

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**IMPLEMENTACIÓN DE LAS DIMENSIONES 4D Y 5D DEL BIM
EN UN PROYECTO INMOBILIARIO DURANTE LA ETAPA DE
CASCO ESTRUCTURAL**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Anthony Brian Trejo Ponte

ASESOR:

Ing. José Félix Alejandro Benavides Vargas

Lima, enero, 2022



Agradecimientos

*A mis padres Josue Trejo Jara y Lidy Ponte Alonso,
quienes me enseñaron con el ejemplo la importancia
de la educación en la vida; y por su apoyo
incondicional para lograr mis metas.*

*A mis hermanos Edwin y Piero, por brindarme su
cariño y apoyo.*

Resumen

La industria de la construcción en el Perú está en proceso de cambio mediante la incorporación de nuevas metodologías y herramientas para obtener mayores beneficios en los costos y plazos a través de la gestión del proyecto. Building Information Modeling (BIM) es parte de este cambio, brindando una serie de beneficios; sin embargo, solo se están empleando una parte de sus herramientas, como es el modelo 3D para los proyectos. Por ello, la presente investigación describe el proceso de implementación de dos grandes herramientas como es el BIM 4D para la gestión de tiempo y el BIM 5D para la gestión de los costos de un proyecto inmobiliario. Además, se optó por el uso de sistemas como el Location Based Management System (LBMS) y el sistema del último planificador de la filosofía Lean Construction. Para lograr la implementación del BIM 4D y 5D se requiere del apoyo de programas y uso de herramientas como son las líneas de flujo tanto para el proceso de planificación como el de control y seguimiento del proyecto. Se analizará la relación que existe entre el uso del BIM con lo que se plantea en la dirección del proyecto del PMBOK. Finalmente, a partir de los resultados y el proceso de implementación de dichas herramientas BIM, se definirá la utilidad de estas.

Tabla de contenido

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Pregunta de investigación.....	4
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo principal	5
1.4.2. Objetivos complementarios	5
1.5. Hipótesis.....	5
1.5.1. Hipótesis principal	5
1.5.2. Hipótesis secundarias.....	5
1.6. Metodología de desarrollo de investigación.....	6
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE.....	8
2.1. Antecedentes.....	8
2.2. Proyectos	11
2.2.1. Definición	11
2.2.2. Grupo de procesos de un proyecto.....	13
2.3. Building Information Modeling (BIM)	15
2.3.1. Gestión de proyectos de construcción con BIM	15
2.3.2. Beneficios del BIM en el ciclo de vida del proyecto.....	17
2.3.3. BIM en el Perú.....	18
2.3.4. Dimensión 3D del BIM.....	19
2.3.5. Dimensión 4D del BIM.....	24
2.3.6. Dimensión 5D del BIM.....	25
2.4. Location Based Management System (LBMS).....	26
2.4.1. Conceptos.....	27
2.4.2. Planificación basada en localizaciones	28
2.5. Last Planner System	33
2.5.1. Conceptos.....	33
2.5.2. Herramientas del Last Planner System	34
2.6. Valor Ganado.....	36
2.6.1. Indicadores de gestión	36
2.6.2. Indicadores de eficiencia.....	37
2.6.3. Sinergia entre el Valor Ganado, el BIM 4D y 5D.....	38
CAPÍTULO 3: CASO DE ESTUDIO	39
3.1. Presentación del proyecto de estudio.....	39

3.1.1.	Descripción	39
3.1.2.	Antecedentes	40
3.1.3.	Situación actual.....	41
3.1.4.	Factores Geográficos	42
3.1.5.	Modificaciones del proyecto.....	43
3.2.	Consideraciones para la planificación y ejecución.....	43
3.2.1.	Muros anclados	43
3.2.2.	Estructura	44
3.3.	Técnicas para recopilación de la información	44
3.4.	Documentos del proyecto para su planificación del costo y plazo.....	45
3.4.1.	Presupuesto	45
3.4.2.	Análisis de precios unitarios	46
3.4.3.	Cronograma de obra.....	46
3.4.4.	Cronograma Valorizado	47
CAPÍTULO 4: DESARROLLO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS BIM (4D Y 5D).....		48
4.1.	Modelado del proyecto 3D	48
4.2.	Consideraciones previas para la implementación 4D y 5D.....	51
4.2.1.	Location Breakdown Structure del proyecto	51
4.2.2.	Sectorización.....	53
4.3.	Elaboración del modelo 4D	56
4.3.1.	Cuantificaciones de elementos 3D del proyecto	56
4.3.2.	Producción del proyecto	59
4.3.3.	Elaboración de tareas	61
4.4.	Elaboración del modelo 5D	63
4.4.1.	Presupuesto	63
4.4.2.	Presupuesto y gestión de mediciones.....	65
4.4.3.	Presupuestos y tareas	67
4.4.4.	Inicio de planificación con líneas de flujo	68
4.4.5.	Vistas de tareas	69
4.4.6.	Balance de líneas de flujo	70
4.4.7.	Control de avance del proyecto	76
CAPÍTULO 5: RESULTADOS, ANÁLISIS Y PROPUESTA DE VALOR DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA DIMENSIÓN 4D Y 5D EN EL PROYECTO		78
5.1.	Resultados y análisis.....	78
5.1.1.	Modelo 3D	78
5.1.2.	Planificación del modelo 4D y 5D.....	79
5.1.3.	Recursos e histogramas.....	89

5.1.4.	Simulación 4D	98
5.1.5.	Control y seguimiento.....	98
5.2.	Verificación de las hipótesis planteadas.....	101
5.3.	Propuesta de valor	104
5.3.1.	Respecto al modelo 3D	104
5.3.2.	Respecto a los histogramas	105
5.3.3.	Respecto a la planificación	105
5.3.4.	Respecto al control y seguimiento del proyecto	105
5.3.5.	Respecto a la simulación 4D.....	106
5.3.6.	Respecto a los costos del proyecto	106
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES		107
6.1.	Conclusiones.....	107
CAPÍTULO 7: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		113
CAPÍTULO 8: ANEXOS		115



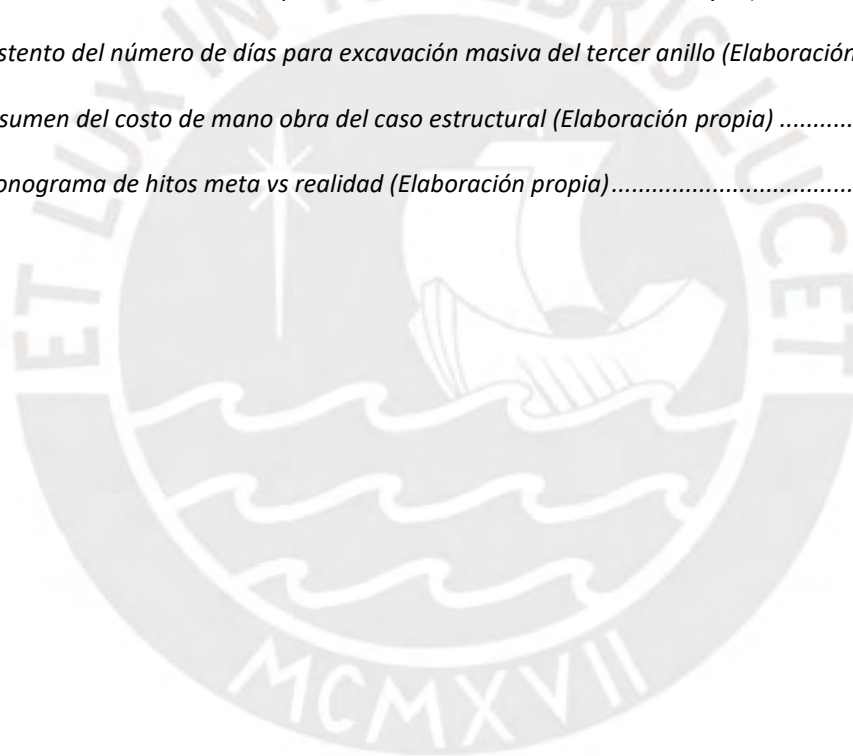
Índice de figuras

<i>Figura 1-1 Producto Bruto y demanda internos – Construcción</i>	3
<i>Figura 1-2 Resultados percibidos de adoptar BIM</i>	4
<i>Figura 1-3 Metodología de trabajo</i>	7
<i>Figura 2-1 Dimensiones del BIM</i>	9
<i>Figura 2-2 Componentes de macro madurez</i>	10
<i>Figura 2-3 Niveles de uso de aplicaciones BIM</i>	11
<i>Figura 2-4 Dirección de proyectos</i>	12
<i>Figura 2-5 Adaptación de los grupos de procesos de un proyecto</i>	12
<i>Figura 2-6 Área de conocimiento del PMBOK versus roles del BIM en la gestión de proyectos de construcción</i>	17
<i>Figura 2-7 Comité BIM Perú</i>	19
<i>Figura 2-8 Modelo BIM 3D de Residencial Córdova</i>	20
<i>Figura 2-9 Modelo en LOD 100</i>	21
<i>Figura 2-10 Modelo en LOD 200</i>	22
<i>Figura 2-11 Modelo en LOD 300</i>	23
<i>Figura 2-12 Modelo en LOD 400</i>	23
<i>Figura 2-13 Representación del BIM 4D</i>	24
<i>Figura 2-14 Ejemplo de simulación 4D con software Navisworks</i>	25
<i>Figura 2-15 Representación del BIM 5D</i>	26
<i>Figura 2-16 Líneas de flujo vs diagrama de Gantt</i>	28
<i>Figura 2-17 Líneas de flujo y localizaciones</i>	29
<i>Figura 2-18 Líneas de flujo de dos tareas de Seppänen</i>	30
<i>Figura 2-19 Identificación de paradas en líneas de flujo</i>	30
<i>Figura 2-20 Interferencias en las líneas de flujo</i>	31
<i>Figura 2-21 Ilustración de los tipos de líneas de flujo</i>	32
<i>Figura 2-22 Ejemplo de Plan Maestro (Residencial Córdova)</i>	34
<i>Figura 2-23 Ejemplo de Look Ahead para 4 semanas (Residencial Recavarren)</i>	35
<i>Figura 2-24 Valor ganado</i>	37
<i>Figura 3-1 Residencial Córdova 639</i>	39
<i>Figura 3-2 Vista frontal del predio</i>	41
<i>Figura 3-3 Geometría del terreno de la residencial (Córdova)</i>	41
<i>Figura 3-4 Acceso al proyecto</i>	42
<i>Figura 3-5 Anillos de muros anclados en el proyecto</i>	44
<i>Figura 3-6 Ubicación de la torre grúa</i>	44
<i>Figura 3-7 Ejemplo de cronograma de obra</i>	47
<i>Figura 4-1 Modelo de estructuras Residencial Córdova</i>	48
<i>Figura 4-2 Familia y tipos para las placas en el modelado 3D</i>	49
<i>Figura 4-3 Uniones rígidas entre elementos verticales y horizontales en el modelo 3D (Elaboración propia)</i>	49
<i>Figura 4-4 Cimentación 3D</i>	50
<i>Figura 4-5 Corte del modelo 3D de la Residencial Córdova (Elaboración propia)</i>	50
<i>Figura 4-6 Distribución de los niveles jerárquicos con el software Vico Office</i>	52
<i>Figura 4-7 Primer nivel jerárquico del proyecto</i>	52
<i>Figura 4-8 Segundo nivel jerárquico</i>	53
<i>Figura 4-9 Tercer nivel jerárquico</i>	53
<i>Figura 4-10 Sectorización Cimentaciones</i>	54
<i>Figura 4-11 Sectorización sótano 2</i>	55

Figura 4-12 Sectorización del sótano uno en planta y en 3D (Elaboración propia)	55
Figura 4-13 Sectorización de los pisos de la torre.....	56
Figura 4-14 Sectorización del techo.....	56
Figura 4-15 Elección de parámetros para agrupar los elementos.....	57
Figura 4-16 Selección de columna rectangular 1.00x0.25m del piso 8 en el gestor de mediciones de Vico Office	58
Figura 4-17 Inclusión de acero en las losas aligeradas de e=20cm del piso 5	59
Figura 4-18 Tareas del proyecto (Fuente: Elaboración propia)	61
Figura 4-19 Relación de tareas (anillo 1) con el modelo.....	62
Figura 4-20 Relación de tareas (Concreto losas aligeradas h=20 cm) con los niveles del modelo	63
Figura 4-21 Plan de costes del proyecto Residencial Córdova	64
Figura 4-22 Ratios de costos.....	65
Figura 4-23 Relación del presupuesto con el modelo (caso de placas del piso)	66
Figura 4-24 Estructura sótanos vinculada al presupuesto.....	66
Figura 4-25 Estructura torre vinculada al presupuesto	67
Figura 4-26 Relación en el software Vico Office	67
Figura 4-27 Relación de tareas con el presupuesto	68
Figura 4-28 Presentación inicial de las líneas de flujo del proyecto	69
Figura 4-29 Vista personalizada del plan de obra "Pórtico inferior"	69
Figura 4-30 Selección de variación de equipos para establecer de duración de la tarea	71
Figura 4-31 Dependencia tipo 1	72
Figura 4-32 Dependencia tipo 2	72
Figura 4-33 Dependencia tipo 4	73
Figura 4-34 Tareas discontinuas en sótanos	74
Figura 4-35 Identificación de buffers.....	75
Figura 4-36 Hitos y áreas verticales.....	75
Figura 4-37 Control de avance del proyecto Córdova.....	76
Figura 4-38 Control de avance de los sótanos.....	77
Figura 5-1 Planificación de las tres primeras fases del proyecto.....	84
Figura 5-2 Planificación de fase de excavación y muros pantalla	85
Figura 5-3 Planificación de la fase de cimentaciones y cuarto de bombas	86
Figura 5-4 Planificación del pórtico inferior (Sótanos)	87
Figura 5-5 Planificación del pórtico superior (torre).....	88
Figura 5-6 Gráfico de distribución de recursos del plan de obra	89
Figura 5-7 Histograma total de horas hombre	91
Figura 5-8 Histograma de costo HH en sótanos	92
Figura 5-9 Histograma de costo HH en torre.....	92
Figura 5-10 Histograma de concreto (m3)	94
Figura 5-11 Histograma de costo del concreto durante la obra (S/.)	94
Figura 5-12 Histograma de encofrado (m2)	95
Figura 5-13 Histograma de costo del encofrado durante la obra (S/.).....	96
Figura 5-14 Histograma de acero (kg).....	97
Figura 5-15 Histograma de costo del acero durante la obra (S/.)	97
Figura 5-16 Simulación 4D del proyecto Residencial Córdova	98
Figura 5-17 Control y seguimiento del proyecto.....	99

Índice de tablas

<i>Tabla 3-1 Tabla de datos generales del Proyecto Córdova (Fuente: Tale Inmobiliaria)</i>	40
<i>Tabla 3-2 Fases del proyecto Córdova (Fuente: Elaboración propia)</i>	42
<i>Tabla 3-3 Técnicas de recopilación (Fuente: Elaboración propia)</i>	45
<i>Tabla 3-4 Partidas principales sótanos (Fuente: Elaboración propia)</i>	45
<i>Tabla 3-5 Partidas principales torre (Fuente: Elaboración propia)</i>	46
<i>Tabla 4-1 Location Breakdown Structure del proyecto (Sótanos y torre). Fuente: Elaboración propia</i>	51
<i>Tabla 4-2 Velocidades obtenidas de la planificación del proyecto (Fuente: Elaboración propia)</i>	60
<i>Tabla 5-1 Resumen de metrados y ratios del proyecto (Fuente: Elaboración propia)</i>	79
<i>Tabla 5-2 Sustento del número de días para excavación masiva de los anillos 1 y 2 (Elaboración propia)</i>	80
<i>Tabla 5-3 Sustento del número de días para excavación masiva del tercer anillo (Elaboración propia)</i> ...	81
<i>Tabla 5-4 Resumen del costo de mano obra del caso estructural (Elaboración propia)</i>	93
<i>Tabla 5-5 Cronograma de hitos meta vs realidad (Elaboración propia)</i>	100



CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1. Introducción

En los últimos años, distintas industrias han ido evolucionando en sus métodos, herramientas, sistemas de gestión y uso de tecnologías provocando mejoras en los resultados de los distintos proyectos. En el caso de la industria de la construcción del Perú, se ha buscado optimizar los resultados económicos en los proyectos de construcción; sin embargo, no ha habido muchas mejoras y se siguió con los mismos procedimientos y gestión de muchos años anteriores. Por ejemplo, es común que las construcciones tengan ampliaciones respecto a los plazos de entrega conllevando a sobrecostos. Por ello, se ha tratado de incluir el flujo constante e intercambio de información entre los distintos involucrados dentro un mismo proyecto. Estos cambios en la industria se han iniciado aproximadamente desde hace 10 años con la implementación del Building Information Modeling (BIM).

BIM es una metodología que se apoya en un conjunto de herramientas informáticas que permiten el trabajo colaborativo en el ciclo de vida del proyecto de construcción, a través de un modelo 3D útil para todos los agentes que participan en él durante todo su ciclo de vida (Gosalves López, 2016). Un estudio realizado el 2017 reporta que uno de cada cuatro empresas ya tuvo algún tipo de uso del BIM en sus proyectos (Murguía, 2017).

Esto demuestra que la implementación del BIM está siendo considerado e implementado poco a poco en los proyectos de construcción, tanto del sector privado como del sector público. Esta metodología solo se está adaptando en las empresas para la elaboración del modelo 3D y recolección de solicitudes de información (RFI) directamente relacionados con la detección de interferencias o falta de información para su ejecución. Es muy útil el uso del modelo 3D para dicho fin, ya que disminuye posibles ampliaciones de tiempo, adicionales y sobrecostos al

corregir estas interferencias y trayendo resultados positivos al proyecto; sin embargo, estos beneficios se pueden optimizar si se implementan más herramientas de la metodología BIM.

Esta metodología posee la dimensión 4D o también llamado BIM 4D el cual incorpora una planificación del proyecto a través del tiempo mediante el modelo 3D del proyecto. Además, puede brindar una simulación virtual del avance físico del proyecto el cual permite incorporar, controlar y visualizar información, como la cantidad de metrados ejecutados de los elementos del modelo 3D basados en sus localizaciones, recursos, ratios de productividad y escala de tiempo (Trimble Buildings, 2014). Esta metodología también posee la dimensión 5D o también llamado BIM 5D la cual integra los costos, recursos y rendimientos al modelado 3D y se complementa con el BIM 4D.

La aplicación del BIM 4D a los proyectos de construcción es uno de los menos implementados en las empresas (Primer estudio de adopción BIM Perú, 2017) y respecto a la implementación del BIM 5D es aún menor en el Perú, ya que son pocas las empresas que se animan a probar nuevas herramientas en el país. En la presente investigación, se realizará la implementación del BIM 4D y 5D para la ejecución del casco estructural de un proyecto inmobiliario. Se realizará el modelado 3D para la especialidad de estructuras con el software Revit (versión 2020) y también se realizará la planificación, el control y seguimiento del proyecto con apoyo del software Vico Office y Schedule Planner.

1.2. Justificación

La industria de la construcción es uno de los principales sectores que contribuyen a la actividad económica del país; sin embargo, en los últimos meses este sector ha caído considerablemente y llegó a su punto más bajo en comparación con el Producto Bruto Interno (PBI) de años anteriores, según el análisis estadístico del INEI (Segundo trimestre del año 2020). Esto se debe a diversos factores en el cual destaca la emergencia sanitaria del país. A partir del tercer

trimestre del 2020 ya se puede apreciar un aumento en el PBI de la construcción, lo cual está directamente relacionado con la reactivación económica.

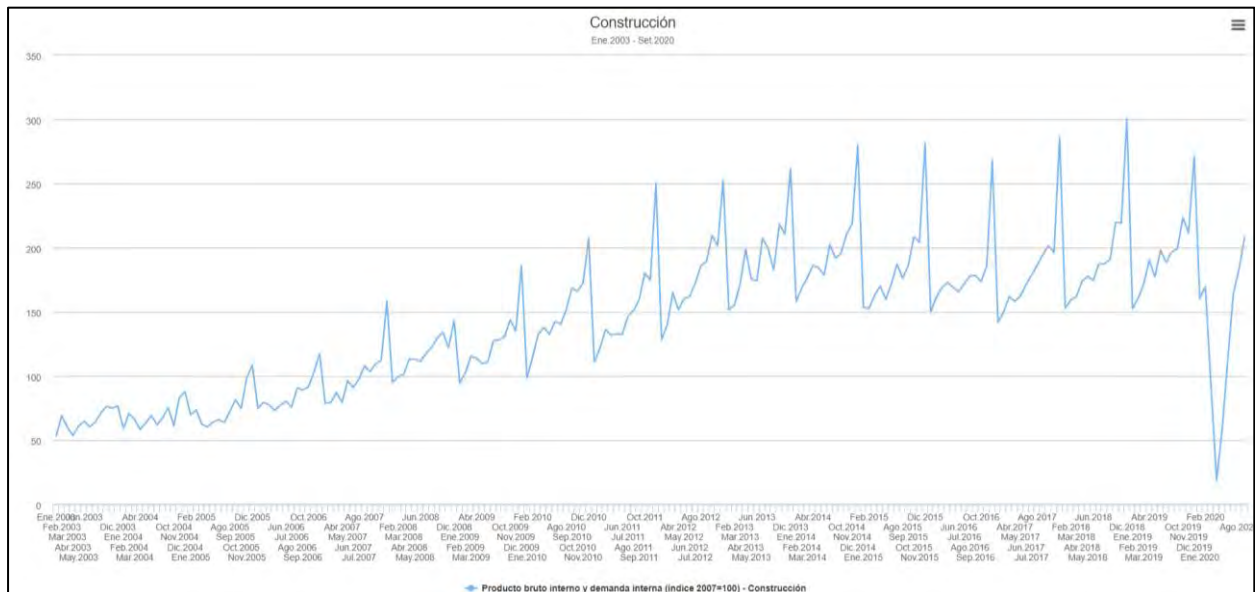


Figura 1-1 Producto Bruto y demanda internos – Construcción

Fuente: Gráfico de Producto bruto interno y demanda interna (índice 2007=100) (bcrp.gob.pe)

Si bien el año 2020 fue una excepción en el sector construcción debido a que se llegó a cifras no estimadas, ya se veía que en el año 2019 no hubo un gran crecimiento en este sector como en años anteriores. Además, durante el año de cambio de gobierno (2016) se observa que no hubo un crecimiento en este sector. Algunas de las causas de este bajo crecimiento fueron los problemas de corrupción en los cuales está involucrado el sector político del país, pero también influye el tipo de sistema de gestión que se ha estado empleando en los distintos proyectos del sector construcción tanto en proyectos privados como públicos.

La nueva iniciativa para fomentar nuevas metodologías de gestión en la industria de la construcción ayudaría a crecer en este sector y obtener resultados favorables. En esta iniciativa se hace referencia directamente a la metodología BIM. Según el primer estudio de adopción BIM Perú del año 2017, existe la percepción entre las empresas del sector que el uso del BIM no ayuda a reducir el tiempo de construcción, pero sí están de acuerdo es que mejora la planificación de obra.

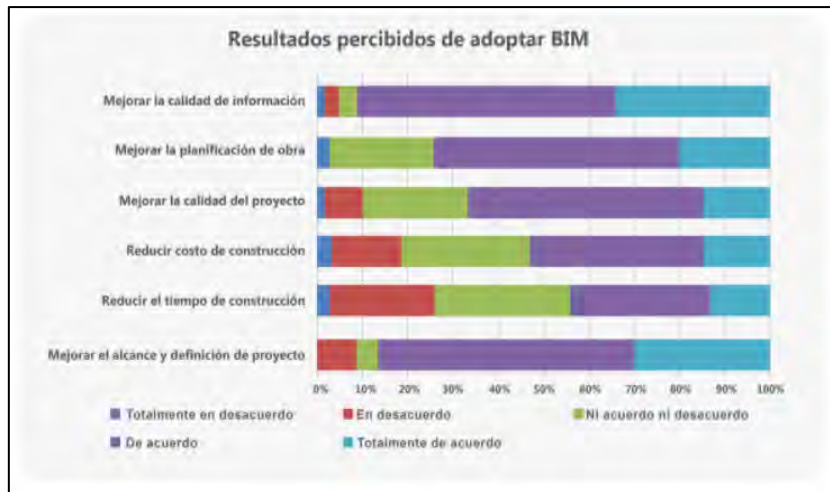


Figura 1-2 Resultados percibidos de adoptar BIM

Fuente: Resultados Percibidos de adoptar BIM - 2017

Desde el punto de vista de la industria de la construcción, a pesar de que se está incorporando lentamente la metodología BIM en los proyectos, solo se está limitando dicha metodología para la realización de un modelo 3D y detectar incompatibilidades. Gestionar con BIM implica una mayor cantidad de beneficios para el proyecto; por ejemplo, la implementación del BIM 4D, la cual relaciona directamente el modelado 3D con variables de tiempo del proyecto, como son su ruta crítica, seguimiento, control, y cierre en los plazos previstos. Además, lograr la sinergia del BIM 4D con el BIM 5D, la cual incorpora variables de costos del proyecto, podría generar la automatización en la obtención de resultados respecto a entregables de costos y así optimizar tiempos en la elaboración de informes.

1.3. Pregunta de investigación

¿Cuál es el impacto de la implementación de las dimensiones 4D y 5D de la metodología BIM con el uso del sistema basado en localizaciones en un proyecto inmobiliario?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo principal

Realizar la implementación de la dimensión 4D y 5D de la metodología BIM para un proyecto inmobiliario a nivel estructural, basándose en un sistema de localizaciones con la finalidad de determinar su utilidad.

1.4.2. Objetivos complementarios

- Realizar la gestión del modelo 4D a través del software Schedule Planner (vinculado al Vico Office).
- Realizar la gestión del modelo 5D a través del software Vico Office y Schedule Planner.
- Verificar si las líneas de flujo obtenidas del modelo ayudan a controlar el proyecto.
- Identificar las dificultades de realizar la planificación del proyecto mediante un modelo 4D y 5D en el software Vico Office y Schedule Planner.
- Identificar las dificultades de realizar el control y seguimiento del proyecto mediante un modelo 4D y 5D en el software Vico Office y Schedule Planner.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis principal

- La implementación de la dimensión 4D y 5D de la metodología BIM ayudará a estimar los costos y duraciones de las distintas partidas a lo largo de la duración del proyecto.

1.5.2. Hipótesis secundarias

- Solo se podrán obtener resultados óptimos en la implementación del BIM 4D y 5D si se realiza un buen modelo 3D del proyecto respetando los procesos constructivos.
- La planificación del proyecto con líneas flujo, las cuales servirán para la implementación del BIM 4D y 5D, podría complicarse si no se realiza una adecuada dependencia entre las distintas tareas utilizadas.

- Realizar el seguimiento y control del proyecto a través del software Vico Office podría tener cierta dificultad debido a que existirán variables que no se podrían incluir y controlar.

1.6. Metodología de desarrollo de investigación

El trabajo de investigación se realizó a través de 8 etapas, las cuales se describirán a continuación:

1º Etapa: Revisión de la literatura (Capítulo 1 y 2)

Se desarrollará toda la información acerca de los proyectos de construcción, metodología BIM, Last Planner System, sistema de gestión basado en localizaciones y teoría de Valor Ganado.

2º Etapa: Análisis de los plazos y costos del proyecto (Capítulo 3)

Se presentará el proyecto de estudio, luego se recopilará toda la información del proyecto respecto a costos y plazos. Se elaborará y realizará un análisis al presupuesto general y a los precios unitarios de las partidas. Se identificará las tareas y realizará el plan maestro para el proyecto; lo cual será útil para la implementación del modelo 4D y 5D del BIM.

3º Etapa: Recopilación de información a través de la supervisión del proyecto inmobiliario. (Capítulo 4)

Semanalmente se realizarán visitas de campo para recopilar información del avance del proyecto. Se recopilará la información y se elaborará informes para mantener un control del proyecto.

4º Etapa: Elaboración del modelo 3D para la especialidad de estructuras del proyecto (Capítulo 4)

Se elaborará el modelo 3D del proyecto en un Level of development 300 (LOD) para la especialidad de estructuras. Se complementará información al modelo 3D en el software Vico Office.

5º Etapa: Elaboración del modelo 4D y 5D del proyecto con el software Vico Office (Capítulo 4)

Se elaborará la simulación del modelo 4D y 5D del proyecto con el software Vico Office. Se realizará la planificación del proyecto a través de líneas de flujos. Se realizará distribuciones de fases y sub-fases del proyecto a través de las líneas de flujo; y se verificará los rendimientos idóneos para la programación del proyecto. Se tendrá un control del avance de obra y se compatibilizará el modelo 3D con las actualizaciones de avance de obra del proyecto.

6º Etapa: Análisis y resultados de las líneas de flujo (Capítulo 5)

Toda la información recolectada de la obra se irá actualizando en el modelo 5D y se comparará según el avance real del proyecto para el control y seguimiento. Se analizará el comportamiento de las líneas de flujo y las posibles ventajas o desventajas de ellas.

7º Etapa: Propuesta de valor de la implementación de la dimensión 4D y 5D en el proyecto (Capítulo 5)

Se incluirá una propuesta de valor en base a la investigación realizada.

8º Etapa: Conclusiones (Capítulo 6)

Se realizará las conclusiones en base a los resultados obtenidos de los capítulos previos

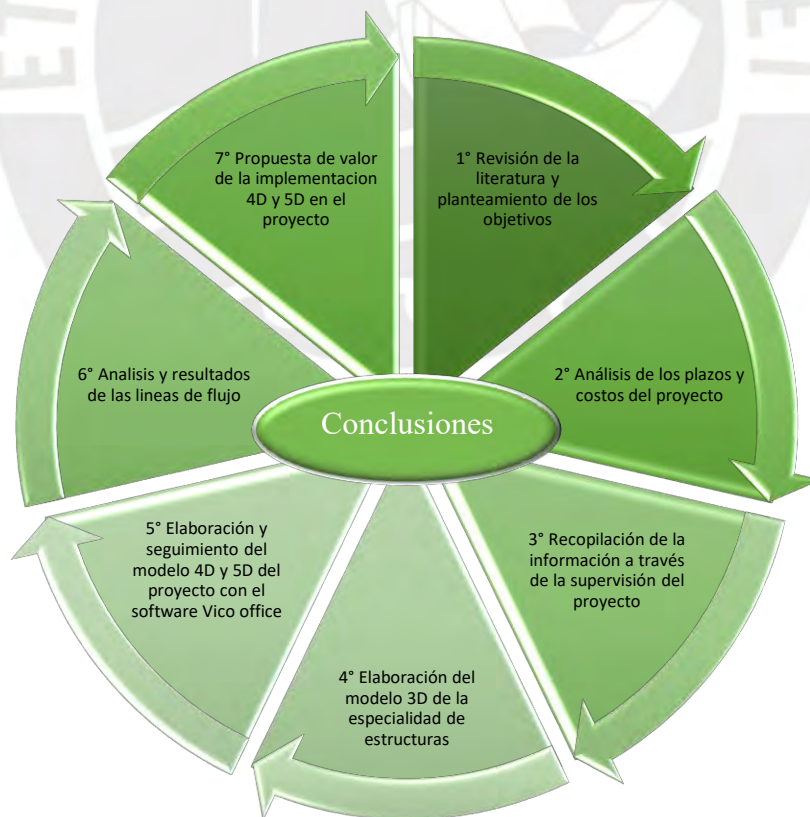


Figura 1-3 Metodología de trabajo

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

2.1. Antecedentes

Durante mucho tiempo se ha ido adaptando y discutiendo distintas definiciones al término de Building Information Modeling, por sus siglas en inglés, BIM. Por ejemplo, la National BIM Standard (NBIMS) lo define como un recurso de conocimiento compartido para obtener información sobre una instalación y de esa manera formar una base confiable para la toma de decisiones dentro de su ciclo de vida (NBIMS - 2007). Otra definición la planteó el Dr. Succar como un conjunto de tecnologías, procesos y políticas que permiten a los involucrados diseñar, construir y operar una instalación colaborativamente. Habría que decir también que se tiene de definición al BIM como una representación digital de un producto mediante un proceso colaborativo para la toma de decisiones durante todo el ciclo de vida del proyecto (Allen Consulting Group - 2010). Si se consideran todas las definiciones que se han dado al BIM a través del tiempo, se podrá llegar a un consenso con la idea principal del BIM, la cual es la realización de un trabajo colaborativo y de integración digital para la toma de decisiones dentro del ciclo de vida de un proyecto.

A partir de dicha definición se puede analizar y representar, principalmente, el ciclo del proyecto desde la perspectiva de la metodología BIM. Esto quiere decir que se puede asociar el desarrollo de un proyecto con las 7 dimensiones del BIM las cuales son las que se presentan en la figura 2-1.

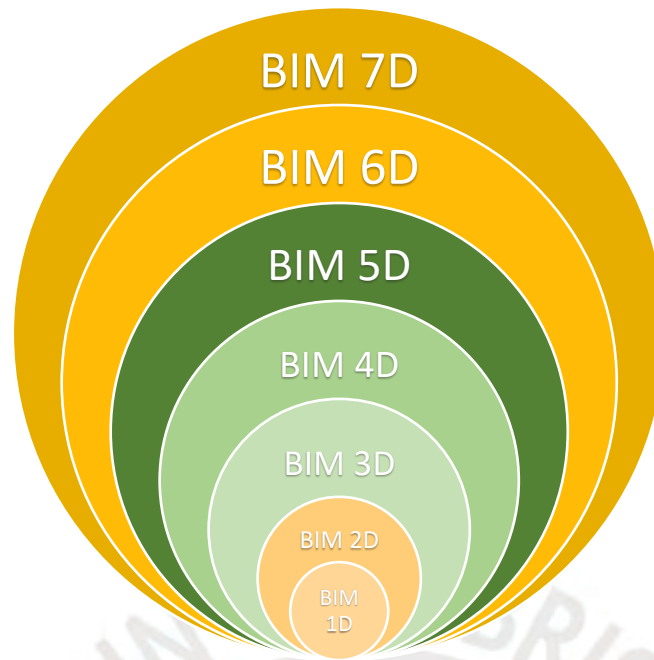


Figura 2-1 Dimensiones del BIM

Fuente: elaboración propia

- BIM 1D: Se realiza el concepto de diseño del proyecto a elaborar. Son estimaciones e ideas.
- BIM 2D: El concepto planteado en la dimensión anterior se plasma en planos en los cuales solo se consideran 2 dimensiones que son el largo y el ancho.
- **BIM 3D: Se añade la dimensión de profundidad al BIM 2D.**
- **BIM 4D: Se añade la variable del tiempo al proyecto.**
- **BIM 5D: Se añade la variable del costo al proyecto.**
- BIM 6D: Gestiona el desarrollo sostenible y energético del proyecto.
- BIM 7D: Gestiona la operación y mantenimiento del proyecto.

Implementar en su totalidad la metodología BIM con todas sus dimensiones optimizaría los beneficios al proyecto en distintos aspectos como el económico y el de plazos. También se puede observar en la figura 2-1 que cada dimensión está contenida dentro de otra; es decir, todas se relacionan para lograr un mejor resultado al finalizar el proyecto. En la actualidad, en el Perú, no es viable aún adoptar todas las dimensiones del BIM por distintos motivos entre los cuales destaca la falta conocimiento y poca iniciativa de implementar las nuevas metodologías.

Según el estudio de macro adopción BIM en el Perú del año 2019, aún se tiene poco crecimiento en base a los componentes de macro madurez BIM (figura 2-2).

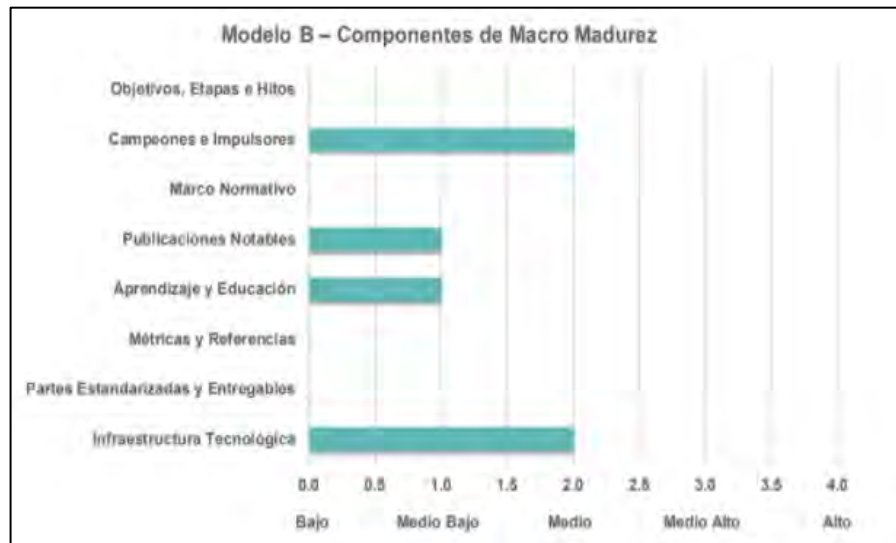


Figura 2-2 Componentes de macro madurez

Fuente: Estudio de Macro Adopción BIM en el Perú - 2019

Si bien es cierto que hay un avance en la infraestructura tecnológica, desarrollo e impulso por fomentar más la metodología, aún no es suficiente y se necesita más apoyo, sobre todo, del sector privado, pues ejecutan más obras en el país. También se obtiene del primer estudio de adopción BIM en el Perú del año 2017, realizado por Danny Murguía, que tanto la aplicación de la simulación 4D como el control de avance de obra usando herramientas BIM, poseen niveles muy bajos en aplicación, por lo cual demuestra el desinterés de implementar más herramientas aparte del modelado 3D para la detección de interferencias. Mayor detalle se puede observar en la figura 2-3.

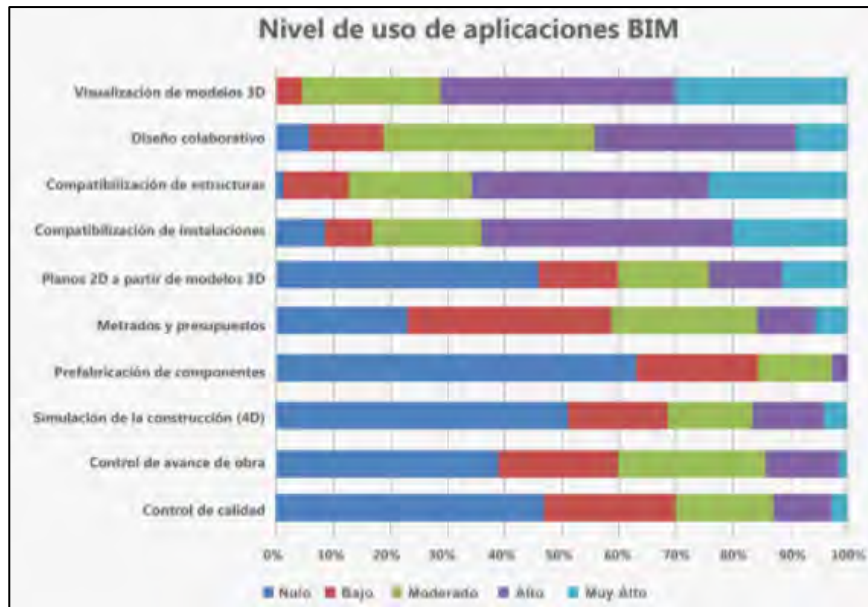


Figura 2-3 Niveles de uso de aplicaciones BIM

Fuente: Primer Estudio de Adopción BIM en el Perú - 2017

2.2. Proyectos

2.2.1. Definición

Destacando la definición del Project Management Institute (PMI), un proyecto es un esfuerzo temporal que se realiza para crear un producto, servicio o resultado único mediante la aplicación e integración adecuada de los procesos de la dirección de proyectos (Project Management Institute, 2017). Es importante conocer la definición de este concepto debido a que será una referencia para el planteamiento del BIM 3D, 4D y 5D.

El Project Management Institute posee una guía llamada Project Management Body of Knowledge (PMBOK) en la cual se menciona y plantea la dirección de proyectos. Esta tiene como principal función que las distintas organizaciones puedan ejecutar sus proyectos de forma eficiente y eficaz. Cabe resaltar que dicho objetivo solo se logra con un conjunto de gestiones colaborativas de los involucrados o sea todos comparten un objetivo común que es la realización del proyecto. Estas gestiones de la dirección de proyectos del PMBOK se muestran a mayor detalle en la figura 2-4.



Figura 2-4 Dirección de proyectos

Fuente: PMBOK, 6ta edición

La dirección de proyectos relaciona un conjunto de gestiones y para alcanzar el éxito dentro de la gestión se debe cumplir un conjunto de procesos. Desde el punto de vista de desarrollo de proyectos de construcción se puede definir los procesos en grupos como lo indica el PMBOK (figura 2-5).

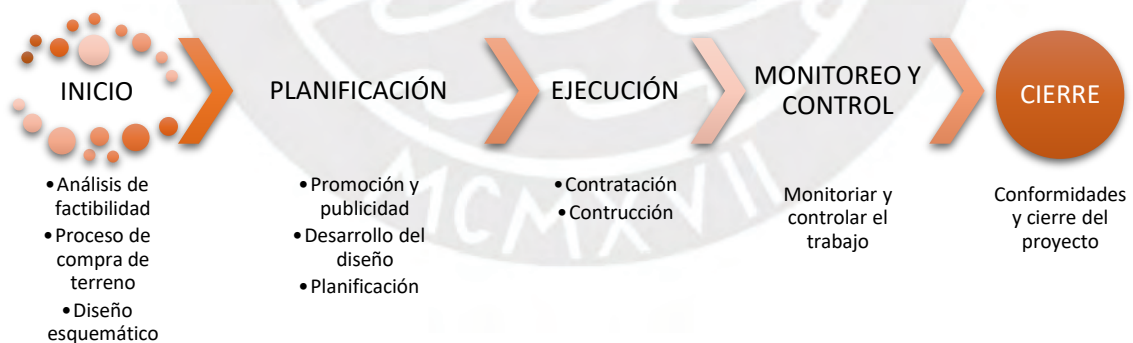


Figura 2-5 Adaptación de los grupos de procesos de un proyecto

Fuente: Elaboración propia

2.2.2. Grupo de procesos de un proyecto

2.2.2.1. Inicio

El primer grupo de proceso inicia con el acta de constitución del proyecto el cual es un documento que contiene la descripción de un proyecto. Desde el comienzo se analiza la factibilidad del proyecto de acuerdo con las necesidades del cliente, el proceso de compra y el diseño esquemático del proyecto. Se establece un cronograma de hitos y recursos financieros preaprobados. El acta de constitución del proyecto puede ser elaborada por un gerente de proyectos en colaboración con la entidad iniciadora (Quispe, 2019).

La realización de dicha acta de constitución contribuye a que los involucrados en la concepción del proyecto tengan conocimiento respecto a los hitos, recursos financieros y, sobre todo, las responsabilidades que tiene cada uno de los involucrados. Las principales herramientas para lograr un buen inicio de un proyecto son la recopilación de datos, habilidades interpersonales y constante comunicación.

2.2.2.2. Planificación

Durante este grupo de proceso se desarrollará el plan para la realización del proyecto y es necesario tener ya definido el acta de constitución. También es necesario que al finalizar este grupo se obtenga una serie de entregables; por ejemplo, las técnicas y herramientas a utilizar en la ejecución, el control del proyecto, definir el plan de gestión de cambios, obtener la línea base en la cual se detalla el alcance, tiempo, costo; y tener un registro de riesgos.

Se debe obtener los principales alcances del proyecto durante este grupo; por ejemplo, tiempo, costo, calidad, mejora de procesos, recursos humanos, comunicaciones, riesgos e interesados. (PMBOK, 6ta edición). En el caso de un proyecto inmobiliario se debería ya realizar el desarrollo del diseño de todas las disciplinas durante esta etapa. También se debe obtener los permisos y licencias necesarios para el desarrollo del proyecto. El cronograma maestro y el

presupuesto meta son importantes debido a que servirán de línea base para el proyecto; además, todos los documentos para el desarrollo del proyecto deben ir en el expediente técnico. Finalmente, se debe lograr la promoción y publicidad del proyecto.

2.2.2.3. Ejecución

Durante esta etapa se procede al desarrollo y gestión de lo que fue planificado. En base al desarrollo de la ejecución del proyecto, se podrían ir presentando cambios en relación con las líneas base planteadas durante la etapa de planificación y ello conlleva a establecer una nueva línea base para el proyecto (Project Management Institute, 2017). En el caso del proyecto inmobiliario, en este grupo se inicia la contratación y construcción del proyecto; y se debe contar con control de los plazos y costos. Es importante priorizar la gestión de los riesgos, pues los cambios producidos pueden afectar directamente a los presupuestos planificados y provocar modificaciones generales al proyecto. En conclusión, se puede obtener un buen desempeño durante este proceso si se mantiene una actualización constante de las actividades en ejecución, acciones preventivas, acciones correctivas a posibles riesgos y un correcto control de las partidas que se van ejecutando.

2.2.2.4. Control y seguimiento

Durante este grupo de control y monitoreo del proyecto se debe hacer un seguimiento del proyecto e informar el avance con la finalidad de cumplir con los objetivos que fueron planteados en el plan de dirección de Proyectos, según el PMBOK (Project Management Institute, 2017).

En un proyecto de construcción es durante esta etapa que se tiene que mantener un estricto control del avance del proyecto; es decir, recopilar la información para saber si se logrará el objetivo planteado inicialmente. Se podrá comparar la línea base del proyecto con lo que se monitoree en obra; y gracias a este control del proyecto se podrá establecer medidas ante

posibles restricciones que se puedan presentar. Estas actualizaciones del control y el seguimiento influyen directamente en aspectos relacionados a los cronogramas y al costo basado en dichos cronogramas. Si bien es cierto que el presupuesto durante el control y seguimiento es imposible que se mantenga estático debido a diferentes variables como retrabajos, adicionales, flujos de cambio, se debe tratar de aminorar dichas variables para no alterar demasiado los plazos y costos planificados. Se puede controlar a través de reuniones periódicas para el análisis de los datos obtenidos del seguimiento del proyecto y así realizar la toma de decisiones.

2.2.2.5. Cierre

Finalmente, en este grupo se concluyen formalmente los procesos de dirección de proyectos. Se verificará la información obtenida de los grupos anteriores para darle un correcto cierre al proyecto verificando que se hayan alcanzado los objetivos planteados en el inicio. En el caso de un proyecto de construcción se pueden presentar los entregables finales del acta de recepción de obra finalizada, el acta de conformidad de obra, etc.

2.3. Building Information Modeling (BIM)

2.3.1. Gestión de proyectos de construcción con BIM

La gestión de proyectos de construcción está basada en una serie de actividades relacionadas con el plazo, tiempo y los agentes involucrados durante todo el ciclo de vida del proyecto. Además, esta gestión requiere de conocimientos y comprensión lógica de los procedimientos y procesos para poder llevar a cabo el proyecto.

Las áreas de conocimiento del PMBOK se pueden relacionar con las aplicaciones de la metodología BIM; es decir, existe una estrecha relación entre ambos ya que poseen conceptos muy parecidos. Por ejemplo, la gestión de integración, la cual es la primera área del PMBOK, tiene prácticamente la misma función que el BIM; es decir, integrar los planes, documentos y

esfuerzos de los involucrados en el proyecto. BIM también es un entorno basado en objetos que puede categorizar distintos elementos de un edificio y dividirlo en distintos grupos (Mamani, 2019). Esta división y categorización se puede relacionar con la gestión del alcance del PMBOK. Otra de las herramientas que posee el BIM es su dimensión 4D y 5D lo cual se basa en la administración del plazo y costo del proyecto respectivamente. También se pueden relacionar estas herramientas del BIM con las áreas gestión del tiempo y costo del proyecto respectivamente del PMBOK. El modelado 3D del proyecto es una herramienta muy importante en la gestión de la metodología BIM debido a que gracias a dicho modelado es posible detectar los riesgos asociados al proyecto y modificar el diseño para posibles adicionales o evitar retrabajos. La detección de interferencias dentro del modelado 3D entre las distintas especialidades involucradas se podría relacionar con la gestión de calidad del PMBOK. El trabajo colaborativo del BIM en la que se involucran y comparten la información las distintas personas se puede relacionar la administración como la gestión de recursos humanos del PMBOK. La comunicación es muy importante en la metodología BIM en la que se comunican los distintos profesionales entre ellos los ingenieros, gerentes, proyectistas, etc. Esta comunicación se considera en la dirección de proyectos del PMBOK como la gestión de la comunicación. Finalmente, la gestión de riesgos y adquisiciones del PMBOK se puede relacionar durante el seguimiento y control del avance del proyecto en los análisis 4D y 5D del BIM. En la figura 2-6 se muestran las áreas de conocimiento del PMBOK vs los roles del BIM para el caso de la gestión de un proyecto de construcción.

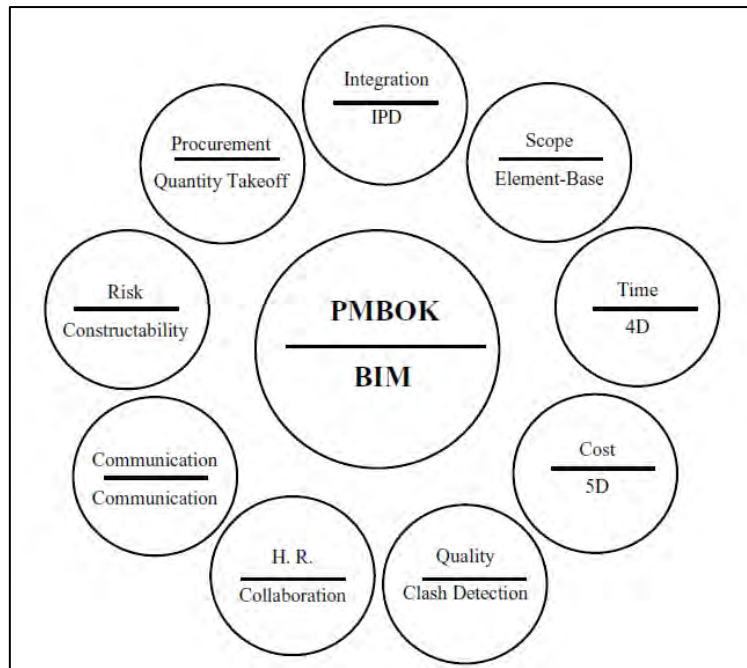


Figura 2-6 Área de conocimiento del PMBOK versus roles del BIM en la gestión de proyectos de construcción

Fuente: Rokooei, 2015

2.3.2. Beneficios del BIM en el ciclo de vida del proyecto

La metodología BIM abarca todo el ciclo del proyecto y contiene una serie de beneficios en todas las etapas del proyecto de construcción, reduciendo las incertidumbres si resuelve los problemas con anterioridad (Salinas, 2015). Según Salinas y Murguía (2020), los beneficios para las distintas etapas serán los siguientes.

2.3.2.1. Diseño esquemático

- Uso de modelos y bases de datos de costo; para determinar con mayor certeza la inversión que se realizará en el proyecto.
- Uso de modelos esquemáticos para evaluar alternativas; y uso de herramientas de simulación para determinar el desempeño de sustentabilidad.
- Ayuda a mejorar la colaboración si se usa Integrated Project Delivery (IPD) desde etapas tempranas.

2.3.2.2. Proceso de diseño

- Visualización del posible diseño a través de un modelo 3D.
- Ayuda a reducir los errores de coordinación entre las distintas especialidades de un proyecto.

- Generar planos 2D consistentes.
- Colaboración de múltiples disciplinas o especialidades.
- Revisión automática de cumplimiento de códigos.
- Estimación de costos durante la etapa de diseño.
- El diseño es constantemente medido en términos de consumo energético y sostenibilidad.

2.3.2.3. Construcción

- Uso de modelos para fabricar componentes.
- Rápida reacción frente a los campos en el diseño.
- Revelar errores de diseño, posiblemente interferencias, antes de la construcción.
- Uso de modelos 4D para la planificación del proyecto.
- Mejora la implementación del sistema Last Planner System.
- Sincronización de procura con proveedores y subcontratistas.

2.3.2.4. Post construcción

- Mejor entrega de información As-built.
- Mejor gestión y operación de los proyectos.
- Integración con los sistemas de Facility Management.

2.3.3. BIM en el Perú

2.3.3.1. COMITÉ BIM EN EL PERÚ

En el año 2012 se conformó el Comité BIM del Perú el cual pertenece al Instituto de la Construcción y el Desarrollo (ICD) de la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO). Este comité se desarrolló a partir del interés de algunas empresas por implementar la metodología BIM en sus proyectos. Dicho comité está conformado por profesionales con experiencia en la implementación del BIM y se plantearon los siguientes objetivos:

- Difundir la metodología y las ventajas de la implementación de la metodología en los proyectos de construcción.
- Alcanzar un estándar en el uso y aplicación de la metodología BIM en el Perú

- Promover capacitaciones relacionadas a la metodología BIM y orientarlos a los profesionales y técnicos del sector construcción.
- Transformar la manera de gestionar proyectos mejorando la colaboración multidisciplinaria en la gestión de proyectos de construcción mediante la correcta implementación de la metodología BIM.
- Generar un grupo de profesionales interesados en la metodología BIM para potenciar su praxis.

(Comité BIM Perú, 2014)



Figura 2-7 Comité BIM Perú

Fuente: Facebook Comité BIM Perú, 2012

2.3.4. Dimensión 3D del BIM

2.3.4.1. Beneficios

Consiste en representar virtualmente, con dimensiones de largo, ancho y profundidad, el proyecto a construir. A través de la dimensión 3D del BIM se puede tener una representación realista del proyecto y dicha aplicación ya implica un gran beneficio, pues antiguamente en la construcción de proyectos se conceptualizaba el proyecto solo en los modelos 2D. Este modelo 3D se puede elaborar para las distintas especialidades que se involucran en un proyecto; por ejemplo, estructuras, arquitectura, instalaciones eléctricas, instalaciones sanitarias, instalaciones mecánicas, etc. Además, el uso del modelo 3D de un proyecto de construcción es fundamental para aprovechar la metodología BIM, pues es a partir de dicho modelo que se incorpora la información y el trabajo colaborativo entre los agentes involucrados en el

proyecto. En el año 2014, el Comité BIM Perú establecido algunos beneficios que implicaría la realización del modelo 3D de un proyecto, los cuales son los siguientes:

- Mejora la comunicación de las disciplinas que se modelaron.
- Facilita la exportación de datos o el modelo a diferentes softwares BIM a través de un archivo en formato Industry Foundation Classes (IFC).
- Masifica el uso del BIM en las diferentes etapas de la construcción del proyecto.
- Estandariza los niveles de detalle en cada etapa del proyecto.
- Permite el control de avance del proyecto.



Figura 2-8 Modelo BIM 3D de Residencial Córdova

Fuente: Elaboración propia

2.3.4.2. Nivel de detalle (LOD)

El significado del acrónimo LOD proviene del inglés como “Level of Development” o “Level of detail” e indica los detalles que tendrá el modelo 3D. Estos modelos se pueden elaborar con distintos niveles de detalle y dependiendo de estos se puede medir la cantidad de información que posee el modelado. El BIM Manager, quien es el profesional encargado de la gestión de la

metodología BIM, se encarga de la toma de decisiones para los niveles de detalle del modelado. Gracias a estos niveles de detalle, los usuarios pueden obtener claramente el nivel de uso del BIM y las limitaciones que posee.

Cabe resaltar que se pueden tener distintos niveles de detalle en el proyecto; por ejemplo, para la especialidad de estructuras se puede obtener un nivel de detalle mucho mayor que cualquier otra especialidad. Estos niveles de detalle se van a representar a través de distintos niveles los cuales son los siguientes.

✓ LOD 100

Según la interpretación del BIM Forum, el LOD 100 no es una representación geométrica, sino información adjunta a otros elementos o símbolos del modelo que muestran la existencia de un componente, pero no en su forma, tamaño o ubicación precisa; por lo tanto, toda la información del LOD 100 solo es aproximada (Cabrera y Quiroz, 2020). El modelo puede ser analizado a partir del área, volumen y orientación del proyecto; además, con este nivel de información se puede aproximar la duración del proyecto. La figura 2-9 muestra un ejemplo de modelo LOD 100



Figura 2-9 Modelo en LOD 100

Fuente: BIM Forum, 2019

✓ LOD 200

Los elementos guardan una posición genérica y estos pueden ser reconocidos como los componentes que representan, o volúmenes por el espacio reservado. Asimismo, todo elemento en el LOD 200 también se debe considerar aproximado (BIM Forum. 2019). Con este modelo se puede estimar los costos, pero solo basándose en el área y volumen. Además, el modelo puede ser utilizado para mostrar la distancia de la ordenada (altura) de los distintos elementos y los sistemas más importantes. La figura 2-10 muestra un ejemplo de LOD 200.

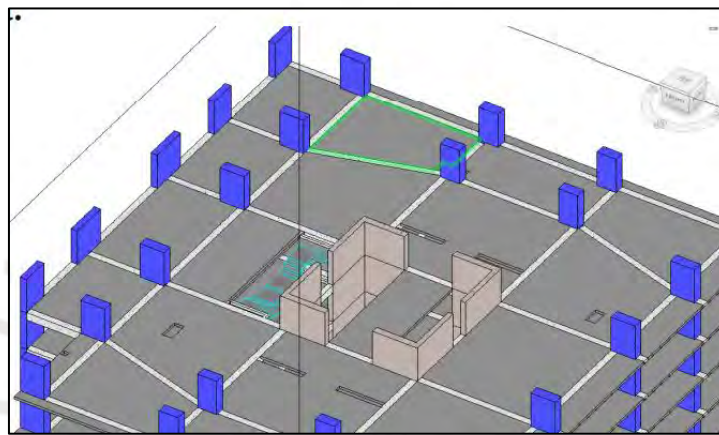


Figura 2-10 Modelo en LOD 200

Fuente: BIM Forum, 2019

✓ LOD 300

La cantidad, forma, tamaño, localización y orientación del elemento diseñado, puede ser medido directamente desde el modelo sin necesidad de información no modelada como cotas o notas (BIM Forum, 2019). A partir del LOD 300 se puede obtener una mejor aproximación al costo y coordinar las distintas especialidades. Además, a partir de un modelo en LOD 300 se puede compatibilizar las especialidades para la implementación de las dimensiones del BIM. La figura 2-11 muestra un ejemplo de modelo en LOD 300.

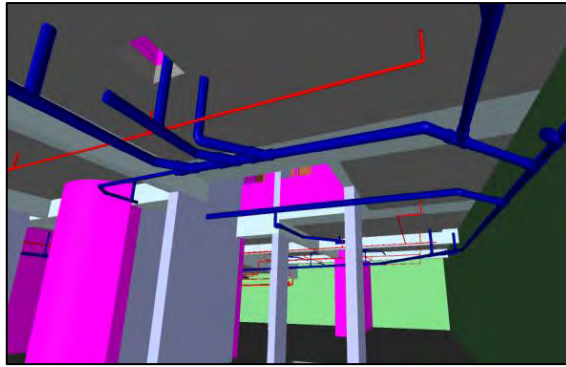


Figura 2-11 Modelo en LOD 300

Fuente: BIM Forum, 2019

✓ LOD 400

Un proyecto en LOD 400 es modelado con suficiente detalle y exactitud para la fabricación del componente representado. La cantidad, forma, tamaño, localización y orientación del elemento diseñado, puede ser medido directamente desde el modelo sin necesidad de información no modelada como cotas o notas (BIM Forum, 2019). A partir de dicho modelo se puede estimar información relacionada a los costos y otros parámetros que se asignen al modelo.



Figura 2-12 Modelo en LOD 400

Fuente: BIM Forum, 2019

✓ Adicional (LOD 500)

El LOD 500 es una representación verificada en términos de tamaño, forma, localización, cantidad y orientación. Es usado para la gestión de activos, análisis de sistemas y mantenimiento preventivo (AIA Document G202 – 2013). Este nivel de detalle ya no es utilizado por el BIM Forum.

2.3.5. Dimensión 4D del BIM

La dimensión 4D del BIM consiste, principalmente, en añadir la variable tiempo al proyecto de construcción y se relaciona directamente con el seguimiento y control de este. Se debe elaborar un plan maestro que servirá de línea base para la ejecución del proyecto y el BIM mánager puede realizar el análisis de seguimiento y control del proyecto a partir de dicha línea base. La programación de la obra se puede realizar en distintos softwares como Microsoft Project, Microsoft Excel, Primavera P6, etc. Esta programación, en la que se indican los plazos de las distintas tareas, se puede representar de distintas formas y una de ellas es a través de un diagrama de Gantt, el cual se vincularía con el modelo 3D. Esta compatibilización entre la programación con el modelo permitirá la simulación virtual del avance físico y proyectado del proyecto; permitirá tener un control de las distintas tareas y lograr un correcto seguimiento al proyecto aumentando o reduciendo recursos según sea necesario. En la figura 2-13 se observa lo que involucra el BIM 4D.

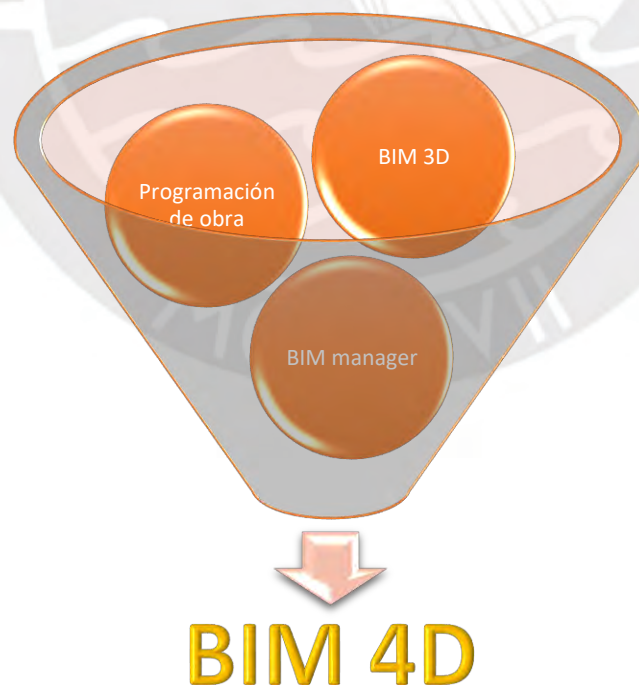


Figura 2-13 Representación del BIM 4D

Fuente: Elaboración propia

El BIM 4D es una herramienta muy útil de la metodología BIM que pretende optimizar los resultados relacionados a los plazos en el proyecto. La visualización de la simulación permite analizar no solamente los plazos de las tareas a realizar, sino también estimar en el terreno las áreas necesarias para las obras provisionales, instalaciones de equipos y herramientas. La simulación 4D posee una buena sinergia con la filosofía del Lean Construction y herramientas del Last Planner System; por ejemplo, los métodos de control y planificación más conocidos para la productividad como es el *look ahead*.

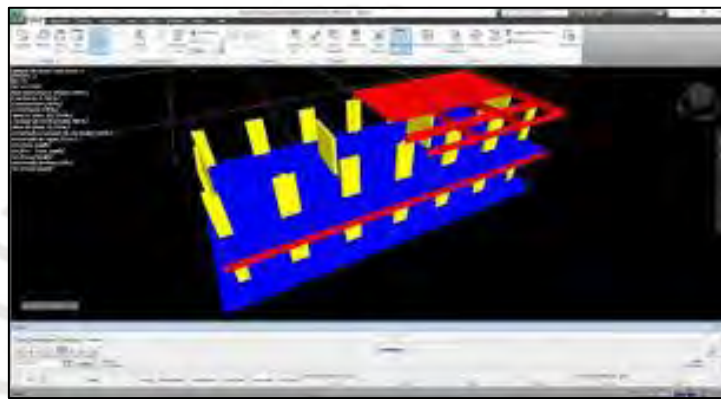


Figura 2-14 Ejemplo de simulación 4D con software Navisworks

Fuente: 4D model of one alternative in Navisworks.

2.3.6. Dimensión 5D del BIM

El BIM 5D consiste, principalmente, en añadir la variable del costo al proyecto de construcción. Se debe realizar un presupuesto base o meta para el proyecto e incluir lo gestionado del BIM 4D con el control de costos para así lograr el BIM 5D. El BIM mánager junto con el grupo de profesionales involucrados en el proyecto pueden realizar el análisis de seguimiento y control del proyecto, haciendo cumplir los cronogramas de costos (Cronograma Valorizado) y plazos del proyecto (Plan Maestro). En muchos de los proyectos de construcción se presentan actualizaciones en el presupuesto debido a que es casi imposible que se mantenga sin variaciones, pues existen variabilidades por retrabajos, adicionales, etc. La programación de la obra con los costos de las partidas se puede realizar en distintos softwares como Vico Office,

Presto, Delphin, etc. A partir de la programación, en la que se indican los plazos y costos de las distintas tareas, se puede extraer histogramas e informes según se requiera. Es recomendable aplicar esta herramienta desde la planificación del proyecto. En la figura 2-15 se observa lo que involucra el BIM 5D.

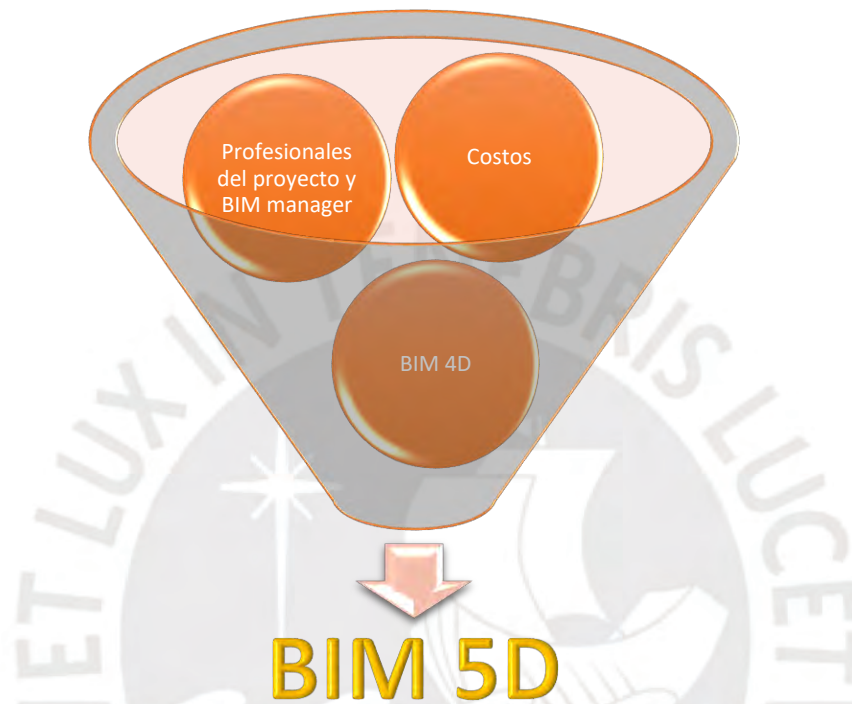


Figura 2-15 Representación del BIM 5D

Fuente: Elaboración propia

2.4. Location Based Management System (LBMS)

Es un sistema técnico que transforma las cantidades en lugares y la información de productividad en duraciones fiables haciendo topes explícitos. Prevé resultados futuros sobre una base histórica en el desarrollo de proyectos y posibles futuros problemas durante la producción (Seppanen, Ballard y Pesonen, 2010). El enfoque de usar este sistema es planificar la productividad y el trabajo continuo, pero para comprender la idea del Location Based Management System o también llamado sistema de gestión basado en ubicación, se deben conocer algunos conceptos previos.

2.4.1. Conceptos

2.4.1.1. Locaciones

Según Kenley & Seppänen, las locaciones son las unidades fundamentales para el control y la planificación. Además, estas locaciones deben permanecer fijas para que puedan ser fáciles de monitorear (Kenley & Seppänen, 2010). En el caso de los proyectos de construcción, estas locaciones se pueden distribuir en sectores que se encuentren en pisos e inclusive estos pisos dentro de bloques para su fácil monitoreo y control.

2.4.1.2. Línea de flujo

Son líneas que representan las actividades que se realizan en un proyecto. A diferencia de las barras de Gantt, las cuales pueden incluir miles de actividades en docenas de páginas; con las líneas de flujo se pueden representar las fases de la construcción en un solo diagrama (Seppänen, 2017). Cada una de estas líneas de flujo representan tareas específicas dentro de un proyecto; es decir, para cada tarea que se necesita representar existirá una línea de flujo. Asimismo, estas líneas se ubican en un gráfico de eje horizontal y vertical en el cual los ejes horizontales representan el tiempo y los verticales la localización en la que se está controlando la tarea. Otra característica importante de estas líneas son las pendientes que posee, pues a través de ella se puede asociar la productividad de la tarea. La figura 4-16 muestra un ejemplo de líneas de flujo vs diagrama de Gantt

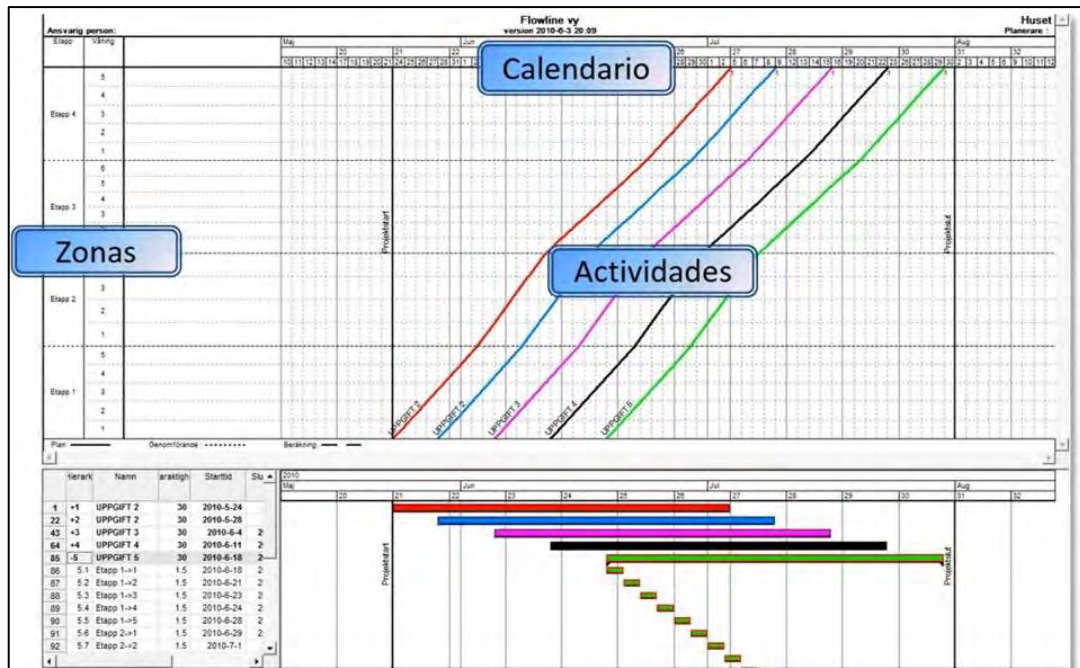


Figura 2-16 Líneas de flujo vs diagrama de Gantt

Fuente: Construsoft

2.4.2. Planificación basada en localizaciones

2.4.2.1. Location Breakdown Structure (LBS)

El sistema que usualmente se emplea en distintos proyectos es el basado en actividades y esto nace a partir de una Estructura de Descomposición de Trabajo (EDT) o también llamado en inglés como Work Breakdown Structure (WBS). En el caso de la aplicación del sistema de LBMS se tiene que partir de una Estructura de Descomposición en Localizaciones o en inglés conocido como Location Breakdown Structure (LBS). Estas locaciones se pueden distribuir de acuerdo con las fases y procesos de construcción del proyecto. La distribución de estas locaciones o localizaciones son importantes pues a partir de estas es cómo se controlará el proyecto. Además, para facilitar la elección de estas locaciones se puede usar herramientas del Last Planner System como la sectorización, ya que se tiene que distribuir las localizaciones de forma que las tareas se puedan cumplir con la misma cantidad cuadrillas sin interrupciones.

2.4.2.2. Lectura de información con líneas de flujo

Estas líneas de flujo se representarán en un espacio de localizaciones para el eje vertical y tiempo para el horizontal; además, cada una de estas líneas representará una tarea específica. Por ejemplo, en la figura 2-17 se observa que para la actividad “Pernos de Metal” existe una sola línea de flujo y va desde el 4 de enero al final del día 7 de marzo. Además, podemos identificar en qué locación se encuentra respecto al día que queramos; por ejemplo, el día 8 de febrero se observa que la actividad se encuentra en la zona “B” de la sub-zona “1°”.

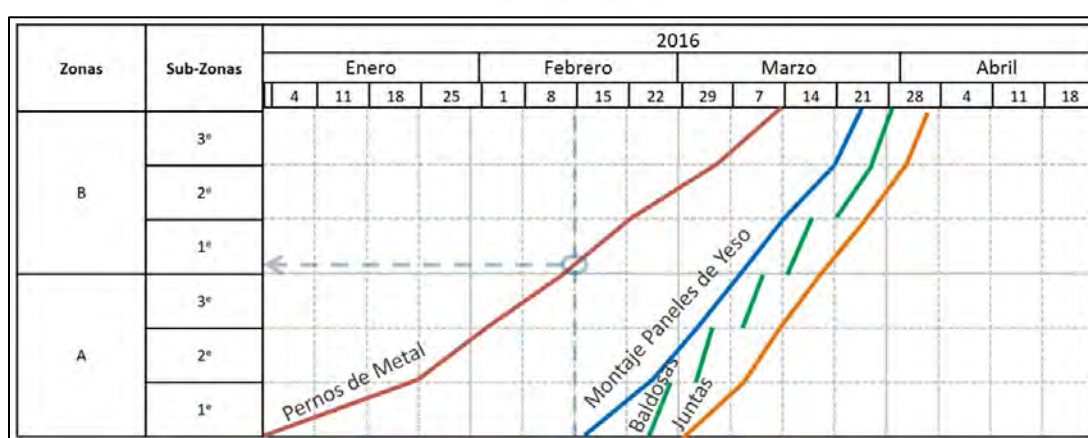


Figura 2-17 Líneas de flujo y localizaciones

Fuente: Construsoft

Para analizar la figura 2-18 se debe iniciar por la secuencia constructiva de las tareas tal como indica la flecha azul y estas se tienen que leer de izquierda a derecha. Además, los vacíos entre 2 tareas representan un tiempo perdido. También se puede observar una línea vertical que marca el inicio del proyecto y el camino crítico en el cual no se presentan holguras en un mismo día entre 2 actividades distintas (Seppänen, 2017).

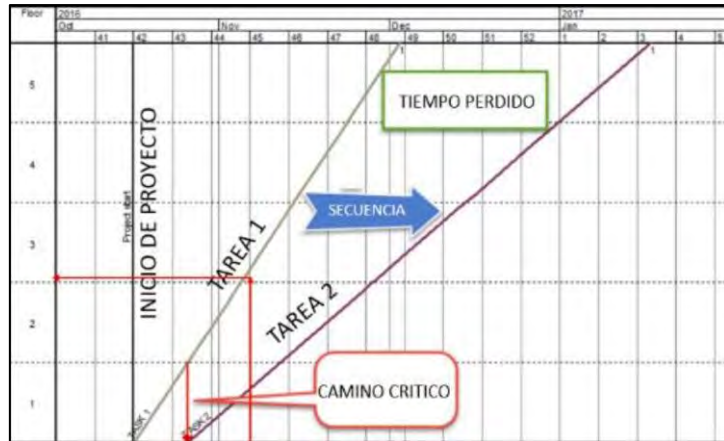


Figura 2-18 Líneas de flujo de dos tareas de Seppänen

Fuente: Adaptado de Seppänen, 2017

2.4.2.3. Ventajas y desventajas de las líneas de flujo

El uso de las líneas de flujo trae consigo algunas ventajas como desventajas:

Ventajas

- Asegurar el flujo continuo del trabajo.
- Tener un control de los buffers del proyecto.
- Identificar zonas en las cuales no se está teniendo un trabajo continuo (Fig. 2-19).
- Detectar interferencias mediante la visualización de las líneas de flujo (Fig. 2-20).
- Anticiparse a posibles retrasos en el proyecto.
- Permite enfocarse en los recursos, en las tareas, en su localización y el tiempo.
- Permite la toma de decisiones en base al control del proyecto basándose en las líneas de flujo.
- Visualizar los cronogramas reales y planificados del proyecto.
- Se puede complementar perfectamente con el modelo BIM 3D, 4D y 5D.

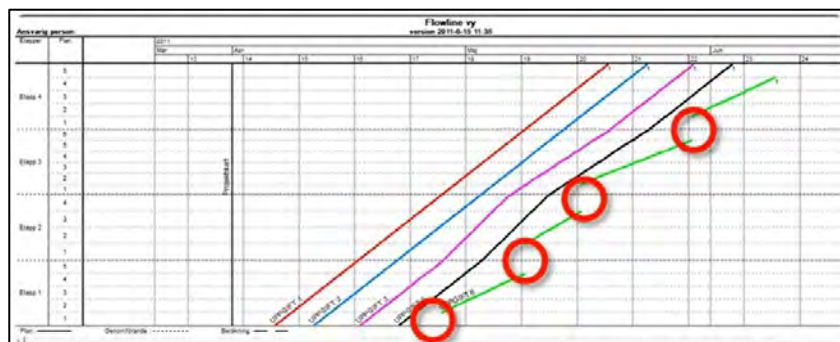


Figura 2-19 Identificación de paradas en líneas de flujo

Fuente: Construsoft

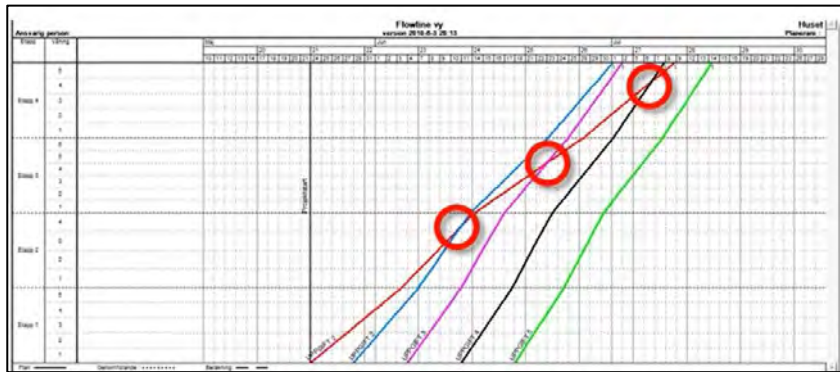


Figura 2-20 Interferencias en las líneas de flujo

Fuente: Construsoft

Desventajas

- Se requiere de un software para la fácil implementación de estas líneas de flujo, ya que hacerlo manualmente puede ser complicado.
- La programación detallada puede dificultar la visualización del proyecto debido a la gran cantidad de líneas de flujo.
- Existe poca difusión y conocimientos de la metodología.

2.4.2.4. Estructura del sistema y dependencias

Para controlar el proyecto basado en LBMS se debe considerar, principalmente, 4 aspectos (Seppäne & Kenley, 2005)

- Las fechas de inicio, fin y las interrupciones
- Las cantidades reales
- Recursos reales
- Duración de las jornadas y los días libres

Kenley y Seppäne en el año 2010 establecen 5 tipos de lineamientos para la correcta lectura de las líneas de balance en la aplicación del sistema LBMS y estos son los siguientes:

Tipo 1: Dependencia lógica externa entre actividades dentro de la misma localización.

Es una relación que involucra 2 tareas en el mismo nivel jerárquico de localización; por ejemplo, para vaciar concreto se debe realizar el encofrado, entonces estas dos tareas en conjunto se deben respetar independientemente de la localización en la que se encuentren.

Tipo 2: Dependencia lógica externa entre actividades en distintas localizaciones

Es una relación que involucra 2 tareas en los distintos niveles jerárquicos de localización; por ejemplo, para vaciar el concreto de un elemento vertical, se debe tener la losa del piso inferior.

Tipo 3: Dependencia lógica interna entre localizaciones dentro de tareas

Representa la secuencia continua de las cuadrillas; por ejemplo, la tarea de albañilería trabaja en los sectores del piso 1 para luego pasar al sector del piso 2.

Tipo 4: Enlaces adicionales basados en ubicación

Similares al Tipo 1, pero en este caso se incluyen los retrasos o buffers.

Tipo 5: Enlaces estándar del Método de la Ruta Crítica entre cualquier tarea y diferente localización

Permite relacionar las tareas en las distintas fases de la construcción.

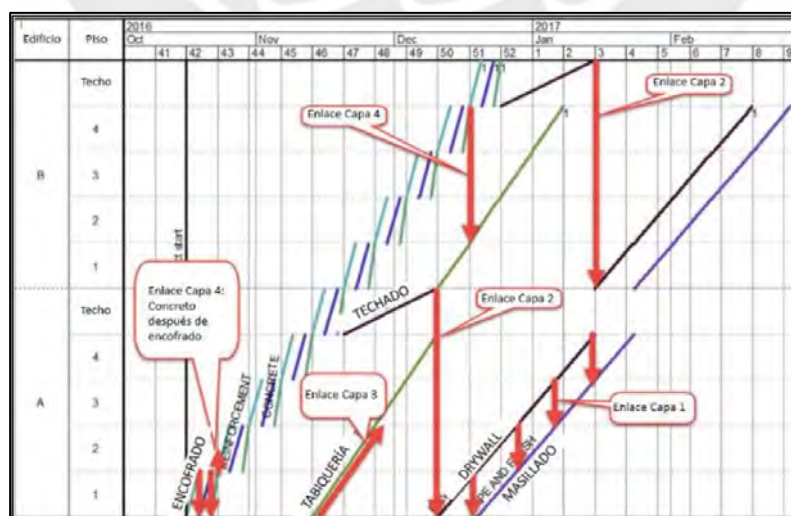


Figura 2-21 Ilustración de los tipos de líneas de flujo

Fuente: Adaptado de Suárez Cabello, 2019

2.5. Last Planner System

El Last Planner System (LPS) es un sistema de control de la producción el cual fue desarrollado por Herman Glenn Ballard y Gregory Howell basándose en los principios de la filosofía de Lean Construction. Este sistema tiene como función lograr que el “debemos” coincida con el “podemos”, y finalmente ambos se conviertan en lo que “haremos” (Guio, 2001). El LPS busca reducir la variabilidad en los proyectos y obtener un correcto control de la producción. Algunos de los principales conceptos y herramientas del LPS que se deben tener en consideración son los siguientes:

2.5.1. Conceptos

Sectorización: Consiste en distribuir el trabajo en zonas equitativas con la finalidad que en dichas zonas se posea los suficientes recursos para terminar el trabajo en el tiempo establecido.

Trenes de trabajo: Método de visualización de la planificación de tareas que consiste en ordenar las actividades según la secuencia constructiva y teniendo en cuenta que los sectores se realizarán a lo largo del tiempo (Suarez, 2019).

Buffer: Es una medida que se utiliza para contrarrestar el efecto negativo de la variabilidad. Usualmente esta medida se traduce en aumento de tiempo para la actividad.

Restricciones: Factores condicionantes que pueden interferir en el trabajo continuo de lo planificado.

Hitos: Acontecimientos puntuales dentro del intervalo del tiempo del proyecto que ayuda a marcar señales y progresos.

2.5.2. Herramientas del Last Planner System

2.5.2.1. Plan Maestro (Máster Plan)

El Plan Maestro se debe realizar durante la planificación inicial del proyecto, previo a su ejecución, para contemplar las fases, sub-fases e hitos del proyecto. En cada hito se menciona el inicio, fin y su duración. Además, el plan maestro debe considerar todas las actividades del proyecto, las fechas laborables y no laborables, pues a partir de este se tendrá una línea base para su control y seguimiento. La figura 2-22 es un ejemplo de un Plan Maestro.

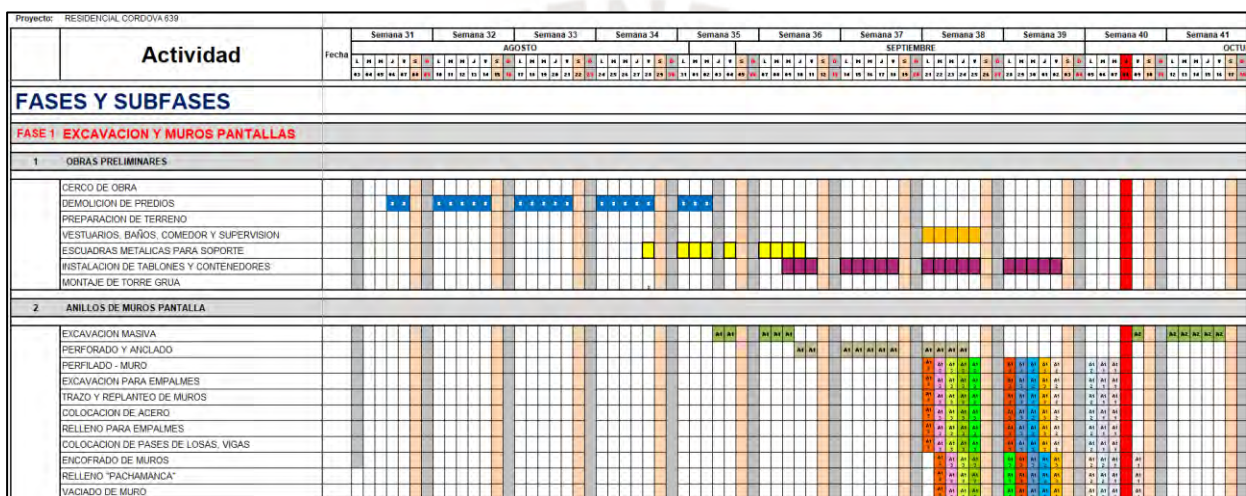


Figura 2-22 Ejemplo de Plan Maestro (Residencial Córdoba)

Fuente: Tale Inmobiliaria

2.5.2.2. Look Ahead Planning

Esta es una herramienta de planificación intermedia en la que se puede representar de forma simple los intervalos de tiempo del trabajo que se realizarán en el futuro y es de suma importancia pues permite controlar el flujo de trabajo. Se presentan las actividades que serán ejecutadas para el control y seguimiento del proyecto. Esta planificación se puede realizar semanalmente y es necesario tener una buena descomposición de las actividades a realizarse basándose en el *Máster Plan*. Según Miranda (2012), las principales funciones del Look Ahead Planning son las siguientes:

- Formar la secuencia y el ritmo del flujo del trabajo.

2.6. Valor Ganado

Es una herramienta muy importante en la gestión de proyectos que permite controlar el avance a través del costo (presupuesto) y el tiempo (cronogramas). Esta herramienta se basa en comparar los valores acumulados del costo real del proyecto con valores planeados y trabajo terminado.

2.6.1. Indicadores de gestión

Para realizar el análisis de control del proyecto mediante esta herramienta de valor ganado, se utilizan algunos indicadores los cuales son los siguientes:

- Budget at completion (BAC): Presupuesto contractual total del proyecto o presupuesto base.
- Planned Value (PV): El valor planeado es la planificación basada en el costo y tiempo del proyecto.
- Earned Value (EV): Es una expresión del avance del proyecto basado en costos del presupuesto.
- Actual Cost (AC): Es el costo real de lo que se ha ejecutado hasta el momento del corte de análisis.

Cada uno de estos indicadores se puede representar en un gráfico de tiempo vs costo. El presupuesto base o BAC es un número conocido y se va a representar en una línea horizontal (sin curvas ni pendiente), el cual indica el presupuesto contractual que se tuvo en un comienzo para la ejecución del proyecto. La representación del resto de indicadores sería las curvas S, las cuales representan costos acumulados mensuales a través del tiempo. La curva S del valor planeado (VP) se puede obtener de un cronograma valorizado base y se le conoce como línea base, pues esta es la programación de los montos que se debería usar mensualmente hasta terminar el proyecto. Dicha línea base servirá para el control de los costos en el proyecto.

En el caso del Earned Value (EV) o valor ganado también se presenta en una curva, la cual muestra el avance real ejecutado en el proyecto. Esta curva se puede realizar a través de un cronograma de avance de obra (CAO) y se obtiene de las valorizaciones.

Finalmente, el Actual Cost (AC) también se presenta en una curva, la cual incluirá el costo real de la obra hasta la fecha de corte para el análisis.

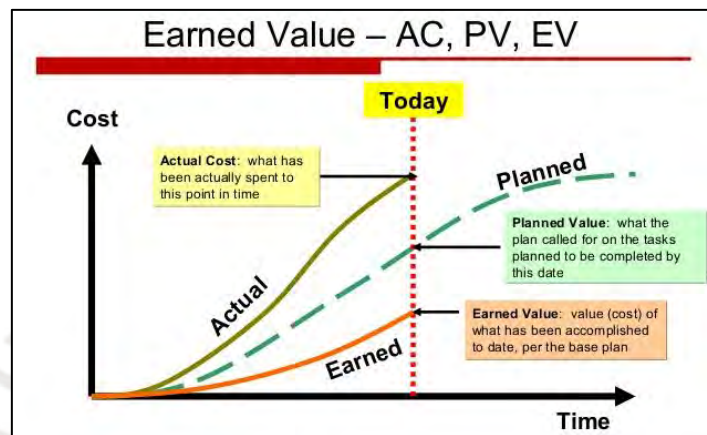


Figura 2-24 Valor ganado

Fuente: Anand Subramaniam, 2019

2.6.2. Indicadores de eficiencia

Para obtener un mejor control del proyecto se puede usar indicadores de eficiencia como los mencionados a continuación.

Cost Performance Index (CPI): Índice de rendimiento del costo.

$$CPI = \frac{EV}{AC}$$

Dicho índice puede brindar información respecto a qué tan eficiente fue el gasto del dinero en el costo actual respecto al valor ganado. Si el índice es menor que uno, significa que no se obtuvieron buenos resultados y el costo actual mayor. En caso resulte menor que uno el índice, significa que los resultados fueron adecuados con un buen desempeño en el tratamiento de los costos actuales.

Schedule Performance Index (SPI): Es el índice de rendimiento del cronograma.

$$SPI = \frac{EV}{PV}$$

Dicho índice puede brindar información si se posee retrasos o no según el cronograma. Por ejemplo, si el índice es menor que uno significa que el avance del proyecto está en concordancia con lo que se había planificado. En el caso que sea mayor que uno significa que el avance del proyecto posee retrasos respecto a lo que se había planificado.

2.6.3. Sinergia entre el Valor Ganado, el BIM 4D y 5D

Parte de los resultados que se obtendrían de la implementación del BIM 4D y 5D se complementará con las herramientas e indicadores necesarios para el control del proyecto a través de la teoría del Valor Ganado. Por ejemplo, el software Vico Office permite realizar el presupuesto contractual y así obtener el BAC que será de utilidad para el control del proyecto.

El Schedule Planner, herramienta del Vico Office, permite elaborar el cronograma base del proyecto basándose en la productividad y el trabajo continuo tomando en cuenta los rendimientos de las partidas. Se puede realizar el cronograma valorizado para posteriormente realizar la curva S o línea base del proyecto, y así realizar el análisis correspondiente en base a los indicadores de gestión. Además, la metodología del 4D y 5D a través del software permite introducir porcentajes de avance a las distintas partidas dentro del presupuesto, “tomar capturas” o realizar cortes en tiempos específicos para analizar el estado del proyecto respecto al costo y tiempo. Finalmente, el BIM 4D permite proyectar un avance físico de la construcción del proyecto en un modelo 3D a través del tiempo.

CAPÍTULO 3: CASO DE ESTUDIO

3.1. Presentación del proyecto de estudio

3.1.1. Descripción

El proyecto de estudio es la Residencial Córdova el cual es un edificio multifamiliar ubicado en la avenida General Córdova en el distrito de Miraflores. Este proyecto contará con 9 niveles más la azotea. Además, contará un semisótano y 2 sótanos para autos, bicicletas, servicios y depósitos. Este proyecto cuenta con un área total de terreno de 820 m², un área techada de 7,606 m², un plazo meta de culminación de obra de 470 días y tiene un presupuesto de S/13,577,184.21. En la tabla 3-1 se mostrarán datos del proyecto.



Figura 3-1 Residencial Córdova 639

Fuente: Inicio - Tale inmobiliaria

Tabla 3-1 Tabla de datos generales del Proyecto Córdova (Fuente: Tale Inmobiliaria)

DATOS GENERALES	
PROYECTO	: RESIDENCIAL CÓRDOVA
AV / CALLE	: Av. General Córdova 639
URBANIZACIÓN	: Santa Cruz
DISTRITO	: Miraflores
CLIENTE	: Residencial Córdova S.A.C.
	: 02 Sótanos, 01 Semisótano, 09 pisos, 01 azotea
NRO DE PISOS DEL PROYECTO	
NRO DE DEPARTAMENTOS	: 42
NRO DE ESTACIONAMIENTOS	: 70
ÁREA DE TERRENO (m2)	820 m2
ÁREA TECHADA (m2)	7606 m2
ÁREA CONSTRUIDA SEGÚN PLANOS (m2)	8085 m2

3.1.2. Antecedentes

Residencial Córdova S.A.C. es dueño del predio de un área total de terreno de 820,00 m² y un perímetro de 122.00 metros lineales. Además, la ejecución del nuevo proyecto Residencial Córdova será realizada por TALE Constructora. Los linderos del terreno son los siguientes:

- ✓ Por el frente limita con la avenida General Córdova, con 20.00 ml.
- ✓ Por el lado izquierdo limita con propiedad de terceros, con 41.00 ml.
- ✓ Por el lado derecho limita con propiedad de terceros, con 41.00 ml.
- ✓ En su parte trasera limita con propiedad de terceros, con 20.00 ml.

Parte de la gestión para el desarrollo del proyecto se realizó durante las primeras semanas de la cuarentena en Lima-Perú (2020). El inicio de la construcción (demolición del predio) comenzó el día 6 de agosto del 2020 con las medidas adoptadas y declaradas en la etapa de reactivación del sector construcción.

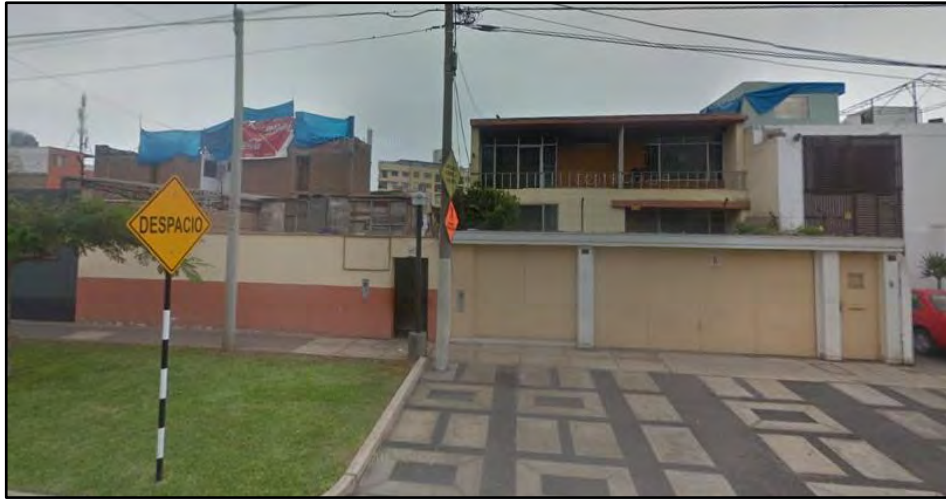


Figura 3-2 Vista frontal del predio

Fuente: Fotografía Google Maps

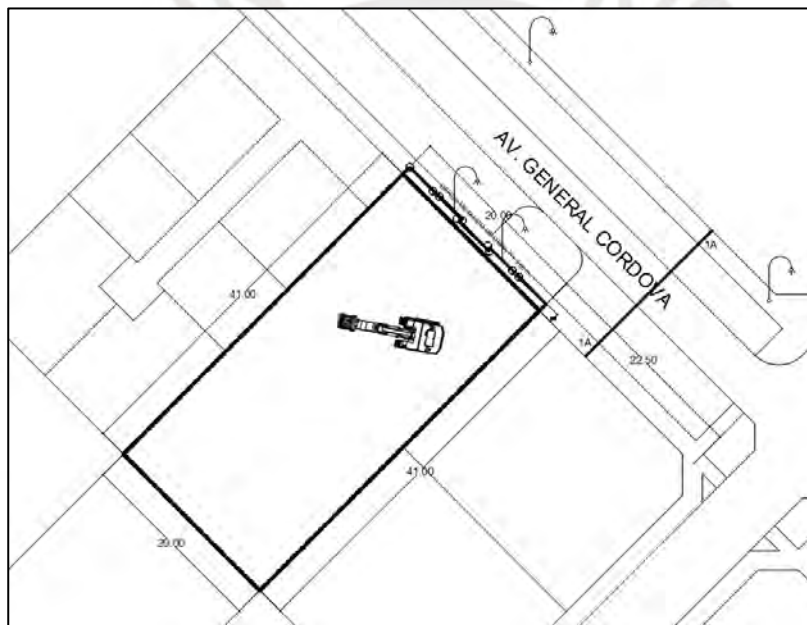


Figura 3-3 Geometría del terreno de la residencial (Córdova)

Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Situación actual

El proyecto es ejecutado por Tale Constructora y posee 7 fases (dentro de las fases se encuentran sub-fases). La tabla 3-2 muestra las fases del proyecto y para el presente estudio se considerará hasta la fase 3 del proyecto.

Tabla 3-2 Fases del proyecto Córdova (Fuente: Elaboración propia)

Fase 1	EXCAVACIÓN Y MUROS PANTALLA
Fase 2	CIMENTACIÓN
Fase 3	CASCO
Fase 4	ACABADO HÚMEDOS
Fase 5	ACABADOS SECOS
Fase 6	ÁREAS COMUNES
Fase 7	OBRAS EXTERIORES

Durante la fase 1 se tendrá como partidas principales la excavación masiva, ejecución de muros pantalla, acarreo y eliminación de material excedente. Para la fase 2 se tendrá la cimentación del proyecto y finalmente se analizará la fase 3 del proyecto, el cual se centrará en el casco y se distribuirá en sótanos y torre.

3.1.4. Factores Geográficos

El acceso para el ingreso de material y personal es por el frente del terreno. El predio cuenta con un retiro de 3.5 metros y al encontrarse en una avenida se puede realizar el ingreso o extracción de material con los permisos municipales correspondientes. Además, al colindar el proyecto con propiedades de terceros (vecinos), se mantiene una buena predisposición para atender cualquier consulta o queja de ellos.



Figura 3-4 Acceso al proyecto

Fuente: Fotografía propia

3.1.5. Modificaciones del proyecto

Durante la ejecución del proyecto se originaron cambios debido a que es poco probable mantener estático el presupuesto y planificación inicial del proyecto. Siempre existe variabilidad y un flujo de cambios por los adicionales, retrabajos, solicitudes de cambios en el proyecto para clientes o imprevistos ajenos al sector construcción como el estado de emergencia a causa del Covid-19. Por ejemplo, a pesar de que se cuenta con un plan covid-19 y un presupuesto destinado a ello, la situación en el Perú durante la cuarentena se volvió tan complicada que, al momento de identificar a un personal del staff de obra con la enfermedad, era muy probable que más del 90% del staff de obra ya esté con dicha enfermedad, según personal anti-covid de la obra Residencial Córdova. Ello conlleva a retrasos en la obra y aumentos en el presupuesto debido al aumento de la duración del proyecto. La planificación maestra y el cronograma valorizado del proyecto serán la línea base para el seguimiento y control de este, pues son documentos que no deberían sufrir cambios durante el proyecto. Sin embargo, si se tiene una gran cantidad de cambios provoca que la planificación maestra y el cronograma valorizado se vuelvan de poca utilidad, entonces es recomendable actualizarlos y así obtener una nueva línea base para el control del proyecto a partir de las modificaciones del proyecto.

3.2. Consideraciones para la planificación y ejecución

3.2.1. Muros anclados

El proyecto contará con 3 anillos de muros anclados en el frente del terreno y 2 anillos en la parte del fondo, como se muestra en la figura (3-5). Se formará una rampa en la parte delantera del proyecto para extracción de material excedente.

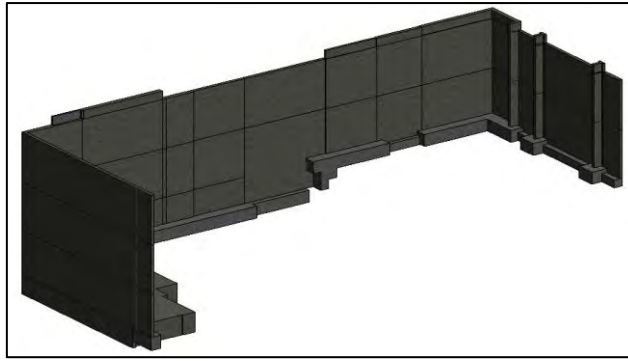


Figura 3-5 Anillos de muros anclados en el proyecto

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Estructura

El proyecto solo necesita de una torre grúa para la ejecución en su totalidad. Además, el proyecto contará con una serie de subcontratos; por ejemplo, para encofrados y abastecimiento de concreto para el vaciado de elementos verticales y horizontales.

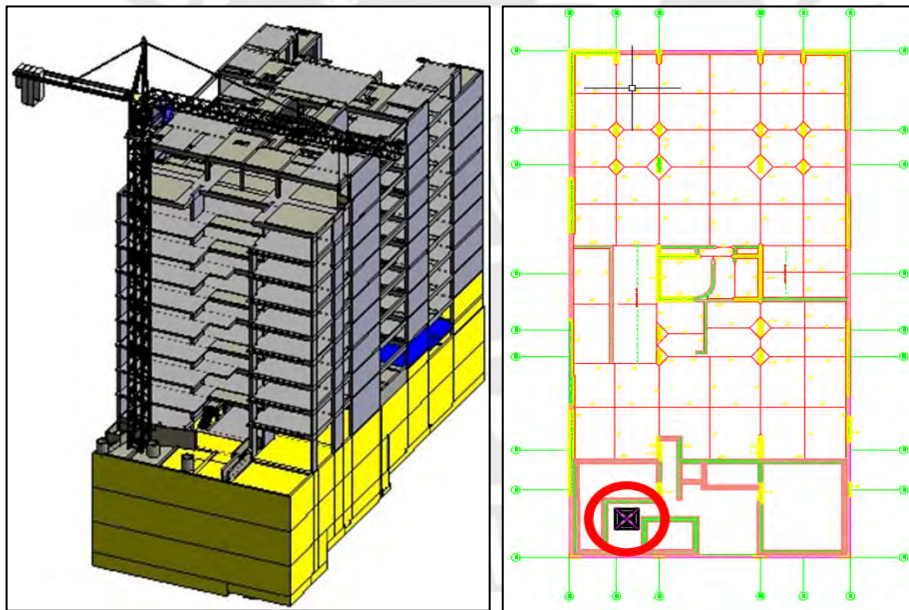


Figura 3-6 Ubicación de la torre grúa

Fuente: Elaboración propia

3.3. Técnicas para recopilación de la información

Para la obtención de información del proyecto se aplicaron distintas técnicas en las cuales se describen en la tabla 3-4

Tabla 3-3 Técnicas de recopilación (Fuente: Elaboración propia)

Control	Técnicas de recopilación
Tiempo	- Visitas de campo semanales a la obra (observación directa de los avances) - Control del <i>look ahead</i> a través de las visitas
Costo	- Control del costo a través de los avances reportados en las visitas. - Estimar el porcentaje de avance de las partidas para el costo actual de obra.

3.4. Documentos del proyecto para su planificación del costo y plazo

En base al proyecto se realizaron una serie de documentos que serán importantes para la implementación de las dimensiones 4D y 5D del BIM:

3.4.1. Presupuesto

La presente investigación solo se centrará en las 3 primeras fases del proyecto; por ello, solo se adaptó el presupuesto para dichas fases. Además, se dividió el presupuesto en 2: la estructura sótanos y la estructura torre. Este documento abarca todas las partidas que se ejecutarán con sus respectivos metrados, unidades de medidas, precios unitarios y precios parciales.

En el caso de la estructura sótanos se consideró un presupuesto de S/. 2,143,130.60 con una división de las partidas principales agrupadas en la siguiente tabla 3-4.

Tabla 3-4 Partidas principales sótanos (Fuente: Elaboración propia)

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRECIO S/.
1.01	OBRAS PROVISIONALES	S/122,262.73
1.02	OBRAS PRELIMINARES	S/93,300.80
1.03	MOVIMIENTO DE TIERRAS	S/235,426.46
1.04	CONCRETO SIMPLE	S/24,234.01
1.05	CONCRETO ARMADO	S/1,398,036.58
1.06	VARIOS SÓTANOS	S/269,870.03
		S/2,143,130.60

En el caso de la estructura torre se consideró un presupuesto de S/. 2,473,074.79 con una división de las partidas principales agrupadas en la siguiente tabla 3-5.

Tabla 3-5 Partidas principales torre (Fuente: Elaboración propia)

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRECIO S/.
2.01	OBRAS PROVISIONALES	S/46,568.69
2.02	OBRAS PRELIMINARES	S/385,081.86
2.03	MOVIMIENTO DE TIERRAS	S/41,599.17
2.04	CONCRETO ARMADO	S/1,667,129.52
2.05	VARIOS TORRE	S/332,695.54
		S/2,473,074.79

En resumen, el presupuesto total considerado para el casco estructural del proyecto es de **S/ 4,616, 205.39**

3.4.2. Análisis de precios unitarios

Documento en el cual se encontrarán los recursos por partidas del proyecto. Estos recursos se clasificarán en los siguientes rubros: la mano de obra, equipos, herramientas, materiales y subcontratos. Cada uno de los análisis de precios unitarios de las partidas contarán con rendimientos los cuales serán muy importantes para el análisis 4D y 5D que se plasmará en el modelo BIM.

3.4.3. Cronograma de obra

Este documento se constituirá a través de paquetes de trabajo y actividades que están directamente relacionadas con las partidas del proyecto. Debe existir una secuencia constructiva entre dichas actividades o tareas que se mencionan en el cronograma de obra, pues estas tareas tendrán hitos de comienzo, fin, duraciones y dependencias. Para la elaboración de dicho cronograma se puede usar el método de la ruta crítica o también llamado en inglés como Critical Path Method (CPM). Este cronograma se puede expresar en un diagrama de Gantt en el cual se visualizará la ruta crítica y la dependencia de tareas; sin embargo, esta herramienta se puede mejorar si se expresa el diagrama en líneas de flujos pues se obtendría más información como se detalló en el capítulo anterior.

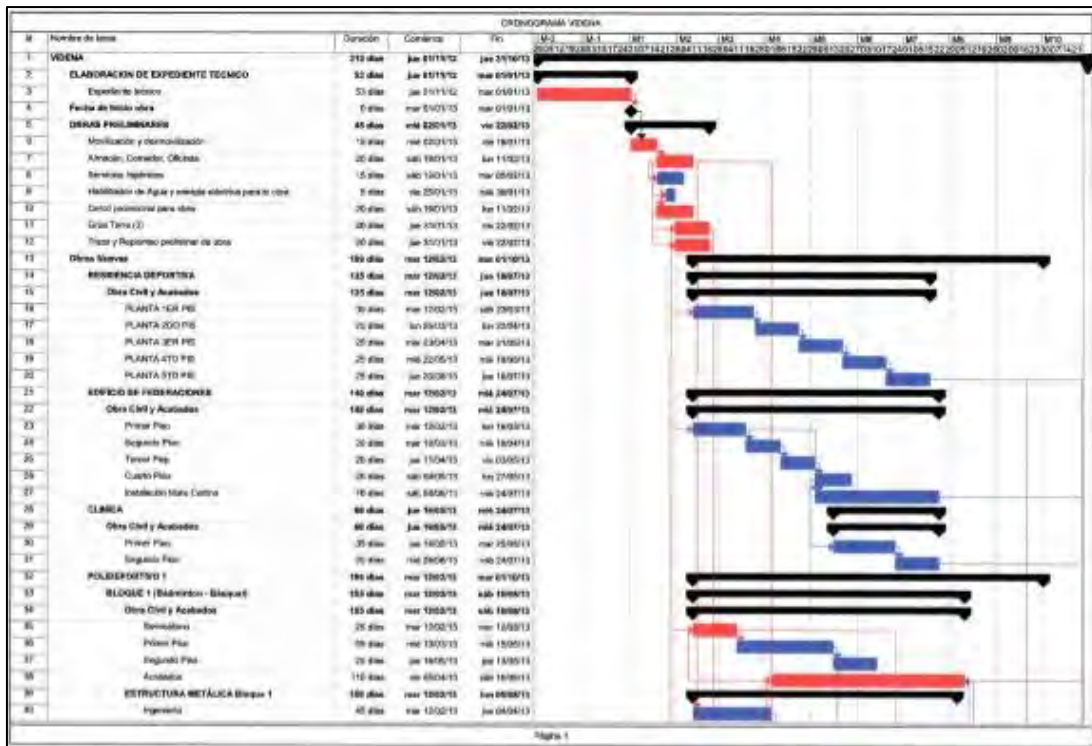


Figura 3-7 Ejemplo de cronograma de obra

Fuente: Ipd cronograma (slideshare.net)

3.4.4. Cronograma Valorizado

Así como se tiene una línea base para el control del tiempo, el cual es el cronograma de obra, basado en el plan maestro; también se tiene una línea base para controlar el costo del proyecto mensualmente y este es el cronograma valorizado. Los montos acumulados en los meses se pueden representar en un gráfico el cual es conocido como la Curva “S”.

CAPÍTULO 4: DESARROLLO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS BIM (4D Y 5D)

4.1. Modelado del proyecto 3D

Para la elaboración del modelo 3D del proyecto se utilizó el software Revit 2020. Durante la elaboración del modelo se establecieron parámetros que ayudarían a tener una buena distribución de los elementos para importarlos al software Vico Office mediante un archivo Industry Foundation Classes (IFC). Esta importación es importante, pues definirá toda la información que se utilizará para el análisis 4D y 5D.

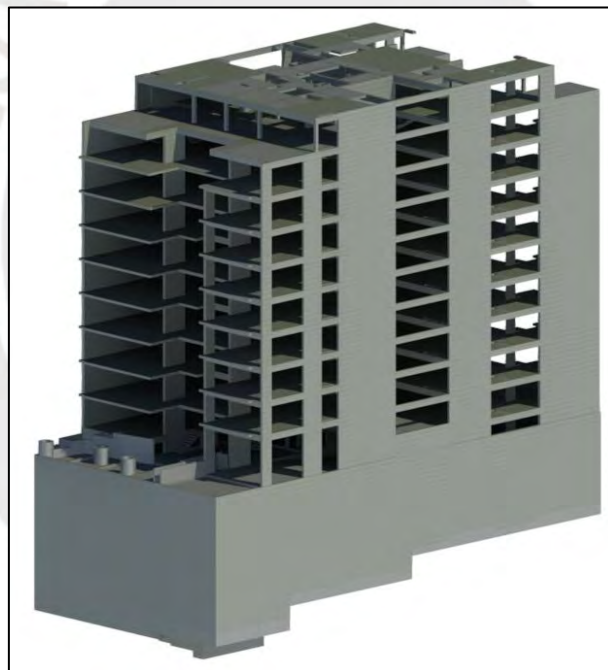


Figura 4-1 Modelo de estructuras Residencial Córdova

Fuente: Elaboración propia

Otro de los aspectos que se tuvo en consideración para la elaboración del modelado fue la secuencia constructiva del proyecto. Se le asignaron nombres a las distintas familias que se utilizaron en el modelo; además, se agregó distintos tipos de parámetros a dichas familias para manejar una mejor distribución de los elementos y se pueda clasificar fácilmente al momento

de enlazarlo con el presupuesto. Por ejemplo, en la figura 4-2 tenemos el caso de la familia de las placas rectangulares. Dichas placas poseen distintos tipos que se detallarán en los planos estructurales realizados por el proyectista. Se respetó dichas tipologías en el modelo lo cual ayuda a la cuantificación, detección de interferencias, etc.

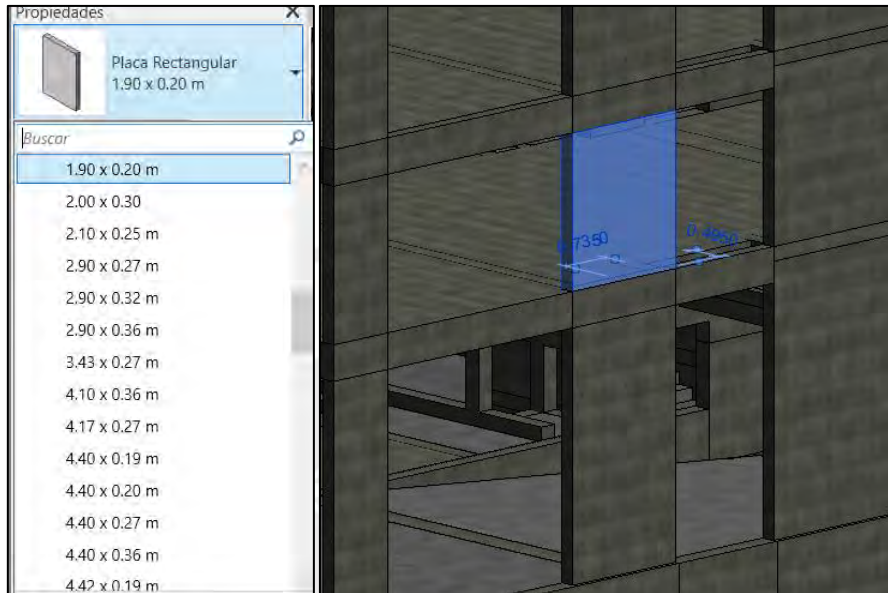


Figura 4-2 Familia y tipos para las placas en el modelado 3D

Fuente: Elaboración propia

En el modelo 3D se separaron las uniones entre elementos verticales y horizontales con la finalidad de obtener una correcta simulación del proceso constructivo del proyecto (Figura 4-3). En la figura 4-5 se mostrará un corte del proyecto 3D final para exportación y elaboración de los modelos 4D y 5D con software Vico Office y Schedule Planner.

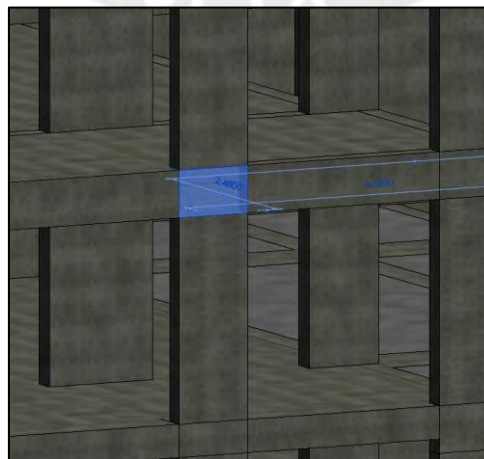


Figura 4-3 Uniones rígidas entre elementos verticales y horizontales en el modelo 3D (Elaboración propia)

En la figura 4-4 y 4-5 se presenta el modelado correspondiente a las fases 2 y 3 respectivamente.

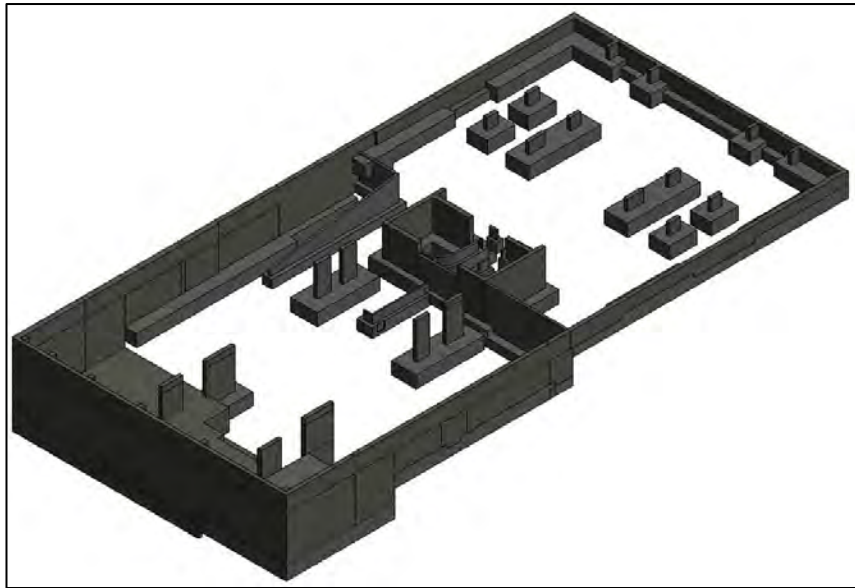


Figura 4-4 Cimentación 3D

Fuente: Elaboración propia

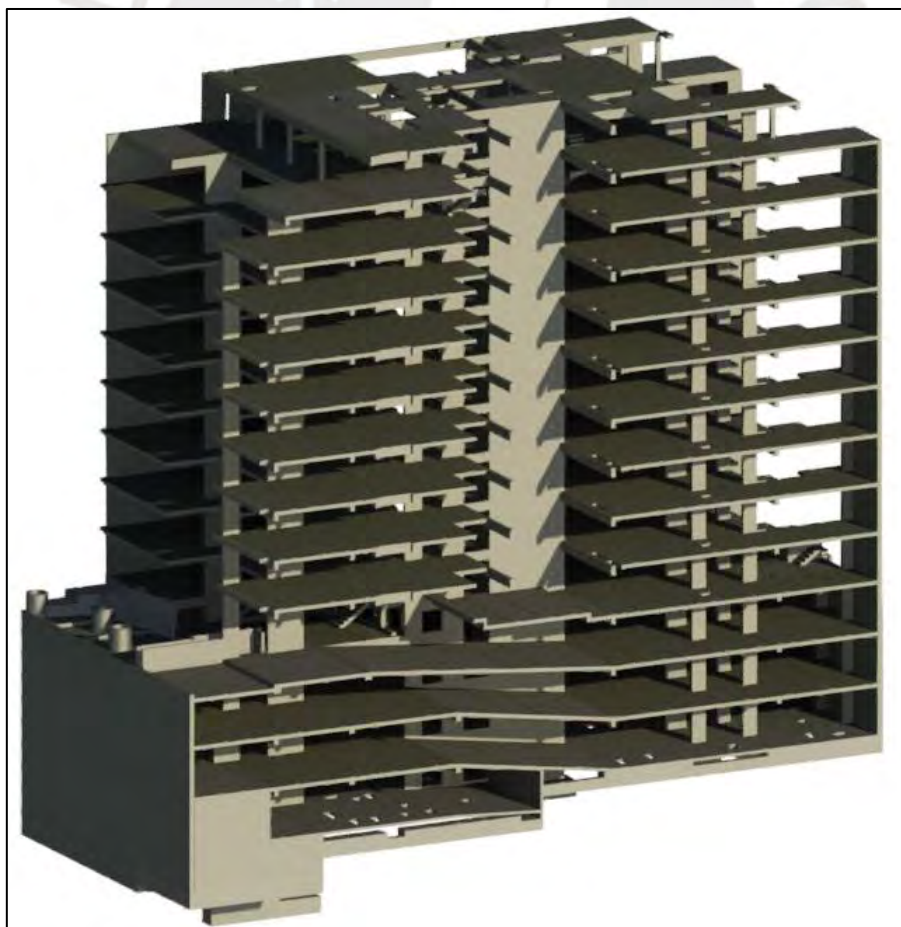


Figura 4-5 Corte del modelo 3D de la Residencial Córdova (Elaboración propia)

4.2. Consideraciones previas para la implementación 4D y 5D

4.2.1. Location Breakdown Structure del proyecto

Basándose en el LBMS se realizó la distribución del proyecto en distintas locaciones, en las cuales se tomaron en consideración algunos factores importantes como son los metrados, rendimientos, tipos de elementos, costos y recursos de las partidas involucradas en dichas locaciones. En el proyecto se realizó 3 niveles jerárquicos (tabla 4-1) para el Location Breakdown Structure (LBS), en el cual el primer nivel jerárquico será el proyecto, el segundo nivel serán los pisos y finalmente el último será la sectorización por piso de cada planta. Cabe resaltar que, por consideraciones del programa, el último piso se tuvo que dividir en azotea y techo. La azotea solo considera los elementos verticales en el último piso y el techo solo considera los elementos horizontales. Además, el modelo 3D del proyecto se dividirá en dos, los cuales son los sótanos y la torre.

Tabla 4-1 Location Breakdown Structure del proyecto (Sótanos y torre). Fuente: Elaboración propia

NIVEL JERÁRQUICO		
PRIMERO	SEGUNDO	TERCERO
Proyecto	Piso del proyecto	Sectores
RESIDENCIAL CORDOVA	Cuarto de bombas	S1
	Cimentaciones	S1-S3
	Sótano 2	S1-S4
	Sótano 1	S1-S4
	Semisótano	S1-S4
	Piso 1	S1-S4
	Piso 2	S1-S4
	Piso 3	S1-S4
	Piso 4	S1-S4
	Piso 5	S1-S4
	Piso 6	S1-S4
	Piso 7	S1-S4
	Piso 8	S1-S4
	Piso 9	S1-S4
	Azotea	S1-S3
Techo	S1-S2	

Primero se exportó el modelo 3D realizado con el software Revit en un formato IFC para importarlo en el software Vico Office y realizar a través de dicho software la división de los niveles jerárquicos (Figura 4-6).

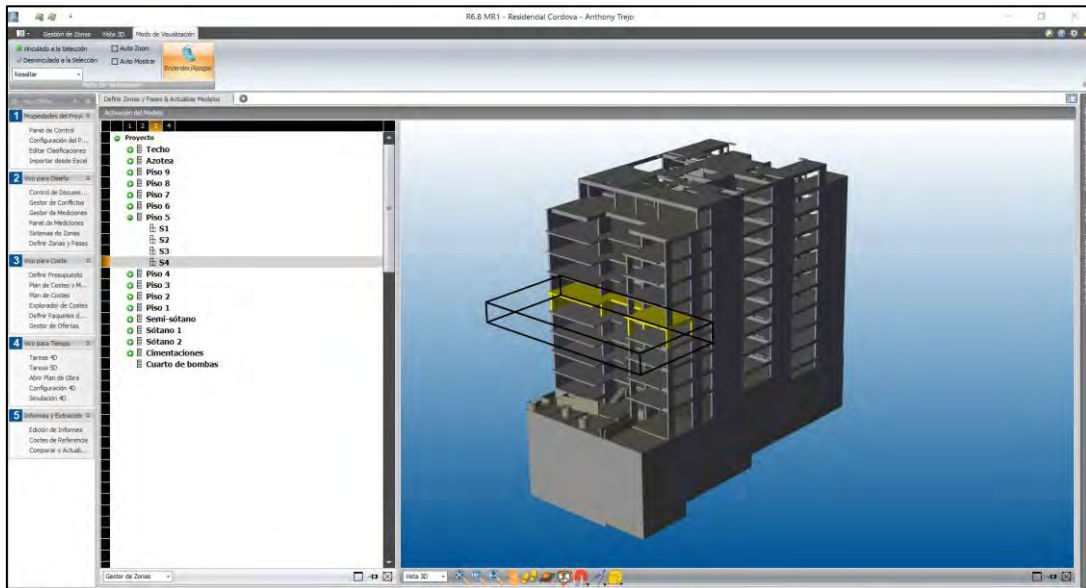


Figura 4-6 Distribución de los niveles jerárquicos con el software Vico Office

La figura 4-7 muestra el primer nivel el cual es la presentación del proyecto a realizar

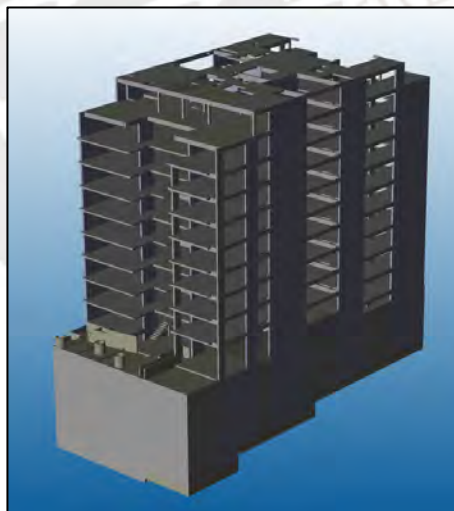


Figura 4-7 Primer nivel jerárquico del proyecto

Fuente: Elaboración propia

La figura 4-8 muestra el segundo nivel jerárquico los cuales son los pisos del proyecto y a manera de ejemplo se selecciona el piso número 5.

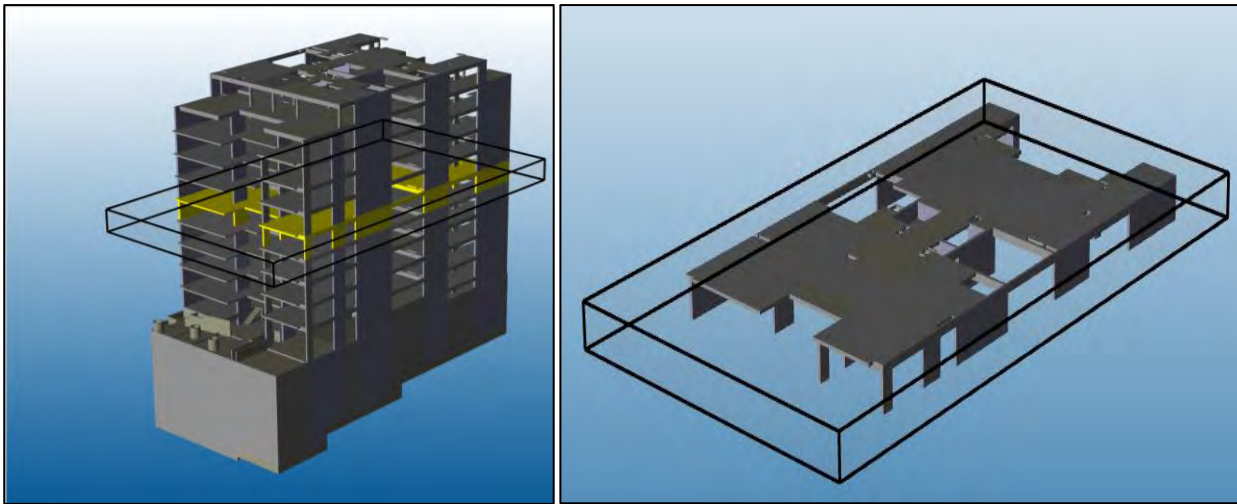


Figura 4-8 Segundo nivel jerárquico

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se tiene como último nivel jerárquico la sectorización de los niveles del proyecto y a manera de ejemplo se seleccionó el sector 1 del piso número 5.

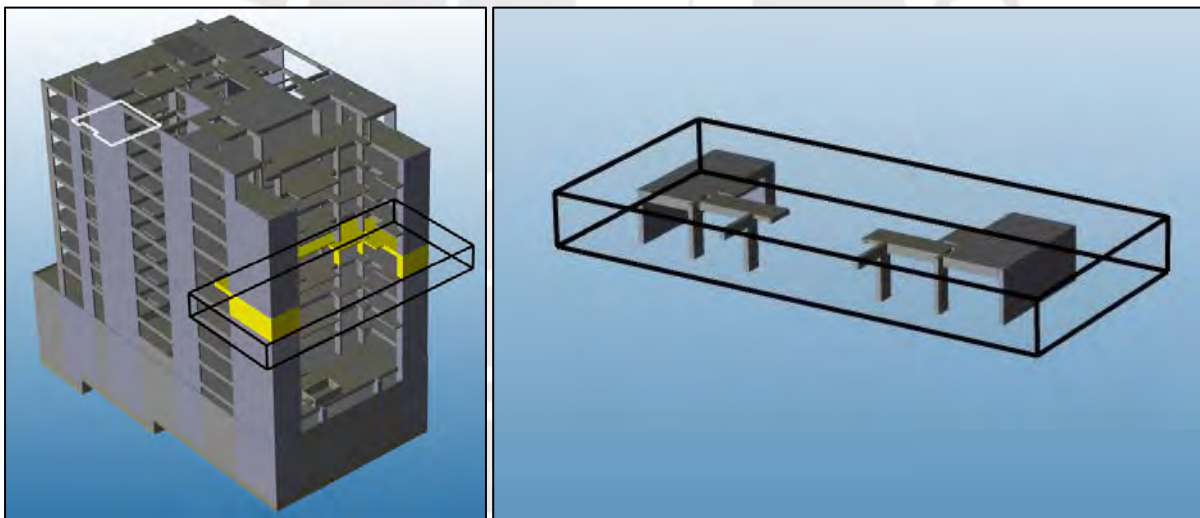


Figura 4-9 Tercer nivel jerárquico

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Sectorización

Como se mencionó en capítulos previos, la sectorización es uno de los principales conceptos en el Last Planner System, principal herramienta de la filosofía Lean Construction. Para la distribución de estos sectores se tienen en cuenta una serie de factores en los cuales destacan

el número de cuadrillas, cantidad de materiales, rendimientos, equipos y herramientas. Se busca distribuir el trabajo diario equitativamente y aunque es muy poco probable que se logre la equidad de trabajo en todos los sectores, se busca que sean en cantidades similares. Entonces la sectorización optada para las siguientes fases serán las presentadas a continuación.

4.2.2.1. Cimentación

Se consideraron 3 sectores en dicha planta los cuales se muestran en la siguiente figura 4-10.

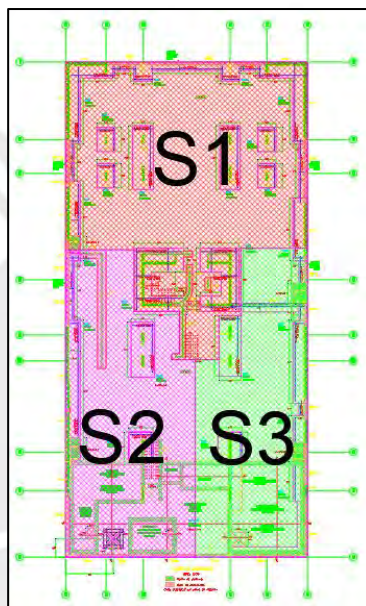


Figura 4-10 Sectorización Cimentaciones

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.2. Sótanos

En el sótano dos, sótano uno y semisótano se consideraron 4 sectores los cuales se muestran en las siguientes figuras comenzando por la 4-11 que muestra la sectorización del sótano dos.

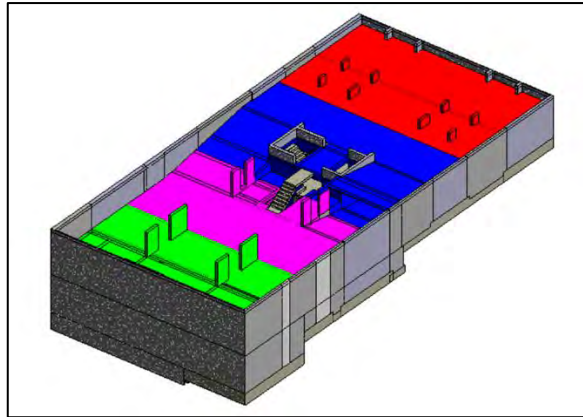
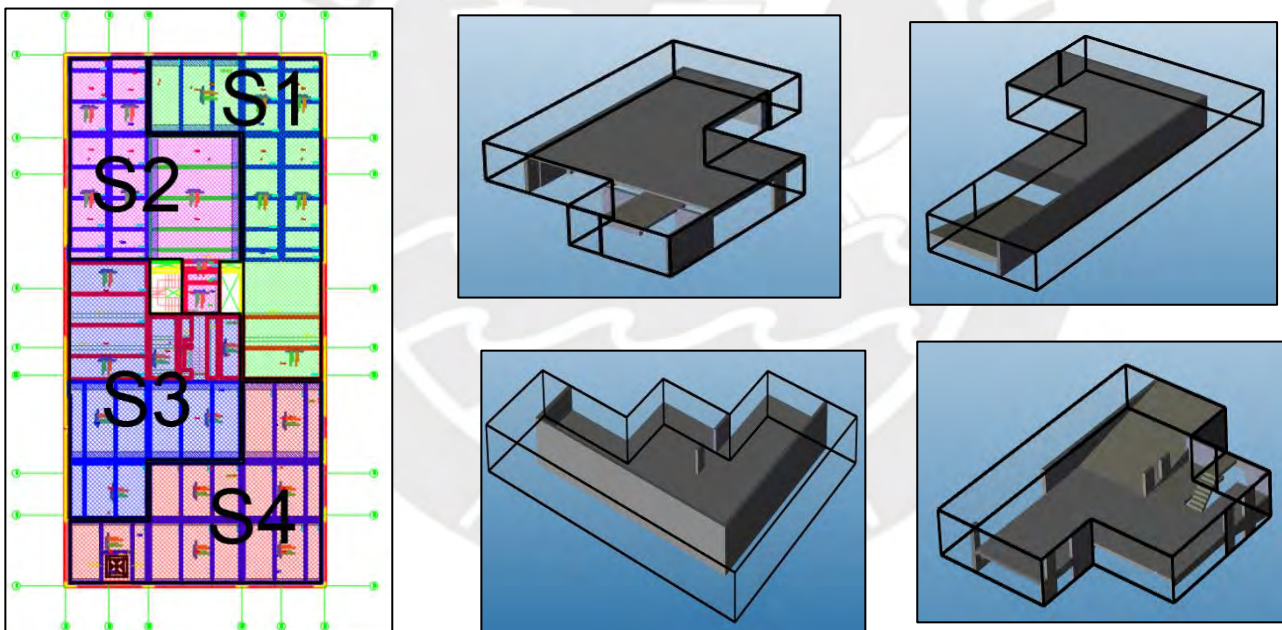


Figura 4-11 Sectorización sótano 2

Fuente: Elaboración propia

La sectorización del semisótano es similar a la del sótano uno; por ello, solo se indicará la del sótano uno, en la figura 4-12

Figura 4-12 Sectorización del sótano uno en planta y en 3D (Elaboración propia)



4.2.2.3. Torre

En los pisos superiores se consideraron 4 sectores por piso. Durante la planificación se consideró en el software a la azotea como el conjunto de elementos verticales (columnas y placas) del último piso y solo se consideró 3 sectores para la ejecución de dichos elementos.

Finalmente, la sectorización de los pisos típicos de la torre, a excepción del último, se muestra en la figura 4-13.

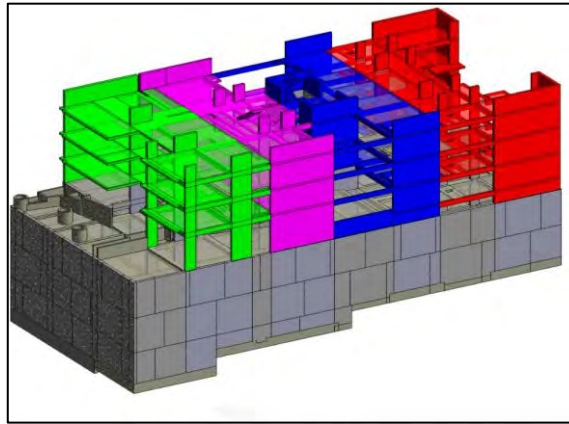


Figura 4-13 Sectorización de los pisos de la torre

Fuente: Elaboración propia

En el techo, el cual solo se tomaron en cuenta los elementos horizontales (losas y vigas), se consideraron 2 sectores los cuales se muestran en la figura 4-14

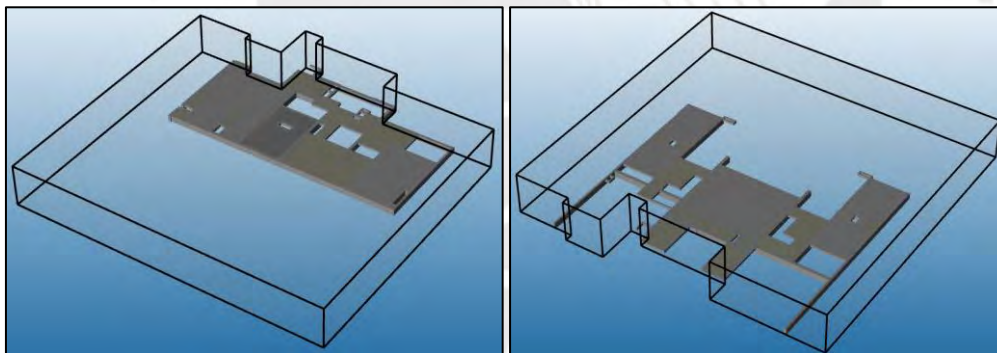


Figura 4-14 Sectorización del techo

Fuente: Elaboración propia

4.3. Elaboración del modelo 4D

4.3.1. Cuantificaciones de elementos 3D del proyecto

Durante el modelamiento del casco estructural del proyecto se parametrizaron los elementos para obtener la cuantificación de concreto y en algunos casos la cuantificación del encofrado.

Si durante la elaboración del modelo no se parametriza, entonces al momento de importar el

archivo IFC al software Vico Office y querer agrupar los elementos con ciertas características especiales, el software no lo permitirá, pues la única de forma de agruparlos es mediante los parámetros que fueron asignados en el modelo. Por ejemplo, para la elaboración del modelo de la Residencial Córdova se consideraron parámetros a los elementos como nombre de familia, nivel del elemento, tipo, etc. Por ello, usar el gestor de mediciones brinda la opción de elegir con cuáles parámetros se agruparán nuestros elementos. En la figura 4-15 se muestran los distintos parámetros disponibles y los que fueron incluidos en el modelo 3D. Se optó por el tipo de familia y el nivel para el análisis del 4D y 5D.

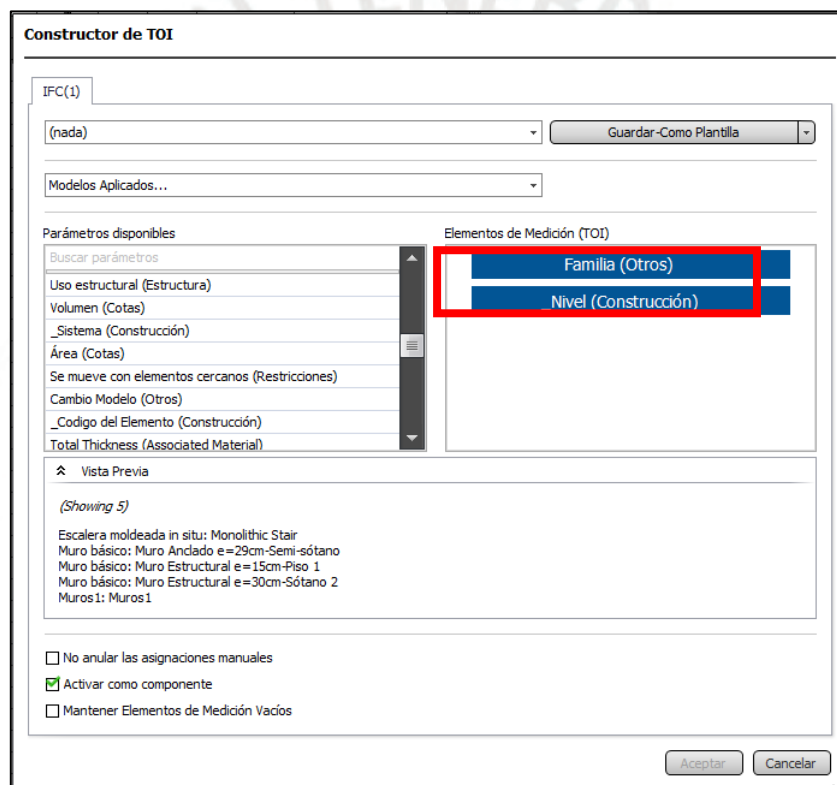


Figura 4-15 Elección de parámetros para agrupar los elementos

Fuente: Elaboración propia

Se extrajeron metrados del software Revit y también se configuró en el software Vico Office mediciones que no estaban previstas; por ejemplo, en la figura 4-16 se muestra el gestor de mediciones 3D. Se pueden observar los metrados ya distribuidos y agrupados por los parámetros considerados como el tipo de familia y nivel del elemento. Se seleccionó un grupo

de columnas rectangulares de 1.00 x 0.25 m. en el piso 8 y el software distribuye las cuantificaciones del elemento del modelo en distintas mediciones como altura, volumen, áreas de las distintas superficies, cantidades del tipo de columna en dicho piso, cantidad de piezas, etc. Además, se distribuyen las cantidades en los distintos niveles jerárquicos asignados del proyecto.

Informal Código	Nombre	Tipo	Unidad	Tareas	Cantidad
	Columna Rectangular: 1.00 x 0.25 m-Piso 7				
	Columna Rectangular: 0.95 x 0.25 m-Piso 7				
	Columna Rectangular: 1.25 x 0.25 m-Piso 7				
	Placa Tipo LV2: 6.33 x 3.40 m / e=+0.288 m-Piso 8				
	Placa Tipo LV2: 6.33 x 3.40 m / e=0.25 m-Piso 8				
	Columna Rectangular: 0.85 x 0.25 m-Piso 8				
	Columna Rectangular: 1.20 x 0.25 m-Piso 8				
	Placa Rectangular: 4.43 x 0.20 m-Piso 8				
	Placa Rectangular: 4.40 x 0.20 m-Piso 8				
	Placa Tipo F1: 4.43 x 2.90 m-Piso 8				
	Placa Tipo F1: 4.43 x 2.00 m-Piso 8				
	Columna Rectangular: 1.25 x 0.25 m-Piso 8				
	Columna Rectangular: 1.00 x 0.25 m-Piso 8				

Nombre	Unidad	Tareas	Cant	Piso 8	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Cantidad	EA	No	No	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Altura	M	No	No	5.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área de Superficie Vertical	M2	No	No	13.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área de Superficie Superior	M2	No	No	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área de Superficie Inferior	M2	No	No	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área de Superficie de Agujero	M2	No	No	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volumen Neto	M3	Si	No	1.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volumen Bruto	M3	No	No	1.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área de Superficie Horizontal de Juntas	M2	No	No	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área de Superficie Vertical de Junta	M2	No	No	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cantidad de Piezas	EA	No	No	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Altura de Pieza	M	No	No	5.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAD_Cantidad	EA	No	No	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAD_Largitud	M	No	No	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAD_Volumen	M3	No	No	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 4-16 Selección de columna rectangular 1.00x0.25m del piso 8 en el gestor de mediciones de Vico Office

Fuente: Elaboración propia

Realizar el modelado del acero estructural en el proyecto no es recomendable debido a que dificulta el trabajo de modelamiento, sobrecarga de información al modelo e implica invertir gran cantidad de tiempo para lograr dicho objetivo; por ello, es recomendable usar ratios para obtener dicho metrado. También se puede incluir en el software Vico Office los metrados obtenidos de forma manual a partir de un plano 2D. Por ejemplo, en la figura 4-17 se muestra en las losas aligeradas de espesor 20 centímetros del piso 5, se incluyó en las cuantificaciones la cantidad en kilogramos de acero.

Suelo: Losa Aligerada e=0,20m-Piso 5					Si	No	15		
Nombre	Unidad	Enlazad	Tareas	Proyecto	S#	Piso 5	S1	S2	
Cantidad	EA	No	No	15.00	3.00	15.00	4.00		
Perímetro del Borde	M	No	No	254.50	3.00	254.50	57.02		
Cantidad de Agujeros	EA	No	No	0.00	3.00	0.00	0.00		
Perímetro de Agujero	M	No	No	0.00	3.00	0.00	0.00		
Área de Superficie Inferior Neta	M2	No	No	262.98	3.00	262.98	60.07		
Área de Superficie Superior Neta	M2	No	No	262.98	3.00	262.98	60.07		
Área de Superficie de Borde	M2	No	No	50.90	3.00	50.90	12.95		
Área de Superficie de Agujero	M2	No	No	0.00	3.00	0.00	0.00		
Volumen Neto	M3	Si	No	52.60	3.00	52.60	12.01		
Volumen Bruto	M3	No	No	52.60	3.00	52.60	12.01		
Área de Superficie Horizontal de Juntas	M2	No	No	0.00	3.00	0.00	0.00		
Área de Superficie Vertical de Junta	M2	No	No	-4.58	3.00	4.58	2.29		
Cantidad de Piezas	EA	No	No	19.00	3.00	19.00	6.00		
Longitud del Borde	M	No	No	254.50	3.00	254.50	64.73		
Longitud de Junta	M	No	No	22.90	3.00	22.90	11.45		
Longitud de Borde de Agujero	M	No	No	0.00	3.00	0.00	0.00		
Longitud de Juntas de Agujero	M	No	No	0.00	3.00	0.00	0.00		
CAD_Cantidad	EA	No	No	15.00	3.00	15.00	4.00		
CAD_Volumen	M3	No	No	0.00	3.00	0.00	0.00		
Acero	KG	Si	No	2,052.67	3.31	2,033.92	508.48		



Figura 4-17 Inclusión de acero en las losas aligeradas de e=20cm del piso 5

Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Producción del proyecto

Las tres principales partidas para el control del proyecto que se considerará serán el concreto, encofrado y acero. El vaciado de concreto a los distintos elementos será uno de los principales condicionantes al avance del proyecto, pues depende de su producción y traslado a obra si se logra un buen avance del proyecto o retrasos. Para el cálculo de la producción se tendrá en cuenta los rendimientos en base a los jornales diarios y la dependencia entre las tareas, los cuales se irán incorporando en las líneas de flujo durante la planificación.

Las velocidades de producción en el software Vico Office estarán basadas en la cantidad de metros que se tenga en el proyecto. Por ejemplo, si se tiene solo 8 m³ de concreto para losas macizas en un piso del proyecto y se dispone de 4 días para culminar dicha tarea, entonces, la velocidad de producción del vaciado de concreto por jornal de 8 horas (m³/día) en dicho nivel podría ser 2 m³/día si es que se divide equitativamente la cantidad de trabajo en los días disponibles. Se requiere de un análisis más detallado para lograr un adecuado balance de las líneas de flujo y así obtener una adecuada velocidad de producción para las tareas. Dicho análisis se desarrollará en el punto 4.4.6.

La tabla 4-2 muestra los resultados de velocidades de producción que se obtuvieron durante la planificación de las distintas tareas. Dichas velocidades de producción se obtuvieron mediante el balance de las líneas de flujo, para lo cual se requirió equilibrar el trabajo entre los factores de producción, número de cuadrillas, la cantidad de metros planificados de las tareas a realizar y el tiempo requerido para culminar dichas tareas.

Tabla 4-2 Velocidades obtenidas de la planificación del proyecto (Fuente: Elaboración propia)

	PARTIDA	UNIDAD	VELOCIDAD
			(und/día)
PORTICO SUPERIOR	ACERO PLACAS	KG	584.75
	ENCOFRADO PLACAS	M2	34.20
	CONCRETO PLACAS	M3	11.30
	ACERO COLUMNAS	KG	256.05
	ENCOFRADO COLUMNAS	M2	10.80
	CONCRETO COLUMNAS	M3	2.10
	ENCOFRADO VIGAS	M2	17.48
	ACERO VIGAS	KG	610.70
	CONCRETO VIGAS	M3	9.40
	ENCOFRADO LOSA ALIGERADA E=0.20	M2	21.60
	ACERO LOSA ALIGERADA E=0.20	KG	441.50
	CONCRETO LOSA ALIGERADA E=0.20	M3	5.60
	ENCOFRADO LOSA ALIGERADA E=0.25	M2	11.70
	ACERO LOSA ALIGERADA E=0.25	KG	38.80
	CONCRETO LOSA ALIGERADA E=0.25	M3	1.20
	ENCOFRADO LOSA MACIZA	M2	33.90
	ACERO LOSA MACIZA	KG	486.70
	CONCRETO LOSA MACIZA	M3	5.90
	ACERO ESCALERA	KG	247.30
CONCRETO ESCALERA	M3	2.60	
CIMENTACIONES Y CUARTO DE BOMBAS	ACERO ZAPATAS	KG	378.80
	ENCOFRADO ZAPATAS	M2	18.63
	CONCRETO ZAPATAS	M3	31.50
	ACERO CIMIENTOS	KG	362.90
	ENCOFRADO CIMIENTOS	M2	37.60
	CONCRETO CIMIENTOS	M3	12.20
	ACERO CISTERNA	KG	571.00
	ENCOFRADO CISTERNA	M2	21.77
	CONCRETO CISTERNA	M3	17.60
	CONCRETO FALSO PISO	M3	24.10

EXCAVACIÓN Y MUROS ANCLADOS	MOVIMIENTO DE TIERRAS SEMISÓTANO	M3	380.60
	CONCRETO ANILLO 1	M3	8.90
	MOVIMIENTO DE TIERRAS SÓTANO 1	M3	380.60
	CONCRETO ANILLO 2	M3	15.00
	MOVIMIENTO DE TIERRAS SÓTANO 2	M3	380.60
	CONCRETO ANILLO 3	M3	25.60

4.3.3. Elaboración de tareas

En el proyecto se consideraron 3 principales hitos para la ejecución completa del casco estructural. Estos hitos serán la culminación de los muros anclados, sótanos y la torre. Para lograr un adecuado control y seguimiento de la ejecución se establecieron una serie de tareas las cuales serán la base para el análisis del modelo 4D y 5D. Como se muestra en la figura 4-18, cada una de estas tareas representan líneas de flujo para realizar el análisis en base al LBMS. Para ello, se elaboraron tareas que se encontrarán detalladas en el **Anexo N°1**.

Código	Nombre
0001	OBRAS PROVISIONALES
0002	OBRAS PRELIMINARES
0003	MOVIMIENTO DE TIERRAS
0004	ANILLO 3
0005	ANILLO 2
0006	ANILLO 1
0007	CONCRETO SIMPLE
0009	GRUA TORRE
0010	CONCRETO ZAPATAS
0011	ENCOFRADO ZAPATAS
0012	ACERO ZAPATAS
0013	CONCRETO CIMIENTOS
0014	ENCOFRADO CIMIENTOS
0015	ACERO CIMIENTOS
0016	CONCRETO CISTERNA
0017	ENCOFRADO CISTERNA
0018	ACERO CISTERNA
0019	CONCRETO FALSO PISO
0020	ACERO FALSO PISO
0021	CONCRETO PREMEZCLADO MURO DE CONTENCIÓN
0022	ENCOFRADO MURO DE CONTENCIÓN
0023	ACERO MURO DE CONTENCIÓN
0024	CONCRETO PLACAS
0025	ENCOFRADO PLACAS
0026	ACERO PLACAS
0027	CONCRETO COLUMNAS
0028	ENCOFRADO COLUMNAS
0029	ACERO COLUMNAS
0030	CONCRETO VIGAS
0031	ENCOFRADO VIGAS
0032	ACERO VIGAS
0033	CONCRETO LOSAS ALIGERADAS e=0,20m
0034	ENCOFRADO LOSAS ALIGERADAS e=0,20m
0035	ACERO LOSAS ALIGERADAS e=0,20m
0036	CONCRETO LOSAS ALIGERADAS e=0,25m.
0037	ENCOFRADO LOSAS ALIGERADAS e=0,25m.
0038	ACERO LOSAS ALIGERADAS e=0,25m.
0039	CONCRETO LOSAS MACIZAS
0040	ENCOFRADO LOSAS MACIZAS
0041	ACERO LOSAS MACIZAS

Figura 4-18 Tareas del proyecto (Fuente: Elaboración propia)

Vico Office tiene la opción de vincular cada una de estas tareas con cada uno de nuestros elementos en el gestor de mediciones; sin embargo, aplicar dicho método no es recomendable pues si se tiene un modelo que fue exportado con pocos parámetros o, inclusive, sin parámetros, se obtendrá gran cantidad de elementos sin vincular. Realizar el vínculo de tareas con modelo los elementos del modelo 3D con las tareas será a través del presupuesto y con elementos agrupados en base a parámetros. Los resultados se pueden ver en la figura 4-19 en el cual se muestra a manera de ejemplo la tarea de ejecución del anillo uno, enlazado con los elementos 3D.

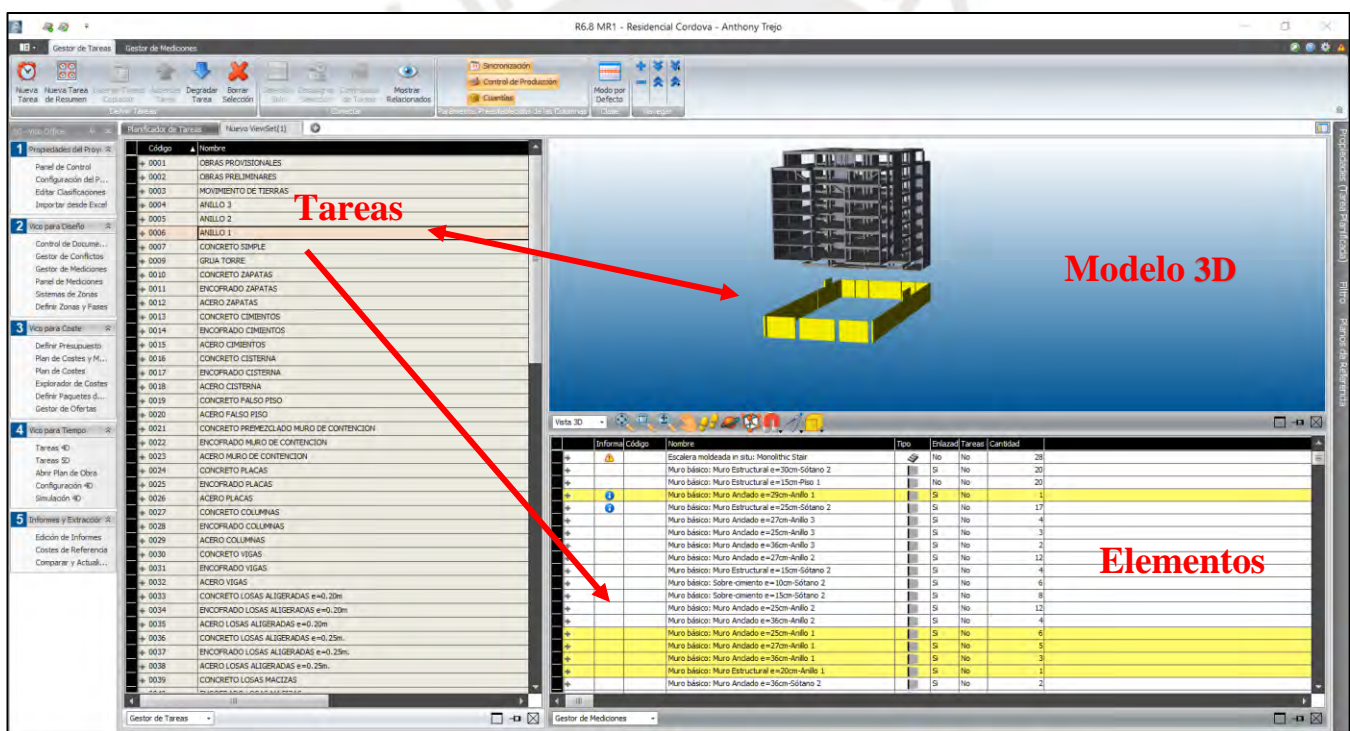


Figura 4-19 Relación de tareas (anillo 1) con el modelo

Fuente: Elaboración propia

Debido a la gran cantidad de detalles que se incorporaron en el modelo 3D, se podría complicar y requerir de gran cantidad de tiempo para la elaboración de la planificación ya que se tiene que relacionar distintos tipos de losas (aligeradas de distintos espesores y macizas) por niveles jerárquicos del proyecto y por tareas. Por ejemplo, la figura 4-20 muestra cómo es el vínculo

entre las tareas y los elementos del modelo 3D. Se tiene en tareas al concreto de losas aligeradas de espesor 20 centímetros vinculado con los elementos del modelo 3D con su correspondiente piso en el proyecto. Detallar los elementos por niveles ayudará en el seguimiento y control del proyecto con resultados más precisos y también facilitará el vínculo con el presupuesto debido a que en el presupuesto se optó por una estructura en la que las partidas se dividen por niveles.

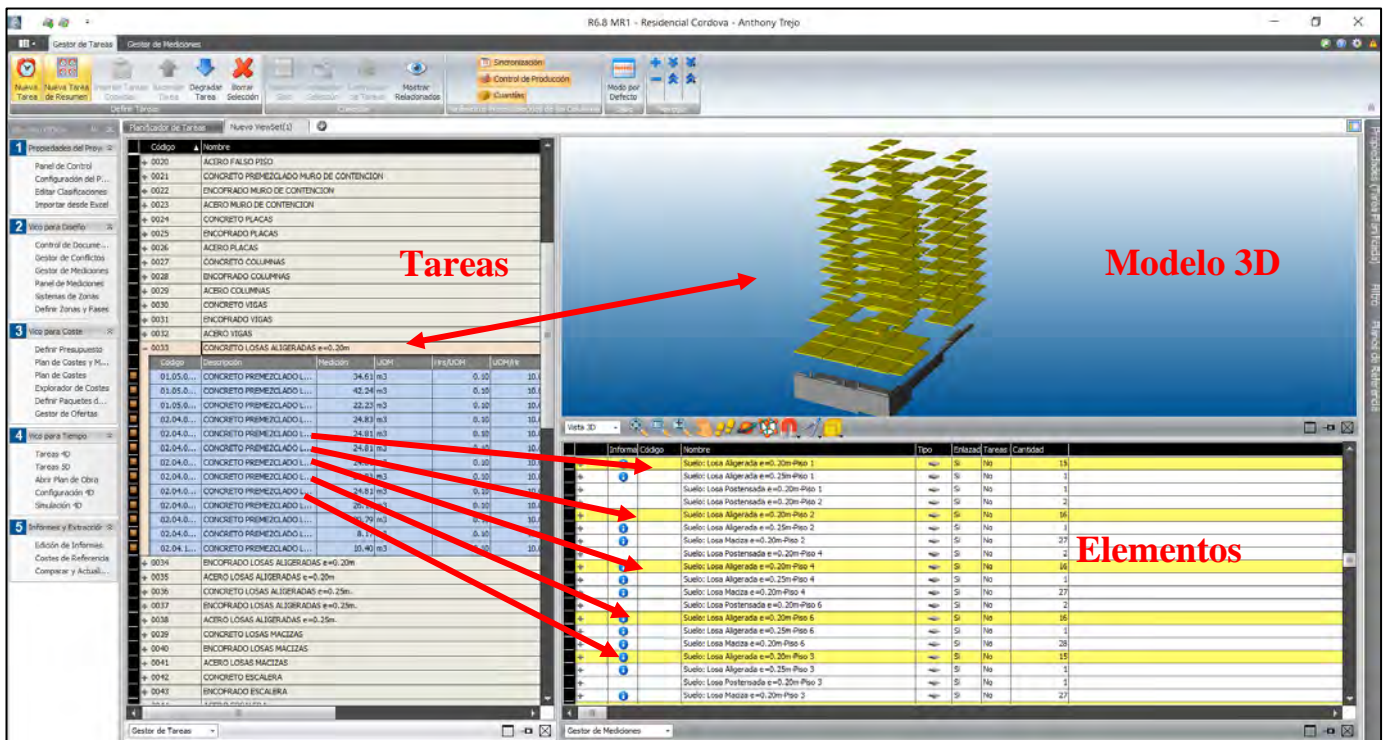


Figura 4-20 Relación de tareas (Concreto losas aligeradas $h=20$ cm) con los niveles del modelo

Fuente: Elaboración propia

4.4. Elaboración del modelo 5D

4.4.1. Presupuesto

Para el control de los costos del proyecto se realizó un presupuesto en el cual están incluidas partidas que involucran las 3 fases del proyecto que se están desarrollando en la presente investigación: la fase de muros anclados, cimentaciones y finalmente del casco estructural. Cada una de las partidas del presupuesto estará presente con su metrado correspondiente, la unidad de medida optada por la partida y su precio unitario. Además, las partidas estarán vinculadas con un determinado rendimiento, las cuales serán importantes para el análisis en la

elaboración de las líneas de flujo (se detallarán más adelante). En la presente investigación se realizó el presupuesto directamente en el software Vico Office a través del plan de costes tal como se muestra en la figura 4-21.

Código	Descripción	UD	Medición Original	Coste Unitario	Coste Base	Coste/Componente	%Compon	Unidad/UOM	Paquete de Tr.
01	ESTRUCTURAS SÓTANOS		1,00	2.174.896,17	2.174.896,17	2.174.896,17	44,35 %		
01.01	OBRA PROVISORIAS		1,00	622.462,99	622.462,99	622.462,99	2,86 %		
01.01.01	LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO	gb	1,00	600,00	600,00	600,00	0,03 %		
01.01.03	RETIRO DE MATERIALES EXISTENTES A ALMACEN DE PROYECTOS	gb	1,00	3.296,00	3.296,00	3.296,00	0,15 %		
01.01.04	CANTE DE OBRA 2,00x2,00	und	1,00	1.024,72	1.024,72	1.024,72	0,05 %		
01.01.04	REUBICACION DE MEDIDOR	und	1,00	580,27	580,27	580,27	0,03 %		
01.01.05	CAJETA DE VENTAS	gb	1,00	536,00	536,00	536,00	0,02 %		
01.01.06	OPCION DE OBRA	mes	5,00	5.400,00	27.000,00	27.000,00	1,24 %		
01.01.07	ALMACEN DE OBRA	gb	1,00	2.387,62	2.387,62	2.387,62	0,11 %		
01.01.08	CAJETAS DE GUARDIANIA	gb	1,00	1.435,53	1.435,53	1.435,53	0,07 %		
01.01.09	COMEDOR DE OBRA	gb	1,00	2.744,65	2.744,65	2.744,65	0,13 %		
01.01.10	VESTUARIO PERSONAL OBRERO	gb	1,00	3.423,81	3.423,81	3.423,81	0,16 %		
01.01.11	SERVICIOS HIGIENICOS DE OBRA PORTATILES	mes	5,00	1.228,50	6.142,50	6.142,50	0,28 %		
01.01.12	DEPÓSITO METALICO DE OBRA DE 2,00m ALTURA	m	22,60	150,00	3.390,00	3.390,00	0,16 %		
01.01.13	CERCO MALLA RACHEL Y PARANTES	m	140,00	110,00	15.400,00	15.400,00	0,71 %		
01.01.14	CONSUMIBLES Y HERRAMIENTAS VARIOS	gb	1,00	45.402,45	45.402,45	45.402,45	2,09 %		
01.02	OBRA PRELIMINAR		1,00	93.368,89	93.368,89	93.368,89	4,28 %		
01.02.01	LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL	m2	830,00	3,70	3.075,00	3.075,00	0,14 %		
01.02.02	DEMOLICION CONSTRUCCION EXISTENTES	m3	1,00	25.425,00	25.425,00	25.425,00	1,17 %		
01.02.03	LIMPIEZA DURANTE LA EJECUCION DE LA OBRA	mes	5,00	3.164,46	15.822,30	15.822,30	0,73 %		
01.02.04	TRAZO Y REPLANTEO INICIAL Y DURANTE LA EJECUCION DE OBRA	mes	5,00	9.796,50	48.982,50	48.982,50	2,26 %		
01.03	MOVIMIENTO DE TIERRAS		1,00	236.471,89	236.471,89	236.471,89	10,87 %		
01.03.01	EXCAVACION MASIVA DE BANCO (Sin atenuación)	m3	5.830,00	38,00	221.530,00	221.530,00	10,19 %		
01.03.02	EXCAVACION ZAPATAS MAT. SUELO H=1,00 M	m3	263,55	32,96	8.699,89	8.699,89	0,37 %		
01.03.03	DEMOLICION DE TRABAJOS CALZADURAS/ARCOS OCULTOS	gb	1,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00	0,21 %		
01.03.04	RELLENO COMPACTADO FINANO CON MATERIAL PROPIO	m3	5,00	38,84	194,20	194,20	0,09 %		
01.03.05	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL DE PRESTAMO	m3	69,76	58,84	4.096,69	4.096,69	0,18 %		
01.03.07	RELLENO CON MATERIAL GRANULAR PARA ENCOFRADO	tm	300,00	185,00	55.500,00	55.500,00	25,57 %		
01.03.08	COMPACTACION DE SUBGRANANTE	m2	830,00	8,32	6.904,56	6.904,56	0,31 %		
01.03.08	PERFILADO DE MURO PANTALLA	m2	2.052,94	8,24	16.914,28	16.914,28	0,77 %		
01.03.09	TRANLADO DE DESPONTE PARA SU ELIMINACION (MANUAL)	m3	100,00	26,37	2.637,00	2.637,00	0,12 %		
01.03.10	TERMINACION MATERIAL EXISTENTE CARGO MANUAL (SUBCONTRATADO)	m3	100,00	76,00	7.600,00	7.600,00	0,35 %		
01.04	CONCRETO SIMPLE		1,00	53.196,39	53.196,39	53.196,39	2,43 %		
01.04.01	CONCRETO SOLADO MEDIDA 1,10x CONCRETO HORMIGON e=0,05 m.	m2	229,68	11,50	2.641,12	2.641,12	0,12 %		
01.04.02	PANETO MORTISO EN MURO PANTALLA	m2	1.252,94	10,76	13.390,59	13.390,59	0,62 %		
01.04.03	CONCRETO CLOPADO PARA COMENTACIONES 1:10 a 30% P.G.	m3	300,00	176,27	52.881,00	52.881,00	2,47 %		
01.04.04	CONCRETO PALSADO PARA Fc=20 kg/cm2 + 20% P.G.	m3	46,88	234,12	10.974,38	10.974,38	0,51 %		
01.05	CONCRETO ARMADO		1,00	1.337.968,87	1.337.968,87	1.337.968,87	60,85 %		
01.05.01	SOTAPO 2		1,00	696.662,87	696.662,87	696.662,87	32,29 %		
01.05.01.01	ZAPATAS		1,00	76.662,36	76.662,36	76.662,36	3,54 %		
01.05.01.01.01	CONCRETO PREPRECOADO ZAPATAS Fc=20 kg/cm2	m3	337,73	224,31	75.723,14	75.723,14	3,49 %		
01.05.01.01.02	ENCOFRADO NORMAL / DESMOLDADO ZAPATAS SC	m2	279,14	29,00	8.095,62	8.095,62	0,38 %		

Figura 4-21 Plan de costes del proyecto Residencial Córdova

Fuente: Elaboración propia

La elaboración del presupuesto en el software permite realizar fotografías instantáneas del presupuesto en determinado tiempo (cortes de análisis) y realizar comparaciones en base a los costos y fechas de corte. En la figura 4-22 se muestra la distribución de los precios; por ejemplo, para efectos de la investigación y con la finalidad de obtener mayor control, se dividió el presupuesto a nivel de estructuras sótanos el cual posee el 46.43% del presupuesto de estructuras y en la estructura torre se tiene el 53.57%

Código	Descripción	Ratio	Coste
0001	Residencial Cordova - Anthony Trejo	100.00 %	4,616,205.39
▣ 01	ESTRUCTURAS SOTANOS	46.43 %	2,143,130.60
⊕ 01.01	OBRAS PROVISIONALES SOTANOS	5.70 %	122,262.73
⊕ 01.02	OBRAS PRELIMINARES SOTANOS	4.35 %	93,300.80
⊕ 01.03	MOVIMIENTO DE TIERRAS SOTANOS	10.99 %	235,426.46
⊕ 01.04	CONCRETO SIMPLE	1.13 %	24,234.01
⊕ 01.05	CONCRETO ARMADO SOTANOS	65.23 %	1,398,036.58
⊕ 01.06	VARIOS SOTANOS	12.59 %	269,870.03
▣ 02	ESTRUCTURA TORRE	53.57 %	2,473,074.79
⊕ 02.01	OBRAS PROVISIONALES TORRE	1.88 %	46,568.69
⊕ 02.02	OBRAS PRELIMINARES TORRE	15.57 %	385,081.86
⊕ 02.03	MOVIMIENTO DE TIERRAS TORRE	1.68 %	41,599.17
⊕ 02.04	CONCRETO ARMADO TORRE	67.41 %	1,667,129.52
⊕ 02.05	VARIOS TORRE	13.45 %	332,695.54

Figura 4-22 Ratios de costos

Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Presupuesto y gestión de mediciones

Los metrados obtenidos desde el modelo 3D se pueden vincular directamente con el presupuesto elaborado en el software. Como se mencionó en el punto 4.3.1, en caso de no tener una medición prevista, se puede incluir a través de ratios y vincularlo directamente al presupuesto. Por otro lado, se pueden incluir las mediciones originales de las distintas partidas directamente en el presupuesto sin tener un modelo el cual se encuentre enlazado; por ejemplo, el caso del acero. En la presente investigación se usó ambos métodos y en la figura 4-23 se muestra cómo se relacionan todos los elementos referidos a las placas del sexto piso con la partida de concreto premezclado de placas $f'c=280$ kg/cm² del sexto piso. Esta distribución se pudo realizar de dicha forma debido a que se tiene distribuido el presupuesto por sótanos y torre; y dentro del presupuesto de la torre se subdividió en sus niveles para asociarlos directamente con los elementos del modelo.

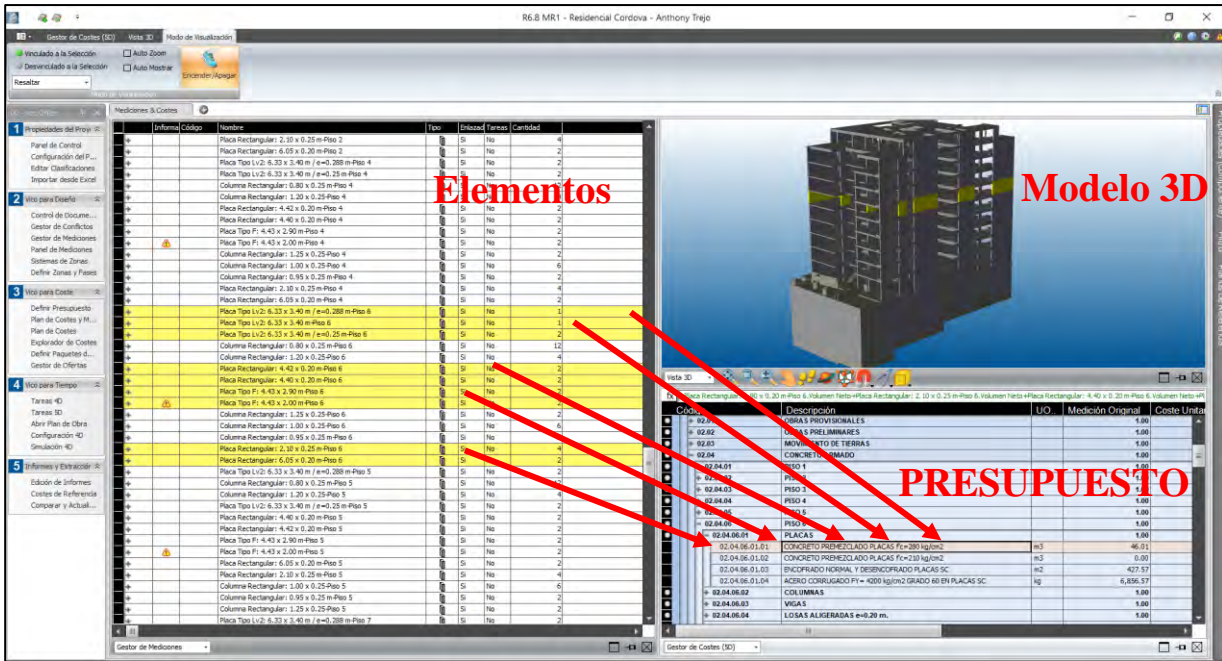


Figura 4-23 Relación del presupuesto con el modelo (caso de placas del piso)

Fuente: Elaboración propia

Las figuras 4-24 y 4-25 muestran la distribución del modelo en sótanos y torre respectivamente tal como se muestra en el presupuesto.



Figura 4-24 Estructura sótanos vinculada al presupuesto

Código	Descripción	UO.	Me.	Coste Unitario	Cc
0001	Residencial Cordova - Anthony		1.00	4,616,205.39	
01	ESTRUCTURAS SOTANOS		1.00	2,143,130.60	
+ 01.01	OBRAS PROVISIONALES		1.00	122,262.73	
+ 01.02	OBRAS PRELIMINARES SOTANOS		1.00	93,300.80	
+ 01.03	MOVIMIENTO DE TIERRAS		1.00	235,426.46	
+ 01.04	CONCRETO SIMPLE		1.00	24,234.01	
+ 01.05	CONCRETO ARMADO SOTANOS		1.00	1,398,036.58	
+ 01.06	VARIOS SOTANOS		1.00	269,870.03	
02	ESTRUCTURA TORRE		1.00	2,473,074.79	
+ 02.01	OBRAS PROVISIONALES TORRE		1.00	46,568.69	
+ 02.02	OBRAS PRELIMINARES TORRE		1.00	385,081.86	
+ 02.03	MOVIMIENTO DE TIERRAS TORRE		1.00	41,599.17	
+ 02.04	CONCRETO ARMADO TORRE		1.00	1,667,129.52	
+ 02.05	VARIOS TORRE		1.00	332,695.54	
PRESUPUESTO					




Figura 4-25 Estructura torre vinculada al presupuesto

4.4.3. Presupuestos y tareas

Si bien se mostró una forma de vincular las tareas con el modelo en el punto 4.3.3., la manera más simple de realizarlo es a través del presupuesto con las tareas. Esto debido a que, si se tiene enlazado los elementos del modelo 3D con el presupuesto, entonces será más simple enlazar las partidas del presupuesto con las tareas de planificación. La figura 4-26 muestra la relación que se usó en el software Vico Office.

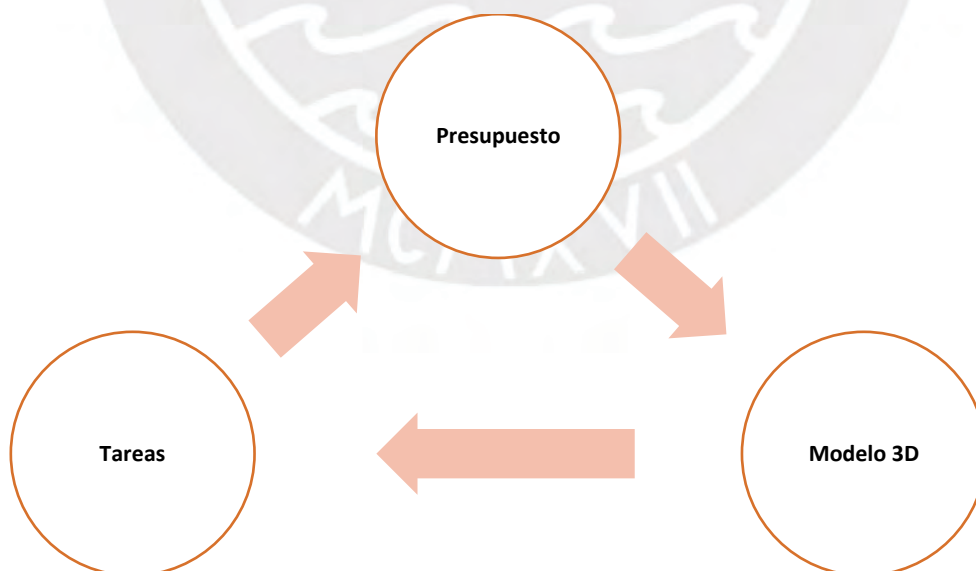


Figura 4-26 Relación en el software Vico Office

Fuente: Elaboración propia

La figura 4-27 muestra la relación de la partida de concreto premezclado de zapatas con la tarea de concreto de zapatas; y automáticamente se mostrará en el modelo 3D los elementos vinculados con dichas partidas.

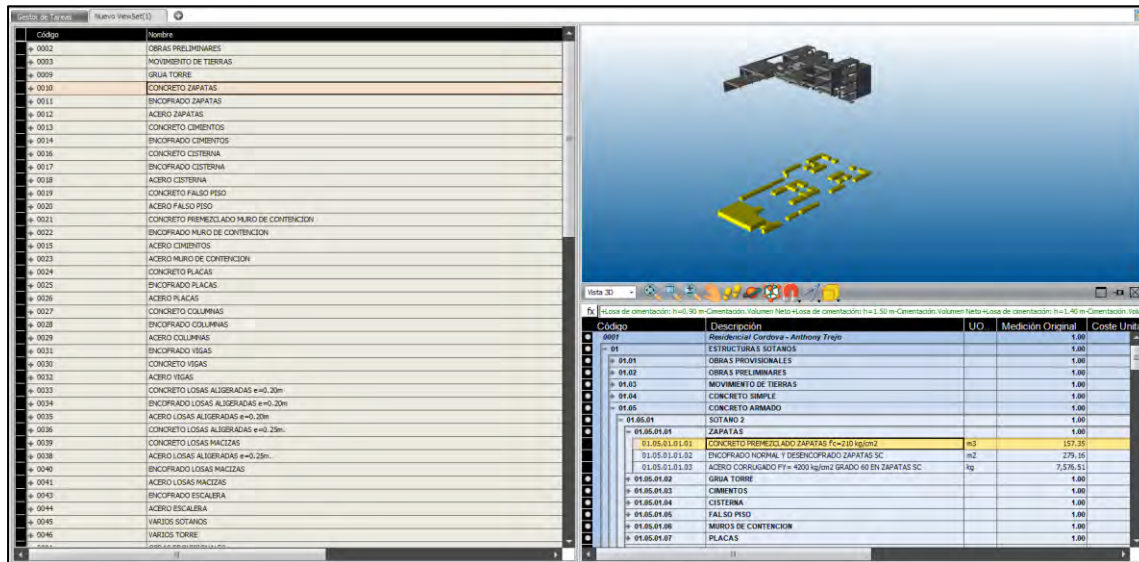


Figura 4-27 Relación de tareas con el presupuesto

Fuente: Elaboración propia

4.4.4. Inicio de planificación con líneas de flujo

Luego de tener vinculadas las tareas con las respectivas partidas del presupuesto se puede abrir el plan de obra (Schedule Planner) para realizar la planificación del proyecto a través de las líneas de flujo. En caso se haya asignado ciertos valores de rendimientos aleatorios en algunas partidas se obtendrá la figura 4-28, lo cual muestra de forma general las distintas líneas de flujo del proyecto.

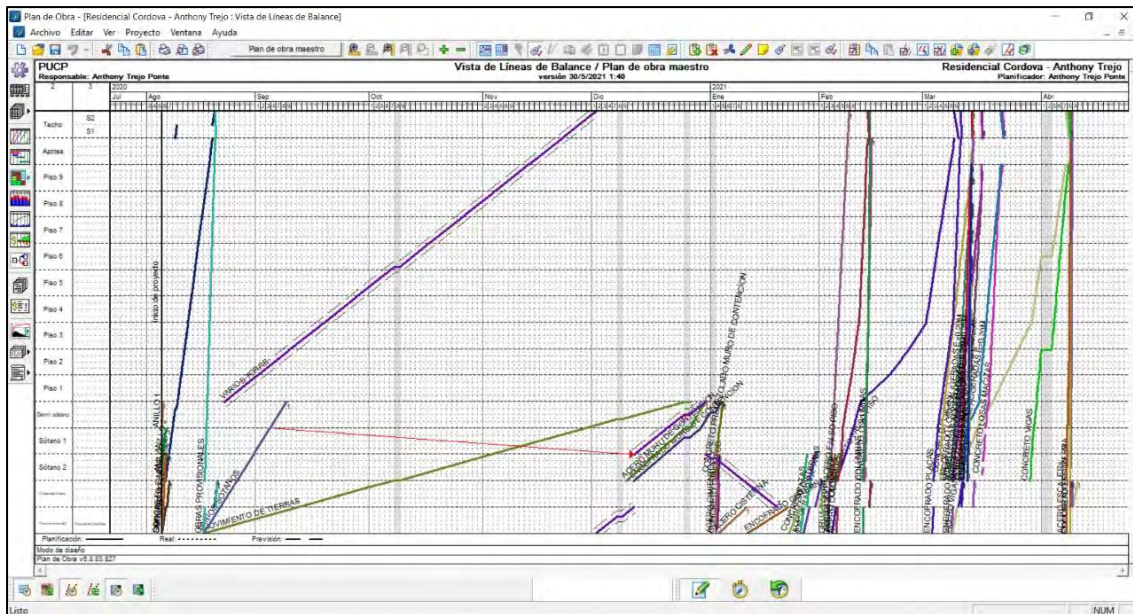


Figura 4-28 Presentación inicial de las líneas de flujo del proyecto

Fuente: Elaboración propia

4.4.5. Vistas de tareas

Se realiza la división de nuestras tareas por fases para obtener una mejor visualización. Estas fases fueron las que se mencionaron anteriormente; y también se dividió el casco estructural en 2 sub-fases las cuales son pódico inferior (sótanos) y pódico superior (torre). Además, se deben identificar qué tareas están involucradas en cada una de estas fases; por ejemplo, en la figura 4-29 se muestran las tareas que se han optado para la planificación de los sótanos.

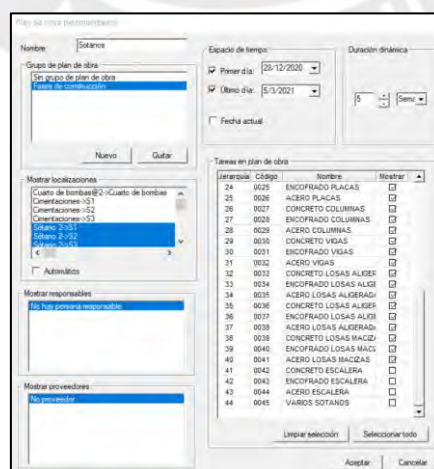


Figura 4-29 Vista personalizada del plan de obra "Pódico inferior"

4.4.6. Balance de líneas de flujo

Una vez definidas las vistas personalizadas, se debe tomar en consideración ciertos criterios para la correcta planificación del proyecto a través de las líneas de flujo. Es necesario identificar cuáles serían las tareas que retrasarían el resto de las actividades. Por ejemplo, en el caso de la ejecución del casco estructural, el vaciado de concreto es una tarea que podría retrasar el resto de las tareas; es decir, se formaría un cuello de botella que impide el desarrollo del resto de actividades. Por lo tanto, una de las consideraciones que se tomaría en cuenta para la planificación del casco sería el vaciado de concreto tanto para elementos horizontales y verticales en los pórticos inferiores y superiores. Para lograr el balance de las tareas en la planificación el software brinda tres alternativas las cuales son las siguientes.

Factor de producción: Se utiliza para modificar la producción de la actividad o tarea cuando no se puede o no se debe realizar al 100% en el tiempo establecido. Por ejemplo, se tienen partidas en las cuales el metrado no es considerablemente alto por lo que las cuadrillas no necesitaran estar en su 100% de producción. También se puede modificar el factor de producción durante la etapa de control y se relaciona directamente a contratiempo y retrasos que impiden el avance del 100% de producción de la tarea.

Equipo o cuadrilla: El incrementar o disminuir el número de cuadrillas dentro de la actividad permite disminuir o aumentar el tiempo de ejecución de la actividad.

Rendimiento: Se puede incrementar o disminuir el rendimiento para seleccionar y ajustar la tarea en el tiempo establecido deseado para la ejecución de la tarea.

En el caso de la presente investigación se utilizó las cuadrillas y el rendimiento para el balance de las tareas de los sótanos; y en el caso de la torre se utilizó el factor de producción, cuadrillas y rendimientos. La figura 4-30 muestra las opciones del Schedule Planner para balancear una tarea.

Establecer duración

Ajustes de método:

Factor de producción

Equipo

Rendimiento

Número: 1

	Código	Nombre	Medición	Pf	Proveedor
1	02	OFICIAL	1	1	<sin sele
2	03	PEON	3	1	<sin sele
3					

Duración antigua: 3

Duración deseada: 4 Turnos

Nueva duración: 3 Turnos

	Localización de la tarea	mero de grupos de trab
	Sótano 2	1

Aceptar Cancelar

Figura 4-30 Selección de variación de equipos para establecer de duración de la tarea

Fuente: Elaboración propia

Después de establecer las distintas cuadrillas y velocidades de producción de cada una de las tareas de las distintas fases del proyecto las cuales se describieron en la tabla 4-2 de velocidades de producción de las tareas, se procederá a establecer las dependencias de las tareas. En el caso de la planificación para la “Residencial Córdova” se utilizó 3 de los 5 tipos de dependencias que se describieron previamente y estas se desarrollan de la siguiente manera:

Tipo 1: Para utilizar este tipo de dependencia se estableció las líneas de flujo con el segundo nivel jerárquico del LBS (Pisos del proyecto), pues solo se relacionó las tareas en un mismo nivel jerárquico. En la figura 4-31 se muestra a manera de ejemplo la utilización de este tipo de dependencia. Se relaciona el encofrado, colocación de acero y vaciado de concreto de la losa aligerada de 20 cm de espesor de 3 distintas tareas en el mismo nivel jerárquico. Se muestra que no se puede comenzar el vaciado de concreto de un piso si es que no se culmina con la colocación de acero de dicho piso y la misma relación se forma en los siguientes pisos. No es el balance final de la tarea porque se aplicaron buffers (tipo 4) que se detallarán en las siguientes páginas.

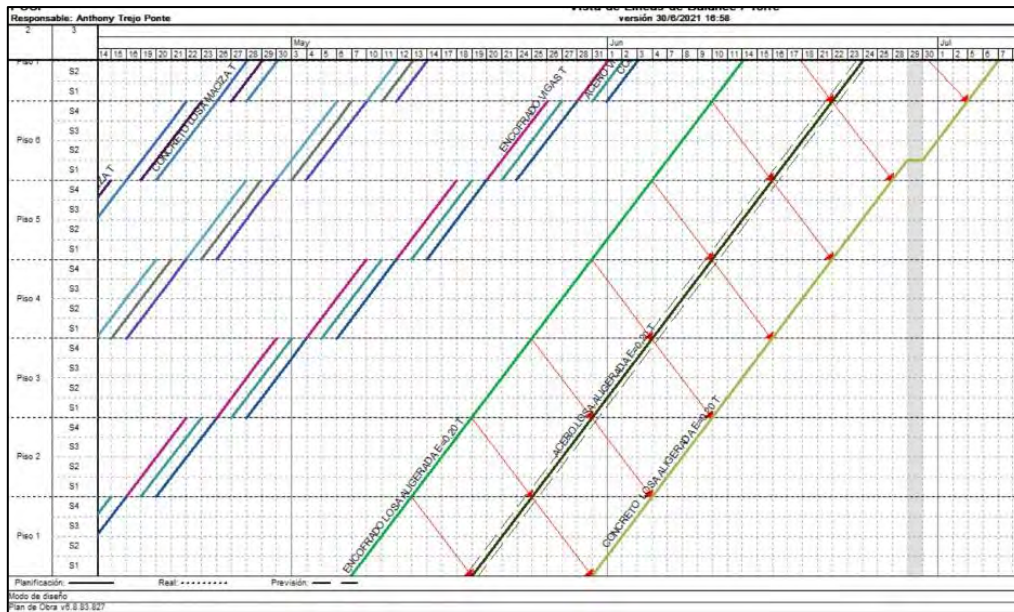


Figura 4-31 Dependencia tipo 1

Fuente: Elaboración propia

Tipo 2: Se relacionó las tareas mediante la dependencia de Inicio-Fin. En la figura 4-32 se muestra, a manera de ejemplo, la utilización de este tipo de dependencia, pues el inicio de la tarea de ejecución del primer anillo va a comenzar al finalizar la tarea de movimiento de tierras del semisótano. Se observa la condicionante de inicio – fin para realizar las actividades en dicha fase. En el caso del movimiento de tierras y vaciado de concreto del sótano 1 y sótano 2, se observa que tendrá una dependencia similar al nivel del semisótano.

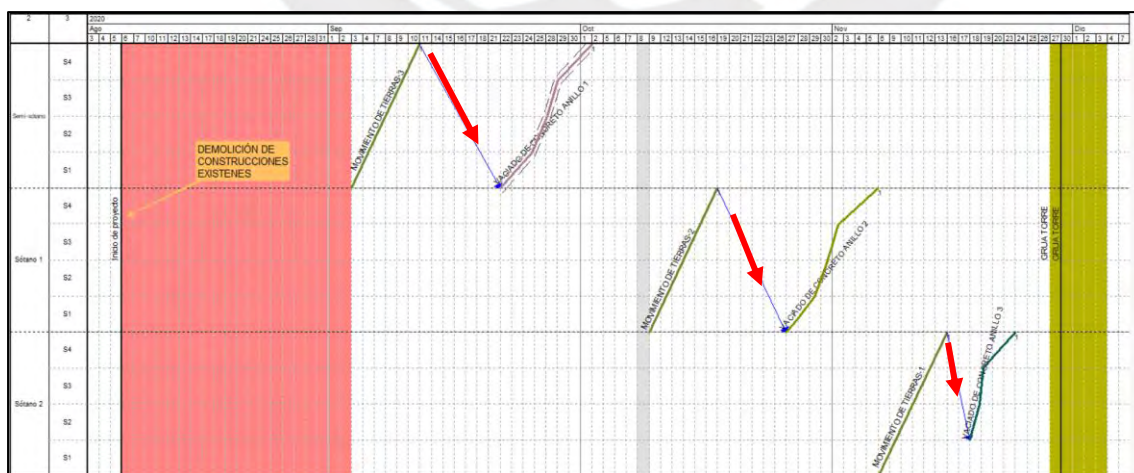


Figura 4-32 Dependencia tipo 2

Fuente: Elaboración propia

Tipo 4: Es similar al ejemplo mostrado del tipo 1, pero con buffers con lo cual se obtendrá la dependencia mostrada en la figura 4-33. En dicho ejemplo se muestra al armado de acero de placas y al día siguiente del armado de acero de placas de un sector se realiza el mismo día el encofrado de las placas y el vaciado de concreto. Para lograr dicha relación se aplicaron retrasos en la tarea para que se puedan realizar ambas actividades en el mismo día.

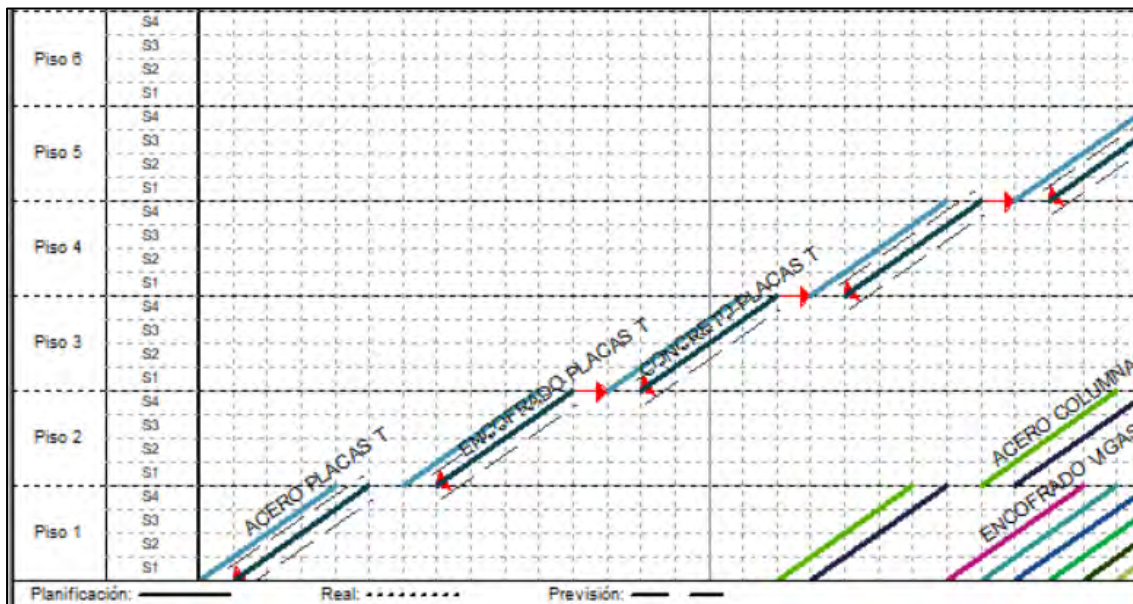


Figura 4-33 Dependencia tipo 4

Fuente: Elaboración propia

Discontinuidad de tareas

En el balance de las tareas de las líneas de flujo de los sótanos y torre se utilizó la discontinuidad de tareas. Así se puede apreciar cómo estas se encuentran divididas para que una vez que se termine una tarea, entonces pueda continuar otra. Por ejemplo, en la figura 4-34, se muestra como primero se realiza el acero de columnas, luego de placas. Después, se realiza el encofrado y el vaciado de concreto de ambos elementos verticales. Esta forma de planificación se acerca a lo que se realiza en el proyecto en la realidad.

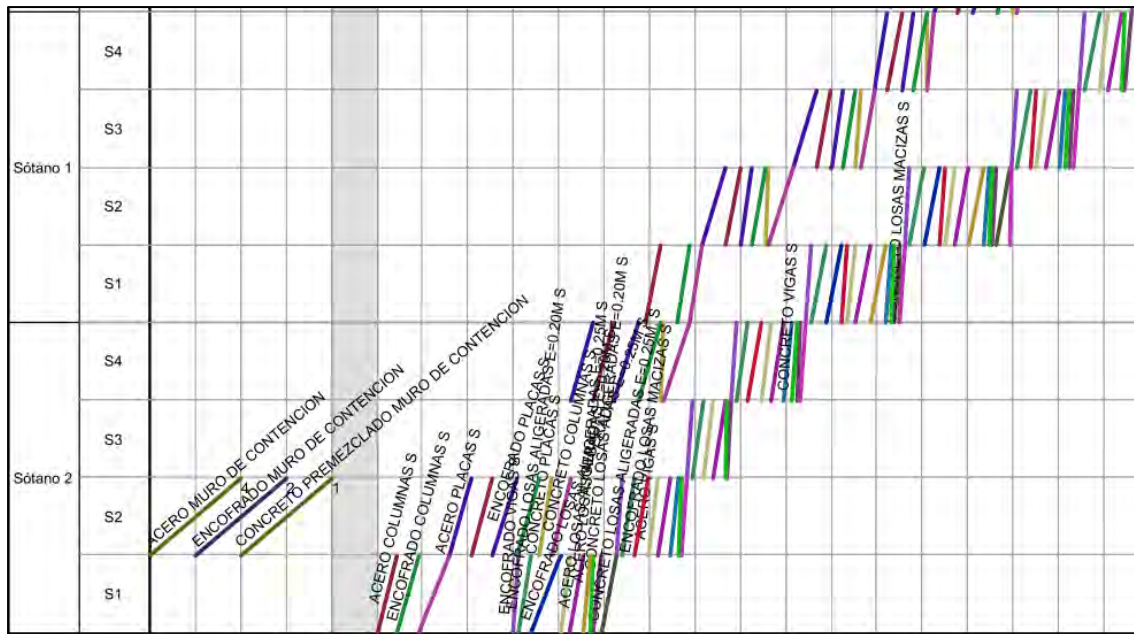


Figura 4-34 Tareas discontinuas en sótanos

Fuente: Elaboración propia

Buffers

La incorporación de buffer se realizó para proveer de tiempo para culminar actividades dentro de la planificación. Los buffers se pueden apreciar en las líneas de flujo a través de la visualización del espacio horizontal entre dos tareas. Una forma más simple de poder identificar dicho buffer entre dichas tareas es dibujando un triángulo rectángulo entre ellas. Un vértice del triángulo tendría que estar en la posición de la finalización de las tareas, el vértice en el cual se muestra el ángulo de 90 grados tendría que estar de forma horizontal y el último vértice del triángulo tendría que estar en el inicio de la siguiente tarea. Entonces, una vez realizado el triángulo, el segmento inferior representaría el buffer de la tarea. Dicho procedimiento se muestra en la figura 4-35, en la cual se muestran los 3 buffers que se incorporaron entre las tareas de movimiento de tierras y vaciado de concreto de los anillos.

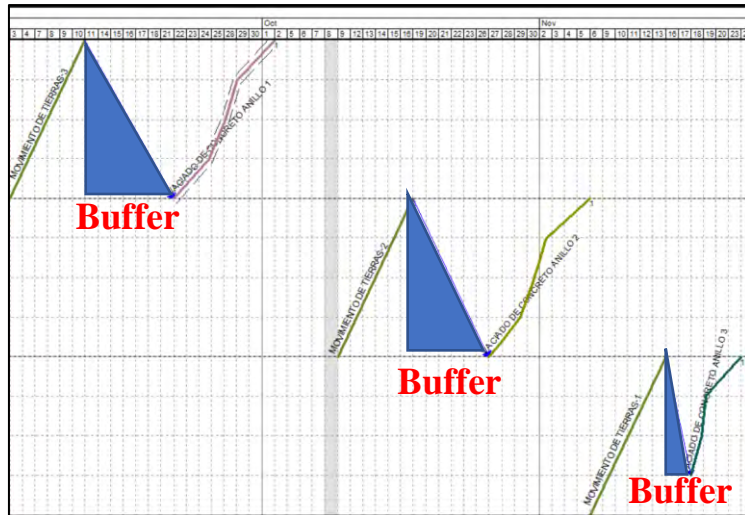


Figura 4-35 Identificación de buffers

Fuente: Elaboración propia

Hitos y áreas verticales

Los hitos se pueden incorporar dentro de la planificación del proyecto con líneas de flujo a través de líneas verticales que marcan la fecha del hito. Por ejemplo, en la figura 4-36 se muestran 2 hitos los cuales son el inicio del proyecto y el inicio de instalación de la grúa torre. Además, se puede observar áreas verticales que se dedicaron para tareas específicas de forma general como es la demolición de construcciones existentes en el inicio del proyecto (área de color rosado) y también se tiene el área vertical de la instalación de la grúa torre (área vertical de color amarillo).

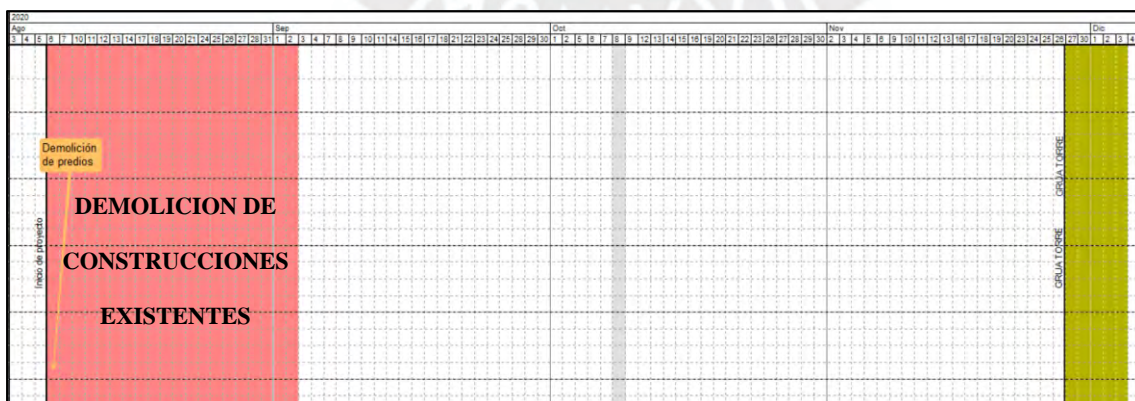


Figura 4-36 Hitos y áreas verticales

Fuente: Elaboración propia

4.4.7. Control de avance del proyecto

El software Schedule Planner brinda herramientas para realizar el control y seguimiento del proyecto; por ejemplo, la figura 4-37 muestra las tareas resumen del proyecto y dentro de dicho grupo de tareas se encontrarán las distintas actividades de la planificación. También se presentan cuadros blancos por cada nivel o sectorización, según se haya planificado el proyecto, en las cuales cada uno de dichos cuadros contiene dos fechas, el de la izquierda representa el inicio de la tarea planificada y el de la izquierda representa el fin de la tarea planificada. Se completará cada uno de estos cuadros con la información recolectada durante la ejecución del proyecto real.

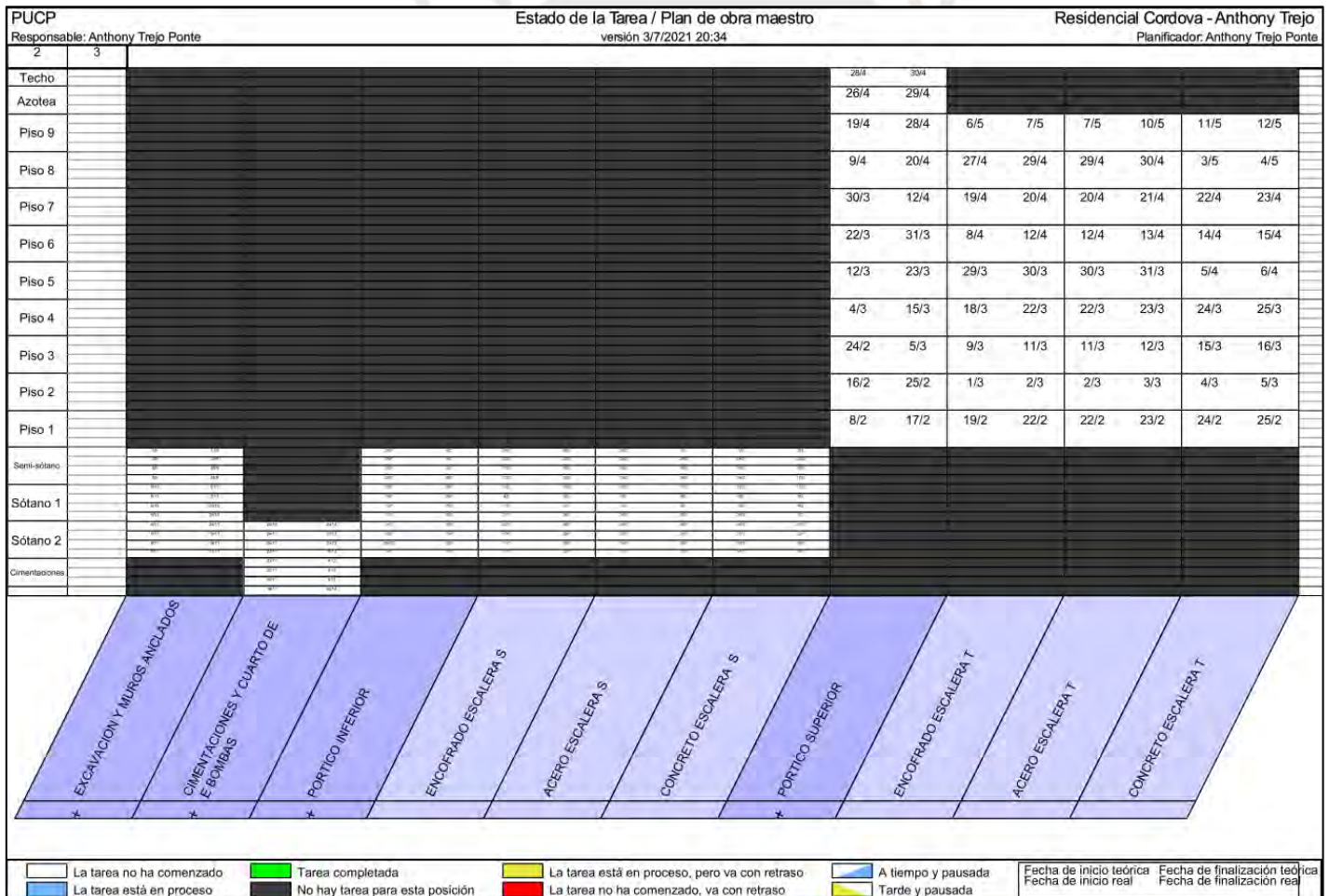


Figura 4-37 Control de avance del proyecto Córdoba

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 5: RESULTADOS, ANÁLISIS Y PROPUESTA DE VALOR DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA DIMENSIÓN 4D Y 5D EN EL PROYECTO

5.1. Resultados y análisis

5.1.1. Modelo 3D

La elaboración del modelo 3D se realizó respetando los procesos constructivos de un proyecto real y asignando parámetros a los distintos elementos del modelo; sin embargo, en el presente modelo no se parametrizó la escalera para identificar qué locación corresponde el elemento. Por lo tanto, no se pudo vincular las escaleras en la simulación 4D del proceso de construcción a través del tiempo.

Tal como se describió en el capítulo 4, el modelo 3D se exportó mediante un archivo IFC al software Vico Office y posteriormente se extrajeron los metrados correspondientes a los distintos elementos estructurales. Sin embargo, durante el proceso de extracción de metrados (gestor de mediciones en Vico Office) se perdieron algunos metrados de algunos elementos, principalmente concreto. El software Vico Office no logra identificar las correctas medidas de algunos elementos con geometría compleja y se pierden datos. La distribución de los sectores se realizó en el software Vico Office; sin embargo, se podría realizar la sectorización en el software Revit una vez concluido el modelado y así obtener una distribución más exacta de los distintos elementos tanto verticales como horizontales para la sectorización. Es recomendable realizar una sectorización distinta para los elementos horizontales y verticales, pues en algunos casos no se logra la equidad en el trabajo a realizar. Para fines prácticos se trató de uniformizar los mismos sectores tanto para elementos verticales y horizontales; teniendo en cuenta la cantidad de trabajo relacionado con metrados, rendimientos y cuadrillas.

Finalmente, los principales metrados que se realizaron y extrajeron del modelo 3D se presentan en resumen en la tabla 5-1. Las mediciones fueron el concreto (m³), encofrado (m²) y el acero (kg); y estas se distribuyeron según las fases y sub-fases utilizadas durante la planificación. Para el cálculo del metrado de acero y en algunos casos del encofrado, se realizó a través de planos 2D y en algunos casos con ratios. Esto debido a que realizar el acero estructural en el modelo 3D en Revit complica el trabajo, pues requiere de una gran cantidad de tiempo y esfuerzo. Para el caso del acero y del encofrado se obtuvieron ratios de 47.52 kg/m² y 2.51 m²/m², los cuales se encuentran en el promedio si se comparan respecto a otros proyectos de similar envergadura. En el caso del concreto se obtuvo un ratio 0.35 m³/m² lo cual también se encuentra en un rango aceptable si se considera que se están utilizando losas aligeradas en la mayor parte del proyecto.

Tabla 5-1 Resumen de metrados y ratios del proyecto (Fuente: Elaboración propia)

ÁREA TECHADA	7,606.00	M2	
	Concreto (m3)	Encofrado (m2)	Acero (kg)
Anillos	294.32	2,428.46	46,568.90
Cimentaciones	490.47	1,045.35	30,362.36
Pórtico inferior	460.39	3,798.72	64,811.72
Pórtico superior	1,388.58	11,836.14	219,708.64
	2,633.76	19,108.67	361,451.62

CONTROL	METRADO	UNIDAD	RATIO
ACERO	361,451.62	kg/m2	47.52
CONCRETO	2,633.76	m3/m2	0.35
ENCOFRADO	19,108.67	m2/m2	2.51

5.1.2. Planificación del modelo 4D y 5D

Se presentarán todos los resultados de la elaboración del modelo 4D y 5D; y la planificación con líneas de flujo del proyecto “Córdova”. Tal como se mencionó en el capítulo previo, solo se consideró como principales partidas el encofrado de los elementos, la colocación de acero y

el vaciado de concreto para la planificación de las tres primeras fases del proyecto (Excavación, cimentaciones, casco). Además, El casco se dividió en pórtico inferior y pórtico superior.

La planificación maestra del proyecto se presenta en la figura 5-1 y se muestran las tres primeras fases del proyecto. Se puede observar que el proyecto inicia el 06 de agosto del 2020 con la demolición de la casa existente ubicada en el predio donde se realizará el nuevo proyecto. Durante la planificación se incluyeron los días feriados y se consideró el trabajo de lunes a viernes con 8 horas de trabajo diarios, dejando el sábado como un día buffer.

La figura 5-2 presenta un mayor detalle de las principales tareas que se encuentran en la primera fase, estas son la excavación masiva y la ejecución de los anillos y la demolición de predio. Esta demolición tuvo una duración de aproximadamente 4 semanas, luego de dicha partida continúa con la excavación masiva el día 3 de septiembre del 2020 y finaliza con la ejecución de los muros anclados del primer anillo. Este proceso se repite hasta culminar el tercer anillo del proyecto. Para la excavación masiva se utilizaron camiones volquetes con una capacidad de 25 m³, los cuales recogerán el material cada media hora logrando retirar como máximo 400 m³ por día en jornadas laborales de 8 horas. Esto significa que para cada nivel de excavación masiva en los sótanos se demorará aproximadamente nueve días, mientras que en el tercer anillo solo se requerirá de 3 días debido a que solo se ejecutará muros anclados en un sector y no todo el perímetro. Estos análisis de los cálculos de los días necesarios para la excavación se encuentran en las siguientes tablas 5-2 y 5-3.

Tabla 5-2 Sustento del número de días para excavación masiva de los anillos 1 y 2 (Elaboración propia)

A=	820.00	Área del terreno
H=	3.50	Altura de los anillos
F esp=	0.13	Factor de esponjamiento
VT=	3,239.70	Volumen para retirar
V volquete =	25.00	Capacidad del volquete en m3
T min =	30.00	Tiempo de llegada del volquete
T Deg=	0.50	Tiempo en horas
N° Volquete=	16.00	Número de volquetes por día

VTC=	400.00	Volumen total extraído de excavación por día
N DIAS=	9.00	Días necesarios para la excavación
VT=	3,600.00	Cantidad máxima de eliminación
TOTAL	OK	Confirmación

Tabla 5-3 Sustento del número de días para excavación masiva del tercer anillo (Elaboración propia)

A=	158.00	Área del terreno
H=	4.80	Altura de los anillos
F esp=	0.13	Factor de esponjamiento
VT=	856.09	Volumen para retirar

V volquete =	25.00	Capacidad del volquete en m3
T min =	30.00	Tiempo de llegada del volquete
T Deg=	0.50	Tiempo en horas
N° Volquete=	16.00	Número de volquetes por día
VTC=	400.00	Volumen total extraído de excavación por día

N DIAS=	3.00	Días necesarios para la excavación
VT=	1,200.00	Cantidad máxima de eliminación
TOTAL	OK	Confirmación

Para la ejecución de los muros anclados se requiere una serie de pasos como la perforación, colocación de cable, el perfilado, la colocación de la armadura, el encofrado, el vaciado de concreto y finalmente el tensado; sin embargo, en la planificación de los anillos se consideró en una línea de balance el conjunto de las tareas anteriormente mencionadas. El primer anillo tiene 28 muros anclados de 3.50 metros de altura, el segundo anillo también tiene 28 muros anclados de 3.50 metros de altura y finalmente el tercer anillo tiene solo 8 muros anclados.

La figura 5-3 muestra la planificación de la segunda fase del proyecto. Se presentaron problemas durante el balance de las tareas en esta fase debido a que las cimentaciones del proyecto tienen distintos niveles (eje Z); por ejemplo, en el fondo del proyecto se tiene como último nivel de falso piso -7.00 m., mientras que en el frente del proyecto se tiene como último nivel de falso piso -8.40 m y el cuarto de bombas, el cual también se encuentra en el frente, posee como último nivel de falso piso -12.75 m. Esto desniveles causan problemas durante la distribución del LBS, pues el software Vico Office solo permite distribuir las locaciones en zonas con

volumetría tipo paralelepípedo sin inclinación. La locación del cuarto de bombas, el sótano 2 y las cimentaciones tienen zonas en las cuales coinciden sus tareas; provocando problemas en el gráfico de líneas de flujo, pues cada línea debe estar orientado a solo una zona (tarea de cimentaciones con zona de cimentaciones, tareas del cuarto de bombas con zona de cuarto de bombas y tareas del sótano 2 con zona sótano 2) y coincidir las tareas en una misma zona, se ven alteradas las líneas de flujo respecto a la actividad. Se modificaron manualmente en el software Schedule Planner las tareas según locaciones que corresponden. Toda esta fase se planificó con una duración aproximada de seis semanas para las cimentaciones y el cuarto de bombas.

La figura 5-4 muestra la planificación de la tercera fase la cual es el casco, pero solo se centra en la sub-fase de los sótanos. Para su planificación se usó la discontinuidad de tareas; además, se consideró como criterio durante esta sub-fase que se debe terminar la anterior tarea para continuar con la siguiente (inicio-fin). Todas las tareas fueron planificadas con un factor de producción del 100%; es decir, las cuadrillas realizarían un trabajo continuo. Se planificó el inicio del pórtico inferior el día 28 de diciembre del 2020 y finaliza el día 9 de febrero del 2021. En el pórtico inferior se consideraron las tareas de encofrado, acero y concreto de elementos verticales como horizontales. En los sótanos se incluyeron las rampas; sin embargo, no se incluyeron las escaleras dentro de esta sub-fase. Se consideró en la planificación entre 10 a 12 días por nivel para ejecutar el techado de los sótanos. En el balance de tareas se siguieron los procesos constructivos correspondientes y se logró formar un tren de trabajo; por ejemplo, mientras se realiza el vaciado de concreto del sector 4 de un piso, se puede ir avanzando con la colocación de acero del sector 1 del piso superior. Las tareas en la planificación de los sótanos, representadas en líneas de flujo, no se van a superponer debido a su relación inicio-fin; sin embargo, la planificación no se va a acercar al 100% de lo que se ejecuta en la realidad, ya sea por restricciones o factores externos que no se pueden prever e incluir en el software Schedule

Planner. En la planificación se dividió las tareas a realizar por elementos; sin embargo, realizar aquello dificultó la visualización de las tareas. Por ejemplo, durante la ejecución del proyecto real, el vaciado de concreto en placas y columnas no se distingue, a menos que tengan distinta resistencia a la compresión ($f'c$) y se separan para el control de costos. En cambio, si poseen el mismo $f'c$, entonces se vaciará al mismo tiempo sin distinción alguna si se encuentran en el mismo sector.

La figura 5-5 muestra la planificación de la torre o pórtico superior, la cual se planificó de forma similar a los sótanos, pero con la diferencia que se modificaron en algunos casos los porcentajes de producción (porcentajes aceptables) para lograr una equidad de trabajo en la programación para la ejecución de un piso típico el cual es aproximadamente de ocho días. Se planificó el inicio del pórtico superior el día 8 de febrero del 2021 y fecha fin el día 30 de abril del 2021. La planificación presenta algunas tareas que se superponen y dificulta que se visualicen como el encofrado o el armado de acero de columnas y placas. Esto es debido a que se trató de simular lo que se realizaría en la obra realmente; por ejemplo, para los elementos verticales de un sector en un piso se demoraría un día el armado de acero y encofrado; y al siguiente día se vaciaría el concreto de dichos elementos verticales para continuar con el resto de los sectores; sin embargo, colocar dichas tareas separadas en líneas de flujo con discontinuidad dificulta su visualización. Se formó un tren de trabajo con las principales tareas de acero, encofrado y concreto tanto de los elementos verticales y horizontales en los pisos del proyecto.

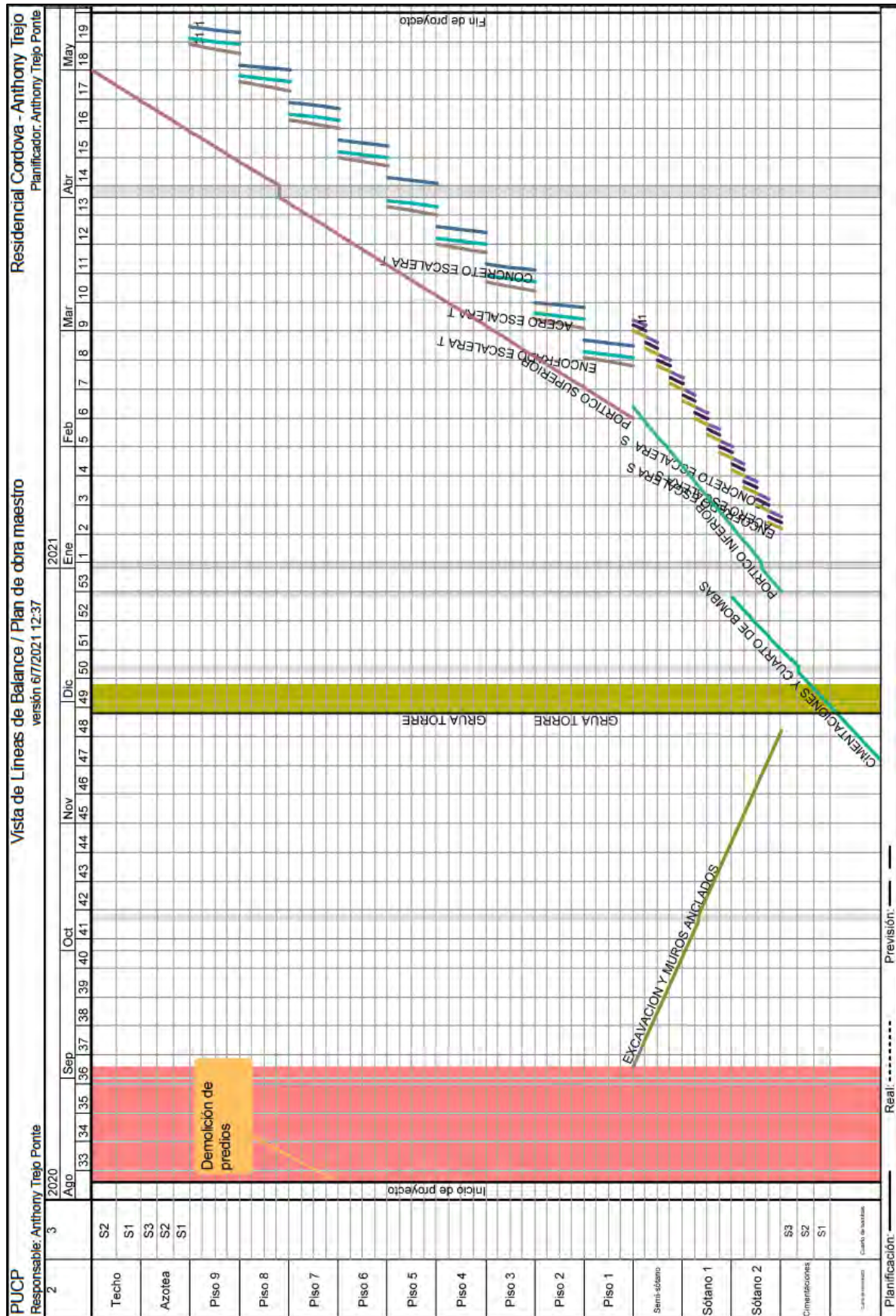


Figura 5-1 Planificación de las tres primeras fases del proyecto

Fuente: Elaboración propia

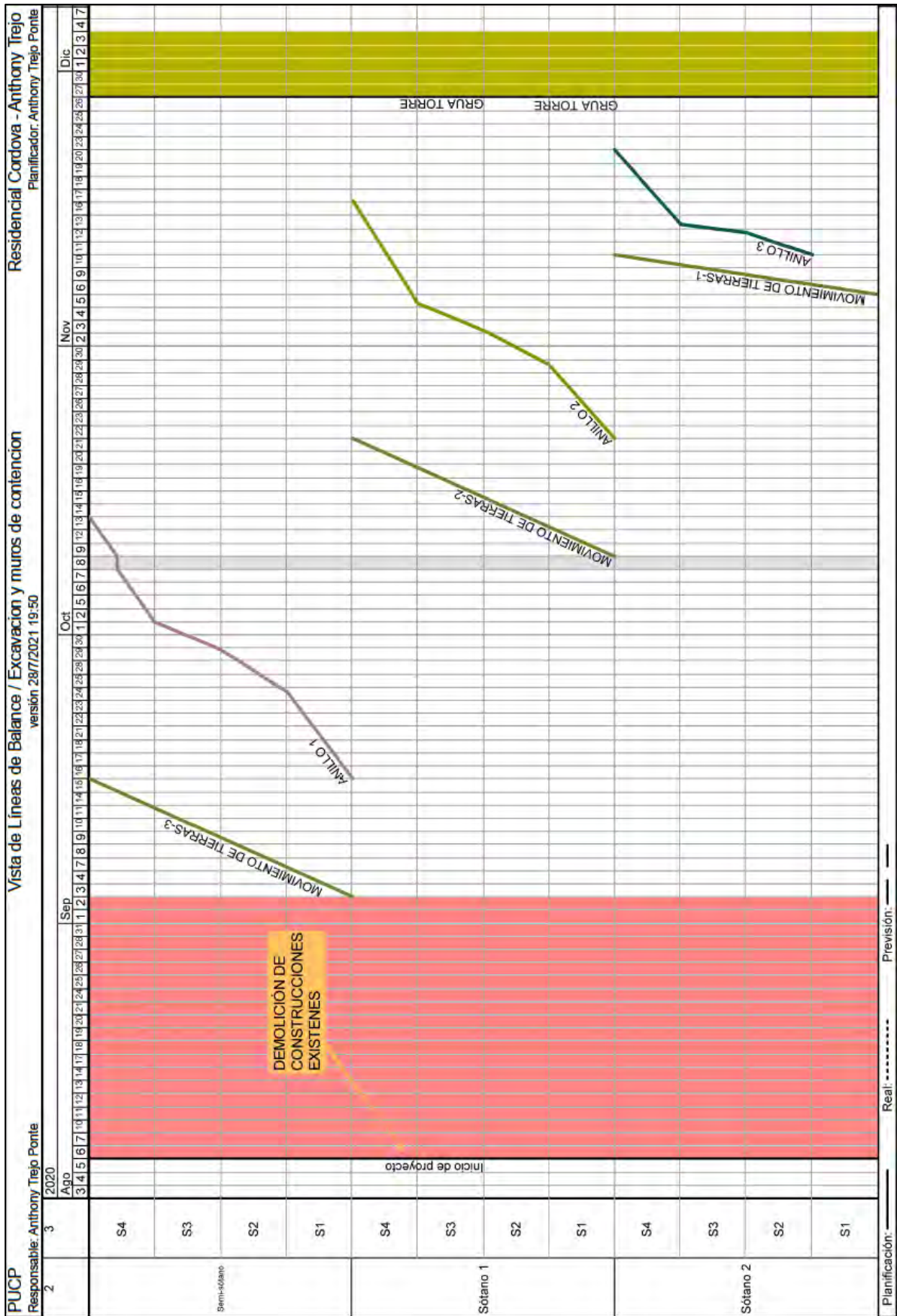


Figura 5-2 Planificación de fase de excavación y muros pantalla

Fuente: Elaboración propia

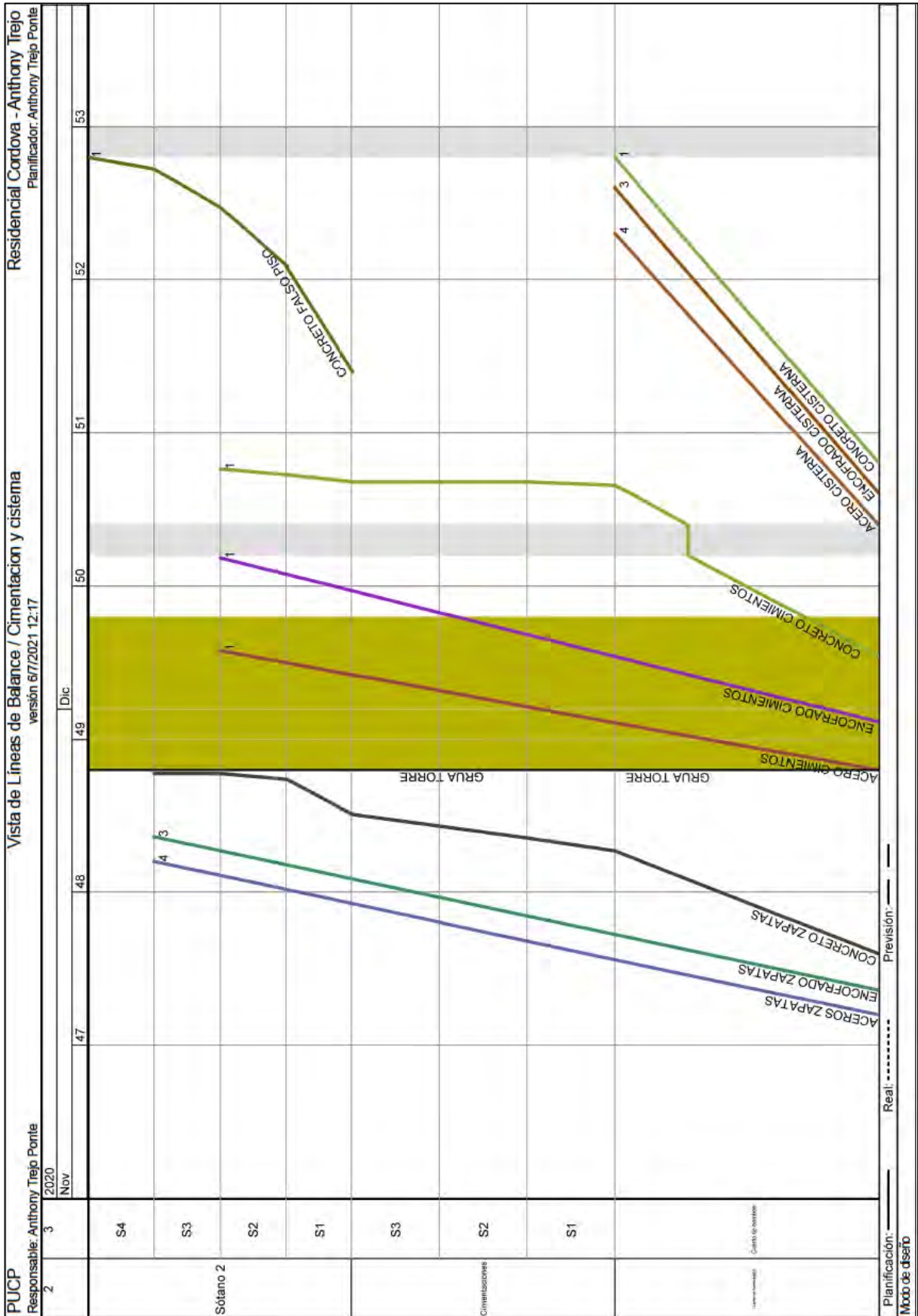


Figura 5-3 Planificación de la fase de cimentaciones y cuarto de bombas

Fuente: Elaboración propia

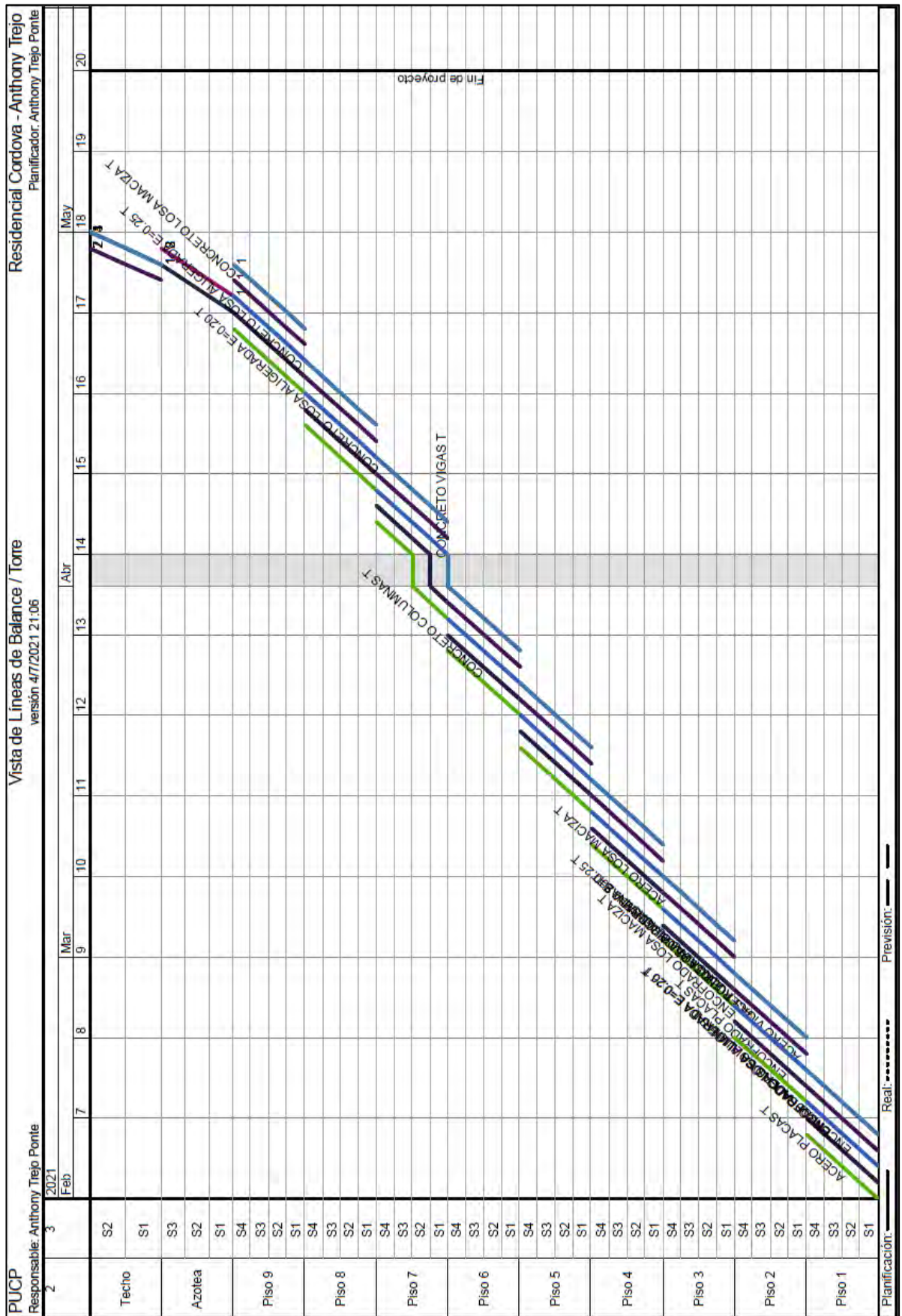


Figura 5-5 Planificación del pórtico superior (torre)

Fuente: Elaboración propia

5.1.3. Recursos e histogramas

Cada una de las líneas de flujo están relacionadas previamente con el presupuesto meta, mediciones y recursos asignados. Se puede obtener información no solamente relacionado al tiempo (4D), sino también relacionado a los costos (5D) y es lo que se extraerá de la planificación. En primer lugar, se describirán los recursos de mano de obra (capataz, operario, operador de equipo liviano, oficial y peón) usados durante las tres primeras fases (Figura 5-6). En dicho gráfico se muestra la distribución proporcional de los recursos de mano de obra usados durante las tres primeras fases del proyecto.

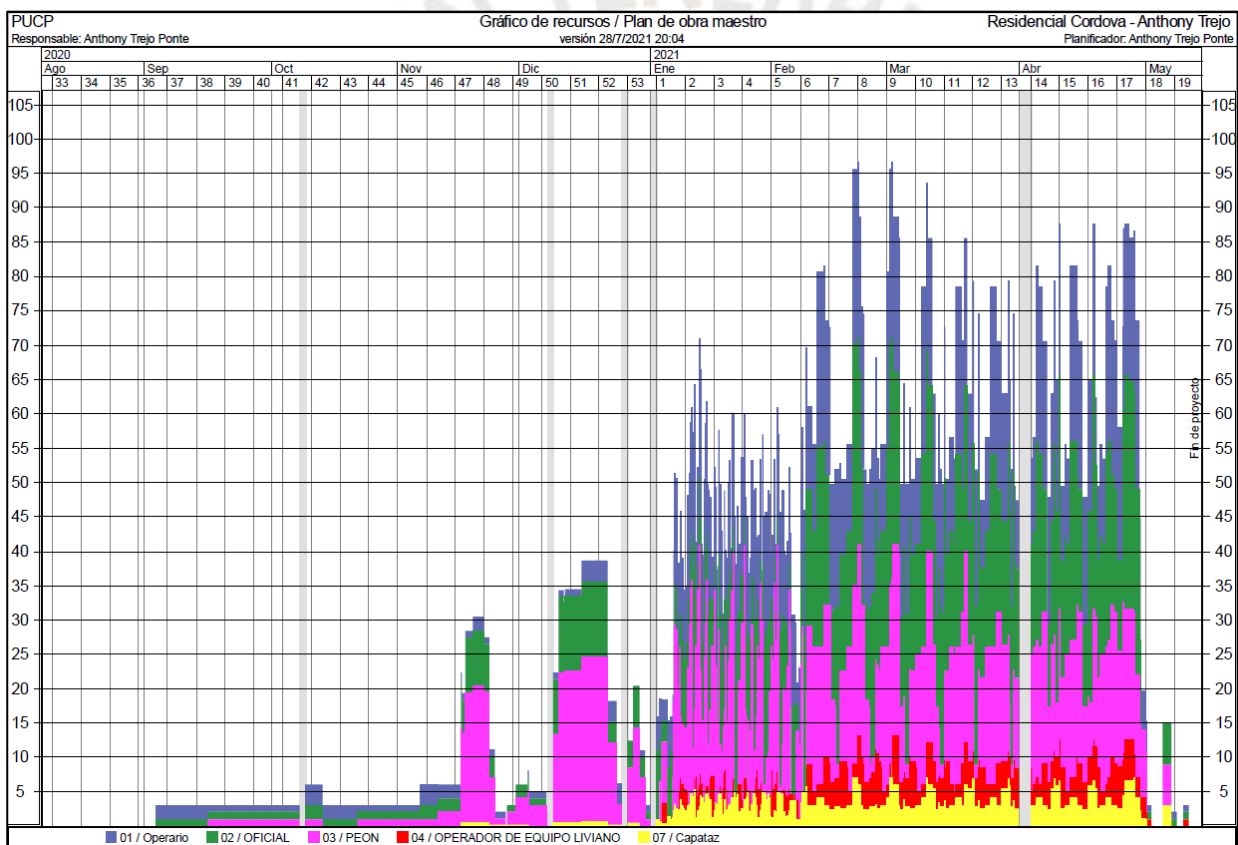


Figura 5-6 Gráfico de distribución de recursos del plan de obra

Fuente: Elaboración propia

El software brinda la cantidad de horas hombre (HH) utilizados tanto independientemente para cada tipo de personal y el total. Además, se puede extraer histogramas de todo el plan de obra planificado o independiente de alguna fase o sub-fase. Estos histogramas se pueden extraer de forma mensual, semanal o diaria para tener un mayor control de los distintos recursos consumidos por el proyecto.

La figura 5-7 muestra el histograma de mano de obra de toda la planificación, en el cual se observa que existen ciertas caídas en la cantidad de horas hombre de algunas semanas como la semana 52, 53 del 2020 (fase de cimentaciones) o la semana 13 del 2021 (torre). Esto ocurre debido a que en dichas semanas se presentan feriados, los cuales se representan en áreas verticales de color plomo, y causa que se disminuyan las horas hombre empleadas. Se observa que existe cierta equidad en la cantidad de HH empleadas en la fase de excavación y muros anclados, lo cual refleja que se mantuvo constante al personal; sin embargo, en la semana 47 del 2020 se observa un pico en la cantidad de horas hombre debido a que se encuentra culminando los muros anclados del tercer anillo y también se está comenzando con la fase de las cimentaciones. La semana 50 del 2020 también presenta una menor cantidad de HH debido a los feriados. En la semana 51 se observa un pico en la cantidad de HH y esto se debe a que en dicha semana se está realizando el cuarto de bombas y las cisternas, lo cual requiere de más personal. El detalle de la cantidad de horas hombre y el costo de ello utilizados por cada operario, peón, operador de equipo liviano, capataz u oficial se mostrará en el **Anexo N°2**

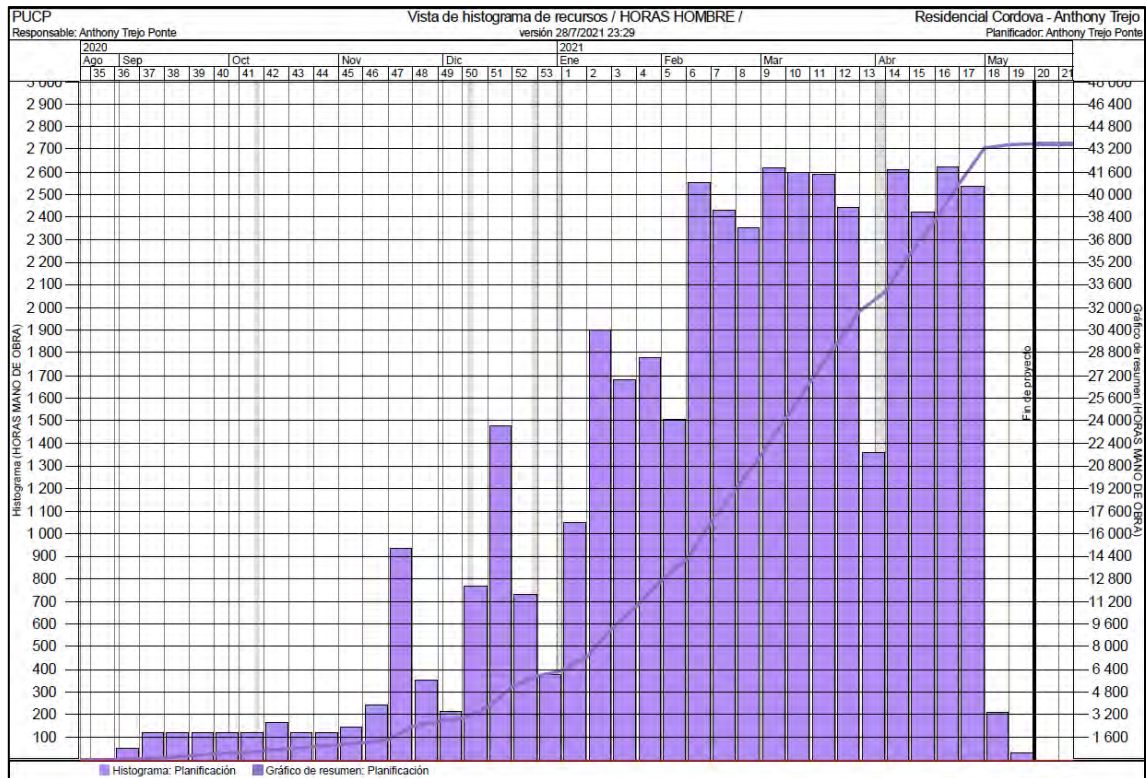


Figura 5-7 Histograma total de horas hombre

Fuente: Elaboración propia

Para obtener más detalle del recurso de las HH y su costo por fase se tienen las figuras 5-8 y 5-9 los cuales muestran el histograma de los costos de la cantidad de mano de obra usados semanalmente, el monto acumulado de los sótanos y la torre respectivamente. Los histogramas muestran información importante; por ejemplo, en el lado derecho se encuentra el acumulado de la muestra y en el lado izquierdo se encuentra la cantidad de la muestra diferenciado por la escala de tiempo que se la haya dado a los histogramas, en estos casos fueron semanalmente para los recursos de mano de obra.

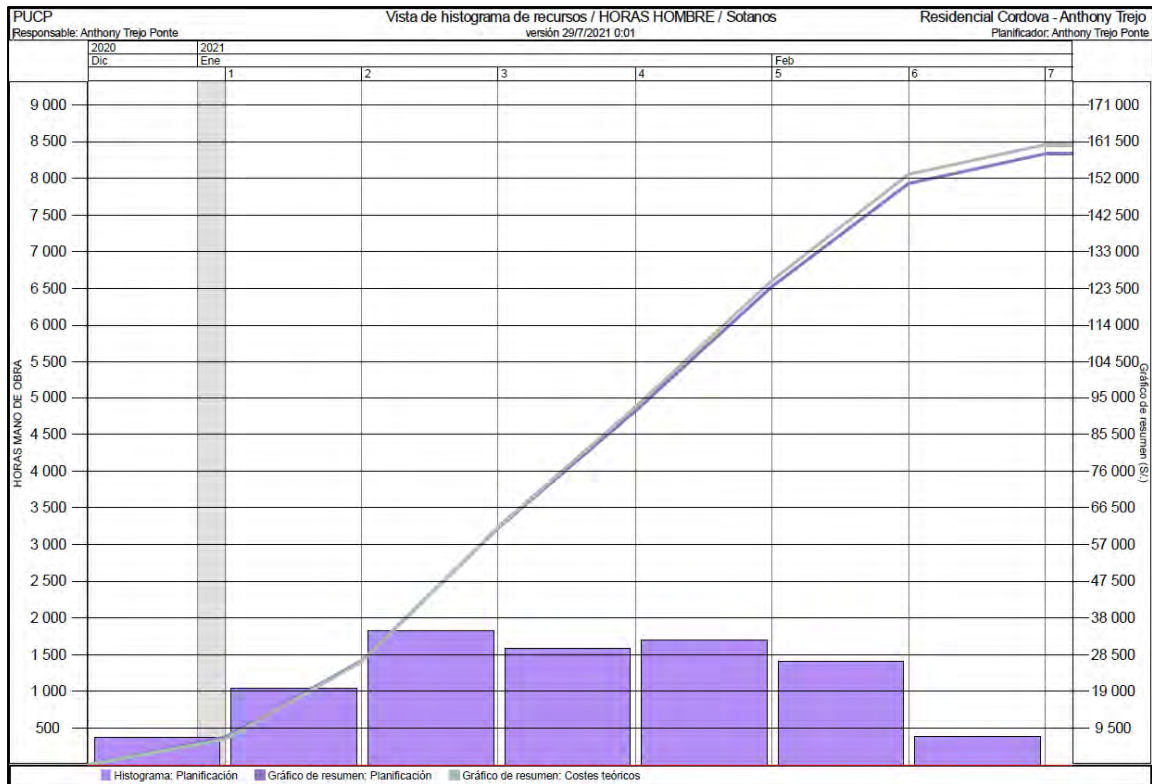


Figura 5-8 Histograma de costo HH en sótanos

Fuente: Elaboración propia

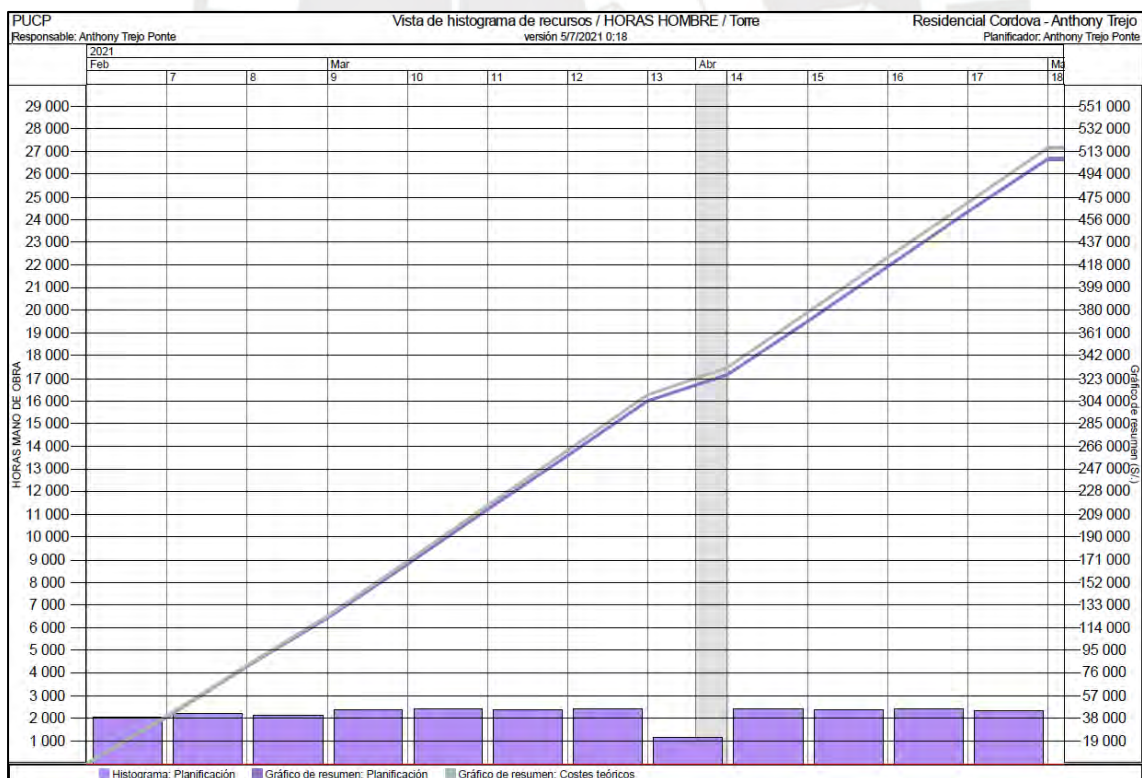


Figura 5-9 Histograma de costo HH en torre

Fuente: Elaboración propia

En resumen, los resultados del costo de la mano de obra usados en los sótanos y la torre se presentan en la siguiente tabla 5-4. Se observa que se empleó un costo teórico de S/.516,049.40 en mano de obra para la ejecución de la torre del casco estructural y S/.160,592.80 para los sótanos, sumando en total para todo el casco un total de S/.676,642.20 en mano de obra.

Tabla 5-4 Resumen del costo de mano obra del caso estructural (Elaboración propia)

	RECURSO	COSTO UNITARIO	CANTIDAD HH	PARCIAL
CASCO TORRE	OPERARIO	S/21.80	8088	S/176,318.40
	PEON	S/16.50	6760	S/111,540.00
	OFICIAL	S/17.90	8624	S/154,369.60
	CAPATAZ	S/25.70	1382	S/35,517.40
	OPERARIO DE EQUIPO LIVIANO	S/21.00	1824	S/38,304.00
				S/516,049.40
CASCO SOTANOS	OPERARIO	S/21.80	2584	S/56,331.20
	PEON	S/16.50	2792	S/46,068.00
	OFICIAL	S/17.90	2082	S/37,267.80
	CAPATAZ	S/25.70	574	S/14,751.80
	OPERARIO DE EQUIPO LIVIANO	S/21.00	294	S/6,174.00
				S/160,592.80
COSTO MANO DE OBRA CASCO				S/676,642.20

El histograma de concreto (Figura 5-10) muestra la cantidad de concreto en m³ que se utilizó semanalmente a lo largo de la ejecución de la obra hasta culminar el casco estructural con las partidas consideradas en el **Anexo N°1**. Además, la figura 5-11 muestra el costo que fue requerido en el vaciado de concreto de los distintos elementos estructurales. En dichos histogramas se observa que se utilizó en aproximadamente un total de 2,635 m³ de concreto (se puede comparar con los resultados de la tabla 5-1) con un costo total aproximado de S/.856,000,00. Los histogramas de concreto detallados semanalmente en cantidades y costos durante las fases y sub-fases del proyecto se mostrarán en el **Anexo N°2**.

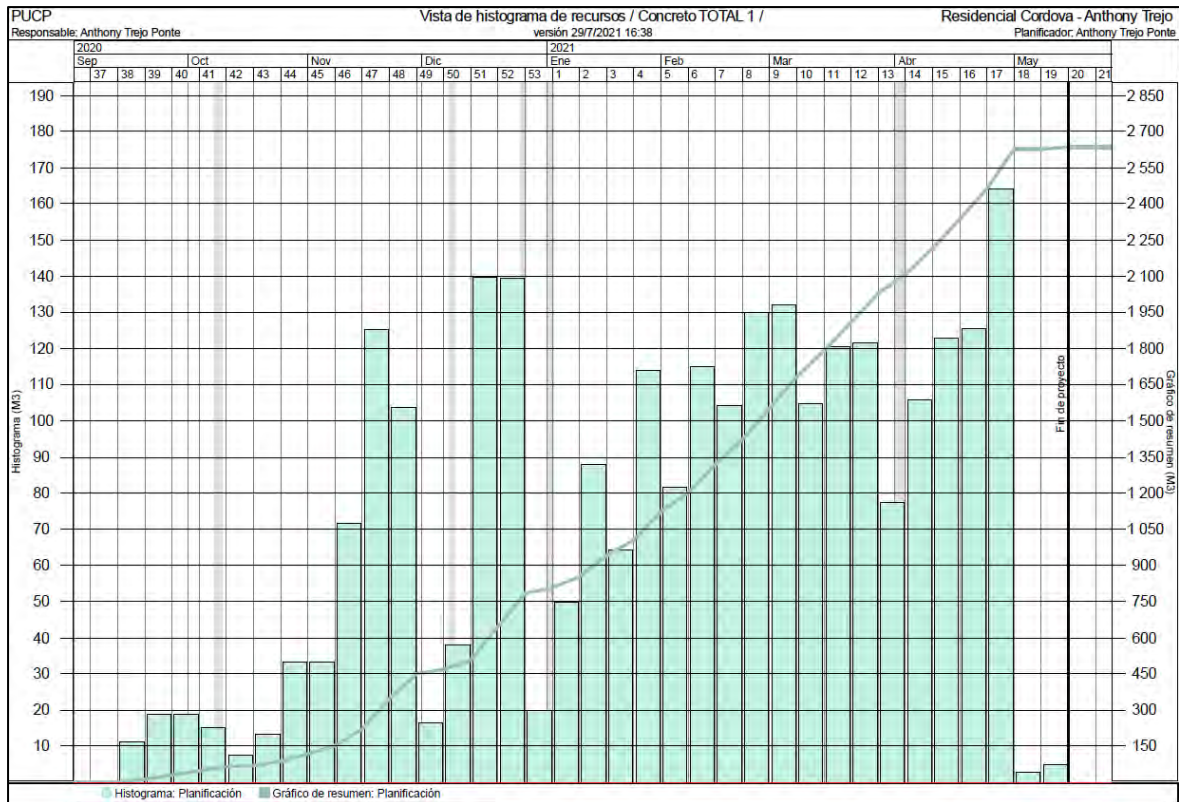


Figura 5-10 Histograma de concreto (m3)

Fuente: Elaboración propia

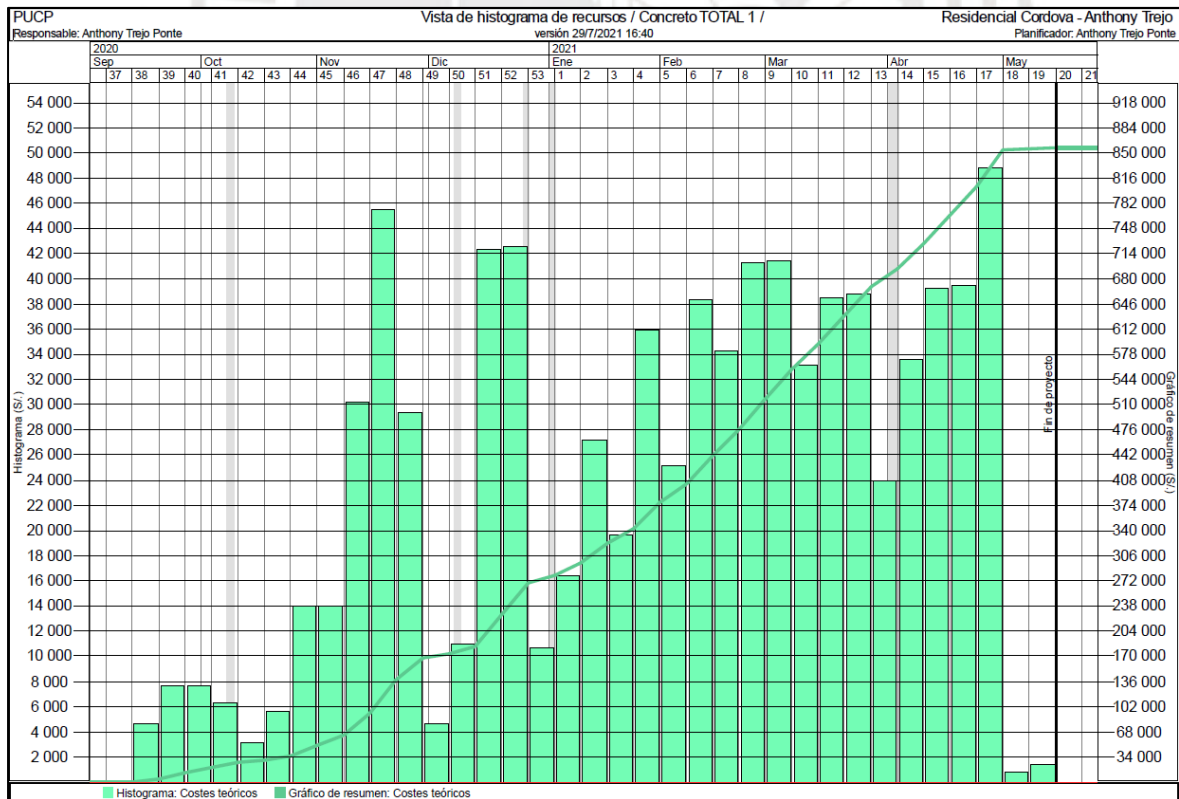


Figura 5-11 Histograma de costo del concreto durante la obra (S/.)

Fuente: Elaboración propia

En el caso del encofrado, la figura 5-12 muestra el histograma de la cantidad total y semanal de encofrado que se utilizó en el proyecto. De forma similar al caso del concreto, la figura 5-13 muestra el histograma del costo semanal de las partidas de encofrado a lo largo del proyecto. Se observa que se utilizó en total un aproximado de 16,850 m2 de encofrado con un costo total de S/. 667,100.00. En el **Anexo N°2** se presentará con mayor detalle en fases y sub-fases los histogramas del encofrado.

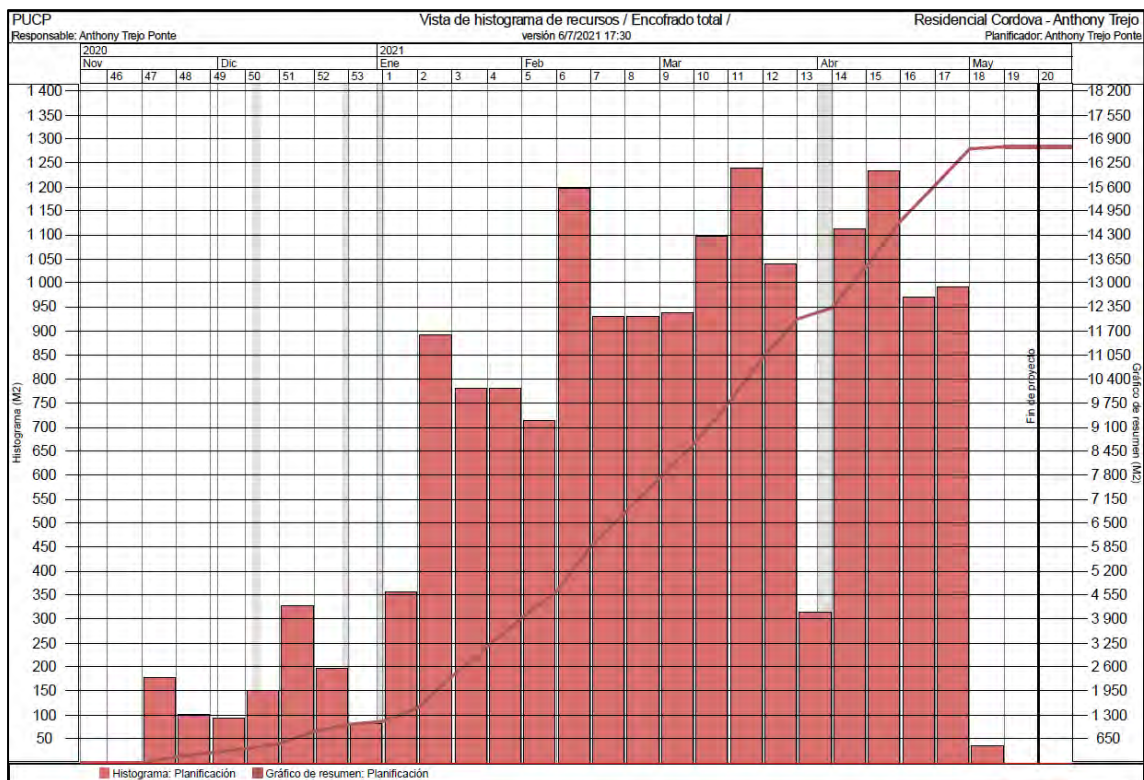


Figura 5-12 Histograma de encofrado (m2)

Fuente: Elaboración propia

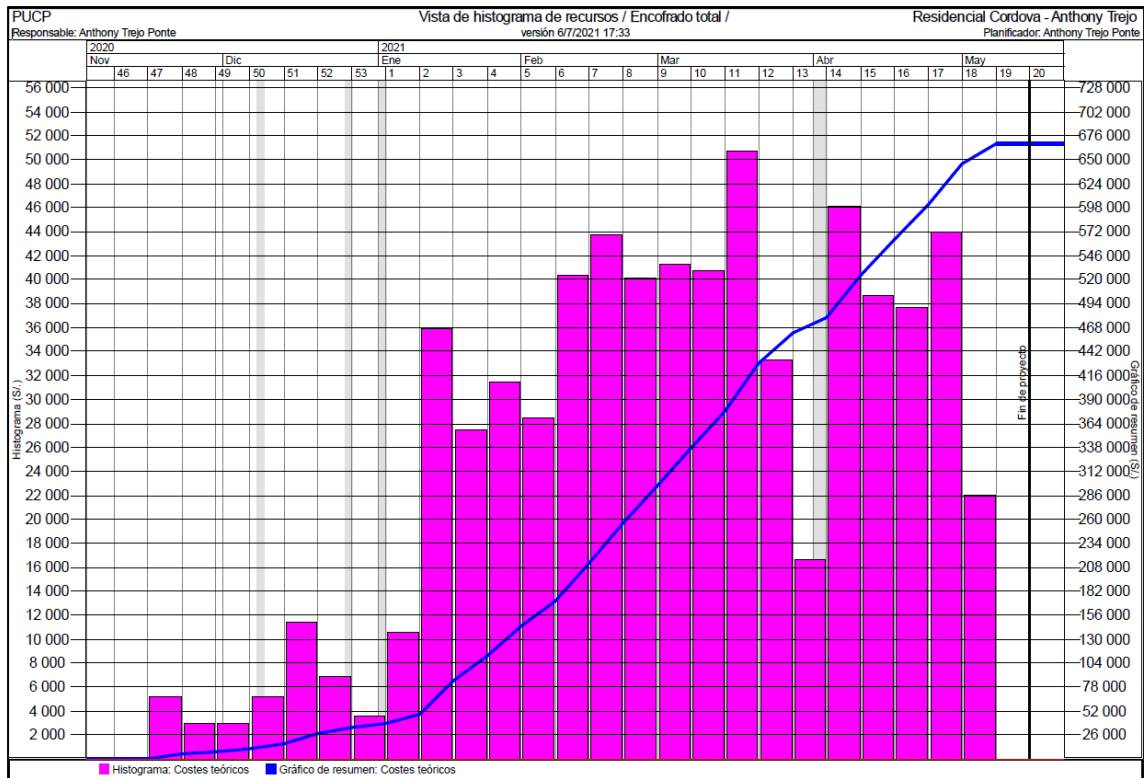


Figura 5-13 Histograma de costo del encofrado durante la obra (S/.)

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, para el caso del acero se tienen las figuras 5-14 y 5-15 los cuales muestran los histogramas del acero utilizado en la ejecución de la obra y el costo respectivamente. Se tiene aproximadamente un total de 361,451.62 kilogramos usados en todo el proyecto (incluyendo el acero del grupo de tareas para la ejecución de los muros pantalla) con un costo aproximado de S/.1,080,000.00.

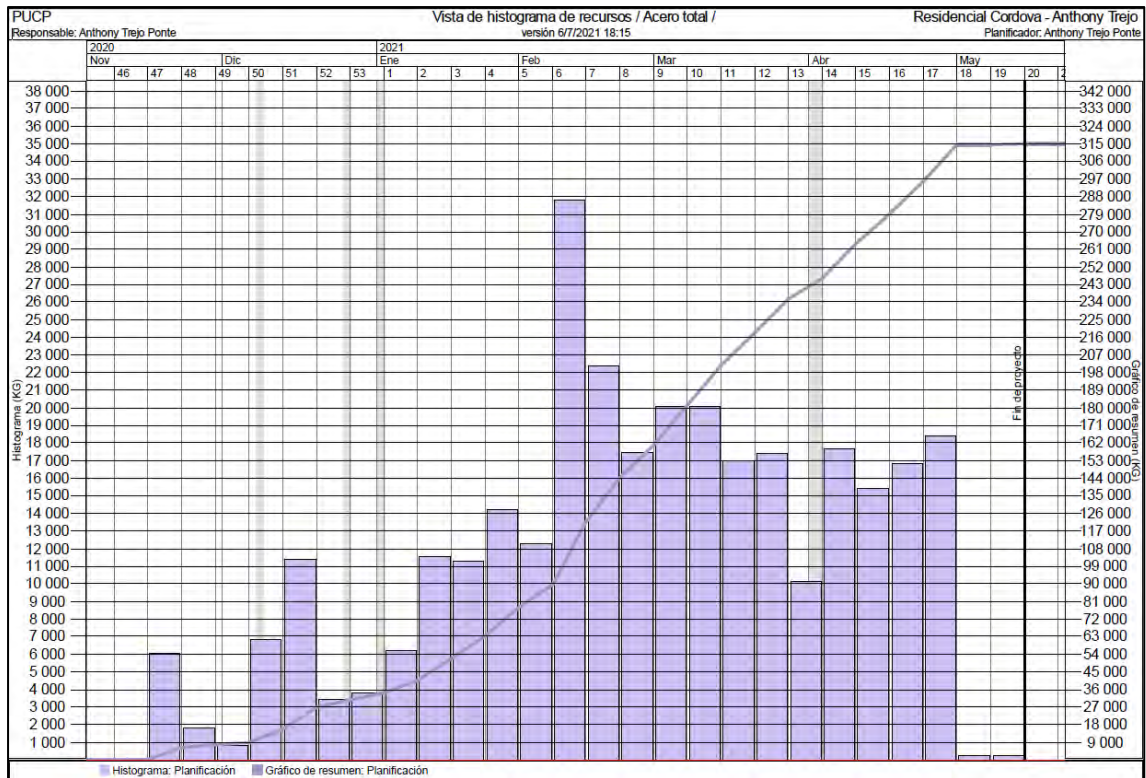


Figura 5-14 Histograma de acero (kg)

Fuente: Elaboración propia

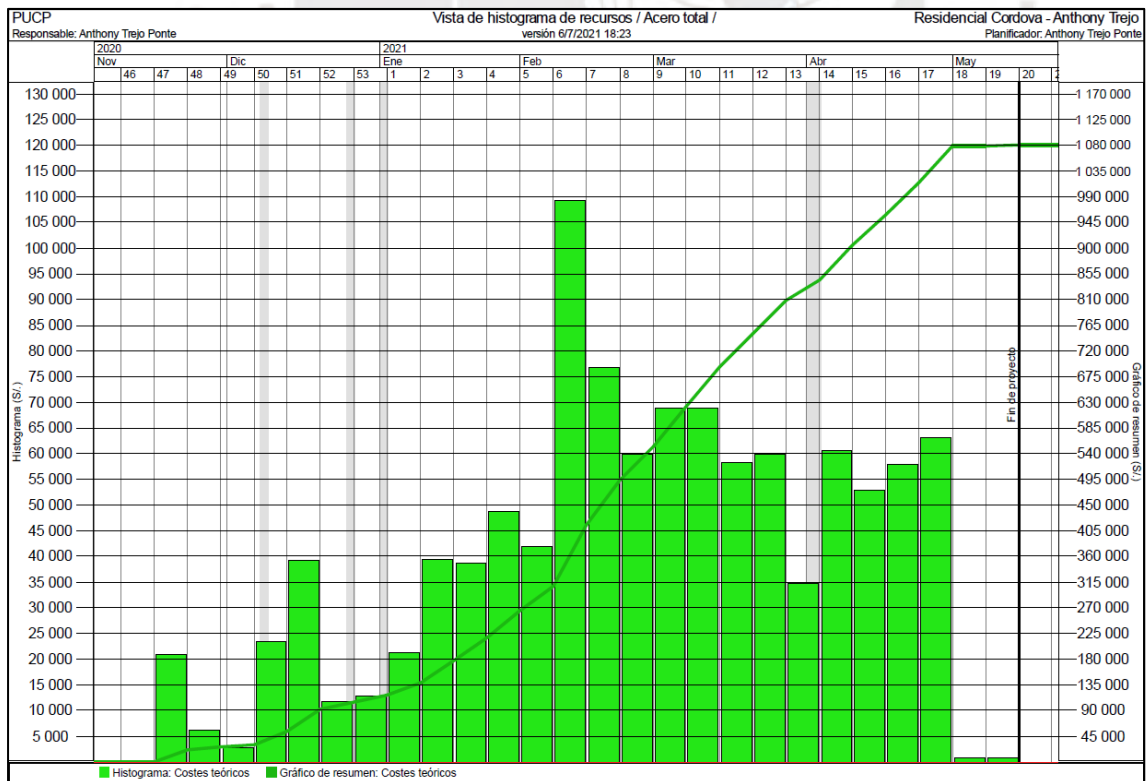


Figura 5-15 Histograma de costo del acero durante la obra (S/.)

Fuente: Elaboración propia

5.1.4. Simulación 4D

La simulación 4D representa el avance físico del proyecto a través del tiempo y se programa automáticamente en el software Vico Office a partir de la planificación realizada con las líneas de flujo. Esta simulación se proyecta en una línea de tiempo en la que se mostrará el avance del proyecto según transcurran los días y respetando las tareas asignadas en la planificación con líneas de flujo (ya vinculadas con el modelo 3D). La figura 5-16 muestra parte del proceso de simulación 4D del proyecto Residencial Córdoba. Esta simulación también se puede usar para mostrar reportes de avances de una forma más visual a lo que se presenta en el plan semanal.

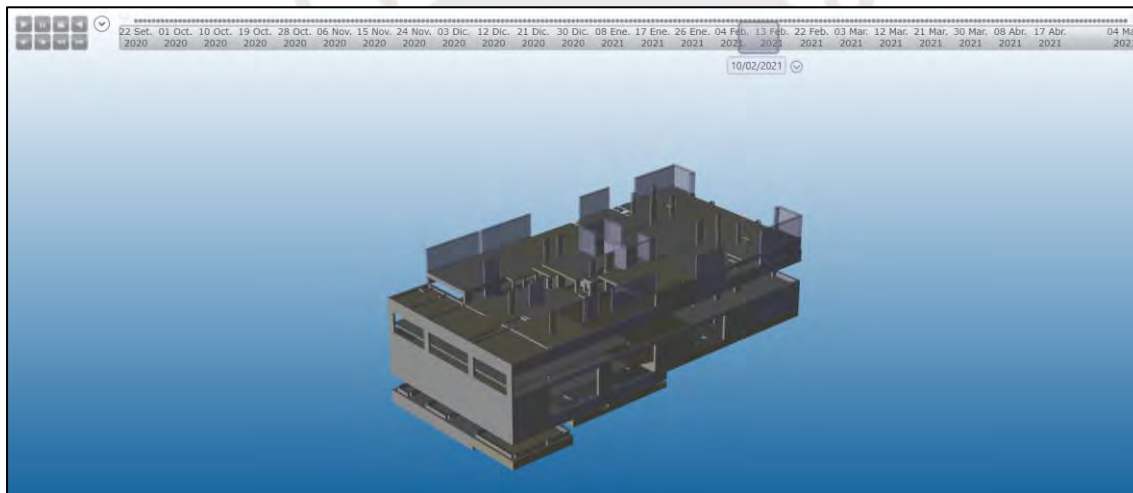


Figura 5-16 Simulación 4D del proyecto Residencial Córdoba

Fuente: Elaboración propia

5.1.5. Control y seguimiento

Así como se realizó la planificación a través de las líneas de flujo del proyecto, también se realizó el análisis del control de avance del proyecto. Como se explicó en el capítulo anterior, en el software Schedule Planner se introdujeron fechas de inicio de tareas, porcentajes de avance y fin de las distintas tareas creadas y planificadas según su locación descrita en el LBS. Estas fechas y porcentajes de avances que se introdujeron fueron obtenidos de las distintas visitas semanales que se realizaban a la obra durante su ejecución. La figura 5-17 muestra en

resumen el control que se llevó a cabo en el proyecto a través de las líneas de flujo (líneas de flujo punteadas) y se puede comparar con la planificación (líneas de flujo sin puntuar).

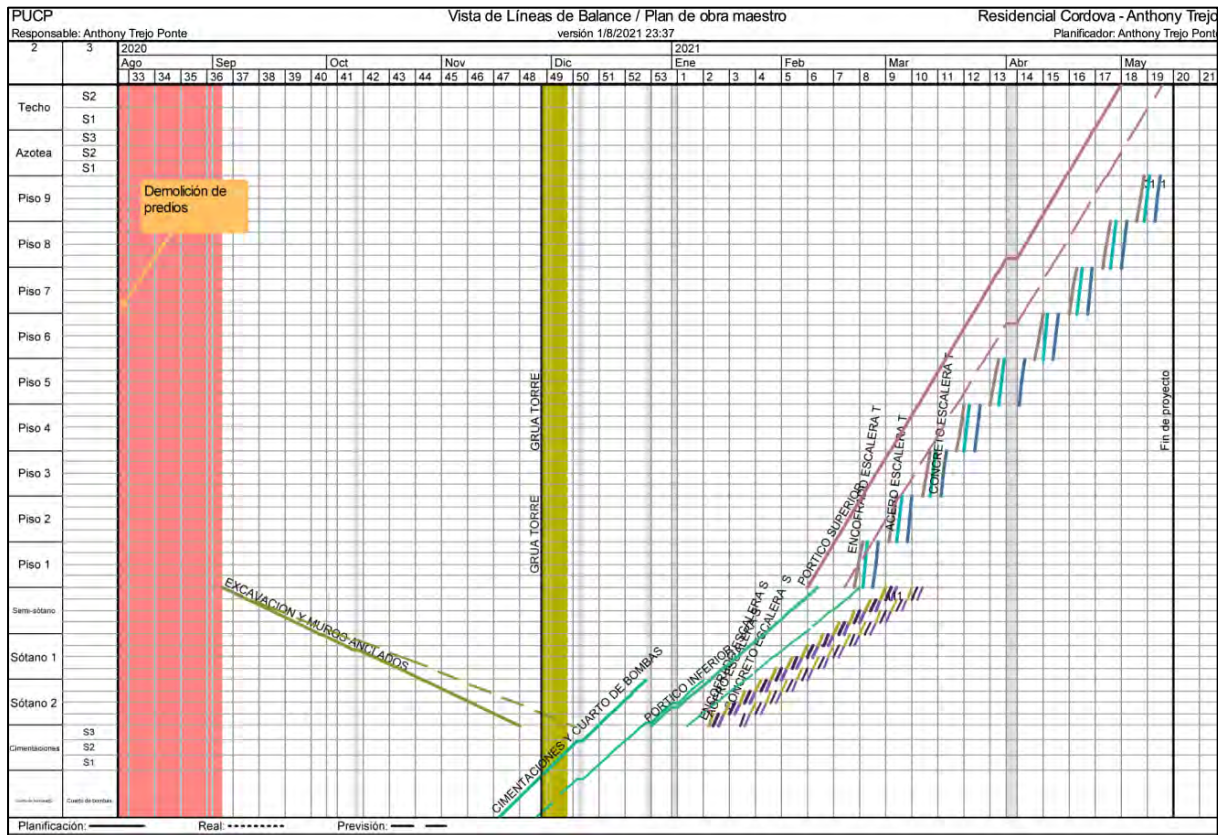


Figura 5-17 Control y seguimiento del proyecto

Fuente: Elaboración propia

Se elaboró la tabla 5-5 que muestra un cronograma de hitos programado versus real; es decir, se presentan las fechas de inicio y fin de la planificación (Meta) y también el inicio y fin de la información obtenida del avance físico de obra (Real). También se presentan 2 columnas de días que representa la cantidad de días calendario (Incluidos feriados) que se utilizaron para finalizar dichos hitos. Se puede observar que en el sótano 2 se utilizó mayor cantidad de días e inició después de 10 días calendario respecto a lo planificado. Además, se puede observar que se utilizaron aproximadamente 12 días útiles por sótanos para su ejecución.

En el caso de la torre se utilizó mayor cantidad de días en los primeros pisos, pero a medida que se avanzaba con los pisos superiores se necesitaron de menos días. Esto se debería a que

existió un aprendizaje en el trabajo en los pisos típicos lo que permitió una mayor productividad a medida que se avanzaba en el proyecto. Por ejemplo, para el primer piso se necesitó de 20 días calendario para culminar el vaciado de techo, mientras que a partir del sexto piso solo se necesitaron 9 días calendario para culminar; además, la azotea solo necesitó de 7 días calendario. También, se observa que los sótanos iniciaron apropiadamente 2 semanas después de lo que se menciona en la planificación; por lo tanto, las tareas de las anteriores fases duraron mucho más tiempo de lo previsto.

Tabla 5-5 Cronograma de hitos meta vs realidad (Elaboración propia)

ÍTEM	HITO	DÍAS	META		DÍAS	REAL	
			INICIO	FIN		INICIO	FIN
	SOTANOS Y TORRE						
1	SOTANO 2	18	28/12/20	15/01/21	16	06/01/21	22/01/21
2	SOTANO 1	15	12/01/21	27/01/21	15	18/01/21	02/02/21
3	SEMISOTANO	14	25/01/21	08/02/21	19	31/01/21	19/02/21
4	1er PISO	9	08/02/21	17/02/21	20	17/02/21	09/03/21
5	2do PISO	9	16/02/21	25/02/21	19	26/02/21	17/03/21
6	3er PISO	9	24/02/21	05/03/21	14	10/03/21	24/03/21
7	4to PISO	11	04/03/21	15/03/21	17	19/03/21	05/04/21
8	5to PISO	11	12/03/21	23/03/21	14	26/03/21	09/04/21
9	6to PISO	9	22/03/21	31/03/21	9	07/04/21	16/04/21
10	7mo PISO	13	30/03/21	12/04/21	9	14/04/21	23/04/21
11	8vo PISO	11	09/04/21	20/04/21	9	21/04/21	30/04/21
12	9no PISO	10	19/04/21	29/04/21	9	28/04/21	07/05/21
13	AZOTEA	7	26/04/21	03/05/21	7	05/05/21	12/05/21

5.2. Verificación de las hipótesis planteadas

La implementación de la dimensión 4D y 5D de la metodología BIM ayudará a estimar los costos y duraciones de las distintas partidas a lo largo de la duración del proyecto.

Gracias a la planificación del proyecto a través de las líneas de flujo se pudo establecer un plan de obra, en el cual se asignaron una serie de dependencias entre las distintas tareas creadas para ejemplificar el proceso constructivo que se realizará en obra. Como se describió en capítulos previos, a cada una de las líneas de flujo se le asignó recursos, velocidades de producción, buffers, duraciones, dependencias entre tareas. Con todos esos datos se obtuvo histogramas de las distintas partidas que se requiera controlar respecto a los costos; por ejemplo, se puede controlar el histograma del concreto utilizado en todo el proyecto, en una fase, en un tiempo específico, en el tipo de elemento (losa aligerada, losa maciza, escalera, etc) o en locaciones específicas. Esta información relacionada directamente a los costos y plazos (BIM 4D y 5D) se puede extraer y visualizar a través de histogramas, de informes y tablas que brinda el software Schedule Planner y Vico Office de forma automatizada. El usuario puede definir la escala temporal de la información que necesite; por ejemplo, días, semanas y meses. Las líneas de flujo también ayudan a estimar la duración del proyecto y el porcentaje de avance de las distintas partidas. Esta estimación de los plazos se complementa muy bien con la simulación 4D del proyecto debido al vínculo que posee el modelo 3D, con las tareas asignadas para el modelo 4D y los costos de las distintas partidas del presupuesto. Brindar una proyección virtual de avance del proyecto respecto a lo que ejecutaría en los próximos días o semanas, se complementaría con herramientas del Last Planner System como es el Look Ahead, Plan Semanal, etc. Se puede realizar cortes en días específicos para estimar el costo actual del proyecto hasta dicha fecha y tener un mejor control del proyecto a través de indicadores de gestión de la teoría del Valor Ganado. Por todo lo mencionado, se afirma que la

implementación de las dimensiones 4D y 5D sí ayuda a estimar los costos y plazos de las distintas partidas del proyecto e inclusive la misma duración del proyecto.

Solo se podrán obtener resultados óptimos en la implementación del BIM 4D y 5D si se realiza un buen modelo 3D del proyecto respetando los procesos constructivos.

Durante la elaboración del modelo 3D de la especialidad de estructuras se crearon y asignaron parámetros a los distintos elementos con la finalidad de usarlos como clasificadores para los elementos del modelo 3D. La parametrización de los elementos es un paso fundamental para la implementación de las herramientas 4D y 5D debido a que, si no se realiza dicho proceso, el software Vico no podrá clasificar los distintos elementos en grupos y se obtendrían miles de elementos de forma independiente que llevaría mucho tiempo poder organizar y vincular uno por uno con las distintas tareas y partidas del presupuesto. Un modelo 3D, el cual fue elaborado siguiendo el proceso constructivo, permite identificar y distribuir el LBS del proyecto; además, permite crear dichos LBS a partir de la distribución que se realizó en el software Revit o como en el caso de esta investigación que se distribuyó el segundo nivel del LBS (pisos del proyecto) y el tercer nivel del LBS (sectores) a partir de las conexiones entre elementos horizontales y verticales en el modelo 3D del Revit. Se requiere de un buen modelo 3D para poder extraer metrados, sobre todo de concreto, pues es a partir de estas medidas que se calculará la cantidad de acero a través de ratios. En caso no se cuenta con un correcto modelo, no se podrá identificar la cantidad de material que se utilizará y se obtendrían resultados muy alejados de la realidad que no servirían para llevar un control de costos y tiempo del proyecto a analizar. Por lo mencionado, se afirma que la elaboración de un buen modelo 3D en el que se respete los procesos constructivos y parámetros de los elementos, ayudará a obtener mejores resultados en los análisis de costos y plazos gestionando el modelo.

La planificación del proyecto con líneas flujo, las cuales servirán para la implementación del BIM 4D y 5D, podría dificultarse si no se realiza una adecuada dependencia entre las distintas tareas utilizadas.

Uno de los primeros pasos que se recomienda realizar para balancear las líneas de flujo es asignar las cuadrillas que se usarán en las distintas tareas. Luego, asignar la dependencia entre tareas e incluir su velocidad de producción para finalmente balancearlas usando los criterios mencionados en el capítulo 4 (factor de producción y rendimientos). Las dependencias de las tareas se asignan siguiendo el proceso constructivo que se llevará a cabo en el proyecto y dicho proceso se puede realizar usando los distintos niveles del LBS planteados para el proyecto e indicando si se desea planificar con líneas de flujo continuas o discontinuas. Para el pórtico inferior, se realizó la planificación con líneas de flujo discontinuas y por sectores. En dicha relación se podía identificar la dependencia entre las tareas, pues se mostraba que se tenía que terminar los elementos verticales para poder continuar con los elementos horizontales. Por ejemplo, en el proyecto de estudio se consideraron distintos tipos de losas, pues así esta establecidos en los planos de construcción (losas aligeradas de espesores 20 cm, 25 cm y las losas macizas); sin embargo, cuando se realiza la dependencia entre dichas tareas se muestra tiempos perdido, ya que no refleja la realidad de la actividad a causa de la excesiva cantidad de detalle que tiene la planificación al separar la actividad de vaciado para las losas de distintos espesores. Otra dificultad que se observó en la planificación con discontinuidad fue la gran cantidad de líneas de flujo que puede dificultar la visualización de las tareas a realizar en fechas específicas. Para el caso del pórtico superior, se tuvo dificultades al momento de visualizar algunas tareas, pues se agregaron dependencias, buffers y ello causaba que se superpongan las líneas evitando diferenciar las actividades. Esta superposición se encontraba en las tareas de encofrado, acero y concreto de elementos verticales y horizontales. En base a todo lo descrito

anteriormente, es igual de importante el uso adecuado de dependencias como la elección de las tareas que se usarán para la planificación.

Realizar el seguimiento y control del proyecto a través del software tendrá cierta dificultad debido a que existirán variables que no se pueden incluir y controlar en el software.

La herramienta de control y seguimiento del Schedule Planner permite introducir en la planificación los tiempos reales que se usaron durante la ejecución de la obra; además, realizar proyecciones respecto a lo ejecutado y comparaciones de costos y plazos respecto a lo planificado. Sin embargo, el control y seguimiento usando el software posee algunas limitaciones; por ejemplo, no es posible aumentar recursos a las tareas que ya fueron planificadas. Si durante la ejecución del proyecto se realiza nuevos cálculos de los metrados, estos solo se podrían configurar durante la etapa de planificación y no durante la etapa de control y seguimiento. En base a lo descrito anteriormente, es correcto afirmar que no se puede controlar en su totalidad el proyecto con el software.

5.3. Propuesta de valor

5.3.1. Respecto al modelo 3D

Se propone elaborar el modelo 3D en un mismo software para las distintas especialidades del proyecto, ya que a pesar de que el software Vico Office permita vincular distintos archivos IFC, podría existir información que se pueda perder o no se compatibilice correctamente con las especialidades de distintos programas. El modelo 3D debe ser elaborado a partir de elementos parametrizados, asignado con familias y tipos que posean un nombre de fácil identificación para poder agruparlos y clasificarlos cuando se realice el proceso de implementación del BIM 4D y 5D.

Es recomendable realizar la distribución de las locaciones de acuerdo con el LBS en el software Revit, pues mejora la precisión de distribución de elementos y se evitaría perder ciertos metros de elementos con geometría compleja cuando se importe al Vico Office.

5.3.2. Respecto a los histogramas

Los histogramas serán de los recursos incluidos en la planificación y en el caso de la presente investigación se utilizaron recursos de mano de obra y materiales. Dichos histogramas presentan no solamente la cantidad de recursos utilizados hasta el corte de tiempo deseado, sino también sirven como apoyo para estimar la cantidad proyectada de recursos. Se propone obtener los histogramas semanales o mensuales; sin embargo, también es posible obtenerlos diariamente para realizar el control de costos de los recursos de acuerdo con el avance que se le haya incluido en el Schedule Planner.

5.3.3. Respecto a la planificación

Se propone realizar una planificación inicial basada en el método de la ruta crítica (CPM), pues ayudaría a identificar las tareas críticas presentes en el proyecto y luego complementarlo con la planificación en líneas de flujo. Con ello se podría identificar las tareas en base a las velocidades de producción y así lograr un trabajo continuo del proyecto para obtener cronogramas más ajustados a la realidad.

5.3.4. Respecto al control y seguimiento del proyecto

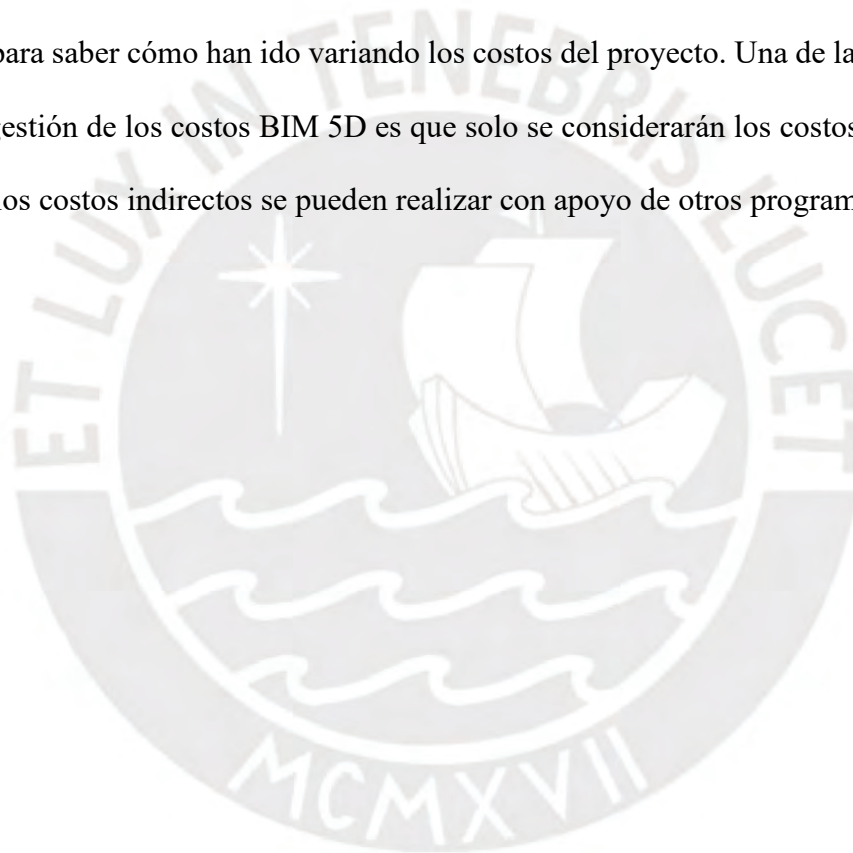
Se propone distribuir las tareas para la planificación del proyecto y agruparlas en fases, debido a que ayuda a tener un orden en las distintas actividades a realizar; sin embargo, realizar ello causa una desventaja y es que, durante el modo de control del proyecto en el gráfico de líneas de flujo, solo se permitirá proyectar los hitos de inicio y fin de las fases y no de cada una de las tareas involucradas dentro de ellas tal como se mostró en la figura 5-17. La única forma de visualizar el control de las tareas sería a través de cuadros como se presentó en la figura 4-38.

5.3.5. Respecto a la simulación 4D

Se propone establecer grupos de tareas especiales en la simulación 4D con la finalidad de obtener una perspectiva visual más entendible del avance de la obra a través del tiempo.

5.3.6. Respecto a los costos del proyecto

Se propone utilizar el presupuesto de la planificación como base o meta del proyecto y guardarlo como “instantánea” en el software Vico Office o también llamada “gestión instantánea”. Los cambios en los costos se pueden guardar como gestiones instantáneas del presupuesto para saber cómo han ido variando los costos del proyecto. Una de las limitaciones que tiene la gestión de los costos BIM 5D es que solo se considerarán los costos directos para su análisis y los costos indirectos se pueden realizar con apoyo de otros programas.



CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones

Para realizar la implementación de las dimensiones 4D y 5D del BIM en proyectos inmobiliarios se requiere del apoyo de distintos softwares y se complementan con distintas herramientas como: Last Planner System de la filosofía Lean Construction y el uso del sistema Location Based Management System. Las conclusiones de la implementación del BIM 4D y 5D se dividirán en base a los resultados obtenidos.

Modelo 3D

Se concluye que el modelo 3D debe ser elaborado con elementos parametrizados para que sean agrupados fácilmente y así reducir el tiempo que se necesita para implementar las dimensiones 4D y 5D del BIM. Además, se observó a partir de los resultados obtenidos, los principales parámetros que se necesitan, para no tener dificultades al momento de vincular los plazos y costos, son: Las locaciones (indicar el nivel y/o posición del elemento) y grupos de elementos (agrupar los elementos por tipo).

Se concluye que seguir los procedimientos constructivos durante la elaboración del modelo 3D permite cuantificar e indicar de manera precisa los metrados del proyecto en los niveles de locaciones según el LBS asignado. Se puede asignar a los pisos del proyecto como un nivel del LBS; y se debe dividir los elementos verticales y horizontales en sectores, para lograr una equidad de trabajo en cantidades de metrados, cuadrillas necesarias y velocidad de producción.

Relación entre modelo 3D y el LBS

El modelo 3D posee una serie de elementos que se deben vincular con las partidas del presupuesto del proyecto; por ejemplo, las partidas de concreto y encofrado de los elementos

verticales (columnas y placas) y elementos horizontales (losas, vigas, etc.). Para el caso del acero se tiene que usar ratios para simplificar el trabajo. Si existen metrados que no se pueden extraer directamente del modelo 3D, se puede crear manualmente estas mediciones e incorporarlos en el gestor de mediciones para posteriormente vincularse con partidas del presupuesto del proyecto. En conclusión, no se tendría problemas en vincular ninguno de los metrados, sea obtenido directamente del modelo 3D o no, con las partidas que se puedan encontrar en el presupuesto. Gran parte de la información de costos y metrados se puede incluir en un modelo 4D y 5D; y solo dependerá de la cantidad de detalle y tiempo que se requiera invertir en ello.

La distribución de los niveles del LBS se puede realizar en el mismo modelo Revit para evitar pérdidas de metrados en algunos elementos, ya que si se hace; por ejemplo, la sectorización en el software Vico Office, existirán pérdidas de datos al momento de hacer los cortes de las distintas locaciones según el LBS asignado. Dependiendo de la geometría 2D y volumetría 3D del elemento en el modelo se podrían perder pequeñas cantidades de metrado, o inclusive en algunos casos se perdería todas las mediciones de dicho modelo por lo que se tendría que insertar los metrados manualmente a los elementos. En caso de tener elementos del modelo 3D en distintas alturas para un mismo nivel de jerarquización (pisos) del LBS, se tendría que aumentar otro nivel de jerarquización superior (bloques) en el LBS para evitar posibles errores en el diagrama de las líneas de flujo y los histogramas, pues los resultados de estos gráficos y diagramas van a depender del tiempo y la locación del elemento.

Sinergia entre el presupuesto y el BIM 5D

El presupuesto es la base para vincular los costos con el modelo 3D y este puede ser elaborado previamente con apoyo de otros programas como Excel, S10 módulo de presupuestos o crearse en el mismo software Vico Office. Inclusive es posible importar el presupuesto desde un

formato Excel al software Vico Office, lo cual simplificará la cantidad de tiempo invertido en su creación para la implementación del BIM 5D. La cantidad de partidas que se pudo vincular y representar con el modelo 3D fueron aproximadamente el 85%; es decir, existen partidas que no tienen representación en el modelo 3D; por ejemplo, la partida de levantamiento topográfico o limpieza de terreno. Sin embargo, eso justifica el hecho que no se pueda controlar dichas partidas en un modelo 4D y 5D, ya que a pesar de que las partidas no tengan una representación gráfica en el modelo 3D, es posible vincularlas a las tareas de las líneas de flujo (ya vinculadas con el modelo 3D) y así controlar las partidas en el presupuesto mediante el avance físico, logrando estimar el costo actual, las valorizaciones mensuales y el costo directo del proyecto.

Planificación basándose en el LBMS y herramientas del Last Planner System.

El LBMS es un sistema que permite implementar el BIM 4D y 5D, pues fortalece algunas de sus ideas como transformar lugares en cantidades y así poder planificar la productividad a través de un trabajo continuo. Esta planificación se puede realizar a través de una de sus principales herramientas como son las líneas de flujo; sin embargo, si no se realiza un correcto análisis de las tareas que se ejecutarán, durante la planificación del proyecto y la dependencia entre ellas, se puede complicar la planificación obteniendo resultados incoherentes. Se debe establecer las tareas generales y no por tipos; por ejemplo, si se va a realizar el vaciado de concreto en columnas y placas solo se necesitará crear una tarea para dicha actividad y no dividirla como vaciado de concreto para columnas y otro para placas, pues aumentaría la cantidad de líneas de flujo dificultando su visualización si se requiere obtener una planificación en un corto plazo (programación semanal).

El Master Plan como herramienta de planificación del Last Planner System a largo plazo, se puede realizar en el mismo software Schedule Planner con el nombre de Plan de Obra y dicha planificación se vinculará con el modelo 3D que se tenga en el Vico Office. El realizar la

planificación en el mismo Vico Office o en algún otro programa y representarlo en el Schedule Planner permitirá optimizar los tiempos invertidos durante la planificación, pues identificará inconsistencias entre la cantidad de tiempo que se asigna para ejecutar una tarea y la velocidad de producción que tiene dicha tarea. Por ejemplo, en la tarea de colocación de acero en placas de un piso se le asigno un tiempo de ejecución de 4 días, pero dicha cantidad no era posible, pues implicaría una velocidad de producción de 1,015.55 kg/día, lo cual es una cantidad excesiva de trabajo en un día para una cuadrilla de colocación de acero de placas. El Vico Office reconoce dicha inconsistencia y el usuario planificador deberá optar por soluciones para llevar a cabo dicha tarea y lograr el trabajo continuo sin que se produzca cuellos de botella. Estas soluciones pueden ser modificar el tiempo de ejecución de la tarea, el número de cuadrillas y/o el factor de producción.

El uso adecuado de las dependencias entre tareas es fundamental para obtener una buena planificación, pues a partir de ello se define si los resultados son lógicos durante el proceso de control y seguimiento del proyecto.

La planificación con líneas de flujo para el BIM 4D y 5D se puede realizar a través de fases e incorporando dependencias, buffers y áreas verticales. En la presente investigación se llegó a realizar la planificación utilizando fases, sub-fases, buffers, áreas verticales y tipos de dependencias anteriormente descritas; sin embargo, dicha planificación requiere de una constante supervisión y reuniones con personas experimentadas en el ámbito de la planificación para lograr el trabajo continuo con las locaciones predeterminadas. Se debe analizar restricciones, riesgos e ir actualizando los cambios para el control adecuado del proyecto.

Para el control del proyecto a mediano plazo (Look Ahead), se puede extraer cronogramas del software Vico Office, lo cual ayudaría en el control del proyecto; sin embargo, estos extractos de programación sirven de apoyo, pues basándose en las herramientas del LPS, se debe

complementar este cronograma junto con otras herramientas como un análisis de restricciones, causas de incumplimiento, porcentaje de plan cumplido (PPC) que el software no podría detectar o realizarlos. Además, incluir manualmente estas herramientas en el software podría llevar una cantidad de tiempo innecesario; por ello, es preferible utilizar dicho cronograma del Vico Office como apoyo y complementarlo con herramientas siguiendo el método tradicional del LPS.

La planificación con líneas de flujo puede complicarse durante su elaboración si es que se le da una cantidad excesiva de detalle; es decir, si se elabora utilizando el último nivel del LBS que en la mayoría de los casos serían los sectores de las plantas en proyectos de construcción. Además, si el detalle es excesivo se puede mostrar no solamente el día que termine las tareas sino también las horas de las tareas y estas no se representarían de forma correcta en las líneas de flujo, pues indicaría que la actividad finaliza en algún momento del día y no es algo que ayude al control de las actividades. Se debe elaborar la planificación del proyecto con un nivel jerárquico que no involucre tanto detalle en las locaciones; por ejemplo, se puede planificar con un nivel LBS en el cual se muestre los pisos del proyecto y se identifique de forma rápida los hitos de inicio y fin de las distintas tareas para su control y seguimiento.

Líneas de flujo y diagrama de Gantt

Realizar la planificación con el diagrama de Gantt es basándose en el CPM o método de la ruta crítica brindando una serie de beneficios como presentar los hitos de inicio y fin de las tareas, dependencias entre ellas e inclusive agregar recursos a las tareas planificadas; sin embargo, con dicho diagrama no se podría identificar las velocidades de producción de las tareas para asegurar el trabajo continuo. Por ello, se concluye que realizar ambos métodos permite una planificación y control del proyecto más adecuado.

Cronogramas, recursos e histogramas del proyecto

Realizar la implementación del BIM 4D y 5D permite obtener de forma automatizada y rápida cronogramas y proyecciones de las distintas tareas en las fechas que se requiera. Dichos resultados son muy útiles para realizar el control del proyecto, pues ayuda a identificar posibles retrasos relacionados a la producción que el equipo de obra no pueda haber detectado. Respecto a la obtención de recursos e histogramas también se extraen de forma rápida y automatizada brindando un beneficio al reducir el tiempo en la elaboración de los distintos entregables de reportes de costos y plazos. Se concluye que los diagramas de recursos e histogramas son resultados fiables, pues están compatibilizados con los distintos documentos relacionados al costo, plazos y modelo 3D del proyecto.

Control y seguimiento del proyecto con líneas de flujo

Se puede realizar el control de avance del proyecto a través de las líneas de flujo, las cuales mostrarán fechas proyectadas de las distintas tareas a medida que se indique si finalizaron o si llevan un porcentaje de avance. Este seguimiento y control del proyecto se puede complementar junto con otras herramientas del LPS para poder realizarlo de una forma más idónea y tenga un impacto positivo al finalizar el proyecto. Si comparamos las fechas del cronograma de hitos obtenidas del Plan Maestro versus los hitos reales del proyecto, se observará que el atraso fue de 14 días calendario respecto a lo planificado, lo cual nos da un indicador muy acertado a la realidad. Entonces, se concluye que, si se realiza de forma óptima el control del proyecto con herramientas del LPS, con profesionales experimentados en este ámbito y complementado con las líneas de flujo, se obtendrían cronogramas fiables para el seguimiento y control de los plazos que resultarán en márgenes positivos al finalizar el proyecto.

CAPÍTULO 7: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Becker Arias (2017). “Sinergia entre BIM y Last Planner System para la eficiente integración contratista-subcontratista en la etapa de equipamiento de sótanos en un proyecto de edificación”. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Brioso, X., Murguía, D. & Urbina, A. (2017 b). Teaching Takt-Time, Flowline, and Point-to-Point Precedence Relations: A Peruvian Case Study. *Procedia Engineering*.

Cabrera y Quiroz (2020). “Análisis del retorno de inversión al aplicar Building Information Modeling (BIM) en un proyecto inmobiliario”. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Collantes Morales (2018). “Evaluación de los factores claves para la aceptación y uso de BIM en proyectos de edificación de Lima Y Callao”. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Eyzaguirre Vela (2015). “Potenciando la capacidad de análisis y comunicación de los proyectos de construcción, mediante herramientas virtuales BIM 4D durante la etapa de planificación”. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Gosalves López, Jordi (2016) BIM en 8 puntos. es.BIM – España 2016
<https://cbim.mitma.es/recursos_cbim/bb_gt2_personas_sg_2.1_difusion.pdf>

Guzmán, Cesar. (2008). Creación de una empresa inmobiliaria y de construcción civil. 05/01/2020, de Pontificia Universidad Católica del Perú Sitio.

INEI PBI TRIMESTRAL (2020)
<<https://www.inei.gov.pe/biblioteca-virtual/boletines/pbi-trimestral/1/>>

Kenley, R., & Seppänen, O. (2010). *Location-Based Management for Construction*. USA: Spon Press.

MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZA PLAN BIM PERU
<<https://www.mef.gov.pe/es/estrategia-bim-peru/plan-bim-peru#:~:text=El%20Plan%20Nacional%20de%20Competitividad,mediante%20el%20Decreto%20Supremo%20N.&text=Plan%20BIM%20Per%C3%BA%20es%20un,inversiones%20p%C3%BAblicas%20al%20a%C3%B1o%202030.>>>

Murguía, D., Tapia, G., Collantes, J. (2017). *Primer Estudio de Adopción BIM en Proyectos de Edificación en Lima y Callao 2017*. Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Murguía, D. (2019). Macro BIM Adoption Study in Peru. School of Engineering, Pontifical Catholic University of Peru, Lima.

Plan BIM (2019). Estándar BIM para proyectos públicos: Intercambio de información entre solicitantes y proveedores. Santiago, Chile.

Project Management Institute (2017). Guía de los fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK). Pennsylvania, Estados Unidos. Sexta Edición, Project Management Institute. Pág. 98 – 121, Pag 554 - 555.

Rokooei, S. (2015). Building Information Modeling in Project Management: Necessities, Challenges and Outcomes, 4th International Conference on Leadership, Technology, Innovation and Business Management, Istanbul, Turkey.

Suarez Cabellos, J. C. (2019). Planificación de un proyecto de edificaciones utilizando modelos BIM 5D y líneas de flujo. Tesis de titulación en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Civil. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Suarez, J. C., Zapata, J. & Brioso, X. 2020. Using 5D Models and Cba for Planning the Foundations and Concrete Structure Stages of a Complex Office Building. Proc28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC). Berkeley, California, USA, 6-10 Jul 2020. pp 913-924

Ramos Mamani (2019). “Eficiencia de la metodología BIM a través de la simulación 4D, 5D en el control de tiempos y costos para la obra mejoramiento del servicio de seguridad ciudadana en el distrito de puno, 2017-2018”. Puno – Perú.

Tapia Nieto, G. A. (2018). “Primer estudio del nivel de adopción BIM en proyectos de edificación en Lima metropolitana y Callao”. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Trimble Buildings. (2014). Vico Office: Introduction to Model Based Scheduling [manual].

Trimble Buildings (s.f.). Vico Office R5.3 User Guide [manual].

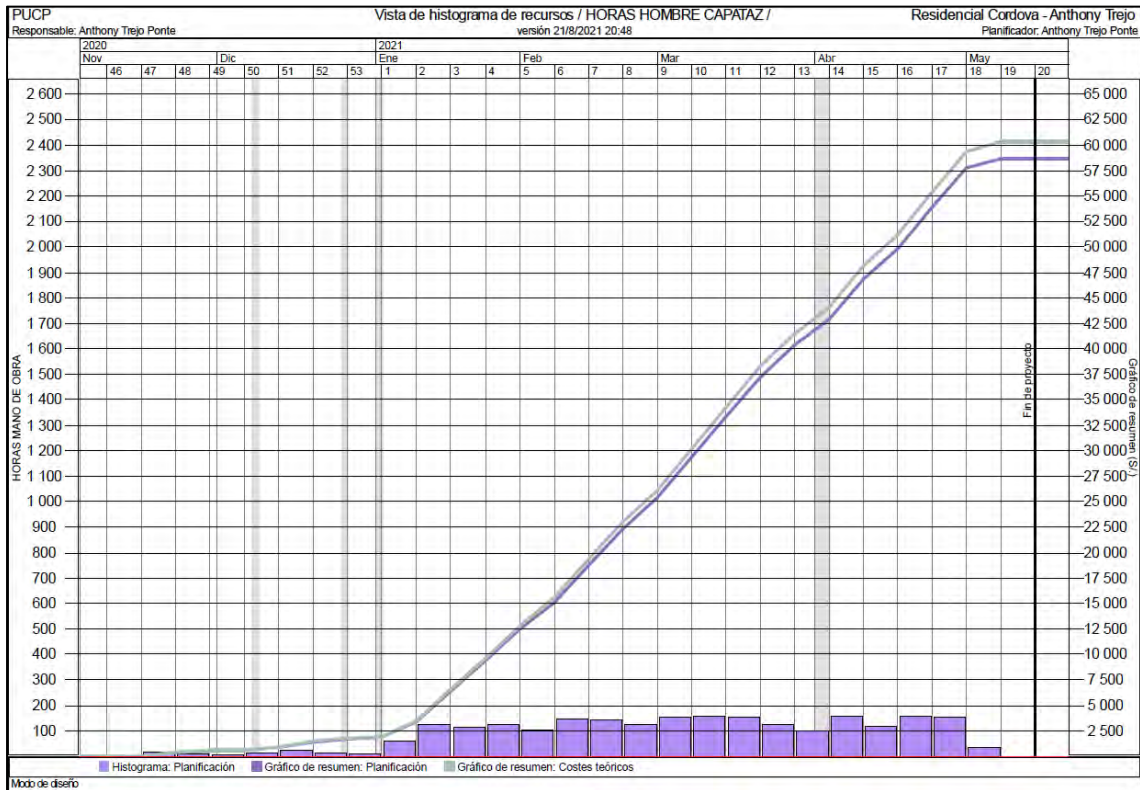
CAPÍTULO 8: ANEXOS

ANEXO N° 1: Tareas elaboradas para la gestión del plazo y costo

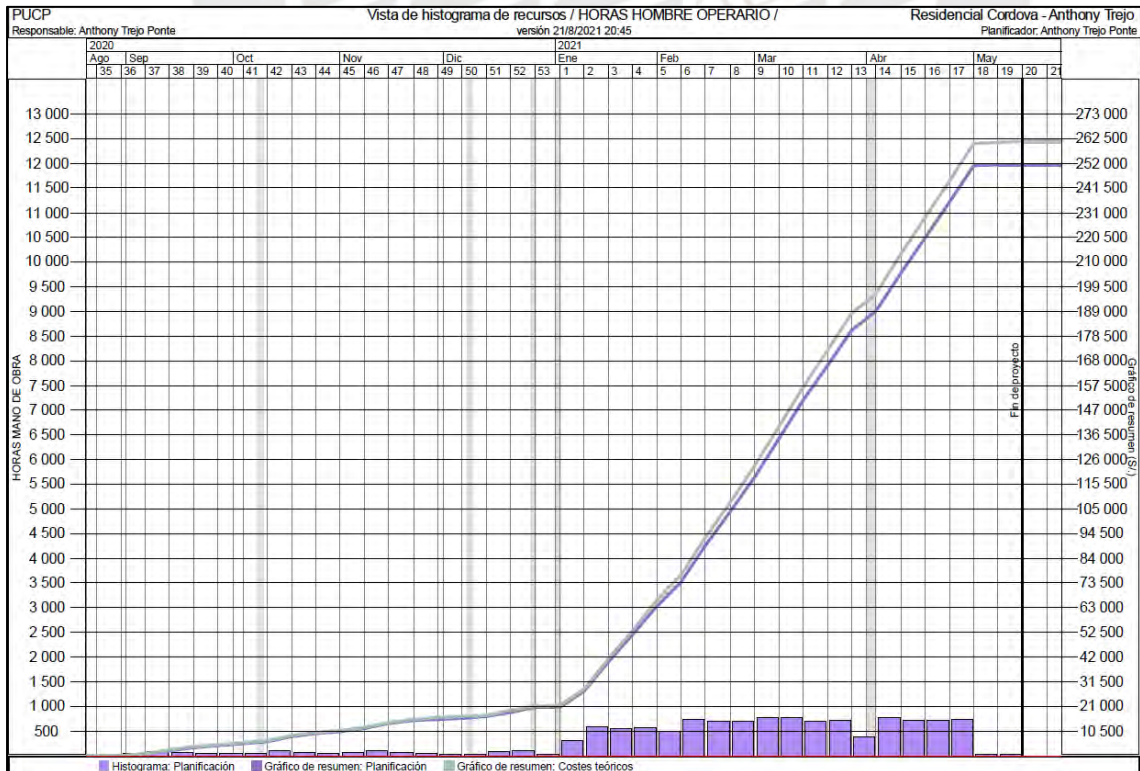
EXCAVACIÓN Y MUROS ANCLADOS
MOVIMIENTO DE TIERRAS
VACIADO DE CONCRETO ANILLO 1
VACIADO DE CONCRETO ANILLO 2
VACIADO DE CONCRETO ANILLO 3
CIMENTACIONES Y CUARTO DE BOMBAS
CONCRETO CISTERNA
ENCOFRADO CISTERNA
ACERO CISTERNA
CONCRETO FALSO PISO
CONCRETO CIMIENTOS
ENCOFRADO CIMIENTOS
CONCRETO ZAPATAS
ENCOFRADO ZAPATAS
ACERO ZAPATAS
PÓRTICO INFERIOR Y SUPERIOR
CONCRETO PREMEZCLADO MURO DE CONTENCIÓN
ENCOFRADO MURO DE CONTENCIÓN
ACERO MURO DE CONTENCIÓN
CONCRETO PLACAS
ENCOFRADO PLACAS
ACERO PLACAS
CONCRETO COLUMNAS
ENCOFRADO COLUMNAS
ACERO COLUMNAS
CONCRETO VIGAS
ENCOFRADO VIGAS
ACERO VIGAS
CONCRETO LOSAS ALIGERADAS e=0.20m
ENCOFRADO LOSAS ALIGERADAS e=0.20m
ACERO LOSAS ALIGERADAS e=0.20m
CONCRETO LOSAS ALIGERADAS e=0.25m.
ENCOFRADO LOSAS ALIGERADAS e=0.25m.
ACERO LOSAS ALIGERADAS e=0.25m.
CONCRETO LOSAS MACIZAS
ENCOFRADO LOSAS MACIZAS
ACERO LOSAS MACIZAS
CONCRETO ESCALERA
ENCOFRADO ESCALERA
ACERO ESCALERA

ANEXO N° 2: Histogramas detallados de concreto, encofrado, acero y mano de obra

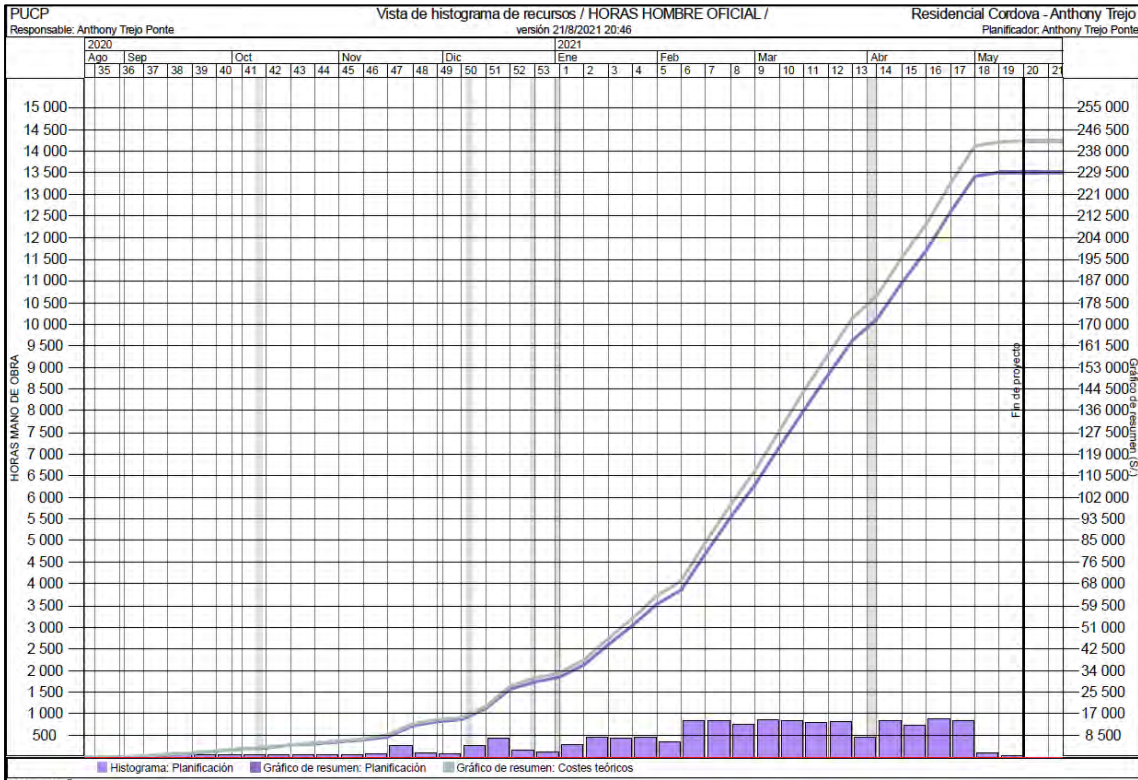
Histograma 1: HH de capataz en el proyecto



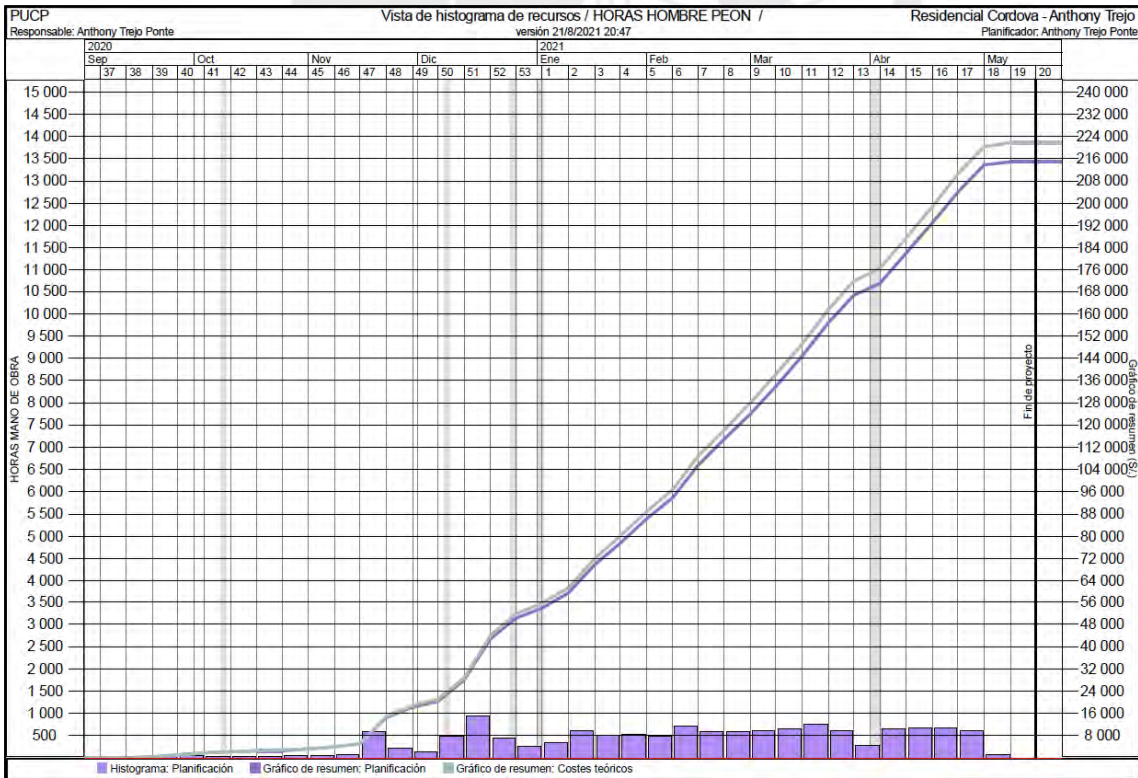
Histograma 2: HH de operario en el proyecto



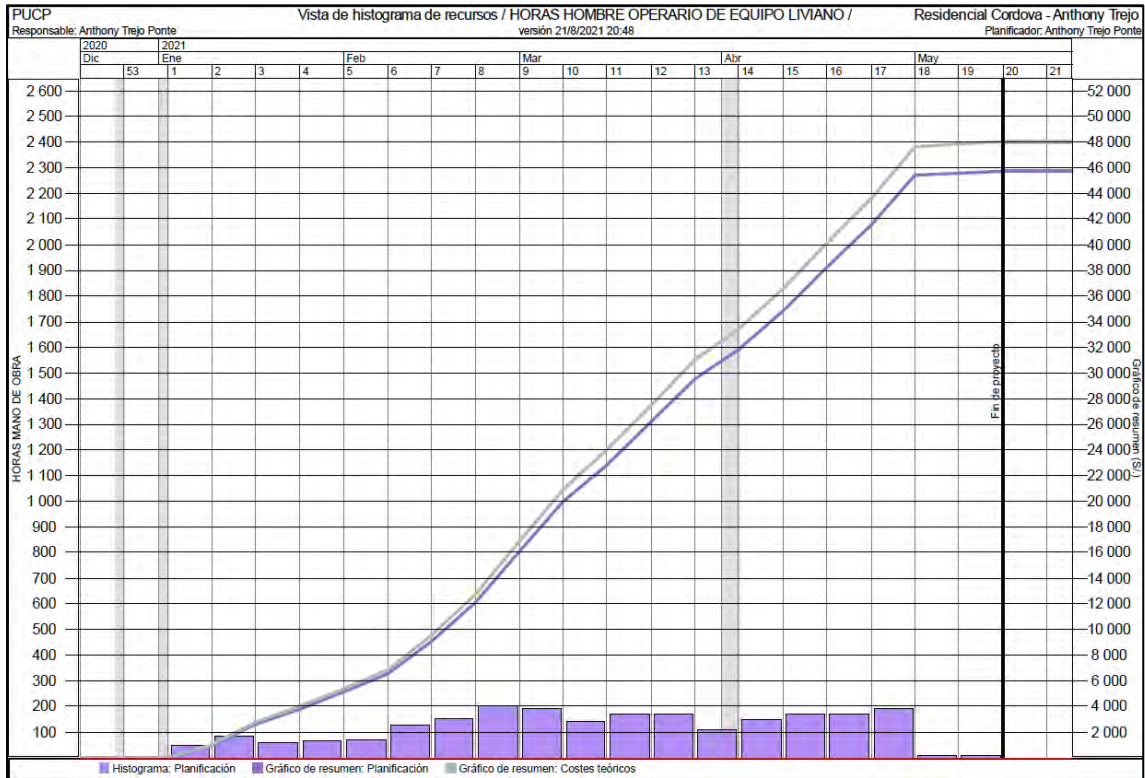
Histograma 3: HH de oficial en el proyecto



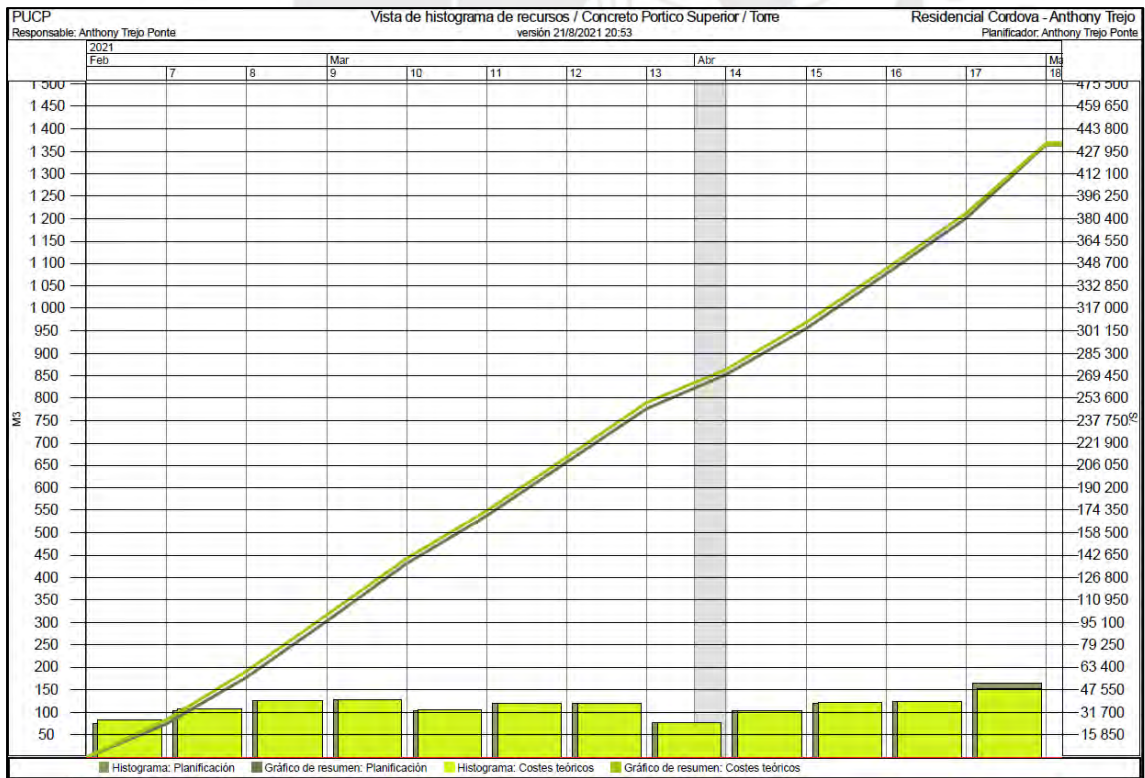
Histograma 4: HH de peón en el proyecto



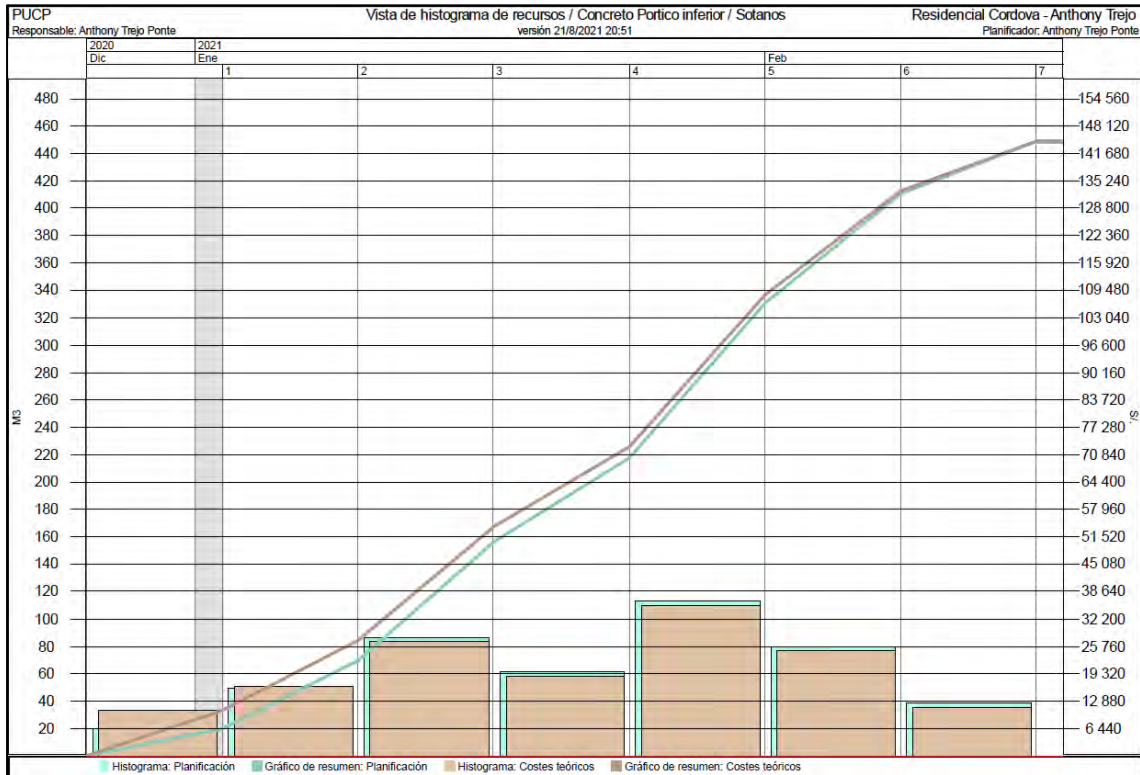
Histograma 5: HH de operario de equipo liviano en el proyecto



Histograma 6: Cantidad y costo de concreto (m3) en torre



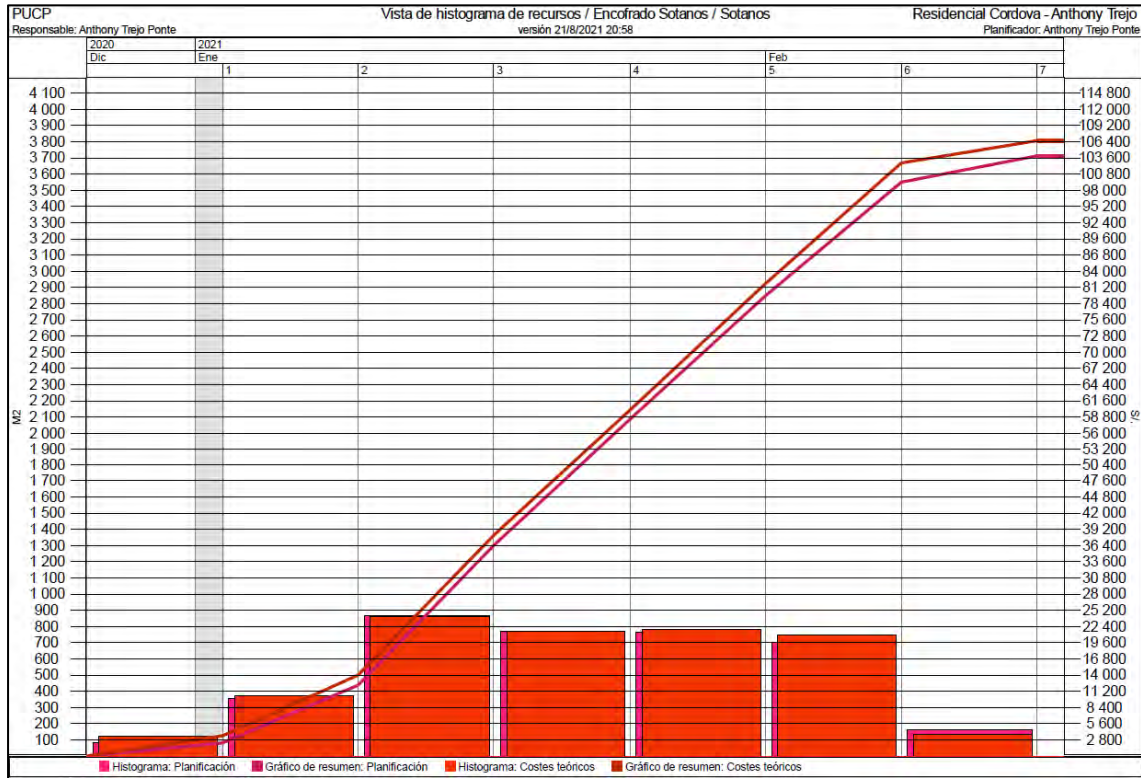
Histograma 7: Cantidad y costo de concreto (m3) en sótanos



Histograma 8: Cantidad y costo de encofrado (m2) en torre



Histograma 9: Cantidad y costo de encofrado (m2) en sótanos



Histograma 10: Cantidad y costo de acero (kg) en torre



Histograma 11: Cantidad y costo de acero (kg) en sótanos

