....	83
Figura 53. Modelo 3D – Interferencia de Estructuras e Instalaciones.....	85
Figura 54. Modelo 3D – Interferencia de Estructuras e Instalaciones.....	86
Figura 55. Modelo 3D – Interferencia de Estructuras e Instalaciones.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Infraestructura básica y complementaria del proyecto educativo inicial Suncco.....	46
Tabla 2. Costo total y presupuesto del total de la obra (anexo 03).....	47
Tabla 3. Jornada Laboral Sector Construcción.....	77
Tabla 4. Jornada Laboral <i>Lean Construction</i>	78
Tabla 5. Tabla comparativa entre el presupuesto del expediente técnico y el presupuesto <i>BIM</i> a Costo Directo	88



CAPITULO 1. ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción

Palomino et al. (2017) indican que el sector de la construcción está reconocido como una de las más relevantes en el Perú. Para conocer la magnitud de su importancia se utiliza el valor monetario o también llamado Producto Bruto Interno (PBI). Esta unidad de medida permite tener un punto de referencia para analizar el bienestar económico de cada año del Perú (De La Cruz y Parodi, 2013). El sector construcción aportó con un 6% del PBI y generó 6.2% de empleos en el Perú a las personas involucradas directa e indirectamente a este sector (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2022); sin embargo, los proyectos realizados suelen enfrentar problemas a lo largo de las fases de una construcción, desde cronogramas mal elaborados, presupuestos que no se ajustan a la realidad e incompatibilidades entre las especialidades involucradas. Estos obstáculos generan retrasos y costos adicionales al ser imprevistos (Espinoza y Pacheco, 2014). Por ello, la adopción e innovación de nuevas metodologías y herramientas tecnológicas son importantes para reducir estos obstáculos ocurridos en el traspaso de información durante todo el ciclo de vida de un proyecto (Ministerio de Economía y Finanzas, 2021).

Existen metodologías que ayudan a reducir esta problemática, para esta tesis nos enfocaremos en dos: En primer lugar, la metodología *Lean Construction*, esta formaliza, optimiza, simplifica procesos y agrega valor al proyecto; además, el uso de las herramientas de esta filosofía mantiene el flujo continuo de las actividades a través de la sectorización y tren de actividades (Guzmán, 2014). En adición, tenemos las herramientas de la metodología *Building Information Modeling (BIM)*, esta realiza un trabajo en conjunto con todas las partes involucradas en un proyecto, apoyándose fundamentalmente en herramientas digitales, las cuales generan un modelo de trabajo colaborativo para la gestión de información de un proyecto (Gámez, Severino y Márquez, 2014).

Existe una brecha entre el uso de las herramientas *BIM* y la metodología *Lean Construction* durante la planificación de obra (Ortiz, 2017). Por ello, el propósito de esta investigación es potenciar la metodología *Lean Construction* mediante las herramientas 3D, 4D, 5D de la metodología para optimizar procesos, reducir tiempos y costos durante la planificación del estudio de caso de un centro educativo escolar.

1.2 Planteamiento del Problema de Investigación

Una investigación académica consta de etapas para su desarrollo, la principal es el planteamiento del problema. En primer lugar, es necesario delimitar la investigación y enfocarse en un tema en específico, de manera que no se pierda el rumbo. Por tal motivo, se estableció el enfoque de la investigación mediante una serie de preguntas de investigación vinculadas a los objetivos e hipótesis, y finalmente, se estableció la justificación, límites y alcances.

1.2.1 Ideas de Investigación

Las ideas de investigación fueron las siguientes: ¿Por qué la planificación de un proyecto presenta deficiencias a pesar de que han pasado por una revisión para su aprobación?, ¿Por qué las actividades llevadas a cabo durante la ejecución de un proyecto tienen paralizaciones o retrasos?, ¿Por qué no se está implementando el uso de herramientas que optimicen los procesos para la elaboración proyecto?

Estas preguntas surgieron como punto de partida para el inicio de la investigación, fueron delimitadas por expertos, investigaciones académicas y disponibilidad al material de estudio de caso. Para responder esta pregunta se realizó el análisis de un proyecto de infraestructura educativa, edificación esencial, ya que es un proyecto representativo en las regiones del Perú. El caso de estudio se enfocará en la etapa de planificación donde se examinará las deficiencias de un expediente técnico, pues influiría a que una obra tenga retrasos o paralizaciones; y se planteará el uso de herramientas que permitan una planificación eficiente.

Se utiliza un estudio de caso con el objetivo de obtener un análisis cuantitativo de la duración y presupuesto de un proyecto realizado con la metodología tradicional en comparativa con el mismo estudio de caso donde se realizarán la implementación de herramientas *BIM* y *Lean Construction*. Las siguientes preguntas y objetivos permiten direccionar el enfoque de la investigación.

1.2.2 Preguntas de Investigación

A continuación, se presentan las preguntas de investigación.

- i. ¿Qué errores existen en la etapa de planificación de un proyecto?
- ii. ¿Cuál sería el mejor resultado de implementar herramientas *BIM* y *Lean Construction* en la planificación de un proyecto?
- iii. ¿El resultado de la integración de las herramientas *BIM* y *Lean Construction* optimiza la elaboración de un Expediente Técnico?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar la viabilidad de implementar las herramientas *BIM* y herramientas *Lean Construction* dentro de la edificación de un centro educativo

1.3.2 Objetivos específicos

- i. Determinar cuáles fueron los errores durante la etapa de planificación del estudio de caso
- ii. Determinar los beneficios y desventajas del uso de la sectorización en la etapa de planificación respaldada con herramientas *BIM* para las especialidades de arquitectura y estructura del estudio de caso
- iii. Comparar los resultados de la integración de herramientas *BIM* y *Lean Construction* con los del procedimiento empleado, en el caso de estudio, en la etapa de planificación de las especialidades de arquitectura y estructuras

1.4 Hipótesis

- i. Los expedientes técnicos presentan incompatibilidad de planos lo cual repercute en modificaciones del plazo de ejecución y en metrados, por consiguiente, un cambio del presupuesto
- ii. La sectorización y tren de trabajo mejora los procesos, mantiene un flujo continuo y agrega valor económico al proyecto.
- iii. El uso de las herramientas *BIM* y sectorización mejora la calidad, tiempo y costo del proyecto.

1.5 Justificación

La investigación surge a partir de las barreras que enfrentan la elaboración de proyectos en el sector público. El Ministerio de Economía y Finanzas (2020) indica que el 70% de la inversión pública para la provisión de infraestructura en el Perú presenta problemas de interferencias entre los planos de las diferentes especialidades en la etapa de diseño, en específico, por un deficiente expediente técnico de obra. Además, Pons (2014) indica que existen flujos de trabajo discontinuos durante la ejecución de una obra producto de una ineficiente elaboración de planificación del expediente técnico.

Este tema otorga un valor teórico al abarcar la planificación durante el ciclo de vida de un proyecto. Además, se le atribuye una relevancia social porque se busca la manera de optimizar el flujo de trabajo y mejorar la colaboración de todo el equipo involucrado.

De la misma manera, la investigación tendría una implicancia práctica, ya que con la implementación de herramientas *BIM* y *Lean Construction* se reduce esfuerzos en etapas posteriores a la planificación que conlleva mejoras de calidad, tiempo y costo.

1.6 Limitaciones y alcance

Las restricciones que hubo durante el desarrollo de la tesis fueron las siguientes:

La información del proyecto de la obra pública fue extraída del SEACE3.0 – buscador público. Por ello, nos limitamos al uso del expediente técnico inicial en la etapa de planificación y no a los documentos obtenidos durante la ejecución de la obra, los cuales se encuentran más cercanos a la realidad de cómo ha sido ejecutada y valorizada de la obra en sí.

Se hace hincapié que, existe una incertidumbre en cuanto los rendimientos de mano de obra que se podría llevar a cabo en la obra y los reales ejecutados durante el proyecto, esto origina un cronograma maestro diferente durante la planificación y la ejecución de la obra. Entre los principales motivos que pudimos analizar del porqué de estos cambios de rendimientos tenemos: la zona de trabajo, motivación y cambios climáticos.

1.7 Metodología

El trabajo de investigación se concretará con la evaluación de los aspectos insuficientes de un expediente técnico y las herramientas *BIM* y *Lean Construction* que optimizarán una eficiente planificación en el estudio de caso propuesto. El caso de estudio se encuentra ubicada en el Perú, departamento de Cusco, provincia de Cusco y distrito de San Jerónimo. La obra es un proyecto de edificación educativa inicial realizado mediante una inversión pública por la Municipalidad de San Jerónimo. La información fue extraída del Sistema Electrónico de Contrataciones del Estado (SEACE). La recolección de datos más importante obtenida fue: planos de las diferentes especialidades, especificaciones técnicas, metrados, lista de insumos, ACU's, presupuesto y programación general de la obra.

Esta investigación es de tipo experimental aplicada por la simulación mediante *softwares* de las metodologías *BIM* y *Lean Construction* para el análisis de un proyecto, con la finalidad de reducir el costo del proyecto. El diseño de la investigación es de enfoque cuantitativo de corte transversal. Consta de un objetivo general y tres específicos. El nivel de profundidad de las variables del objetivo general y del último objetivo específico son de

carácter correlacional, mientras que los dos primeros objetivos específicos contienen variables con alcance descriptivo.

Según Allen y Shakantu (2016) la metodología con la que trabaja el estado, llamaremos metodología tradicional, se caracteriza por la ausencia de comunicación y coordinación entre los participantes del proyecto, lo que deriva en gran cantidad de trabajo no productivo. Esto ocasiona retrasos en la entrega con presupuestos elevados y proyectos inadecuadamente desarrollados.



CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

En la investigación realizada de Castro y Pajares (2014), titulado “Propuesta e implementación de sectorización y trenes de trabajo para acabados interiores bajo la filosofía *Lean Construction*, en obras de construcción de viviendas masivas”. La investigación fue pública el 11 de diciembre del 2014 y tiene como objetivos comparar la cantidad de días trabajados según el proceso general y en un proceso usando herramientas del *Lean Construction*: la sectorización y tren de trabajo, los investigadores usaron una metodología analítica, ya que recopilaron información del proyecto. Finalmente, los datos de ambas metodologías fueron comparadas para definir si efectivamente se logró un aporte al proyecto.

Los resultados y conclusiones fueron los siguientes: Según la metodología tradicional se estimó 75 días en la partida de pintura, 69 en la partida de parquet, mientras que la metodología *Lean Construction* estimo optimizar a 44 días y 37 en la partida de parquet. Por lo tanto, se aprecia que la propuesta de introducir una metodología *Lean Construction* enfocada en la sectorización y tren de trabajo si mejoran el tiempo de ejecución de los acabados. Esta investigación influye en la nuestra pues da pie a que ante una correcta propuesta se pueden disminuir los tiempos de ejecución de obra.

En la investigación postgrado realizada de Chirinos y Pecho (2019), titulada “Implementación de la metodología *BIM* en la construcción del proyecto multifamiliar Duplo para optimizar el costo establecido”. La investigación fue publicada el 1 de abril del 2019 y tiene como objetivos detectar el 100% de los conflictos entre las disciplinas del proyecto de construcción Duplo y finalmente tratar de reducir el 90% de adicionales del proyecto. Los investigadores usaron una metodología analítica, ya que recopilaron información del proyecto Duplo donde implementaron la metodología *BIM*. Finalmente, se analizaron los datos para observar si efectivamente el *BIM* aportó al proyecto.

Los resultados y conclusiones fueron los siguientes: Se detectó que la mayor parte de las interferencias se encuentran en todos los tipos de instalaciones, el proyecto con ayuda de la metodología *BIM* se evitó un sobre gasto de S/ 355 948.42 soles y el costo de *BIM* fue de S/ 14,000.00. Por lo tanto, se aprecia que el trabajo de investigación sobre la correcta implementación de la metodología *BIM* a un proyecto de construcción demuestra varios beneficios, resaltando el margen de utilidad alto. Esta investigación permite comprobar que la implementación de las herramientas *BIM* agrega valor durante la elaboración de planos de las diferentes especialidades.

En la investigación realizada de Apaza, Silva y Tagle (2021), titulada “Incumplimiento de plazo y costo por la deficiente elaboración de expedientes técnicos, al no utilizar herramientas de la metodología *BIM*, en el sector público de la región Arequipa. Caso de estudio: Construcción de las Escuelas Profesionales de Ciencias de la Computación e Ingeniería de Telecomunicaciones, distrito, provincia y región Arequipa”. Publicada el 13 de octubre del 2021, tiene como objetivo llevar a cabo un expediente técnico eficiente para el cumplimiento de costo y tiempo establecido de obras en el sector público en la construcción de escuelas en la ciudad de Arequipa, mediante herramientas *BIM* (3D), análisis de costo y tiempo.

Los resultados y conclusiones fueron los siguientes: El Expediente Técnico del caso de estudio que fue trabajado en base a la metodología tradicional, tiene imperfecciones, al no encontrar suficiente investigación que sea coherente o básicamente correcta. El uso de la herramienta 3D *BIM* logro reducir en el plan maestro un tiempo 24 días. De los cuales para la partida de pintura se optimizo una reducción de tiempo de 41%, para partida de parquet reducción de tiempo de 46%. Además, se logró dimensionar el número de cuadrillas según el rendimiento real con ayuda de los contratistas, esto con ayuda de herramientas *Lean* que garanticen un flujo continuo y eficiente durante la ejecución del proyecto. Esta investigación

da pie a la nuestra pues intenta vincular las herramientas *BIM* y *Lean Construction* para trabajar en conjunto y generar resultados más óptimos.

En el artículo de Crowther y Ajayi (2021), titulada “Impactos del *BIM* 4D en proyecto de construcción” que fue publicada el 04 de marzo del 2021 tiene como objetivo: Investigar el impacto de emplear herramientas *BIM* 4D en proyectos de construcción. Los investigadores usaron una metodología mixta, ya que recopilaron información por medio de entrevistas y revisión de literatura, posteriormente, también incursionaron en los cuestionarios. Finalmente, los investigadores analizaron mediante análisis temático, análisis de confiabilidad, prueba de Kruskal Wallis.

Los resultados y conclusiones fueron los siguientes: Se pudo observar que los proyectos se beneficiaron enormemente cuando existe una gran vocación y responsabilidad por trabajar por parte de los involucrados. El proyecto se nutre de detalles para que todos puedan observar lo que uno quiere reflejar. Dado que existe una lentitud que si no es correctamente manejada no refleja los beneficios. Este artículo hace hincapié en que la herramienta *BIM* 4D es netamente colaborativa entre todos los actuantes de la obra. Nuestro proyecto de investigación está enfocado en la colaboración para realizar el modelado 3D correctamente y con un tiempo limitado para poder hacer más realista los datos que obtendremos.

En el trabajo de investigación de Farfán y Chavil (2016), titulada “Análisis y evaluación de la implementación de la metodología *BIM* en empresas peruanas”. El objetivo de la investigación es estimar el estado actual de la implementación de la metodología *BIM* en empresas peruanas; para ello, se realizó un análisis de consecuencias que otorgan el uso de esta metodología en los proyectos de construcción y la transformación de la inversión que suscitan.

Las conclusiones y recomendaciones fueron los siguientes:

Se concluyó que muchas empresas tienen miedo al cambio, por ello, la implementación del *BIM* en el Perú no se ha desarrollado lo suficiente, cuando en realidad la implementación del *BIM*, desde lo más básico, ya es rentable. Además, las empresas que implementen la metodología *BIM* identifiquen las necesidades de los proyectos y se apoyen con el uso de herramientas *BIM*. En adición, en la etapa de diseño existen muchas incompatibilidades, el resolver estas reduce hasta un 94% de consultas durante la construcción del casco o estructuras de la edificación, originando así que el staff invierta su tiempo en otros requerimientos más importantes y no en identificar consultas y emitirlas a la supervisión de la obra. Por otro lado, se recomendó no ver al *BIM* solamente como el uso de herramientas tecnológicas, esta es una metodología que realiza la integración de trabajo organizacional con ayuda de herramientas tecnológicas. Además, la implementación de esta debe desarrollarse de manera gradual de manera que no exista un rechazo al cambio sino más bien una transición natural.

En la revista de Amjed y Sawsan (2019), titulada “Los beneficios y desafíos de implementar 5D *BIM* en la industria de la construcción” que fue publicada el 30 de junio del 2020 tiene como objetivo: Distinguir y comprender las dificultades y desafíos en la arquitectura e ingeniería de la construcción de Pakistán y examinar los enfoques para actualizar la metodología *BIM* contrastando con la metodología tradicional.

Los resultados y conclusiones fueron:

El estudio se dio en la etapa inicial del proyecto de Pakistán, la evaluación del *BIM* y su aplicación ayuda a organizar, compartir y supervisar el desarrollo de empresas, mostrando así que el *BIM* es una metodología poderosa para el mejoramiento de la construcción de proyectos. Además, se concluyó que el modelado de información de construcción se está convirtiendo en una manera más óptima e innovadora del diseño y la gestión de proyectos. A mayor utilización de *BIM*, existe una mejor colaboración entre el equipo de un proyecto, lo que conduce a una mejor rentabilidad, costos reducidos, mejor tiempo de gestión y optimiza la

comunicación entre los actores involucradas en el proyecto. Finalmente, la investigación sugiere que *BIM* es una metodología que favorece la industria de la construcción; así mismo, el mayor impedimento para la integración de esta por parte de la *AEC industria nen Lahore*, Pakistán considera que existe una falta de conciencia entre las partes interesadas. Por lo tanto, una solución a esta problemática es presentar los beneficios y mejora del *BIM* a las partes interesadas del sector público para así convencerlos, con la finalidad de que este pueda ser una fuerza impulsora para la implementación *BIM* en el país.

2.2 Problemática actual en el Perú

Debido a que la investigación se enfoca en un estudio de caso elaborado por el sector público, es importante conocer su estado actual. Por ello, El Ministerio de Economía y Finanzas indica que, el panorama del Perú respecto al sector construcción para el año 2024 será el siguiente:

La ministra de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Hania Pérez de Cuéllar, expuso ante la comisión de presupuesto del congreso un presupuesto asignado ascendente a los 4534.8 millones de soles, que serán destinados a proyecto de saneamiento, pistas, veredas y carreteras entre otros. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2023).

Por un lado, Calmet (2018) aborda la problemática en la elaboración y revisión del expediente técnico para contrataciones del estado. En este artículo se indica la elaboración de expedientes técnicos por parte de terceros (proyectista o formuladores). Una vez aprueba el estado el expediente técnico, se lleva a cabo una convocatoria para la selección del ejecutor de la obra o también llamado contratista. Sin embargo, este proceso origina que la elaboración del proyecto sea independiente del ejecutor y no se contemple la situación real de la obra.

El Ministerio y Economía de Finanzas (2020), indica cuales son las deficiencias más comunes a la hora de elaborar un expediente técnico, entre ellas se destacan las siguientes:

- No se tiene conocimiento del terreno donde se va a ejecutar el proyecto.

- Informes de las diferentes especialidades con errores, falta información en la elaboración de estudios.
- Estudios de las diferentes especialidades no cumplen las normas establecidas por el Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Falta de plan estratégico ante algún desastre natural.
- Falta de saneamiento físico legal de los predios.

En adición, Taquire (2019) indica mediante encuestas elaboradas a residentes de obras públicas lo siguiente: El 71% de los encuestados afirman que los principales errores inadvertidos en el Expediente Técnico son la mala elaboración de planos en la etapa de diseño. Además, el 68% de los encuestados indican que la consecuencia de este error se refleja en la ejecución de la obra, trayendo consigo demoras, mala calidad y aumento de costos. Se concluye así que la mala elaboración de un expediente técnico ocasionaría retrasos en las obras tanto públicas como privadas.

Por otro lado, los procesos de ejecución tradicionales de un proyecto también tienen deficiencias ya que se encuentran con una gran incertidumbre de trabajos de flujos no continuos e ineficientes (Pons, 2014).

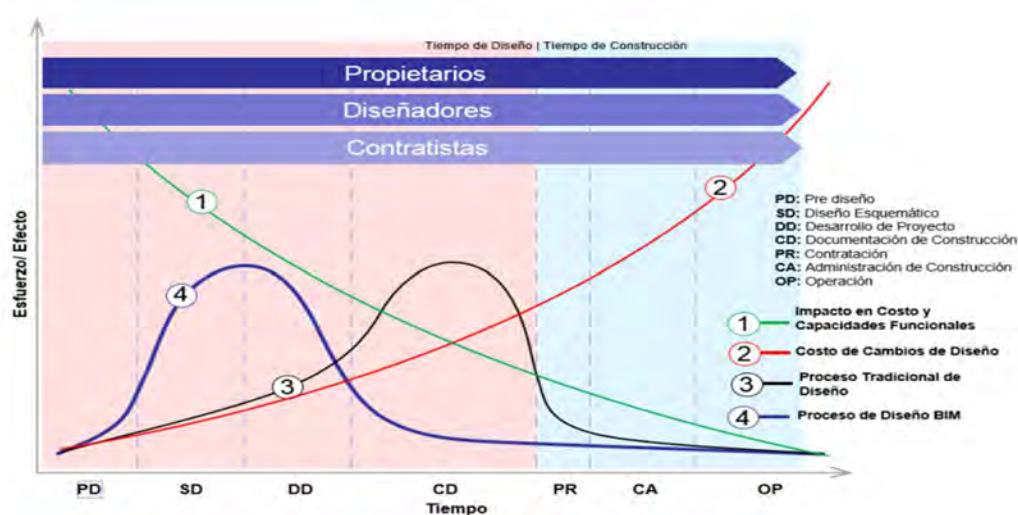
Encalada y Pajares (2014) explican los diferentes factores negativos que afectan la productividad en obra, entre los más importantes están:

- Carencia de control sobre los equipos de trabajo
- Concentración de trabajadores en espacios reducidos
- Relevo de trabajadores sin un orden preestablecido
- Asignación deficiente de cuadrillas de trabajo
- Falta de materiales para la elaboración diaria de cada partida
- Demora en la toma de decisiones
- Escasa formación del personal

- Curva de aprendizaje limitada
- Metas no trazadas

Esta problemática actual podría ser solucionado con la implementación de la metodología *BIM* y *Lean* como explican diversos autores. MacLeamy (2004) explica en la figura 1. Los beneficios de las herramientas *BIM*, reflejada en un mayor esfuerzo entre las partes involucradas en la etapa de diseño de un proyecto. Esto con el objetivo de minimizar esfuerzos que conllevan mayores costos en las etapas posteriores del proyecto.

Figura 1. Gráfico de curva de esfuerzo de procesos de diseño Tradicional vs Procesos de diseño con *BIM*

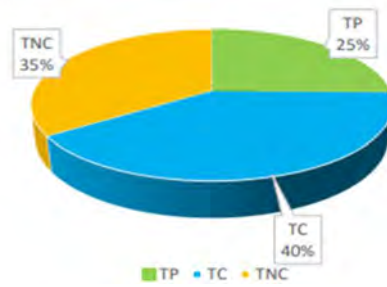


Fuente: Adaptado de MacLeamy (2004)

Gómez et al. (2014) indican que una solución a la problemática es la implementación de las herramientas *BIM* que otorga un trabajo colaborativo entre los involucrados de un proyecto, estos pueden ser: proyectistas, ingenieros, arquitectos, clientes y otros. Para ello, la metodología *BIM* se respalda con el uso de *softwares* que permiten crear, administrar y gestionar datos de información de modelos digitales, generando así información integrada en la que cualquier usuario pueda tener acceso a cualquier etapa de vida del proyecto.

Callata y Paredes (2021) indican en la figura 2 que el trabajo productivo elaborado por la metodología tradicional es de un 25%.

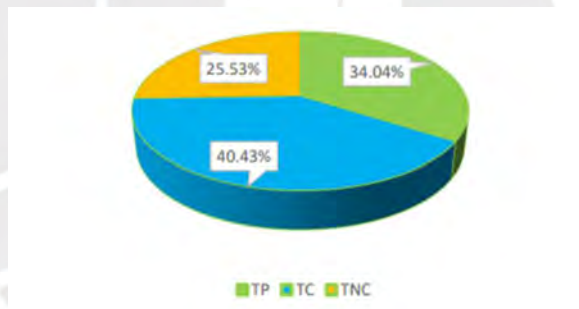
Figura 2. Tiempos de trabajo Pre – *Lean Construction*



Fuente: Callata & Paredes (2021)

Además, Callata y Paredes (2021) indican en la figura 3 que el aumento de productividad con las herramientas de sectorización y tren de actividades de la metodología *Lean Construction* origina un aumento alrededor de 10% del Trabajo Productivo, lo que produce un aumento de flujo continuo y eficiente de trabajo, capaz de disminuir los principales factores expuestos por Encalada y Pajares.

Figura 3. Productividad post *Lean Construction*: Sectorización y tren de actividades



Fuente: Callata y Paredes (2021)

CAPITULO 3. METODOLOGÍAS

3.1 Metodología tradicional y sus problemáticas

Según Allen y Shakantu (2016) la metodología tradicional es un método de construcción que se caracteriza por la carencia de dialogo y organización entre los participantes dando lugar a un trabajo no productivo, proyectos no entregados a tiempo y por encima del presupuesto. Existen varias propuestas de diferentes autores que tratan de resolver los problemas típicos en la construcción mediante las siguientes estrategias: Administración del proyecto, ingeniería de valor y nuevas maneras de organizarse (Ballard y Koskela, 1998.). Sin embargo, a pesar de haber ido mejorando con diversas propuestas la metodología tradicional presenta varios retos a los gerentes de los proyectos como lograr que el cronograma se cumpla, que el costo no se incremente y que la calidad de las partidas no disminuya. En consecuencia, es necesario adaptar metodologías apoyada en normas y herramientas brinden reducir los problemas que ocurren habitualmente (Depool et al., 2006).

Según Gámez et al. (2014), las incompatibilidades de las diferentes especialidades en un proyecto impiden intercambio de información de manera concisa y precisa, este hecho ocasiona problemas en un proyecto.

3.2 *Building Information Modeling (BIM)*

3.2.1 Conceptos *BIM*

En la actualidad hay abundante información de lo que significa *BIM*, definiremos el *BIM*; por ello, la normativa internacional *ISO 19650* (2022) (cuya finalidad es establecer los estándares y guías para la gestión de información), define al *BIM* como: “*El uso de una representación digital compartida (modelo de información) de un activo construido para facilitar los procesos de diseño, construcción y operación, y proporcionar una base confiable para la toma de decisiones*” (p.7).

Una manera de explicar a mayor detalle sobre esta metodología es según González (2014), donde indica que *BIM* significa “*Building Information Modeling*” (modelado de información del edificio) o “*Building Information Management*” (gestión de la información del diseño), por lo que aparece en algunos libros el acrónimo *BIM* (M). Entre lo más importante que se destaca es que *BIM* es un método basado en el uso de un modelo virtual, el cual simula el comportamiento de una edificación como la que lo haría una edificación en la realidad. Para lograr esta respuesta se hace el uso de modelos de programas en un ordenador, estos son aplicados para diseñar, entender y demostrar las características físicas y funcionalidad del edificio durante toda su etapa de vida. El proceso *BIM* crea, agrega e intercambia submodelos 3D (también llamados dimensiones) e informaciones a un modelo principal. En algunos libros e investigaciones el término *BIM* a veces es llamado “*Virtual Design and Construction*” o (construcción y diseños virtuales), debido a que este proceso consiste en diseñar y construir de manera virtual.

González (2014) concluye que el *BIM* es la representación virtual que contiene múltiples dimensiones, otorgando objetos inteligentes, los cuales se juntan en un único archivo que es compartido por todos los involucrados en el proyecto, incrementando así la comunicación y la colaboración. El sector construcción trae consigo problemas de productividad en los últimos años, debido a la pérdida de datos como consecuencia de la falta de comunicación y colaboración entre los involucrados en un proyecto.

3.2.2 Beneficios del *BIM*

Existen múltiples beneficios del *BIM*, entre los más destacados e importante para esta tesis tenemos los siguientes:

Almeida del Savio (2018) indica de forma general que el *BIM* (*Building Information Modeling*) está siendo usado cada vez más en la construcción de nuevas infraestructuras por sus beneficios. La mayoría de la gente que escucha sobre el *BIM* lo asocia a el uso de *softwares*

y modelamientos, pero este abarca mucho más que solo un simple *software*. El modelado de información de construcción (*BIM*), es una metodología de trabajo colaborativo entre los participantes de un proyecto, este trabajo se apoya de modelos digitales que ayudan a la gestión del proyecto durante todo su ciclo de vida. Los modelos digitales agregan información de tiempo, costo, calidad, mantenimiento y operación de un proyecto. Dando así un aumento de la productividad, disminución tiempo y costos.

Por otro lado, existen autores que indican beneficios más puntuales, a continuación, detallaremos dichos beneficios:

Información centralizada: Las diferentes especialidades trabajan en conjunto para realizar un único modelo, esto evita que exista diferentes versiones que ocasione un factor de riesgo. El desarrollo de documentación es de mejor calidad y reduce hasta un 87% los errores de documentos de construcción (Loyola, 2013).

Detección de interferencias e incompatibilidades de diferentes especialidades: Se considera como uno de los principales usos de las herramientas *BIM*. Se trata en detectar conflictos de interferencias entre las diferentes especialidades dentro de un modelamiento unificado esto disminuye costos y mejora la productividad de la construcción. (Eastman et al., 2018).

Comunicación: Existe una mejor comunicación y coordinación entre las diferentes especialidades del proyecto. En adición, el cliente puede obtener la información más relevante del proyecto, lo cual origina una inclusión de este con las demás partes. Además, el acceso y visualización simultánea de información permite que las diferentes especialidades puedan trabajar de diferentes partes del mundo. Por otro lado, es de suma importancia que exista también la comunicación con los trabajadores; para ello, las herramientas *BIM* cuentan con un alto nivel de detalle que da a entender de manera más sencilla a estos lo que se quiere lograr. (Bermúdez y Quintero, 2021).

Planificación de Construcción: El modelo 3D se vincula mediante la parametrización de las partes al modelado 4D, de tal manera que se simula el proceso constructivo y gestión del desarrollo de la obra. Con ayuda de esta herramienta se revela posibles problemas y oportunidades de mejoras, ya sea de gestión de cuadrillas, plan de seguridad, espacios de trabajo, etc. (Saldías, 2010).

Sustentabilidad: La interoperabilidad del modelo *BIM* es capaz de evaluar el consumo de energía a través de un análisis energético con ayuda de las herramientas *BIM*. Gracias a este análisis podemos simular el impacto que conlleva la construcción de una nueva infraestructura, logrando reducir el consumo de energía, agua y luminosidad (González, 2014).

Marketing: Con el uso de las herramientas *BIM* podemos obtener la visualización en 3D del proyecto, esta visualización a detalle pueden ser mostrada al cliente, para un mayor entendimiento del proyecto, las herramientas pueden otorgarle al proyecto un nivel de detalle tan específico como la textura de los materiales a usar y la versatilidad que tiene de visualizar las diferentes especialidades de manera individual y en conjunto, esto otorga a la empresa a cargo de la construcción una atención de futuros posibles clientes (González, 2014).

3.2.3 Dimensiones del *BIM*

Según González y Lesmes (2017) indican qué se requiere una transformación virtual más allá del modelado 3D, la investigación se basa en las 7 dimensiones del *BIM* (idea, boceto, visualización 3D, programación de tiempos, costo, simulación de comportamiento energético y sustentabilidad y gestión del ciclo de vida de un proyecto).

En la figura 4 se muestra un resumen de las 7 dimensiones extraídas de la tesis de Leonardo Mata.

Figura 4. Etapas o Dimensiones *BIM*

2D / 3D	4D	5D	6D	7D
Modelo Espacial (integrated data model)	Tiempo (Scheduling)	Control de Costos y Gastos (Estimating)	Ambiente (Sustainability) Green BIM	Operación y Mantenimiento (FACILITY MANAGEMENT)
Visualización del Proyecto	Programación. Construcción de EDT	Estimación de recursos: materiales, Equipos y Mano de Obra	Sustentabilidad Ambiental	Documentación BIM "As Built": Obra conforme al Proyecto
Documentación Gráfica	Simulación de fases del Proyecto. Control dinámico	Presupuesto de la obra	Análisis de eficiencia Energética	Control Logístico de funcionamiento
Objetos con propiedades	Diseño del Plan de Ejecución	Análisis de rentabilidad: Construcción, Uso y mantenimiento	Análisis LEED (Leadership in Energy & Environmental Design)	Ciclo de vida útil BIM y servicios asociados

Fuente: Mata (2017)

Esta tesis se enfocó en las dimensiones 3D, 4D y 5D, las cuales explicaremos a continuación y el porqué de su uso en esta tesis.

El modelamiento es un diseño donde la información del proyecto se refleja en contenidos de cada fase como planos, costos, tiempos, recursos, volúmenes y calidad en un método de coordinación de todas las especialidades (Delgado, Guere y Menéndez, 2016). Además, los modelamientos logran mantener la integridad del proyecto debido a que las herramientas *BIM* logran almacenar cada pieza de información solo una vez (Sacks et al., 2010). La nueva información de diseño al ser almacenada una vez, permite que no se repita información como ocurre en sistemas tradicionales.

BIM extendió su uso para incorporar el tiempo y costo en modelado 3D, convirtiéndolos en 4D y 5D respectivamente. Estos modelados cuantifican, modifican y extraen datos contenidos para convertirse en fuente primaria de información cuantitativa (Stanley y Thurnell, 2014).

a. Modelamiento 3D

Nechporchuk y Baskova (2021) describieron que la base de los proyectos *BIM* son los modelos 3D. Un modelo 3D es considerado el conjunto de datos gráficos sobre un objeto

presentado en un sistema de coordenadas tridimensional (x, y, z). A diferencia de los modelos *CAD 2D*, *BIM* utiliza elementos paramétricos. La dimensión 3D es una de las más importantes dentro de los proyectos realizados en *BIM*, debido a que permite tener una idea clara y visualización del resultado del trabajo realizado. Además, los participantes del proyecto trabajan en conjunto con la información en 3D y así evitar posibles colisiones de cada área especializada. Adicionalmente, *3D BIM*, permite que los participantes puedan gestionar de una forma más eficaz su colaboración multidisciplinaria en el modelado y análisis de problemas estructurales complejos. Finalmente, se puede acceder a los datos durante la totalidad el ciclo de vida del proyecto y almacenarlos en el modelo de información de construcción: se agrega un nuevo escaneo de valor a los modelos predictivos que permiten la resolución proactiva de problemas.

b. Modelamiento 4D – Tiempo

Nechporchuk y Baskova (2021) describieron que la dimensión 4D se refiere al aspecto temporal del proyecto. El tiempo asociado con los procesos del proyecto *BIM* ayuda a determinar el plazo que llevará completar el proyecto, y cómo evolucionará con el tiempo. La visualización 4D proporciona una ilustración de cómo evolucionará la estructura durante la construcción. Además de planificar las fases y puntos críticos/hitos de la construcción, la logística de suministro e instalación de los productos y componentes de construcción, los riesgos o el uso posterior del edificio, también simula el modelo *BIM* en términos de durabilidad estructural. El uso de la herramienta *4D-BIM*, conduce a un mejor control sobre la detección de conflictos o la complejidad de los cambios que ocurren durante un proyecto de construcción. El modelo *4D BIM* ayuda a proporcionar enfoques para administrar y anticipar la información del estado del sitio, el impacto de los cambios, así como informar a las partes interesadas o advertir sobre posibles amenazas. La integración de *BIM* con modelos de

simulación 3D y 4D brinda beneficios a los participantes en términos de optimización de la planificación, construcción y coordinación del equipo.

c. Modelamiento 5D – Costo

Rahman et al. (2013) indicaron que uno de los aspectos más importantes en los proyectos de construcción es la gestión de costos, puesto que un proyecto es exitoso o no si es rentable. Por lo que, los proyectos de construcción a nivel mundial siempre tratan de evitar los normales sobrecostos que existen. Entonces, se creó una manera de manejar correctamente la gestión de costos en términos de eficiencia, calidad y precisión, es el modelado en 5D.

Vigneault et al., (2020) indicó que esta dimensión consiste en vincular la información de costos del proyecto de construcción al modelo 3D para ir evaluando los costos a través de todo el ciclo de vida del proyecto. Este vínculo dentro de un proyecto *BIM* permite analizar los precios de los componentes y servicios, ayuda a crear cálculos e informes precisos, ayuda a planificar y controlar los costos, el análisis de los impactos en los precios de las variantes del proyecto y la repercusión económica de los cambios en el proyecto. La incorporación del presupuesto en el modelo 4D le permite monitorear los flujos financieros durante la construcción y evaluar dinámicamente varios análisis. La visualización del progreso de las actividades de los participantes del proyecto permite estimar los costos totales asociados con ellos, lo que conduce a una mayor precisión y viabilidad del proyecto. Por lo que, la integración de un modelo 5D a la metodología *BIM* permite a los involucrados de un proyecto mostrar al cliente o los clientes la relación entre las opciones de diseño alternativas y los costos, logrando que la toma de decisiones sea más orgánica y con un mayor dinamismo de las decisiones.

3.2.4 Herramientas *BIM*

Según Chacón y Cuervo (2017) indican que a la gran pluralidad de *softwares* que existen en el mercado se necesita tener un cierto grado de confianza sobre cuál es el *software* más conveniente. La empresa *G2 Crowd* se encarga de gestionar el valor que le otorga un

usuario a ciertos productos en el mercado para que los profesionales tomen una mejor decisión de compra con los conocimientos obtenidos de dicha empresa. Para tener un respaldo de los *softwares* que se utilizó en esta tesis utilizamos los reportes obtenidos en el cual se clasifican los diferentes *softwares* más utilizados.

En la figura 5, se observa en el eje “x” el grado de satisfacción del cliente (basada en revisiones de usuarios) y en el eje “y” la presencia de los *softwares* en el mercado (basado en el impacto social, tamaño de proveedor y cuota de mercado); a continuación, se definirá la clasificación otorgada para los cuatro cuadrantes de la figura 5.

Figura 5. Grilla de G2 Crowd para *software’s Building Information Modeling (BIM)*



Fuente: Chacón y Cuervo (2017)

- A. Los Líderes:** Son altamente valorados por los usuarios entre ellos se destacan: AutoCAD, SketchUp, Revit y ArchiCAD (G2 Growd, 2017).
- B. Alto Rendimiento:** Son altamente valorados por los usuarios, pero aún no han logrado la cuota de participación en el mercado y la escala de los líderes entre ellos está: DataCAD, Vectorworks Architect y Vectorworks *Design* (G2 Growd, 2017).
- C. Competidores:** Tienen existencia en el mercado y recursos considerables pero sus calificaciones respecto a los niveles de satisfacción de los usuarios son bajas y más aún, están debajo del promedio es decir que necesita validar su solución, entre ellos está:

AutoCAD Civil 3D, MicroStation, AutoCAD Architecture, AutoCAD *MEP* y Revit LT (G2 Growd, 2017).

D. Soluciones de Nicho: No tiene presencia en el mercado, pero son valorados positivamente por los usuarios aún falta revisiones por validarlas (G2 Growd, 2017).

3.2.4.1 Revit Autodesk

Autodesk (2022) describió al Revit como una herramienta para el *BIM*, esta herramienta se enfoca mayormente en el modelamiento 3D, unificando las especialidades de ingeniería, arquitectura y construcción en un solo modelamiento, esto con la finalidad de eliminar las incompatibilidades que surgen debido a la ausencia de comunicación entre las involucrados de un proyecto; además, la integración de las partes involucradas genera una mejor administración de las tareas de producción y entrega de materiales a tiempo, esta herramienta desarrolla e implementa normas y flujo de trabajo.

Se usa Revit para lo siguiente:

- Modelamiento en 3D de las diferentes especialidades de manera precisa, fácil y paramétricamente exacta.
- Conforme cambian los proyectos, Revit realiza revisiones constantes de planos, lo cual facilita el trabajo de documentación correspondiente.
- Proporciona a las diferentes disciplinas que forman un proyecto las herramientas y entorno unificado que necesitan.

Para las disciplinas involucradas, Revit cuenta con herramientas específicas para cada una de estas. De acuerdo con el usuario se puede emplear la herramienta adecuada para la disciplina de interés y utilizar un modelamiento unificado con las diferentes partes.

Se tiene 4 disciplinas en Revit que son las siguientes:

- i. Diseño arquitectónico:** Esta herramienta sirve para diseñar, documentar, coordinar, gestionar y entregar proyectos de arquitectura.

Funciones:

- Del diseño a la documentación: Se puede modelar muros, puertas y ventanas a detalle. Generar planos de corte, planta, vistas 2D y 3D, y renderizaciones de forma rápida y precisa.
 - Análisis: En la fase de diseño existe una mejoría en el rendimiento del edificio, esta herramienta supervisa mediante modelos el desempeño del proyecto durante su vida útil; además, realiza cálculos de costos.
 - Visualización: Se puede crear renders fotorrealistas. Además, crea planos en corte y en 3D y panorámicas estéreo, para desarrollar obtener el diseño virtual.
 - Colaboración y coordinación: Se comparte, sincroniza y replica diseños con ingenieros y contratistas en Revit, todo dentro de un entorno de proyecto centralizado.
- ii. Ingeniería estructural:** Esta herramienta sirve para diseñar, detallar, analizar y documentar sistemas estructurales de forma rápida y eficaz.
- Funciones:
- Armadura para concreto: Modela armaduras de acero y concreto detalladas y precisas en 3D.
 - Flujos de trabajo de diseño a detalles: Flujos de trabajo continuo y detallado del acero.
 - Documentación: La documentación creada para el diseño de acero y concreto es precisa y detallada.
 - Análisis: Lleva a cabo análisis estructurales.
- iii. Ingeniería MEP:** Esta herramienta sirve para modelar, analizar y repite el diseño de sistemas en *BIM* para mejorar el rendimiento y la sostenibilidad.
- Funciones:

- **Diseño integrado:** Coordina y comunica el diseño en un único modelo final antes de que comience la construcción para evaluar incompatibilidades.
- **Análisis:** Durante el proceso de diseño realiza simulaciones y percibe interferencias de forma anticipada.
- **Documentación:** Diseña, modela y documenta las instalaciones mecánicas, eléctricas e Hidrosanitarias, incluyendo componentes arquitectónicos y estructurales.
- **Fabricación:** Existe herramientas que automatizan el modelo para la fabricación de instalaciones *MEP*.

iv. Construcción: Esta herramienta sirve para todas las etapas por las que transcurre un proyecto, es decir, desde la fase de diseño hasta la entrega y el mantenimiento de este.

Funciones:

- **Toma decisiones mejor fundamentadas:** Toma decisiones antes de la planificación y ejecución, utilizando modelos 3D.
- **Conecta el diseño con los detalles:** Mejora la conexión del diseño estructural con los detalles, disminuye tiempo de instalación del acero en obra.
- **Preparación para la fabricación:** Ingresa información muy específica de los materiales en los modelos de Revit, información más entendible y clara que pueda ser pasada de del diseño, fabricación e instalación.
- **Optimización de la comunicación:** Los modelos de Revit se emplean para coordinar diferentes sectores en la obra, identificar conflictos, planificar cada etapa, aumentar la eficiencia entre los equipos de oficina y sobre el terreno, asegurar la eficacia y controlar la calidad.

3.2.4.2 Navisworks Autodesk

Autodesk (2022) describió al Navisworks como el uso para la revisión y coordinación, con el fin de mejorar la entrega de proyectos de *BIM*.

Funciones:

- Navisworks se encarga de unificar la información de diseño y construcción en un único modelo.
- Se encarga de identificar y resolver incompatibilidades antes del inicio de construcción de un proyecto, esto permite una mayor fluidez de tareas en la obra.
- Mejora la colaboración y comunicación de los integrantes del proyecto.

3.2.4.3 Delphin Express

Según Delphin Express *BIM 360* (2022) el programa se vinculará tanto a los programas de Revit (3D) y Navisworks (4D) de tal manera que se pueda visualizar el modelo 3D dentro del programa y realizar las siguientes funciones.

i. Elaboración de presupuesto:

El programa permite las opciones de poder cargar y posteriormente organizar, visualizar y manejar de manera más sencilla y rápida la información del proyecto. Delphin Express permite realizar presupuestos y metrados de cada partida y cargar sus especificaciones técnicas, realizar un diagrama Gantt.

ii. Cuaderno de obra digital:

La opción cuaderno de obra permite registrar los asientos diariamente, además se podrán anexar documentos asociados a la obra

iii. Control y seguimiento de obra:

El modelado 5D consiste de un trabajo colaborativo en equipo. Se deben asignar cargos para el correcto seguimiento de obra. Una vez hecho esto se pueden realizar

requerimientos de insumos, pagos, control diario de equipos, mano de obra, materiales, etc.

iv. Delphin office:

El programa usa una interfaz parecida a Microsoft Word para poder crear, editar y guardar documentos usando solo Delphin Express

v. Reportes:

El programa permite a un usuario experimentado crear reportes de informes

vi. BIM (Metric):

El programa permite importar un modelo 3D y 4D, con la finalidad de poder manipular los parámetros metricos de dichos modelos.

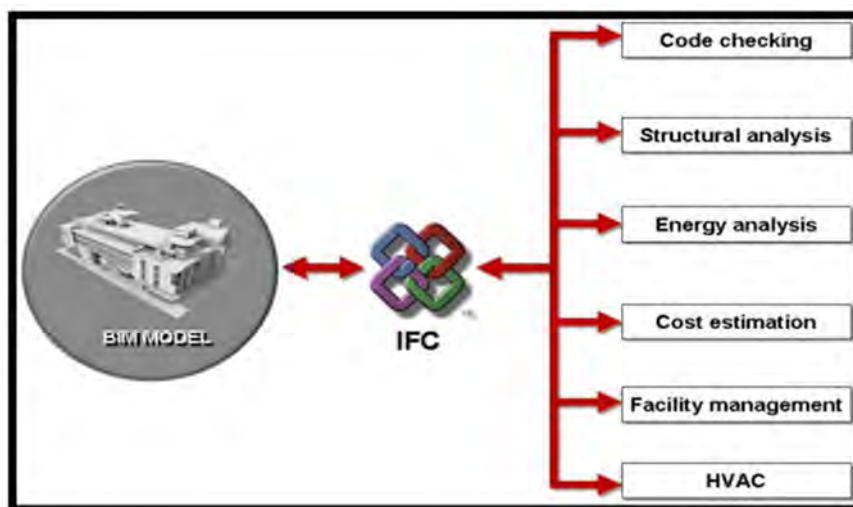
3.2.5 Interoperabilidad en el BIM – Formato IFC

La metodología *BIM* y la aplicación de modelos digitales integrados representan un avance con buena dirección para reducir costos provenientes de una incorrecta interoperabilidad de datos (Gámez et al., 2015).

El *Institute Of Electrical And Electronics Engineers* (IEEE), (1990) puntualiza a la interoperabilidad como: “*La habilidad de dos o más sistemas o componentes para intercambiar información y utilizar la información intercambiada*”

Según Chacón y Cuervo (2017) definen al Formato *IFC* (*Information Foundation Clases*), por sus siglas en inglés, es un formato de datos de especificación abierta desarrollado por el IAI (*International Alliance for Interoperability*), cuyo propósito es de convertirse en un estándar que facilite la interoperabilidad entre los programas usados por la metodología *BIM*. Gracias a este formato se puede facilitar el traslado de información entre diferentes *softwares BIM*, ver figura 6.

Figura 6. Intercambio de información *IFC*



Fuente: Chacón y Cuervo (2022)

3.2.6 Niveles de Desarrollo de los Elementos *BIM* (*LOD*)

Nechporchuk y Baskova (2021) indican que; *Level Of Detail (LOD)* originó en Estados Unidos en *VicoSoftwares*. El (AIA) Instituto Americano De Arquitectos, lo rebautizó como Nivel De Desarrollo (*LOD*), los cuales son: (niveles: *LOD 100*, *LOD 200*, *LOD 300*, *LOD 350*, *LOD 400*, *LOD 500*). Estos niveles describen el detalle tanto gráfico como informativo del modelo, entonces el *LOD* muestra la precisión y el detalle con qué se elaboran los datos proporcionados de un proyecto de manera virtual. A continuación, explicaremos en que se caracteriza cada uno de estos niveles:

a. *LOD 100*:

Es el comienzo de un proyecto de manera básica. Los elementos del modelo se representan gráficamente con un símbolo u otra representación genérica y/o referencial, como por ejemplo una figura en 2D o un volumen simple. Generalmente esta información sirve para indicar la presencia de un componente, pero no su forma, tamaño o ubicación exacta. El intercambio de estos datos se hace en papel o en medios electrónicos.

b. LOD 200:

Los componentes del modelo se muestran es un sistema se representa como un objeto o conjunto genérico, con cantidades, forma, tamaño, ubicación y orientación aproximados, como, por ejemplo, un volumen. La información obtenida es aproximada. A partir de este punto el modelo de masa conceptual y sus datos se podrán transformar en un modelo en el que se pueda crear documentos de construcción. Esta etapa requiere una coordinación preliminar de alto nivel.

c. LOD 300:

En esta etapa del proyecto virtual comienza a parecerse mucho a la realidad. En este nivel de detalle ya se puede comparar con la documentación de construcción. Los componentes se muestran gráficamente en el modelo como un sistema u objetos específicos. Los elementos específicos del modelo tienen las características del tamaño, ubicación, número y relaciones. La información propia de los elementos que no es gráfica también puede ser adjuntada al modelo general.

3.3 Metodología *Lean Construction*

3.3.1 Origen del *Lean Construction*

El origen del *Lean* data en la década de 1950 por primera vez en Japón, creado para el mejoramiento del sistema de producción de *Toyota* (*Toyota Production System*, TPS). Este sistema de producción consistía en eliminar desperdicios e inventarios mediante la producción de lotes pequeños, tiempos de trabajos menores con el uso de tecnología y en cooperación con los proveedores (Koskela, 1992).

En los años 1990 la filosofía de producción *Lean* adopta varios nombres diferentes tales como: fabricación de alto nivel, producción ajustada o nuevo sistema de producción. Esta filosofía es aplicada en las principales empresas manufactureras de América y Europa. Se extiende a nuevos campos tales como la producción personalizada, los servicios, la

administración y el desarrollo de productos. Mientras tanto en Japón se empieza la mejora de la filosofía *Lean*, añadiendo herramientas para aumentar la filosofía como el despliegue de la función de calidad (QFD), método Taguchi, el diseño para la fabricación, etc. (Koskela, 1992).

3.3.2 Conceptos del *Lean Construction*

Lean Construction Institute (2022) fija al *Lean* como: “Un proceso de producción, centrado en maximizar valor para los clientes mediante la eliminación desperdicios y garantizando que las actividades que generan valor se han completado con eficiencia, lo que resulta en un mejor desempeño en calidad, tiempo, costo del proyecto / producto / entregable”.

La aspiración de la metodología *Lean Construction* en la construcción según el *LCI* es:

- Generar valor a todos los involucrados en un proyecto
- Producir proyectos a tiempo y dentro del presupuesto establecido
- Eliminar desperdicios y aumentar la productividad
- Establecer un ambiente de trabajo seguro y colaborativo

La filosofía *Lean* es un cambio en la mentalidad de mejora continua de procesos. Generalmente se denomina mejora de procesos *Lean*, esto se traduce a una evolución continua de procesos que conllevan a una mayor generación de valor (*Lean Construction Institute*, 2022).

La filosofía *Lean* implica también una línea continua de comunicación dentro y fuera de equipos específicos. Los responsables de cada equipo deben comunicarse con los integrantes de su equipo y también con equipos involucrados en el proyecto (*Lean Construction Institute*, 2022).

Koskela (1992) determina y describe los principios del diseño de la filosofía *Lean Construction*; a continuación, explicaremos un poco de estos:

a) Minimizar actividades sin valor agregado:

Según Koskela (1992), define tres causas fundamentales de actividades que no agregan valor: El diseño, la ignorancia y la naturaleza inherente de la producción.

Las tareas innecesarias por diseño, suelen presentarse en estructuras organizacionales. Generalmente se da cuando una tarea se divide en dos subtareas ejecutadas por diferentes especialistas, esto ocasiona actividades que no agrega un valor tales como: inspeccionar, mover y esperar. Por ello que el método tradicional contribuye a este problema por el diseño jerárquico en el que está enfocado.

Ignorancia es otra actividad que no genera valor, especialmente en un ámbito administrativo de producción, los procesos no han sido diseñados de manera ordenada. La cantidad de actividades sin valor agregado no puede cuantificarse, lo que dificulta su eliminación.

La naturaleza inherente de la producción se caracteriza porque es imposible eliminarlas por completo. Entre ellas destacan el trabajo para moverse de un lado a otro, esto ocasiona actividades sin valor agregado pero que son necesarias. Además, pueden surgir defectos o accidentes que escapa de las metas trazadas

b) Incrementar el valor del producto

Según Koskela (1992) en los métodos convencionales se acostumbra a restar importancia a los requisitos del cliente. En principio se enfoca en minimizar los costos en cada etapa, esto ocasiona que no exista una buena optimización de flujos interfuncionales en la organización.

El enfoque de la filosofía *Lean* se basa en un diseño de flujo estructurado, identificando a los clientes de cada etapa analizando sus necesidades. Para cada actividad hay dos tipos de clientes: las actividades siguientes y el cliente final.

c) Reducir la variabilidad

Los procesos de producción son variables y los recursos para producir cualquier tipo de producto varía en (tiempo, materia prima, mano de obra), aunque sea el mismo producto. (Koskela, 1992)

Según Koskela (1992) indica que para disminuir la variabilidad del proceso es necesario adoptar una perspectiva centrada del cliente, donde el producto es uniforme y cualquier variación de un valor objetivo provoca pérdidas en este. Por otro lado, la irregularidad de la duración de la actividad aumenta el volumen de actividades sin valor agregado; para ello, el enfoque en esta filosofía es disminuir estas variabilidades. En esencia se busca medirlas y luego encontrar la manera de eliminarla mediante la implementación y procedimientos *Lean*.

d) Reducir el tiempo de ciclo

Según Koskela (1992) el tiempo es una métrica más importante que el costo y la calidad porque puede usarse para impulsar mejoras en ambos. El tiempo de ciclo se puede representar de la siguiente manera:

Tiempo de ciclo = tiempo de operación + tiempo de control + tiempo de espera + tiempo de movimiento

El fundamento de la filosofía *Lean* es disminuir el tiempo de ciclo lo cual obliga a reducir el tiempo de inspección, movimiento y espera.

e) Simplificar los procesos

Según Koskela (1992) se puede entender como:

- Reducción del número de componentes de un producto.
- Producción del número de pasos en material o flujo de información

Para simplificar los procesos se puede lograr eliminando actividades que no agregan valor del proceso de producción y, por otro, lado reconfigurando partes o pasos que agregan valor.

f) Aumentar la flexibilidad de salida

Aunque parezca contradictorio con la simplificación de procesos, empresas que han logrado alcanzar ambos objetivos. Algunos de los elementos claves son la transparencia y la comprensión del tiempo de ciclo (Koskela, 1992).

g) Incrementar la transparencia de los procesos

Según Koskela (1992), la opacidad puede generar propensión a errores, dificultar la detección de fallos y reducir la motivación para la mejora. Por ello, el objetivo es que el proceso de producción sea transparente y observable para tener una facilidad de control y mejora, es decir, hacer que el flujo principal sea visible y comprensible para todos los empleados. Se logra haciendo que el proceso sea directamente observable a través de medios organizacionales o físicos, exhibición pública de información y mediciones.

h) Centrar el control en el proceso completo

Según Koskela (1992) hay dos causas del control de flujo segmentado en la metodología tradicional: El flujo que traspasa diferentes unidades en una organización jerárquica o que cruzan una frontera organizacional. En estos casos existe un riesgo de optimización.

Para centrar el control de procesos completos. En primer lugar, se debe medir. En segundo lugar, capaz de controlar todo el proceso.

i) Mejora continua

Según Koskela (1992) hay varios métodos necesarios para institucionalizar la mejora continua, entre ellos están los siguientes:

- Medición y seguimiento de la mejora.
- Eliminar inventario o reducción de tiempo de ciclo.
- Responsabilidad de mejora a todos los empleados, de tal manera que se les debe exigir y recompensar.
- Utiliza procedimientos estándar para mejores prácticas.
- Vinculación de la mejora de control.

j) Referenciar a los procesos (benchmarking)

Según Koskela (1992) se tiene que encontrar procesos de clase mundial de tal manera que exista una evaluación comparativa con empresas líderes en el mercado. Para ello, se hace el uso de la metodología Benchmarking, que consiste en mejorar la productividad y eficiencia mediante la comparación de procesos, productos, servicios y formas de trabajo con otras organizaciones, para así ser más competitivos en el mercado.

3.3.3 Principios del *Lean Construction*

Según Alarcón y Salvatierra (2017) es necesario familiarizarse con algunos conceptos básicos, entre ellos tenemos:

a. Partida crítica:

Es una actividad con alta incidencia de costo plazo y calidad esta forma parte de la secuencia crítica en el programa del proyecto.

b. Fuente de pérdida:

Son recursos innecesarios para el cliente o usuario final.

La fuente de perdida puede dividirse en las siguientes categorías:

Figura 7. Fuente de Pérdidas



Fuente: Alarcón y Salvatierra (2017)

En la figura 7 podemos observar las siguientes categorías:

- Gestión de uso de recursos
- Gestión de información
- Gestión de administración: Maquinarias y equipos, materiales y mano de obra

c. Trabajo Productivo (TP):

Actividades por las que el cliente está dispuesto a pagar, se caracteriza por que agregan valor.

d. Trabajo Contributorio (TC):

Actividades que no agregan valor pero que son necesarias, estas sirven de apoyo a los trabajos productivos. Se busca minimizarlas por el hecho de ser consideradas como pérdidas.

e. Trabajo no Contributorio o no productivo (TNC):

Actividades por las que el cliente no justifica un costo, se caracteriza por que no agregan valor, aumentando el coste. Se busca eliminarlas por el hecho de ser consideradas como pérdidas.

Esta tesis se enfoca en el sector construcción por lo que el *Lean Construction Institute* (LCI) prefiere enfocarse a seis principios que son los siguientes:

i. Respeto por las personas

Para cualquier proceso de producción en la filosofía *Lean Construction*, es de suma relevancia el respeto por las personas tanto por los clientes como por los miembros del equipo. Un proyecto utilizando la filosofía *Lean Construction* debe tener como base la confianza entre todos los involucrados, de no ser así el proyecto está destinado a fallar (*Lean Construction Institute, 2022*)

ii. Optimizar el Todo

En el sector de la construcción, las empresas y organizaciones se enfocan en la parte individual más que en la grupal, generalmente en el beneficio propio. En la filosofía *Lean Construction* se busca producir el mejor resultado general en lugar de resultados individuales. Los contratos *Lean* incluyen cláusulas para dividir las ganancias entre todos los facilitadores un proyecto que se entrega con la ayuda de herramientas *Lean* a tiempo y dentro del presupuesto (*Lean Construction Institute, 2022*).

iii. Eliminación de Residuos

La filosofía *Lean Construction* tiene como objetivo adquirir un hábito de buscar y reducir el desperdicio de los procesos habituales (*Lean Construction Institute, 2022*).

Según Alarcón & Salvatierra (2017) existen 9 tipos de pérdidas o actividades que no generan valor, estas son:

- **Espera:**

Se define a las interrupciones de trabajo o tiempos en dónde no hay una actividad que agregue valor al proyecto.

- **Defectos:**

Son actividades que no han sido bien elaboradas por lo que requiere retrabajo.

- **Movimiento:**

Son aquellos desplazamientos innecesarios de la maquinaria o del personal durante la ejecución de un trabajo en específico.

- **Transporte:**

Se produce por desplazamientos innecesarios del personal, equipos o materiales entre procesos.

- **Sobre procesamiento:**

Son actividades que aumentan el costo y tiempo de producción generando producir más de lo necesario más rápido de lo que necesita o antes de que se necesite. Estos pueden incluir trabajos administrativos, así como actividades físicas.

- **Inventario:**

Son desperdicios que pueden ser por el exceso de pedidos durante el proceso de ejecución de una tarea (sobreproducción), retrasos en la producción, actividad terminada con un propósito no especificado, defectos en el inventario, transporte excesivo y no optimizado según el inventario a usar.

- **Talento:**

Es cuando hay una mala gestión de personas donde no se esté utilizando todo el potencial del personal a trabajar en ciertas actividades específicas. El staff involucrado trabaja de manera independiente, por lo existe una pérdida de tiempo, ideas, mejoras y desperdicio de oportunidades de. Las causas comunes de estas suelen ser: asignar empleados a tareas en las que no están capacitados (administración deficiente).

- **Sobreproducción:**

Son actividades realizadas sin ser necesarias.

- **Hacer por hacer:**

Deficiencia en la formación y motivación del personal, lo que conduce a la improvisación y limita la mejora continua.

- iv. **Centrarse en el proceso y el flujo**

Lean Construction Institute (2022) define al flujo como el trabajo que puede realizar cada individuo y cada equipo sin problemas y obstáculos para el trabajo de otros. Un componente importante del *Lean* es la reducción de tiempos de espera y eliminar las restricciones. Sí existe una mejor comunicación y confianza entre las partes involucradas de un proyecto, habrá una mejora de flujo, trayendo consigo una productividad mayor.

- v. **Generación de Valor**

Lean Construction Institute (2022) define al valor como el opuesto al desperdicio, es de suma importancia identificar la propuesta de valor del proyecto y adaptar procesos que generan valor a este.

- vi. **Mejora Continua**

Lean Construction Institute (2022) define a la mejora continua como la implementación de métodos *Lean Construction* para la mejora de flujo generar más valor y eliminar el desperdicio del proyecto. A menudo los métodos *Lean* utilizan procesos *PDCA*, este se caracteriza por planificar el proceso que se va a utilizar, implementar el proceso, verificar dónde puedo mejorar este proceso y tomar medidas en consecuencia para optimizar los resultados finales.

3.3.4 Herramientas *Lean Construction*

Según Gómez (2019) existen muchas herramientas en la filosofía de *Lean Construction*, para esta tesis nos enfocamos en la siguiente:

i. First Run Studies (FRS)

Gómez (2019) define a esta herramienta como la mejor opción durante la planificación de un proyecto a través de métodos medios secuenciación comete se. El *FRS* se basa en el ciclo *PDCA* “*Plan-Do-Check-Act*”, lo que busca una mejora continua, poner mejores cambios y medir los resultados y ajustarlos de ser necesario. Este tipo de herramientas son de naturaleza iterativa y de mejora constante, entre ellos están los siguientes:

a) Sectorización

Según Gómez (2019) la sectorización es una herramienta que divide al área total de trabajo en pequeños sectores homogéneos, para ello, esta herramienta utiliza el metrado total, y divide entre el número de sectores para obtener un metrado homogéneo por lote. Finalmente, esta herramienta proporciona un mejor control de avances de obra, maximiza la capacidad de sistema productivo y asegura flujos continuos y procesos eficientes. Para obtener resultados óptimos y aprovechar al máximo de esta herramienta se toma en cuenta el proceso iterativo de la figura 8.

Figura 8. Pasos clave para una correcta sectorización



Fuente: Brioso (2023)

- **Medrado de actividades:**

Una vez obtenido los metrados de todas las especialidades involucradas del proyecto. Se ordena estos por proceso por piso y por elemento. Posterior a ello deberá convertirse los metrados a horas hombre según la ratio horas hombre obtenido de los análisis de precios unitarios (Gómez, 2019).

- **Proponer número de sectores tentativo:**

Deberá dividirse el número de sectores propuestos entre el total de metrado por partida, se busca así una proporción igual o parecida entre elementos verticales y horizontales para todos los sectores (Gómez, 2019).

- **Calcular metrado promedio que tendrá cada sector:**

Una vez balanceado los elementos estructurales verticales y horizontales, se debe obtener el metrado similar por sector de cada actividad (Gómez, 2019).

- **Análisis de limitantes:**

Es necesario recalcar un punto clave a la hora de calcular el número de sectores en un proyecto, estas son las limitantes que aparecen en el proyecto, debido a que se tiene una productividad diaria máxima de una actividad en específico, esto se debe a limitantes de productividad de equipos o maquinarias a usar (Benavides, 2021). Por ello, es necesario analizarlas, ya que en base a ellas se podrá realizar una sectorización óptima.

Finalmente, si cumple con las limitantes se obtiene una propuesta de número de sector, de no ser así, se tendrá que volver a proponer otro número de sectores tentativo hasta cumplir las limitantes.

b) Tren de actividades

Gómez (2019) indica que esta herramienta tiene como soporte el proceso de las líneas de producción, donde el producto pasa por diferentes periodos, transformándose y agregando valor en cada uno de ellos. En el sector construcción este mismo trabajo se da en las cuadrillas,

dónde irán avanzando en los sectores definidos, de manera repetitiva. El uso correcto de esta herramienta aumenta la productividad y la curva de aprendizaje. Cada cuadrilla puede perfeccionarse en un único trabajo; además, su distribución equitativa y avance continuo facilita el control del avance de obra. Para obtener resultados óptimos y aprovechar al máximo de esta herramienta se tiene las siguientes consideraciones:

- **Enlistar y secuenciar las actividades:**

Enlistar las actividades de tal manera que estén secuenciadas unas de otras de manera ordenada (Benavides, 2021).

- **Ingresar los metrados al tren de trabajo:**

Con el uso de la sectorización y el metrado de las actividades a realizar en el tren de actividades, se ubica cada “vagón” en la posición respectiva (Gómez, 2019).

Figura 9. Ejemplo de tren de actividades – Colegio Educativo Inicial Suncco (Cusco – Perú)

ACTIVIDADES	SEMANA 1					SEMANA 2				
	LU	MA	MI	JU	VI	LU	MA	MI	JU	VI
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Acero en zapatas	S1P1	S1P1	S2P1	S2P1	S3P1	S3P1	S3P1			
Encofrado de zapatas		S1P1		S2P1	S2P2		S3P1			
Concreto en zapatas			S1P1		S2P1			S3P1		
Acero en vigas de conexión			S1P1	S1P1	S1P1	S2P1	S2P1	S2P1	S3P1	S3P1
Encofrado en vigas de conexión				S1P1	S1P1	S1P1	S2P1	S2P1	S2P1	S3P1
Concreto en vigas de conexión							S1P1			S2P1
Acero en Columnas	S1P1	S1P1	S2P1	S2P1	S3P1	S3P1	S3P1			
Encofrado Columnas								S1P1	S1P1	S1P1
Concreto Columnas										
Acero en Vigas										
Encofrado vigas										
Concreto vigas										
Acero en Losa aligeradas										
Encofrado Losa aligeradas										
Concreto Losa aligeradas										

Fuente: Propia

- **Dimensionamiento de cuadrillas mediante el circuito fiel:**

Con ayuda de la sectorización y el metrado de cada sector, se puede considerar el número de cuadrillas necesarias para ejecutar una actividad, este rendimiento puede ser igual o mayor al planificado en el expediente técnico. La ventaja del uso de esta herramienta es de

poder comparar tanto tiempo como costos planificados y ver cuánto de ahorro se obtuvo de estos, optimizando la cantidad de HH empleadas para cada actividad (Gómez, 2019).

Figura 10. Sectorización y rendimientos por cuadrilla

Obra:	Construcción de las Areas Administrativas de la Gerencia Regional de Salud								
Fecha de elaboración:	Nov-16								
Costo HH prom:	S/. 10.44								
Actividad:	Encofrado de muros								
Descripcion	Unidad	Dia							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Sector		SECTOR 1-1	SECTOR 1-2	SECTOR 1-3	SECTOR 1-4	SECTOR 2-1	SECTOR 2-2	SECTOR 2-3	SECTOR 2-4
Metrado	m2	48	45	46	45	48	45	46	45
# Personas	und	4	4	4	4	4	4	4	4
RENDIMIENTO Propuesto	HH/m2	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Duracion calculada	Horas	10.80	10.13	10.35	10.13	10.80	10.13	10.35	10.13
RENDIMIENTO presupuesto	HH/m2	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Duracion presupuesto	Horas	11.40	10.69	10.93	10.69	11.40	10.69	10.93	10.69
A/P del dia	Horas	2.40	2.25	2.30	2.25	2.40	2.25	2.30	2.25
A/P acumulado	Horas	2.40	4.65	6.95	9.20	11.60	13.85	16.15	18.40
A/P Del dia (s/.)	s/.	S/. 25.06	S/. 23.49	S/. 24.01	S/. 23.49	S/. 25.06	S/. 23.49	S/. 24.01	S/. 23.49
A/P acumulado (s/.)	s/.	S/. 25.06	S/. 48.55	S/. 72.56	S/. 96.05	S/. 121.10	S/. 144.59	S/. 168.61	S/. 192.10
Ahorro total:						S/. 192.10			

Fuente: Gómez (2019).

- **Elegir la partida a ser dimensionada**

Para obtener los datos de la partida dimensionada es necesario calcular los Análisis de Costos Unitarios (ACU's), una vez obtenidos los ACU'S se debe elegir la partida que se quiere optimizar, para luego estimar el costo de mano de obra de esta (Gómez, 2019).

- **Definir metrados de cada sector y la cuadrilla**

Con ayuda de las herramientas anteriores se puede definir los metrados de cada sector y de cada cuadrilla, para así obtener el rendimiento propuesto y la duración de cada actividad (Gómez, 2019).

- **Realizar la comparación con el rendimiento planificado**

Se realiza una comparación del rendimiento planificado en el expediente técnico con el calculado para realizar la totalidad de actividades de cada sector, utilizando el rendimiento y número de obreros propuestos líneas arriba (Gómez, 2019).

3.4 Integración de Herramientas *BIM* y *LC*

Según Eroshkin, Kallaur y Papikian (2016), con base en los resultados de la investigación, indican que seguir los principios *Lean Construction* y utilizar *BIM* brinda los siguientes beneficios específicos para los campos de gestión de proyectos.

Figura 11. Beneficios específicos de *Lean* y *BIM* para los campos de la gestión de proyectos

Gestión de calidad y alcance del proyecto	Centrarse en el valor para el cliente desde el fin hasta el fin del proyecto
Gestión del tiempo del proyecto	Secuenciación sencilla y predecible
Gestión de costos del proyecto	Reducir costos innecesarios
Parte interesada del proyecto	Aumentar el valor para los clientes
Gestión de riesgos del proyecto	Valoración visual rápida de cambios y alternativas que permite una reacción rápida ante situaciones de riesgo
Gestión de comunicaciones del proyecto	Mejorar el flujo de información y la comunicación entre los socios del proyecto y la cadena de suministro, los miembros y gerentes del equipo del proyecto
Gestión de recursos humanos del proyecto	Flujo estandarizado y controlado de los miembros del equipo del proyecto.
	Menos estrés y trabajo fluido del equipo del proyecto
Gestión de adquisición del proyecto	Permitir el suministro de materiales justo a tiempo
	Secuenciación de materiales sencilla y predecible

Fuente: Eroshkin, Kallaur y Papikian (2016)

Eroshkin, Kallaur y Papikian (2016) indican que los procesos *Lean* facilitan la implementación de *BIM*. *Lean* se caracteriza, por un lado, por la previsibilidad y la disciplina, y por otro, por la colaboración, el aprendizaje y la experimentación. Todas estas características son muy valiosas en la implementación de *BIM*. Por lo tanto, la implementación de *BIM* no debe pensarse, presentarse ni organizarse como una iniciativa independiente: todas las eficiencias inherentes a *BIM* difícilmente pueden aprovecharse sin incorporar el modelado dentro de un entorno *Lean Construction*. Por el contrario, en empresas y proyectos con una implementación madura de la construcción *Lean*, *BIM* debería posicionarse como otra herramienta *Lean*.

Flores (2020) indica en su investigación acerca de la interacción entre el *BIM* y *Lean Construction* en proyectos de edificación que *BIM* realiza una mejora en los proyectos y potencia principios teóricos y prácticos de la filosofía *Lean Construction*. Para ello, es necesario de mucho esfuerzo, dedicación, aprendizaje y retroalimentación por parte del staff

involucrado. A continuación, detallaremos los principales beneficios obtenidos de esta investigación.

- Utilizar un modelado y análisis de costos de manera correcta y con anticipación ayuda a la detección de incongruencias y reducción de costos, lo que permite la mejora en el flujo del proyecto, creando valor y reduciendo la variabilidad. Siendo de mayor eficacia utilizar dicho modelado en la etapa de diseño como filtro ante la revisión del equipo encargado de la ejecución de la obra.
- El uso de herramientas como el Revit y Navisworks son útiles para permitir reducir tiempos de duración de actividades que tomaban más tiempo, es el caso de los metrados y sectorizaciones. Además, el uso de estas herramientas permite la visualización, potenciando así, los principios de *Lean* de verificar y validar.
- La interacción de *Lean Construction* con *BIM* origina que las interferencias sean advertidas de forma temprana, evitando re trabajos o permitiendo al especialista encontrar una solución debido al control que se puede obtener con estas herramientas del proyecto.
- La metodología *BIM* se complementa con los principios de *Lean Construction* impulsando los siguientes enfoques:
 - Enfoque en el cliente
 - Retroalimentación a través de participación de las partes involucradas
 - Estandarización
 - Trabajo por bloques repetitivos
 - Organización
 - Eliminación de residuos
 - Mejora continua
 - Potenciar las herramientas *Lean* con las herramientas *BIM*

- Acelerar los tiempos de gestión del proyecto

En adición, Pons (2014) indica las nuevas tecnologías aplicadas en el *BIM* son capaces de soportar la gestión de proyectos elaboradas con la filosofía *Lean Construction* de manera más colaborativa e integradora. Los profesionales trabajan con modelos de información con ayuda de *softwares* colaborativos para lograr tomar la mejor decisión, aplicando las herramientas *Lean* en el proceso de gestión. Los beneficios son mayores cuando ambas herramientas de las dos metodologías se aplican en conjunto.

Esta información otorga un resultado más consistente las herramientas *BIM* pueden proporcionar una información integrada de las diferentes disciplinas, dándole más eficiencia e interoperabilidad (principal ventaja del *BIM*). Esto se consigue compartiendo el modelo de manera clara e involucrando en el desarrollo de toma de decisiones a través del diseño, construcción y gestión del edificio.

BIM aporta un gran valor para las diferentes partes involucradas y beneficiadas de un proyecto.

Las herramientas *BIM* pueden ser utilizadas en todo el proceso de un proyecto y proporciona un entorno colaborativo en el diseño, planificación, construcción de este; además, el modelo y la base de datos son capaces de gestionar la instalación del mobiliario, supervisar el rendimiento energético a largo, mediano y corto plazo, mantenimiento y remodelación.

CAPITULO 4. CARACTERISTICAS DEL PROYECTO A EVALUAR

4.1 Descripción del Proyecto

4.1.1 Información General del Proyecto

El proyecto tiene como nombre “Mejoramiento y ampliación del servicio educativo del nivel inicial de la Institución Educativa N° 50814 de la comunidad campesina de Suncco del distrito de San Jerónimo – provincia de Cusco – departamento de Cusco”, cuyo objetivo es tener una adecuada infraestructura educativa. La obra cuenta con una programación inicial de 180 días calendarios y un costo de ejecución de obra de 2,599,699.28 soles. A continuación, mostraremos la tabla 1 donde indica el resumen de los ambientes a construir en esta mejora de la educación, proporcionados del expediente técnico inicial.

Tabla 1. Infraestructura básica y complementaria del proyecto educativo inicial Suncco

Infraestructura	Cantidad	Área/ M2
Infraestructura Básica		
Ambiente Tipo A		
Aula	3	55.40
SUM - Sala de psicomotricidad	1	72.00
Infraestructura Complementaria		
Gestión Administrativa Y Pedagógica		
Área de espera	1	5.00
Dirección	1	9.40
Archivo	1	6.00
Sala de reuniones	1	6.70
Bienestar		
Tópico	1	7.00
Cocina	1	15.00
Servicios Generales		
Almacén General	1	10
Deposito	1	3.10
Vigilancia o caseta de control	1	3.20
Cuarto de limpieza	1	3.80
Caja de escaleras	1	15.25
SS.HH.		
SS.HH Niños y niñas	3	13.90
SS.HH Personal administrativo y docente	1	5.90

Fuente. EETT Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

El resumen del presupuesto total de la obra se muestra en la tabla 2:

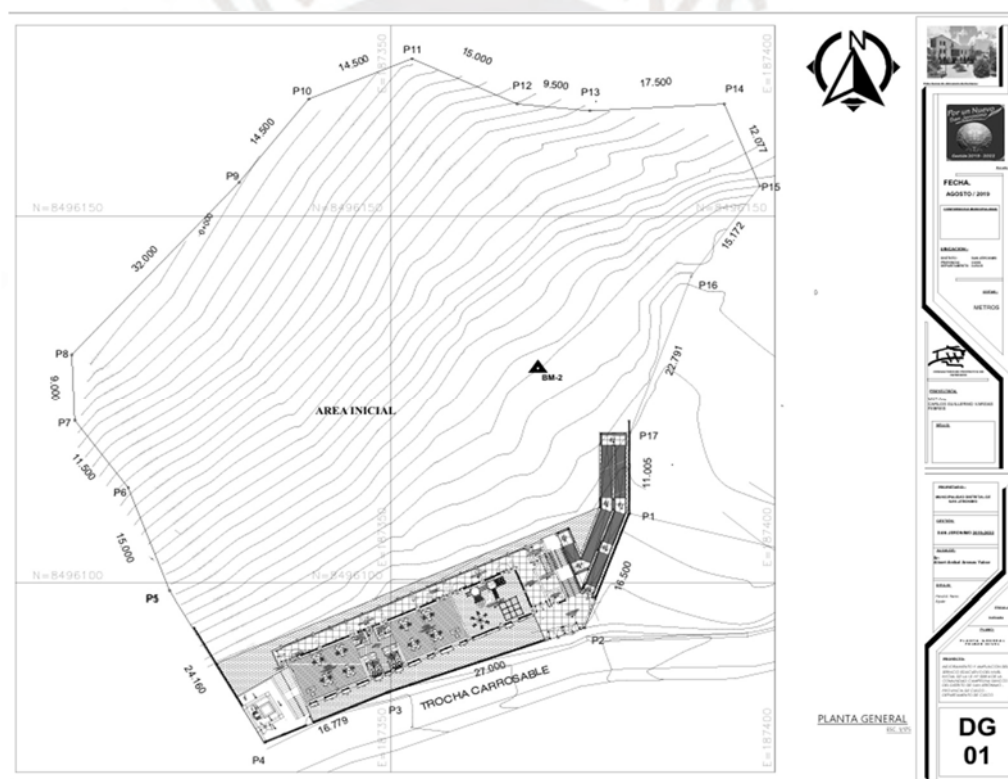
Tabla 2. Costo total y presupuesto del total de la obra (anexo 03)

Costo directo		S/. 1,710,391.72
Gastos generales	18.81%	S/. 321,704.09
Utilidad (10%)		S/. 171,039.17
Sub total		S/. 2,203,134.98
IGV (18%)		S/. 396,564.30
Costo de ejecución de obra		S/. 2,599,699.28

Fuente. ETT Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

El plano de ubicación del proyecto se muestra en la figura 12 (anexo 01):

Figura 12. Plano de ubicación del proyecto (anexo 01)



Fuente. ETT Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

4.1.2 Información sobre Planificación del Proyecto

A continuación, se muestra la información más importante de la planificación del proyecto, la cual se encuentra ubicada en el anexo 03 y 04.

La duración de la obra días calendario es de 180 días calendario

La duración de la obra en días útiles es de 153 días útiles

El proyecto consta de 8 sub presupuestos que son:

- 01 obras provisionales, trabajos preliminares, seguridad y salud
- 02 S.U.M, cocina, recepción, archivo, sala de docentes, tópico, aulas, servicios
- 03 muro de contención
- 04 tanque elevado
- 05 plan de vigilancia
- 07 equipamiento
- 08 capacitación de docentes y padres de APAFA

Para realizar un análisis comparativo del proyecto de investigación, se enfocó en usar el tiempo de las partidas estructuras, arquitectura e instalaciones sanitarias de la edificación. Por lo tanto, la programación de obra a comparar fue desde el día 04 del mes 01 hasta el día 133 del mes 05, con un total de 129 días calendario, ver anexo 04.

CAPITULO 5. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN

5.1 Elaboración de Modelado

La elaboración del modelado de ambas metodologías se dividió en dos partes:

Primero, es la implementación de las herramientas *BIM* (3D, 4D) con los *softwares* Revit y Navisworks respectivamente. Esta parte se llevó a cabo de la siguiente manera:

- ❖ En primer lugar, se modeló las especialidades de estructuras, arquitectura e instalaciones sanitarias. Estas fueron las especialidades proporcionadas en el expediente técnico, ver anexo 01.
- ❖ En segundo lugar, se corrigió las incongruencias entre planos, propias de cada especialidad.
- ❖ En tercer lugar, se vinculó los modelados de cada especialidad en un solo modelo federado para analizar las interferencias entre ellas.
- ❖ Finalmente, se elaboró tablas de metrados en el *software* Revit de las especialidades más importantes (especialidad de estructuras y arquitectura). La segunda es la implementación de las herramientas de la filosofía *Lean Construction* (Sectorización y tren de actividades). Esta parte se llevó a cabo de la siguiente manera:
 - ❖ En primer lugar, con los metrados obtenidos de la especialidad de estructura, se dividió en 3 sectores tentativos; con el fin de tener, aproximadamente, la misma cantidad de metrados de acero y concreto. Por otro lado, para la especialidad de arquitectura, se dividió en 3 sectores tentativas, de tal manera que la cantidad de cuadrillas sea equitativa para los diferentes ambientes de cada piso.
 - ❖ En segundo lugar, se realizó un tren de actividades de las especialidades de arquitectura y estructura, de acuerdo a los metrados obtenidos y al rendimiento del 113% que fue calculado de la filosofía *Lean*.

- ❖ En tercer lugar, una vez elegido los sectores y tren de actividades más óptimo, se importó al programa Navisworks para obtener de manera visual el proceso constructivo de la mejor sectorización.

Segundo, hacemos el uso de la herramienta (5D) con el uso del *software* Delphin Express. Con los valores de los metrados obtenidos de la modelación de las 3 especialidades se interpoló al programa Delphin para así obtener el presupuesto total.

5.1.1 Modelado 3D. Revit 2021

El modelado 3D, según la metodología *BIM* es un trabajo colaborativo, por lo que se forma equipos de trabajo que se encarguen del modelo 3D de las especialidades de estructuras, arquitectura e instalaciones sanitarias. Sin embargo, para simular el trabajo colaborativo se dividió los entregables en los dos tesisistas. El fin fue encontrar incongruencias propias de cada especialidad y posteriormente incompatibilidades entre las especialidades del proyecto.

La información para los modelos 3D se basó de los planos proporcionados del expediente técnico, estos se encontraron en 2D (como generalmente son elaborados en obras públicas y privadas) y en el *software* AutoCAD.

5.1.1.1 Modelado 3D: Especialidad de Estructura

Los planos de estructuras proporcionados en AutoCAD se encuentran en el anexo 01, los cuales poseen detalles de los siguientes elementos estructurales:

- Plantas de cimentación
- Armado de vigas de cimentación
- Armado de columnas y placas
- Armado de losas aligeradas y maciza del primer nivel
- Armado de vigas entre piso
- Armado de losas aligeradas de nivel de cubierta
- Armado de vigas de nivel de cubierta

- Armado de muro de contención

Una vez obtenido los planos de estructuras, estos fueron vinculados al programa Revit con la opción “vincular CAD”. Se fijó los planos 2D dentro de la plantilla del programa 3D como base y así poder modelar sobre ellos. A continuación, se insertó las rejillas, es decir, los ejes que se encuentran en el plano AR – 01 y AR – 04 (anexo 01) y los niveles de piso de los planos AR – 02 y AR – 03 (anexo 01). Luego de ello, se agruparon los elementos estructurales en familias, creadas previamente en el programa Revit, y así obtener las dimensiones, materialidad y detalles. El modelado partió con el concreto, empezando por los solados de las zapatas hasta el concreto de losas de techo, es decir, se modeló de abajo hacia arriba, a continuación, se muestra el orden en el que fueron modelados los elementos.

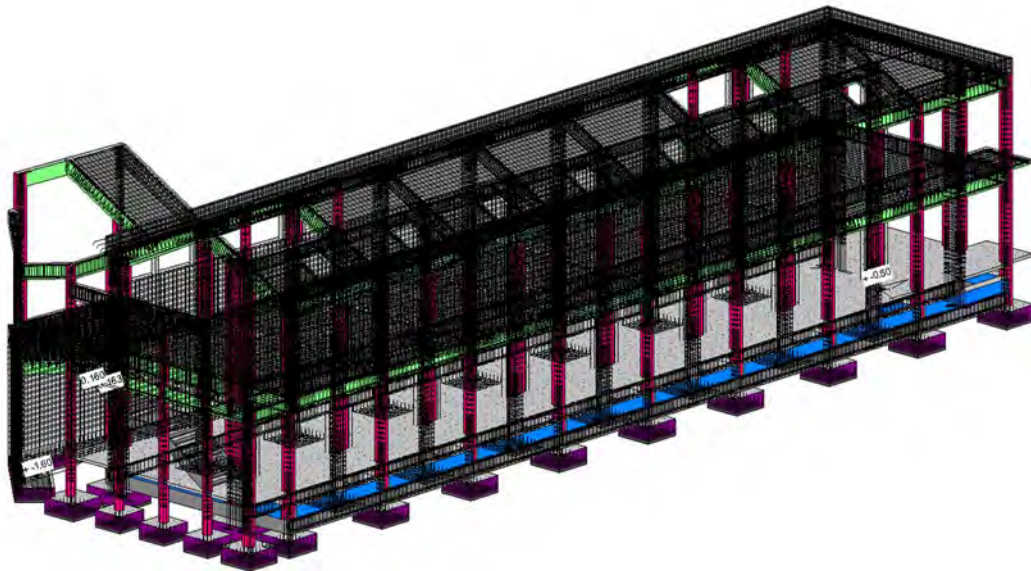
1. Modelado de concreto solado
2. Modelado de concreto zapatas
3. Modelado de concreto de vigas de cimentación
4. Modelado de concreto de sobrecimientos
5. Modelado de concreto de columnas
6. Modelado de concreto de vigas
7. Modelado de concreto de losas aligeradas
8. Modelado de concreto de losas macizas
9. Modelado de concreto de losas de techo
10. Modelado de concreto de escalera
11. Modelado de concreto de muros de contención

Luego, se procedió al modelado del acero de cada elemento estructural. Esta etapa de modelado fue una de las etapas más complicadas, detalladas y minuciosas para alcanzar el nivel *LOD 350*, pues las medidas de los diferentes elementos de acero (ganchos, largos, empalmes,

estribos, diámetro de acero, etc.) tienen que ser exactos. Las diferentes dimensiones de todas las armaduras estructurales se encontraron en los planos de detalle.

Finalmente, se corrigió la unión entre elementos, es decir, se definió la importancia de cada elemento respecto a otro. Por ejemplo: Las columnas son estructuralmente más importante que las vigas, pues las vigas transportan las cargas a las columnas, por lo tanto, deben tener continuidad de piso a techo; de igual manera para cada unión entre elementos estructurales se debe definir quién será el principal.

Figura 13. Modelo 3D – Estructuras



Fuente: Propia

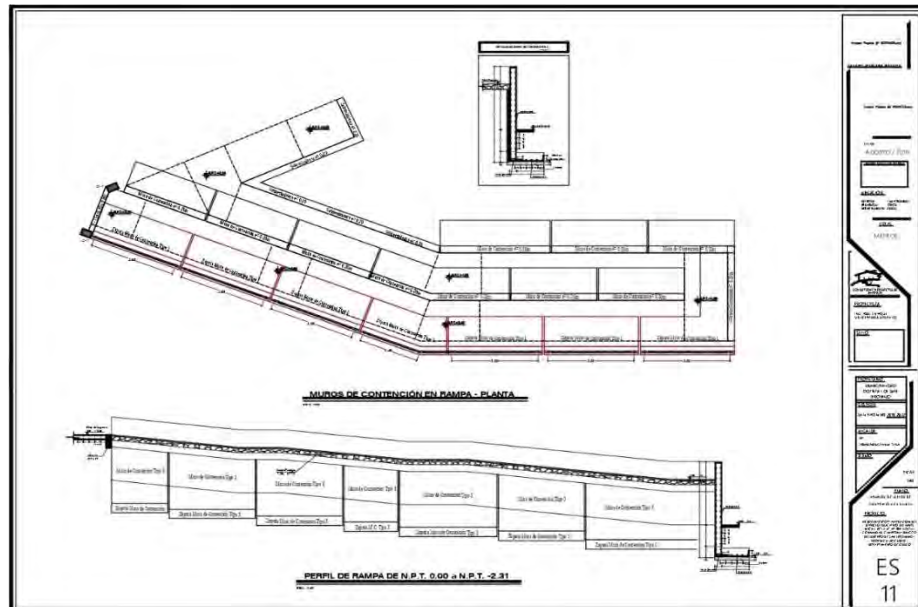
– **Inconvenientes durante el modelado de estructuras**

Acotación 1:

Una de las acotaciones más importantes y, por las que hubo demoras en el proyecto durante la ejecución fue, la falta de detalle estructural en el plano de la rampa de acceso para discapacitados, en la figura 14 (plano ES11 - anexo 01). Donde, no existe detalle del acero y tipo de concreto. Además, en la figura 15 se observa el análisis de modelo estructural del proyecto, donde, en la memoria de cálculo del expediente técnico, nunca estuvo contemplado

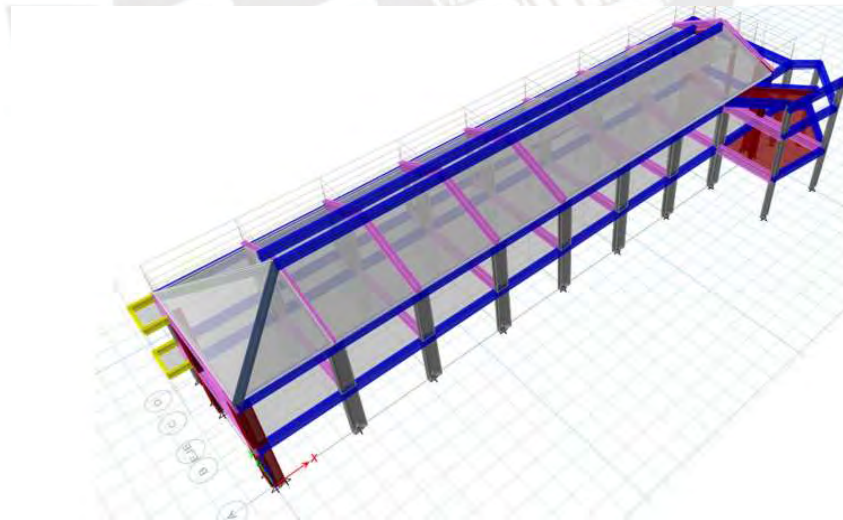
el modelado de la rampa. En conclusión, no se pudo calcular las sobrecargas sobre esta para el cálculo de acero y concreto necesario.

Figura 14. Plano de rampa de acceso peatonal de plano de estructura ES11 (anexo 01)



Fuente. E-T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Figura 15. Análisis modelo estructural del proyecto



Fuente: E-T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Acotación 2:

En la figura 16 (renders del proyecto - anexo 05), se observó el detalle del lado Noreste del acabado de vidrios, zona resaltada en rojo, entre columnas y vigas. Al observar este *Render*

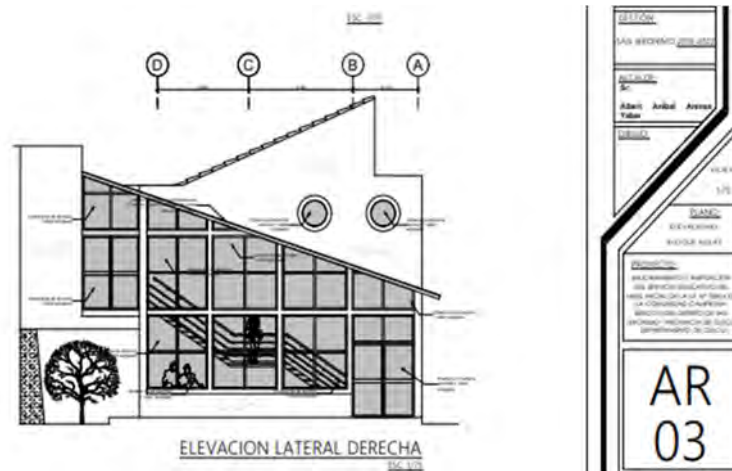
notamos una ausencia de información en planos de estructuras de las columnas y vigas del segundo piso, no se encontró las dimensiones, armado de acero y tipo de concreto de estos elementos. Por ello, tuvimos que replicar las dimensiones, armaduras longitudinales y transversales de las vigas y columnas del primer piso hacia el segundo piso. Además, con ayuda del plano de arquitectura de la figura 17 (plano AR03 - anexo 01), pudimos calcular las dimensiones de las columnas y vigas del segundo piso; para ello, se obtuvo las alturas y dimensiones del techo de policarbonato y a partir de este se calculó las alturas de las columnas y vigas faltantes para el segundo piso. Finalmente, obtuvimos el modelado de estructura que se observa en la figura 18.

Figura 16. *Render de detalle del proyecto (Noreste) – anexo 05*



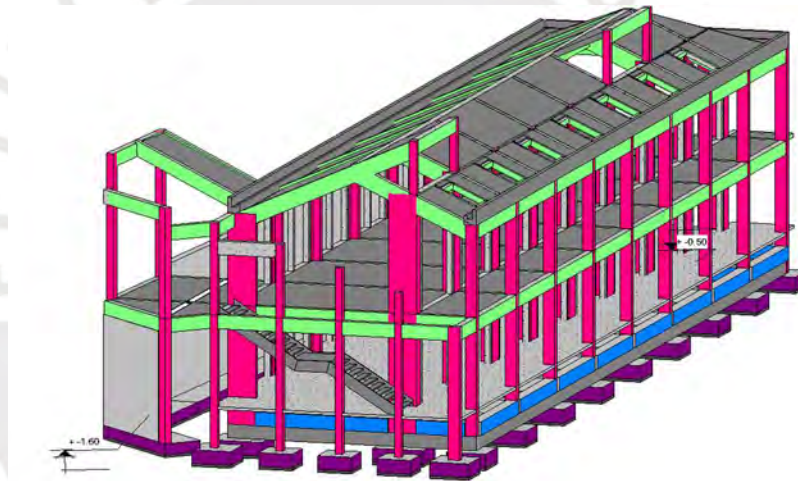
Fuente: E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Figura 17. Plano de arquitectura (elevación lateral derecha) del plano AR 03 - anexo 01



Fuente: E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Figura 18. Modelo 3D de especialidad de estructuras del proyecto



Fuente. Propia

Acotación 3:

Notamos que en plano de estructuras faltaba el detalle de las siguientes partidas:

- Para comenzar en la partida “02.02.02.02 Cimiento corrido C:H 1:10 + 30% PG” aparece en el metrado de estructuras con el nombre “CONCRETO 1:8+25% PARA SOBRECIMENTOS” con un espesor de 0.3m y altura de 0.1m.
- La partida “02.02.02.03 CONCRETO 1:8+25% PARA SOBRECIMENTOS” aparece con el mismo nombre, pero con espesor de 0.4m y altura de 0.50m.

- Por los espesores deberíamos asumir que la partida 02.02.02.03 CONCRETO 1:8+25% PARA SOBRECIMIENOS va debajo de la partida 02.02.02.02 Cimiento corrido C:H 1:10 + 30% PG, con un total de 0.6m. Sin embargo, la partida “02.02.03.03.01 CONCRETO EN SOBRECIMIENTO REFORZADO $f'c=175\text{kg/cm}^2$ ”, la cual se encuentra metrado en el borde del perímetro del proyecto, tiene una altura de 1.75m y un ancho de 0.25m. Si asumimos que esta va encima de los cimientos corridos 02.02.02.02 y 02.02.02.03, daría un total de 2.35m de altura. A la hora de modelar notamos que esta altura cubriría el piso del primer piso, esto se traduce a un mayor metrado y carencia de información de sobrecimientos. Para mantener la concordancia, se modeló sobrecimientos de 1.3m de altura, altura máxima para la colocación de mamparas del pasadizo del primer piso.

De igual manera para el muro de contención se tiene las siguientes partidas:

03.02.02	CONCRETO SIMPLE
03.02.02.01	Solado para zapatas de 2" mezcla 1:12 cemento-hormigon
03.02.02.02	Cimiento corrido C:H 1:10 + 30% PG
03.02.02.03	Concreto 1:8+25% para sobrecimientos
03.02.02.04	Encofrado en sobrecimientos

Estas partidas no tienen información tanto en planos como metrado y constructivamente no tiene relevancia, por lo que no fue contemplada.

Acotación 4:

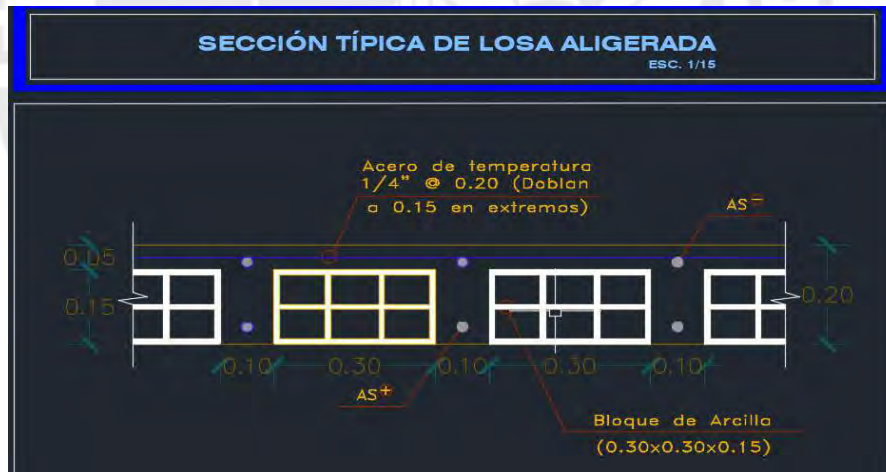
Los planos de las viguetas de las losas aligeradas presentaron incongruencias, principalmente porque en plano en planta (plano ES05 - anexo 01) indicaba AS (-) 1 \emptyset 5/8" y AS (+) 2 \emptyset 1/2", ver figura 19. Sin embargo, en la figura 20, obtenido del mismo plano, se observa que existe 1 AS (-) y 1 AS (+), por lo que se contradicen estos detalles. Finalmente, optamos por colocar la información de la figura 19 proporcionada en planta, por tener más detalle sobre del acero longitudinal y por conocimientos en los cursos de concreto armado.

Figura 19. Detalle de acero positivo y negativo sobre losa aligerada (plano ES05 – anexo 01)



Fuente: E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Figura 20. Detalle de sección típica de losa aligerada (plano ES05 – anexo 01)



Fuente: E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Acotación 5:

En la figura 21 (plano ES05 – anexo 01), observamos en el detalle de la vigueta ensanchada que los fierros positivos y negativos colindantes a esta se encuentran amarrados en forma de 8 con un acero que no se sabe su diámetro ni espaciamiento, se sabe que este acero se usa para mantener el acero positivo en su ubicación durante el vaciado y mantenga el

distanciamiento con el acero negativo, no se especifica que acero es, ni el metrado de este, por lo que este acero no fue modelado por falta de información. Sin embargo, hay que recalcar que este armado de acero ocasiona mayores gastos en el costo directo que no es contemplado.

Figura 21. Detalle de vigueta ensanchada sección B-B del (plano ES05 – anexo 01)



Fuente: E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

En la figura 22 (plano ES05 – anexo 01), observamos en el detalle de sección típica de losa maciza que los fierros positivos y negativos colindantes a esta se encuentran amarrados en forma de 8, como se explicó con anterioridad, este acero no tiene detalles; en adición, se observa que solo existe de manera intercalada pese a que su función de estos es de mantener la distancia entre acero positivo y acero negativo, por todo lo mencionado se decidió no ser modelado por falta de información, se recalca que la ausencia de este insumo en el presupuesto ocasiona un presupuesto en el costo directo fuera de la realidad.

Figura 22. Detalle de sección típica de losa maciza (plano ES05 – anexo 01)

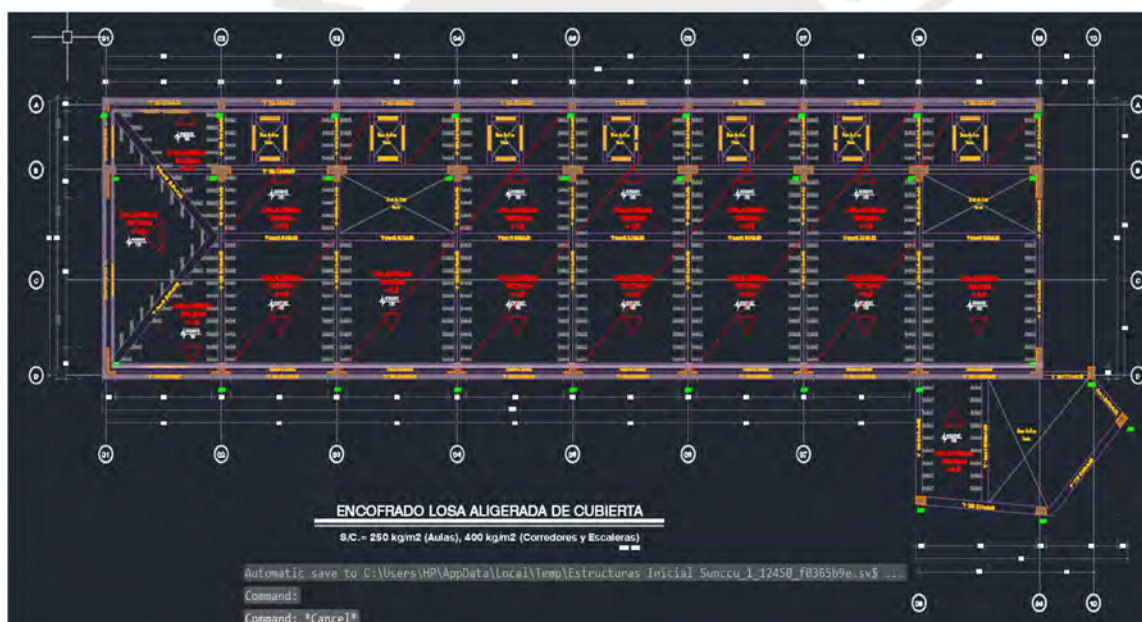


Fuente: E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Acotación 6:

En la figura 23 (plano ES08 – anexo 01), observamos el detalle de planta de losa aligerada de cubierta no posee detalle de aceros en las viguetas, empalmes, anclajes y diámetros, por lo que inicialmente no se puede obtener el armado. Sin embargo, a la hora de revisar el metrado de acero para el techo del segundo piso, notamos que este tenía el mismo metrado que los del primer piso. Para nuestro estudio de caso se obtuvo el metrado de acero del segundo piso de la misma manera. Por otro lado, se modeló el acero de temperatura ya que este mantiene sus diámetros y espaciamiento en ambos sentidos cualquiera sea el caso por no ser fierros que necesiten cálculos estructurales.

Figura 23. Detalle de planta de losa aligerada de cubierta (plano ES08 – anexo 01)



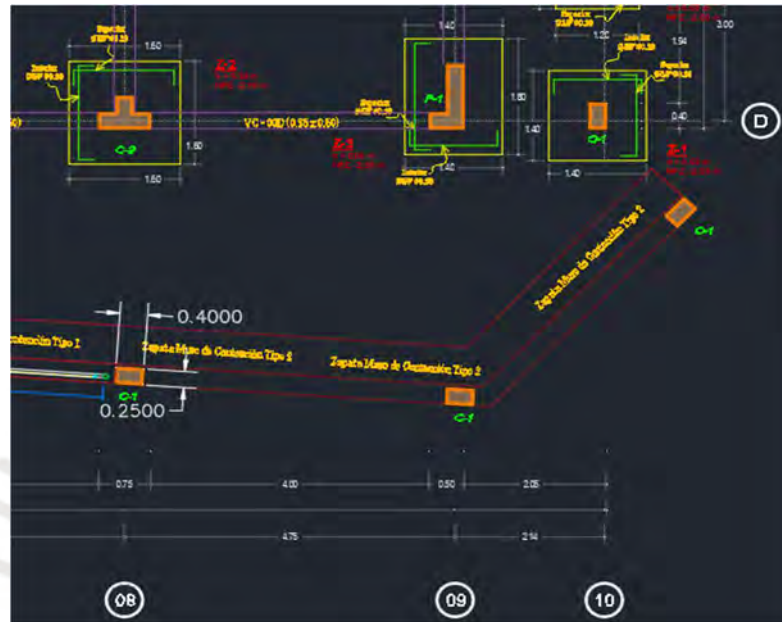
Fuente: E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Acotación 7:

En la figura 24 (plano ES01 - anexo 01), se observa una incongruencia de dimensiones de la columna C-1. En la figura 24 se observa una longitud de 0.25x0.4m (zona de muro de contención) para la C-1 mientras que en la figura 25 (plano ES04 - anexo 01), se observa dimensiones de 0.25x0.25m para C-1, para resolver este conflicto, decidimos poner las dimensiones de 0.25x0.4m a la C-1, debido al modelado realizado de la memoria de cálculo.

Para la C-1 con diferente dimensión entre los ejes 10 y D, decidimos colocar de igual manera la dimensión de 0.25x0.4m por la simetría que tiene con la C-2 del eje 10 con A y la memoria de cálculo realizada en el Expediente Técnico.

Figura 24. Detalle de plano en planta de estructuras (plano ES01 – anexo 01)



Fuente: E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Figura 25. Detalle de sección de columnas y placas (plano ES04 – anexo 01)



Fuente: E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

5.1.1.2 Modelado 3D: Especialidad de Arquitectura

Los planos de arquitectura proporcionados en AutoCAD se encuentran en el anexo 01, los cuales poseen los detalles de los siguientes elementos arquitectónicos:

- Plano de plantas de aulas primer y segundo piso
- Plano de corte de bloques de aulas
- Plano de elevaciones de bloque de aulas
- Plano de planta cubiertas
- Plano de detalle de rampa de acceso
- Plano de detalle de escalera
- Plano de detalle de mobiliario
- Plano de detalle de puertas
- Plano de detalle de ventanas

Se insertó las rejillas, es decir, los ejes que se encuentran en el plano AR – 01 y AR – 04 (anexo 01) y los niveles de piso de los planos AR – 02 y AR – 03 (anexo 01) como guía para modelar los elementos en planta y en elevaciones. A continuación, se analizó los elementos arquitectónicos en CAD para crear en Revit sus respectivas familias; la finalidad del análisis fue la de integrar los detalles específicos de cada material, sus dimensiones y forma de elementos arquitectónicos del proyecto proporcionadas en los planos de detalle. Después de crear las familias de todos los elementos arquitectónicos, procedimos a modelarlos. A continuación, se muestra el orden en el que fueron modelados los elementos de esta especialidad.

1. Muros de tabiquería
2. Pisos terminados
3. Cielos rasos
4. Techo
5. Puertas y ventanas
6. Zócalos y contra zócalo
7. Acabado de muros

8. Muebles

El modelo de arquitectura fue una de las etapas más complicadas, junto con estructuras, pues realizar el modelado de detalles de ventanas, puertas, zócalos, contra zócalos, pisos terminados, acabado de muros, acabados de techo, etc., conllevan un detalle minucioso tanto de acabado como de materialidad, este nivel de detalle se realizó porque la investigación está a nivel *LOD 350*. Finalmente se obtuvo el modelo siguiente:

Figura 26. Modelo 3D – Arquitectura (Lado Norte)



Fuente: Propia

– Inconvenientes durante el modelado de arquitectura

Acotación 1: Para esta acotación hubo los siguientes puntos específicos:

En la figura 27 (plano AR01 – anexo 01), se observó en el área de recepción del plano en planta del segundo nivel (círculo rojo), no existe algún detalle o acabado de muro del lado izquierdo, por lo que, al modelar, ver figura 28, notamos la falta de este elemento. Sin embargo, se obtuvo el *Render* final de la edificación ver figura 29 (anexo 05) y se notó que este elemento es un muro de altura desconocida, para modelarlo se tuvo que aplicar la similitud del muro derecho de la recepción.

En el *Render* de la figura 29 (anexo 05), el detalle de la puerta de acceso de la entrada de recepción cuenta con una sola puerta. Sin embargo, en la figura 27 (plano AR01 – anexo 01), se observó que existe dos puertas de tipo puerta 08 y dos ventanas sobre esta del tipo

ventana 09 (circulo azul), finalmente, se modeló según la figura 27 por tener el detalle de acabados de puertas y ventanas.

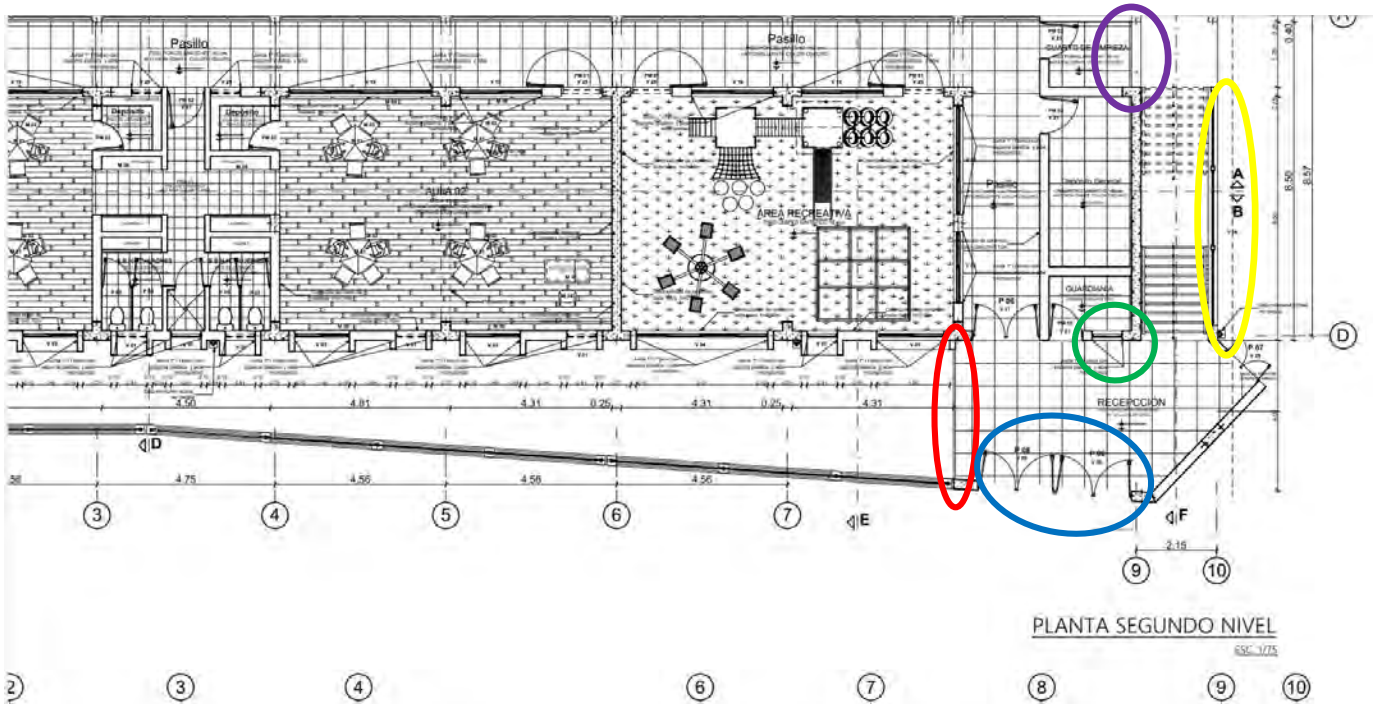
Se observó que en la puerta de acceso de guardianía existe una ventana colíndate con la puerta de acceso a este espacio, ver figura 27 (circulo verde), la problemática es que esta ventana no cuenta con información para ser modelada, por lo que tuvimos que obviar su modelado por falta de información.

En la figura 27 (circulo amarillo), se pudo observar en el lado de la escalera que no existe detalle alguno, es decir, no se sabe si se modelara mamparas, ventanas o muros. Para poder tener un mejor entendimiento, nos fuimos a la figura 29 proporcionada de los renders del E.T (anexo 05), en donde se observó mamparas continuas que van del primer al segundo piso. Sin embargo, se pudo obtener con mayor detalle este acabado de muro cortina con el plano AR – 03 (anexo 01), donde se observa el plano lateral de esta zona, ver figura 30. Sin embargo, para obtener las alturas y dimensiones se tuvo que medir uno por uno para modelar. Este problema es típico del uso de planos en 2D, debido a que se tiene la información de detalles en diferentes planos, pudiendo perderse detalles importantes.

En la figura 27 (circulo morado), se observa la ausencia de tabiquería para el cuarto de limpieza del segundo piso.

En la figura 31 (plano de AR02 corte F-F – anexo 01), se observó en el plano dos tipos de puertas en el segundo piso entre los ejes E y D, sin embargo, en la figura 27 (plano AR01 – anexo 01), se observó una contradicción, donde indica que existe una sola puerta del tipo puerta 07 con ventana 28, para modelar esta zona seguimos las indicaciones del plano en planta por tener los detalles. No se hizo caso al plano de corte de figura 31 (plano AR02 – anexo 01) por falta de información de detalle de las puertas.

Figura 27. Plano en planta del segundo nivel de la especialidad de arquitectura del E.T (plano AR01 – anexo 01)



Fuente: E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Figura 28. Modelado 3D de la especialidad de arquitectura en Revit (Suroeste)



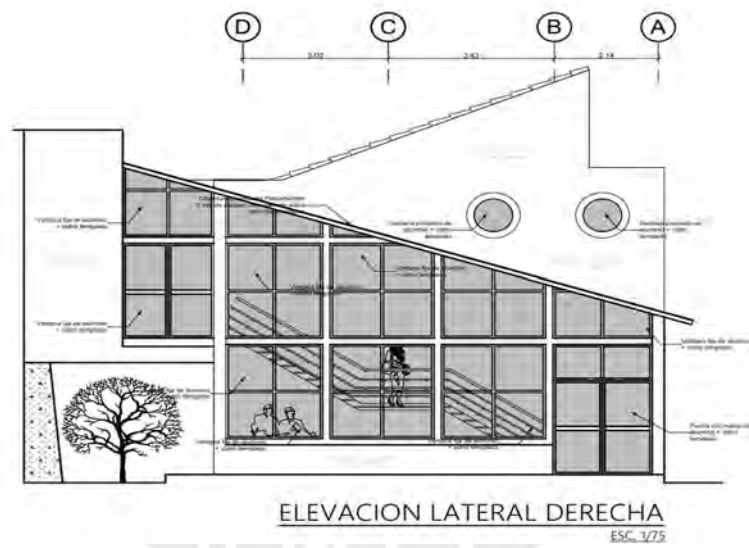
Fuente. E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Figura 29. Render del detalle arquitectónico obtenido del E.T (anexo 05)



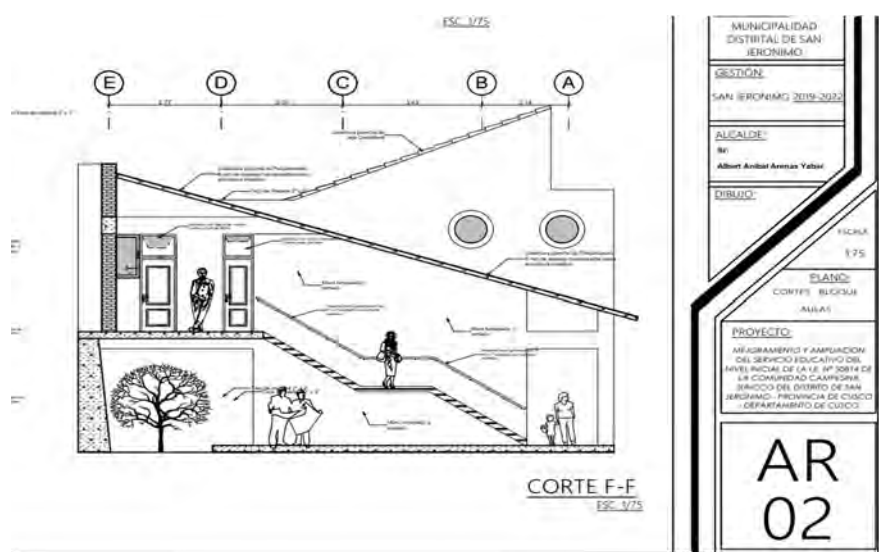
Fuente: E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Figura 30. Plano lateral lado derecho del proyecto (plano AR03 – anexo 01)



Fuente: E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Figura 31. Plano de AR02 corte F-F – anexo 01



Fuente: E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Acotación 2:

En la figura 30, que se mostró con anterioridad, se observó en la zona de acceso existe una cubierta de policarbonato sobre estructura metálica. Sin embargo, este detalle no pudo ser modelado por la falta de información en cuanto a las dimensiones de ancho y largo en plano. En el metrado del Expediente Técnico, figura 32 (anexo 02), se observó que no existen tampoco las dimensiones de esta partida en el metrado de arquitectura. Sin embargo, para el costo y presupuesto, se pondrá el metrado final obtenido del modelado.

Figura 32. Metrado de la especialidad de arquitectura – partida de cubierta de policarbonato sobre estructura metálica

PARTIDA	DESCRIPCION	UND	METRADO
03.06	COBERTURA		
03.06.02	CUBIERTA DE POLICARBONATO SOBRE ESTRUCTURA METALICA	m ²	42.14

Fuente. E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Acotación 3:

En la figura 33 (anexo 05), se notó en la fachada del lado Sureste del proyecto se encuentra los detalles de acabado de la pared y ventana. Sin embargo, en la figura 28 se observó que el acabado final realizado según los planos contiene unos muros sobresalidos entre los

espacios de las ventanas. Finalmente, se mantuvo el modelado de la figura 28 y el metrado según manda los planos.

Figura 33. *Render* de fachada de acceso principal (Lado Sureste) – anexo 05



Fuente. E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Acotación 4:

Se observó en el render, ver figura 34 (anexo 05), que no existe un parapeto en el segundo piso, pero por temas de seguridad se presenta una barandilla metálica. Por otro lado, en los metrados de estructura, ver figura 37 (anexo 02), se observó el metrado de parapetos con los ejes mencionados, con un espesor = 10cm y altura de 50 cm, estas medidas extrañas son incongruentes con los acabados, ya que, los ejes mencionados no concuerdan con los ambientes.

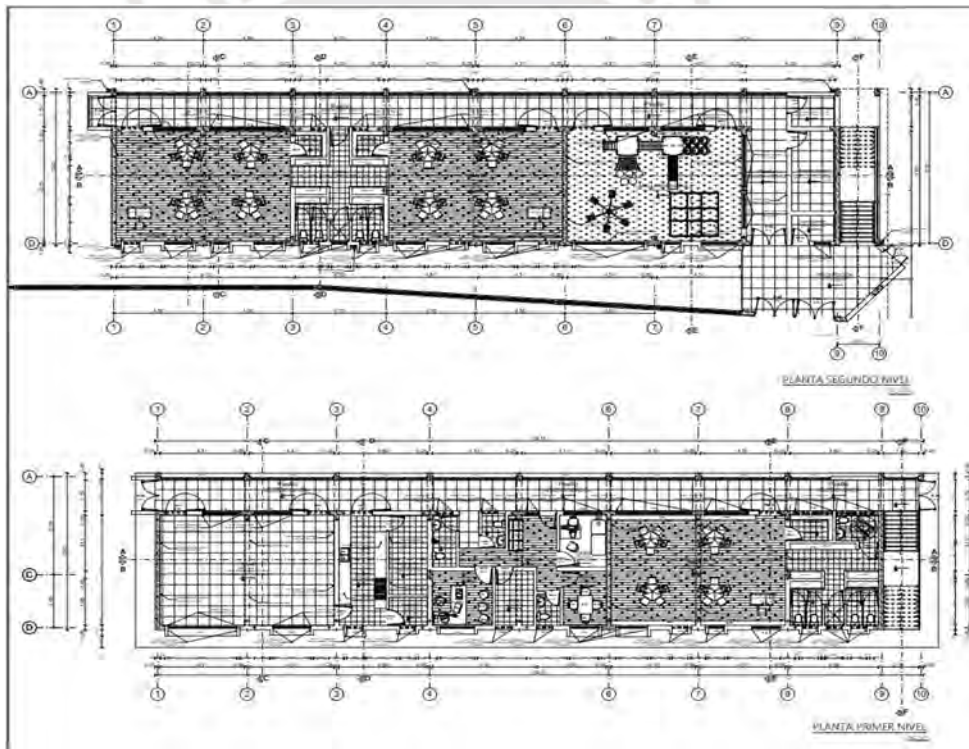
Por otro lado, se observó que en la figura 34 del *Render* del E.T (anexo 05), que existen mamparas, a lo largo del eje A-A. Sin embargo, en la V-09 del segundo piso, indica un alfeizar de 2.15m, ver figura 40. Pese a ello, se modeló las mamparas a un mismo nivel de 0.25m de altura desde el piso hasta el fondo de techo, porque no tiene sentido colocar un solo muro en todo el pasadizo. Sin embargo, se recomienda realizar el levantamiento de muros del eje (A - A) del primer y segundo piso, con una altura de muros de $h = 1.8\text{m}$, con esta altura de muros garantizamos la seguridad y la iluminación del pasadizo.

Figura 34. *Render* proporcionado del E.T, acabado del eje 1-1 (Lado Noroeste)



Fuente. E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Figura 35. Plano en planta del primer y segundo piso obtenido del E.T (AR01 – anexo 01)



Fuente. E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Figura 36. Modelado 3D especialidad de arquitectura (Lado Noroeste)



Fuente. E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Figura 37. Metrados de parapetos de concreto de especialidad de estructuras – anexo 02

02.02.03.08.00	PARAPETOS DE CONCRETO							
02.02.03.08.01	CONCRETO EN PARAPETO $f_c=210\text{kg/cm}^2$	m3						4.60
	EJE 1,2,3,4,5,6,7,8 Y 9	2.00	37.12	0.10	0.50			3.71
	EJE 1- A,B,C,D, Y EJE 9- A,B,C,D	2.00	8.90	0.10	0.50			0.89
02.02.03.08.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL EN PARAPETO	m2						92.04
						N° Caras		
	EJE 1,2,3,4,5,6,7,8 Y 9	2.00	37.12	2.00	0.50			74.24
	EJE 1- A,B,C,D, Y EJE 9- A,B,C,D	2.00	8.90	2.00	0.50			17.80

Fuente. E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Acotación 5:

La mayoría de detalles en la especialidad de arquitectura se encuentra dispersos entre la gran cantidad de planos que nos entregaron, un ejemplo de ello es el tema de zócalos y contra zócalos en los baños del primer y segundo nivel, como se observó en el plano en planta AR – 01 (anexo 01), no se especifica donde deberían ir colocados estos. Sin embargo, al momento de revisar el plano DT – 08 (anexo 01), se observó el detalle de la materialidad y altura de estos, esto ocasiona pérdida de información de partidas. Lo mismo ocurrió para ventanas, puertas, pisos, muros y techos, donde la información se encuentra dispersa entre los diferentes planos de detalle de arquitectura, ocasionando así, demoras en entendimiento y posibles errores constructivos.

Acotación 6:

En la figura 38 se observó el modelo Revit de la fachada lado Sur. Los detalles de las ventanas, primer y segundo piso, se modelaron según el plano AR – 03 y el cuadro de vanos (anexo 01), ver figura 39 y 40 respectivamente. Los detalles de las ventanas tuvieron complicaciones a la hora de modelar por las siguientes razones:

- En la figura 33 (*Render* de la fachada de acceso principal), presentada anteriormente, se observó una distribución de ventanas diferente a la figura 39 (plano AR03 – anexo 01).
- En la figura 40, se observó el cuadro de vanos extraído del E.T (plano AR01 - anexo 01), en este se observó dimensiones de puertas y ventanas y alfeizar, de este último, diferentes a los medidos en los planos (AR – 03 – anexo 01), ver figura 39.

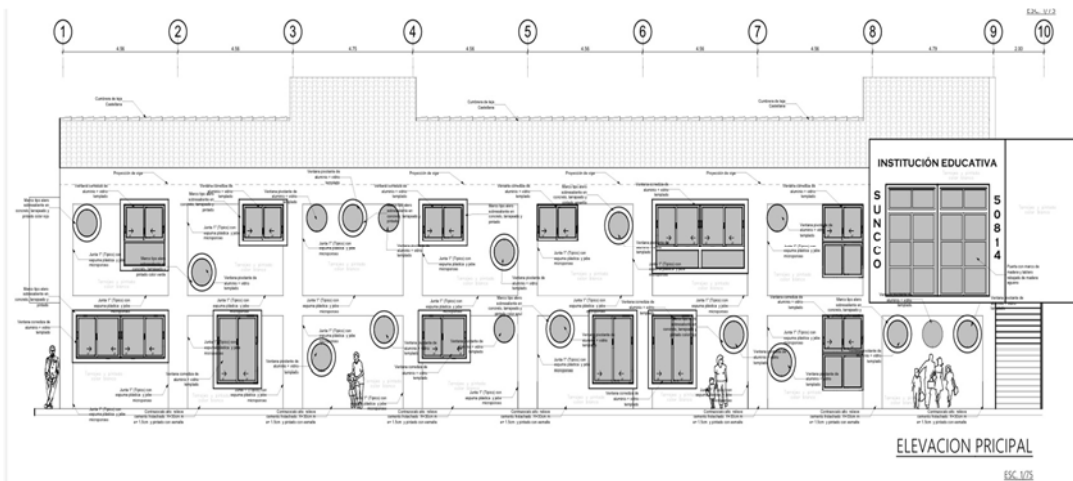
La solución fue seguir las indicaciones del cuadro de vanos, a pesar de ello, se observó que en el plano AR – 03 de la figura 39, donde se observa las diferentes alturas para la ventana circular 01. Para este último caso se tuvo que seguir algunas variaciones del plano AR – 03 que no se encontraban en el detalle del cuadro de vanos.

Figura 38. Modelado 3D fachada principal (Lado Sur)



Fuente. E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Figura 39. Modelado 3D fachada principal (Lado Este) – plano AR03 – anexo 01



Fuente. E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Figura 40. Cuadro de vanos (plano AR01 – anexo 01)

CUADRO DE VANOS				
PUERTAS	ANCHO	ALTURA	ALFEIZAR	ALTURA TOTAL
P - 01	1.10	2.10	0.00	2.10
P - 02	0.80	2.10	0.00	2.10
P - 03	0.75	2.10	0.00	2.10
P - 04	1.00	2.10	0.00	2.10
P - 05	0.80	2.10	0.00	2.10
P - 06	1.80	2.10	0.00	2.10
P - 07	1.20	2.10	0.00	2.10
P - 08	2.05	2.60	0.00	2.60
VENTANAS Y	ANCHO	ALTURA	ALFEIZAR	ALTURA TOTAL
V - 01	0.81	0.81	0.00	0.81
V - 02	1.61	1.85	0.75	2.60
V - 03	1.61	1.07	1.67	2.74
V - 04	3.50	1.93	0.67	2.60
V - 05	1.61	2.20	0.55	2.75
V - 06	3.50	1.28	1.47	2.75
V - 07	1.61	2.00	0.75	2.75
V - 08	1.75	1.28	1.47	2.75
V - 09	2.05	0.84	2.15	2.99
V - 10	4.31	2.84	0.00	2.84
V - 11	4.50	2.84	0.00	2.84
V - 12	4.50	2.57	0.25	2.82
V - 13	4.31	2.57	0.25	2.82
V - 14	4.50	1.70	0.00	1.70
V - 15	2.17	2.84	0.00	2.84
V - 16	2.17	2.57	0.25	2.82
V - 17	1.76	1.09	2.25	3.34
V - 18	1.90	1.28	1.55	2.83
V - 19	3.80	1.28	1.55	2.83
V - 20	1.90	0.68	2.15	2.83
V - 21	0.90	0.68	2.15	2.83
V - 22	2.90	2.84	0.00	2.84
V - 23	1.90	2.84	0.00	2.84
V - 24	8.10	0.00	0.00	0.00
V - 25	1.95	0.00	0.00	0.00
V - 26	1.85	2.57	2.48	5.05
V - 27	1.20	1.20	2.25	3.45
V - 28	0.60	0.68	2.45	3.13
V - 29	0.81	2.18	1.55	3.73

Fuente. E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

En adición, en el plano AR – 01 (anexo 01) se observó la colocación de ventanas sobre puertas en algunos ambientes. Sin embargo, hubo ventanas cuyas dimensiones proporcionadas

por el cuadro de vanos no calzaban encima de la puerta, ver tabla 41. Se calculó la altura máxima de piso a techo es igual a 3.13 m y la altura máxima de piso a fondo de viga es de 2.83 m. A continuación, se muestra el tipo de ventana que se encuentra encima de cada tipo de puerta que indica en los detalles del plano AR-01 (anexo 01).

Figura 41. Altura de puerta y ventana

PUERTAS	ALTURA VENTANA	VENTANAS	ALTURA VENTANA (A)	ALFEIZAR VENTANA (B)	ALTURA DE ALFEIZAR > ALTURA DE PUERTA	ALTURA TOTAL (A) + (B)	ALTURA PERMISIBLE	ALTURA TOTAL < ALTURA PERMISIBLE ?
P-01	2.1	V-20	0.68	2.15	SI CUMPLE	2.83	3.13	SI CUMPLE
P-02	2.1	V-13	2.57	0.25	NO CUMPLE	2.82	3.13	SI CUMPLE
P-02	2.1	V-21	0.68	2.15	SI CUMPLE	2.83	3.13	SI CUMPLE
P-03	2.1	V-13	2.57	0.25	NO CUMPLE	2.82	3.13	SI CUMPLE
P-03	2.1	V-21	0.68	2.15	SI CUMPLE	2.83	3.13	SI CUMPLE
P-04	2.1	V-20	0.68	2.15	SI CUMPLE	2.83	3.13	SI CUMPLE
P-06	2.1	V-17	1.09	2.25	SI CUMPLE	3.34	2.83	NO CUMPLE
P-07	2.1	V-28	0.68	2.45	SI CUMPLE	3.13	3.13	SI CUMPLE
P-08	2.1	V-09	0.84	2.15	SI CUMPLE	2.99	3.13	SI CUMPLE

Fuente. E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Se concluye de la imagen 41 lo siguiente:

- Para la P-02 y V-13 existe una incompatibilidad en cuanto al alfeizar de la ventana
- Para la P-03 y V-13 existe una incompatibilidad en cuanto al alfeizar de la ventana
- Para la P-06 y V-17 existe una altura excedente de la ventana proporcionando una altura total de 3.34 m sobrepasando la altura de 2.83m por encontrarse debajo de una viga.

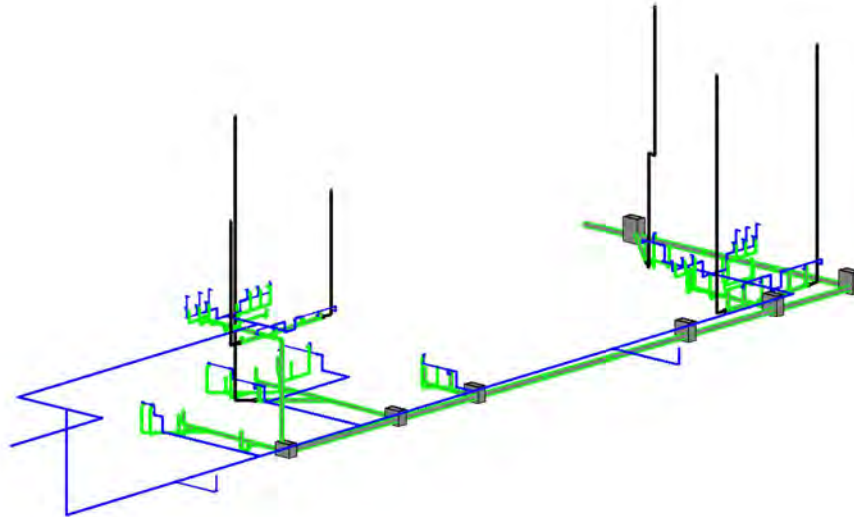
5.1.1.3 Modelado 3D: Especialidad de Instalaciones Sanitarias

Se realizó el modelado del proyecto de construcción de las instalaciones sanitarias; sin embargo, no se consideró el sistema contra incendios y eléctricas.

Para las instalaciones sanitarias, primero se creó familias de los diferentes diámetros de tuberías que existían en el proyecto, luego se ubicó las instalaciones de acuerdo con los planos fijados y sus detalles con sus respectivos accesorios, mientras se creaba las instalaciones se añadieron las pendientes de tubería según detalles de planos de instalaciones de agua y sanitarias (anexo 01). Finalmente, las instalaciones terminaban en aparatos de agua o sanitarios

(inodoro, lavatorio, urinario, ducha, sumidero, registro, caja de registro, tubería de ventilación), ver figura 42.

Figura 42. Modelo isométrico 3D - Instalaciones Sanitarias



Fuente. Propia

– **Inconvenientes durante el modelado de estructuras instalaciones sanitarias**

Acotación 1:

En el sistema de instalaciones sanitarias se observó que en el plano las longitudes de las tuberías no concuerdan con las pendientes, es decir, el 1 % para tuberías de desagüe. Para ello, se tuvo que cambiar las longitudes de tal manera de poder cumplir así los porcentajes de pendiente establecidos por norma.

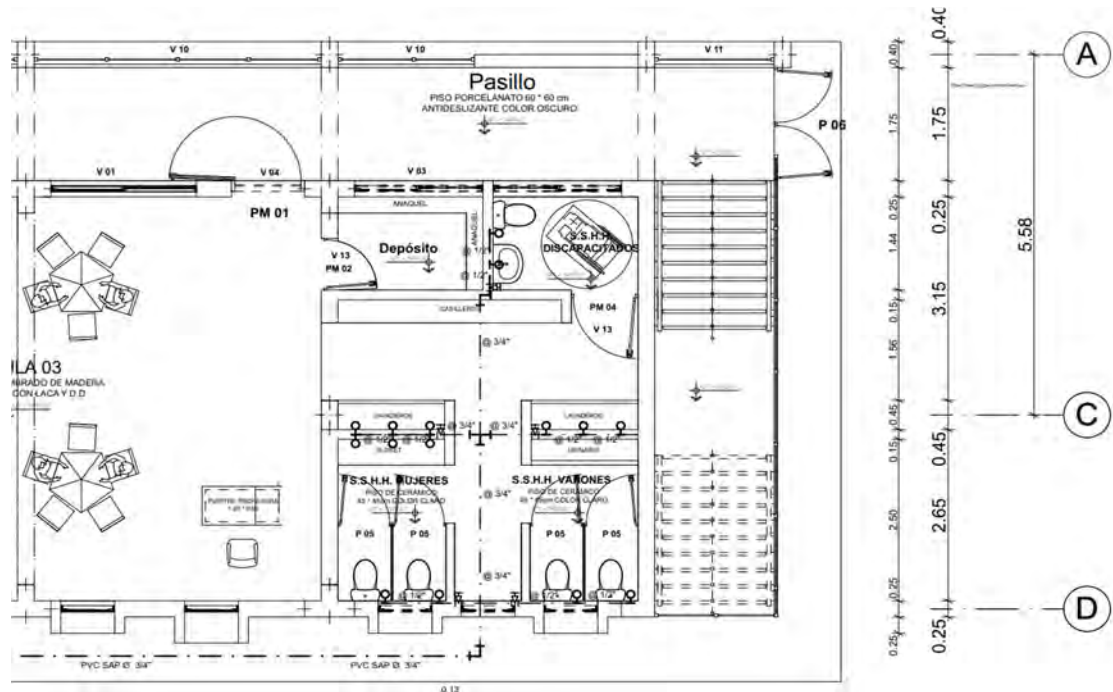
Acotación 2:

Para las instalaciones de agua en los urinarios ubicados entre los ejes C-D, ver figura 43 (anexo 1), del plano IS 02 de instalaciones sanitarias, se observó dos incongruencias:

- En primer lugar, se observó el closet a lado izquierdo y el urinario al lado derecho. Sin embargo, en el plano de AR 01 del anexo 01, se observó el closet del lado izquierdo y el urinario del lado derecho, se respetó el plano de arquitectura.
- En segundo lugar, se necesita la altura de los puntos de salida de los diferentes accesorios, se sabe que esto se encuentra normado en la IS 10. Sin embargo, es

necesario colocarlo en cada plano de detalle de instalaciones sanitarias para evitar incompatibilidades con las diferentes especialidades.

Figura 43. Plano IS 02 – anexo 01

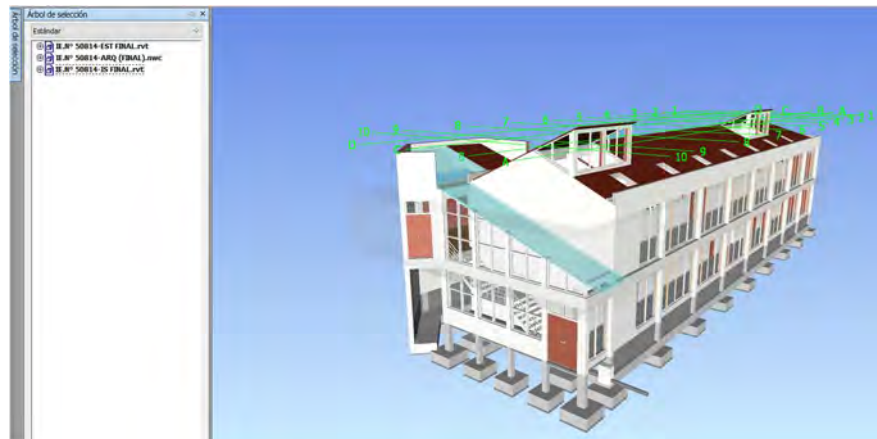


Fuente. E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

5.1.2 Modelo 4D. Navisworks 2021

En primer lugar, el uso del *software* se encargó de unir los diferentes modelos de Revit elaborados de cada especialidad para así lograr obtener las incompatibilidades, visualización constante del proyecto, comunicación entre las partes involucradas y mejora en la toma de decisiones. Para ello, se realizó la importación desde Revit a Navisworks mediante los archivos de formato *NWC*, de esta manera tenemos la vinculación de las tres especialidades modeladas.

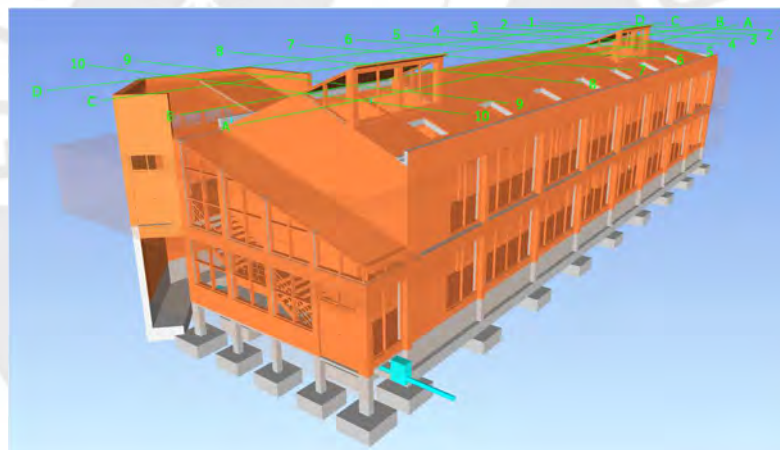
Figura 44. Modelo 3D (Importación de estructuras, arquitectura e instalaciones sanitarias)



Fuente. Propia

En segundo lugar, se le otorgó un color a cada especialidad, ver figura 45, con la finalidad de poner analizar, visualmente, la detección de interferencias.

Figura 45. Compatibilidad de especialidades en *Navisworks Manage*



Fuente. Propia

En tercer lugar, se realizó la detección de interferencias de la siguiente manera.

El análisis de las 3 especialidades en el programa botó conflictos a las colisiones de las diferentes especialidades. Sin embargo, es necesario analizar cada conflicto, durante el análisis observamos lo siguiente.

Por un lado, se tuvo conflictos de las especialidades de estructuras y arquitectura propios de la tolerancia de 0.001m proporcionado al programa Navisworks por los investigadores. Sin embargo, es necesario recalcar que los conflictos fueron propiamente de

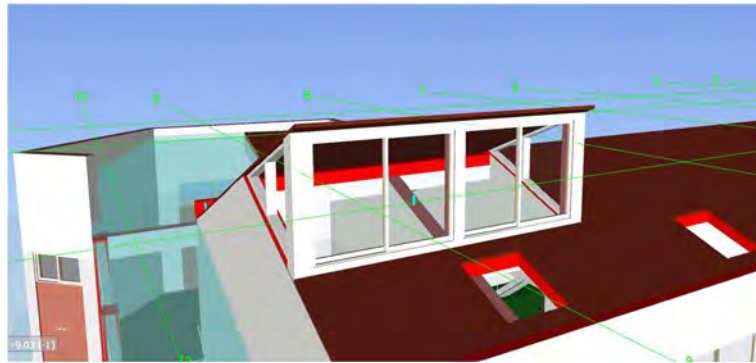
las capas de tarrajeo sobre los elementos estructurales. Por lo que no se consideraría como interferencia de especialidades. Se concluye, que no hubo interferencias significativas entre las especialidades de arquitectura y estructura que originen mayores gastos, demoras o modificaciones en planos.

Por otro lado, se tuvo conflictos de las especialidades de estructuras e instalaciones sanitarias proporcionados del programa Navisworks cuyos resultados se simplifican en los siguientes puntos.

- Hubo interferencias entre las tuberías de desagüe con las losas aligeradas y vigas horizontales. Para el primer caso es permitido en el proceso constructivo, generalmente las tuberías de desagüe van embebidas en las losas. Para el segundo caso no está permitido la colocación de tuberías de desagüe dentro de elementos estructurales como vigas, columnas o placas, esto origina debilitamiento del elemento.
- Hubo interferencias de tuberías de ventilación con las especialidades de estructuras y arquitectura. Por un lado, con la especialidad de estructura se observa que estas tuberías suben del primer al segundo piso por vigas estructurales. Por otro lado, con la especialidad de arquitectura las tuberías terminan saliendo por la zona de iluminación de techo, ver figura 46.
- Hubo interferencias de tuberías de agua potable con elementos estructurales horizontales y verticales. Sin embargo, estas tuberías suelen ser de diámetro pequeño, por lo que podrían pasar por el vaciado de falso piso para evitar su colisión con los elementos estructurales horizontales. Además, se recomienda ser colocadas encima de losas para así tener futuros mantenimientos y evitar dañar la losa.

Por otro lado, se puede colocar codos de 90° o 45° (según sea el caso) para evitar la colisión con vigas y elementos estructurales verticales, ya que esto origina debilitamiento en estos.

Figura 46. Interferencia de tubo de ventilación con viga estructural inclinada y salida hacia zona de iluminación de techo



Fuente. Propia

Finalmente, una vez obtenido el análisis de interferencias de las tres especialidades, se procedió a realizar el metrado de estas para posteriormente implementar las herramientas de la metodología *Lean Construction* (sectorización y tren de actividades)

5.1.2.1 Sectorización y tren de actividades

El régimen laboral de trabajadores de construcción civil se rige bajo la Ley N° 28806, Ley General de Trabajo en el Sector Construcción, que consolidó las siguientes características:

Tabla 3. Jornada Laboral Sector Construcción

HORARIO	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
7:30 a.m – 12:00 p.m	X	X	X	X	X	X
12:00 p.m – 1:00 p.m	-	-	-	-	-	X
1:00 p.m – 5:00 p.m	X	X	X	X	X	

Fuente. Ley N°28806

Con 8.5 h/día, de lunes a viernes y sábado de 5.5h, dando un total de 48h semanales.

Sin embargo, para la metodología *Lean Construction*, es el siguiente:

Tabla 4. Jornada Laboral *Lean Construction*

HORARIO	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
7:30 a.m – 12:00 p.m	X	X	X	X	X
12:00 p.m – 1:00 p.m	-	-	-	-	-
1:00 p.m – 5:00 p.m	X	X	X	X	X

Fuente. *LCI*

Con un total de 8.5 h/día, total de lunes a viernes 42.5h y una sobre productividad del 13%.

Entonces, para el tren de actividades se tomó como avance de mano de obra de lunes a viernes, según tabla. Por otro lado, el sábado no es considerado como un día de avance pues el horario de trabajo es solo de 5.5h, por lo que es usual que el sábado no entre dentro del tren de actividades y sea usado como buffer.

Por lo expuesto, es necesario pactar con los obreros que produzcan de lunes a viernes en 42.5h lo que deberían de hacer de lunes a sábado en 48h, con la finalidad de realizar el avance previsto durante la semana.

Entonces, se les pagará por la productividad de 48h laborados en 42.5h, esto origina una sobre productividad de $48/42.5 = 113\%$. En adición, las horas pagadas serán las mismas de 48h, es decir, $48/5 = 9.6$ h pagadas diarias por 8.5 h de trabajo y sobre productividad de 13%. Para el cálculo de rendimientos en la metodología *Lean* se tomará como base los mismos del ACU 's del Expediente Técnico.

Una vez calculado los rendimientos para los días útiles en obra, procederemos a detallar el procedimiento para llevar a cabo la herramienta de sectorización y tren de actividades del *Lean*.

Figura 47. Pasos clave para una correcta sectorización



Fuente: Brioso (2023)

Para el inicio de la sectorización, se utilizó el metrado de las partidas elaboradas en el modelo Revit de la especialidad de estructuras y arquitectura. Se propuso los siguientes números de sectores tentativos; 3 SECTORES para estructuras, 3 SECTORES para arquitectura.

Se calculó el metrado por sector de las dos especialidades (estructuras y arquitectura). Para ello, se utilizó el programa Revit, el cual facilita obtener el metrado por sector de las especialidades de estructuras y arquitectura. Se analizó las limitantes de las especialidades:

– **Para estructuras: Vaciado con uso de trompo**

El uso de mezcladora de trompo concreto 9P3, produce una cantidad menor a la usada con mixers y adicionalmente tiene diferentes rendimientos para los diferentes elementos estructurales, ver figura 48. Otro motivo se debe a que la partida no incrementa su avance por más que se coloque más cuadrillas, ya que depende de la maquinaria a usar y por ser una zona de difícil acceso se consideró únicamente el uso de una mezcladora trompo, no es muy usada por su poca productividad en obra.

– **Para arquitectura: Asentado de ladrillos**

El asentado de ladrillos tiene una limitante, está dado por la norma E.070 de albañilería, que indica como máximo una altura de asentado de 1.30m por día. Por ello, se tuvo que analizar

la cantidad máxima de rendimiento con la metodología *Lean Construction* de muro de ladrillo obtenido con ayuda del Expediente Técnico, donde se obtuvo un rendimiento de 7.91m²/día para muro de ladrillo tipo cabeza y 11.3m²/día para muro de ladrillo tipo sogá. Posteriormente, se realizó la sectorización por piso tentativo, donde se analizó la necesidad de 3 cuadrillas para el avance de habitaciones por sector de tal manera que existe un avance continuo.

A continuación, se muestra un resumen del anexo 05 de los rendimientos de algunas partidas de las especialidades de estructuras y arquitectura.

Figura 48. Rendimientos tradicionales y rendimientos *Lean Construction* para estructura

Item	Actividad	Unidad	Rendimiento	Rendimiento LEAN
02.02.02.01	SOLADO PARA ZAPATAS E=4" MEZCLA 1:10 CEMENTO - HORMIGON	m2/DIA	80	96
02.02.02.02	Cimiento corrido C:H 1:10 + 30% PG	m3/DIA	18	21.6
02.02.02.03	CONCRETO 1:8+25% PARA SOBRECIMENTOS	m3/DIA	12	14.4
02.02.02.04	ENCOFRADO Y DEENCOFRADO EN SOBRECIMENTOS	m2/DIA	12	14.4
02.02.03.01.01	CONCRETO EN ZAPATAS f _c =210kg/cm ²	m3/DIA	18	21.6
02.02.03.01.02	ACERO f _y =4,200 kg/cm ² GRADO 60 - ZAPATAS	kg/DIA	300	360
02.02.03.02.01	CONCRETO EN VIGA DE CIMENTACION f _c =210 kg/cm ²	m3/DIA	15	18
02.02.03.02.02	ENCOFRADO Y DEENCOFRADO NORMAL EN VIGAS DE CIMENTACION	m2/DIA	10	12
02.02.03.02.03	ACERO f _y =4,200 kg/cm ² GRADO 60 - VIGAS DE CIMENTACION	kg/DIA	300	360
02.02.03.03.01	CONCRETO EN SOBRECIMIENTO REFORZADO f _c =175kg/cm ²	m3/DIA	10	12
02.02.03.03.02	ENCOFRADO Y DEENCOFRADO EN SOBRECIMIENTO REFORZADO	m2/DIA	10	12
02.02.03.04.01	CONCRETO EN COLUMNAS f _c =210kg/cm ²	m3/DIA	6	7.2
02.02.03.04.02	ENCOFRADO Y DEENCOFRADO NORMAL EN COLUMNAS	m2/DIA	12	14.4
02.02.03.04.03	ACERO f _y =4,200 kg/cm ² GRADO 60 - COLUMNAS	kg/DIA	300	360
02.02.03.04.04	CONCRETO EN COLUMNETAS f _c =210kg/cm ²	m3/DIA	6	7.2
02.02.03.04.05	Encofrado y desencofrado normal en columnetas	m2/DIA	12	14.4
02.02.03.04.06	Acero f _y =4,200 kg/cm ² grado 60 - columnetas	kg/DIA	300	360
02.02.03.05.01	CONCRETO EN VIGA f _c =210 kg/cm ²	m3/DIA	10	12

02.02.03.05.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL EN VIGAS	m2/DIA	10	12
02.02.03.05.03	ACERO fy=4,200 kg/cm2 GRADO 60 - VIGAS	kg/DIA	300	360
02.02.03.05.04	Concreto en viguetas fc=210kg/cm2	m3/DIA	10	12
02.02.03.05.05	Encofrado y desencofrado normal en viguetas	m2/DIA	10	12
02.02.03.05.06	Acero fy=4,200 kg/cm2 grado 60 - viguetas	kg/DIA	300	360
02.02.03.06.01	CONCRETO EN LOSA MACIZA fc=210 kg/cm2	m3/DIA	10	12
02.02.03.06.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL EN LOSA MACIZA	m2/DIA	6	7.2
02.02.03.06.03	ACERO fy=4,200 kg/cm2 GRADO 60 - LOSAS MACIZAS	kg/DIA	300	360
02.02.03.07.01	Losa aligerada - Concreto fc=210 kg/cm2	m3/DIA	20	24

Fuente. E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Figura 49. Rendimientos tradicionales y rendimientos *Lean Construction* para arquitectura

	Rendimiento	Rendimiento LEAN
MURO DE LADRILLO CABEZA	7	7.91
MURO DE LADRILLO SOGA	10	11.3
TARRAJEO PRIMARIO	15	16.95
TARRAJEO INTERIORES	12	13.56
TARRAJEO EXTERIORES	10	11.3
CONTRAPISO	80	90.4
PISO CERAMICO 45*45 COLOR CLARO	8	9.04
PISO DE PARQUET 6X30 CM CON ENCERADO	7.9	8.927
PISO CESPED SINTETICO 18mm	50	56.5
PISO DE PORCELANATO 60*60 ANTIDESLIZANTE COLOR OSCURO	16	18.08
CIELORRASO CON YESO	12	13.56
CIELORRASO CON ENCHAPE DE MADERA	9	10.17
ZOCALO	11	12.43
CONTRAZOCALO	40	45.2
COBERTURA	8	9.04
PINTURA INTERIOR	30	33.9
PINTURA EXTERIOR	30	33.9
IMPRIMACION	70	79.1
PUERTA DE MADERA	1	1.13
BARANDA	5	5.65
PUERTA CON MARCO DE ALUMINIO Y VIDRIO INCOLORO DE 6mm	1	1.13
VIDRIOS	1	1.13
VENTANA	10	11.3

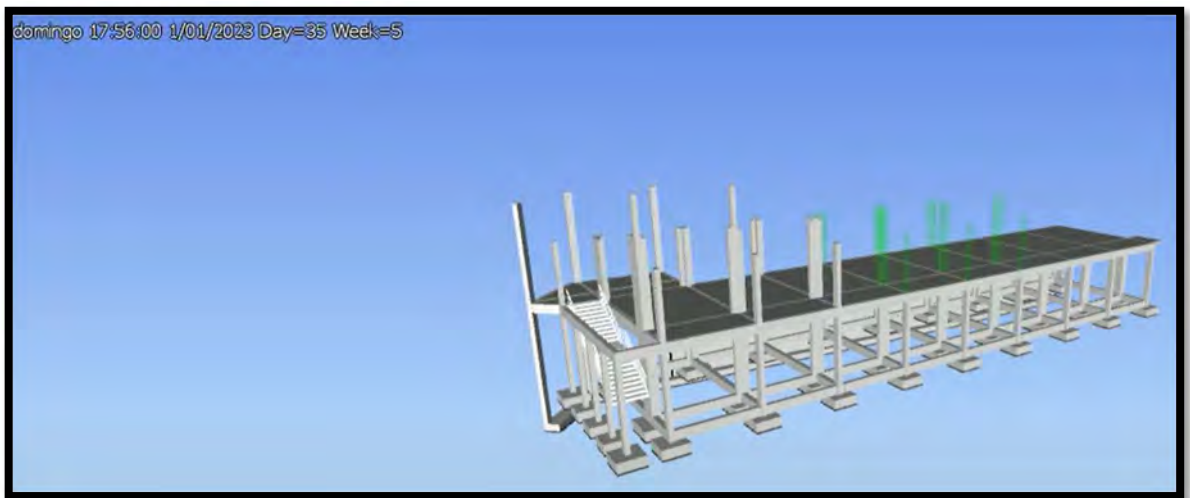
Fuente. E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Se balanceó los recursos de tal manera que haya similar metrados y trabajadores por sector. Luego de ello, se realizó el tren de actividades según el proceso constructivo para las especialidades de estructura y arquitectura.

Con los cronogramas totales de ejecución se procedió a analizar y empezar a realizar la modelación 4D. El uso de *software* Navisworks para el 4D se encargó de la simulación del

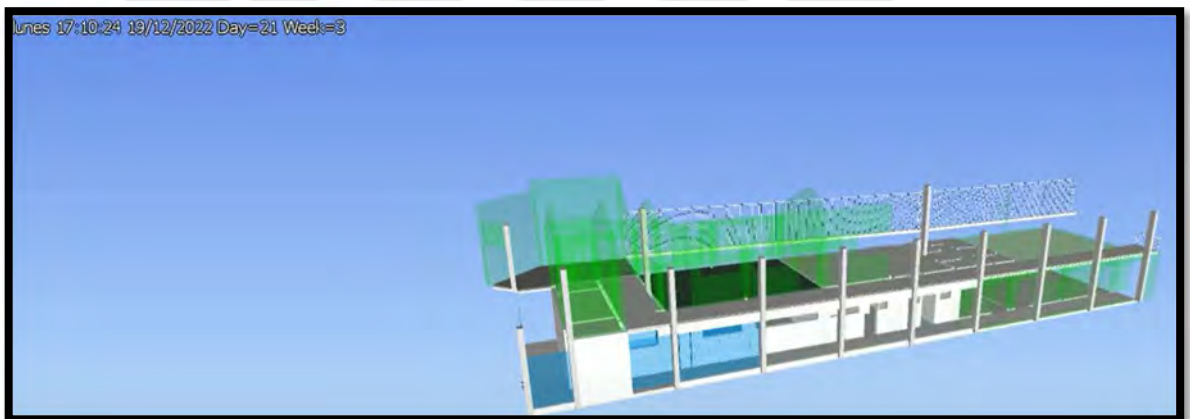
proceso de construcción de manera dinámica (mediante un video) de estructuras y arquitectura, de acuerdo a programación que se realizó, esto con el objetivo de exponer a los interesados el avance del proyecto de una manera más entendible. En esta simulación se aplicó la mejor sectorización y tren de actividades de las herramientas de la metodología *Lean Construction*. El modelo 4D se muestra a continuación:

Figura 50. Modelo 4D – Estructuras



Fuente: Propio

Figura 51. Modelo 4D – Arquitectura



Fuente: Propio

5.1.3 Modelo 5D. Delphin 360

El modelado 5D se trabajó en conjunto con el modelado 3D en Revit. A continuación, se explicará el procedimiento a seguir para el modelado:

En primer lugar, debido a que esta es una tesis comparativa, utilizamos el Delphin (*Software* para el uso de Modelado 5D dentro de la metodología *BIM*), para obtener el presupuesto de la obra total, para ello seguimos el siguiente procedimiento:

De la lista de insumos se obtuvo los precios de lista de insumos, ver figura 51, los cuales fueron los siguientes recursos:

- Mano de obra
- Materiales
- Equipos, maquinarias y herramientas
- Subcontratos

Figura 52. Lista de insumos (extracción del E.T)

Precios y cantidades de recursos requeridos					
Obra	0301057	MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SERVICIO EDUCATIVO DEL NIVEL INICIAL DE LA I.E. N° 50814 DE LA COMUNIDAD CAMPESINA SUNCCO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - PROVINCIA DE CUSCO - DEPARTAMENTO DE CUSCO			
Fecha	01/09/2020				
Lugar	080104	CUSCO - CUSCO - SAN JERONIMO			
Código	Recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
MANO DE OBRA					
0147000032	TOPOGRAFO	hh	67.7100	14.74	998.10
0147000039	OPERARIO	hh	12,383.3700	17.58	217,699.62
0147010003	OFICIAL	hh	5,153.3900	13.85	71,374.45
0147010004	PEON	hh	13,404.7500	12.43	166,621.06
					456,693.23
MATERIALES					
0202000004	ALAMBRE GALVANIZADO # 16	ka	0.6600	6.00	3.95
0202000007	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO # 16	ka	2,596.6100	4.00	10,386.45
0202000008	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO # 8	ka	903.9900	5.00	4,519.93
0202010003	CLAVOS PARA MADERA C/C 2"	ka	0.1600	4.50	0.74
0202010005	CLAVOS PARA MADERA C/C 3"	ka	870.9200	4.00	3,483.69
0202010007	CLAVOS PARA MADERA C/C 4"	ka	140.0400	6.00	840.21
0202040009	ALAMBRE NEGRO N°16	ka	82.0900	6.00	492.57
0202040010	ALAMBRE NEGRO N°8	ka	2.2800	6.00	13.65
0202130034	SOPORTE METALICO ICLUY ACESORIOS DE FIJACION	und	10.0000	48.00	480.00

Fuente. E.T de la Municipalidad de Cusco – San Jerónimo (2022)

Esta lista fue exportada al Delphin para posteriormente elaborar los ACU's

Para la elaboración de ACU's se copió los nombres de cada partida, cantidad de recursos, códigos y rendimientos.

En segundo lugar, una vez elaborado los ACU's en el programa Delphin se procedió a elaborar el presupuesto de las componentes del proyecto.

Finalmente, se obtuvo un presupuesto final de costo directo, el cual será utilizado para las comparaciones respectivas en el análisis de la tesis.

5.1.3.1 Inconvenientes durante el modelado

Acotación 1:

Temas de Índices Unificados: Se enlazó cada elemento a un índice unificado de acuerdo “DICCIONARIO DE INSUMOS DE LA CONSTRUCCIÓN INEI 2015”, con la finalidad que la formula polinómica de cada valorización y liquidación sea más sencilla de realizar.

Además, se observó que cada existía elementos dentro de la relación de insumos con índice unificado diferente al diccionario. Se procedió a verificarse y corregirse cada elemento dentro de la tabla de insumos.



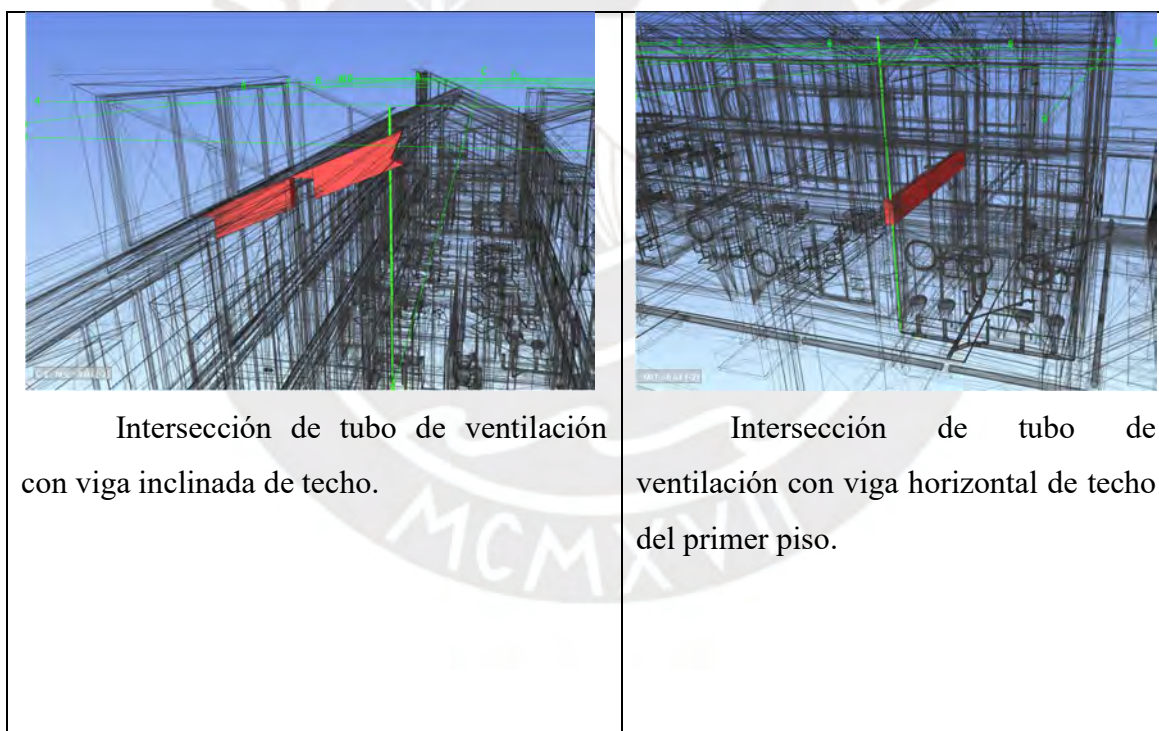
CAPITULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

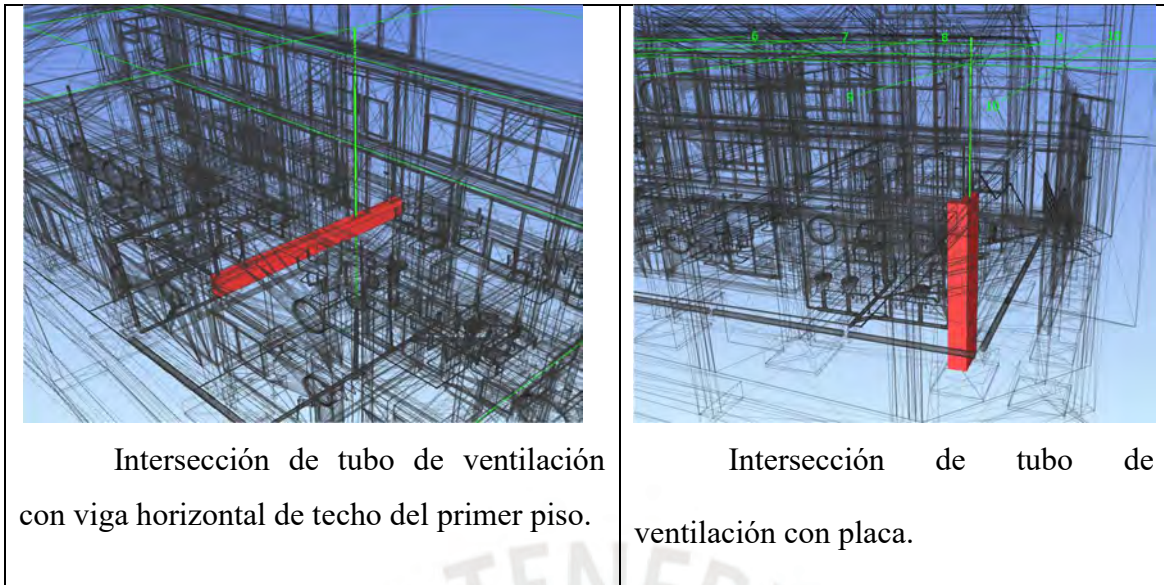
6.1 Resultados

Luego de analizar los inconvenientes de cada especialidad en el “capítulo 5. Propuesta de implementación”, se procedió a realizar el análisis de modelado federado, en este se vinculó las especialidades de arquitectura, estructuras e instalaciones sanitarias con ayuda del *software* Navisworks. En este programa se logró la detección de incompatibilidades, ver anexo 07, las cuales fueron:

- La tubería de ventilación de los baños del primer y segundo piso suben intersecando placas, vigas horizontales e inclinadas (ver figura 53), lo cual constructivamente es incorrecto, ya que origina debilitamiento en el elemento estructural.

Figura 53. Modelo 3D – Interferencia de Estructuras e Instalaciones

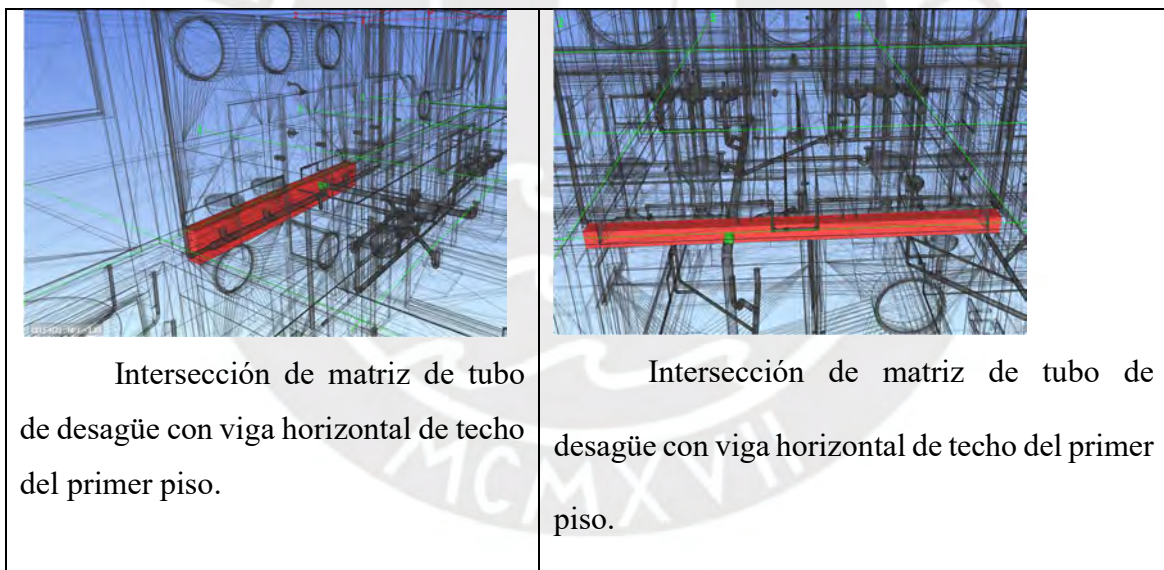




Fuente. Propia

- La tubería de matriz de desagüe del segundo piso del baño que se conecta hacia el primer piso tiene interferencia con una viga estructural, ver figura 54.

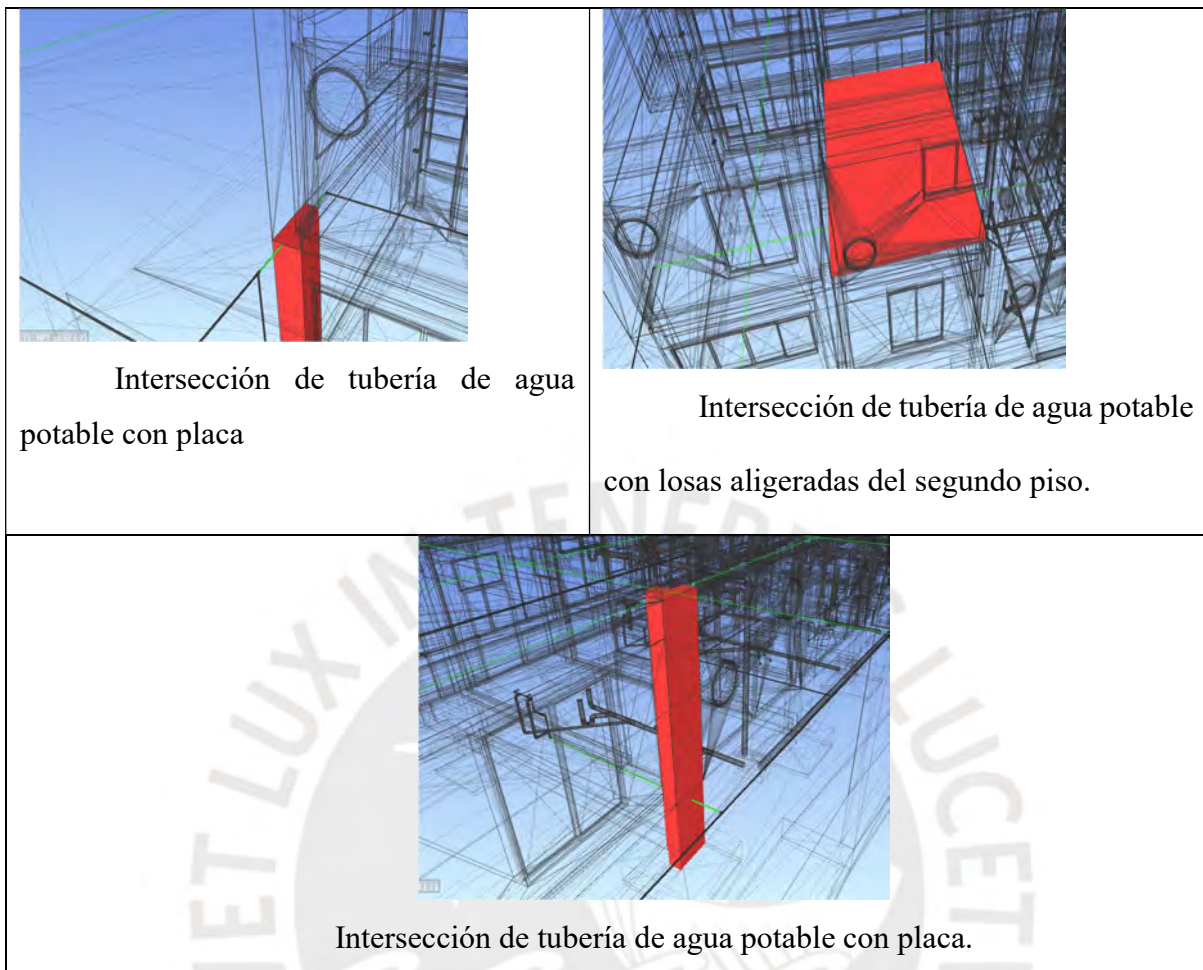
Figura 54. Modelo 3D – Interferencia de Estructuras e Instalaciones



Fuente. Propia

- Las tuberías de agua potable intersecan a elementos estructurales verticales y horizontales, ver figura 55.

Figura 55. Modelo 3D – Interferencia de Estructuras e Instalaciones



Fuente. Propia

- Usando las herramientas de sectorización y tren de actividades, de la metodología *Lean Construction*, con los metrados actualizados del modelado de las especialidades de estructuras, arquitectura e instalaciones sanitarias, de la metodología *BIM*, se logró reducir el cronograma inicial de 129 días calendarios a 112 días calendarios, con un total de reducción de 17 días calendarios, ver anexo 07.
- En la etapa del modelado 5D se obtuvo una variación de presupuesto de los modelos realizados de las especialidades de estructuras, arquitectura e instalaciones sanitarias, ver anexo 08. Finalmente se tiene los siguientes datos:

Tabla 5. Tabla comparativa entre el presupuesto del expediente técnico y el presupuesto *BIM* a Costo Directo

PRESUPUESTO DEL EXPEDIENTE TECNICO		PRESUPUESTO <i>BIM</i>		DIFERENCIA
ESTRUCTURAS	S/. 529,792.26	ESTRUCTURAS	S/. 434,613.85	S/. 95,178.41
ARQUITECTURA	S/. 330,254.87	ARQUITECTURA	S/. 469,167.46	S/. - 138,912.59
INSTALACIONES SANITARIAS	S/. 32,507.52	INSTALACIONES SANITARIAS	S/. 31,396.70	S/. 1,110.82
MURO DE CONTENCIÓN	S/. 141,332.16	MURO DE CONTENCIÓN	S/. 66,014.82	S/. 75,317.34
TOTAL	S/. 1,033,886.81	TOTAL	S/. 1,001,192.83	S/. 32,693.98

Fuente: Propia

Se obtuvo un ahorro de presupuesto para la especialidad de estructuras de S/. 95,178.41 nuevos soles, para la especialidad de arquitectura un aumento de S/.138,912.59 nuevos soles, para instalaciones sanitarias un ahorro de S/.1,110.82 y para el armado de muro de contención un ahorro de S/. 75,317.34. Finalmente hubo un ahorro total de S/.32,693.98 para la suma de las tres especialidades.

6.2 Discusión de Resultados

En el modelado 3D con ayuda del Revit, se observó lo siguiente:

En el modelado de arquitectura, estructuras e instalaciones sanitarias se obtuvieron incongruencias entre los planos en 2D (AutoCAD), las que se tuvieron que resolver mediante el orden de prelación: El primer orden a los planos; el segundo a las especificaciones técnicas; el tercero a la memoria descriptiva; y el cuarto orden al presupuesto de obra.

En la elaboración del modelo 3D en Revit, se alertó que la losa de concreto armado de la rampa peatonal no estaba definida; es decir, no se encontraba el plano de estructura de esta,

por lo que no pudo ser modelada, esto originará variaciones en cuanto a tiempo y costos significativos en el proyecto durante su ejecución.

En estructuras se tuvo incoherencias en las siguientes partidas: Sobrecimientos, parapetos y columnetas. Estas tres partidas no fueron modeladas, a excepción de los sobrecimientos, los cuales tuvieron que ser modificados por el error de altura total proporcionado de los metrados, ver capítulo 5.1.1.1.1. Inconvenientes durante el modelado de estructuras, Inconveniente 3, donde indica una altura total de cimiento de 2.35m, la que tuvo que ser modificada a 1.3m para que mantenga coherencia con el nivel de piso terminado del primer piso y la altura de mamparas del pasadizo.

En el análisis de interferencias del modelado 3D de estructuras, arquitectura e instalaciones sanitarias, se observó lo siguiente:

No hubo interferencias significativas entre los planos de estructuras y arquitectura. Sin embargo, hubo un tema de debate por el alfeizar de la ventana V-09 del segundo piso con una altura de 2.15m, fue eliminada porque no guardaba relación con las demás mamparas. Finalmente, en la elaboración del modelado, se analizó que lo más óptimo ante este problema era colocar muros de tabiquería en el pasadizo del primer y segundo piso hasta una altura de 1.8m y sobre estos la instalación de ventanas para una correcta iluminación, con esto garantizamos la seguridad para los niños, evitar posibles accidentes y una correcta iluminación.

Hubo interferencias en estructuras e instalaciones sanitarias. En primer lugar, en la colisión de tuberías de ventilación con elementos estructurales verticales y horizontales. En segundo lugar, las tuberías de desagüe del segundo piso, las cuales colisionan con una viga estructural horizontal. Por último, interferencias de las tuberías de agua potable que se encontraban colisionando con elementos estructurales verticales y horizontales.

Hubo interferencias en arquitectura e instalaciones sanitarias. Principalmente, en la colisión de tuberías de ventilación con las dos salidas de iluminación de la losa de techo.

Primero, se realizó la sectorización tentativa (3 sectores para las especialidades de arquitectura y estructura). Luego, se desarrolló el tren de actividades según los rendimientos *Lean Construction* calculados en las figuras 48 y 49. Finalmente, se terminó eligiendo la sectorización con 3 sectores pues es eficiente debido a lo siguiente:

El proyecto es pequeño para realizar más de 3 sectores, pudimos afirmar esta premisa con la obtención de metrados del Revit, desarrollo de tren de actividades, rendimiento por partida, cantidad de cuadrillas por sector y partida, área de trabajo. Donde nos dimos cuenta que el aumentar sectores, originaría aumento de personal innecesario para las áreas de trabajo.

Finalmente, el cronograma propuesto por las 3 sectorizaciones resulta menor en 17 días de ejecución, considerando en el tren de actividades para las especialidades de arquitectura y estructura.

Los metrados generados del modelado de las especialidades de estructuras, arquitectura e instalaciones sanitarias varían con los metrados que comparte el Expediente Técnico.

Para estructuras:

En la modelación hubo incongruencias con los cimientos corridos, se tuvieron que eliminar las partidas:

02.02.02.02 Cimiento corrido C:H 1:10 + 30% PG

02.02.02.03 CONCRETO 1:8+25% PARA SOBRECIMIENTOS

02.02.02.04 ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN SOBRECIMIENTOS

Y se modeló la siguiente partida:

02.02.03.03.01 CONCRETO EN SOBRECIMIENTO REFORZADO $f'c=175\text{kg/cm}^2$

Con una altura de 1.30m, con la que había concordancia durante el modelado para la tabiquería de los ambientes del primer piso.

La falta de información de columnetas originó que no fueran modeladas. Sin embargo, para mantener una comparativa con el Expediente Técnico, en cuanto a presupuesto, decidimos dejar el metrado de esta.

La losa maciza de la zona de recepción del segundo piso no se encuentra en el presupuesto, por lo que fue agregada en la partida 02.02.03.06 LOSA MACIZA P/CANALETA BORDE LOSA. Por ello, en nuestro nuevo presupuesto existe un aumento presupuestal significativo en esta partida.

Se decidió colocar el metrado de las viguetas junto con la losa aligerada, ya que ambos elementos dependen uno del otro.

La partida 02.02.03.08 PARAPETOS DE CONCRETO, indica parapetos de 0.1m de espesor y 0.5m de altura que se encuentran en todos los ejes horizontales y verticales, los cuales no guardan coherencia con el modelado, por lo que no fueron contemplados.

Para arquitectura:

La partida 02.03.02.01 TARRAJEO RAYADO PRIMARIO, MORTERO C:A 1:5 EN SUPERFICIE NUEVA fue eliminada ya que se repite en las partidas:

03.02.02 TARRAJEO EN MURO INTERIOR SUPERFICIE NUEVA

03.02.03 TARRAJEO EN MURO EXTERIOR SUPERFICIE NUEVA

03.02.01 TARRAJEO EN COLUMNAS (INC. VESTIDURA DE ARISTA)

03.02.05 TARRAJEO DE VIGAS (INC. VESTIDURA DE ARISTA)

CAPITULO 7. PROPUESTA DE VALOR

CRITICA DE TESISISTAS

Durante el uso de las herramientas *BIM* y *Lean Construction* utilizadas en el estudio de caso en la etapa de planificación se aporta las siguientes mejoras o ampliaciones para futuras investigaciones

En el modelado 3D, existió un nivel de *LOD 300*; sin embargo, se puede realizar un modelado a nivel superior (*LOD 500*). Para obtener una mejor gestión de recursos durante la ejecución del proyecto. Finalmente, con el modelado 500 se puede adquirir datos de fabricante de insumos, fichas técnicas, y detalles específicos durante el proceso constructivo, siendo una mejora para la absolución de consultas del profesional encargado de la ejecución de la obra.

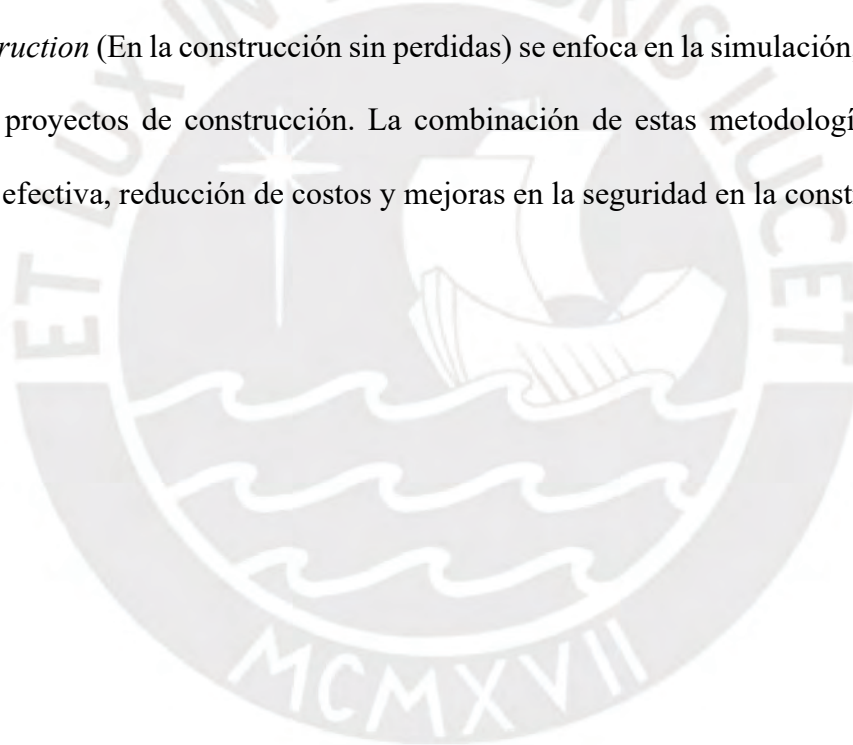
En el modelado 4D, que se realizó con la interpolación de la sectorización y tren de actividades, ayudarán a tener un mejor control de plazo de ejecución física de obra, numero de personal total en obra, numero de cuadrillas necesarias, rendimientos y adquisición de materiales. Sin embargo, es necesario el uso de las herramientas *Last Planner System* y *Lookahead*, estas herramientas proporcionan una mejora continua durante la ejecución de la obra, donde su objetivo es obtener el control del avance diario y semanal de partidas a ejecutar y así llevar un mejor control de ejecución, generando una distribución ordenada de cuadrillas diarias, control de rendimientos y la prevención de riesgos.

Este trabajo de investigación se basó en comparar cuantitativamente la metodología tradicional respecto a nuevas metodologías *BIM* y *Lean Construction* en la etapa inicial del proyecto. No obstante, este estudio podría obtener mejores y variados resultados en la etapa de ejecución pues se tendría un mejor control de tiempo y costos con relación a los inconvenientes que podría pasar dentro de una obra.

El uso de los modelos *BIM* en el estudio de caso servirán de base para la elaboración de un Plan de Ejecución *BIM* (PEB), este documento proporciona un marco de referencia y

requisitos para la implementación *BIM* de un proyecto, donde se aborda no solamente la implementación de herramientas *BIM*, sino el alcance, procesos, los roles y responsabilidades de las partes involucradas del proyecto, de esta manera se asegura que los participantes sean eficientes y eficaces.

La implementación de herramientas *Lean Construction* a las herramientas *BIM* proporciona una mejora en la elaboración de un proyecto de construcción. Sin embargo, esta integración de herramientas mejoraría con la implementación del *Virtual Design and Construction (VDC)*, esta metodología que abarca la metodología *BIM* (enfoque en la generación y gestión de modelos digitales, datos integrados y colaboración multidisciplinaria) y *Lean Construction* (En la construcción sin pérdidas) se enfoca en la simulación, planificación y gestión de proyectos de construcción. La combinación de estas metodologías ofrece una colaboración efectiva, reducción de costos y mejoras en la seguridad en la construcción.



CAPITULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Se observó lo conveniente que implica la implementación de herramientas *BIM* durante la fase de planificación para todo proyecto de construcción, pues con este se puede advertir una gran parte de los errores que puedan existir en un expediente técnico, como son los siguientes:

Incompatibilidades entre los planos de las diferentes especialidades. El programa Navisworks, junto con Revit, nos permitió identificar incompatibilidades entre las especialidades del proyecto, lo cual sirvió para programar consultas desde un inicio de obra a las diferentes especialidades, esto conlleva a un mejor control del proyecto y evitar posibles problemas durante la ejecución de la obra, así como la creación de partidas nuevas, deductivos o mayores metrados, lo cual se traduce en pérdidas monetarias en el proyecto.

La eficiencia de usar un modelo 3D durante el proceso de elaboración de un expediente técnico conllevaría que todos los planos de cortes, elevaciones, plantas, etc., sean extraídos de un solo modelo, lo cual conlleva a evitar la pérdida de información de detalles, por ende, retrasos durante la ejecución.

La obtención de metrados de los modelados reduce significativamente el error de medrado por especialidad. Además, se el *software* Revit permite la visualización de los metrados seleccionados, por ende, proporciona un presupuesto más cercano a la realidad.

El modelo 5D nos permitió tener una mejor gestión de la información del proyecto. Esto se debe a la vinculación del análisis de precio unitario con el medrado total de cada partida. Esto permite que cada cambio en el medrado se vea reflejado en el presupuesto total de la obra.

El uso de la sectorización y tren de actividades nos ayudó a elaborar un cronograma más eficaz y eficiente para un correcto control del avance de la obra. Lo que conlleva a mejoras en los procesos, mantiene un flujo continuo y agrega valor económico al proyecto, a continuación, se detalla las mejoras:

La sectorización nos permitió generar un cronograma con un tiempo menor al del plazo de ejecución. Además, ayudó en la planificación de contratación de personal y conformación de cuadrillas para obtener un mejor control de rendimientos y de esta manera obtener mayores beneficios de tiempo y costo.

La visualización del avance del tren de actividades para la sectorización propuesta permite un mejor entendimiento para el ejecutor.

El presupuesto obtenido del modelo 5D proporcionó una disminución del presupuesto total, para las especialidades de estructuras, arquitectura e instalaciones sanitarias. Esta disminución de presupuesto garantiza un mejor control de metrados, personal, tiempo y calidad para la ejecución de la obra.

Finalmente, se puede concluir a nivel general que el uso de la integración de las herramientas *BIM* y *Lean Construction* permiten mejorar considerablemente la elaboración de un expediente técnico. El análisis de esta investigación muestran que, durante la etapa de planificación, se tiene lo siguiente: mejora la compatibilización de las diferentes especialidades de un proyecto, optimiza las actividades que agregan valor al proyecto mediante la sectorización y tren de actividades, lo que conllevó a una reducción de ejecución de obra en 17 días y finalmente hubo un ahorro de costos de S/.32,693.98 (treinta y dos mil seiscientos noventa y tres con 98/100 soles) para la suma de las tres especialidades.

RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso de Revit para la planificación de todo proyecto. Los detalles de los diferentes planos generalmente se encuentran dispersos, según el criterio de cada proyectista, esto origina durante la ejecución una posible pérdida de información de detalles.

Es necesario cumplir la programación del tren de actividades, producto de la sectorización, ya que todas las actividades son consideradas ruta crítica, por ende, la demora o paralización de una de ellas conlleva retrasos para la finalización de la obra.

Existen partidas cuyos rendimientos son superiores al metrado total, por lo que podrían ser elaboradas en un solo día sin la necesidad de ser sectorizadas.

Se tiene que administrar correctamente la cantidad de sectores pues un tren de trabajo puede llegar a ser inviable, colocar mayor cantidad de cuadrillas para concluir un sector más rápido no siempre es la mejor opción, hay que analizar otros factores como: Área libre de trabajo, trabajos previos y posteriores de cada partida a ejecutar, rendimientos calculados por partida y limitantes durante la ejecución de actividades, estas últimas fueron analizados para las especialidades de estructuras y arquitectura.

Se recomienda que los procesos de licitación empiecen a usar parte de la metodología *BIM*, es decir, que los concursantes presenten sus propios modelos 3D, 4D y 5D para así poder detectar cualquier error durante los procesos de elección

El uso de herramientas *BIM* y *Lean Construction* no son obligatorias y, más aún, son herramientas ajenas en una gran parte de constructoras por diversos motivos: resistencia al cambio, adaptabilidad de proyectos con un nuevo personal capacitado en las metodologías y miedo a pérdidas económicas, debido a que la mayoría de empresas lleva mejor manejo y control con la metodología tradicional. Este problema debe ser resuelto pues el Plan *BIM* Perú, que ya está siendo ejecutado desde el 2021, obligará a las empresas a usar dichas herramientas para el año 2030. Un número considerable de empresas tendrán problemas de transición de una metodología a otra. Esta tesis está enfocada en analizar ambas metodologías, dar resultados cuantitativos, con la finalidad de otorgar a futuras investigaciones una base de la mejora continua del uso de las nuevas metodologías, ya que el sector construcción lleva consigo una metodología tradicional que no ha variado significativamente durante muchos años. De esta manera, podemos aportar que el uso de estas herramientas ayuda significativamente durante la vida de un proyecto.

Es importante la unificación de los programas de modelado. Si bien es cierto, actualmente el mercado proporciona una infinidad de programas que ayudan en la elaboración de las metodologías *BIM* y *Lean Construction*, se utilizó los programas que lideran el mercado de AutoDesk, esto se debe a la compatibilidad de *softwares* que facilita el trabajo de las metodologías mencionadas.



BIBLIOGRAFÍA

- Alarcon, L., & Salvatierra Garrido, J. L. (2017). *Lean Construction: Manual Práctico de Herramientas de Mejoramiento de Construcción*. Lima: Centro de Excelencia en Gestión de la Producción - GEPUC.
- Allen, C., & Shakantu, W. (2016). The BIM revolution: a literature review on rethinking the business of Construction. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 204, 919-930.
- Amjed Naeem, H., & Sawsan M., R. (2019). The Benefits of and Challenges to Implement 5D BIM in Construction Industry. *Civil Engineering Journal*, 5(2), 419.
- Apaza Mango, V. A., Silva Escalante, H. J., & Tagle Ariza, A. F. (2021). *Incumplimiento de plazo y costo por la deficiente elaboración de expedientes técnicos, al no utilizar herramientas de la metodología BIM, en el sector público de la región Arequipa*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). Obtenido de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/659319>
- Autodesk. (27 de Junio de 2022). Autodesk. Obtenido de https://latinoamerica.autodesk.com/products/revit/overview?panel=buy&AID=13955714&PID=8299320&SID=jkp_CjwKCAjwwdWVBhA4EiwAjcYJEBLFwcC5R_0cMSeD1_cm0SXCWB8TjeG3DDjsmuOS_rIxT2qdqrKkKxoCRfUQAvD_BwE&cjev ent=7401b8bcf44211ec8308e58b0a82b832&mktvar002=afc_latam_
- Ballard, G., & Koskela, L. (1998). On the Agenda of Design Management Research. *6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 13-15.
- Bermúdez Sarmiento, C. A., & Quintero García, J. (2021). *Beneficios de la adopción BIM en proyectos de infraestructura vial: una revisión sistemática*. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia.

- Callata Chavarria, G., & Paredes Guevara, C. S. (2021). *Gestion de la construcción y su influencia en la productividad de la mano de obra bajo el enfoque de la filosofía Lean Construction en el edificio Malecón Castilla 241, Magdalena del Mar, 2018-2019*. Lima: Universidad Privada el Norte. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/27541>
- Calvo, J., García, A., García, M. J., Bolivar, I., Barco, D., Blanco, F., . . . Madruga, L. M. (06 de Noviembre de 2022). *buildingSMARTSpain*. Obtenido de buildingSMARTSpain: <https://www.buildingsmart.es/>
- Castro Encalada, J., & Pajares Herrera, J. (2014). Propuesta e implementacion de sectorizacion y trenes de trabajo para acabados interiores bajo la filosogia *Lean Construction*, en obras de construcción de viviendas masivas. *Licenciatura en Ingenieria Civil*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- Chacón, D., & Cuervo, G. (2017). Implementacion de la metodología *BIM* para elaborar proyectos mediante el *software* Revit. *Licenciatura en Ingeniería Civil*. Universidad de Carabobo, Carabobo, Venezuela.
- Chirinos Santander, L. R., & Pecho Llacta, J. C. (2019). *Implementación de la metodología BIM en la construcción del proyectos multifamiliar DUPLO para optimizar el costo establecido*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). Obtenido de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/626030>
- Choclán, F., Soler, M., & Gonzáles, R. J. (2014). Introducción a La Metodología *BIM*. *The Spanish Journal of BIM*, 14, 10. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/284159764>
- Constructivo. (2024). MVCS proyecta invertir S/ 4,534 millones en agua, saneamiento, mejoramiento urbano y vivienda en el 2024. *Constructivo*.

- Crowther, J., & Ajayi, S. O. (2019). Impacts of 4D *BIM* on *Construction* project performance. *International Journal of Construction Management*, 21(7), 724-737. doi:<https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1580832>
- De La Cruz Peralta, K., & Parodi Mendiola, H. (2013). *Análisis situacional de las tecnologías de información aplicadas a los procesos operativos del sector construcción en el Perú*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). Obtenido de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/301243>
- Del Savio, A. A. (2018). Beneficios del *BIM* en la Ingeniería. *El Ingeniero de Lima*(86), 40. Obtenido de <http://www.ciptv.pe/wp-content/uploads/REVISTA.pdf>
- Delphin Express *BIM* 360. (27 de Junio de 2022). *Delphin Express BIM 360*. Obtenido de <https://www.ddbexpress.com/htmls/productos.html>
- Depool, T., Amendola, L., Crespo, J., & Zona, T. (2006). PROPUESTA METODOLÓGICA DE APLICACIÓN DE SIX SIGMA, *LEAN MANUFACTURING* Y TEORÍA DE LAS RESTRICCIONES EN LA DIRECCIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS. *X CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERIA DE PROYECTOS VALENCIA*, 13-15.
- Eastman, C., Teicholz, P., & Sack, R. (2018). *IM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. John Wiley & Sons, Hoboken.
- Eroshkin, S. Y., Kallaur, G. Y., & Papikian, L. M. (2016). Eroshkin SY & Kallaur GY & Papikian LM, (2016). " Construcción ajustada y *BIM*: complementándose entre sí para una mejor gestión de proyectos. *Revision de estudios de economía y negocios*(4), 17-22.

- Espinoza Rosado, J., & Pacheco Echevarría, R. M. (2014). *Mejoramiento de la constructabilidad mediante herramientas BIM*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). doi:10.13140/RG.2.1.4575.8800
- Farfán Tataje, E. Z., & Chavil Pisfil, J. D. (2016). *Análisis y evaluación de la implementación de la metodología BIM en empresas peruanas*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). Obtenido de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/621662>
- Fernández, V. S. (2015). Aplicación de la técnica de línea de avances y gestión de riesgos a un proyecto de edificación en el entorno BIM. *Licenciatura en Ingeniería Civil*. Universidade da Coruña, La Coruña, España. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2183/14213>
- Florez Cajacuri, D. G. (2020). *Interacción entre BIM y Lean Construction analizadas en proyectos de edificación*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/17368>
- Gómez Silva, J. F. (2019). Implementación del Modelo de trabajo colaborativo en base a la metodología Integrated Project Delivery (IPD) en proyectos de construcción de una empresa privada en Arequipa, Perú. *Licenciatura en Ingeniería Civil*. Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú.
- González Guzmán, F. P. (2014). *Beneficios de la coordinación de proyectos BIM en edificios habitacionales*. Santiago: Universidad de Chile. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/116294>
- González Marquez, R. J., Gámez, F., & Severino, M. (2014). Introducción a La Metodología BIM. *The Spanish Journal of BIM*, 14, 10. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/284159764>

- González, V. W., & Lesmes, F. C. (2017). Siete dimensiones de un proyecto de construcción con la metodología *Building Information Modeling*. *L'esprit Ingénieur*, 8(1). Obtenido de <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieur/article/view/1659>
- Guzmán Tejada, A. (2014). *Aplicación de la Filosofía Lean Construction en la Planificación, Programación, Ejecución y control de Proyectos*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/5778>
- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. (1990). *IEEE Standard Computer Dictionary*. Obtenido de IEEE Standard Computer Dictionary: a Compilation of IEEE Standard computer Glossaries.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2022). *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Obtenido de <https://www.gob.pe/inei/>
- Koskela, L. (1992). *Application of the New Production Philosophy to Construction*. California: Universidad de Standford.
- Lean Construction Institute*. (09 de Noviembre de 2022). Obtenido de <https://LeanConstruction.org/Lean-topics/what-is-Lean/>
- Lesmes Fabián, C., & Gonzales, W. R. (2017). Siete dimensiones de un proyecto de construcción con la metodología *Building Information Modeling*. *L'esprit Ingénieur*, 8(1). Obtenido de <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieur/article/view/1659>
- Loyola, M. (2013). *Encuesta Nacional BIM 2013: Informe de Resultados*. Santiago: Universidad de Chile.
- MacLeamy, P. (2004). *Collaboration, integrated information and the project lifecycle in building design, Construction and operation*. The Construction users roundtable (CURT).

- Ministerio de Economía y Finanzas. (2020). *Ministerio de Economía y Finanzas*. Obtenido de <http://www.mef.gob.pe>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2021). *Plan de Implementación y Hoja de Ruta del PLAN BIM PERÚ*. Lima: Invierte.pe.
- Nechyporchuk, Y., & Baskova, R. (2021). The level of detail for 4D BIM modeling. *IOP Publishing*.
- Ortiz Abello, N. (2017). *Herramienta para la integración de LPS y Lean Construction en la planeación y ejecución de un proyecto de construcción*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Oussouboure, G., & Delgado Victore, R. (2017). La asignación de recursos en la Gestión de Proyectos orientada a la metodología BIM. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 11(1), 4. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6450734>
- Palomino Silva, J., Hennings, J., & Echevarria, V. (2017). ANÁLISIS MACROECONÓMICO DEL SECTOR CONSTRUCCIÓN EN EL PERÚ. *Quipukamayoc* 25(47), 95-101. doi:10.15381/quipu.v25i47.13807
- Pons, A. J. (2014). *Introducción a Lean Construction*. Madrid: Fundación Laboral de la Construcción. Obtenido de <http://www.juanfelipepons.com/wp-content/uploads/2017/02/Introduccion-al-Lean-Construction.pdf>
- Rahman, I. A., Karim, A. A., & Memon, A. H. (2013). Significant factors causing cost overruns in large Construction projects in Malaysia. *Journal of Applied Sciences*, 13(2), 286-293.
- Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A., & Owen, R. (2010). Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. *Journal of Engineering and Management*, 136(9), 968-980.

- Saldias Silva, R. O. (2010). *Estimación De Los Beneficios De Realizar Una Coordinación Digital De Proyectos Con Tecnologías BIM. Licenciatura en Ingeniería Civil*. Santiago de Chile: Universidad de Chile. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103904>
- Sologuren Camet, H. (2018). *Implicancias de la revisión del expediente técnico de obra contemplado en el Decreto Supremo N° 344-2018-EF, reglamento de la Ley N° 30225, Ley de Contrataciones del Estado*. Lima: Ius et Tribunalis.
- Stanley, R., & Thurnell, D. (2014). The benefits of, and barriers to, implementation of 5D BIM for quantity surveying in New Zealand. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 14(1), 105-117.
- Taquire Zambrano, I. F. (2019). *Ejecución de expedientes técnicos con deficiencias en la construcción de obras de infraestructura pública – Perú*. Lima: Universidad César Vallejo. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/42469/Taquire_ZIF.pdf
- Vigneault, M. A., Boton, C., Chong, H. Y., & Cooper Cooke, B. (2020). An innovative framework of 5D BIM solutions for Construction cost management: a systematic review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 27(4), 1013-1030.

ANEXOS

Anexo 01: PLANOS DEL EXPEDIENTE TÉCNICO

<https://drive.google.com/drive/folders/1ikgWOxCaBMAGkd7GSoMkJkSN4rkJqJkB>

Anexo 02: METRADOS DEL EXPEDIENTE TÉCNICO

https://drive.google.com/drive/folders/1JcyycHPaWNb_JsnEPChqJEksctJ2W31M

Anexo 03: PRESUPUESTO DEL EXPEDIENTE TÉCNICO

<https://drive.google.com/drive/folders/1aaTzgiJbZJaf9VEXHHMruihO7GZuq6U0>

Anexo 04: CRONOGRAMA DEL EXPEDIENTE TÉCNICO

https://drive.google.com/drive/folders/19vMqQxVj_J6jd7GDoUylx1ZxKfsIRGqb

Anexo 05: RENDERS DEL EXPEDIENTE TÉCNICO

<https://drive.google.com/drive/folders/1lzypWe6PgyAKRQEHML2BUW3KHvDsIaTR>

Anexo 06: MODELOS REVIT:

<https://drive.google.com/drive/folders/14HFVV-zXzcnkkwGcYrArhVMtkebsWGtf>

- Anexo 06.01. Archivo Revit Estructura
- Anexo 06.02. Archivo Revit Arquitectura
- Anexo 06.03. Archivo Revit Instalaciones Sanitarias

Anexo 07: MODELOS NAVISWORKS

<https://drive.google.com/drive/folders/1n7jknc3CV8VdKynO8wS8IXkRbDUIR5Sr>

- Anexo 07.01. Interferencia de especialidades
- Anexo 07.02. Sectorización de especialidades de Estructuras y Arquitectura
- Anexo 07.03. Tren de trabajo
- Anexo 07.04. Simulación de especialidad de Estructura y Arquitectura

Anexo 08: MODELO DELPHIN

https://drive.google.com/drive/folders/1E_EO16JHXZ7ST8J4IJ_k7DjnvUucxLED

- Anexo 08.01. Presupuesto Total Delphin Express