

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“SINERGIAS DEL LAST PLANNER SYSTEM Y EL BIM EN  
LA PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE PROYECTOS DE  
CONSTRUCCIÓN”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR**

**CARLOS EDUARDO ECHEVARRÍA GONZALES**

**ASESOR**

**Ing. HERNÁN AGUSTÍN ARBOCCÓ VALDERRAMA**

**LIMA- PERÚ**

**2023**

© 2023, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados.

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en su totalidad o en parte,  
con fines estrictamente académicos”.**

Echevarría Gonzales, Carlos Eduardo

Email: [carlosecgo@gmail.com](mailto:carlosecgo@gmail.com)

Celular: 988 058 472

*A Dios, por su bendición y ser la luz que ilumina mi camino.*

*A mi padre por siempre guiarme y darme las fuerzas para seguir adelante, a mi madre por estar siempre a mi lado y su amor incondicional, a mis hermanos y seres queridos por su afecto y confianza depositada.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres David y Leonela, mi más profundo agradecimiento, por su amor incondicional, su guía constante y ser los pilares de mi desarrollo personal y profesional.

A mis hermanos Cinthya, David y Stephany, por su afecto, apoyo mutuo y por todos los momentos vividos.

A mis amigos, compañeros y aquellos en general que siempre me brindaron su apoyo, consejos y motivación.

Agradecer a la empresa Motiva S.A. y al ingeniero Pablo Orihuela, quien me brindó el espacio e información necesaria para poder llevar a cabo la investigación práctica de la presente tesis.

A mi alma mater, la Universidad Nacional de Ingeniería, y a mi querida Facultad de Ingeniería Civil, que en sus aulas adquirí los conocimientos y las competencias para poder aportar en el desarrollo de mi país.

Finalmente, agradecer a mi asesor, el Ing. Hernán Arboccó, por su experiencia, sugerencias compartidas y la confianza depositada para lograr finalizar con éxito este proyecto de tesis.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>5</b>
<b>PRÓLOGO .....</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS .....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
1.1 GENERALIDADES .....	12
1.2 PROBLEMÁTICA .....	13
1.3 OBJETIVOS .....	15
1.3.1 Objetivo General .....	15
1.3.2 Objetivos Específicos.....	15
1.4 HIPÓTESIS .....	15
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....</b>	<b>16</b>
2.1 LEAN PRODUCTION .....	16
2.1.1 Tipos de Desperdicios según la filosofía Lean.....	17
2.1.2 Principios del Lean Production.....	19
2.2 LEAN CONSTRUCTION .....	21
2.2.1 Principios del Lean Construction.....	21
2.2.2 Sistema de Producción Efectivo .....	24
2.3 LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM (LPDS) .....	25
2.3.1 Estructura del LPDS.....	26
2.3.2 Herramientas del Lean Project Delivery System.....	28
2.4 LAST PLANNER SYSTEM (LPS).....	30
2.4.1 Control de las unidades de producción.....	32
2.4.2 Control del Flujo de Trabajo.....	33
2.4.3 Estructura del Last Planner System.....	33
2.4.4 Esquema general del LPS .....	37
2.5 BIM .....	39
2.5.1 Del Cad al BIM.....	41
2.5.2 Niveles de Desarrollo .....	42
2.5.3 Dimensiones y Ciclo de vida del BIM.....	44
2.5.4 Funcionalidades BIM.....	45
2.6 INTERACCIÓN BIM Y LEAN CONSTRUCTION.....	47
2.7 SINERGIAS LPS Y BIM.....	49
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA PARA LA PLANIFICACIÓN 4D .....</b>	<b>53</b>

3.1	MODELADO 3D .....	53
3.2	INTEGRACIÓN DEL LPS CON BIM.....	54
<b>CAPÍTULO IV. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN .....</b>		<b>60</b>
4.1	PRESENTACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO .....	60
4.2	DATOS GENERALES DEL PROYECTO .....	60
4.3	ESTRATEGIA.....	61
<b>CAPÍTULO V. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA AL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN .....</b>		<b>63</b>
5.1	ETAPA 01 .....	63
5.2	ETAPA 02.....	72
5.3	ETAPA 03:.....	78
5.4	ETAPA 04:.....	85
5.5	ETAPA 05:.....	99
5.6	ETAPA 06:.....	103
5.7	RESPECTO AL PORCENTAJE DEL PLAN CUMPLIDO Y LAS RAZONES DE NO CUMPLIMIENTO.....	106
5.7.1	Acerca del Porcentaje del Plan Cumplido (PPC) .....	106
5.7.2	Acerca de las Razones de No Cumplimiento (RNC) .....	107
5.8	OTROS RESULTADOS COMPLEMENTARIOS .....	108
<b>CAPÍTULO VI. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....</b>		<b>109</b>
6.1	ETAPA 01 (PLAN MAESTRO – MODELO 3D CON CONFIGURACIÓN DE CAMPOS):.....	109
6.1.1	Beneficios encontrados:.....	109
6.1.2	Dificultades encontradas:.....	109
6.2	ETAPA 02 (PLAN DE FASES – MODELO 3D CON CUANTIFICACIÓN MÚLTIPLE):.....	110
6.2.1	Beneficios encontrados:.....	110
6.2.2	Dificultades encontradas:.....	110
6.3	ETAPA 03 (LOOKAHEAD – MODELO 4D CON HORIZONTE A MEDIANO PLAZO): .....	111
6.3.1	Beneficios encontrados:.....	111
6.3.2	Dificultades encontradas:.....	112
6.4	ETAPA 04 (PLAN SEMANAL – MODELO 4D PARA LA SEMANA): .....	112
6.4.1	Beneficios encontrados:.....	112
6.4.2	Dificultades encontradas:.....	113
6.5	ETAPA 05 (PROGRAMACIÓN DIARIA – MODELO 3D DEL DÍA): .....	113
6.5.1	Beneficios encontrados:.....	113
6.5.2	Dificultades encontradas:.....	114
6.6	ETAPA 06 (PPC Y RNC - MODELO 3D EJECUTADO):.....	114

6.6.1	Beneficios encontrados:.....	114
6.6.2	Dificultades encontradas:.....	115
6.7	RESUMEN DE LOS BENEFICIOS DE LA SINERGIA LPS & BIM.....	115
6.8	ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO Y LAS RAZONES DE NO CUMPLIMIENTO:.....	117
6.8.1	Análisis de los Porcentajes de Plan Cumplido (PPC):.....	117
6.8.2	Análisis de las Razones de No Cumplimiento (RNC): .....	119
6.9	ANÁLISIS DE RESULTADOS COMPLEMENTARIOS.....	120
6.9.1	Análisis de los Requerimientos de Información (RFI) .....	120
6.9.2	Análisis de las Curvas de Productividad .....	121
6.9.3	Análisis de las Líneas de Balance .....	125
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>128</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>130</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>131</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>135</b>

## RESUMEN

Una de las herramientas principales del Lean Construction es el Last Planner System, la aplicación de esta última y de las herramientas tecnológicas BIM son cada vez mayores en los proyectos de construcción, ambas han demostrado de manera independiente brindar aportes significativos en la gestión de los proyectos; sin embargo, su aplicación en la planificación y control de proyectos presenta un potencial que todavía no es alcanzado.

Por ello, la presente tesis tiene como objetivo analizar la interacción sinérgica entre el Last Planner System y el BIM en el seguimiento y control de los proyectos de construcción. Encontrando como sinergia al resultado de la vinculación que existe entre los objetivos de cada una de las fases del Last Planner System y que pueden ser respaldados con información proveniente de las herramientas de la filosofía BIM. Desde el plan maestro, en donde puede ser apoyado con el modelo BIM mostrando una visión general del proyecto, seguidamente en el plan de fases donde el modelo BIM complementa con las múltiples alternativas para las posibles sectorizaciones. Luego en el lookahead, el modelo BIM complementa con la preconstrucción virtual de los lotes de producción. Seguidamente en el plan semanal, el modelo BIM aporta con la visualización e información numérica; posteriormente en el plan diario, el modelo BIM aporta con registro del avance diario; y finalmente en los resultados del PPC y RNC, el modelo BIM aporta con la información tanto numérica como visual para la interpretación de los resultados.

Posteriormente, dicha sinergia se plasmó en el planteamiento de un marco de planificación o metodología, la cual se dividió en seis etapas, correspondientes a las fases del Last Planner System, apoyadas con información BIM. Dicha metodología se aplicó durante la ejecución de un proyecto de construcción, mejorando el entendimiento visual y geométrico del proyecto, facilitando el seguimiento y control de la obra, la rápida obtención de los metrados, fomentando la comunicación y colaboración entre los participantes, y la interpretación de la planificación en cada una de las fases del Last Planner System. Lo cual se reflejó en una mejora gradual en la trazabilidad del PPC y en el rendimiento de las partidas, producto de la interacción sinérgica mediante la aplicación de la metodología.

## ABSTRACT

One of the main tools of Lean Construction is the Last Planner System, the application of the latter and of BIM technological tools are increasing in construction projects, both have independently proven to provide significant contributions in project management. However, its application in the planning and control of projects presents a potential that has not yet been reached.

Therefore, this thesis aims to analyze the synergistic interaction between the Last Planner System and BIM in the monitoring and control of construction projects. Finding as synergy the result of the link that exists between the objectives of each of the phases of the Last Planner System and that can be supported with information from the tools of the BIM philosophy. From the master plan, where it can be supported with the BIM model showing an overview of the project, then in the phase plan where the BIM model complements the multiple alternatives for possible sectorizations. Then in the lookahead, the BIM model complements with the virtual pre-construction of the production batches. Later in the weekly plan, the BIM model contributes with visualization and numerical information; afterward in the daily plan, the BIM model provides a record of the daily progress; and finally, in the results of the PPC and RNC, the BIM model provides both numerical and visual information for the interpretation of the results.

Subsequently, said synergy was reflected in the approach of a planning framework or methodology, which was divided into six stages, corresponding to the phases of the Last Planner System, supported with BIM information. This methodology was applied during the execution of a construction project, improving the visual and geometric understanding of the project, facilitating the monitoring and control of the work, the rapid obtaining of the meters, promoting communication and collaboration between the participants, and the interpretation planning in each of the phases of the Last Planner System. This was reflected in a gradual improvement in the traceability of the PPC and in the performance of the items, product of the synergistic interaction through the application of the methodology.

## PRÓLOGO

En la actualidad, en el país, las grandes y medianas empresas han optado por implementar el Last Planner System como herramienta de gestión para la planificación de las obras, sin embargo, su aplicación todavía presenta deficiencias que pueden ser mejoradas. Asimismo, el BIM es una de las herramientas que también ha demostrado independientemente tener funcionalidades que puedan contribuir en la gestión y control de los proyectos; sin embargo, su uso en el país es más dominante en la detección de interferencias. Por lo que, surge la oportunidad de buscar la manera en la que ambas metodologías puedan complementarse y repotenciar su aplicación en la planificación y control de los proyectos de construcción.

Es así que la presente tesis muestra un modelo de integración sinérgica entre ambas herramientas trabajando de manera conjunta. Para ello, la tesis parte de la teoría de la gestión de proyectos del lean construction, centrándose en el Last Planner System, optimizando el desarrollo de cada una de sus etapas mediante el Building Information Modeling como herramienta de visualización y soporte tecnológico. Además, se realiza la aplicación de la metodología propuesta en un proyecto de construcción, en donde se analizan los principales aportes o beneficios y aspectos que contribuyan en su mejoría, para futuras investigaciones relacionadas con el tema.

ASESOR

## LISTA DE TABLAS

Tabla N°2.1 Herramientas del LPDS.....	29
Tabla N°2.2 Interacción BIM y Lean Construction. ....	49
Tabla N°5.1 Lookahead de subestructura. ....	78
Tabla N°5.2 Lookahead del casco. ....	79
Tabla N°5.3 Lookahead de acabados. ....	79
Tabla N°5.4 Tabla Análisis de Restricciones. ....	84
Tabla N°5.5 Plan Semanal Cualitativo – Semana 50.....	96
Tabla N°5.6 Plan Semanal Cuantitativo – Semana 50.....	97
Tabla N°5.7 Listado de Asignaciones Diarias. ....	100
Tabla N°5.8 Resultado del PPC .....	104
Tabla N°5.9 Criterios de No Cumplimiento.....	107
Tabla N°6.1 Beneficios del LPS más el BIM. ....	116

**LISTA DE FIGURAS**

Figura N°2.1 Los 3 tipos de variaciones.....	17
Figura N°2.2 Casa de la Filosofía Lean. ....	20
Figura N°2.3 Fases y módulos del Lean Project Delivery System. ....	26
Figura N°2.4 Proceso de determinación de asignaciones con el LPS. ....	31
Figura N°2.5 Sistema tradicional de planificación “Push”.....	31
Figura N°2.6 Sistema de planificación con el Last Planner System “Pull”. ....	32
Figura N°2.7 Procesos internos del LPS.....	38
Figura N°2.8 Mapa de Procesos del LPS.....	39
Figura N°2.9 Curva Esfuerzo – Tiempo en Proyectos de construcción. ....	42
Figura N°2.10 LOD 200 al 400 viga prefabricada. ....	43
Figura N°2.11 Ciclo de vida de un Proyecto BIM.....	44
Figura N°2.12 Dimensiones de BIM.....	45
Figura N°2.13 Marco de Integración BIM – LPS. ....	50
Figura N°2.14 Integración del modelo virtual BIM con LPS. ....	51
Figura N°3.1 Interacción BIM – LPS. ....	54
Figura N°3.2 Integración LPS – BIM. ....	55
Figura N°4.1 Ubicación del Proyecto. ....	60
Figura N°4.2 Edificio “Precursores 4”.....	61
Figura N°5.1 Modelado Paramétrico de Columnas.....	63
Figura N°5.2 Modelado Paramétrico de Losas. ....	64
Figura N°5.3 Parámetros Constructivos.....	64
Figura N°5.4 Modelamiento de encofrado.....	65
Figura N°5.5 Filtrado paramétrico para creación de tablas.....	66
Figura N°5.6 Tabla de metrados en Revit. ....	66
Figura N°5.7 RFI N°44 Interferencia encontrada con Navisworks. ....	67
Figura N°5.8 RFI N°105 Interferencia encontrada con Navisworks. ....	68
Figura N°5.9 RFI N°47 Interferencia encontrada con Navisworks. ....	68
Figura N°5.10 RFI N°54 Interferencia encontrada con Navisworks. ....	69
Figura N°5.11 RFI N°90 Interferencia encontrada con Navisworks. ....	70
Figura N°5.12 Plan maestro mediante barras gantt. ....	71
Figura N°5.13 Plan maestro mediante líneas de balance. ....	71
Figura N°5.14 Plan de Fases. ....	73
Figura N°5.15 Sectorización de calzaduras. ....	74
Figura N°5.16 Sectorización de muros de sostenimiento. ....	74
Figura N°5.17 Metrados de Cimentación .....	75

Figura N°5.18 Sectorización del casco sótano.....	75
Figura N°5.19 Sectorización del casco para pisos del 1 al 10. ....	76
Figura N°5.20 Sectorización del casco para pisos del 11 al 15. ....	76
Figura N°5.21 Sectorización para la albañilería pisos 2, 4, 6, 8 y 10.....	77
Figura N°5.22 Sectorización para la albañilería pisos 1, 3, 5, 7 y 9.....	77
Figura N°5.23 Sectorización para el tarrajeo de cielo raso. ....	78
Figura N°5.24 Exportando de Revit a Navisworks. ....	80
Figura N°5.25 Lookahead en Navisworks. ....	80
Figura N°5.26 Vinculación de elementos a la programación. ....	81
Figura N°5.27 Definición de colores según proceso constructivo. ....	81
Figura N°5.28 Configurando simulación 4D. ....	82
Figura N°5.29 Lookahead 4D con Navisworks.....	82
Figura N°5.30 Lookahead 4D con Navisworks.....	83
Figura N°5.31 Ciclo de Planeamiento Intermedio – Lookahead.....	85
Figura N°5.32 Plan Calzaduras – Semana 28. ....	86
Figura N°5.33 Panel Fotográfico calzaduras.....	87
Figura N°5.34 Plan Visual Muros – Semana 28.....	88
Figura N°5.35 Panel fotográfico Muros de Sostenimiento.....	89
Figura N°5.36 Plan Visual – Semana 48.....	91
Figura N°5.37 Panel fotográfico Casco 28-10-2016.....	92
Figura N°5.38 Plan Visual Acabados – Semana 50.....	94
Figura N°5.39 Plan fotográfico Acabados. ....	95
Figura N°5.40 Reunión interna y Plan impreso en obra.....	98
Figura N°5.41 Ciclo del Planeamiento Semanal. ....	99
Figura N°5.42 Programación Diaria 22/12/16. ....	99
Figura N°5.43 Seguimiento Virtual Diario – Asentado de tabiquería.....	102
Figura N°5.44 Seguimiento Virtual Diario – Tarrajeo de Cielo raso. ....	102
Figura N°5.45 Seguimiento Virtual Diario – Elementos Verticales. ....	103
Figura N°5.46 Comparación Modelo Avance Real vs Avance Planificado.....	106
Figura N°6.1 Evolución del PPC Cualitativo.....	117
Figura N°6.2 Evolución del PPC Cuantitativo. ....	118
Figura N°6.3 Razones de No Cumplimiento. ....	119
Figura N°6.4 Tipos de RFI del Proyecto.....	120
Figura N°6.5 RFI's del Proyecto .....	121
Figura N°6.6 Rendimiento Concreto en Verticales.....	122
Figura N°6.7 Rendimiento Concreto en Horizontales.....	122
Figura N°6.8 Rendimiento Encofrado en Verticales.....	123
Figura N°6.9 Rendimiento Encofrado y desencofrado en Losa aligerada. ....	123

Figura N°6.10 Rendimiento Encofrado y desencofrado en Vigas. ....	124
Figura N°6.11 Rendimiento tarrajeo en Cielo raso. ....	124
Figura N°6.12 Tarrajeo en Columnas y Vigas. ....	125
Figura N°6.13 Líneas de balance. ....	126
Figura N°6.14 Plan Maestro vs Avance Real al 15/01/17. ....	127
Figura N°6.15 Plan Maestro vs Avance Real al 15/03/17. ....	127
Figura N°6.16 Avance Valorizado al 15/03/17. ....	127

## LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

AIA: Instituto Americano de Arquitectura.

BIM: Building Information Modeling.

CAD: Computer Aided Design.

CIFE: Centro de Ingeniería de Instalaciones Integradas.

HH: Horas hombre.

IAI: Alianza Internacional de Interoperabilidad de EE. UU.

IFC: Clases de fundaciones industriales.

LCI: Lean Construction Institute.

LOD: Nivel de Desarrollo.

LPDS: Lean Project Delivery System.

LPS: Last Planner System.

MIT: Massachusetts Institute of Technology.

MO: Mano de obra.

NBS: National BIM Standard

PIVM: Programa Internacional de Vehículos a Motor.

PPC: Porcentaje del Plan Cumplido.

RFI: Requerimiento o Solicitud de Información.

RNC: Razones o causas de no cumplimiento.

TPS: Sistema de Producción Toyota.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 GENERALIDADES

El sector de la construcción en el Perú es una de las actividades económicas más importantes del país, ya que genera un mayor dinamismo en la economía, arrastrando e impulsando el movimiento de otras actividades conexas, e influyendo directamente en el crecimiento del PBI. Desde la última década del siglo XX, el rubro de la construcción ha presentado un sostenido crecimiento, el cual, a pesar de registrar una caída importante en el 2020, debido a la pandemia del covid-19, esta se viene recuperando desde los últimos meses del 2020, lo cual indicarían una pronta recuperación y crecimiento (CAPECO, 2021).

Es por ello importante, que las empresas continúen desarrollando, innovando y mejorando la gestión de sus proyectos, para brindar una mayor sostenibilidad al país; sin embargo, la mayoría de las empresas del sector construcción en el país se rige por un sistema de construcción tradicional con procedimientos constructivos ineficientes, lo cual limita al sector construcción a seguir desarrollándose con mayor velocidad. Esto también es reflejado en las constantes equivocaciones durante los procesos de planeación y ejecución de obras, producto de la programación desacertada y la asignación inadecuada de funciones y recursos, lo cual genera incumplimiento de los plazos establecidos y sobrecostos (Chevallier & Russell, 1998). Además del bajo nivel de productividad, la problemática de la seguridad laboral del sector en el país es también notoria; estos indicadores nos permiten ver el bajo nivel de desarrollo que presenta nuestro país en el sector construcción a pesar de su crecimiento económico.

La planificación y ejecución de los proyectos de construcción en el Perú está en proceso de cambio. Su implementación está acompañada de un avance tecnológico que no está a la medida de la industrialización, pero que poco a poco va haciendo más competitivo y productivo nuestro rubro. Estos cambios que vienen dándose en el Perú, incluyen nuevas metodologías de construcción, entre los cuales está la filosofía Lean construction o construcción sin pérdidas. De esta filosofía de gestión, el Last Planner System (LPS) probablemente sea una de las herramientas que mayor aceptación tiene por parte de las empresas constructoras que comienzan a implementar la filosofía Lean Construction. El Last Planner

System (LPS), fue desarrollado originalmente por Ballard y Howell, fundadores del LCI, convirtiéndose en una herramienta orientada hacia la planificación de proyectos de construcción, la cual busca regular el flujo de trabajo, optimizar recursos, mejorar el proceso de la programación y el control de la obra para proteger la producción, reducir la variabilidad y los desperdicios.

Así mismo, otra de las filosofías de trabajo que viene implementándose en algunas grandes empresas en el país es el BIM (Building Information Modeling). BIM como un proceso, tiene características que son fundamentales para la eliminación de residuos en la construcción, propugna la aplicación de los principios de Lean Construction y ofrece características que promueven un mayor flujo en el trabajo (Sacks et al., 2009). Cuando se aplica correctamente, BIM facilita una mejor integración de los proyectos de construcción y procesos que dan lugar a la reducción de los sobrecostos y tiempos en la ejecución del proyecto. Mientras que los dos son conceptualmente independientes y separados, parece que hay sinergias entre ellas que se extienden más allá de la naturaleza esencialmente circunstancial de su madurez simultánea (Sacks et al., 2010).

## 1.2 PROBLEMÁTICA

A nivel mundial, la industria de la construcción es fuente de grandes aciertos, pero también de significativas equivocaciones durante los procesos de planeamiento y control en la ejecución de obras; esto debido a la programación desacertada e inadecuada asignación de funciones y recursos. A raíz de la mala gestión, improvisación e incumplimiento de plazos, la construcción ha tenido que sufrir cambios en sus procesos de gestión (Botero, 2006).

La gerencia de proyectos en la construcción nace en Europa y Estados Unidos alrededor de los años cincuenta, etapa posterior a la Segunda Guerra Mundial, cuando fue necesario la reconstrucción de Europa. Debido a que los proyectos son de gran magnitud, estos se hacen más complejos por lo que no es suficiente la intuición y experiencia de los ingenieros, para el control y la administración de los mismos. En esa época se empieza entonces a desarrollar teorías respecto a la gerencia de proyectos en la construcción, y se difunde en institutos y universidades.

En el país, sin embargo, la planificación y control de los proyectos es un tema más aplicado a sectores de comercio industriales o de manufactura, dejando de lado el de la construcción. Sólo es aplicado por algunas empresas en algunos proyectos determinados; sin embargo, debería ser aplicado por todas las empresas, en todos los proyectos, sean grandes, medianos o pequeños, pudiendo realizarse con un nivel de detalle de control y planeación proporcional al tamaño de este.

Ante esta necesidad de optimizar los recursos y mejorar la gestión en la construcción surgen diferentes metodologías o herramientas, tal es el caso de la filosofía Lean Construction, siendo probablemente su herramienta más conocida el Last Planner System. Dentro del ámbito del país, el Last Planner System se viene implementando por algunas empresas desde hace dos décadas, sin embargo, su aplicación no ha estado exento de deficiencias; encontrándose a la falta de integración y comunicación, la falta del conocimiento y entendimiento de la metodología, y finalmente a la resistencia al cambio ante las innovaciones tecnológicas y de proceso, como los factores principales que influyen en su uso; por lo que, todavía no se ha alcanzado el total del potencial que tiene su implementación (Murguía, 2019a).

Así mismo, a nivel mundial, el uso de la metodología Building Information Modelling (BIM) viene realizando grandes cambios dentro de la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción. Así por ejemplo dentro de la planificación y control de los proyectos, la metodología BIM, como uso independiente, ha demostrado mejorar la comunicación en la planificación (Fuentes, 2014). Actualmente su uso en el país se viene dando desde hace algunos años, de manera radial, desde las grandes empresas hacia las demás organizaciones; donde se observa que su uso dominante es a nivel de ingeniería a través de la detección de incompatibilidades (Murguía, 2019b). Sin embargo, dentro de la planificación y control en la ejecución de los proyectos de construcción, la metodología BIM, también presenta funcionalidades que pueden mejorar la planificación.

Es por ello que en la presente tesis se plantea complementar el Last Planner System con el BIM, para que a través de su uso conjunto pueda generar una sinergia que busque potenciar su implementación.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo General

Analizar los beneficios y limitaciones producto de la interacción sinérgica entre el Last Planner System y el BIM, en el seguimiento y control de los proyectos de Construcción.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Detallar las ventajas de ambos sistemas por separado y estudiar los puntos donde pueden complementarse y trabajar conjuntamente.
- Aplicar la metodología generada por la sinergia del Last Planner System y el BIM en un proyecto de construcción.
- Examinar las ventajas, limitaciones y proponer factores que contribuyan a la mejora de dicha sinergia.

### 1.4 HIPÓTESIS

La complementación del Last Planner System mediante el BIM cómo fuente de información y gestión genera una sinergia que facilita la comunicación en la programación y conlleva a una planificación más eficiente.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

La Planificación y control de los proyectos de construcción son funciones muy importantes dentro del ciclo de vida de los proyectos, para que éstos puedan llevarse a cabo con los objetivos esperados. Dentro del campo de la construcción, tanto el BIM como el Last planner system han demostrado que pueden contribuir en la gestión de los proyectos construcción. En ese sentido, para poder entender cómo ambos podrían complementarse y trabajar conjuntamente, en el presente capítulo se abordarán los fundamentos teóricos y conceptuales de ambas herramientas de gestión.

### 2.1 LEAN PRODUCTION

El Lean Production o producción sin pérdidas, es una filosofía que tiene su origen del Sistema de Producción Toyota (TPS), creada en la empresa automotriz del mismo nombre en los años 50; en ese tiempo, por consecuencia de la 2da guerra mundial, Japón se encontraba devastado y había una gran escasez de recursos, a pesar de ello Toyota tenía que competir con empresas automotrices Estadounidenses líderes en ese momento, por lo que Toyota a cargo de sus ingenieros Shigeo Shingo y Taichi Ohno desarrollaron el TPS, logrando posicionarse notoriamente en el mercado de la manufactura automovilística. Estos resultados sorprendieron a todo el mundo, debido a esto a principios de los años 80 una comitiva de investigadores de Estados Unidos del MIT (Massachusetts Institute of Technology) realizaron un estudio en Japón como parte del Programa Internacional de Vehículos a Motor (PIVM) para averiguar de qué manera estaban logrando quitarles mercado a las empresas estadounidenses y creciendo a pasos agigantados.

Al retornar la comitiva mostró como resultado de la investigación que la causa principal del éxito de Toyota fue la aplicación de un novedoso sistema de producción muy diferente al tradicional, el cual fue nombrado por dicha comitiva como Lean Manufacturing o Lean Production y difundida en todo el mundo través de dos libros: "La máquina que cambió el mundo", de James P. Womack, Daniel T. Jones y Daniel Roos y "Lean Thinking" de J. Womack y D. Jones. A partir de ese momento se empezó a utilizar dicho sistema en todo tipo de industrias de manufactura.

Hablar de Lean Production o Lean Manufacturing no es referirse a una metodología o una herramienta, puesto que, Lean en realidad es una forma de pensar, una filosofía de trabajo orientada a mejorar el flujo de la producción mediante la identificación y eliminación de los desperdicios, es decir, todo aquello que absorbe recursos y no genera o crea valor al proceso productivo. Es por ello que recibe ese nombre, ya que el término Lean significa en inglés esbelto, magro o libre de impurezas. Para lograr su objetivo, Lean cambia la gestión tradicional y vertical de producción a través de flujos de valor enteros que fluyen de manera horizontal, donde es mucho más fácil poder identificar y eliminar los desperdicios (Lean Enterprise Institute, s.f.).

### 2.1.1 Tipos de Desperdicios según la filosofía Lean

Para poder realizar un correcto trabajo Lean, es necesario encontrar todas las fuentes de desperdicios, o como la filosofía Lean las denomina, las 3M (Mura, Muri, y Muda). Tal como se observa en la Figura N°2.1, estos tres tipos de variaciones, en conjunto, están interrelacionadas y encajan como un sistema que generan los desperdicios. Es por ello que es importante identificar y eliminar las 3M, las cuales se describen a continuación.

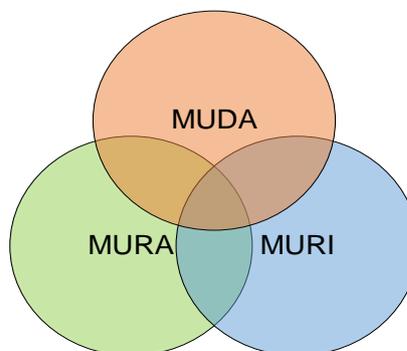


Figura N°2.1 Los 3 tipos de variaciones.  
Fuente: Liker, J. (2004)

#### a. MURA

La mura es el resultado de un desigual o un desnivelado sistema productivo, esto ocurre cuando en ocasiones hay más trabajo de lo que la maquinaria y la mano de obra pueden controlar, y en otros momentos por el contrario hay una falta de trabajo.

b. MURI

Significa tratar de forzar o llevar al límite mediante la sobrecarga de trabajo a las personas o máquinas. Esto genera en las personas problemas de seguridad y de calidad, mientras que a las maquinarias les ocasiona averías y defectos.

c. MUDA

Esta es la M más conocida la cual menciona 8 diferentes tipos de desperdicios, los cuales se describen a continuación:

1. Sobreproducción: La sobreproducción se origina cuando se produce más productos de lo que el cliente requiere en ese momento, esta es considerada la peor muda ya que genera todas las demás.
2. Tiempo de espera: Debido a la falta de suministro de materiales, herramientas, partes o esperar la siguiente fase de procesamiento, cuellos de botella, etc.
3. Transporte: El traslado de materiales no agrega ningún valor adicional al producto, por ende, mover piezas, transportar grandes distancias el trabajo en proceso generan desperdicio.
4. Sobreprocesamiento: El exceso de procesamiento innecesario de un producto o reprocesar productos malos o ineficientes generan un costo adicional.
5. Exceso de Inventario: La acumulación excesiva de materia prima, productos terminados pueden ocasionar daños en los productos, transportes, retrasos y costos de almacenaje innecesarios.
6. Movimientos innecesarios: Todo tipo de movimientos innecesarios que los trabajadores realizan en su trabajo como desplazarse para buscar materiales o herramientas o documentos, no agregan valor al producto.
7. Productos defectuosos: Los rechazos por inconformidad del cliente, fallos y productos defectuosos deberán de eliminarse o reprocesarse para poder corregir dichos fallos.

8. Potencial creativo no usado del personal: También es un desperdicio el no saber aprovechar el potencial creativo y demás habilidades y competencias de los trabajadores para innovar y resolver problemas.

### 2.1.2 Principios del Lean Production

Son 5 los principios básicos del pensamiento Lean que fueron definidos por Womack y Jones (1996), que resumen la puesta en práctica de esta filosofía en una empresa, los cuales se mencionan a continuación:

#### 1° Definir el Valor desde la perspectiva del cliente

El valor se considera a cualquier cosa por lo que el cliente estará dispuesto a pagar, por ende, para evaluar si una actividad genera o no valor, se deberá de analizar desde el punto de vista del cliente.

#### 2° Identificar el flujo de valor

El flujo valor está compuesto por todas las actividades que son necesarias para entregar el producto, mediante este flujograma se podrá identificar a aquellas actividades que agregan valor, de aquellas que no lo hacen.

#### 3° Optimizar el flujo de valor, o permitir el flujo continuo.

Es común encontrar interferencias entre el valor y el cliente, por ende, no basta con identificar el valor dentro del flujo, será necesario entonces eliminar todo tipo de obstáculos que impiden innecesariamente el flujo continuo del valor.

#### 4° Permitir que el cliente extraiga el valor

El cliente jamás estará dispuesto a pagar por algo que él no necesite, para ello es necesario que los equipos de proyectos permitan que el cliente se involucre en el proceso del proyecto de manera temprana, de esta manera se podrá extraer el valor preciso del proyecto.

#### 5° Buscar permanentemente la perfección

En un proyecto Lean nunca se debe dejar de buscar la fuente de las ineficiencias, por ello un proyecto Lean debe estar en constante supervisión y búsqueda permanente de los nuevos obstáculos a eliminar del flujo de valor, de esta manera crearemos un ambiente Lean enfocado en la mejora continua.

Es importante también mencionar las herramientas y técnicas en las cuales se apoya la filosofía Lean para lograr sus objetivos. A manera de resumen, en la Figura N°2.2 que se muestra a continuación, se observan dichas herramientas mediante un esquema visual conocido como “La casa Lean”; este diagrama tiene como finalidad poder comprender como funciona la filosofía Lean. Está representado mediante una casa, ya que esta se debe construir desde sus cimientos, los cuales contienen conceptos que hacen referencia con la estrategia, cultura organizacional, procesos eficaces y eficientes orientados a la generación de valor. Seguidamente las columnas muestran aquellos conceptos que hacen referencia al sistema “justo a tiempo” y a la gestión de la “calidad total”, los cuales deberán respaldar y dar soporte al sistema de producción. El techo de la estructura menciona aquellos conceptos relacionados con los costos, calidad, seguridad, etc, que hacen referencia a los objetivos de la filosofía. Finalmente, el centro o corazón de la casa, hace referencia a aquellos conceptos fundamentales que harán posible el funcionamiento de la filosofía Lean, como son el enfoque hacia las personas y la mejora continua.



Figura N°2.2 Casa de la Filosofía Lean.

## 2.2 LEAN CONSTRUCTION

Los sobrecostos, los reprocesos, el incumplimiento de plazos establecidos e incumplimiento de estándares de calidad, son problemas que no son indiferentes en la industria de la construcción; esto ocurre debido a la informalidad por una ausencia o un inadecuado sistema de gestión en los proyectos de construcción. Debido a esto, por los años 90, en vista al éxito que la filosofía Lean estaba teniendo por ese tiempo, el ingeniero civil Lauri Koskela decidió aplicar estos principios Lean a la construcción. De esta manera sistematizó los conceptos de la ingeniería de métodos de los estudios del trabajo, junto con los principios avanzados de administración moderna como kaizen, Just in time, Benchmarking, entre otros términos, y lo publicó en el año de 1992 en su trabajo titulado “Application of the New Production Philosophy to Construction”, originando el nacimiento de “Lean Construction”.

En los años posteriores han surgido organizaciones como el IGLC (International Group for Lean Construction), el LCI (Lean Construction Institute) y algunos otros institutos locales ubicados en diferentes países, los cuales ayudan a difundir y aplicar los principios del Lean Construction en el ciclo de vida de los proyectos de construcción, consiguiendo que empresas constructoras e inmobiliarias obtengan proyectos más eficientes y rentables. Según el Lean Construction Institute (2017), este lo define como:

Un enfoque basado en la gestión de la producción hasta la entrega del proyecto, una nueva forma de diseñar y construir edificios e infraestructuras. La gestión de la producción Lean ha provocado una revolución en el diseño, suministro y montaje del sector industrial. Aplicado a la gestión integral de proyectos, desde su diseño hasta su entrega, Lean cambia la forma en que se realiza el trabajo a través de todo el proceso de entrega. Lean Construction aplica los principios y herramientas del sistema de producción Lean, maximizando el valor y minimizando los desperdicios a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto de construcción.

### 2.2.1 Principios del Lean Construction

Son 11 los principios del Lean Construction (Koskela, 1992), los cuales se describen a continuación:

### 1. Reducir el porcentaje de actividades que no añaden valor.

Es fundamental la eliminación o reducción de las actividades que no generan valor al cliente. Sin embargo, hay actividades que no añaden valor directamente al producto final, pero son necesarias para aquellas actividades que sí lo hacen, estas deben de reducirse o buscar ser eliminadas mediante el reemplazo de nuevas tecnologías de producción.

### 2. Aumentar el valor del producto / servicio a partir de las consideraciones sistemáticas del cliente.

El valor debe ser considerado a través de la satisfacción de los requerimientos del cliente, entendiendo además que, dentro del flujo de valor, cada una de las actividades subsecuentes será considerada como un cliente interno, hasta su finalización y entrega al cliente final. El enfoque práctico de este principio es llevar a cabo un diseño de flujo sistemático, donde los clientes están definidos para cada etapa, y sus requerimientos analizados.

### 3. Reducir la variabilidad

Los procesos de producción en la construcción son variables, hay diferencias en cualquier par de elementos aun cuando sean el mismo producto y los mismos recursos empleados para producirlos. Parte de esta variabilidad puede ser eliminada mediante la estandarización de las actividades con la aplicación de procedimientos estándar y así reducir la variabilidad en ambos procesos de conversión y flujo.

### 4. Reducir el tiempo de ciclo

El tiempo de ciclo puede ser representado como la suma del tiempo de procesamiento, el tiempo de inspección, el tiempo de espera y el tiempo de transporte, entre los cuales, estos últimos 3 mencionados deben ser eliminados o reducidos por ser actividades que no agregan valor. Algunos enfoques prácticos para reducir el tiempo de ciclo son por ejemplo: Reducir el tamaño de los lotes de producción, realizar las entregas justo a tiempo a los clientes internos, en general, solucionar los problemas de control y las limitaciones que impiden un flujo rápido y continuo.

## 5. Minimizar el número de etapas y partes

Este principio indica que debemos reducir el número de componentes del producto o bien simplificar el número de actividades dentro del flujo de la producción, como por ejemplo: Haciendo uso de elementos prefabricados dentro de una construcción.

## 6. Incrementar la flexibilidad de salida

Es decir, mejorar la flexibilidad del flujo de la producción, para conseguirlo este principio indica diferentes formas como: (a) Reducir el tamaño de los lotes de producción, (b) Personalización del producto al finalizar el proceso, (c) Entrenar a los trabajadores multifuncionales para tener una mano de obra más versátil.

## 7. Incrementar la transparencia del proceso

La ausencia de transparencia en los procesos aumenta la tendencia al error, disminuye la identificación de los errores y disminuye la motivación para la mejora. Hacer el proceso más transparente se refiere a tener un mejor control visual de la producción, un mejor control de la calidad e información de la obra y tener un lugar de trabajo más limpio y organizado aplicando el método de las "5S"<sup>1</sup>.

## 8. Enfocarse en el control del proceso completo.

Esto permite conocer el proceso en su totalidad y encontrar soluciones eficaces a los problemas que generen desperdicios, de manera proactiva involucrando a las partes interesadas. Hay al menos dos requisitos previos para enfocar el control en los procesos completos: (a) Primero, el proceso completo debe ser medido. (b) Segundo, debe haber una autoridad responsable de todo el proceso.

## 9. Construir la mejora continua en el proceso.

La mejora continua o Kaizen, es el esfuerzo para reducir o eliminar los residuos y aumentar el valor, mediante una actividad interna creciente e iterativa, que puede

---

<sup>1</sup> El método de las 5S, toma su nombre de las iniciales de cinco palabras japonesas que se refieren a la organización, el orden, la limpieza, la limpieza personal y la disciplina (Imai, 1986). El método se usa para crear una organización básica en el lugar de trabajo.

y debe ser llevada de manera continua. Para esto se deberá: (a) Mejorar la medición y el monitoreo. (b) Establecer metas extendidas como eliminar inventarios o reducir el tiempo de ciclo. (c) Dar responsabilidad de la mejora a todos los trabajadores. (d) Usar procedimientos estandarizados como hipótesis de las mejores prácticas, para ser comparados y mejorados por otras. (e) Vincular la mejora con el control, con el objetivo de detectar los posibles problemas y eliminar la raíz de estos, antes de que se presenten.

#### 10. Balancear las mejoras en los flujos y las mejoras en las conversiones.

Mientras mayor sea la complejidad del proceso productivo mayor será el impacto del mejoramiento de los flujos en comparación a la mejora de la conversión. Se debe tener en cuenta que, ambos, el mejoramiento del flujo y la conversión, están íntimamente relacionados. Es prioritario buscar el mejoramiento de los flujos de los procesos, así mayores flujos controlados harán más fácil la implementación de nuevas tecnologías de conversión, los cuales generarán variabilidades más pequeñas y de esta manera flujos más beneficiosos.

#### 11. Benchmarking.

La gerencia debe realizar una comparación sistemática de los diferentes aspectos de la empresa, tanto de manera interna como externa con otras empresas más competentes, con la finalidad de obtener una mejora continua de las prácticas empleadas por la empresa en los diferentes procesos, para la identificación de las actividades que generan desperdicios.

#### 2.2.2 Sistema de Producción Efectivo

Tanto las herramientas Lean, como sus principios están alineados con la finalidad de lograr un sistema de producción efectivo, mejorando la productividad y eliminando los desperdicios. Para ello, la filosofía establece tres etapas o niveles de producción, los cuales deben realizarse en orden de prelación para lograr un sistema de producción efectivo. A continuación, se describen brevemente cada una de las etapas:

- 1° Asegurar que los Flujos no paren:

Para lograr ello, se recomiendan tener en cuenta aquellas herramientas que permitan manejar la variabilidad en obra y puedan lograr que el flujo de producción sea ininterrumpido o continuo.

- 2° Lograr Flujos Eficientes:

Para lograr ello, se recomiendan poner en marcha aquellas herramientas que se enfoquen en balancear las cargas de trabajo entre los diferentes procesos del flujo productivo.

- 3° Lograr Procesos Eficientes:

Para lograr ello, se recomiendan implementar aquellas herramientas que permitan eliminar los desperdicios dentro de cada uno de los procesos, y así poder optimizarlos.

### 2.3 LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM (LPDS)

El Lean Project Delivery System fue introducido por Glenn Ballard en el 2000, aunque una versión más completa y actualizada a la que nos vamos a referir en esta tesis fue publicada en 2008. El LPDS es un sistema de entrega en el que el equipo del proyecto ayuda a los clientes a decidir lo que quieren, no sólo tomar decisiones y realizar actividades. Ballard describió el LPDS también como un sistema de producción basado en proyectos, en contraste hacia el sistema tradicional de entrega de proyectos; LPDS pregunta qué debe hacerse y quién es responsable de la tarea al principio del proyecto (Ballard, 2008).

Según el Lean Construction Institute (2017), el LPDS es un sistema organizado que implementa los principios y herramientas Lean, los cuales se combinan y permiten la funcionalidad conjunta del equipo, con un enfoque hacia la creación de flujo. Tal como se observa en la figura N°2.3, el LPDS está compuesto por 5 fases, cada una de ellas contiene 3 módulos del proyecto. Estas fases están representadas mediante triángulos interconectados que se superponen o intersectan, compartiendo algunos módulos del proyecto, dichos módulos son parte de dos fases contiguas, es decir, que cada fase del proyecto está influenciada por la fase anterior a esta, así las decisiones que se tomen en una afectan a las otras.

Además, existen otros 2 módulos que se extienden a través de todas las fases del proyecto, éstas son el “control de producción” y el “trabajo estructurado”. Finalmente, hay un último módulo llamado “evaluación post-ocupación” el cual funciona como un bucle de aprendizaje que ajusta y mejora la gestión de proyectos futuros a partir de la evaluación de los proyectos ya ejecutados. Si comparamos el LPDS con el sistema de entrega de proyectos tradicional, este se diferencia ya que el primero muestra explícitamente las relaciones e interdependencias entre sus fases que a menudo son ignoradas. Lo anterior mencionado se muestra en la Figura N°2.3, a continuación.

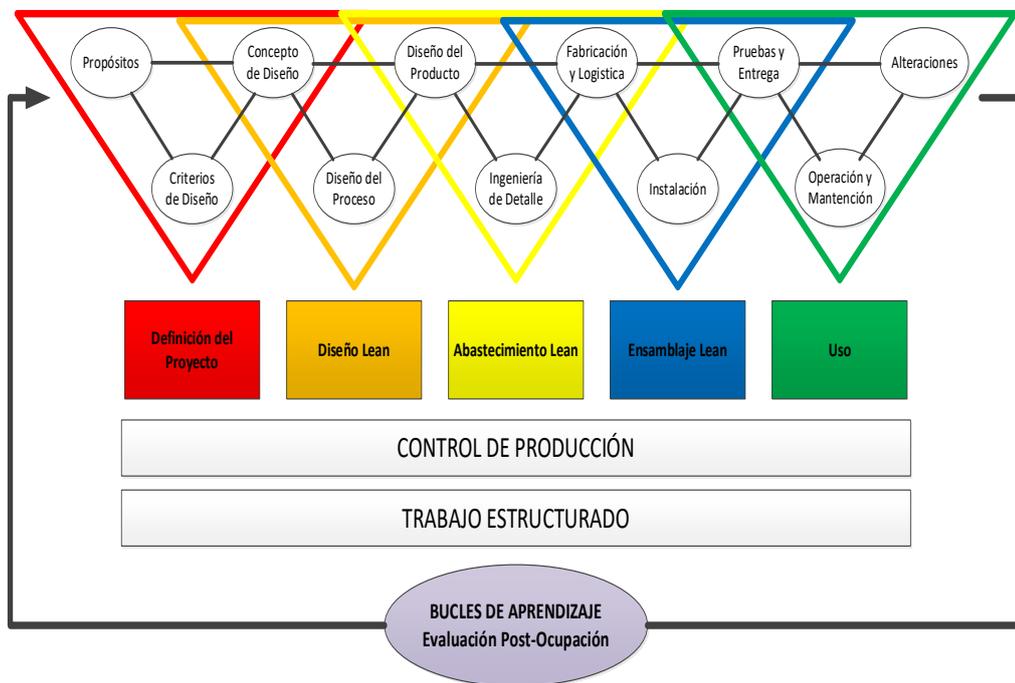


Figura N°2.3 Fases y módulos del Lean Project Delivery System.  
Fuente: Ballard, G. (2008).

### 2.3.1 Estructura del LPDS

Como mencionamos anteriormente el LPDS está compuesto por 14 módulos, 11 de ellas están agrupadas dentro de 5 triadas o fases, las cuales describiremos a continuación:

- 1º Fase - Definición del Proyecto (Project Definition):

La primera fase está conformada por 3 módulos: Las necesidades y valores de los clientes finales, es decir lo que desea el cliente; los criterios de diseño

que son las pautas que se debe considerar para la concepción del proyecto, como por ejemplo las normas técnicas de construcción. Por último, la conceptualización de las primeras ideas plasmadas mediante esquemas de un anteproyecto, los cuales formarán los conceptos de diseño.

- 2º Fase - Diseño Lean (Lean Design):

En la segunda fase, Lean Design, se continúa con el desarrollo del diseño conceptual, módulo que se inició en la fase anterior con el objetivo de obtener el diseño conceptual final y definitivo. Seguidamente, establecer el diseño de procesos, es decir, establecer los procesos constructivos. Para el control de la producción del diseño Lean, se usa la herramienta del Last Planner System, además, para el diseño de los elementos se usan herramientas informáticas como son las herramientas BIM, con el objetivo de generar los diferentes niveles de desarrollo del producto.

- 3º Fase - Suministro Lean (Lean Supply):

La fase del suministro o abastecimiento Lean es la 3ra fase, esta fase consiste en obtener una ingeniería de detalle en base a documentos, planos y data obtenida de la fase anterior. Luego, en función a ello, se hará la fabricación o compra de los componentes y materiales, así como también darle el control y seguimiento a la logística.

- 4º Fase - Ejecución Lean (Lean Assembly):

La fase de ejecución o ensamblaje Lean abarca 3 módulos desde la fabricación y logística, continuando la puesta en servicio, y finalizando las pruebas y entrega del producto. En esta fase se opera de manera netamente productiva mediante uso del Lean Construction. Se comienza con la fabricación y la logística de los materiales, herramientas y demás recursos necesarios de la obra, para luego, en el siguiente módulo, realizar la puesta in situ de los elementos y componentes del proyecto anteriormente prefabricados. Posteriormente se realizarán las pruebas necesarias del producto final para su entrega.

- 5º Fase - Uso Lean:

Es la fase final del LPDS y comprende 3 módulos, es decir, desde la realización de las pruebas y la entrega de la obra; posteriormente con la puesta en funcionamiento u operación del proyecto con su mantenimiento a lo largo de su vida útil; y finalmente realizar las correcciones de las alteraciones o modificaciones que se presenten en el proyecto.

Además de las 5 fases anteriormente mencionadas, existen otros 3 módulos, los cuales son:

- Control de Producción:

Como se observó en la figura N°2.3, el módulo del control de producción se extiende y está presente en todas las fases del proyecto, y consiste en el control del flujo de trabajo y control de las unidades de producción.

- Estructuración del Trabajo:

El módulo de estructuración del trabajo se desarrolla también durante todas las fases del proyecto y consiste en controlar los procesos del proyecto con el objetivo de hacer más confiable y eficiente el flujo de trabajo mientras se genera valor para el cliente.

- Evaluación Post - Ocupación:

Por último, este módulo consiste en realizar una evaluación post ocupación del proyecto, luego de su entrega y su uso, con el fin de obtener un know how que permitirá como mecanismo de retroalimentación una mejora continua para los demás proyectos nuevos que han de desarrollarse.

### 2.3.2 Herramientas del Lean Project Delivery System

El IGLC, Grupo Internacional de la Construcción Lean, considera como herramientas del Lean Project Delivery System a aquellas que puedan ser aplicadas en los proyectos de construcción y que deban cumplir con algún principio del Lean Construction; en base a ello, en la tabla N°2.1 que se muestra a continuación, se pueden listar 42 herramientas distribuidas en las diferentes fases del LPDS (Castillo, 2014).

Tabla N°2.1 Herramientas del LPDS.

FASES LPDS	N°	HERRAMIENTA	FUENTE
DEFINICIÓN DEL PROYECTO	1	MATRIZ DE SELECCIÓN DEL EQUIPO DE DISEÑO	Pablo Orihuela et al., 2011
	2	CUADERNO DE DISEÑO	Pablo Orihuela et al., 2011
	3	MATRIZ DE NECESIDADES Y VALORES DEL INVERSIONISTA	Pablo Orihuela et al., 2011
	4	MATRIZ DE NECESIDADES Y VALORES DEL USUARIO FINAL	Pablo Orihuela et al., 2011
	5	BASE DE DATOS Y REPOSITORIOS	Inés Castillo, 2014
	6	MATRIZ DE ALINEACIÓN DE PROPÓSITOS	Pablo Orihuela et al., 2011
	7	DESPLIEGUE DE LA FUNCION DE CALIDAD (QFD)	Yoji Akao, 1978
DISEÑO LEAN	8	REPORTE A3	Toyota
	9	ESTACIONAMIENTO	Cynthia Tsao et al., 2012
	10	MATRIZ DE RESPONSABILIDADES	Carlos Formoso et al., 1999
	11	TABLA DE ENTRADAS Y SALIDAS	Carlos Formoso et al., 1999
	12	LISTA DE TAREAS	Luis Alarcón et al., 1998
	13	LISTA DE CHEQUEO	Luis Alarcón et al., 1998
	14	SOLICITUD DE INFORMACION (RFI)	Grupo Internacional de Lean Construction
15	CONSTRUCTABILIDAD EN EL DISEÑO	Instituto de la Industria de la Construcción, 1986	
ABASTECIMIENTO LEAN	16	CENTROS LOGÍSTICOS	Iris Tommelein et al., 2007
	17	5S	Toyota
	18	MATRIZ MULTICRITERIO	Pablo Orihuela et al., 2008
	19	MAPEO DE LA CADENA DE VALOR	Toyota
	20	KANBAM	Toyota
EJECUCIÓN LEAN	21	FIRST RUN STUDIES	Instituto de la Construcción Lean
	22	NIVEL DE ACTIVIDAD	Alfredo Serpell, 1990
	23	CARTA BALANCE	Alfredo Serpell, 1990
	24	CUADRO COMBINADO DE TRABAJO ESTANDARIZADO	Nakagawa y Shimizu, 2004
	25	POKA YOKE	Shigeo Shingo, 1960
	26	MANUALES DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS	Inés Castillo, 2014
	27	ANDON	Toyota
	28	ONE TOUCH HANDLING	Glenn Ballard et al., 2002

<b>USO LEAN</b>	29	EVALUACIONES POSTOCUPACION	Instituto de la Construcción Lean
	30	MANUAL DEL CLIENTE	Inés Castillo, 2014
	31	FORMULARIO DE ASISTENCIA TÉCNICA	Inés Castillo, 2014
	32	PLAN DE INSPECCIONES PERIÓDICAS	Cupertino et al., 2011
	33	DIAGRAMA DE FLUJO Y TIEMPO DE ENTREGA DE LAS ACTIVIDADES	Cupertino et al., 2011
<b>CONTROL DE PRODUCCIÓN</b>	34	PLANIFICACION MAESTRA	Grupo Internacional de la Construcción Lean
	35	PLANIFICACION POR FASES	Glenn Ballard 2000
	36	PLANIFICACION LOOKAHEAD	Glenn Ballard y Greg Howell, 2004
	37	PLAN DE TRABAJO SEMANAL	Glenn Ballard y Greg Howell, 2004
	38	PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO (PPC)	Glenn Ballard y Greg Howell, 2004
	39	RAZONES DE NO CUMPLIMIENTO	Glenn Ballard y Greg Howell, 2004
	40	LINEAS DE BALANCE	Goodyear Tire & Rubber Company
<b>TRABAJO ESTRUCTURADO</b>	41	5 WHYS	TOYOTA
	42	BUFFERS	Grupo Internacional de la Construcción Lean

Fuente: Castillo, I. (2014).

## 2.4 LAST PLANNER SYSTEM (LPS)

El Last Planner System (LPS) o Sistema del Último Planificador fue desarrollado basándose en la teoría del Lean Production por los investigadores Glenn Ballard y Greg Howell, fundadores del Lean Construction Institute. Es un sistema de control y planificación que minimiza la variabilidad y mejora notablemente el cumplimiento de las actividades planificadas, esto debido a que ambos factores están relacionados directamente (Ballard G. & Tommelein I., 1998). El LPS se realiza mediante un método de control, tal como se observa en la Figura N°2.4, el cual está diseñado para englobar dentro de la planificación “lo que se debería hacer” con “lo que se puede hacer” y generar un compromiso con “lo que se hará” para finalmente compararlo con “lo que se hizo realmente” (Ballard, 2000), protegiendo el desarrollo de los procesos constructivos e incrementando la confiabilidad de las planificaciones internas (Fischer et al., 2006).



Figura N°2.4 Proceso de determinación de asignaciones con el LPS.  
Fuente: Ballard, G. (2000).

Así mismo, el método de planificación tradicional o “push”, que se observa en la Figura N°2.5, muestra que a partir de la programación general o maestra, se continúa directamente con la ejecución del proyecto, no obstante, durante el proceso es posible que sucedan imprevistos que influyan entre lo que debería realizarse y lo que finalmente se hará.

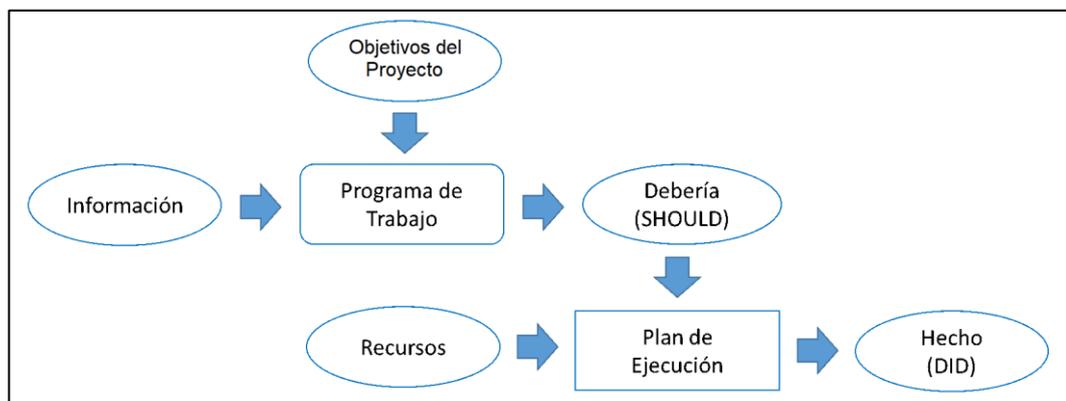


Figura N°2.5 Sistema tradicional de planificación “Push”.  
Fuente: Ballard, G. (2000).

Ballard también indica que si comparamos el método de planificación tradicional, mostrado en la Figura N°2.5, con la planificación mediante el LPS, éste último funciona como un componente de control adicional a la planificación tradicional, haciendo un mecanismo de transformación de lo que debería hacerse (Should) en lo que puede hacerse (Can), generando la reserva de trabajo ejecutable (workable backlog) y finalmente, planteando en base a compromisos de los últimos planificadores (last planners) lo que se hará (Will) en el plan semanal, tal como puede verse en la Figura N°2.6.

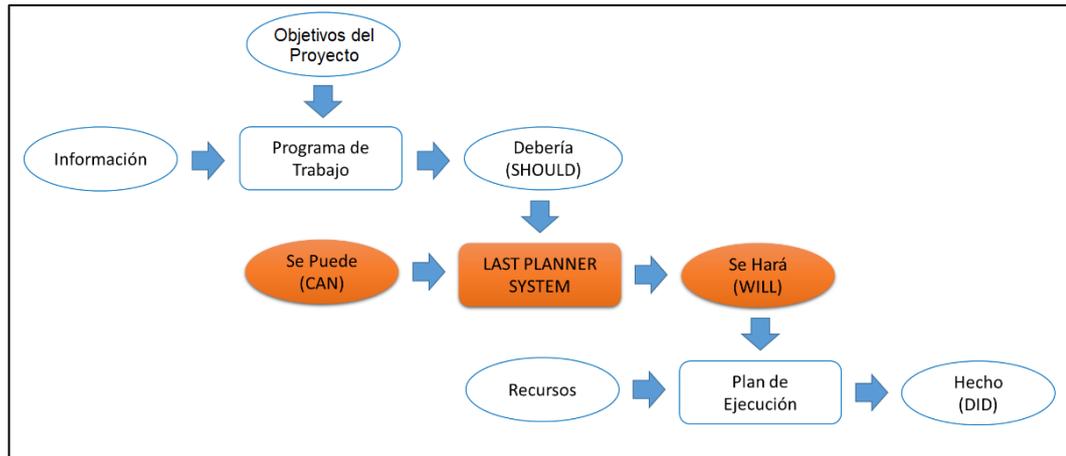


Figura N°2.6 Sistema de planificación con el Last Planner System "Pull".  
Fuente: Ballard, G. (2000).

El LPS es una herramienta de la filosofía Lean construction que se ubica, según la estructura del LPDS, dentro de la fase de control de la producción como se pudo apreciar en la Figura N°2.3, los cuales están relacionados con dos componentes: El 1ero, el control de las unidades de producción, estas unidades se pueden entender en el campo de la construcción como las cuadrillas de trabajo y dicho control se realizará mediante el weekly work plan (plan de trabajo semanal). El 2do componente es el control del flujo de trabajo, este se llevará a cabo mediante el lookahead planning (planificación intermedia).

#### 2.4.1 Control de las unidades de producción

El rendimiento de un sistema de planificación a nivel de unidad de producción es su calidad de producción, es decir, la calidad de los planes producidos por el último planificador. Las siguientes son algunos criterios de calidad para la asignación de una tarea:

- La asignación debe estar bien definida.
- Se debe seleccionar la secuencia de trabajo correcta.
- Se debe seleccionar la cantidad de trabajo correcta.
- El trabajo seleccionado debe ser viable, es decir, se puede realizar con los recursos de materiales, mano de obra y equipos que sean necesarios.

Es más fácil hacer una medición del rendimiento del sistema de planificación de manera indirecta, a través de los resultados obtenidos de la ejecución del plan. Esto se puede realizar mediante la medición del Porcentaje del Plan de Cumplido o Completado (PPC), esto se calcula mediante el número de actividades previstas y completadas dividido sobre el total de actividades previstas, expresado como un porcentaje. El PPC se convierte en un indicador estándar con el cual se ejerce control a nivel de las unidades de producción, lo que representa el grado de compromiso que se tuvo con el plan previsto, por lo tanto, un mayor PPC corresponde a hacer más cantidad del trabajo correcto con los recursos dados, esto es, una mayor productividad. Posteriormente se deberá hacer el análisis del porqué del incumplimiento de las actividades que no se pudieron realizar, a fin de mejorar el rendimiento de la producción.

#### 2.4.2 Control del Flujo de Trabajo

Otro componente importante del LPS, es el de controlar que el flujo de trabajo entre las unidades de producción se realice con la secuencia y velocidad deseada. Mediante el control del flujo de trabajo se coordinará la ejecución de los trabajos dentro de las unidades de producción, además de controlar el flujo de diseño, el suministro e instalaciones a través de las unidades de producción.

Esto se realizará mediante el lookahead planning, el cuál desglosa todas las actividades del plan maestro dentro de una ventana de 3 a 6 semanas (lookahead window), para analizar las posibles restricciones más cercanas.

#### 2.4.3 Estructura del Last Planner System

##### A. Cronograma Maestro

El Cronograma Maestro o Master Schedule viene a ser la planificación que representa de manera general todos los objetivos propuestos del proyecto. En este cronograma se deberá observar todas las partidas generales del proyecto, sus fechas de inicio y fin, que servirán para el control de la obra.

Mediante el cronograma maestro se definen, las fechas de cumplimientos, también llamados hitos de obra, los cuales que se requieren para cumplir las metas trazadas.

## B. Planificación por Fases

En el segundo nivel de planificación se encuentra el plan de fases, esta se desarrolla con mayor necesidad en los proyectos que son complejos y de larga duración y no es imprescindible su aplicación en proyectos pequeños de corta duración. Esta planificación se enfoca en mostrar el plan para poder desarrollar una fase del proyecto, el cual corresponde a una subdivisión del cronograma maestro; las fases agrupan un conjunto de actividades que se desarrollan como grupos de tareas, las cuales poseen un símil tanto espacial como temporal. Para esta programación se usará la técnica del Pull System, el cual desarrolla las actividades de atrás hacia adelante, es decir, desde la actividad final de la fase hacia la actividad inicial de la fase (Ballard, 2000).

Los participantes del phase scheduling serán aquellos responsables de las actividades a realizar en la fase a planificar. Estos pueden involucrar a la contratista, subcontratistas e inclusive algunos stakeholders<sup>2</sup>. Es importante que todos los integrantes o involucrados del proyecto se sientan comprometidos con esta nueva planificación. Para lograrlo, ellos se deberán reunir y tendrán que describir las tareas, las cuales serán ordenadas de acuerdo con una secuencia lógica de trabajo. Una vez planteada esta secuencia se calcularán los tiempos de las duraciones de estas, dejando las holguras y buffers de tiempo para el final de cada fase, con la finalidad de ajustar el plan ante algún imprevisto o situación que afecte el mismo; obteniéndose un programa al cuál se le incorporarán los recursos y estrategias adecuadas, las cuales se deberán ejecutar para poder realizar la fase.

## C. Lookahead

El tercer nivel de planificación viene a ser el lookahead o planificación intermedia, en el cual se analiza las actividades en una ventana más reducida que generalmente varían desde 3 a 6 semanas dependiendo de cada proyecto en particular. Este rango no debe ser mayor a 6 semanas, ya que, mientras mayor sea el rango de la proyección del plan, mayor será la incertidumbre del mismo.

---

<sup>2</sup> Stakeholders son todas aquellas personas u organizaciones involucrados en el proyecto.

El objetivo de este plan es controlar el flujo de trabajo, y recordemos que esto es hacer que el trabajo se mueva entre las unidades de producción (de una cuadrilla a otra) en una secuencia y a una velocidad deseada, además de controlar el flujo del diseño, abastecimiento e instalaciones, a través de las unidades de producción. Para ello se deberá gestionar y resolver las restricciones que impidan el correcto flujo, para generar asignaciones liberadas y programables que podrán ser realizadas sin ningún inconveniente. Los pasos que se deben seguir se mencionan a continuación:

1° Definir el intervalo de tiempo o Lookahead Window:

Se debe identificar el intervalo de tiempo en el cual la planificación podrá ser confiable, esta dependerá del tipo de proyecto, de los tiempos de respuesta para la obtención de materiales, mano de obra, información, etc., es decir, se debe identificar cuánto tiempo de anticipación se necesita para poder liberar una actividad.

2° Definir las actividades:

Se deberá listar las actividades que estén dentro del plan maestro o las del plan de fases, las cuales se podrán ejecutar dentro del intervalo de tiempo anteriormente definido, luego se deberá desglosar estas actividades en asignaciones más detalladas.

3°. Balance de carga y capacidad:

Es importante tener bien claro la cantidad de trabajo (el metrado) que será asignado a una unidad de producción o cuadrilla en un intervalo de tiempo, la capacidad será la cantidad de trabajo que esta cuadrilla podrá ejecutar en dicho intervalo de tiempo. Se debe entonces lograr un equilibrio entre la carga y la capacidad para lograr un óptimo uso de los recursos.

4°. Análisis de Restricciones:

Una vez establecidas las asignaciones, se deberá identificar las restricciones que impidan el desarrollo de estas en la fecha y plazo previstos, además, se deberá diseñar una estrategia para levantar y liberar dichas restricciones. Estas

restricciones pueden ser de diseño, materiales, espacio, mano de obra, equipos, actividades previas, etc.

#### 5° Revisión (Screening):

Se deberá hacer una revisión o screening de todas las restricciones de las tareas y asignaciones anteriormente listadas, para analizar la probabilidad de que éstas puedan ser liberadas dentro de la duración definida del lookahead window.

#### 6° Preparación o Make Ready:

Para la liberación de las restricciones de las tareas se deberán gestionar todas las medidas necesarias a fin de dejar las actividades aptas y viables para su realización.

#### 7° Diseño colaborativo de operaciones

Se deberá tener en cuenta la secuencia de operaciones a realizar en las tareas desglosadas con anterioridad, con esto se tendrá un diseño de primera instancia que simula la ejecución de la operación (first run studies) que servirá para evaluar la operación y rediseñar hasta que la operación se considere posible de ser realizada dentro de los objetivos de seguridad, calidad, tiempo y costo.

#### 8° Reserva de Trabajo Ejecutable

Una vez liberadas las restricciones, se listará el inventario final de las tareas con sus asignaciones libres de restricciones. Ésta reserva de tareas ejecutables (Workable Backlog) tendrá una alta probabilidad de cumplimiento.

#### D. Weekly Work Plan

El plan de trabajo semanal o weekely work plan es el último nivel de la planificación del LPS. Se deberá plasmar a un mayor nivel de detalle, seleccionando aquellas actividades libres de restricciones que se obtuvieron en workable backlog, y que entrarán en la ventana de la programación semanal, cuyo objetivo será el control de las unidades de producción, es decir, lograr asignaciones de mayor calidad, controlando y tomando acciones correctivas para una mejora continua.

#### D.1 Asignaciones de Calidad

Como mencionamos anteriormente, las tareas y asignaciones tomadas del wokable backlog son llevadas al plan semanal, es decir, se han tomado asignaciones de calidad al programar para la ejecución de la siguiente semana, a aquellas asignaciones que sabemos que tienen una alta probabilidad de realización. Lo que conlleva a proteger el flujo de la producción reduciendo las incertidumbres.

#### D.2 Controles Visuales

Las herramientas visuales proporcionarán el control visual del sistema de producción, mediante indicadores visuales claros que representen el estado del sistema, de tal manera que logre el entendimiento por parte de los stakeholders del proyecto y a partir de ello, tomar las acciones necesarias.

#### D.3 Porcentaje del Plan Cumplido (PPC)

Es importante saber en qué medida se cumplirá lo planificado, el LPS comprueba el desempeño del plan semanal, mediante un indicador que mide la confiabilidad de las actividades programadas según lo que en realidad se realizó. Este indicador se obtiene de la división del número de tareas completadas programadas para la semana, entre el total de tareas planificadas para la misma semana, expresado porcentualmente.

#### D.4 Razones de No Cumplimiento (RNC)

Se deben también identificar todas aquellas razones que llevaron al incumplimiento de la programación. Es importante que durante las reuniones se detallen claramente las RNC, para que al ser analizadas por el equipo puedan encontrar la causa raíz. Esto servirá para poder evaluar cuáles son aquellas causas que tienen una mayor incidencia y poder tomar medidas correctivas para las próximas semanas o para próximos proyectos a manera de retroalimentación.

#### 2.4.4 Esquema general del LPS

Habiendo mostrado la estructura por la que está compuesta el LPS en el subcapítulo anterior, a continuación, veremos en la Figura N°2.7 a manera de

resumen, un esquema general donde se puede observar todos los procesos principales y niveles del LPS de manera general, además de su recorrido desde el plan maestro hasta el registro y evaluación del PPC con sus razones de no cumplimiento de las asignaciones programadas en el plan semanal.

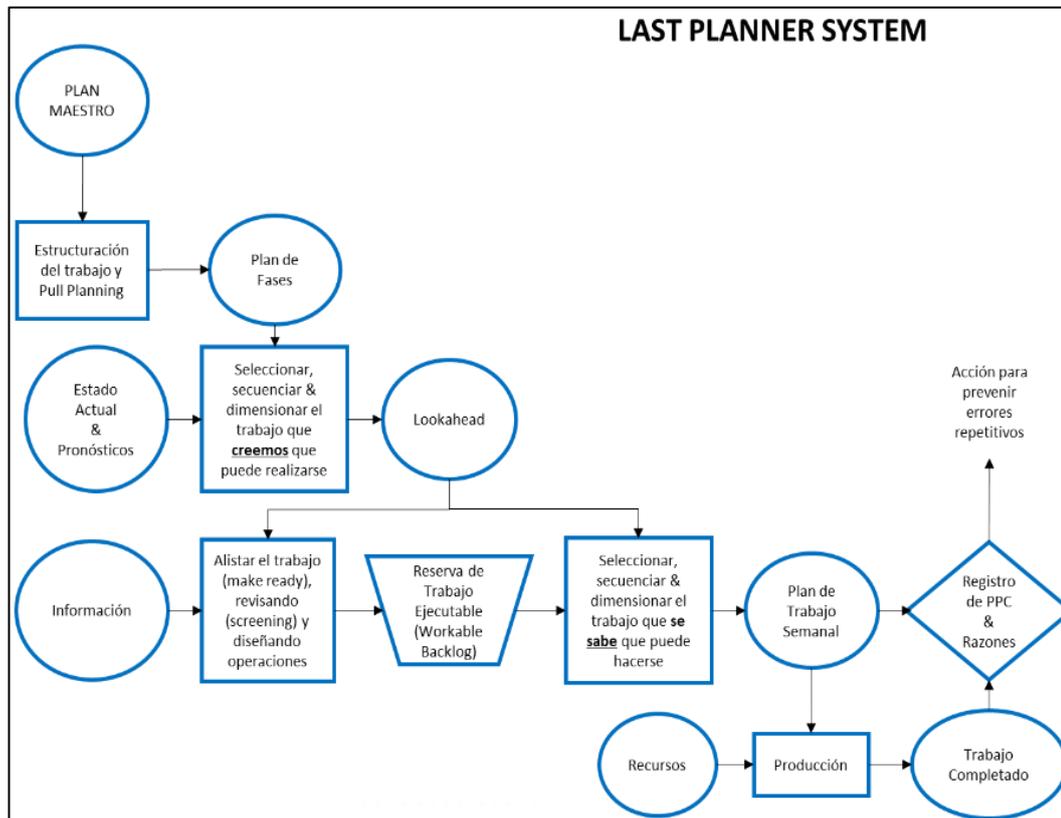


Figura N°2.7 Procesos internos del LPS.  
Fuente: Ballard, G. (2000).

Ballard, Tomeleim y Hamzeh en el 2009 realizaron un mapeo de procesos donde se puede observar de manera más detallada el flujo de procesos del LPS (Figura N°2.8) el cual aplicaron a un proyecto en específico, esta muestra una forma general de cómo se puede aplicar cada uno de los pasos del LPS descritos en el subcapítulo anterior. En dicho mapa se puede observar la secuencia de los procesos internos o funciones que debe de realizar el equipo de planificación para la obtención de cada uno de los planes, ahí expuestos, en los diferentes niveles del LPS; los cuales deben de estar alineados a cada uno de los objetivos de la planificación. Cabe mencionar que dicho procedimiento fue aplicado dentro de la fase de preconstrucción de un proyecto de edificación, lo que quiere decir que el Last Planner System también podría ser adaptado para dichos fines.

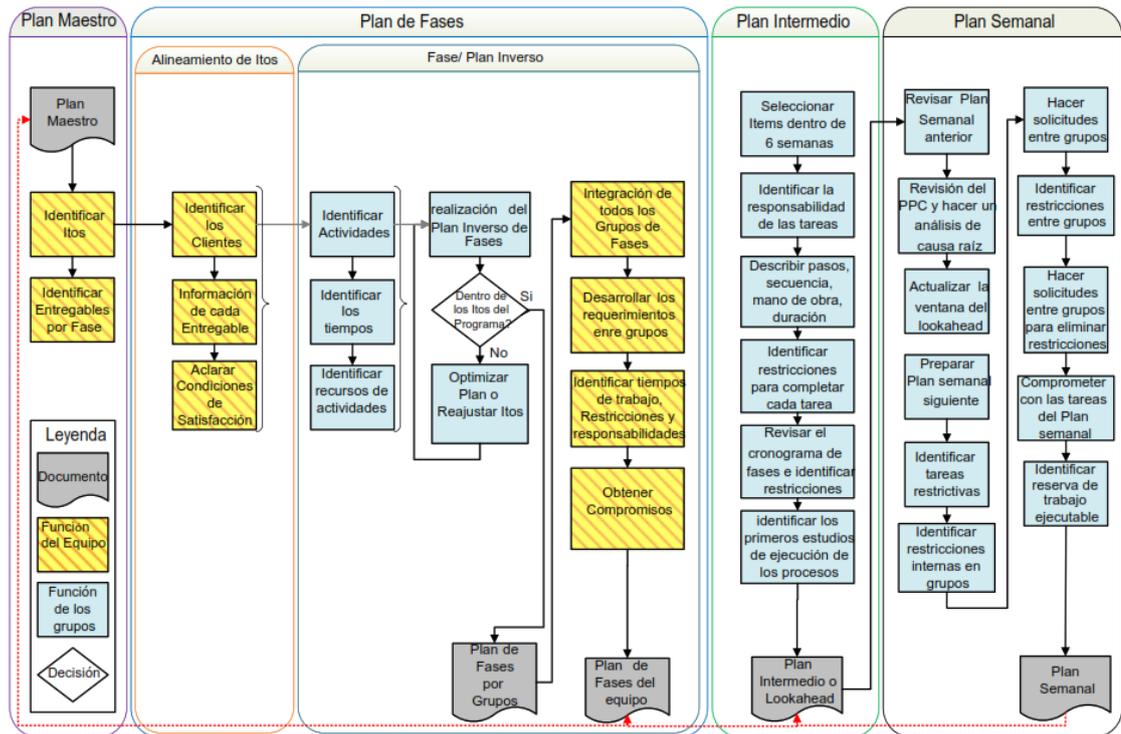


Figura N°2.8 Mapa de Procesos del LPS.

Fuente: Adaptado de Ballard, G., Tommelein, I. & Hamzeh, F. (2009).

## 2.5 BIM

El primer predecesor de BIM fue creado en 1973 por unos estudiantes de la universidad de Cambridge, donde ellos buscaban poder fusionar el CAD tradicional con sólidos en 3D que permitieran crear y editar vistas paramétricas de los elementos. Posteriormente, en 1986 se utilizó por primera vez la palabra building information model para referirse al uso del software que se utilizó para la construcción del aeropuerto Heathrow en Londres. En 1987, Graphisoft Archicad desarrolló el concepto de Virtual Building, después en 1988 estudiantes de doctorado con el apoyo del CIFE (Centro de Ingeniería de Instalaciones Integradas) en Standford comenzaron a desarrollar más a fondo la metodología BIM, mediante la inclusión de la variable del tiempo para la construcción. Luego en 1994 la Alianza Internacional de Interoperabilidad de Estados Unidos (IAI) genera una iniciativa mediante la creación de un consorcio de empresas para dar un soporte en el desarrollo integrado de los softwares, creando el primer estándar de intercambio, el IFC (industry foundation classes), el cual es un formato estándar que es compatible con todos los softwares BIM. Sin embargo, recién en el 2002 Autodesk publicó un libro el cual se titula "Building Information Modeling" siendo

esta la primera ocasión que tuvo esta denominación (incluyendo el acrónimo BIM). En el 2007 se generó el NBS (National BIM Standard) las cuales son guías federales, estatales y locales BIM que existen actualmente en E.E. U.U.; a partir de esa época, su utilización se ha estado desarrollando con mayor crecimiento en el mundo, hasta ahora.

BIM es el acrónimo en inglés de Building Information Modeling, que significa modelado de información de la construcción, no obstante, su concepto conlleva a varias otras definiciones dependiendo del enfoque en el que se encuentre, a continuación, vemos algunas de estas definiciones:

En el glosario del Manual de BIM, Eastman et al. (2008) define el BIM como "un verbo o frase adjetivo para describir herramientas, procesos y tecnologías que son facilitados por la documentación digital y legible por la máquina, sobre un edificio, su rendimiento, su planificación, su construcción y más tarde su operación ". BIM significa automatizar el uso de la información, es decir en generar un modelo de información del edificio. Las herramientas del software BIM se caracterizan por la capacidad de compilar modelos virtuales de edificios, utilizando objetos paramétricos legibles por máquina que exhiben un comportamiento acorde con la necesidad de diseñar, analizar y probar un diseño del edificio (Sacks et al., 2004).

El glosario del LCI (Lean Construction Institute) lo define como: "El proceso de generar y administrar datos de construcción durante el ciclo de vida de un edificio. BIM utiliza un software de modelado de edificios tridimensional (3D) en tiempo real. BIM incluye geometría de construcción, relaciones espaciales, información geográfica y cantidades y propiedades de componentes de construcción. BIM puede incluir simulaciones de cuatro dimensiones (4D) para ver cómo se construirá parte o la totalidad de las instalaciones y capacidad 5D para la estimación basada en modelos. BIM proporciona la plataforma para conversaciones simultáneas relacionadas con el diseño del producto y su proceso de entrega".

En términos generales BIM es el proceso de gestión de la información mediante la creación de una base de datos basado en el modelamiento virtual mediante softwares, cuyo método multidimensional abarca todas las fases del ciclo de vida de la infraestructura (Autodesk, 2022). El BIM, además, es un proceso que integra

los trabajos de las diferentes especialidades, lo cual permite al equipo de trabajo utilizar la información de manera coordinada (Nielsen & Madsen, 2010).

### 2.5.1 Del Cad al BIM

El CAD (Diseño Asistido por Computador) tuvo como objetivo reemplazar el proceso del dibujo a lápiz y papel, por un sistema electrónico de dibujos en dos dimensiones, creados a partir de líneas y gráficos en 2D. Este sistema logró sustituir el papel por el ordenador, sin embargo, a pesar de ello aún presentan similares deficiencias en cuanto al diseño ya que los dibujos en CAD, al igual que a los dibujos en papel son gráficos independientes, por ejemplo si realizamos una modificación en una de las vistas, también se requerirá que se modifiquen todas las demás vistas generadas, cortes, elevaciones, detalles, etc. ya que son independientes por no estar conectados; además esto mismo fomenta la descoordinación del diseño y con ello la aparición de una mayor cantidad de errores.

Las herramientas BIM imitan el proceso real de la construcción, desde el diseño mismo se van creando elementos paramétricos que representan elementos reales que serán construidos, tales como: columnas, vigas, placas, techos, muros, ventanas, puertas, etc. Todo se va almacenando en una base de datos que pueden vincularse a un modelo central, de esa manera cualquier modificación realizada, será detectada y actualizada en los demás modelos, además de la automática corrección de los cortes, elevaciones y demás vistas generadas a partir de las modificaciones de los elementos de un mismo modelo. Lo que evita dobles esfuerzos, además de fomentar el trabajo coordinado con los especialistas en la etapa de diseño y mejorando la productividad. El cambio del CAD al BIM ya es justificable por los beneficios obtenidos durante la fase de diseño, sin embargo, existen otros beneficios más en las fases de construcción e incluso la fase operativa (Grabowski, 2010).

En la Figura N°2.9 se puede observar en el gráfico que el eje horizontal representa las diferentes etapas de un proyecto de construcción en el tiempo, y el eje vertical los “esfuerzos de diseño”, la capacidad de influencia y los costos asociados a posibles cambios. Con el sistema tradicional CAD, vemos que los mayores esfuerzos se presentan en una etapa cercana a la ejecución del proyecto, lo que

conllevaría a posibles cambios que tendrían un gran impacto en los costos del proyecto. Por el contrario, vemos que con BIM los mayores esfuerzos se centran al inicio del proyecto y por ende, los posibles cambios que se generen tendrían una menor influencia en los costos del proyecto.

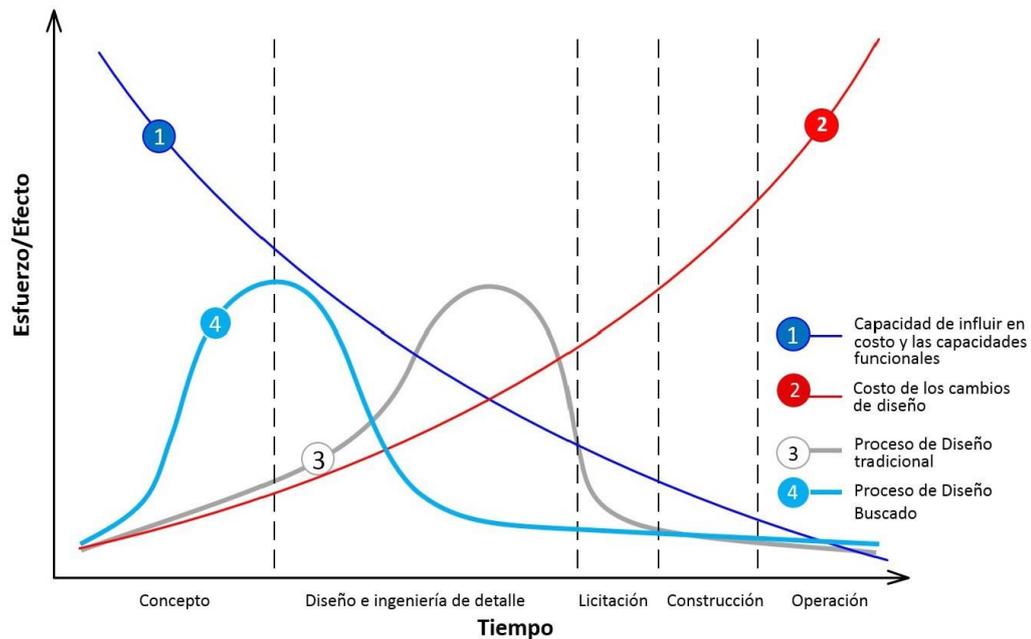


Figura N°2.9 Curva Esfuerzo – Tiempo en Proyectos de construcción.  
Fuente: MacLeamy, P. (2004).

### 2.5.2 Niveles de Desarrollo

El LOD (Level of Development) o nivel de desarrollo, definición creada por el AIA (Instituto Americano de Arquitectura) durante el BIMForum del 2011, se define como una medida que indica en qué grado se ha desarrollado el modelamiento de los elementos de la edificación o infraestructura. Se han hecho esfuerzos por tratar de definir un estándar para el LOD; actualmente existen varias organizaciones que han creado sus propios estándares de LOD. Por ejemplo, en la Figura N°2.10 se muestran los niveles de desarrollo de un elemento presentados por el BIM Forum en el 2017, de acorde a las definiciones desarrolladas por el AIA.

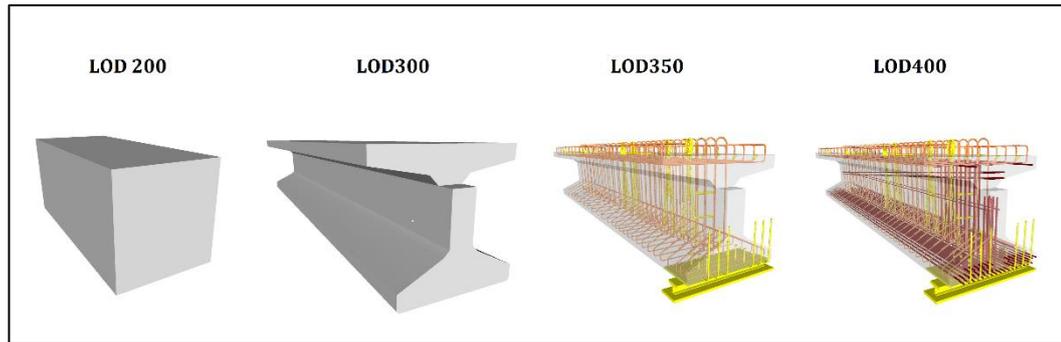


Figura N°2.10 LOD 200 al 400 viga prefabricada.  
Fuente: BIM Forum (2017).

LOD 100: Es el nivel básico, en el cual el elemento objeto puede estar representado gráficamente en el modelo por un símbolo u otra representación genérica. La información relacionada con el elemento del modelo (es decir, el costo por pie cuadrado, tonelaje de HVAC, etc.) puede ser derivado de otros elementos del modelo.

LOD 200: En este nivel el elemento se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema genérico, objeto o ensamblaje especificando aproximadamente cantidades, tamaño, forma, ubicación y orientación. La información no gráfica también puede incluir al elemento del modelo.

LOD 300: Es el nivel donde el elemento se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema, objeto o conjunto especificando en forma precisa cantidades, tamaño, forma, ubicación y orientación. La información no gráfica también puede incluir al elemento del modelo.

LOD 350: En este nivel el elemento se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema, objeto o conjunto especificando en forma precisa cantidades, tamaño, forma, orientación e incluye la detección de interferencias entre distintos elementos. La información no gráfica también se puede incluir al elemento del modelo.

LOD 400: Es el nivel en el cual el elemento se representa gráficamente dentro del Modelo como un sistema, objeto o conjunto especificando precisamente el tamaño, forma, ubicación, cantidad y orientación, con detalles, fabricación, ensamblaje e información de la instalación. La información no gráfica también puede incluir al elemento del modelo.

LOD 500: Nivel donde el elemento es una representación verificada en el campo en términos de tamaño, forma, ubicación, cantidad y orientación, es decir, está vinculado al estado final del proceso constructivo (“as built”). La información no gráfica también puede incluir al elemento del modelo.

### 2.5.3 Dimensiones y Ciclo de vida del BIM

El uso de la metodología BIM integra a todos los agentes que intervienen en el proyecto, tales como arquitectos, ingenieros, desarrolladores, promotores, facilities managers, reforzando la comunicación de una manera transversal y coordinada entre ellos, de tal forma que nos permite desarrollar los proyectos generando un modelo virtual a lo largo del ciclo de vida del proyecto, tal como se observa en la Figura N°2.11; dicho modelo contiene toda la data del proyecto desde la conceptualización de la misma idea, análisis diseño, documentación, para su posterior gestión en la construcción y llevar su control en la Operación y mantenimiento del mismo durante toda su vida útil hasta su demolición.

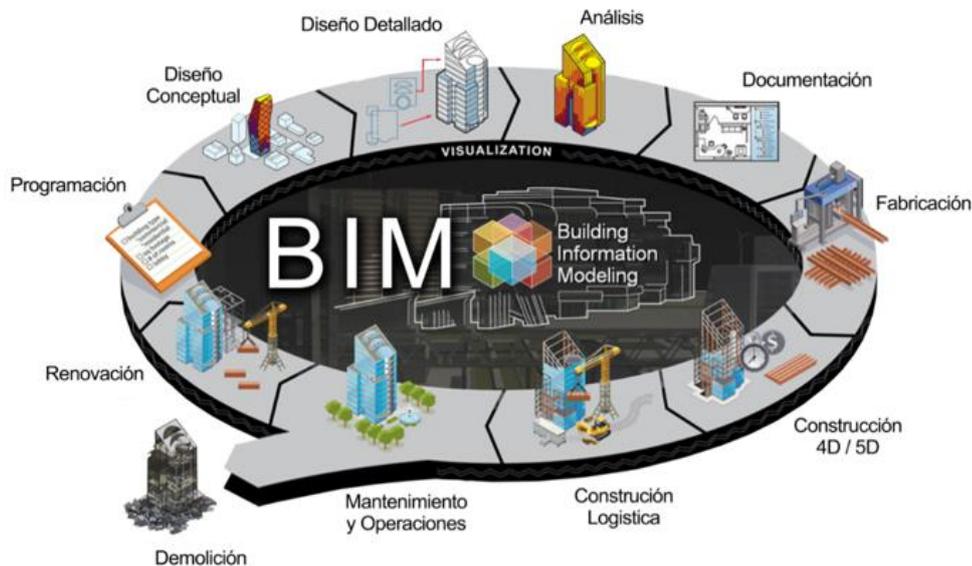


Figura N°2.11 Ciclo de vida de un Proyecto BIM.

Durante este ciclo de vida el proyecto BIM va evolucionando, alimentando e incorporando toda la documentación y unificándolo en el modelo, consiguiendo un mayor control del proyecto mediante la incorporación de nuevas dimensiones (las 7D) las cuales son variables de control que se van añadiendo durante su ciclo de vida, permitiéndonos no solo realizar los típicos planos (2D), sino también

modelarlo como objetos tridimensionales desde un inicio (3D), además de tener una planificación de los tiempos de la obra (4D), de los costos (5D), también tener un control de la sostenibilidad (6D), y del mantenimiento de la infraestructura (7D), tal como indica a continuación la Figura N°2.12.



Figura N°2.12 Dimensiones de BIM.

#### 2.5.4 Funcionalidades BIM

La tecnología BIM posee aspectos claves de funcionalidad relevantes que proporciona para, compilar, editar, evaluar y generar información sobre la construcción del proyecto. A continuación, mostramos algunas de las funcionalidades identificadas por (Sacks et al., 2010).

- Visualización de la forma (para la evaluación estética y funcional):

La tecnología BIM brinda información visual con la capacidad de representar diseños con cierto grado de realismo, logrando con esto que todos los stakeholders del proyecto puedan tener un mayor grado de interpretación del proyecto al que podrían obtener con planos y/o dibujos técnicos.

- Generación rápida de múltiples alternativas de diseño:

Las relaciones paramétricas del modelo que mantienen la coherencia del diseño y la generación automática de detalles de componentes brindan mayor eficiencia del manejo de la geometría del diseño.

- Uso del modelo para el análisis predictivo del rendimiento del edificio.

Esto engloba los siguientes aspectos:

- Algunas herramientas BIM permiten realizar un análisis integrado mediante la exportación de datos preprocesados relevantes para su posterior importación y análisis de terceros.
  - Estimación del ciclo de vida del proyecto de construcción.
- Mantenimiento de información e integridad del modelo de diseño.

Esto es debido a que con las herramientas BIM se puede almacenar información de cada uno de los elementos que se modelan. La integridad geométrica del modelo se da gracias a la detección de interferencias e incompatibilidades.

- Generación automatizada de dibujos y documentos.

Los softwares BIM permiten que la generación de cualquier cambio en el modelo se refleje automáticamente en los reportes (vistas, planos, cuadros, etc.) manteniendo una integridad con el modelo y dichos reportes.

- Colaboración en Diseño y Construcción

La colaboración en el diseño y la construcción se expresa de dos maneras:

- De manera interna, donde todos los usuarios dentro de una sola organización o disciplina editan el mismo modelo simultáneamente.
  - De manera externa, donde múltiples modeladores ven simultáneamente modelos multidisciplinarios combinados o separados para la coordinación del diseño.
- Rápida generación de alternativas de planes de construcción.

Los softwares BIM permiten la generación de múltiples alternativas de planificación que combinados con el modelo generan simulaciones en cuatro dimensiones (4D), esto permite el ensayo virtual de la construcción antes de llevarlo a cabo con la finalidad de optimizarlo (Kong & Li, 2009).

- Comunicación Online basada en Objetos

La comunicación online puede ser más completa ya que las nuevas herramientas BIM permiten poder visualizar el estado del proyecto tanto del proceso como del producto, y mediante la utilización de los modelos poder compartir una información integral hacia todos los trabajadores; un ejemplo de esto podría ser el sistema KanBIM<sup>3</sup> (Sacks et al., 2010).

- Transferencia directa de información para admitir la fabricación controlada por computadora.

Las herramientas BIM facilitan la transferencia de información necesaria para dar soporte a la pre-construcción de los componentes de construcción.

## 2.6 INTERACCIÓN BIM Y LEAN CONSTRUCTION

Lean Construction y BIM son formas independientes de gestionar los proyectos de construcción, sin embargo, algunos de los principios de BIM pueden complementar de manera positiva los principios del Lean construction mejorando la gestión de los proyectos de construcción. (Dave et al., 2013).

Los autores del paper titulado "Interaction of Lean and Building Information Modeling in construction" desarrollaron una matriz que interrelaciona las funcionalidades del BIM anteriormente mencionadas con los principios del Lean, mostrando 56 interacciones que pueden generar cambios positivos en su gran mayoría mediante la unificación BIM-Lean. Dicho estudio mostró que las sinergias abarcan todo el ciclo de vida del proyecto. Además, evidenciaron 3 principios Lean con mayor conexión o apoyo con las funcionalidades BIM. Los principios Lean que tienen una mayor concentración de interacciones son:

---

<sup>3</sup> KanBIM. Producto de la aplicación del sistema kanban (el cual controla el flujo de producción de los recursos, mediante un sistema pull a través del uso de señales) en un entorno BIM.

- Reducción de los desperdicios mediante la obtención de la calidad de primera vez (a través de un producto mejor diseñado, reduciendo la variabilidad del producto, es decir, la reducción de la necesidad de cambios en las etapas posteriores del diseño).
- Flujo mejorado y menor incertidumbre en la producción.
- Reducción del tiempo total de construcción.

Las funcionalidades BIM con mayor número de interacciones son:

- Visualización múltiple de modelos multidisciplinarios fusionados o separados.
- Visualización 4D de las planificaciones.
- Comunicación online de información sobre productos y procesos.

Sin embargo, la filosofía Lean y el BIM están aún evolucionando hacia la mejora de la gestión de los proyectos de construcción, por ello es probable que se encuentren nuevas interacciones entre estos dos conceptos. La unión de estas dos alternativas ofrece eficiencia, mejorar la productividad, ahorro en costos y tiempo, a pesar de ser iniciativas independientes Lean Construction y BIM están generando un gran impacto en los proyectos de construcción, según el análisis de Sacks et al. (2010), indica que, si se aprovechan correctamente estos conceptos de forma conjunta, podrían causar un mayor impacto que su aplicación en forma independiente. Las evidencias teóricas muestran que se obtendría una mayor ganancia producto de la intervención sinérgica de estas dos alternativas.

Si bien es importante entender que existen interacciones significativas entre Lean Construction y BIM, es importante también ver cómo es que se traduce estas intervenciones sinérgicas en las características o funciones de un proyecto de construcción BIM-Lean, las cuales se muestran en la siguiente Tabla N°2.2. Dicho cuadro resume algunas de las funciones o características de un proyecto de construcción en las etapas de diseño, construcción y en la de operación y mantenimiento, los cuales se tomarán como directriz para un proyecto de construcción BIM-Lean, ya que cada empresa u organización puede encontrar su propia forma de implementar dichas funciones.

Tabla N°2.2 Interacción BIM y Lean Construction.

DISEÑO Y DETALLAMIENTO	CONSTRUCCIÓN	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
Desarrollo colaborativo de diseño y detalle	Aumentar la resolución de la planificación mediante la vinculación de los planes de mayor detalle a BIM (va más allá de 4D). Mejora de la construcción mediante optimización iterativa.	Vinculación del modelo BIM con el sistema de gestión de operaciones.
Coordinación y localización del equipo de diseño	Intercambio colaborativo de modelos durante las reuniones de planificación.	Uso del modelo para la gestión de operaciones y mantenimiento.
Participación “aguas abajo” de los stakeholders durante el diseño	Compartiendo modelos a lo largo de toda la cadena de suministro para la planificación detallada, la estimación basada en modelos, la planificación de la seguridad y la realización de estudios digitales de primera ejecución (y escenarios “¿Qué pasa si?”)	Mantener actualizado el modelo de mantenimiento para garantizar su fiabilidad.
Uso de la planificación colaborativa en el diseño.	Actualización de modelos a lo largo del proyecto para asegurar una precisa entrega del modelo as-built.	El uso del intercambio de información de la construcción y operación de la edificación recae a lo largo del proyecto para asegurar que el equipo del Facility Management esté preparado antes de la operación
Detallamiento de los modelos para su uso constructivo	Etiquetar los elementos durante el armado, seguir el progreso de armado visualmente y capturar la información relevante sobre los elementos y vincularla al modelo.	Vinculación de los elementos etiquetados con los datos de mantenimiento y garantía para uso del personal de mantenimiento a través de dispositivos “inteligentes”.

Fuente: Dave, B. et al. (2013).

## 2.7 SINERGIAS LPS Y BIM

Durante la ejecución del proyecto de construcción las herramientas BIM pueden integrarse al control del flujo de la producción mediante las herramientas del LPS. Existen algunas investigaciones realizadas que estudiaron esta sinergia, las cuales se mencionan a continuación:

- “Integration Framework of BIM with the Last Planner System”

Investigación realizada por Bhatla y Leite en el 2012, en el cuál proponen un marco teórico de integración entre BIM con el LPS, tal como se observa en la Figura N°2.13, donde a partir de los resultados obtenidos mediante la aplicación de algunas herramientas BIM como la visualización 3D y la detección de interferencias MEP (Instalaciones eléctricas y sanitarias) durante la planificación del lookahead y el plan semanal en la ejecución de la reconstrucción del centro de natación de la Universidad de Texas, en él se logró una disminución de los RFI, una más rápida detección de restricciones en base al modelo, y por lo tanto generó más valor hacia el cliente.

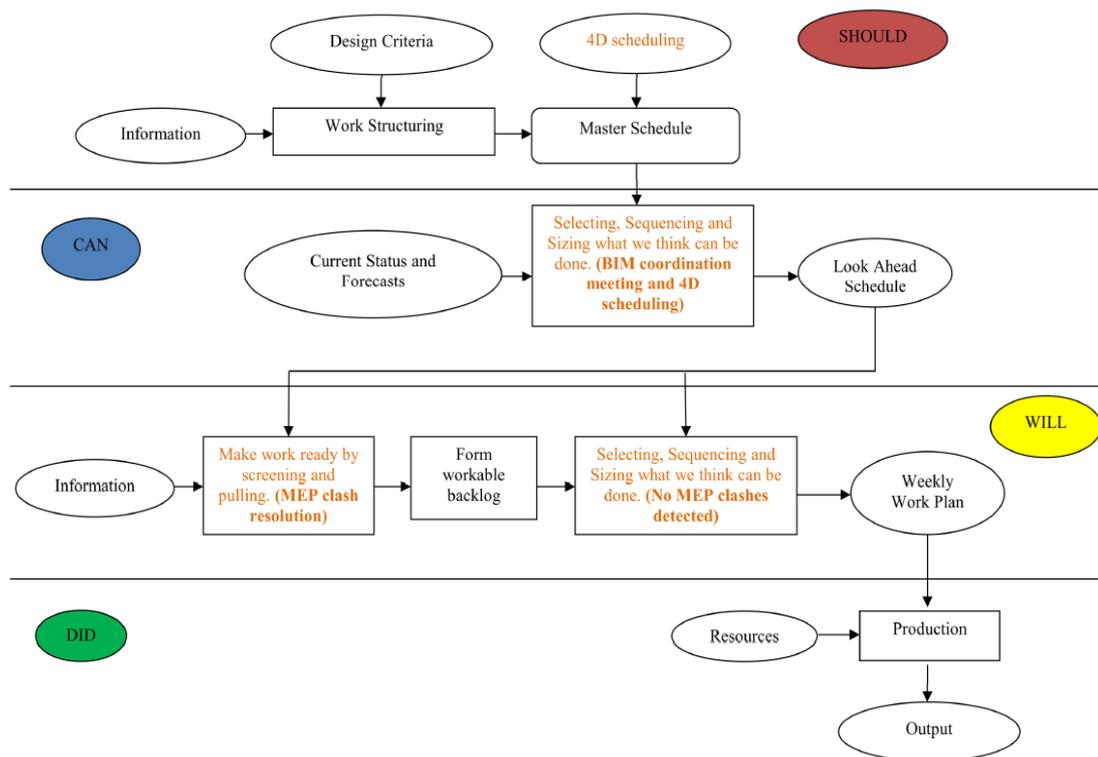


Figura N°2.13 Marco de Integración BIM – LPS.  
Fuente: Bhatla, A. & Leite, F. (2012).

- “Gestión visual del Sistema Last Planner mediante el modelado BIM”

Investigación realizada por Orihuela, Canchaya y Rodriguez en el 2015, en el cual propone una sinergia que resulta de vincular las etapas del LPS con diferentes niveles de un modelo BIM, donde se resalta el uso de la gestión visual como apoyo al LPS mediante las herramientas BIM, tal como muestra la Figura N°2.14.

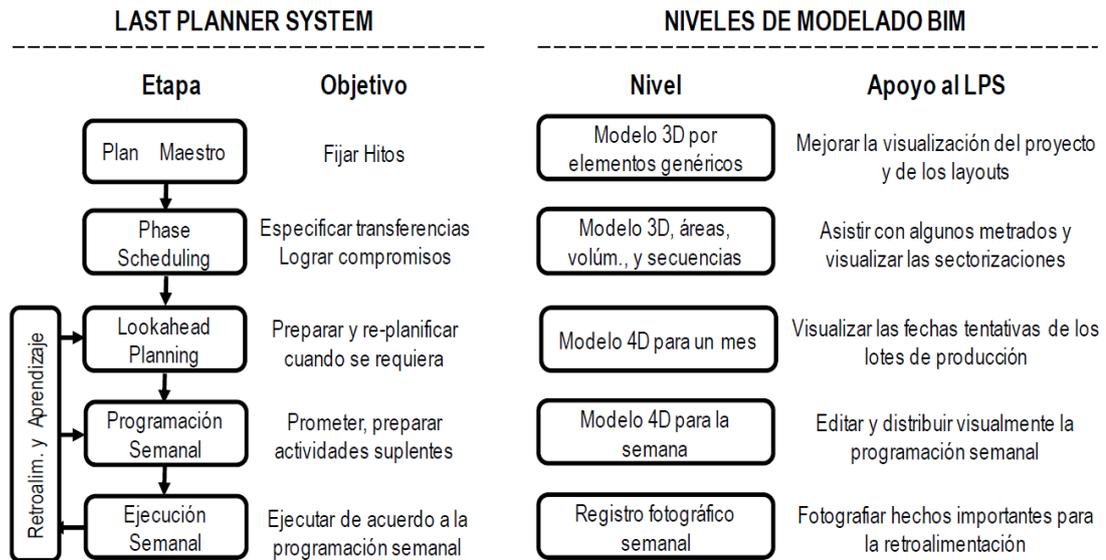


Figura N°2.14 Integración del modelo virtual BIM con LPS.  
Fuente: Orihuela, P. et al. (2015).

Además, se han desarrollado algunos casos en donde han aplicado herramientas BIM con la metodología last planner, como los siguientes:

- Oluqín (2011), realizó la aplicación en 2 proyectos en la etapa constructiva, obteniendo en el 1er proyecto beneficios con respecto al porcentaje de actividades completadas y al tiempo de las reuniones de planificación semanal, sin embargo, en el 2do proyecto no reflejó aportes significativos.
- Mateu (2015), realiza un análisis sobre los beneficios del Last Planner System con el BIM aplicados a un caso práctico en donde se obtienen resultados tales como la mejora gráfica de la planificación que ayudó a detectar y prevenir errores constructivos.
- Vicencio (2015), presenta una metodología de desarrollo del Last Planner System con tecnología BIM aplicados principalmente a la etapa de sótanos de una edificación en donde mejora la planificación y coordinación de la obra, el cual favoreció la logística disminuyendo las paralizaciones de obra.

Por otro lado, cabe mencionar también a algunas investigaciones concernientes al uso de las herramientas BIM en la planificación y control de proyectos de construcción en el país, entre las cuales se tienen las siguientes:

- Galiano, H. (2018), muestra los procedimientos aplicados durante los procesos de planificación, programación y control de una obra utilizando de manera experimental herramientas BIM 3D, 4D y 5D.
- Zarzo, J. (2019), propone la implementación de un sistema de seguimiento y control de tiempo y costo en las obras civiles del centro de costo Pipe Rack de Prefabricados de un proyecto petroquímico empleando el BIM como sistema de gestión.

## CAPÍTULO III. METODOLOGÍA PARA LA PLANIFICACIÓN 4D

### 3.1 MODELADO 3D

De acuerdo con lo observado en el capítulo 2.5 hay varios niveles de desarrollo de modelamiento para un proyecto (LOD), los cuales deberán de realizarse según la finalidad deseada; los requisitos mínimos que deberá de tener el modelo 3D para poder realizar una planificación 4D en obra serán los siguientes:

- Deberá tener un desarrollo LOD 300 como mínimo, ya que se requerirá precisión en cuanto a mediciones y los niveles inferiores no lo ofrecen.
- Los modelos a usar dependerán de la fase que se requiera planificar, es decir si se desea hacer la planificación 4D del casco, usaremos el modelo de estructuras, si se desea realizar una planificación de acabados se usará también el modelo de arquitectura.
- El modelo deberá realizarse con un nivel de despiece de elementos que considere el proceso constructivo y que, además, presenten información genérica de cada uno de estos. Por ejemplo, para el modelo de estructuras de una edificación, los elementos verticales como columnas y placas deberán seccionarse en cada piso hasta el nivel de fondo de viga o de la losa, según sea el caso, además, para realizar los metrados, dichas intersecciones serán consideradas como elementos horizontales.

Los elementos horizontales como las vigas deberán ser modeladas por tramos y las losas deberán estar separadas en cada paño, de tal manera que se presten en obra, de manera rápida, a cualquier sectorización, lo que se realizará de acuerdo con decisiones estructurales.

- El modelo deberá tener parámetros para cada elemento, los cuales permitirán identificarlos y asignarles datos que servirán para una posterior programación en obra con el Last Planner System. Por ejemplo: nivel del elemento, sector perteneciente, fecha de vaciado programado, fecha de vaciado real, etc

- Finalmente para el inicio de la planificación se deberá contar con los modelos compatibilizados, los cuales se irán actualizando a lo largo de la planificación en obra con la participación del constructor y subcontratistas.

### 3.2 INTEGRACIÓN DEL LPS CON BIM

El enfoque principal de la metodología que se plantea en la presente tesis es evaluar la interacción sinérgica que existe entre el LPS y el BIM en la ejecución de un proyecto de construcción. Para mejor entendimiento, en el siguiente gráfico (Figura N°3.1), el área sombreada representa la zona donde se realiza la acción coordinada de las herramientas BIM con el LPS en los proyectos de construcción.

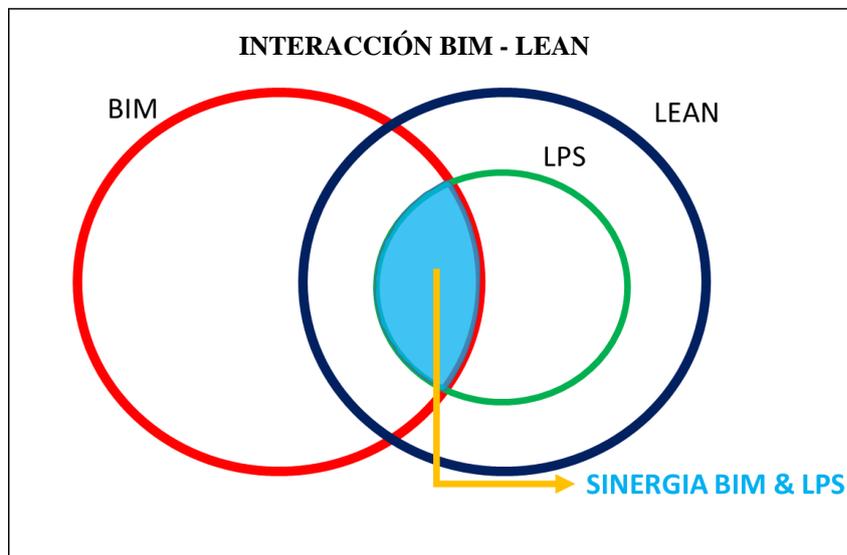


Figura N°3.1 Interacción BIM – LPS.  
Fuente: Elaboración propia.

El esquema de integración que se muestra en la Figura N°3.2 se centrará básicamente en la zona sombreada del gráfico anterior, como propuesta para dicha sinergia, y tiene como objetivo mostrar una forma en la que las herramientas BIM pueden complementar y trabajar de manera conjunta con cada una de las fases del Last Planner System. El esquema fue desarrollado considerando las investigaciones de Bhatla, A. y Leite, F. (2012) y Orihuela, P., Canchaya, L. y Rodriguez, E. (2015). Además, para una mejor representación de la sinergia se tomó como base el mapa de procesos realizado por Hamzeh, F., Ballard, G. y Tommelein, I. (2009) para el Last Planner System, ya que en este se puede identificar con mayor detalle todos los procesos del LPS.

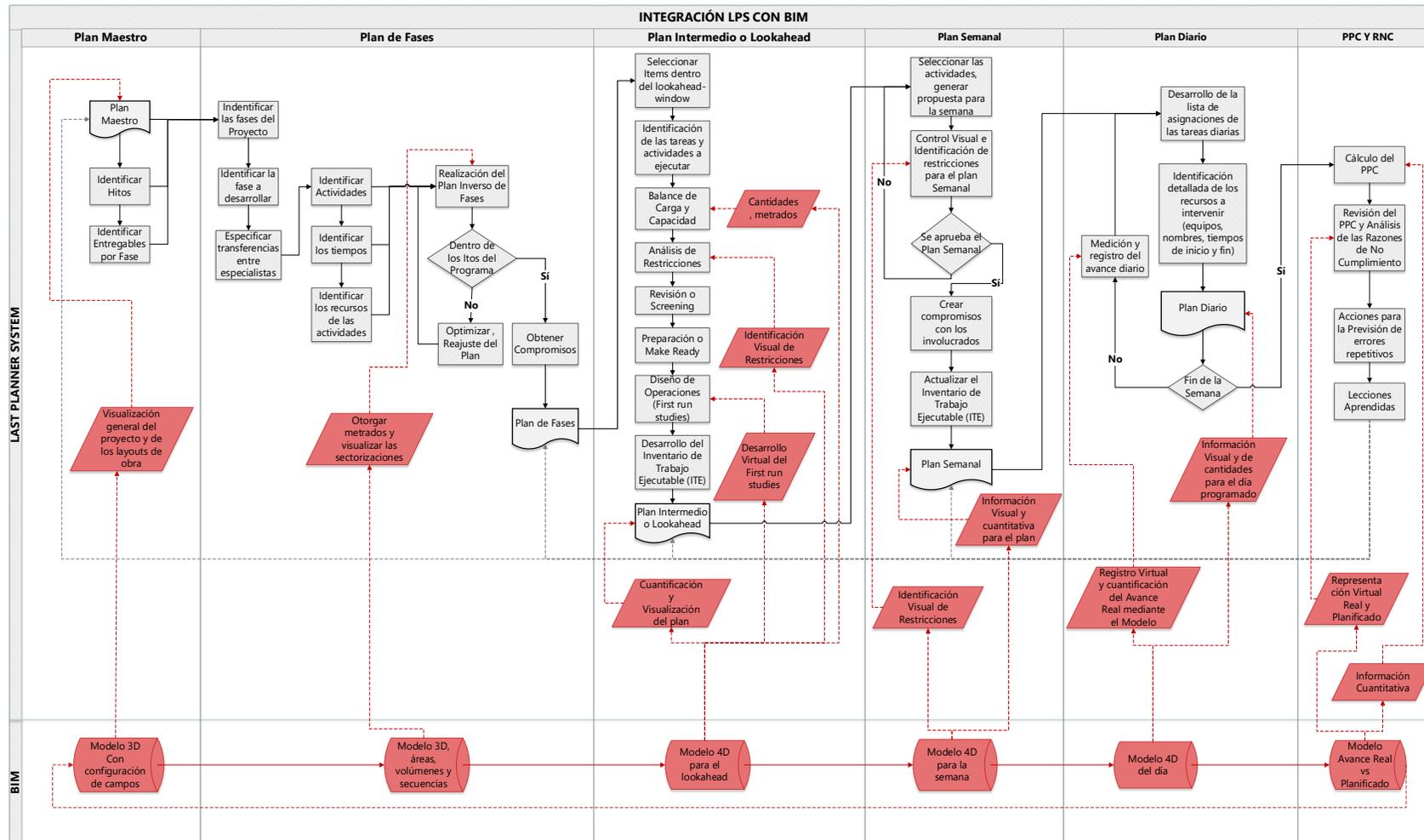


Figura N°3.2 Integración LPS – BIM.  
 Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, en el esquema mostrado de la Figura N°3.2 se puede observar la secuencia general de procesos del LPS representados de color plomo con flechas negras, los cuales están agrupados por las diferentes fases de la planificación, al que se le añadió un esquema de soporte de información mediante BIM (flujo de color rojo con flechas rojas) que se generan a partir de la evolución del Modelo BIM a lo largo de la secuencia del LPS, las líneas continuas representan el flujo principal tanto del LPS como del BIM y las líneas discontinuas representan la interrelación entre ambos y retroalimentación de los mismos en función a los resultados obtenidos durante la planificación. Dichos flujos interactúan complementándose, generando una sinergia que tiene como objetivo realizar una planificación más eficiente.

Este esquema pretende mostrar una forma de cómo se puede aplicar los pasos y procesos del LPS apoyados con información proveniente de herramientas BIM, mas no pretende ser un esquema único y generalizable para todos los proyectos de construcción.

Para una mejor representación de la metodología descrita en el esquema, esta se ha dividido en 6 etapas correspondientes a las 6 fases del Last Planner System, de la manera siguiente:

ETAPA 01 (Plan Maestro – Modelo 3D con Configuración de Campos):

Esta primera etapa, se muestra la primera fase de la planificación del Last Planner System, es decir, el Plan Maestro, el cual es generalmente representado mediante un diagrama de barras Gantt. Será de mucha utilidad adaptar el plan maestro mediante líneas de balance, ya que con estas se puede observar las localizaciones de los procesos, además de ver cuál es el ritmo de trabajo de realización de las actividades, lo que no se puede apreciar con las barras Gantt tradicionales.

Luego, se usará la información del modelo 3D compatibilizado, el cual deberá contener la configuración mencionada en el capítulo 3.2, además, este se adaptará y modificará según el avance de la obra. En este primer nivel de la planificación se complementará el plan maestro con la información brindada por el modelo BIM, para la visualización y mayor entendimiento general del proyecto;

así como la elaboración de los layouts 3D de obra, que servirán para sus diferentes etapas.

ETAPA 02 (Plan de Fases – Modelo 3D con cuantificación múltiple):

En esta segunda etapa, se desarrollará el plan de fases, para lo cual se usará el modelo a fin de generar de manera iterativa las diferentes alternativas de sectorización, se planteará y discutirá durante las reuniones, las diferentes propuestas de sectorización con los responsables e involucrados en la fase a desarrollar; además, de una primera identificación de aquellas restricciones generales del proyecto que puedan causar algún inconveniente más adelante.

Con ello se realizará el pull planing de las fases correspondientes, determinándose las secuencias constructivas, de tal manera que cada lote de producción posea cantidades similares de trabajo con el objetivo de escuchar las observaciones, inconvenientes y puntos de vista de todos los involucrados. Así, de esta manera, se podrá escoger la mejor opción con la cual se acoplarán los lotes de producción del plan de fases, obteniendo el compromiso del equipo de trabajo para lograr el ritmo planteado.

ETAPA 03 (Lookahead – Modelo 4D con horizonte a mediano plazo):

En la tercera etapa, se escogerá una ventana de acorde al tiempo de anticipación promedio con la que se deben solicitar los recursos, el cual, por lo general, suele ser de 3 a 6 semanas; con el cual se comprobará que cada actividad cuente con los recursos necesarios cuando estos sean requeridos en campo.

Adicionalmente a esta programación, se propone vincular las fechas de ejecución programadas al modelo, lo que se representará mediante una simulación constructiva, convirtiendo la programación del lookahead normal en un lookahead 4D con el objetivo de validar la programación realizada. Además, dicho lookahead 4D servirá para poder identificar aquellas restricciones que surgirán dentro del lookahead window, las mismas que se liberarán, algunas dentro de las reuniones y otras en el transcurso de los días siguientes, con el objetivo de obtener una reserva de trabajo ejecutable para las 3 a 6 semanas posteriores a la semana en que se realice el análisis.

#### ETAPA 04 (Plan Semanal – Modelo 4D para la Semana):

Para la cuarta etapa, se desarrollará el plan semanal con las tareas que previamente han sido liberadas de sus restricciones y estarán aptas para su realización de manera eficaz por los last planners. Las fechas de este programa serán incorporados al modelo, y se representarán de manera visual mediante una leyenda de colores. Se usará un estándar de colores, los cuales deberán ser permanentes para la representación de los procesos constructivos; por ejemplo, para la fase del casco los vaciados se representarán de color rojo, el encofrado de color verde claro, las instalaciones de color cian y la colocación de acero de color azul. Este se mostrará durante la reunión del plan semanal, donde se buscará generar interacción entre los last planner, de tal manera que se comprometan a su cumplimiento para la semana venidera.

#### ETAPA 05 (Programación Diaria – Modelo 3D del día):

En esta etapa, una vez obtenida la planificación semanal con su respectiva programación visual, se asignarán las tareas diarias a las cuadrillas de las obras correspondientes del día siguiente a ejecutar, con el objetivo de cumplir lo programado para el día siguiente. Además, se usará el modelo para cuantificar y registrar el avance real ejecutado, lo cual servirá para controlar los rendimientos de las partidas.

#### ETAPA 06 (PPC y RNC – Modelo 3D Ejecutado)

Finalmente, en esta etapa se realizará el control de los días anteriormente planificados mediante el cálculo del PPC al finalizar la semana, para ello también se actualizará el modelo añadiendo las fechas reales de la ejecución a los elementos. A partir de estos datos, usando los modelos se realizará una comparación visual de lo avanzado realmente versus lo que se planificó, con el objetivo de encontrar las causas de no cumplimiento (RNC) y tomar acciones correctivas para mejorar las programaciones de las siguientes semanas.

#### Herramientas de Control Complementarias

Adicionalmente al PPC que se obtiene de la planificación de obra, se requiere algunas herramientas para complementar el control de la producción como las

mediciones de los rendimientos (cantidad de HH utilizadas por unidad de producción), para ello se usarán los metrados obtenidos por los reportes de avances reales diarios y las horas hombre contabilizadas en campo. Además, para controlar la velocidad de la producción las líneas balance pueden ser de mucha ayuda.

## CAPÍTULO IV. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN

### 4.1 PRESENTACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio donde se aplicó la metodología descrita en el capítulo III, se llevó a cabo en la planificación y control, durante la ejecución de una obra; aplicada en la etapa del casco, y en algunas partidas de acabados como asentado de la tabiquería, tarrajeo interior y solaqueo de la tabiquería. Este estudio permitió evaluar el potencial y los beneficios de usar el BIM y el Last Planner System de la filosofía Lean Construction, como herramientas de apoyo.

### 4.2 DATOS GENERALES DEL PROYECTO

- Nombre del Proyecto: Precursores 4
- Ubicación: Av. Escardó 895 cruce c/ Av. Precursores, Maranga - San Miguel.
- Tipo de Construcción: Edificio multifamiliar.
- Propietario: Bélgica Edificaciones
- Diseño y Construcción: Consorcio Italfip – Motiva
- Área techada: 7,354.00 m<sup>2</sup>

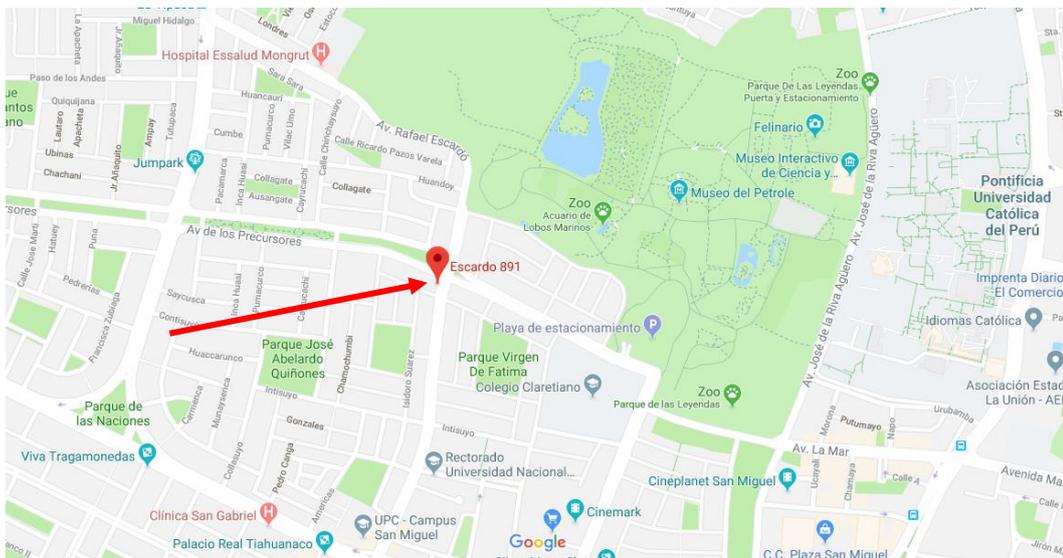


Figura N°4.1 Ubicación del Proyecto.  
Fuente: Google Maps.

- Geometría: 11.50 metros con la Av. Precursores, 42.60 metros con la Av. Escardo, 25.60 con la calle Mariano Valdarrago y por fondo del lote con una línea quebrada de tres tramos 20.24, 8.91 y 22.00m. respectivamente.
- Altura: El proyecto consta de edificio de dos alturas, 15 pisos más azotea, hacia la esquina de la av. Precursores y Rafael Escardó; y 10 pisos hacia la calle Valdarrago, sobre el nivel de vereda, además de un sótano, tal como se muestra en la Figura N° 4.2.



Figura N°4.2 Edificio "Precursores 4".  
Fuente: Bélgica Edificaciones.

### 4.3 ESTRATEGIA

- Recursos Tecnológicos:

Los softwares que se usaron fueron básicamente el Autodesk Revit para el modelamiento, manejo, y modificaciones de los modelos. Además, el Navisworks Manage para la realización de las simulaciones constructivas. Cabe mencionar que se escogieron tales programas debido a que son comercialmente más conocidos, además que son de mayor conocimiento por parte del tesista. En lo que concierne al hardware, se usó una laptop con las siguientes características:

- Memoria RAM de 6GB
  - Tarjeta de Video de 1.8 GB
  - Pantalla de 15.6" HD
  - Procesador Intel Core i5
- 
- De la aplicación de la metodología:

La metodología descrita en el capítulo anterior, se aplicó para el casco estructural y en algunas partidas de acabados, tales como, asentado de la tabiquería, tarrajeo de cielo raso, vigas, columnas y solaqueo de muros.

## CAPÍTULO V. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA AL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN

### 5.1 ETAPA 01

#### Realización de los Modelos

Para la realización de los modelos se usó el programa Revit, con el cual se realizó el modelamiento las especialidades de arquitectura y de estructuras antes del inicio de la obra. La especialidad de instalaciones electromecánicas y el acero no se modelaron porque los modelos se necesitaron lo más rápido posible para comenzar las planificaciones, además por lo general las instalaciones no generan cuellos de botella y pueden adaptarse al ritmo de trabajo sin problemas. (Orihuela, P., Canchaya, L. y Rodriguez, E., 2015).

Para el modelamiento se usaron los planos realizados en AutoCAD y se importaron desde el Revit, luego se modelaron teniendo en cuenta un nivel de despiece mínimo de los elementos según la secuencia de los procesos constructivos, para ello se realizaron las siguientes acciones:

- Los elementos verticales se modelaron desde el nivel del techo del piso inferior hasta el nivel de fondo de losa o viga de cada uno de los 15 pisos más la azotea y las intersecciones de los elementos verticales con los horizontales se consideraron dentro del metrado de los elementos horizontales. En la Figura N°5.1 se observa, por ejemplo, una columna, la cual indica que comienza desde el nivel del techo del 2° piso hasta 0.65m por debajo del techo del piso 3, es decir, hasta el fondo de viga.

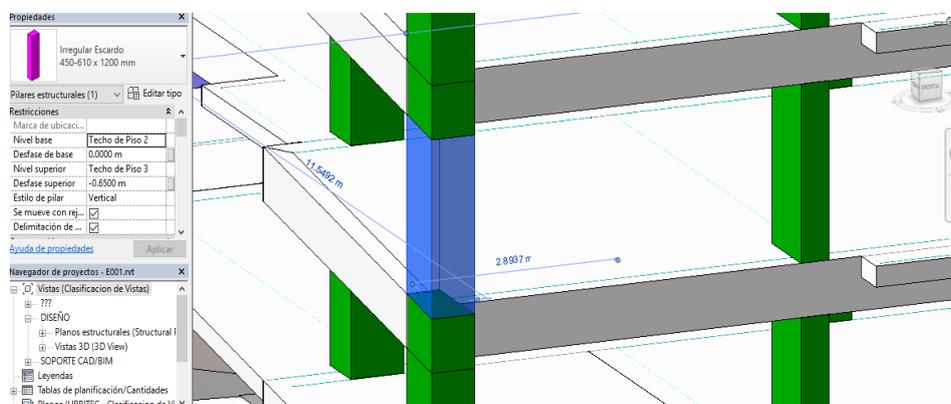


Figura N°5.1 Modelado Paramétrico de Columnas.  
Fuente: Elaboración propia.

- En el caso de los elementos horizontales, como las losas, se modelaron por paños entre vigas (tal como se muestra en la Figura N°5.2) y las vigas entre columnas con la intención de dividirlos durante las reuniones, de ser requerido.

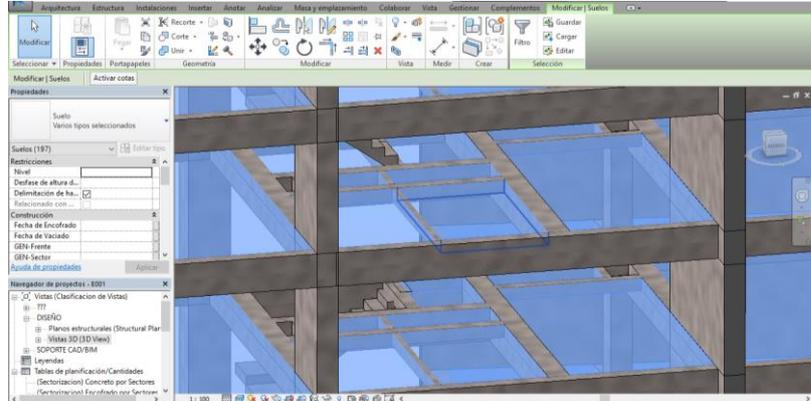


Figura N°5.2 Modelado Paramétrico de Losas.  
Fuente: Elaboración propia.

- Se crearon nuevos parámetros de construcción para el modelo de estructuras, tales como: Nivel del Elemento, Tipo de concreto, Área de encofrado, Volumen de concreto, Sector, Fecha de Planificación de encofrado, Fecha de habilitado de acero, Fecha de Planificación de Vaciado, Fecha Real de Vaciado. O en el caso del modelo de arquitectura: Nivel del Elemento, Sector, Partida de arquitectura, Fecha de realización. En la siguiente Figura N° 5.3 se aprecia los parámetros creados para los elementos constructivos, en este caso para el modelo de estructuras, los cuales, en esta fase inicial, sólo contemplaron los datos mostrados, cabe mencionar que los datos como, el sector, las fechas planificadas y reales se fueron añadiendo durante el transcurso de la obra.

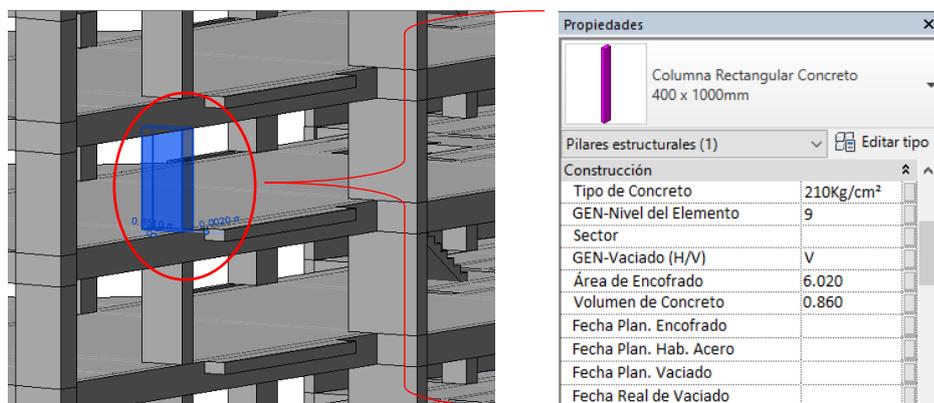


Figura N°5.3 Parámetros Constructivos.  
Fuente: Elaboración propia.

- Con el objetivo de cuantificar con mayor precisión los metrados del encofrado de los elementos, para su modelamiento en Revit se tuvo que realizar algunas configuraciones de tal manera que se puedan identificar el contacto entre los elementos estructurales donde no se tenía encofrado. Como se observa en la Figura N°5.4, en este caso en particular se editó la familia creada para el encofrado asignándole a los lados de las vigas materiales para el encofrado de tal manera que al modelarlo pueda descontar la intersección entre los elementos.

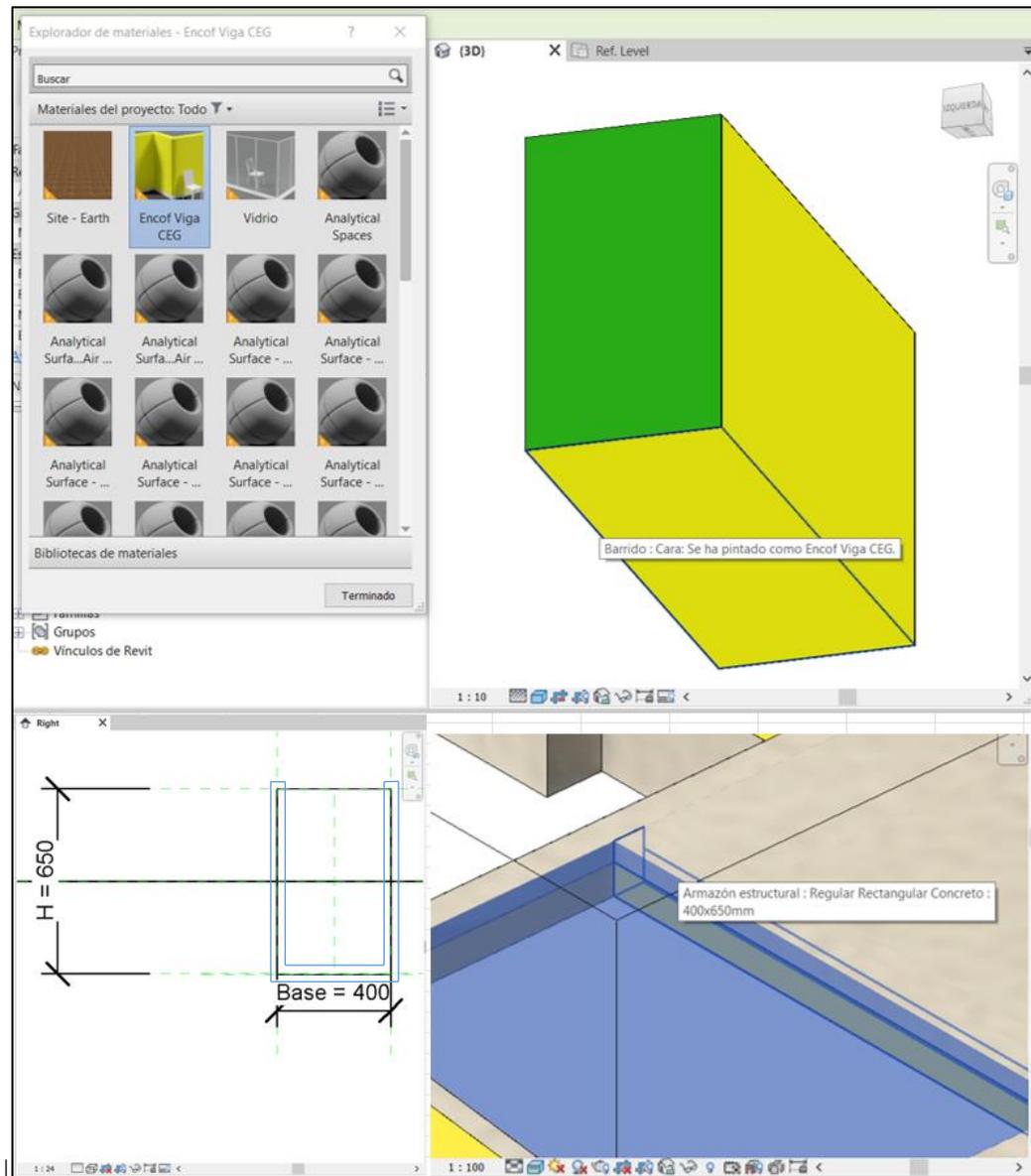


Figura N°5.4 Modelamiento de encofrado.  
Fuente: Elaboración propia.

Respecto al Metrado con los Modelos

- Creación y adecuación de tablas para metrados según sus parámetros asignados, para ello en el Revit se usó la herramienta “Schedules” dentro de la pestaña “View” y se seleccionaron y filtraron los parámetros o campos (fields) dentro de una ventana denominada “Material take off Properties” (propiedades de materiales) incorporados al modelo, como se muestra en la Figura N°5.5.

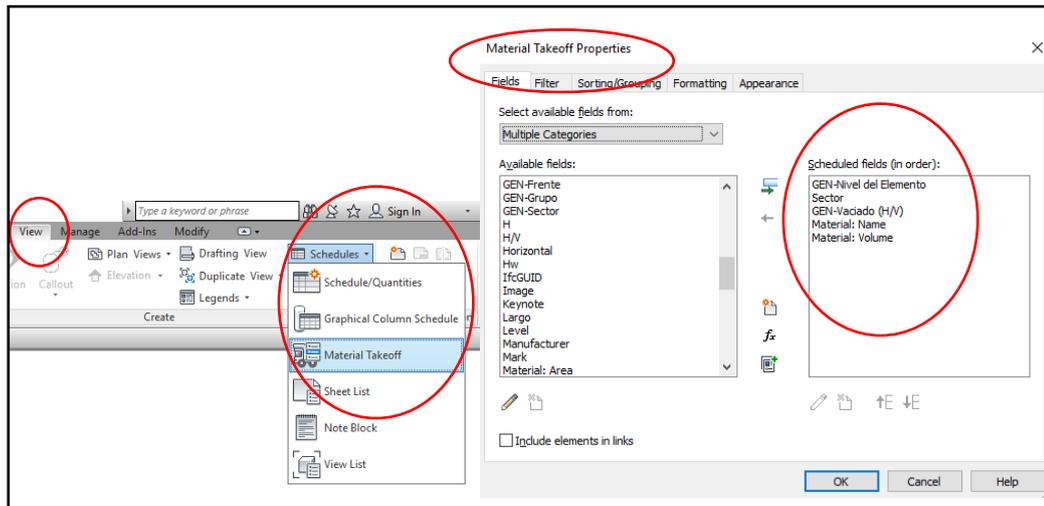


Figura N°5.5 Filtrado paramétrico para creación de tablas.  
Fuente: Elaboración propia.

- Posteriormente se generaron las tablas de metrados, como se observa en la Figura N°5.6, en este caso en particular fue para obtener el metrado del volumen de concreto según el nivel, sector, tipo de elemento y material.

<CONCRETO POR PISO-SECTOR-TIPO>				
A	B	C	D	E
GEN-Nivel del El	Sector	GEN-Vaciado (H/V)	Material: Nombre	Material: Volumen
Azotea				
Azotea		H	Concreto 210Kg/cm²	9.40
Azotea		H	Concreto 210Kg/cm²	1.68
Azotea		H	Concreto 210Kg/cm²	0.36
Azotea		H	Concreto 210Kg/cm²	1.71
Azotea		H	Concreto 210Kg/cm²	0.36
Azotea		H	Concreto 210Kg/cm²	7.65
Azotea		H	Concreto 280Kg/cm²	0.09
Azotea		H	Concreto 280Kg/cm²	0.93
Azotea		H	Concreto 280Kg/cm²	0.28
Azotea		H	Concreto 280Kg/cm²	0.34
Azotea		H	Concreto 280Kg/cm²	0.19
Azotea		H	Concreto 280Kg/cm²	2.30
Azotea		H	Concreto 280Kg/cm²	0.05
Azotea		H	Concreto 280Kg/cm²	0.33
Azotea		H	Concreto 280Kg/cm²	0.33
Azotea		H	Concreto 280Kg/cm²	1.08
Azotea		H	Concreto 280Kg/cm²	0.30
Azotea		H	Concreto 210Kg/cm²	0.93
Azotea		V	Concreto 210Kg/cm²	0.27
Azotea		V	Concreto 210Kg/cm²	0.27

Figura N°5.6 Tabla de metrados en Revit.  
Fuente: Elaboración propia.

## Respecto a la Detección de Incompatibilidades

A medida que se desarrolló el proceso de modelado 3D y su actualización continua se detectaron incompatibilidades e interferencias con ayuda de los recorridos virtuales mediante la herramienta de navegación del Navisworks, los cuales sirvieron para hacer mediciones, visualizar, hacer capturas o breves anotaciones y/o comentarios para registrarlos, con la finalidad de realizar su posterior levantamiento, antes de su ejecución.

Como ejemplo se puede observar en la Figura N° 5.7, en donde subiendo la escalera del primer piso, en el sexto contrapaso hay una altura de 1.55m respecto del techo del segundo piso, el cual no cumple con la altura mínima para la circulación peatonal. Por lo que, se propuso retroceder 0.75m el friso de la escalera.

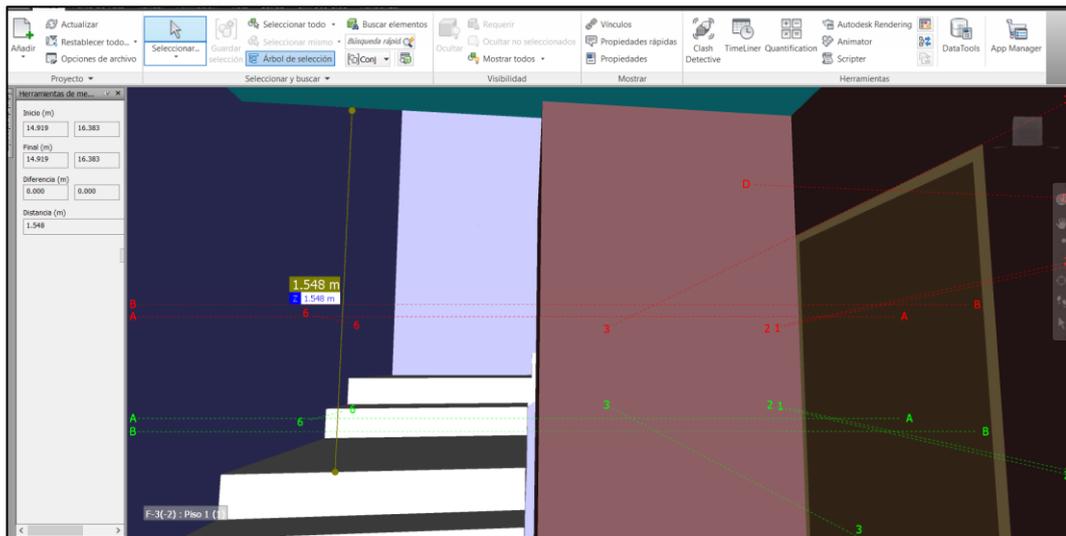


Figura N°5.7 RFI N°44 Interferencia encontrada con Navisworks.  
Fuente: Elaboración propia.

Así también, en la Figura N°5.8 se puede observar que la zona de ascensores, el vano libre necesario para que pueda cumplir con el requerimiento del ascensor es de 2.37 m. desde el nivel del techo hasta el fondo de viga; sin embargo, la altura es de 2.30 m; por lo que, se propuso modificar el peralte de la viga con la aprobación del proyectista estructural.

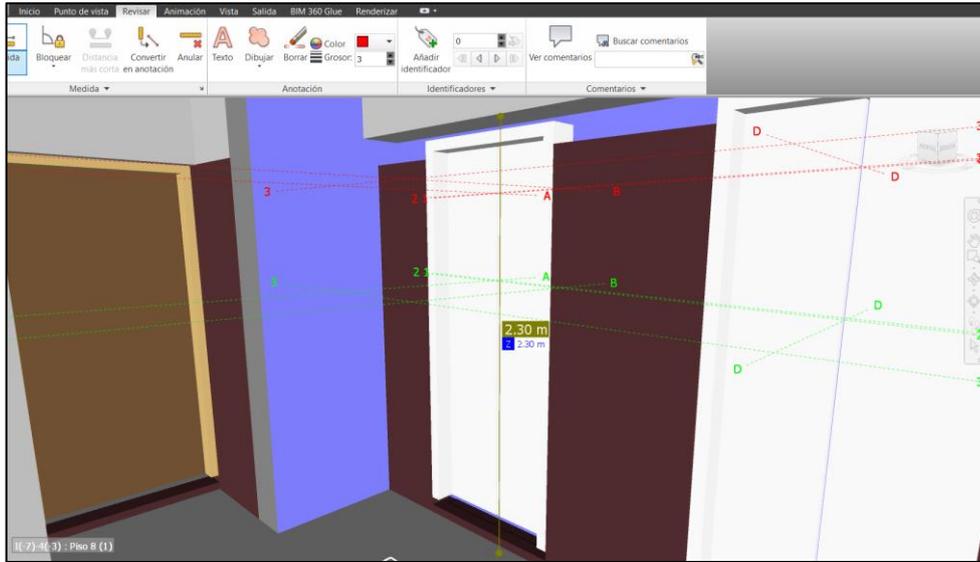


Figura N°5.8 RFI N°105 Interferencia encontrada con Navisworks.  
Fuente: Elaboración propia.

Otro caso se puede observar en la Figura N°5.9, en donde la base de la viga V-S112 se encuentra a un nivel de -0.55m y la rampa en ese mismo sector se encuentra a un nivel de -2.65 m según arquitectura. Es decir, la diferencia de niveles de ambos elementos da 2.10 m, a pesar de que la altura mínima de circulación según detalle es 2.25 m. Por lo que, con aprobación del proyectista estructural se optó por realizar una viga invertida.

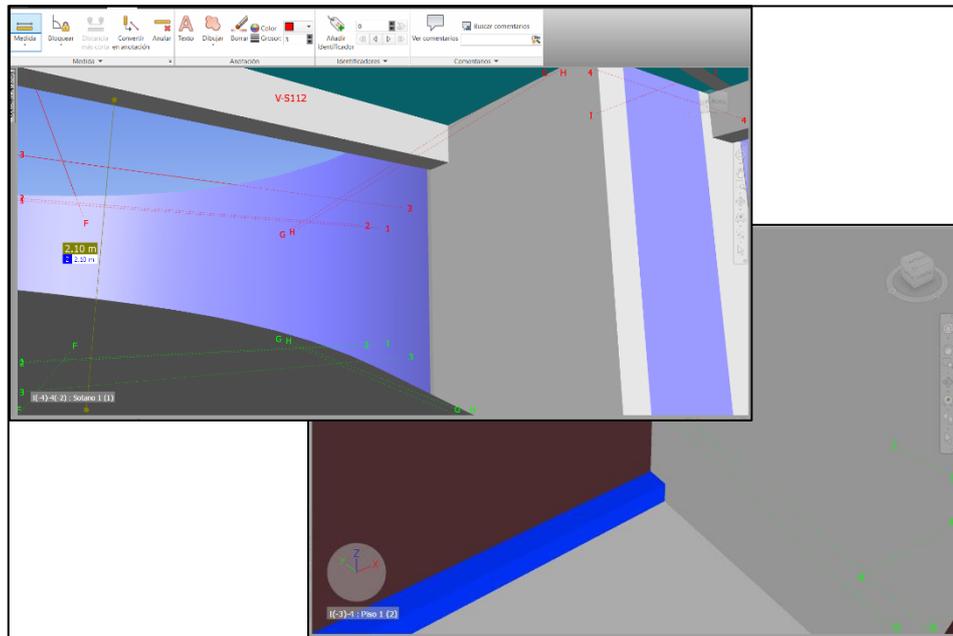


Figura N°5.9 RFI N°47 Interferencia encontrada con Navisworks.  
Fuente: Elaboración propia.

## Respecto a la Detección de Interferencias

De manera similar con los modelos BIM 3D realizados, se procedió a integrarlos y centralizarlos, para luego con ayuda del software Navisworks Manage, se realizó la búsqueda de conflictos con la herramienta “clash detective”, el cual superpone e integra los modelos generando un reporte automático de conflictos e interferencias, las cuales fueron posteriormente filtradas y revisadas, debido a que es necesario discernir entre cuáles de todas las interferencias son las relevantes.

Por ejemplo, en la Figura N°5.10 se observa que el ducto de monóxido está interfiriendo y cruzando una zapata aislada; por lo que, posteriormente se tuvo que cambiar el recorrido de dicho ducto.

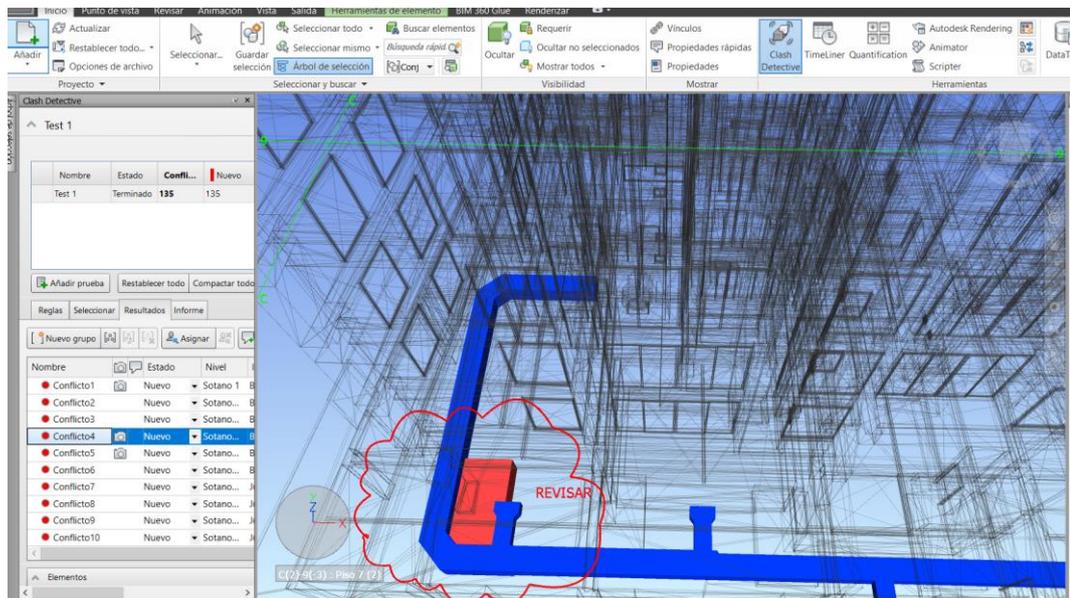


Figura N°5.10 RFI N°54 Interferencia encontrada con Navisworks.  
Fuente: Elaboración propia.

Otro ejemplo se puede ver en la Figura N°5.11, en donde existe una interferencia entre una viga de cimentación con la rampa de ingreso vehicular al sótano, por lo que la solución que se propuso fue la de bajar el nivel de la zapata unos 20cm.

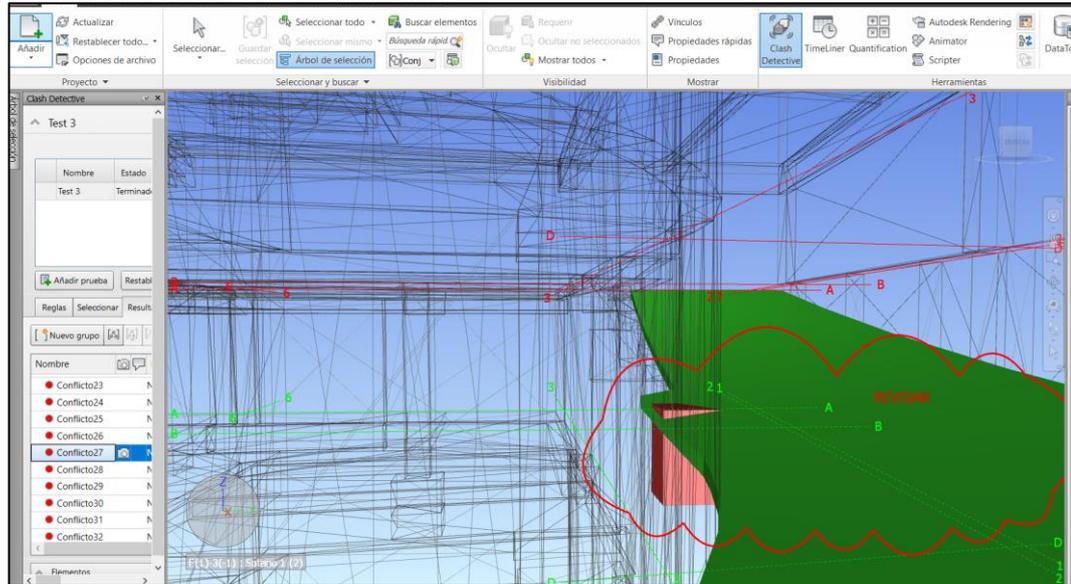


Figura N°5.11 RFI N°90 Interferencia encontrada con Navisworks.  
Fuente: Elaboración propia.

### Generación de las Solicitudes de Información ( RFI)

Durante la etapa previa a la construcción mediante la generación del modelo y durante la construcción, se identificaron adicionalmente a las interferencias e incompatibilidades algunas consultas de confirmación y/o aclaración, aprobación y/o sugerencias de cambio, omisión de información y otros, los cuales se agruparon mediante RFI, para luego ser reportados hacia el cliente y los proyectistas involucrados con la finalidad de poder realizar el levantamiento respectivo de las mismas (ver Anexo N°02). En este proceso se identificaron y levantaron un total de 138 solicitudes de información, asimismo, a su vez se actualizaron los planos y los modelos en Revit (ver anexos N°03 y N°04).

### Respecto al Plan Maestro

En lo concerniente al plan maestro, durante la etapa previa a la construcción se realizó el plan maestro mediante el uso de un diagrama en barras Gantt, como se observa en la Figura N°5.12, y también mediante el uso de líneas de balance, como se observa en la Figura N°5.13. Cabe mencionar que en los Anexos N°05 y N°06 respectivamente también se adjunta el plan maestro desarrollado mediante las formas mencionadas anteriormente.

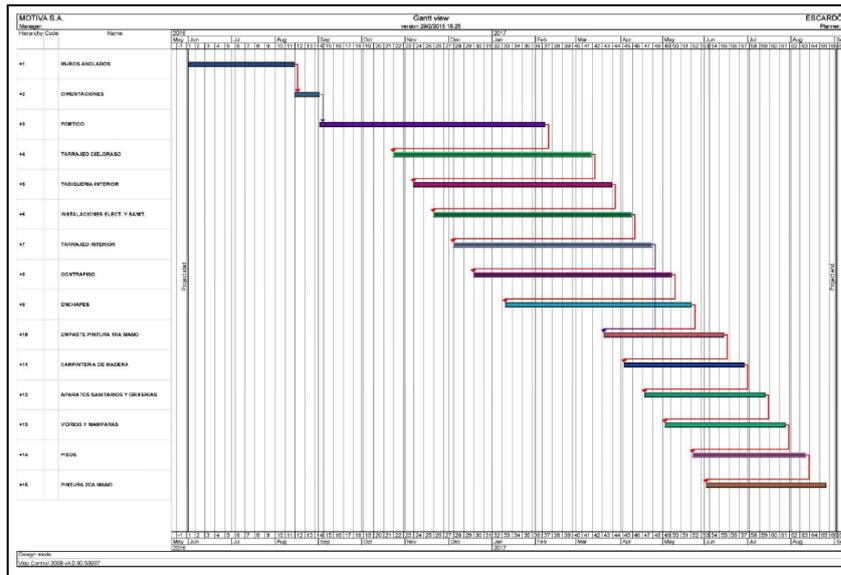


Figura N°5.12 Plan maestro mediante barras gantt.  
Fuente: Elaboración propia.

El plan maestro desarrollado mediante diagramas de barras Gantt (Figura N°5.12) fue usado básicamente para poder controlar las fechas de inicio y fin de las partidas e hitos contractuales de la obra.

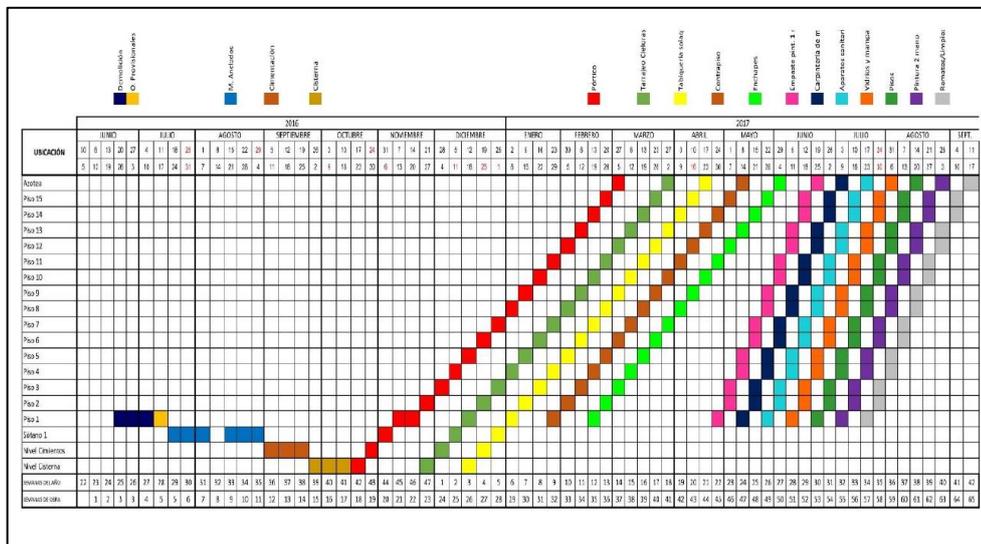


Figura N°5.13 Plan maestro mediante líneas de balance.  
Fuente: Elaboración propia.

En el plan maestro desarrollado mediante líneas de balance (Figura N° 5.13) se puede observar claramente las actividades de cada fecha, su correspondiente ubicación por pisos y hasta su ritmo de avance, el cual fue usado en obra para planificar un cronograma que se adecue a las metas internas del equipo de obra.

Se añadió al modelo 3D algunos elementos de importancia, como la disposición de equipos, maquinarias y espacios para la logística y el almacenamiento, es decir, un layout en 3D que servirá para optimizar el uso del espacio en obra, tal como se pueden apreciar en el Anexo N°07. Asimismo, tales layout de obra sirvieron para poder identificar visualmente posibles riesgos en la construcción, de esa manera, pudo contribuir también en parte con la seguridad de la obra. Se presentó vistas en base al modelo 3D de las zonas de seguridad y de riesgo, protección para el tránsito peatonal y circulación de la obra, los cuales aportaron una mejor visualización y rápida comprensión e identificación de aquellas zonas inseguras para prevenir posibles accidentes, que podrían conllevar a pérdidas tanto en tiempo como en costos en el proyecto, tal como se puede apreciar en el Anexo N°08.

## 5.2 ETAPA 02

Del plan maestro se tuvieron en cuenta las fechas límites e hitos de cada fase, luego, para el desarrollo del plan de fases se realizó el agrupamiento de actividades similares en tiempo y localización que tengan una secuencia dependiente. En la Figura N°5.14 se muestra el agrupamiento de las actividades incluidas en las diferentes fases. Se agruparon en cuatro fases, de las cuales, las últimas dos se subdividieron en más subfases para la mejor aplicación del Last Planner System.

## PLAN DE FASES

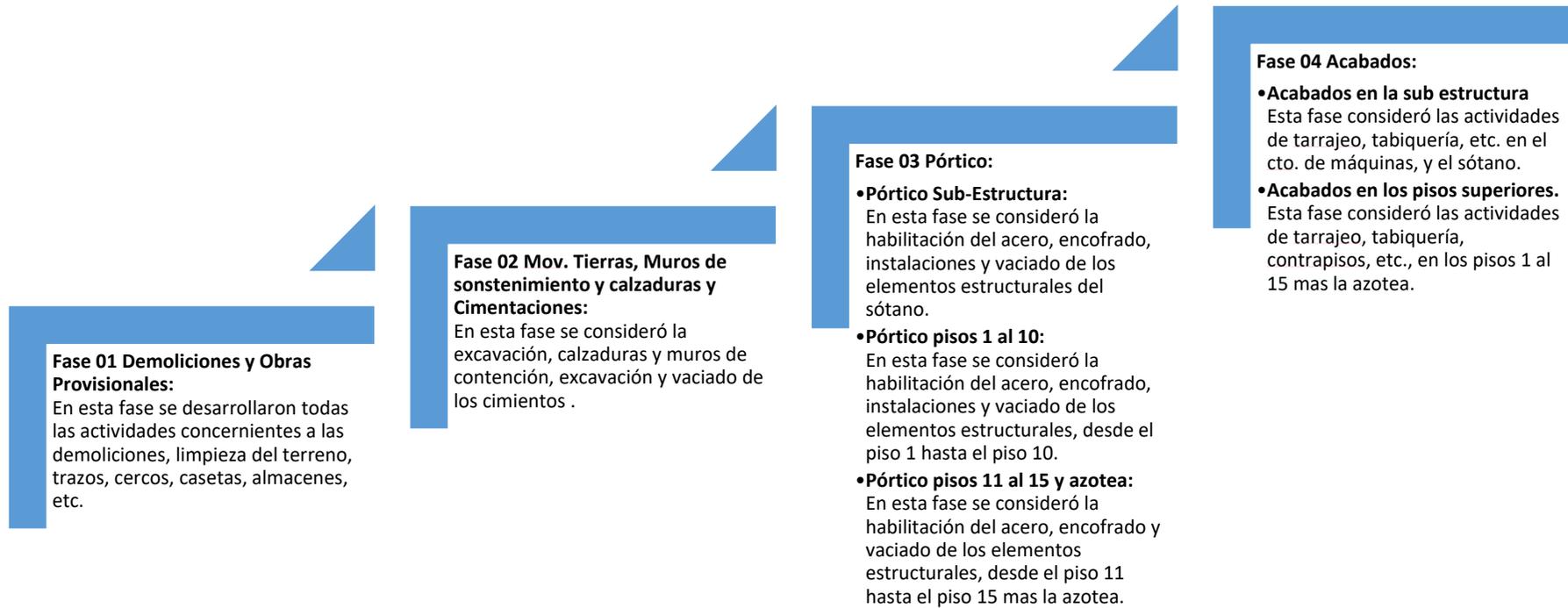


Figura N°5.14 Plan de Fases.  
Fuente: Elaboración propia.

La metodología del last planner con el BIM, se aplicó principalmente en la fase 02, 03 y la fase 04, sin embargo, en esta última solo se pudo aplicar en determinadas partidas como el asentado de la tabiquería, tarrajeo interior (vigas, columnas, cielo raso) y solaqueo. Cabe mencionar que en las fases iniciales de la construcción se fue aplicando de manera progresiva el uso de los modelos BIM.

El modelo BIM en esta etapa, se usó para la extracción de los metrados, visualización de las secuencias constructivas iterando y escogiendo la sectorización mejor balanceada. Por ejemplo, en la Figura N°5.15 se observa la sectorización de las calzaduras y el cuadro de metrados respectivo.

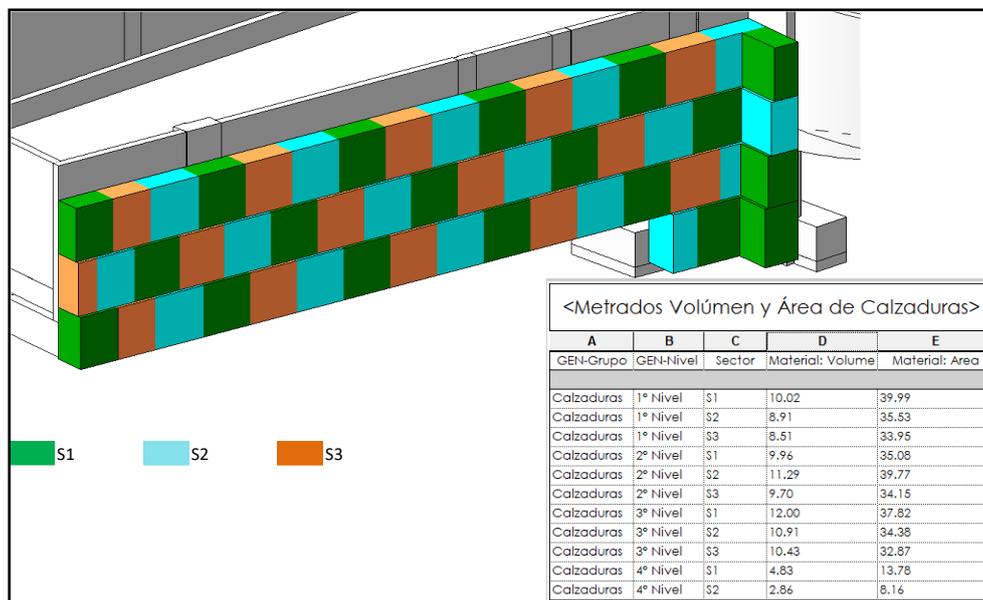


Figura N°5.15 Sectorización de calzaduras.  
Fuente: Elaboración propia

De manera similar, en la Figura N°5.16 se observa la sectorización de los muros de sostenimiento con sus respectivos metrados.

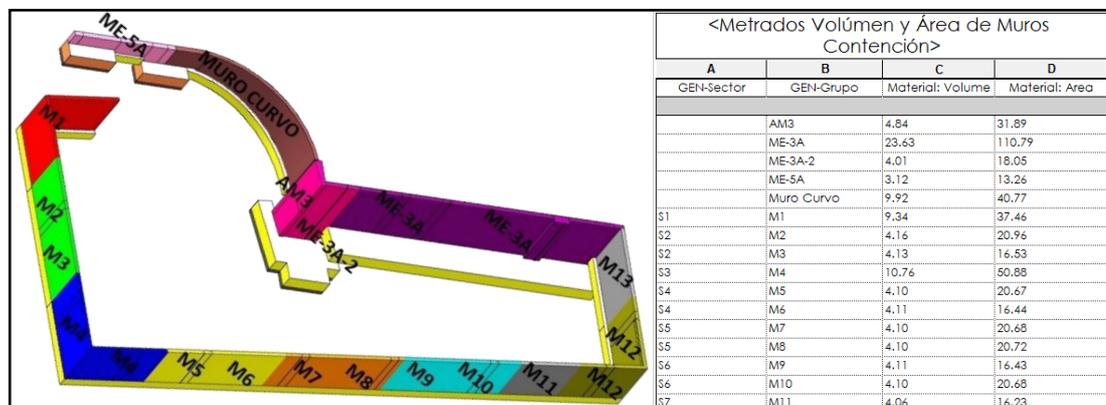


Figura N°5.16 Sectorización de muros de sostenimiento.  
Fuente: Elaboración propia

De manera análoga se prosiguió para la obtención de metrados de los cimientos, zapatas y vigas de cimentación, como se observa en la Figura 5.17.

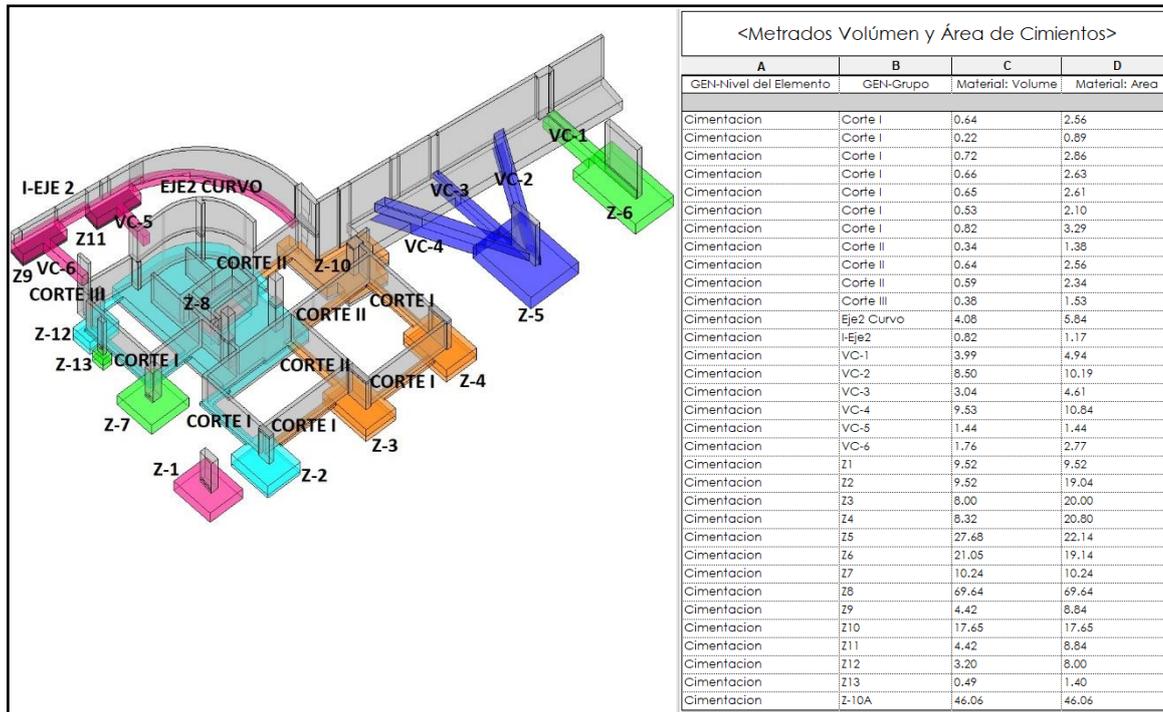


Figura N°5.17 Metrados de Cimentación  
Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 5.18 se observa la sectorización del casco del sótano de la estructura, tanto de los elementos horizontales como de los verticales.

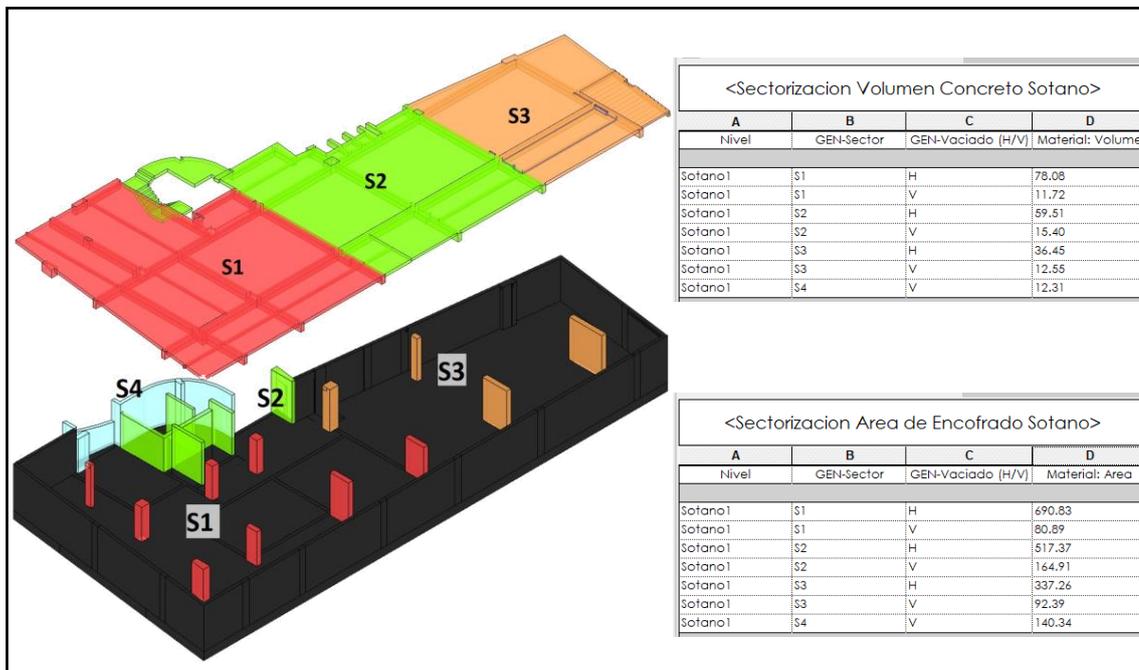


Figura N°5.18 Sectorización del casco sótano.  
Fuente: Elaboración propia

Así mismo, la obtención de los metrados y la sectorización para los primeros pisos típicos de la superestructura se observa en la Figura N°5.19; para esa fase se dividió el casco en tres sectores.

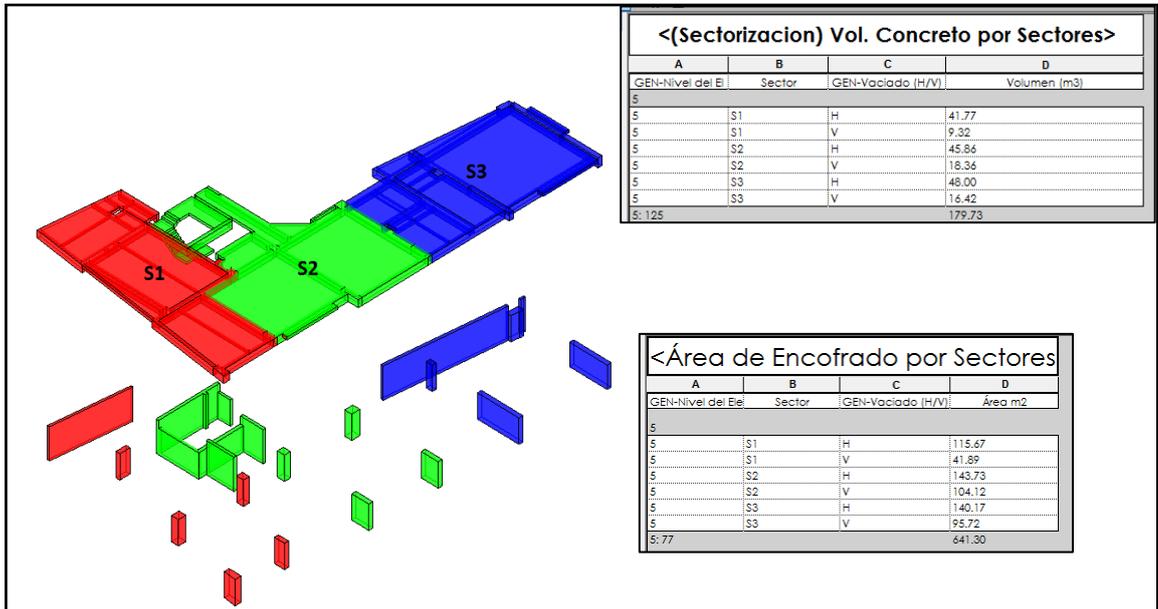


Figura N°5.19 Sectorización del casco para pisos del 1 al 10.  
Fuente: Elaboración propia.

La Figura N°5.20 muestra la sectorización realizada en el modelo en Revit, para la secuencia de trabajo que se escogió para los últimos pisos del casco en la superestructura. Para esa fase se optó por dividir el casco en sólo dos sectores, por la geometría de la planta.

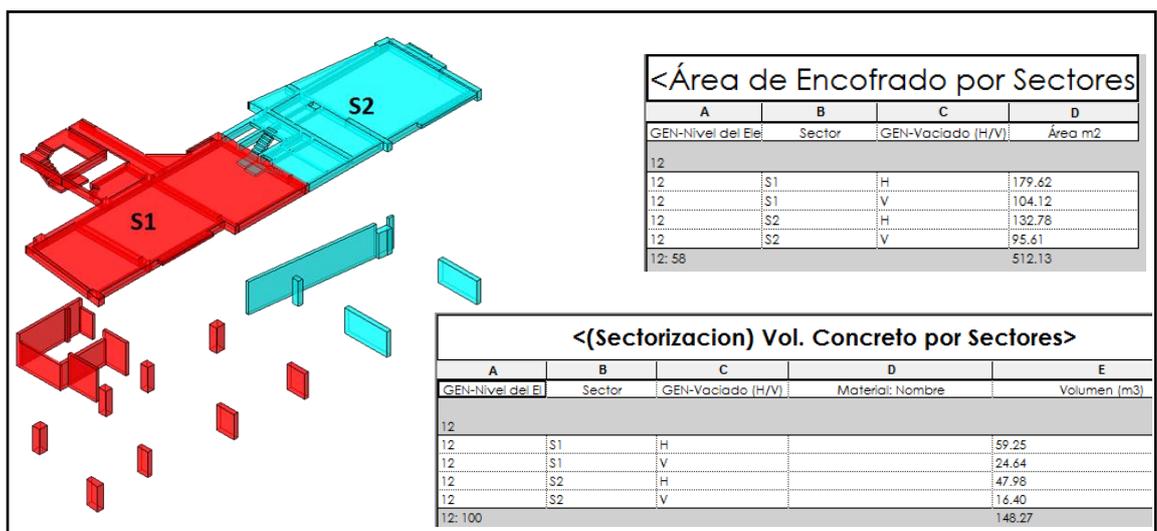


Figura N°5.20 Sectorización del casco para pisos del 11 al 15.  
Fuente: Elaboración propia

De manera similar se realizó posteriormente para la sectorización en la fase de acabados, como se muestra en las siguientes Figuras N°5.21, N°5.22 para el asentado, solaqueado de la tabiquería, en el que se dividió el modelo en cuatro sectores; las áreas que se muestran corresponden a los m<sup>2</sup> de asentado de la tabiquería.

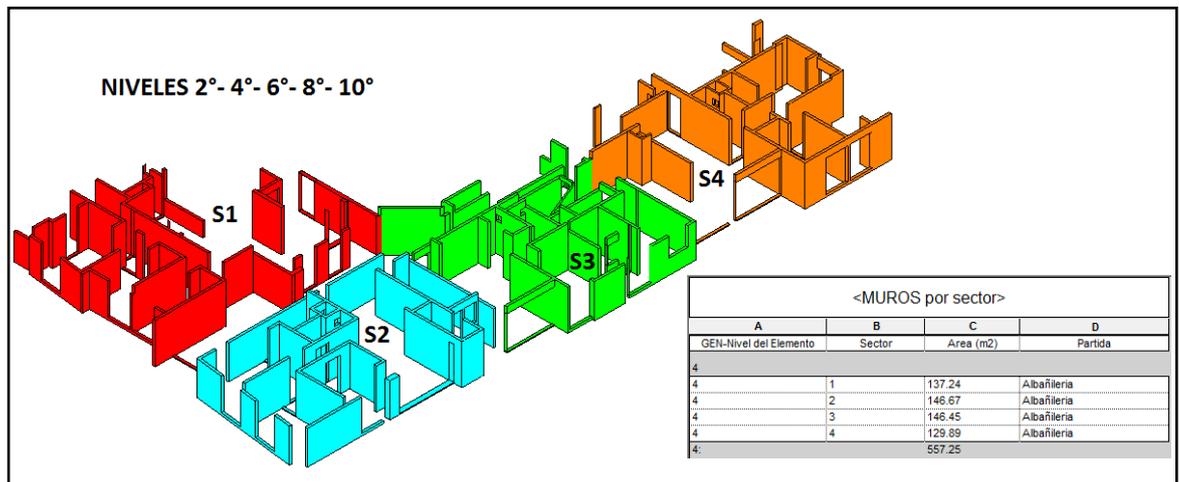


Figura N°5.21 Sectorización para la albañilería pisos 2, 4, 6, 8 y 10  
Fuente: Elaboración propia.

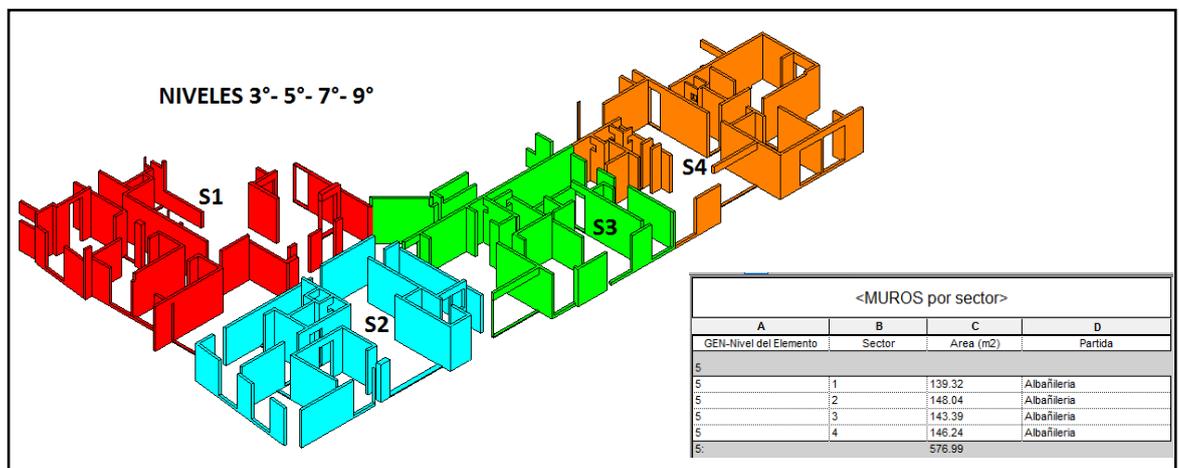


Figura N°5.22 Sectorización para la albañilería pisos 1, 3, 5, 7 y 9.  
Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, se puede observar en la Figura N°5.23, la cual muestra la sectorización y obtención de metrados para el tarrajeo del cielo raso, en el que se dividió el modelo en 4 sectores.

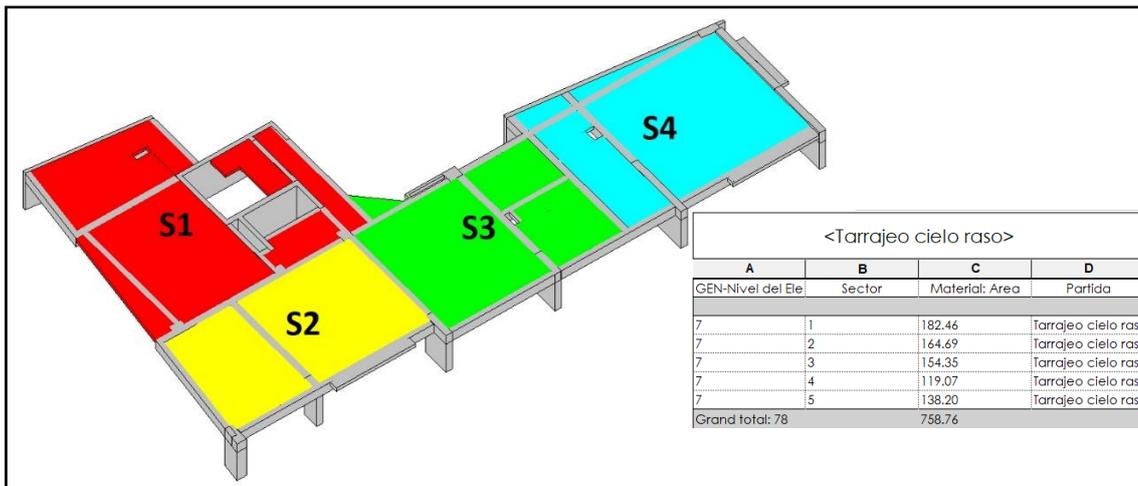


Figura N°5.23 Sectorización para el tarrajeo de cielo raso.  
Fuente: Elaboración propia.

5.3 ETAPA 03:

En esta tercera etapa se tomó el plan de fases desarrollado previamente, y se amplió una ventana de 3 semanas en el cuál primeramente desarrollamos el lookahead de manera tradicional. Por ejemplo, en la Tabla N° 5.1 se observa el lookahead clásico desarrollado en una hoja excel para la subestructura del casco, con un horizonte de tres semanas.

Tabla N°5.1 Lookahead de subestructura.

SUBESTRUCTURA		SEM 27					SEM 28					SEM 29								
		04/07/16	05/07/16	06/07/16	07/07/16	08/07/16	09/07/16	11/07/16	12/07/16	13/07/16	14/07/16	15/07/16	16/07/16	18/07/16	19/07/16	20/07/16	21/07/16	22/07/16	23/07/16	
ACTIVIDADES		L	M	M	J	V	S	L	M	M	J	V	S	L	M	M	J	V	S	
SÓTANO	Mov. De tierras	Excavación Masiva	NPT -2.55	-2.55	-3.40	-3.40														
		Excavación de banqueta	E4,9	E4,9	E4,9	E4,9	E4,9	E4,9	E4,9	E4,9	E4,9	E4,9	E4,9							
		Perfilado	E 4,9	E 4,9	E 4,9	E 4,9	E 4,9	E 4,9	E 4,9	E 4,9	E 4,9	E 4,9	E 4,9							
		Lechada	E 4,9	E 4,9	E 4,9	E 4,9	E 4,9	E 4,9	E 4,9	E 4,9	E 4,9	E 4,9	E 4,9							
	Calzadura	Excavación calzaduras	5 CE4	SCE4	1CE4															
		Perfilado	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	1CE4						
		Lechada	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	1CE4						
		Encofrado de calzaduras	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	1CE4						
		Concreto calzaduras	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	SCE4	1CE4						
	Cimiento corrido	Excav. de cimiento corrido					M4	M1	M7,8	M12	M2,3	M5,6	M10,11	M9	M13					
		Solado cimiento corrido					M4	M1	M7,8	M12	M2,3	M5,6	M10,11	M9	M13					
		Acero cimiento corrido					M4	M1	M7,8	M12	M2,3	M5,6	M10,11	M9	M13					
		Encof. de cimiento corrido					M4	M1	M7,8	M12	M2,3	M5,6	M10,11	M9	M13					
		Concreto cimiento corrido					M4	M1	M7,8	M12	M2,3	M5,6	M10,11	M9	M13					
	Muro de contención	Acero en muro							M4	M1	M7,8	M12	M2,3		M5,6	M10,11	M9	M13	ME-3A	ME-3A
		Encofrado de muro							M4	M1	M7,8	M12	M2,3		M5,6	M10,11	M9	M13	ME-3A	ME-3A
		Concreto de muro							M4	M1	M7,8	M12	M2,3		M5,6	M10,11	M9	M13		ME-3A
	Zapatas y V.C.	Excavación													Z-10A					
		Solado													Z-10A					
		Acero													Z-10A	Z-10A				
Encofrado															Z-10A					
Concreto																		Z-10A		

Fuente: Elaboración propia.

De forma similar, en la Tabla N°5.2 se observa el lookahead tradicional desarrollado para la superestructura del casco, con un horizonte de tres semanas, y tren de cuatro días, donde cada color mostrado representa un sector distinto.

Tabla N°5.2 Lookahead del casco.

SUPERESTRUCTURA	Semana 38						Semana 39						Semana 40					
	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa
Actividades	21-09	22-09	23-09	24-09	25-09	26-09	27-09	28-09	29-09	30-09	01-10	02-10	03-10	04-10	05-10	06-10	07-10	08-10
Acero Vert.	S2P2	S3P2		S1P3	S2P3		S3P3		S1P4	S2P4	S3P4			S1P5	S2P5	S2P5		
Encofrado Vert.	S2P2	S3P2		S1P3	S2P3		S3P3		S1P4	S2P4	S3P4			S1P5	S2P5	S2P5		
Concreto Vert.	S2P2	S3P2		S1P3	S2P3		S3P3		S1P4	S2P4	S3P4			S1P5	S2P5	S2P5		
Acero Viga	S1P2	S2P2	S3P2		S1P3		S2P3	S3P3		S1P4	S2P4		S3P4		S1P5	S2P5	S2P5	
Encofrado Viga	S1P2	S2P2	S3P2		S1P3		S2P3	S3P3		S1P4	S2P4		S3P4		S1P5	S2P5	S2P5	
Encofrado Losa	S1P2	S2P2	S3P2		S1P3		S2P3	S3P3		S1P4	S2P4		S3P4		S1P5	S2P5	S2P5	
Ladrillo techo		S1P2	S2P2	S3P2			S1P3	S2P3	S3P3		S1P4		S2P4	S3P4		S1P5	S2P5	
Acero Losa		S1P2	S2P2	S3P2			S1P3	S2P3	S3P3		S1P4		S2P4	S3P4		S1P5	S2P5	
IISS, IIEE		S1P2	S2P2	S3P2			S1P3	S2P3	S3P3		S1P4		S2P4	S3P4		S1P5	S2P5	
Concreto Horiz.	S3P1		S1P2	S2P2	S3P2			S1P3	S2P3	S3P3			S1P4	S2P4	S3P4		S1P5	

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, de forma análoga en la Tabla N°5.3 se muestra por ejemplo el lookahead de acabados con una proyección de tres semanas hacia delante, para las partidas de tarrajeo interior, asentado de tabiquería y solaqueo, cabe mencionar que cada color representa un nivel diferente.

Tabla N°5.3 Lookahead de acabados.

FECHA	SEMANA 50							SEMANA 51							SEMANA 52						
	12/12/16	13/12/16	14/12/16	15/12/16	16/12/16	17/12/16	18/12/16	19/12/16	20/12/16	21/12/16	22/12/16	23/12/16	24/12/16	25/12/16	26/12/16	27/12/16	28/12/16	29/12/16	30/12/16	31/12/16	01/01/17
ACTIVIDAD	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
TARRAJEO CIELO	Entarimado de andamio																				
RASO VIGAS Y COLUMNAS	Tarrajeo de cieloraso																				
	Tarrajeo de vigas y columnas																				
	Limpieza gruesa																				
ALBAÑILERÍA	Trazo y replanteo albañilería																				
	Anclaje de acero muros																				
	Instalaciones sanitarias																				
	Instalaciones Eléctricas																				
	Instalaciones de gas																				
	Muro de king block																				
	Cuadre de cajas eléctricas y IISS																				
	Solaqueo de muros king block																				
Derrames interiores																					

Fuente: Elaboración propia.

El desarrollo de los lookahead realizados de manera tradicional mostrados anteriormente, es la base que se necesita para poder complementarlo con la información que nos brinde el modelo en Revit. En esta etapa, el modelo se utilizó para cuantificar el metrado de varias partidas proyectadas para las 3 a 4 semanas siguientes, a partir del cual en función al análisis de costos unitarios se calcularon los insumos requeridos para el cumplimiento de la programación.

Posteriormente, se usó el modelo para validar y hacer visible el lookahead mediante una simulación constructiva, con un horizonte de 3 semanas. El procedimiento que se realizó fue el siguiente:

- Tal como se observa en la Figura N°5.24 se exportó el modelo generado en Revit al software Navisworks, en formato “NWC”

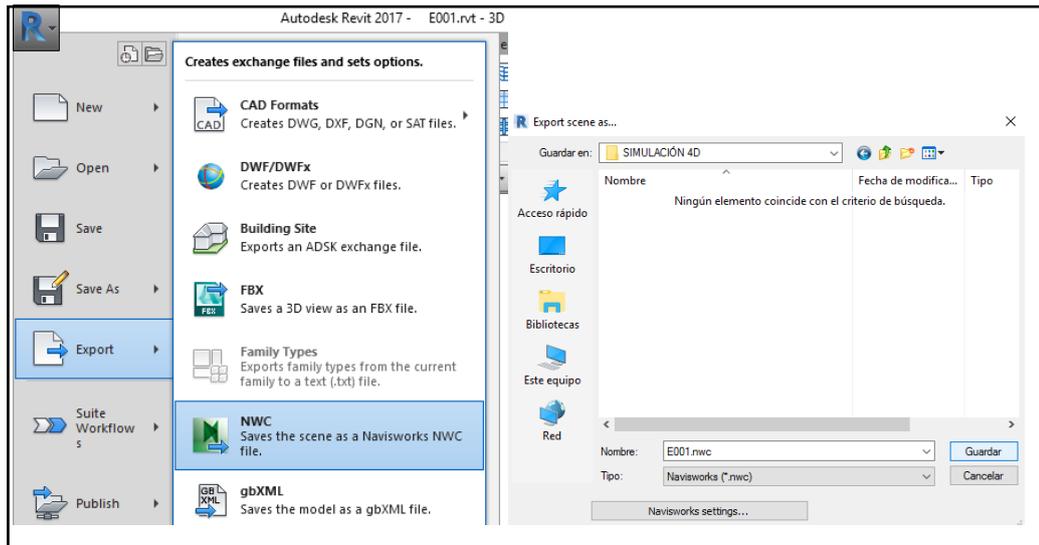


Figura N°5.24 Exportando de Revit a Navisworks.  
Fuente: Elaboración propia.

- Una vez abierto el modelo en Navisworks, con la herramienta TimeLiner se trasladó la programación dentro del software, tal como se observa en la Figura N°5.25.

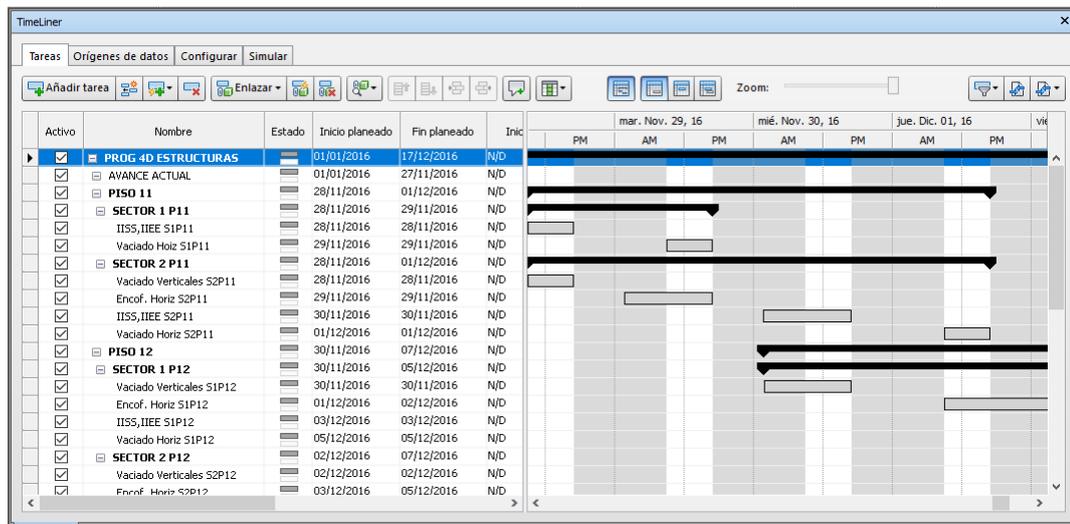


Figura N°5.25 Lookahead en Navisworks.  
Fuente: Elaboración propia

- Luego, en la Figura N° 5.26, se observa que se seleccionó cada uno de los elementos del modelo y se los enlazó a las actividades correspondientes del lookahead, mediante herramientas de selección tipo vínculos, los cuales se quedaban grabados y se volvían a utilizar en casos de asignaciones semejantes. De esta manera se agilizó la programación dentro del TimeLiner

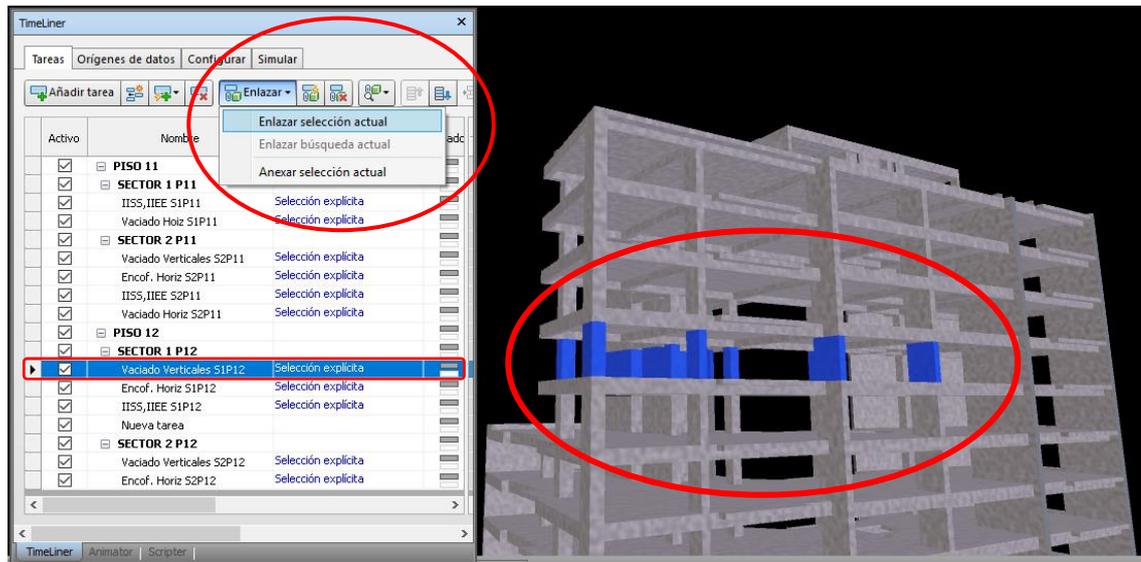


Figura N°5.26 Vinculación de elementos a la programación.

Fuente: Elaboración propia.

- Posteriormente, en la pestaña de Configuración del TimeLiner, se asignó definiciones de aspectos mediante colores, para cada tipo de tarea, a fin de tener un mayor impacto visual en la percepción de las actividades, como se muestra en la Figura N°5.27.

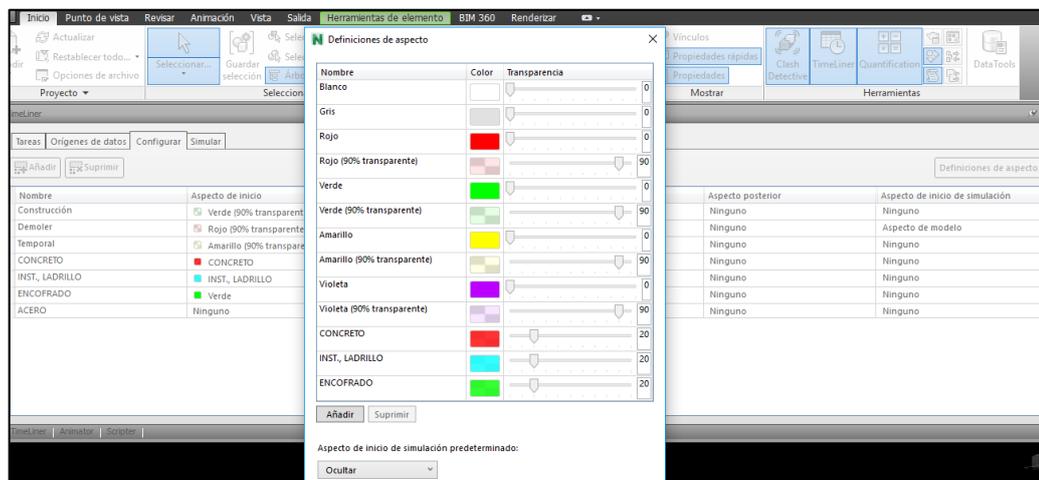


Figura N°5.27 Definición de colores según proceso constructivo.

Fuente: Elaboración propia.

- Finalmente, la Figura N° 5.28 muestra las configuraciones de duración, modos de inicio, textos de descripción de la simulación, etc. que se realizaron en la pestaña de Simulación del Timeliner.

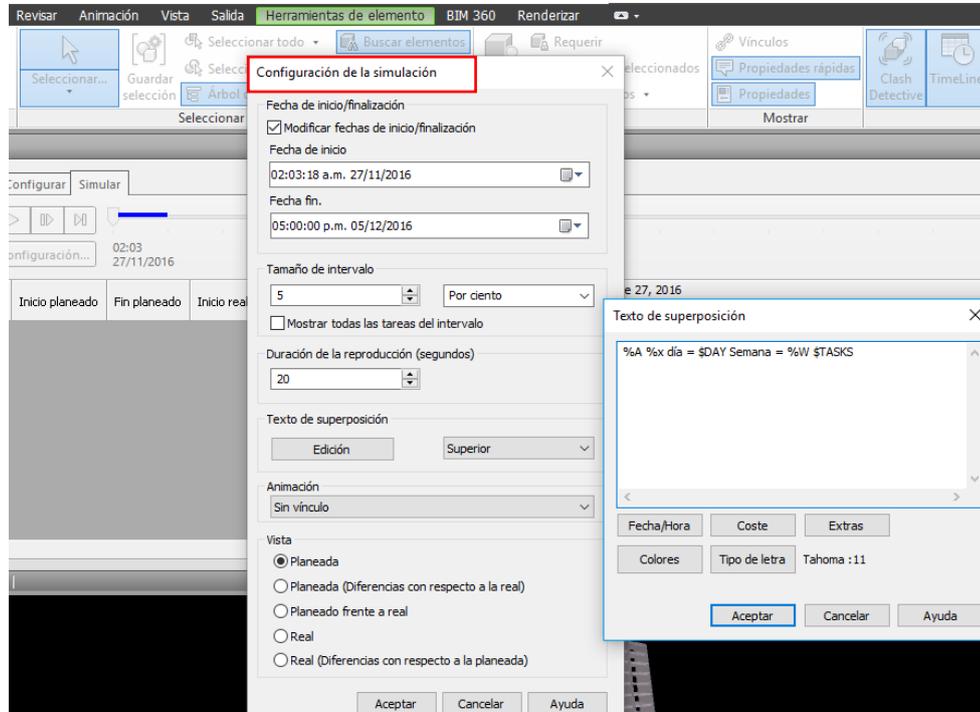


Figura N°5.28 Configurando simulación 4D.  
Fuente: Elaboración propia.

- Dando como resultado la elaboración de un cronograma visualmente más comprensible y brindando confiabilidad al proceso, al cual llamaremos lookahead 4D, como se observan en las Figuras N°5.29 y N°5.30 siguientes; y mediante el cual se pretende reducir la brecha entre lo planificado y lo real.

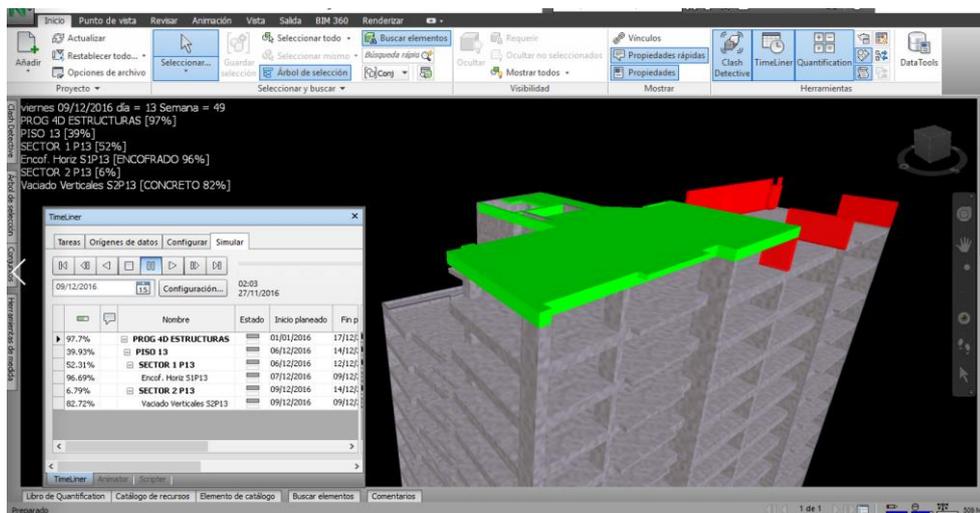


Figura N°5.29 Lookahead 4D con Navisworks.  
Fuente: Elaboración propia.

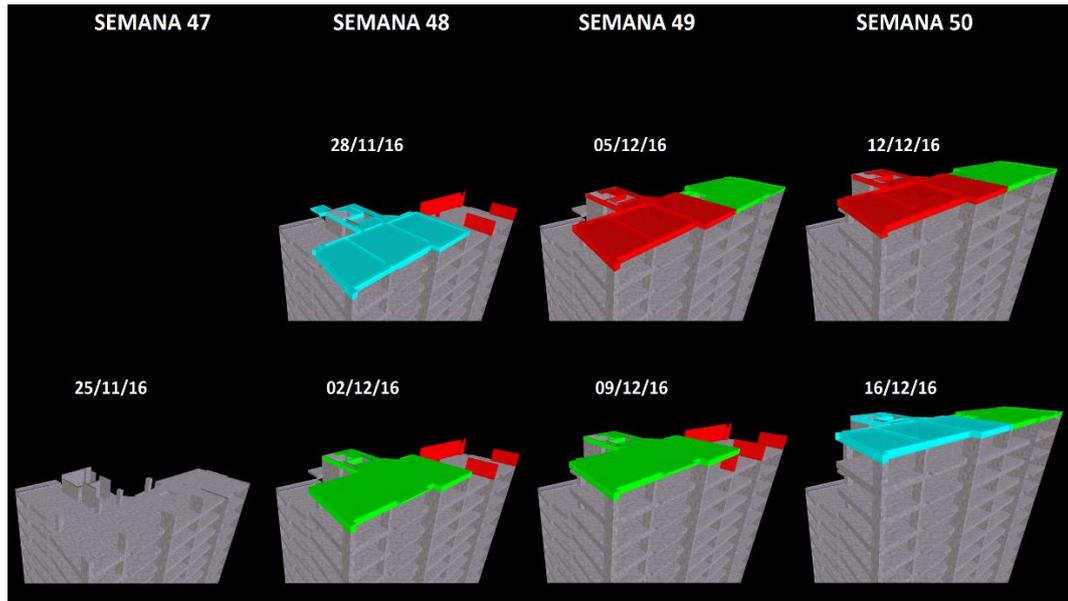


Figura N°5.30 Lookahead 4D con Navisworks.  
Fuente: Elaboración propia.

En las reuniones semanales se escogía y se debatía con los integrantes jefes de cuadrillas (Last planners) las posibilidades de usar la secuencia escogida y planteada por el lookahead, con el cual se mostraba gráficamente, con ayuda del modelo mediante una simulación constructiva (realizada en navisworks), como sería el avance en una ventana de 4 semanas, es decir, haciendo un primer ensayo virtual en 4D de cómo se ejecutará (first run studies).

Ello se realizó con la finalidad de encontrar posibles problemas a futuro y a su vez escuchar posibles soluciones, y/o mejoras a los problemas encontrados de la propuesta planteada, es decir, hacer un análisis de restricciones revisando todas aquellas restricciones que podían solucionarse (screening); para lo cual también se incluyeron dentro del análisis los requerimientos de información (RFI), los cuales con apoyo del modelo fueron identificados en su mayoría previa a la etapa constructiva, y un grupo más reducido en la etapa de construcción. Por lo que, dentro del análisis de restricciones también se incluyeron algunos RFI restantes que no llegaron a levantarse oportunamente.

Posteriormente, con apoyo del modelo, se fue gestionando todas las medidas necesarias mediante acuerdos, promesas, etc. (make ready) para liberar aquellas restricciones y dejarlas aptas para su realización. Por ejemplo, gracias al modelo se pudo cuantificar y anticiparnos a los requerimientos de cualquier tipo de recurso que tuviera un tiempo de entrega entre tres a seis semanas, este proceso nos

permitió asegurar la entrega a tiempo de los diferentes recursos que intervienen en nuestros procesos de producción. Todas estas restricciones se anotaban durante las reuniones, donde se planteaban y encontraban soluciones para su levantamiento, con la aprobación y el compromiso de los last planners ahí reunidos; tal como podemos apreciar en la Tabla N°5.4, donde se realizó el análisis de restricciones durante la semana 39.

Tabla N°5.4 Tabla Análisis de Restricciones.

ÁREA RESPONSABLE	DESCRIPCIÓN DE LA RESTRICCIÓN	TIPO DE RESTRICCIÓN	FECHA REQUERIDA	SEM. REQ.	FECHA COMPROMETIDA	SEM. COMI.	ESTADO	FECHA DE LEVANTAMIENTO	SEM. LEV.
LOGISTICA	LADRILLO DE TECHO	MAT.	29-Sep-16	39	29-Sep-16	39	LEVANTADA	29-Sep-16	39
OFICINA TECNICA	BASTIDORES PARA VIGAS	EQ.	27-Sep-16	39	27-Sep-16	39	LEVANTADA	27-Sep-16	39
11. OFICINA TÉCNICA	DETERMINAR CANT. DE VARILLAS DE ACERO	INF.	26-Sep-16	39	26-Sep-16	39	LEVANTADA	26-Sep-16	39
11. OFICINA TÉCNICA	ENVIAR PROGRAMACIÓN DE CONCRETO	MAT.	26-Sep-16	39	26-Sep-16	39	LEVANTADA	26-Sep-16	39
11. OFICINA TÉCNICA	DEFINIR CONTRATISTA DE DE ALBAÑILERÍA	MAT.	3-Oct-16	40	26-Sep-16	39	LEVANTADA	26-Sep-16	39
11. OFICINA TÉCNICA	SOLICITAR TUBOS DE DESMONTE	INF.	26-Sep-16	39	26-Sep-16	39	LEVANTADA	26-Sep-16	39
11. OFICINA TÉCNICA	DEFINIR ESCALERA DE SECTOR 3 PISO 2	INF.	26-Sep-16	39	26-Sep-16	39	LEVANTADA	26-Sep-16	39

Fuente: Elaboración Propia.

Las reuniones para el lookahead se plantearon los lunes de cada semana, en ella identificábamos todas aquellas actividades y/o requerimientos a futuro con una proyección de 3 a 6 semanas. En dichas reuniones participaban todos los jefes de cuadrillas, el almacenero, coordinador de obra, los ingenieros de campo, oficina técnica y el residente. Ese mismo día se elaboraba el acta de la reunión, el cual se enviaba en formato Excel; este contenía la planilla de actividades analizadas (ver Anexo N°09), y además mostraba la lista de los acuerdos y restricciones a liberar con las fechas acordadas. Este se enviaba a todos los asistentes vía correo, de tal manera que, durante el transcurso de los días, cada responsable enviaba su listado actualizado de restricciones liberadas, al encargado de las reuniones en oficina; este a su vez actualiza el estado general de las restricciones, donde indican responsable y fecha de liberación, con el tipo y descripción de la restricción, como se puede observar en la Tabla N°5.4 y el Anexo N°10.

Finalmente, se prepara la relación de actividades a analizar para la próxima reunión, la cual se envía mediante correos a los responsables para que vayan evaluando durante los últimos días de la semana, previa a la siguiente reunión, que se llevará a cabo la siguiente semana. La Figura N°5.31 muestra cómo se

planificó realizar las actividades necesarias antes de las reuniones para el lookahead y las actividades posteriores a ellas.

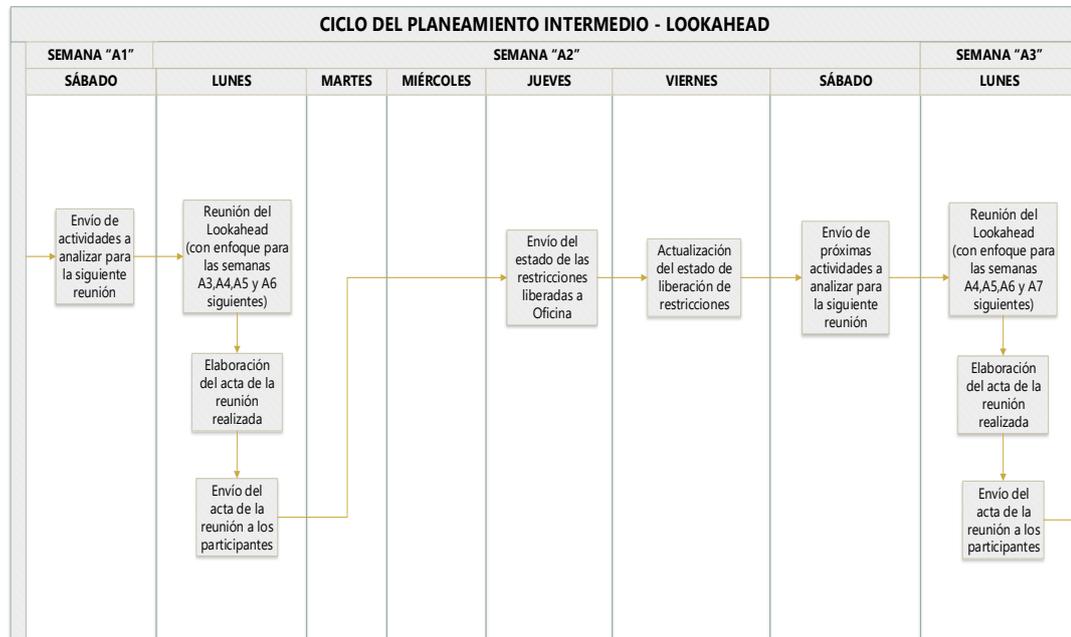


Figura N°5.31 Ciclo de Planeamiento Intermedio – Lookahead.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 5.4 ETAPA 04:

Todo el proceso del Last Planner System se representa finalmente en el Weekly Work Plan (Plan Semanal). En esta fase se listó cada una de las actividades de la semana día por día, que estaban aptas y libres de restricciones. Para su representación se optó por hacerlo mediante representaciones estáticas usando el modelo de Revit, pintando y mostrando lo que se realizará cada día con colores estandarizados según las actividades que realizarán.

Por ejemplo, en la Figura N°5.32, se puede observar la planificación para la semana N°27, la cual muestra gráficamente la secuencia planificada para la ejecución de las calzaduras; estas se realizaron a dos diferentes niveles o profundidades. La primera colindante con una vivienda unifamiliar de 2 pisos tiene un nivel de fondo a calzar de -5.20m y el segundo colindante al cerco, tiene un nivel de fondo de -7.60m. Donde el color amarillo del plan semanal representó los procesos de excavación, encofrado y concreto en calzaduras, y el color plomo representó a las calzaduras ya elaboradas. De esa manera resultó mucho más

fácil el entendimiento para los jefes de cuadrillas y los trabajadores, respecto a la ubicación e interpretación de lo programado a calzar para la semana a ejecutar.

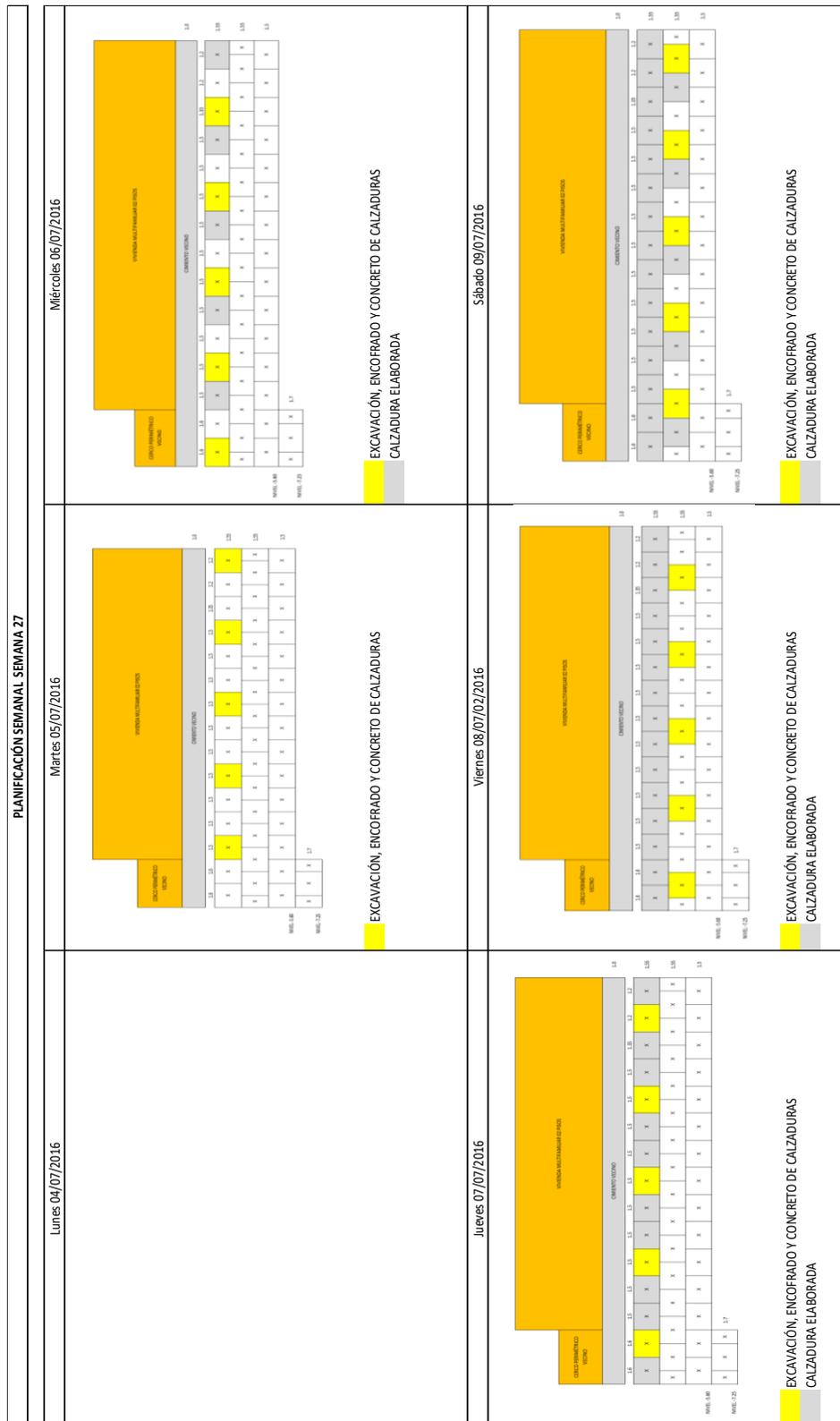


Figura N°5.32 Plan Calzaduras – Semana 28.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N°5.33 se puede observar, por ejemplo, como finalmente se trasladó en campo la planificación correspondiente para la ejecución de las calzaduras; en ella, se puede observar que se respetó la secuencia constructiva intercalada que se programó para su realización.



Figura N°5.33 Panel Fotográfico calzaduras.  
Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, en las zonas sin calzar se realizó la ejecución de los muros de contención, los cuales se ejecutaron de una manera alternada mediante banquetas provisionales. Por ejemplo, la Figura N°5.34 que muestra la

programación para la semana N°28, se observa de una forma muy clara, como se sectorizaron los muros, donde no había calzadura, en 13 partes; de tal manera que se avanzó primero con la excavación y perfilado tanto de las banquetas como del cimiento corrido (color naranja claro), luego el solado de la cimentación (celeste claro), al día siguiente la colocación del acero del cimiento y muro (color azul), ese mismo día se vacía el concreto del cimiento y al día siguiente el muro (color rojo), con un avance de 6.5 m<sup>3</sup> en muros por día en promedio.

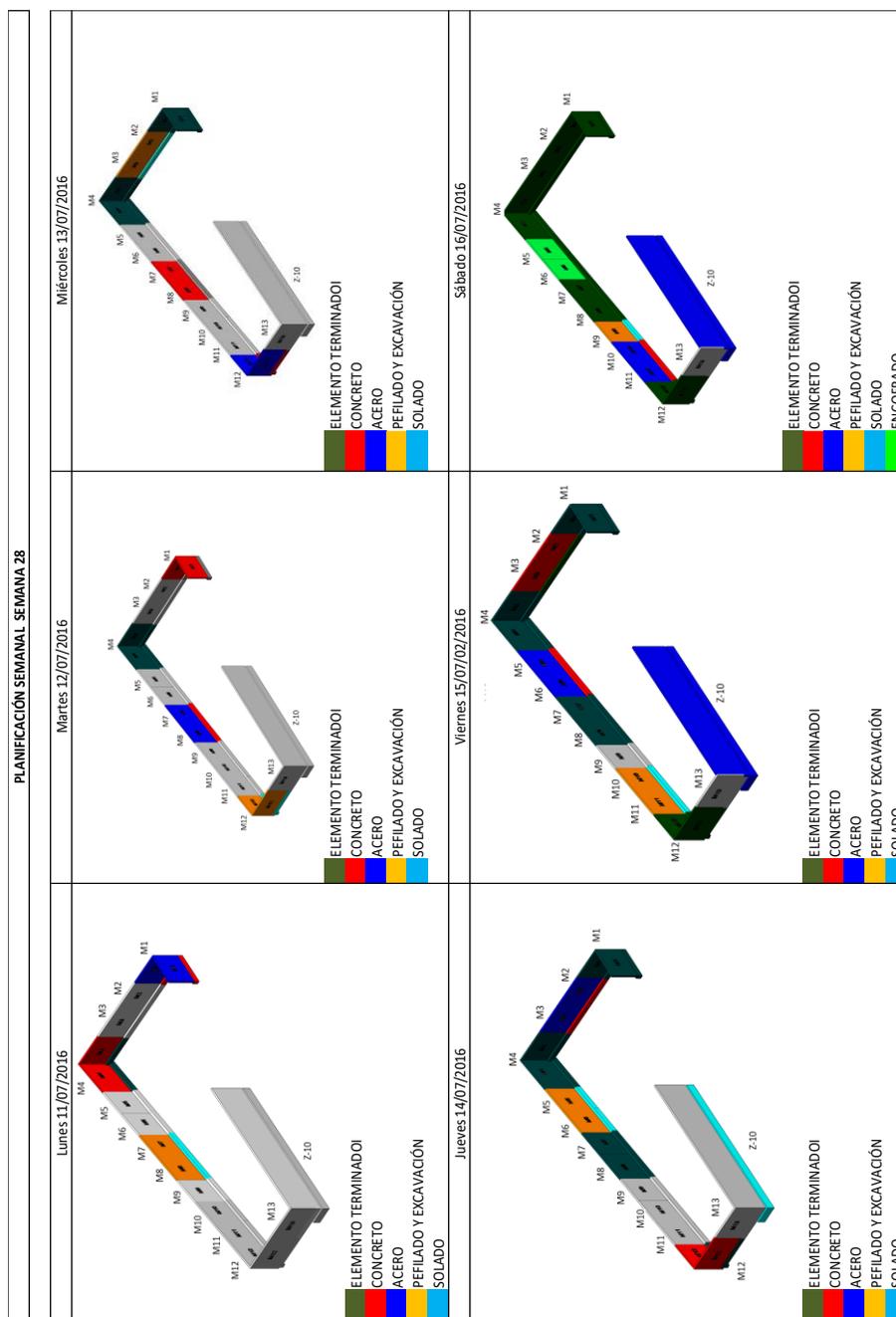


Figura N°5.34 Plan Visual Muros – Semana 28.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 5.35 se puede observar la puesta en marcha en la obra de la ejecución de los muros de sostenimiento del sótano, la cual se realizó de acorde a la programación descrita.



Figura N°5.35 Panel fotográfico Muros de Sostenimiento.  
Fuente: Elaboración propia.

Si bien la teoría indica que las restricciones se deben liberar en el lookahead, en la práctica esto no siempre sucede así, por ello, durante las reuniones del plan semanal se realizaba nuevamente un análisis más acertado de las restricciones, inquietudes o inconformidades de los involucrados, respecto a las actividades a corto plazo que necesitaban ser absueltas, ello es necesario para poder tener un plan más confiable.

Como, por ejemplo, en el caso de la Figura N°5.36, donde se muestra la programación visual de la semana 48 del casco que se dividió en sólo 2 sectores, durante la reunión semanal con todos los responsables de las cuadrillas, se planificaron y se mostraron a cada responsable, los trabajos que deberán de desarrollar durante la semana venidera, haciendo participar y escuchando a cada uno de ellos, sus opiniones acerca de la programación propuesta.

Durante la reunión surgió, en un principio, la restricción del espacio, puesto que por sólo haber 2 sectores parecía un impedimento para la ubicación de los materiales, como paneles, puntales, el acero, etc., ya que anteriormente se estaba trabajando en 3 sectores por tener mayor área y siempre había espacio de un sector disponible para ubicar los materiales necesarios para el encofrado y habilitación del otro sector; en cambio, ahora por ser sólo 2 sectores, durante la reunión se planteó una solución, proponiendo que se habilitara el encofrado de una parte de un sector mientras que se termine de vaciar el otro sector, y tener al día siguiente el espacio suficiente para materiales y herramientas en el sector previamente vaciado, a fin de terminar de habilitar el encofrado del primer sector faltante.

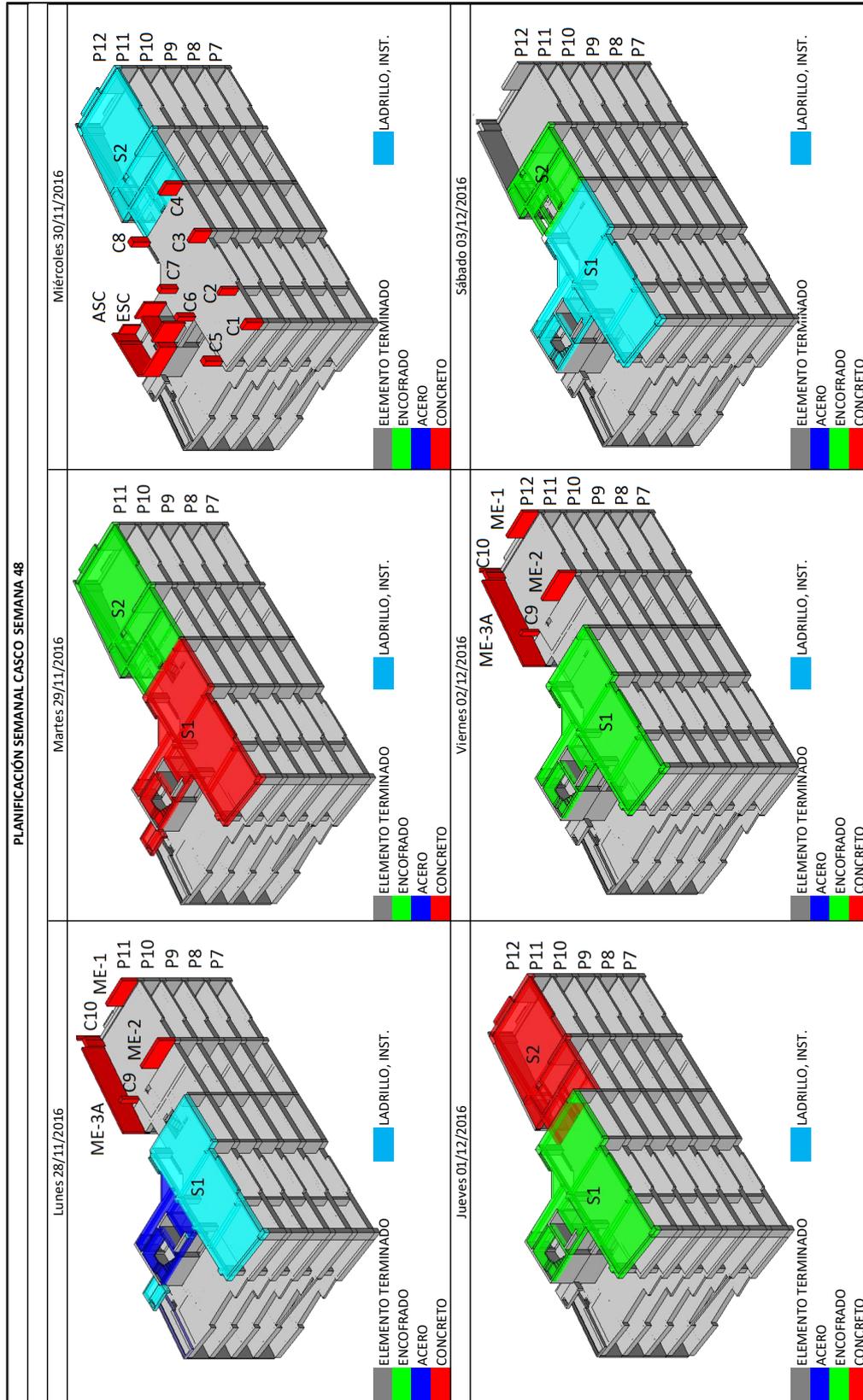


Figura N°5.36 Plan Visual – Semana 48.  
Fuente: Elaboración propia.

De manera complementaria, en la Figura N°5.37 se puede observar, por ejemplo, el vaciado de los elementos del 7° piso de la estructura, la cual se realizó por sectores de acuerdo con lo planificado.



Figura N°5.37 Panel fotográfico Casco 28-10-2016.  
 Fuente: Elaboración propia.

De forma similar, para el caso de la Figura N°5.38, se puede observar, por ejemplo, la planificación de acabados para la semana 50; en ella se propuso a los jefes de las cuadrillas de acabados sectorizar la planta en cuatro nuevos sectores. Inicialmente se juntó las actividades de asentado de tabiquería, cuadro de cajas eléctricas-sanitarias, solaqueo de muros y derrames en un tren de tres días, es decir, las actividades de cada uno de los cuatro sectores se realizarían en tres días. Además, también se juntó las actividades de entarimado y tarrajeo de cielo raso (color naranja), tarrajeo de vigas y columnas (color naranja), trazo y replanteo de albañilería (color rosado), anclaje de acero de muros (color azul), IISS-IIEE-gas (color cyan) en un tren de cinco días, es decir, ese grupo de actividades avanzaba cada sector en cinco días.

Dicha planificación se planteó en un principio para ver cómo sería la evolución de cada cuadrilla, y qué problemas encontraríamos, si es que esto no fuese posible de realizar durante la primera semana de prueba. De esa manera, en las reuniones se promovía la comunicación de una manera más visual, haciéndola más efectiva y amigable entre los last planners, para lograr promesas de trabajo y prever tareas suplentes.

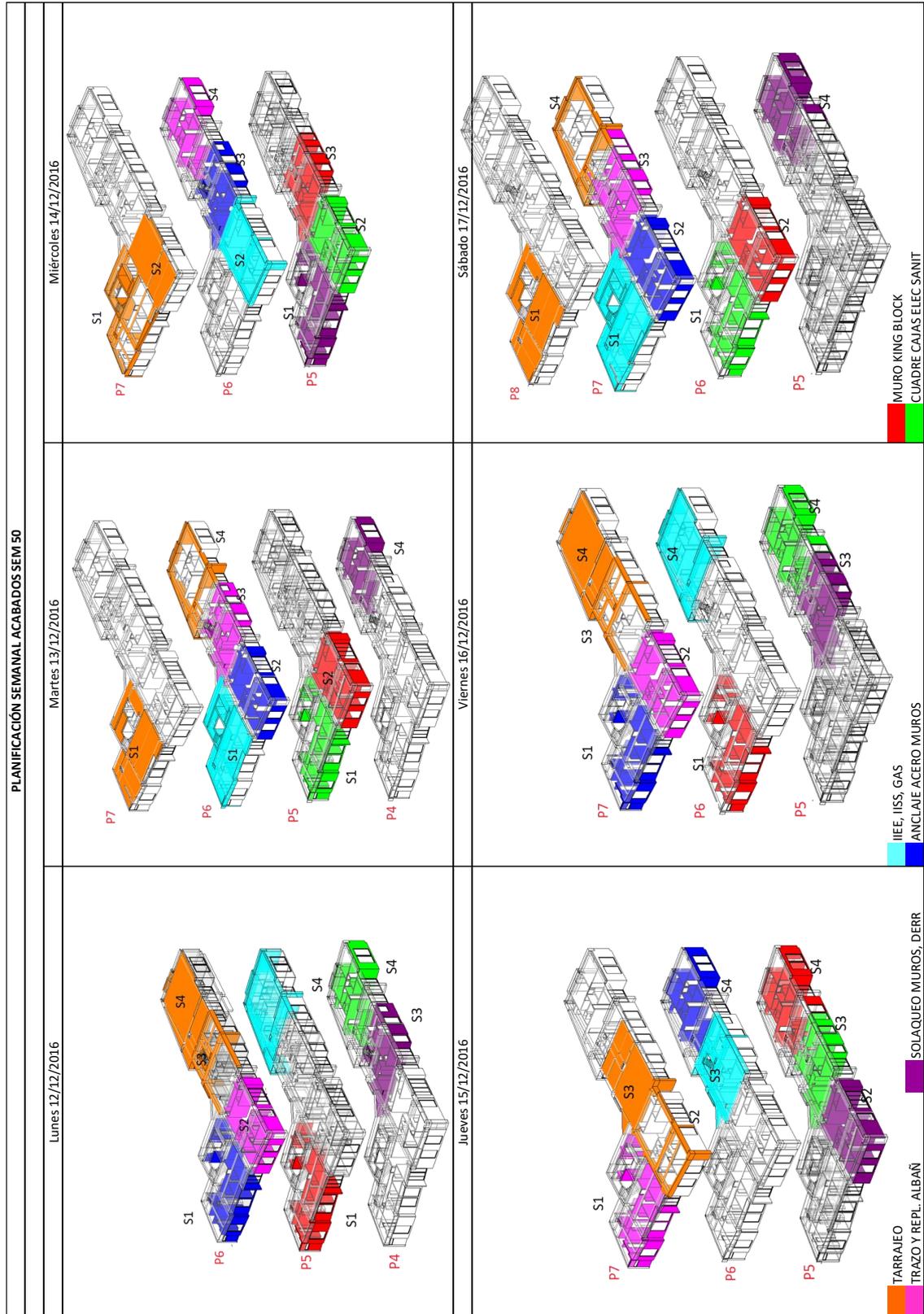


Figura N°5.38 Plan Visual Acabados – Semana 50.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 5.39, se puede observar, por ejemplo, la secuencia constructiva para los acabados, correspondientes al tarrajeo de elementos estructurales, trazo, instalaciones, asentado y solaqueo de tabiquería; de acorde al tren de actividades planificado.



Figura N°5.39 Plan fotográfico Acabados.  
Fuente: Elaboración propia.

El detalle del plan semanal constaba de dos partes, la primera parte es el detalle cualitativo, en el cual se listaban todas las partidas a nivel de actividades, con sus correspondientes ubicaciones como piso y sector para cada uno de los días del plan semanal; tal como se puede observar en la Tabla N°5.5, en ella, por ejemplo, se muestra el detalle cualitativo del plan que se desarrolló para la semana 50, en donde cada color representa una actividad diferente.

Tabla N°5.5 Plan Semanal Cualitativo – Semana 50.

						CUALITATIVA						
						SEMANA 50						
Item	Piso	Detalle	Actividad	Cant.	Unid.	L 12/12/2016	M 13/12/2016	M 14/12/2016	J 15/12/2016	V 16/12/2016	S 17/12/2016	D 18/12/2016
<b>PRECURSORES 4</b>												
1.00	PISO 04	King Block	Solaqueo muro king block	576.00	m2	S3	S4					
1.00			Instalaciones eléctricas y gas	1.00	glb	S4						
2.00			Instalaciones sanitarias	1.00	glb	S4						
3.00	PISO 05	King Block	Asentado muro King Block	578.00	m2	S1	S2	S3	S4			
4.00			Solaqueo muro king block	1,156.00	m2			S1	S2	S3	S4	
5.00			Trazo albañilería	336.00	m2	S2	S3	S4				
6.00			Anclaje de Acero en muro King Block	1,156.00	kg	S1	S2	S3	S4			
7.00	PISO 06	King Block	Instalaciones eléctricas y gas	4.00	glb		S1	S2	S3	S4		
8.00			Instalaciones sanitarias	4.00	glb		S1	S2	S3	S4		
9.00			Asentado muro King Block	288.00	m2					S1	S2	
10.00		Tarrajeos	Tarrajeo de cieloraso	75.00	m2	S4						
11.00			Tarrajeo de vigas y columnas	116.00	m2	S3	S4					
12.00		Tarrajeos	Tarrajeo de cieloraso	300.00	m2		S1	S2	S3	S4		
13.00			Tarrajeo de vigas y columnas	232.00	m2			S1	S2	S3	S4	
14.00			Trazo albañilería	336.00	m2				S1	S2	S3	
15.00	PISO 07	King Block	Anclaje de Acero en muro King Block	576.00	kg					S1	S2	
16.00			Instalaciones eléctricas y gas	1.00	glb						S1	
17.00			Instalaciones sanitarias	1.00	glb						S1	
18.00			Encofrado losas aligeradas	100.00	m2	S2						
19.00			Acero de losas	1,300.00	kg		S2					
20.00			Colocación de ladrillo	1,083.00	umd		S2					
21.00	PISO 13	Losas y vigas	Instalaciones eléctricas y sanitarias	1.00	glb		S2					
22.00			Concreto de losas y vigas	114.00	m3	S1		S2				

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, la segunda parte del plan semanal es el detalle cuantitativo, donde se muestra el metrado de cada actividad correspondiente a cada piso y sector de cada día. En esta etapa se usó también el modelo para el desarrollo del detalle cuantitativo del plan semanal, es decir, para obtener los metrados. Como se muestra a continuación, por ejemplo, en la Tabla N°5.6, correspondiente a la programación de la semana N°50; en donde se puede observar el detalle de las actividades correspondientes a la fase de acabados, como el de asentado y solaqueo de la tabiquería, tarrajeo de cielo raso, vigas y columnas, entre otros, ubicados en los pisos 4, 5, 6 y 7. Además, también las actividades correspondientes a la fase de la superestructura como el de encofrado, habilitación del acero y vaciado de las columnas, placas, vigas, losas y escaleras

en los pisos 13 y 14. De esta manera se complementó la programación visual mostrada en las figuras anteriores, con la medición de estos datos, los cuales usamos más adelante para verificar, medir y comparar el avance planificado con lo real, tanto cualitativa como cuantitativamente.

Tabla N°5.6 Plan Semanal Cuantitativo – Semana 50.

						CUANTITATIVA						
						SEMANA 50						
						L	M	M	J	V	S	D
Item	Piso	Detalle	Actividad	Cant.	Unid	12/12/2016	13/12/2016	14/12/2016	15/12/2016	16/12/2016	17/12/2016	18/12/2016
<b>PRECURSORES 4</b>												
1.00	PISO 04	King Block	Solaqueo muro king block	576.00	m2	280	296					
1.00			Instalaciones eléctricas y gas	1.00	glb	1						
2.00	PISO 05	King Block	Instalaciones sanitarias	1.00	glb	1						
3.00			Asentado muro King Block	578.00	m2	140	148	144	146			
4.00			Solaqueo muro king block	1,156.00	m2			280	296	288	292	
5.00	PISO 06	King Block	Trazo albañilería	336.00	m2	112	112	112				
6.00			Anclaje de Acero en muro King Block	1,156.00	kg	280	296	288	292			
7.00			Instalaciones eléctricas y gas	4.00	glb		1	1	1	1		
8.00			Instalaciones sanitarias	4.00	glb		1	1	1	1		
9.00			Asentado muro King Block	288.00	m2					140	148	
10.00			Tarrajeos	Tarrajeo de cieloraso	75.00	m2	75					
11.00		Tarrajeo de vigas y columnas	116.00	m2	58	58						
12.00	PISO 07	Tarrajeos	Tarrajeo de cieloraso	300.00	m2		75	75	75	75		
13.00			Tarrajeo de vigas y columnas	232.00	m2		58	58	58	58	58	
14.00	PISO 07	King Block	Trazo albañilería	336.00	m2			112	112	112		
15.00			Anclaje de Acero en muro King Block	576.00	kg					280	296	
16.00			Instalaciones eléctricas y gas	1.00	glb						1	
17.00			Instalaciones sanitarias	1.00	glb						1	
18.00	PISO 13	Losas y vigas	Encofrado losas aligeradas	100.00	m2	100						
19.00			Acero de losas	1,300.00	kg		1300					
20.00			Colocación de ladrillo	1,083.00	und		1083					
21.00			Instalaciones electricas y sanitarias	1.00	Glb		1					
22.00			Concreto de losas y vigas	114.00	m3	73		41				
23.00			Escalera	Concreto	5.00	m3	5					
24.00		PISO 14	Columnas y placas	Acero	3,500.00	kg	2000		1500			
25.00	Encofrado			260.00	m2		150		110			
26.00		Concreto	37.00	m3		20		17				
27.00	PISO 14	Losas y vigas	Encofrado vigas	120.00	m2			60		60		
28.00			Acero de vigas	4,000.00	kg			2000		2000		
29.00			Encofrado losa aligerada	290.00	m2				160		130	
30.00			Encofrado losa macisa	30.00	m2				30			
30.00			Acero de losas	2,500.00	kg					2500		
31.00			Colocación de ladrillo	1,083.00	und					1083		
32.00			Instalaciones electricas y sanitarias	1.00	Glb					1		
33.00			Escalera	Encofrado	12.00	m2			12			
34.00	Acero	600.00		kg					600			

Fuente: Elaboración propia.

Para el desarrollo del plan semanal, resultó fundamental realizar reuniones semanales, en las cuales se juntaba a los last planner y se les entregaba a cada

uno el plan inicial, con la finalidad de escuchar sus opiniones, propuestas, inconvenientes o sugerencias; además, complementariamente se mostraba a todos los participantes el modelo abierto en la pantalla de una desktop para cualquier modificación y actualización que requiera el plan semanal definitivo de trabajo. Dicho formato se imprimía y entregaba a todos en la reunión en una hoja en formato A4, tal como se ilustra en la Figura N°5.40 a continuación.

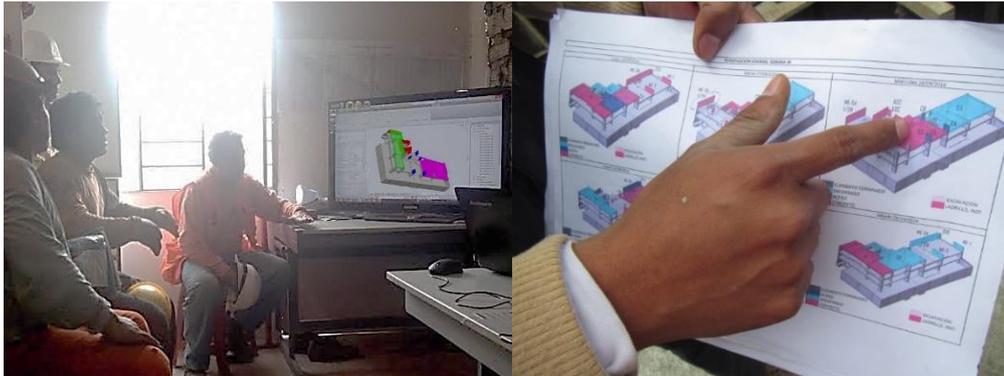


Figura N°5.40 Reunión interna y Plan impreso en obra.  
Fuente: Elaboración propia.

Las reuniones para el desarrollo del plan semanal fueron las segundas reuniones que se realizaron en la semana y se llevaron a cabo los viernes de cada semana, en ella se identificaban las actividades que se harían la siguiente semana. Previo a la reunión semanal se determinaba el PPC de la semana, se revisaba el registro de la lista actualizada de las restricciones liberadas y la reserva de trabajo ejecutable, en función a ello, teniendo en cuenta los resultados del PPC y las lecciones aprendidas de las semanas anteriores, se desarrollaba el plan visual tentativo de la semana siguiente mediante el apoyo de las herramientas BIM mostradas anteriormente; para luego, en conjunto con todos los involucrados, analizar y discutir la factibilidad del plan, los inconvenientes, imprevistos u otras diferentes alternativas.

Posteriormente, se actualizaba las restricciones liberadas y la reserva de trabajo ejecutable, y luego se desarrollaba la planificación definitiva de la semana siguiente. Finalmente, se distribuye la planificación acompañada con su respectiva representación visual del programa (Anexo N°11). En resumen, el ciclo del planeamiento semanal se puede apreciar en la Figura N°5.41 siguiente.

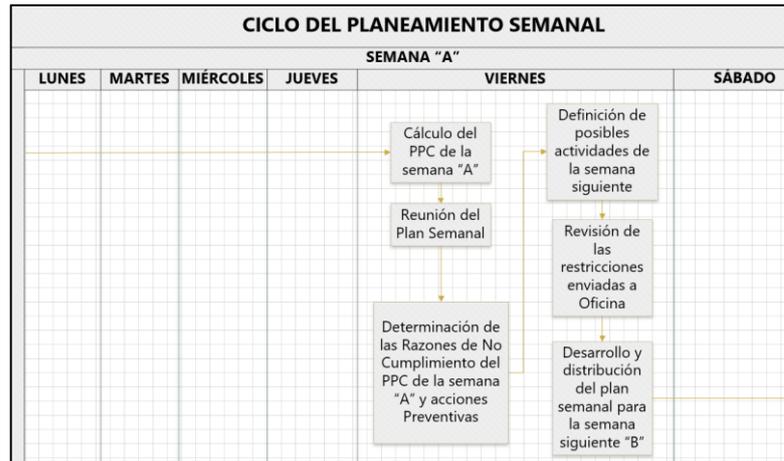


Figura N°5.41 Ciclo del Planeamiento Semanal.  
Fuente: Elaboración propia.

5.5 ETAPA 05:

A partir de la programación semanal entonces se realizó el plan diario, de tal manera que podíamos planificar la programación del día siguiente ajustando las actividades y tareas a realizar cada día en función a los objetivos de la semana; asimismo, el modelo en BIM facilitaba la visualización y la obtención de los metrados de algunos elementos, tal como se muestra en la Figura N°5.42.

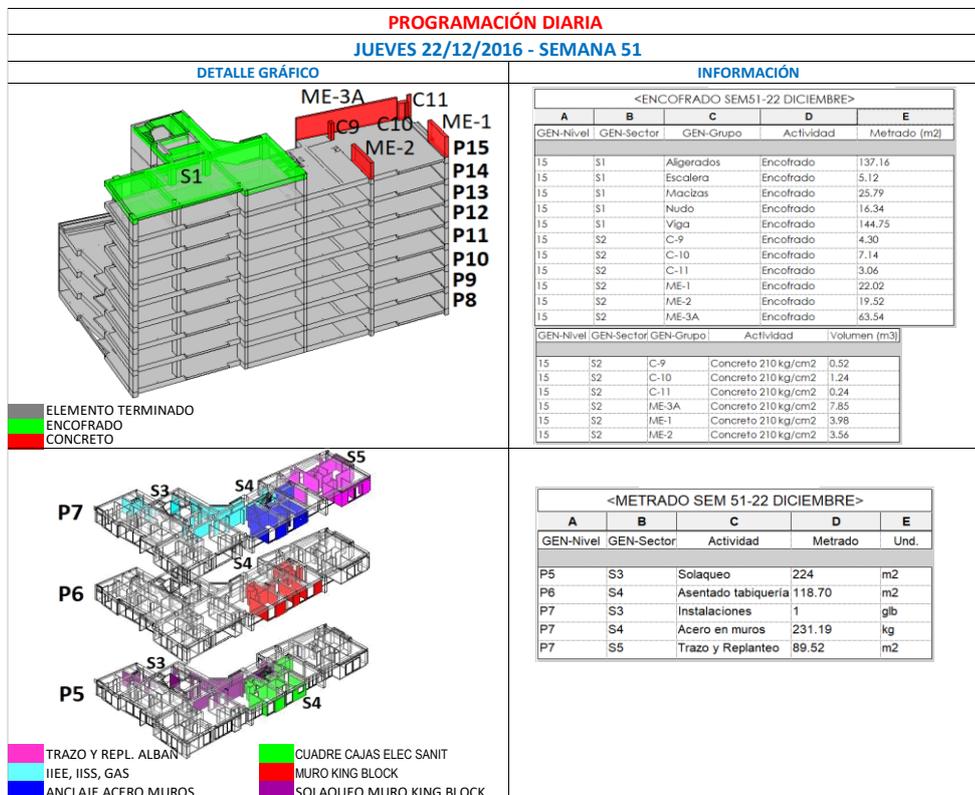


Figura N°5.42 Programación Diaria 22/12/16.  
Fuente: Elaboración propia.

Para la realización de la programación diaria se realizó el listado de asignaciones de las tareas, el cual se desarrolló diariamente un día antes del día a ejecutar por un coordinador de obra designado, el cual listaba todas las tareas a ejecutarse del día siguiente; asignando cuadrillas, tiempos de inicio y fin estimados en función al avance programado, desarrollado en conjunto, con el apoyo y aprobación de los ingenieros de campo quienes le facilitaban los metrados adicionales a realizar obtenidos del modelo en Revit. Tal como podemos observar en la Tabla N°5.7 donde se observa algunas de las tareas de la programación, a manera de ejemplo.

Tabla N°5.7 Listado de Asignaciones Diarias.

<b>Miércoles 16 de Noviembre</b>							
No	Actividades diarias			Tiempo de ejecucion			
				inicio	fin	Condición	
<b>1</b>	<b>Colocacion de puntos p/vaciado de techo 9-piso</b>			07:30	09:30	Estimado	
	1	Eladio Hinostraza	Operario				Real
	2	Ladislao Llacchas	Operario				
	3	Luis Basurto	Operario				
	4	Solon Vasquez	Operario				
<b>2</b>	<b>Limpieza de techo para vaciado 9-piso</b>			07:30	09:30	Estimado	
	1	Robert Fernandez	Oficial				Real
	2	Raul Najarro	Oficial				
	3	Victor Peralta	Peon				
<b>3</b>	<b>Acarreo ladrillo king block 2-piso</b>			07:30	09:00	Estimado	
	1	Eduardo Serna	Peon				Real
	2	Miguel Lucana	Peon				
<b>4</b>	<b>Acarreo de yeso para tarrajeo 3-piso</b>			07:30	09:00	Estimado	
	1	Ali Reyna	Peon				Real
	2	Jose Villar	Peon				
<b>5</b>	<b>Trazado para albañileria 2 piso</b>			07:30	17:00	Estimado	
	<b>5.1 Revision de tarrajeo proyectado 3 piso</b>						Real
	1	Teodoro Parco	Operario				
<b>6</b>	<b>Colocacion de puntos en vigas y muros</b>			07:30	17:00	Estimado	
	1	Filfan Olivares	Operario				4 - piso
	3	Huberico Lopez	Oficial				
<b>7</b>	<b>Colocacion de cajas para ductos en techo 9-piso</b>			07:30	10:00	Estimado	
	1	Daniel Chipa	Operario				Real
<b>8</b>	<b>Resanes de piso acabado 2-piso</b>			07:30	17:00	Estimado	
	1	Marco Bautista	Peon				Real
<b>9</b>	<b>Trazos piso 9 y 10</b>			07:30	17:00	Estimado	
	1	Jaime Llacchas	Operario				Real
	2	Juan Mañuico	Oficial				
<b>10</b>	<b>Operador de elevador cabina / Forrado de ladrillo</b>			07:30	17:00	Estimado	
	1	Teofilo Chauca	Oficial				Real
<b>11</b>	<b>Operador de plataforma / Forrado de ladrillo</b>			07:30	17:00	Estimado	
	1	Luis Soto	Operario				Real
<b>12</b>	<b>Orden y Limpieza de obra</b>			07:30	17:00	Estimado	
	1	Nicolas Huaman	Peon				Real

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, para el seguimiento del plan diario, se registraban las cantidades reales de recursos usados diariamente. Para el registro de las cantidades de horas hombre reales, cada trabajador registraba la cantidad de horas usadas y las actividades diarias realizadas en el día, esto lo realizaban al medio día y al finalizar el día. Ello se realizó de esta manera, ya que la empresa estaba a favor de un principio de administración que indica que los trabajadores son capaces de autocontrolarse y motivarse a partir no sólo del dinero, sino también a partir de la confianza y los nuevos retos o responsabilidades que la empresa deposite en ellos, como menciona la “teoría Z” (Ouchi, 1982). De manera similar, el almacenero realizaba el registro de los equipos o herramientas y materiales que ingresaban a obra, así también con el apoyo de los ingenieros de campo se registraban los avances realmente ejecutados del día.

Este listado se le hizo llegar diariamente a todo el personal encargado de la gestión de la construcción del proyecto, de esta manera se pudo tener una idea más general y detallada a nivel de asignaciones o actividades a desarrollar durante el día, identificar qué trabajadores y demás recursos intervendrían y durante qué lapsos de tiempos estarían ejecutando dichas actividades. Con lo cual se obtuvo un mayor control de las actividades diarias.

El modelo durante esta etapa también sirvió para el registro virtual de los avances diarios de las actividades con el objetivo de poder hacer un seguimiento cuantitativo de los avances y de las fechas reales de ejecución, es decir, cada día la persona encargada realizaba el metrado real que se había avanzado, para lo cual se iba a campo con un plano y seleccionaba coloreando con un color diferente lo realizado en el día, para luego realizar el metrado asistido por el modelo.

Por ejemplo, en la Figura N°5.43 se puede observar el seguimiento diario que se realizó al asentado de la tabiquería para el piso N° 7, cada color representa un día diferente, con ello se pudo saber la cantidad de m<sup>2</sup> que se avanzaba realmente cada día y si el patrón de avance estaba de acorde a la sectorización que se había planificado; además, este control también nos sirvió para valorizar lo que se había ejecutado.

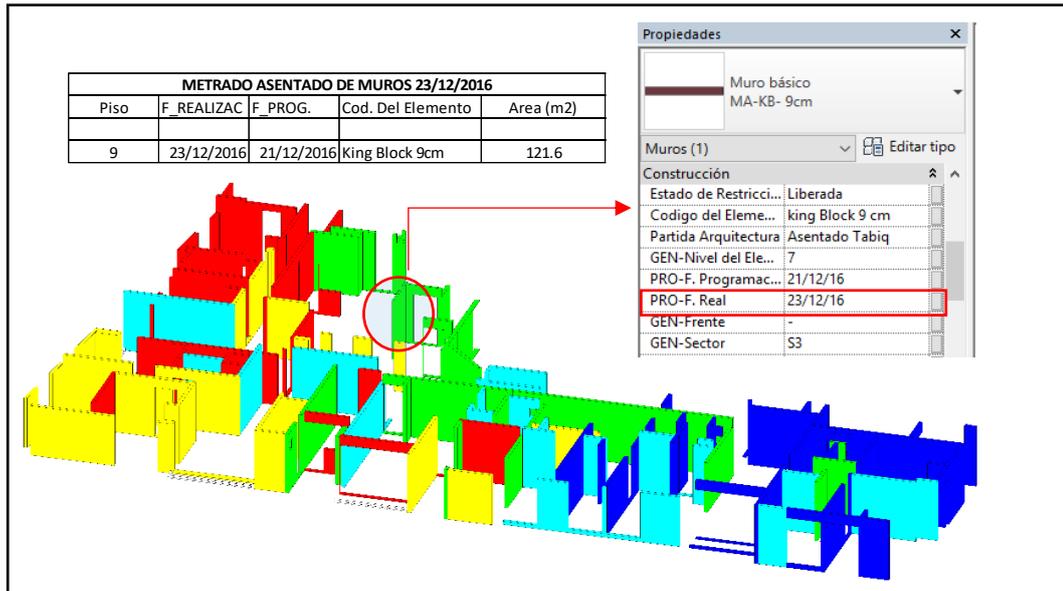


Figura N°5.43 Seguimiento Virtual Diario – Asentado de tabiquería.  
Fuente: Elaboración propia.

De manera similar se realizó para las partidas de solaqueo de muros, tarrajeo interior, tal como se observan en las Figuras N°5.44. Cabe mencionar que para que el metrado sea lo más real posible, el modelo se actualiza constantemente con las variaciones realizadas en campo.

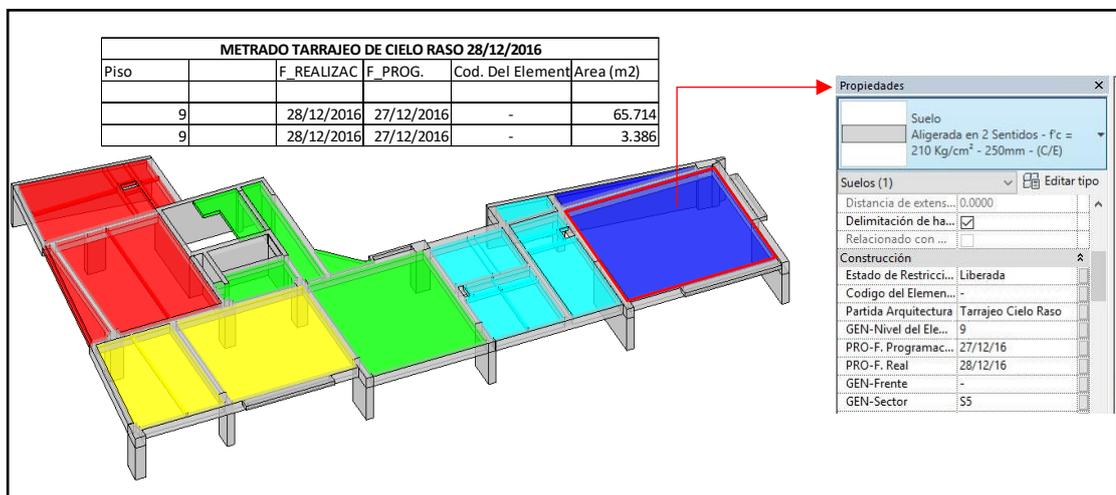


Figura N°5.44 Seguimiento Virtual Diario – Tarrajeo de Cielo raso.  
Fuente: Elaboración propia.

Así también, por ejemplo, en la Figura N° 5.45, se puede observar el seguimiento diario para las partidas encofrado y vaciado de los elementos estructurales; dicho registro se almacenaba dentro del modelo como información paramétrica dentro de las “propiedades” de cada elemento ejecutado.

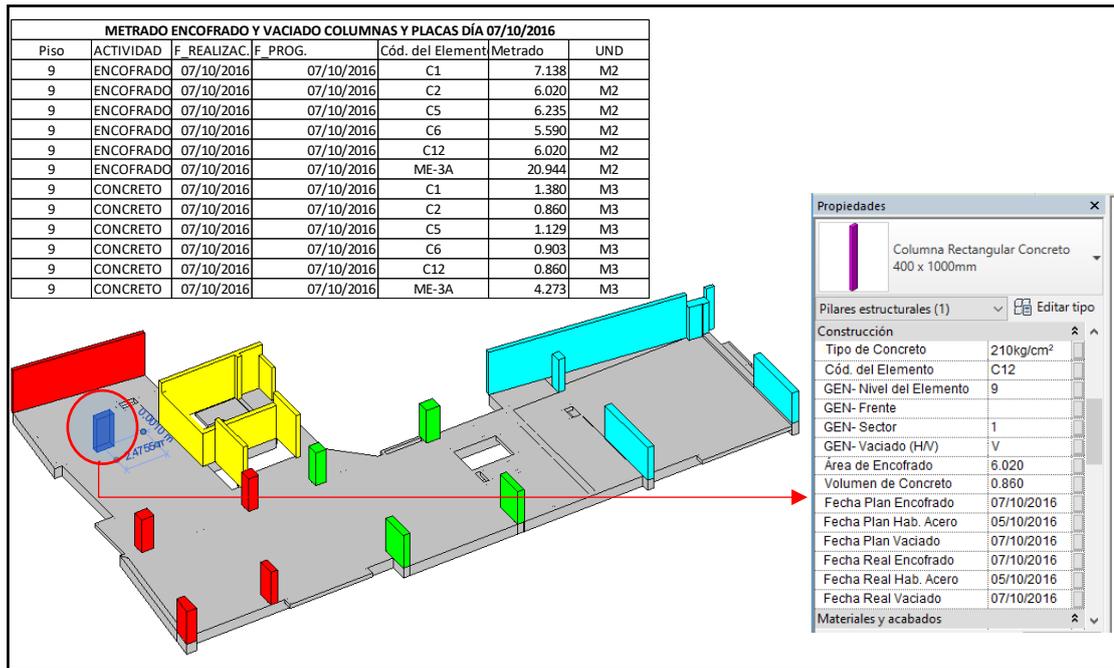


Figura N°5.45 Seguimiento Virtual Diario – Elementos Verticales.  
Fuente: Elaboración propia.

## 5.6 ETAPA 06:

Finalmente, en esta fase se realizó el análisis y cálculo del PPC, es decir, se analizó el grado de cumplimiento de la planificación; para ello, al finalizar la semana, se verificaba en campo cada una de las actividades planificadas. En esta fase se usó el metrado real ejecutado, el cual fue calculado con anterioridad en el seguimiento virtual diario con el apoyo del modelo BIM, tal como se mostró en la etapa anterior. Asimismo, durante el transcurso de los días previamente planificados en el plan semanal, se asignaron al modelo las fechas de ejecución real de cada elemento. Posteriormente, esta información se trasladó al detalle del análisis del PPC, el cual se realizó mediante un cuadro en formato excel, donde se listaba todas las actividades planificadas en la semana.

Por ejemplo, en la Tabla N° 5.8 que se ilustra a continuación, se observa la clásica representación y análisis del PPC, en el cual dentro del análisis cualitativo se consideró como actividad “no realizada” si es que la actividad no se completó al 100%; sin embargo, en el análisis cuantitativo se consideró un porcentaje de cumplimiento proporcional a la cantidad ejecutada de cada actividad; es por ello, que el PPC cuantitativo del 80% resultó mayor al PPC cualitativo del 75%.

Tabla N°5.8 Resultado del PPC

Item	Piso	Detalle	Actividad	Cant.	Unid.	Análisis Cuantitativo		Análisis Cualitativo	
						¿Cuánto se hizo?	% Realizado	¿Se hizo?	
<b>PRECURSORES 4</b>									
14.00	P07	King Block	Trazo albañilería	336.00	m2	112	33%	NO	
15.00			Anclaje de Acero en muro King Block	576.00	kg	0	0%	NO	
16.00			Instalaciones eléctricas y gas	1.00	glb	0	0%	NO	
17.00			Instalaciones sanitarias	1.00	glb	0	0%	NO	
18.00	P13	Losas y vigas	Encofrado losas aligeradas	100.00	m2	100	100%	SI	
19.00			Acero de losas	1,300.00	kg	1300	100%	SI	
20.00			Colocación de ladrillo	1,083.00	und	1083	100%	SI	
21.00			Instalaciones electricas y sanitarias	1.00	Glb	1	100%	SI	
22.00			Concreto de losas y vigas	114.00	m3	114	100%	SI	
23.00		Escalera	Concreto	5.00	m3	5	100%	SI	
24.00	P14	Columnas y placas	Acero	3,500.00	kg	3500	100%	SI	
25.00			Encofrado	260.00	m2	260	100%	SI	
26.00			Concreto	37.00	m3	37	100%	SI	
27.00		Losas y vigas	Encofrado vigas	120.00	m2	120	100%	SI	
28.00			Acero de vigas	4,000.00	kg	4000	100%	SI	
29.00			Encofrado losa aligerada	290.00	m2	290	100%	SI	
30.00			Encofrado losa macisa	30.00	m2	30	100%	SI	
30.00			Acero de losas	2,500.00	kg	2500	100%	SI	
31.00			Colocación de ladrillo	1.00	und	1	100%	SI	
32.00			Instalaciones electricas y sanitarias	1.00	Glb	1	100%	SI	
33.00			Escalera	Encofrado	12.00	m2	12	100%	SI
34.00		Acero		600.00	kg	600	100%	SI	
							<b>80%</b>	<b>75%</b>	

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, este análisis numérico y cualitativo, al mostrarlo durante las reuniones, resultaba un poco complejo de entender para algunos subcontratistas que no estaban tan familiarizados con el Last Planner System; es por ello que tales resultados fueron complementados mediante representaciones gráficas con ayuda de los modelos BIM, donde se comparó el avance real hasta la fecha versus el avance planificado. Mediante estos gráficos se pudo apreciar claramente lo que el análisis cualitativo y cuantitativo del PPC arrojaba, brindándonos una clara representación mucho más perceptible y coherente con los resultados.

Por ejemplo, en la Figura N°5.46, la cual corresponden al resultado del PPC de la semana 50, se puede observar que para esa semana, la fase del casco no tuvo ningún inconveniente, ya que cada una de las actividades programadas fueron realizadas al 100%, lo que se puede corroborar de manera automática a simple golpe de vista en el gráfico mostrado para esa fase.

El problema para dicha semana, por ejemplo, fue en la fase de acabados, ya que hubieron ciertas actividades que no se realizaron al 100% e inclusive algunas que ni se comenzaron, como por ejemplo en la figura también se puede apreciar que en la partida de color rojo, correspondiente al asentado del king block, se debió avanzar hasta el sector 2 del piso 6, pero lo realizado indica que dicha actividad se quedó en el piso 5 del sector 2, atrasándose 4 días y por ende retrasando la misma cantidad de días, a sus sucesoras dependientes como el encuadre de cajas (color verde) y el solaqueo del king. block (color morado oscuro), por no tener frente dónde avanzar.

Así mismo en la Figura N° 5.46, también se observa que otra de las actividades que se retrasaron fueron el tarrajeo del cielo raso y el tarrajeo de vigas y columnas (ambos de color naranja). En dicha figura se puede ver como el tarrajeo del cielo raso debió avanzar hasta el sector 1 del piso 8, pero sólo se avanzó hasta el sector 2 del piso 7, retrasándose 3 días; mientras que el tarrajeo de vigas, columnas y placas debió avanzar hasta el sector 4 del piso 7, pero sólo avanzó hasta el sector 2 del piso 7, retrasándose 2 días, y a su vez retrasando 2 días a las actividades siguientes como el trazo y replanteo (color rosado), anclaje de acero del king block (color azul) y las IISS, IIEE y gas (color celeste), ya que no tenían frente para avanzar.

Por esta razón, durante la reunión se analizaron las causas de no cumplimiento y se llegó a la conclusión de que el asentado de la tabiquería se retrasó porque se interrumpía con otras actividades, hubo restricciones de espacio entre sectorización y ubicación de materiales, por lo que se decidió comenzar las actividades sucesoras una vez finalizado por completo el asentado del king block en todos los sectores del piso correspondiente, además de replantear la sectorización de la tabiquería como medidas preventivas. En el caso de la actividad del tarrajeo, esta se retrasó debido a la falla en la entrega de material del yeso proyectado; como acción correctiva se conversó con el proveedor mejorando los canales de comunicación, para que no vuelva a suceder. Estos resultados se integraron al reporte semanal, con los resultados del PPC. Como se puede apreciar a continuación:

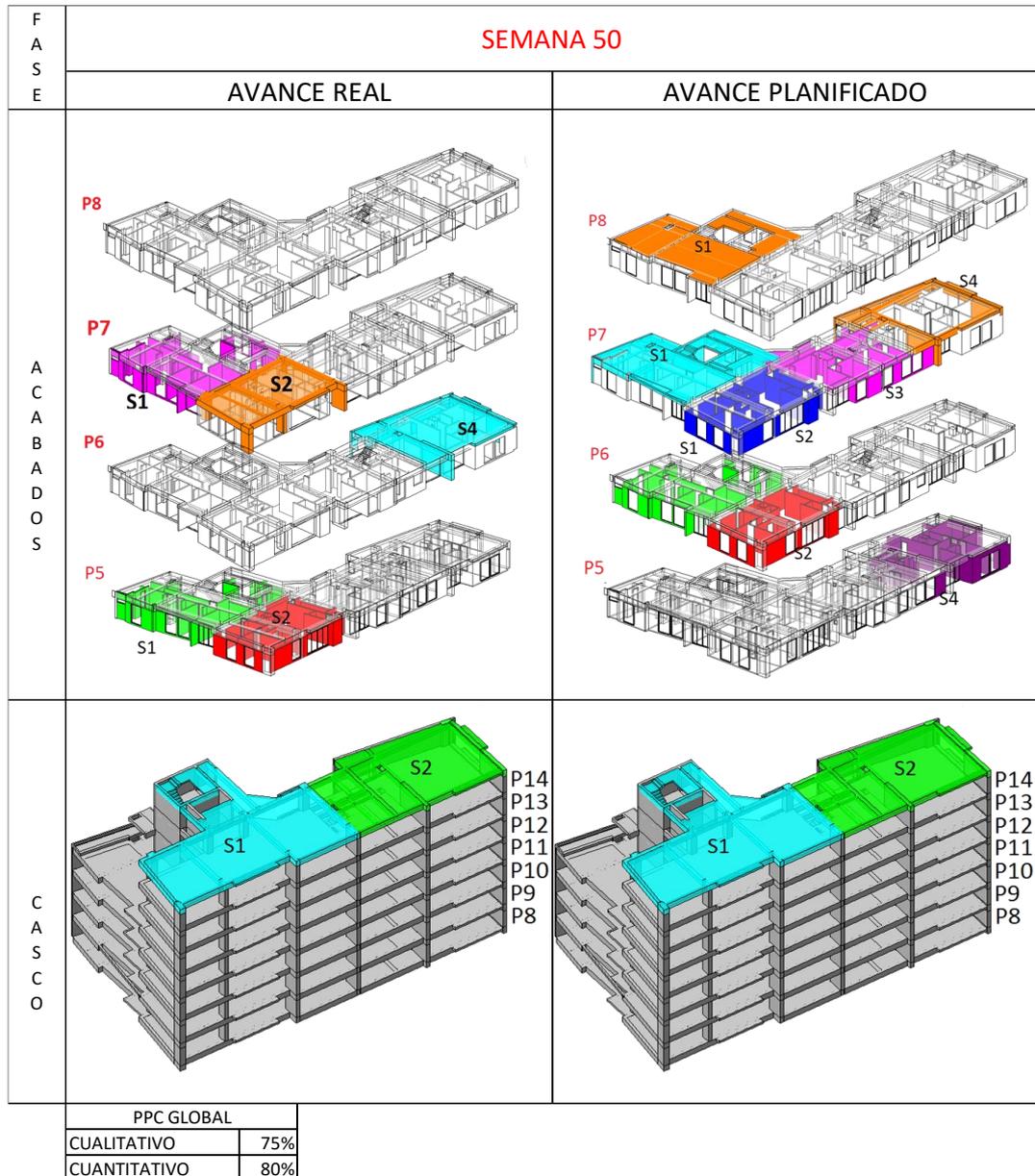


Figura N°5.46 Comparación Modelo Avance Real vs Avance Planificado.  
Fuente: Elaboración propia.

## 5.7 RESPECTO AL PORCENTAJE DEL PLAN CUMPLIDO Y LAS RAZONES DE NO CUMPLIMIENTO

### 5.7.1 Acerca del Porcentaje del Plan Cumplido (PPC)

Las informaciones sobre los porcentajes de cumplimiento semanal deben ser registradas y almacenadas en un listado histórico para tener una trazabilidad acerca de la gestión del proyecto, ya que estos valores también nos dan una referencia sobre el avance del proyecto. Para un mejor análisis del PPC, se optó

por obtener el valor del PPC de dos formas distintas, tal como indicamos a continuación:

El cálculo del PPC cualitativo se realizó de la manera tradicional, es decir, se contabilizó sólo las tareas completadas al 100% sobre el total de tareas programadas; además, de acuerdo con la experiencia de la gerencia, se consideró un PPC cualitativo alto para valores mayores del 70%.

Para el cálculo cuantitativo del PPC se contabilizó el porcentaje de avance real, es decir, el metrado real ejecutado sobre el metrado total programado; además, de acuerdo con la experiencia de la gerencia, se consideró un PPC cuantitativo alto para valores mayores del 80%.

#### 5.7.2 Acerca de las Razones de No Cumplimiento (RNC)

De igual manera es importante detectar y registrar todas las causas de incumplimiento y con ello evaluar la causa raíz de los incumplimientos con la finalidad de no volver a cometer los mismos errores, esto servirá como un registro de lecciones aprendidas que nos llevará hacia la mejora continua. En ese sentido, se evaluaron las restricciones que podrían generar incumplimientos a la planificación propuesta. Se encontraron varios tipos de restricciones, por ello la empresa constructora a cargo las clasificó en 9 tipos, las cuales mencionamos a continuación en la siguiente Tabla N°5.9:

Tabla N°5.9 Criterios de No Cumplimiento.

N°	CRITERIO	DESCRIPCIÓN
1	<b>Información</b>	Evaluar si se cuenta con la información necesaria (planos, especificaciones, normas técnicas, procedimientos constructivos, etc.).
2	<b>Subcontrata</b>	Evaluar el incumplimiento ocurrido por problemas con los subcontratistas.
3	<b>Material</b>	Evaluar si se cuenta con los materiales y consumibles necesarios. Para ello, el ingeniero de Producción deberá elaborar el Lookahead de Materiales.
4	<b>Mano de obra</b>	Evaluar si se cuenta con los recursos humanos necesarios (empleados, obreros, terceros, etc.) con la especialidad, la experiencia y en cantidad suficiente.
5	<b>Seguridad y Calidad</b>	Verificar que todas las actividades previas en estos temas estén resueltas para empezar la actividad (revisar con las áreas correspondientes).

6	<b>Equipos y Herramientas:</b>	Evaluar si se cuenta con los equipos y herramientas necesarios (propios y/o alquilados).
7	<b>Actividades Predecesoras:</b>	Evaluar si las actividades predecesoras ya están ejecutadas o se ejecutarán con anterioridad al inicio de esta actividad.
8	<b>Espacio</b>	Múltiples actividades en un solo frente.
9	<b>Condiciones externas</b>	Condiciones que dependen del cliente, supervisor, cambios de alcance, fenómenos naturales, etc.

Fuente: Elaboración Motiva S.A.

## 5.8 OTROS RESULTADOS COMPLEMENTARIOS

Adicionalmente al PPC y RNC que se obtiene de la planificación de obra, se analizaron los RFI obtenidos, además de algunas herramientas para complementar el control de la producción como las mediciones de los rendimientos (cantidad de horas hombre utilizadas por unidad de producción), para ello se usaron los metrados obtenidos por los reportes de avances diarios y las horas hombre contabilizadas en campo. Además, para controlar la velocidad de la producción se usaron las líneas balance, mediante estas se pudo controlar la velocidad necesaria de la producción de las partidas además que nos ayudaron a predecir los tiempos finales de ejecución.

## CAPÍTULO VI. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para una mejor evaluación de los resultados vamos a analizar, sus beneficios y dificultades encontrados en cada una de las etapas planteadas anteriormente.

### 6.1 ETAPA 01 (PLAN MAESTRO – MODELO 3D CON CONFIGURACIÓN DE CAMPOS):

#### 6.1.1 Beneficios encontrados:

En esta primera etapa se ha podido ver que, la visualización general del proyecto que el modelo aportó generó una mayor rapidez de entendimiento acerca de la geometría del proyecto, características de los ambientes y la tipología de los elementos de la estructura, los cuales se hacían mediante reuniones de reconocimiento con la finalidad de ver qué tipos de tecnologías constructivas se realizarían, además de la elección de los posibles subcontratistas, así como también sistemas constructivos a emplear como por ejemplo el sistema de encofrado de “cimbra rápida Nopin” que se optó por haber obtenido mayor rapidez en obras parecidas, anteriormente realizadas. También sirvió de apoyo visual para el desarrollo de los layout, ubicación de espacios para los equipos, maquinarias, etc.

El modelo, además de aportar al plan con el apoyo visual anteriormente mencionado, complementó la gestión de la información mediante bases de datos generados a partir de la creación de campos paramétricos de los componentes del modelo tales como Nivel del Elemento, Tipo de concreto, Área de encofrado, Volumen de concreto, etc. Además, en este primer nivel de desarrollo del last planner, el plan maestro aportó principalmente con el fijamiento de los hitos del proyecto, lo cual nos sirvió en conjunto para visualizar con mayor eficiencia la programación del proyecto.

#### 6.1.2 Dificultades encontradas:

Algunos aspectos limitantes que encontramos en este nivel fue que, debido al poco manejo y conocimiento del software, se tuvo que realizar pequeñas capacitaciones al personal para que todo el personal técnico pueda revisar y hacer uso de los datos del modelo, aunque inicialmente una minoría mostraba cierto

rechazo debido a que no estaban acostumbrados al uso del programa, posteriormente fueron adecuándose a la metodología de trabajo. Este tipo de problemas es común encontrarlo en empresas que recién se encuentran implementando la metodología BIM en sus proyectos, ya que esta transición del manejo en 2D del AutoCAD al BIM, requiere del uso de nuevos programas de modelamiento como el Revit o el Navisworks. Por este motivo antes de la implementación de la metodología, es recomendable realizar capacitaciones previas al personal técnico, tanto del uso de los programas como de las metodologías de trabajo a implementar, escuchando sugerencias e inquietudes.

## 6.2 ETAPA 02 (PLAN DE FASES – MODELO 3D CON CUANTIFICACIÓN MÚLTIPLE):

### 6.2.1 Beneficios encontrados:

En la segunda etapa se desarrolló el plan de fases, para este nivel de desarrollo del last planner, el modelo BIM se utilizó para visualizar en 3D las alternativas de sectorización de las fases del casco y acabados, haciéndolo más amigable a la vista y mejorando su entendimiento, además el modelo también aportó con la cuantificación de los metrados de los elementos. Estas alternativas se analizaron y discutieron con los involucrados en la fase durante las reuniones para escoger la opción más balanceada, escuchando sus observaciones, promoviendo la interacción y generando el compromiso de los participantes.

Otro aspecto importante fueron los tiempos empleados en la sectorización y en la obtención de los metrados, ya que al haber adecuado el modelo previamente, este proceso fue casi de inmediato, de manera que sólo bastaba agrupar a los elementos pertenecientes a cada sector establecido en obra y enumerarlos, obteniendo de inmediato en las tablas previamente configuradas en la etapa anterior, los resultados de los metrados de las alternativas de sectorización. En otros proyectos parecidos donde no se empleó esta metodología, el proceso de sectorizar y la obtención de metrados de las diferentes alternativas demoraban mucho más tiempo su realización. Por lo que, resultó bastante productivo en cuanto al ahorro de tiempo el uso del modelo en esta etapa.

### 6.2.2 Dificultades encontradas:

Dependiendo de qué partidas se requiera cuantificar para las fases, el nivel de desarrollo y la configuración previa del modelo influirá en la posibilidad de la obtención rápida de éstos metrados. Por ejemplo, en nuestro caso para el casco no se exportaron los metrados del acero, ya que éstos no fueron modelados por el tiempo que esto hubiese conllevado, además de sobrecargar el peso del modelo, por lo que el metrado del acero fue realizado mediante un cálculo manual.

Además, para obtener el metrado exacto de algunas partidas se debía realizar algunos procesos o configuraciones complementarias en el modelo, como por ejemplo, para el encofrado se debía de restar las intersecciones de contacto entre los elementos, como costado de vigas con losas, columnas y placas; esto conllevaba a hacer un proceso adicional, ya que es algo que el software Autodesk Revit no realiza de manera automática. Sin embargo, se espera y confía que pronto las nuevas versiones de este u otros programas realicen más fácil ese tipo de tareas.

### 6.3 ETAPA 03 (LOOKAHEAD – MODELO 4D CON HORIZONTE A MEDIANO PLAZO):

#### 6.3.1 Beneficios encontrados:

Entre los beneficios que se obtuvieron en esta etapa podemos mencionar el aporte al entendimiento geométrico del proyecto mediante la representación del lookahead por medio de la elaboración de un cronograma 4D, una representación dinámica y visual que generó un mayor entendimiento de los procesos constructivos, además que la construcción virtual de dicha secuencia permitió verificar el correcto funcionamiento de lo estipulado en la planificación construyéndolo virtualmente, ya que la simulación puso a prueba la secuencia constructiva antes de que se ejecute.

Así mismo, esta herramienta también facilitó el entendimiento de los planificadores y permitió calcular, anticipando, las restricciones y requerimientos de cualquier tipo de recurso que tenga un tiempo de entrega de tres a seis semanas; por ejemplo, el lookahead nos mostró que prontamente se realizaría la construcción de algunos elementos que aún necesitaban corrección en sus planos y demás detalles constructivos, que habían sido olvidados, pero afortunadamente gracias a la

visualización del plan se pudieron corregir a tiempo, evitando los retrasos y sobrecostos que hubiesen sido generados por parte de este.

En otras palabras, el modelo nos sirvió para evaluar la constructabilidad y viabilidad de la programación a mediano plazo, ya que mientras mayor era la amplitud de la proyección de la programación a simular, mayor sería la variabilidad y la incertidumbre, por ende, la simulación del programa se alejará de la realidad, disminuyendo el aporte real de la planificación y herramientas de control. Es por ello que no se realizó la simulación del plan maestro, ya que no tendría mayor aporte a la planificación por su amplia duración; por lo que, se optó realizar la simulación para la duración del lookahead, por ser de mediano plazo.

### 6.3.2 Dificultades encontradas:

Inicialmente también se tenía la idea de poder correlacionar el análisis del costo unitario con el modelo en BIM e implementarlos desde la etapa del lookahead para poder hacer un control y proyecciones de los costos asociados al proyecto y asistido con el modelo; sin embargo, debido a que el manejo del software era básico y la demanda de tiempo que conllevaría su realización, no se pudo llevar a cabo. Sin embargo, ello podría ser posible con un modelo mejor adaptado y con el manejo de otros programas complementarios para tales fines.

## 6.4 ETAPA 04 (PLAN SEMANAL – MODELO 4D PARA LA SEMANA):

### 6.4.1 Beneficios encontrados:

En esta etapa se pudo desarrollar el weekly work plan de una manera gráfica, lo que reforzó y facilitó la comunicación y el entendimiento de los last planners durante las reuniones semanales. Además, gracias al modelado paramétrico en Revit, se pudo adjuntar las cantidades anteriormente calculadas correspondientes a los metrados de los elementos a ejecutar en el plan semanal. Esto generó un plan más completo ya que este plan mostró gráficamente los elementos a ejecutar, las ubicaciones de los elementos (sector y piso), los tipos de procesos diferenciados por colores de lo que se realizará a lo largo de la semana.

La programación visual apoyada del modelo en BIM se desarrolló los días viernes, media hora antes de la reunión semanal para mostrarlo y modificarlo si era

necesario durante la reunión, lo que permitió a los last planners interactuar con un modelo virtual, facilitando el rápido análisis de las diferentes propuestas de planificación.

#### 6.4.2 Dificultades encontradas:

Un aspecto limitante que se encontró en esta etapa es que, en nuestro caso, el programa que usamos (Revit) no correlaciona por sí solo el modelo con la programación, ya que el Revit no admite una opción para la asignación de una programación de la obra. La otra opción que se tomó en cuenta fue el de hacerlo en Navisworks, ya que ese programa tiene la opción de poder asignarle una programación; sin embargo, el Revit nos pareció más manejable en el caso que se tenga que realizar varias modificaciones durante las reuniones y, además era más conocido por los ingenieros en la obra, por lo que se decidió realizar el reporte semanal con el modelo en Revit.

Esto sucede debido a que no existen muchos programas BIM que integren todos los procesos de planificación en un sólo software y por lo general existe la necesidad de usar varios programas de manera complementaria, sin embargo, algunos programas BIM sí lo hacen, empero estos no son muy comerciales y conocidos en nuestro país; por lo que, el problema en realidad entonces, sería la falta de conocimientos en estos otros programas BIM, ya que con su utilización sería posible integrar todos los procesos, lo cual podría conllevar a una gestión más rápida y eficiente.

#### 6.5 ETAPA 05 (PROGRAMACIÓN DIARIA – MODELO 3D DEL DÍA):

##### 6.5.1 Beneficios encontrados:

Este plan diario conllevó al control de una manera más a fondo y detallada posible, mostrando de una forma más clara cuáles fueron las tareas que se desarrollaron cada día, quiénes lo realizaron, en qué momento aproximado estas comenzaron y acabaron, además poder controlar su rendimiento diario como cuadrilla. Estos datos fueron de gran ayuda, ya que se pudo tener un mayor orden acerca de la distribución de las cuadrillas de trabajo, compartiendo información con los profesionales del staff, de esa manera todo el personal estuvo al tanto de lo que se desarrollaba día a día en la obra. El modelo en esta etapa nos sirvió para poder

relacionar visualmente las localizaciones de cada una de las tareas a realizar, anexando el detalle gráfico del plan correspondiente a ese día en particular.

Además, un aporte importante fue que, mediante el modelo se registró el avance programado y el avance real de las partidas más representativas como el encofrado, concreto de elementos horizontales y verticales, además de algunos acabados como el asentado y solaqueo de la tabiquería, el tarrajeo de cielo raso y tarrajeo de placas columnas y vigas, los cuales sirvieron para realizar las valorizaciones y control de rendimientos.

#### 6.5.2 Dificultades encontradas:

Una dificultad que encontramos en esta etapa fue la medición de los tiempos precisos de ejecución real de los procesos, ya que como mencionamos, dicho registro en obra lo realizaban los mismos obreros al medio día y al finalizar la jornada del día; sin embargo, en ocasiones era posible el registro incorrecto, ya sea por olvido u otro motivo en particular. Por lo que, resulta necesario verificar los datos mediante algún sistema de control complementario, como podría ser el uso de cámaras de obra; sin embargo, no siempre es posible controlar los tiempos de duración del avance de todos los procesos en obra; por el simple hecho de que se realizan simultáneamente en distintos lugares, resultando complicado el seguimiento para el debido control.

Por otro lado, para el seguimiento de avance real en obra se usaron planos impresos para luego trasladar la información en gabinete; sin embargo, ello podría ser más rápido si se hubiesen usado tecnologías que permitan llevar y registrar el avance directamente en el modelo, por ejemplo, mediante tablets con programas instalados que faciliten la edición y registro del avance real en campo.

### 6.6 ETAPA 06 (PPC Y RNC - MODELO 3D EJECUTADO):

#### 6.6.1 Beneficios encontrados:

Usar las herramientas BIM en esta etapa fue de gran aporte también, ya que la forma tradicional con la que se mostraba el PPC sólo era mediante un porcentaje, pero gracias a la comparación mediante los modelos, se pudo tener una idea más visual de cuánto realmente habíamos cumplido en base a lo programado, además,

con la presentación del modelo que en algunas ocasiones se acompañaban de fotografías, promovía mejor la participación de los subcontratistas y todos los involucrados en general, identificando las causas de no cumplimiento y proponiendo soluciones y nuevas propuestas para mejorar los PPC's de las siguientes semanas. Asimismo, para el cálculo cuantitativo del PPC, el modelo pudo aportar el avance real ejecutado, el cual fue realizado mediante el uso del modelo BIM.

#### 6.6.2 Dificultades encontradas:

Si bien es cierto, el PPC nos indica cuánto fue lo que se cumplió del programa, este no nos informa directamente la situación del proyecto en general en términos de tiempo y costos. Por ejemplo, un PPC del 75% no nos da una idea de cuántos días está atrasado y cuánto está perdiendo respecto al proyecto en general; o inclusive con un PPC del 100% podríamos haber cumplido con lo programado, pero no podríamos asegurar si se usó una mayor cantidad de recursos de lo presupuestado. Es por ello, que se debe complementar el PPC con otras herramientas o indicadores, con los cuales tendremos un control más completo del proyecto.

### 6.7 RESUMEN DE LOS BENEFICIOS DE LA SINERGIA LPS & BIM

A manera de síntesis, en la Tabla N°6.1 se resumen los principales puntos en los que las herramientas BIM pueden complementar y beneficiar al desarrollo o ejecución de los objetivos de cada una de las fases del Last Planner System, las cuales se observaron en la aplicación de la metodología en el proyecto en estudio.

Como se puede observar, desde el desarrollo del plan maestro, el modelo BIM comparte información gráfica, mejorando la visualización y el entendimiento geométrico del proyecto. Seguidamente, en el plan de fases y el lookahead, el modelo comparte información numérica que se puede exportar de manera inmediata a partir de un previo modelamiento paramétrico, ayudando al planificador en la obtención de las sectorizaciones, secuencias constructivas y en la identificación de posibles restricciones a partir de la información visual de los modelos. Continuando en el plan semanal, el modelo BIM comparte información tanto numérica como visual que permite el entendimiento y compromiso de los últimos planificadores respecto a la planificación a corto plazo. Posteriormente en

el plan diario, el modelo BIM nos ayudó con el registro paramétrico y verificación del avance diario; lo cual finalmente se trasladó y sirvió para el cálculo numérico del PPC, así como también aportó en la comprensión e identificación de las causas o razones de no cumplimiento. Lo mencionado anteriormente se muestra en el cuadro siguiente.

Tabla N°6.1 Beneficios del LPS más el BIM.

LPS (tradicional)		BIM	LPS + BIM
Etapas	Objetivos	Aporta	Genera
1. Plan Maestro	Identificación de hitos, entregables, lo cual es generalmente representado mediante un diagrama de barras gantt.	Modelo 3D, visión general del proyecto, layouts de obra 3D.	Mejora el entendimiento geométrico del proyecto y la distribución de los equipos y grupos de trabajo en obra.
2. Plan de Fases	Especificar las transferencias entre grupos de trabajo. Definir la sectorización, lo cual generalmente se realiza mediante el cálculo manual de metrados de los planos en autoCAD.	Diferentes tipos de sectorización mediante el modelo, Generación de metrados mediante el modelo.	Mayor rapidez en obtención de múltiples alternativas de sectorización y generación automática de los metrados.
3. Lookahead	Análisis de restricciones, first run studies, planifica lo que se debe hacer en 3 a 6 semanas futuras. Generalmente representado mediante una tabla con códigos alfanuméricos.	Identificación visual de la programación con el modelo, cantidades para 3 a 6 semanas, simulación virtual 4D.	Detección de restricciones apoyados con el modelo antes de ejecutarlas en campo, rápida obtención de cantidades para el abastecimiento, además de evaluar la viabilidad de la programación construyéndolo virtualmente antes de realizarlo en campo.
4. Plan Semanal	Planificar lo que se puede hacer en la semana.	Información cuantitativa y cualitativa, visualización del plan semanal a partir del modelo.	Facilita el entendimiento y comprensión del plan semanal a los last planners.
5. Plan diario	Verificar los avances de cada día y planificar las actividades del día siguiente.	Registro de información virtual en el modelo y visualización del plan diario.	Facilita el seguimiento, visualización, registro, la medición del avance real diario y obtención de las mediciones, ya que se pueden cuantificar y tener como data histórica a partir del modelo.

<b>6. PPC y RNC</b>	<p>Verificar el porcentaje de actividades completadas.</p> <p>Analizar las causas de no cumplimiento.</p> <p>Por lo general es un cuadro con valores numéricos porcentuales, el cual suele ser acompañado de un reporte fotográfico.</p>	<p>Cálculo numérico y Representación virtual de lo realmente ejecutado y de lo planificado.</p>	<p>Facilita la interpretación de los resultados y las RNC, brindando una representación mucho más perceptible y coherente con los resultados numéricos.</p>
---------------------	--	---	---

Fuente: Elaboración Propia.

## 6.8 ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO Y LAS RAZONES DE NO CUMPLIMIENTO:

### 6.8.1 Análisis de los Porcentajes de Plan Cumplido (PPC):

Durante le ejecución del proyecto se obtuvieron diferentes valores en el cálculo del PPC, en la Figura N° 6.1 se observa la trazabilidad de la evolución en el tiempo del PPC cualitativo, en dónde la curva de color azul representa los valores cualitativos obtenidos del PPC en cada una de las semanas; mientras que en la curva de color naranja se muestra el promedio de manera acumulada de los valores del PPC cualitativo.

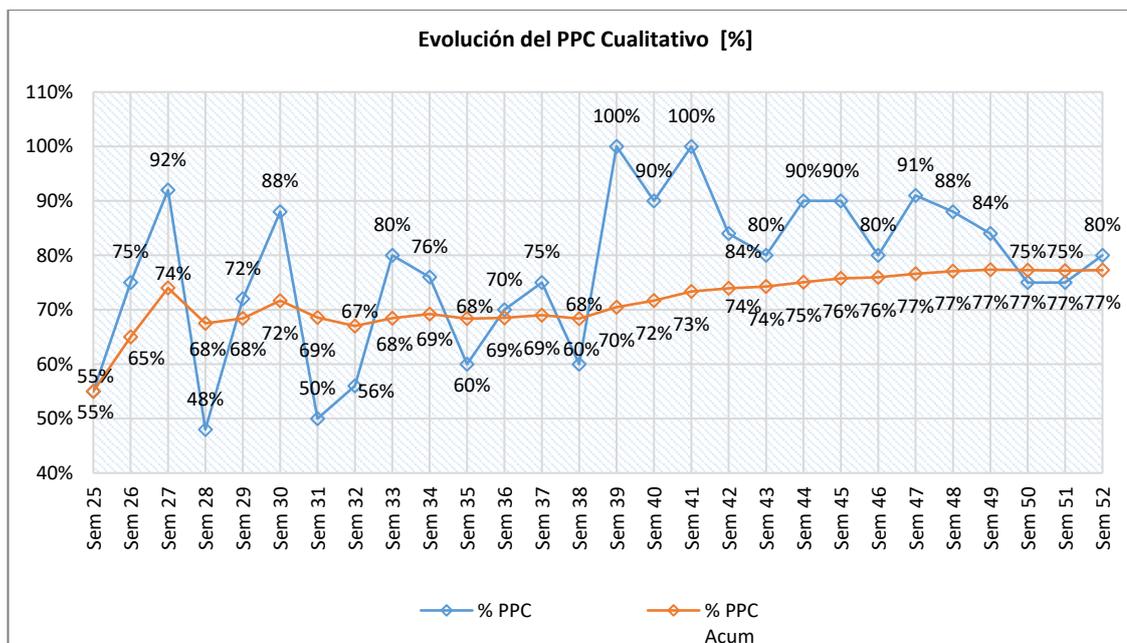


Figura N°6.1 Evolución del PPC Cualitativo.  
Fuente: Elaboración propia.

De manera análoga, en la Figura N° 6.2 se observa la trazabilidad de la evolución en el tiempo del PPC cuantitativo, en dónde la curva de color azul representa los valores cuantitativos obtenidos del PPC en cada una de las semanas; mientras que en la curva de color naranja se muestra el promedio de manera acumulada de los valores del PPC cuantitativo.

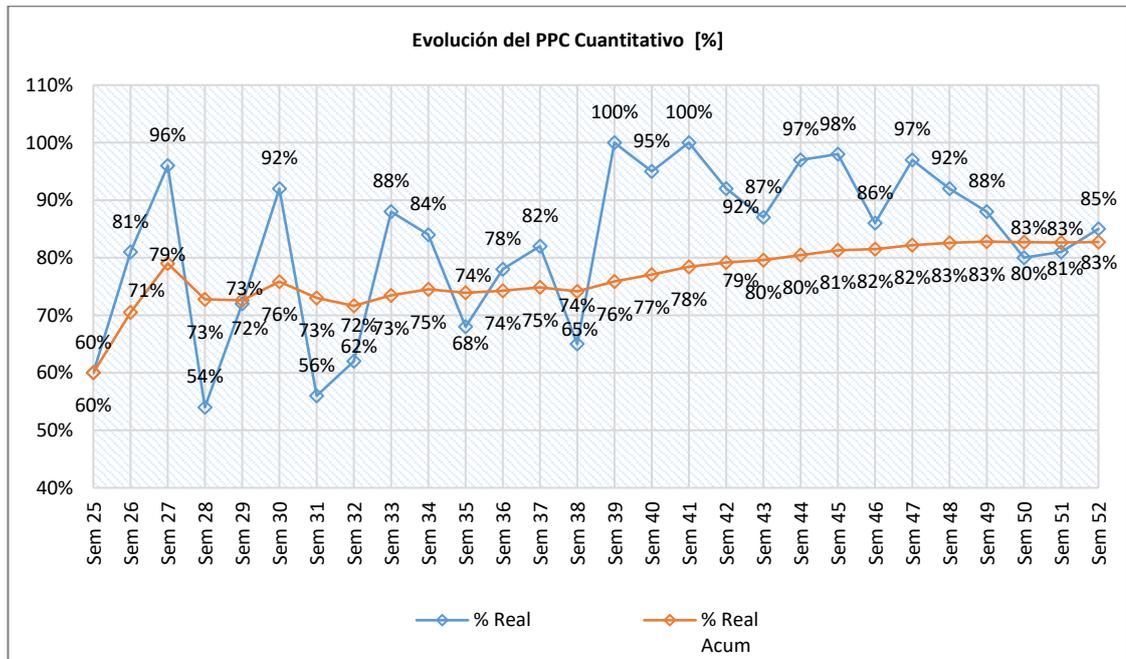


Figura N°6.2 Evolución del PPC Cuantitativo.  
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en las Figuras N° 6.1 y N° 6.2, el PPC cualitativo promedio durante la ejecución del proyecto fue de 77%, y el PPC cuantitativo promedio fue del 83%, se puede considerar que en general tuvieron un PPC alto debido a que están por encima del rango mínimo aceptable considerado por la empresa. Sin embargo, existen varios puntos en donde los porcentajes de cumplimiento fueron bajos. Esto sucedía mayormente al inicio, ya que el grado de involucramiento del equipo no era muy alto, además, que en las primeras semanas el uso de la metodología se fue dando de manera gradual; sin embargo, posteriormente con el transcurrir de las semanas, se usó con mayor fuerza la gestión mediante el uso de los modelos BIM, en las reuniones y en las planificaciones que se trasladaron a obra. Lo cual causó una interacción directa en el planeamiento, incrementando gradualmente el resultado de los PPC, tal como se aprecia en las figuras anteriores.

### 6.8.2 Análisis de las Razones de No Cumplimiento (RNC):

A continuación, en la Figura N°6.3 siguiente se muestran las causas o razones de incumplimientos suscitados en la obra:



Figura N°6.3 Razones de No Cumplimiento.  
Fuente: Elaboración propia.

La Figura N°6.3 muestra las razones de no cumplimiento, las cuales en su mayoría fueron por incumplimientos de los subcontratistas y por actividades previas incompletas. El incumplimiento por parte de subcontratistas sucedía debido, por ejemplo, a que durante las reuniones se acordaba con el subcontratista una cierta carga de trabajo; sin embargo, el subcontratista o bien sólo aceptaba en la mayoría de los casos sin indicar algún posible inconveniente, o no asistía a las reuniones ocasionando que no concluyan a tiempo lo programado, retrasando a las demás actividades. El error de trabajo por prerrequisito está ligado a lo anterior, esto sucedía cuando las actividades que no terminaban lo programado ocasionaban que las tareas subsecuentes del tren de actividades no puedan avanzar.

Por ello, durante las reuniones de planificación se debe siempre incluir y fomentar la participación de todo el equipo técnico, como ingenieros, subcontratistas, capataces, etc. que estén involucrados, ya que las inasistencias a las reuniones, falta de participación y compromiso de las partes asistentes, dificulta la detección de las razones de incumplimientos, interrumpe el flujo de comunicación; causando, a su vez, que no se pueda transmitir de manera adecuada la planificación a los trabajadores finales, lo que finalmente puede afectar directamente al no cumplimiento de las actividades planificadas. Sin embargo, como se observó en la curva de trazabilidad del PPC, estos resultados fueron mejorando gradualmente

en el tiempo, lo que quiere decir que el flujo de comunicación también fue mejorando entre los participantes y por ende mejoró la confiabilidad de la planificación.

## 6.9 ANÁLISIS DE RESULTADOS COMPLEMENTARIOS

### 6.9.1 Análisis de los Requerimientos de Información (RFI)

Se identificó un total de 138 solicitudes de información, antes y durante la construcción; además, como se mencionó en el capítulo anterior, los RFI se clasificaron en 5 grupos diferentes: Consultas de confirmación y/o aclaración, aprobación y/o sugerencias de cambio, incompatibilidad, interferencias, omisión de información y otros. Asimismo, dentro de dicha clasificación se consideraron como RFI por “deficiencias en el diseño” a las consultas por incompatibilidad, interferencias y omisión de información.

Del total de RFI encontrados, la mayor cantidad fueron por “deficiencias en el diseño” que totalizaron en conjunto el 59.4%, seguidas por un 22.5% correspondientes a “aprobación y/o sugerencias de cambio”, luego un 15.2% que fueron por “confirmación y/o aclaración de información” y “otros” un 2.9%. Asimismo, de los RFI por “deficiencias en el diseño” la mayor cantidad que se obtuvo fueron por “incompatibilidades” del 29.0%, seguidas por RFI del tipo “Omisión de información” del 20.3% y finalmente por “interferencias” del 10.1%, tal como se observa en la Figura N°6.4.

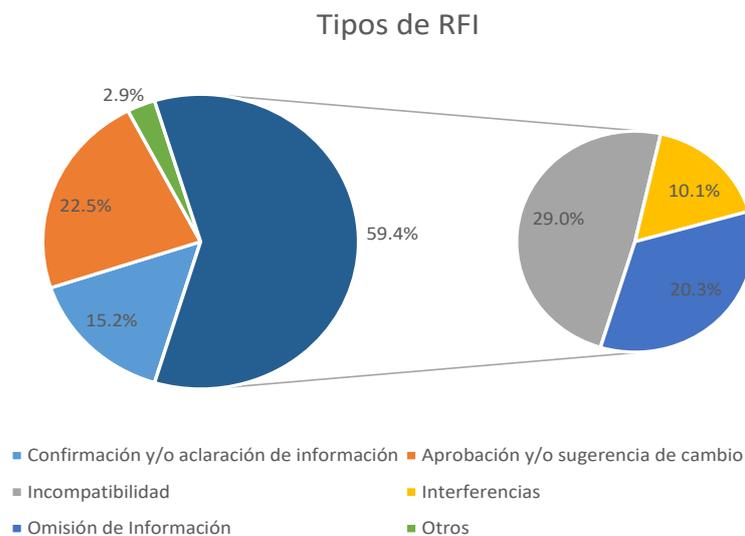


Figura N°6.4 Tipos de RFI del Proyecto  
Fuente: Elaboración propia.

Del total de solicitudes de información obtenidas del proyecto, tanto antes como durante la construcción, se obtuvo que el 68% de los RFI fueron durante la etapa previa a la construcción y 32% de los RFI en la fase de construcción, tal como se observa en la Figura N°6.5.

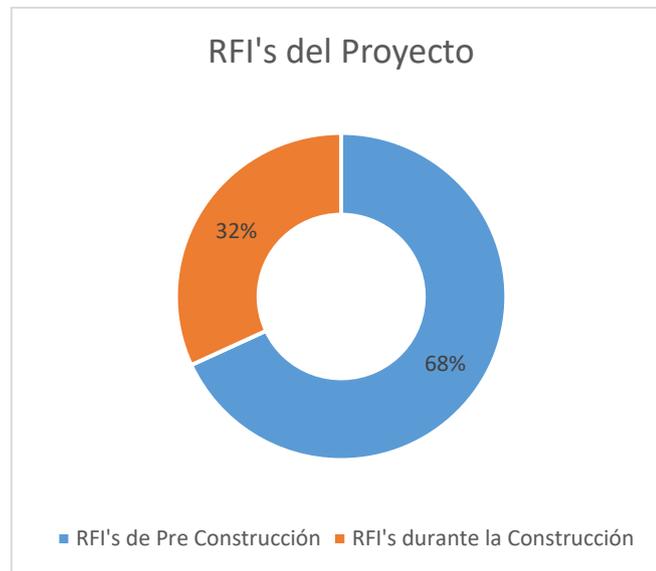


Figura N°6.5 RFI's del Proyecto  
Fuente: Elaboración propia.

De la Figura anterior N°6.5, se puede observar que el uso o aplicación de las herramientas BIM logró que el mayor porcentaje de RFI que pudieron identificarse, del 68%, fuesen obtenidos en la etapa previa a la construcción, lo cual es de gran aporte; ya que mientras más tardío estemos en el ciclo de vida de los proyectos de construcción, la identificación y solución que se dé a las consultas y/o deficiencias encontradas, requerirán un mayor esfuerzo en tiempo y costos. Por lo que, haber obtenido un mayor porcentaje de RFI en una etapa temprana, previa a la construcción, significa un ahorro en los costos del proyecto.

#### 6.9.2 Análisis de las Curvas de Productividad

En las curvas de productividad que se muestran a continuación, se pueden distinguir tres tipos diferentes, la primera es la curva de color verde, la cual representa los rendimientos reales; la segunda es la curva de color amarillo, la cual representa los rendimientos reales acumulados; y la tercera es la curva de color azul, que representa a los rendimientos presupuestados.

En la Figura N° 6.6 se muestra la curva de productividad de la partida del vaciado de concreto en verticales (columnas y placas), en la cual se tenía previsto un rendimiento del 1.51 hh/m<sup>3</sup>; sin embargo, se obtuvo un rendimiento real acumulado del 1.14 hh/m<sup>3</sup>, obteniéndose un ahorro del 24.50% en mano de obra, tal como se ilustra a continuación.

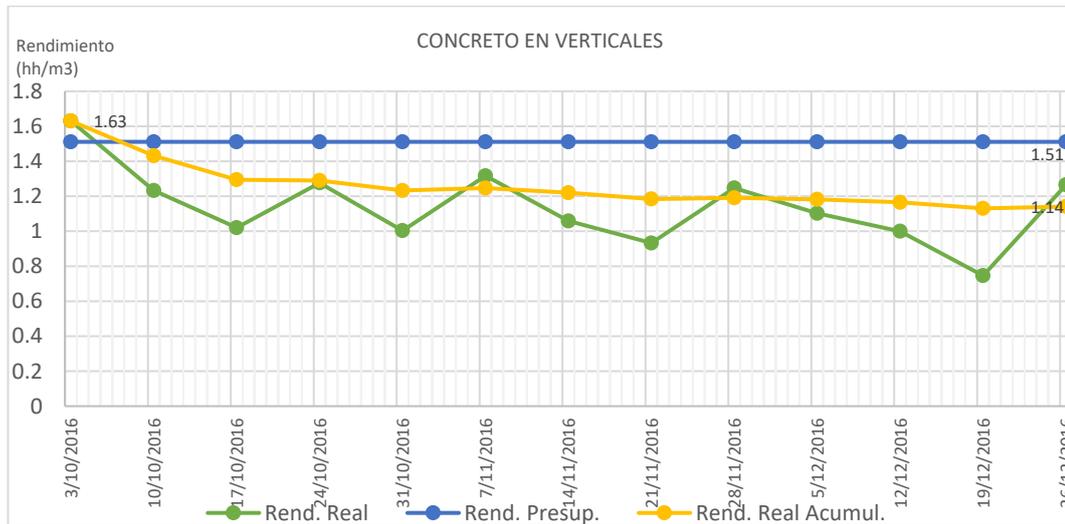


Figura N°6.6 Rendimiento Concreto en Verticales.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 6.7 se muestra la curva de productividad de la partida del vaciado de horizontales (vigas y losas), en la cual se tenía previsto un rendimiento de 1.13 hh/m<sup>3</sup>; sin embargo, se obtuvo un rendimiento real acumulado del 0.87 hh/m<sup>3</sup>, obteniéndose un ahorro de 23.20% en mano de obra, tal como se ilustra a continuación.

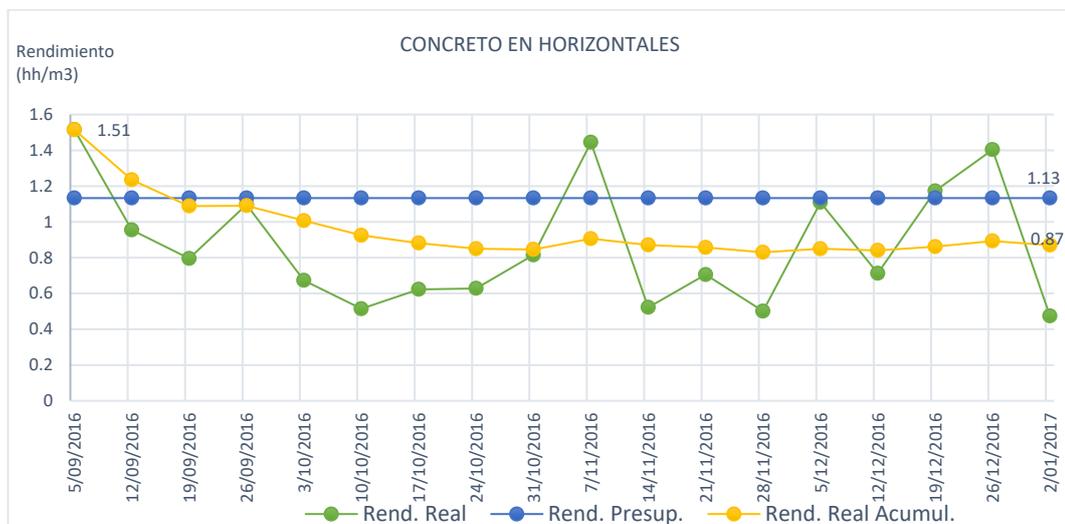


Figura N°6.7 Rendimiento Concreto en Horizontales.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 6.8 se muestra la curva de productividad de la partida del encofrado y desencofrado de columnas y placas, en la cual se tenía previsto un rendimiento de 1.21 hh/m<sup>2</sup>; sin embargo, se obtuvo un rendimiento real acumulado de 0.83 hh/m<sup>2</sup>, obteniéndose un ahorro de 31.80% en mano de obra, tal como se ilustra a continuación.

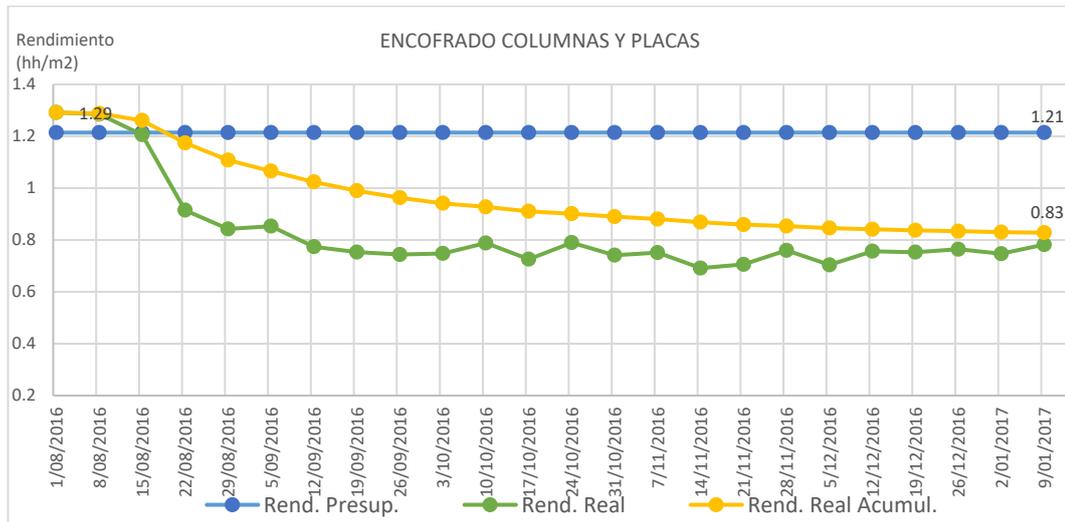


Figura N°6.8 Rendimiento Encofrado en Verticales.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 6.9 se muestra la curva de productividad de la partida del encofrado y desencofrado de losa aligerada, en la cual se tenía previsto un rendimiento de 0.92 hh/m<sup>2</sup>; sin embargo, se obtuvo un rendimiento real acumulado de 0.66 hh/m<sup>2</sup>, obteniéndose un ahorro de 28.78% en mano de obra, tal como se ilustra a continuación.

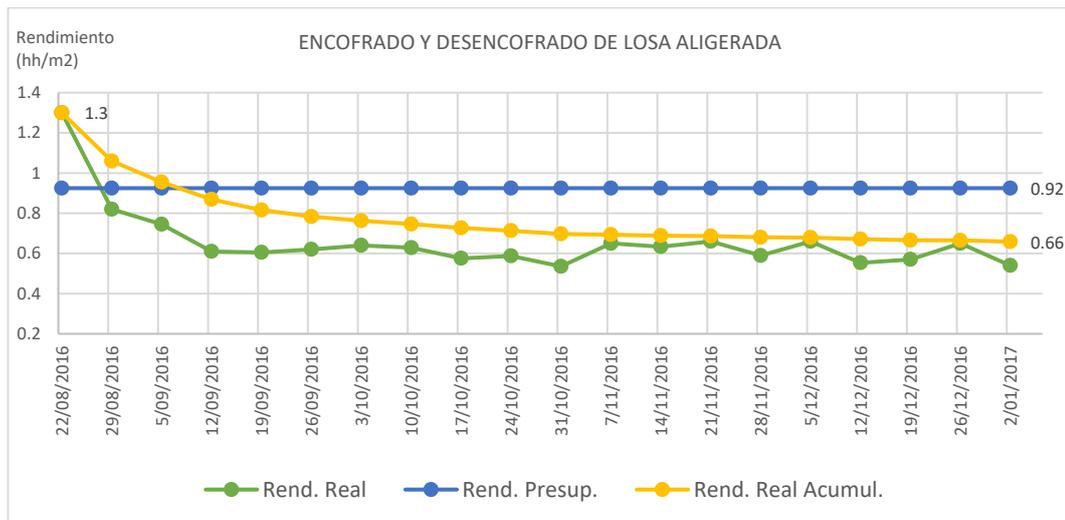


Figura N°6.9 Rendimiento Encofrado y desencofrado en Losa aligerada.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 6.10 se muestra la curva de productividad de la partida del encofrado y desencofrado de vigas, en la cual se tenía previsto un rendimiento de 1.78 hh/m<sup>2</sup>; sin embargo, se obtuvo un rendimiento real acumulado de 1.33 hh/m<sup>2</sup>, obteniéndose un ahorro de 25.43% en mano de obra, tal como se ilustra a continuación.

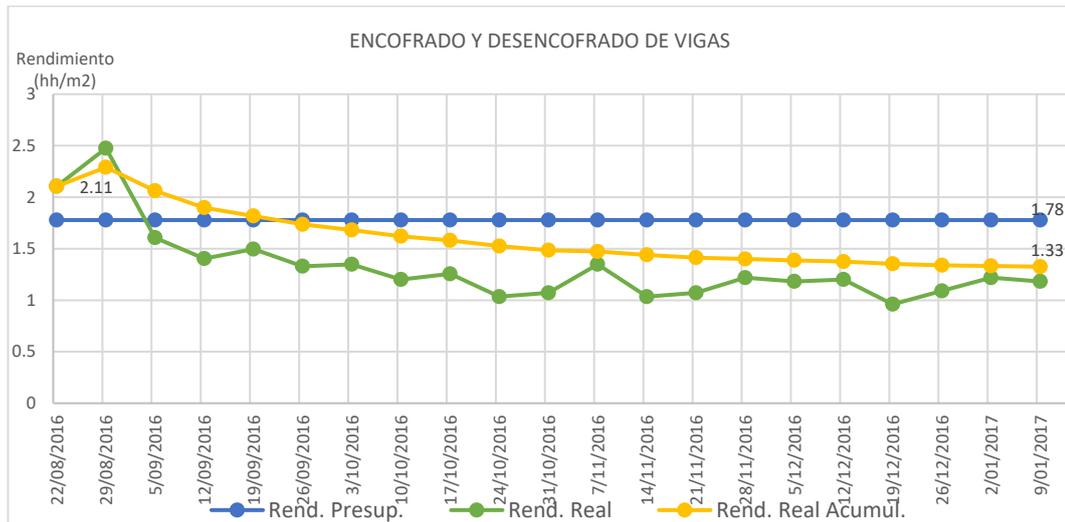


Figura N°6.10 Rendimiento Encofrado y desencofrado en Vigas.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 6.11 se muestra la curva de productividad de la partida del tarrajeo en cielo raso, en la cual se tenía previsto un rendimiento de 0.85 hh/m<sup>2</sup>; sin embargo, se obtuvo un rendimiento real acumulado de 0.65 hh/m<sup>2</sup>, obteniéndose un ahorro de 23.34% en mano de obra, tal como se ilustra a continuación.

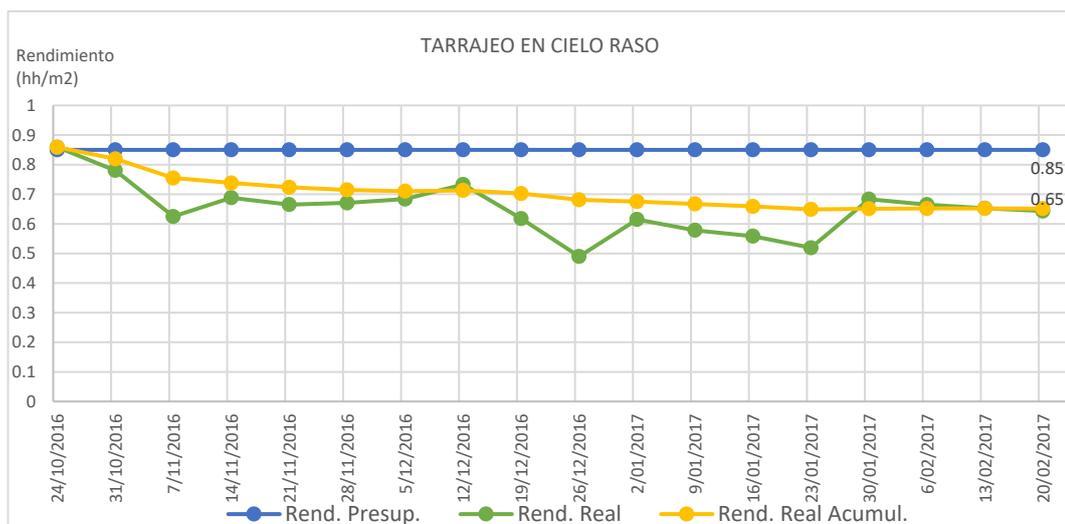


Figura N°6.11 Rendimiento tarrajeo en Cielo raso.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 6.12 se muestra la curva de productividad de la partida del tarrajeo de columnas y vigas, en la cual se tenía previsto un rendimiento de 1.82 hh/m<sup>3</sup>; sin embargo, se obtuvo un rendimiento real acumulado de 1.49 hh/m<sup>3</sup>, obteniéndose un ahorro de 18.36% en mano de obra, tal como se ilustra a continuación.

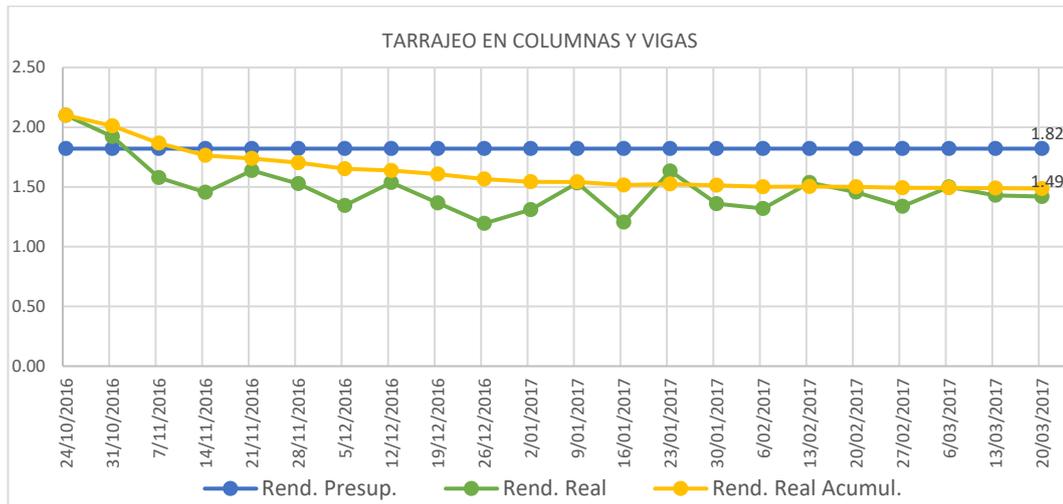


Figura N°6.12 Tarrajeo en Columnas y Vigas.  
Fuente: Elaboración propia.

Tal como se observaron en las figuras N°6.6, N°6.7, N°6.8, N°6.9, N°6.10, N°6.11 y N°6.12, las curvas de productividad muestran una mejora gradual de los rendimientos de las partidas analizadas, es decir, se utilizaron menos recursos de lo que se había presupuestado.

### 6.9.3 Análisis de las Líneas de Balance

En la Figura N°6.13 se observa el seguimiento que se le dio a las partidas mediante líneas de balance, mostrando que las líneas en general no han sufrido una variación en su pendiente; lo que indica que se ha mantenido una velocidad de producción uniforme de las partidas. Así mismo, se puede observar que en general, las líneas de balance son aproximadamente paralelas, lo que quiere decir que las actividades se balancearon de tal manera que no se presentó interrupciones o tiempos de espera que hubiesen conllevado a sobrecostos durante su ejecución.

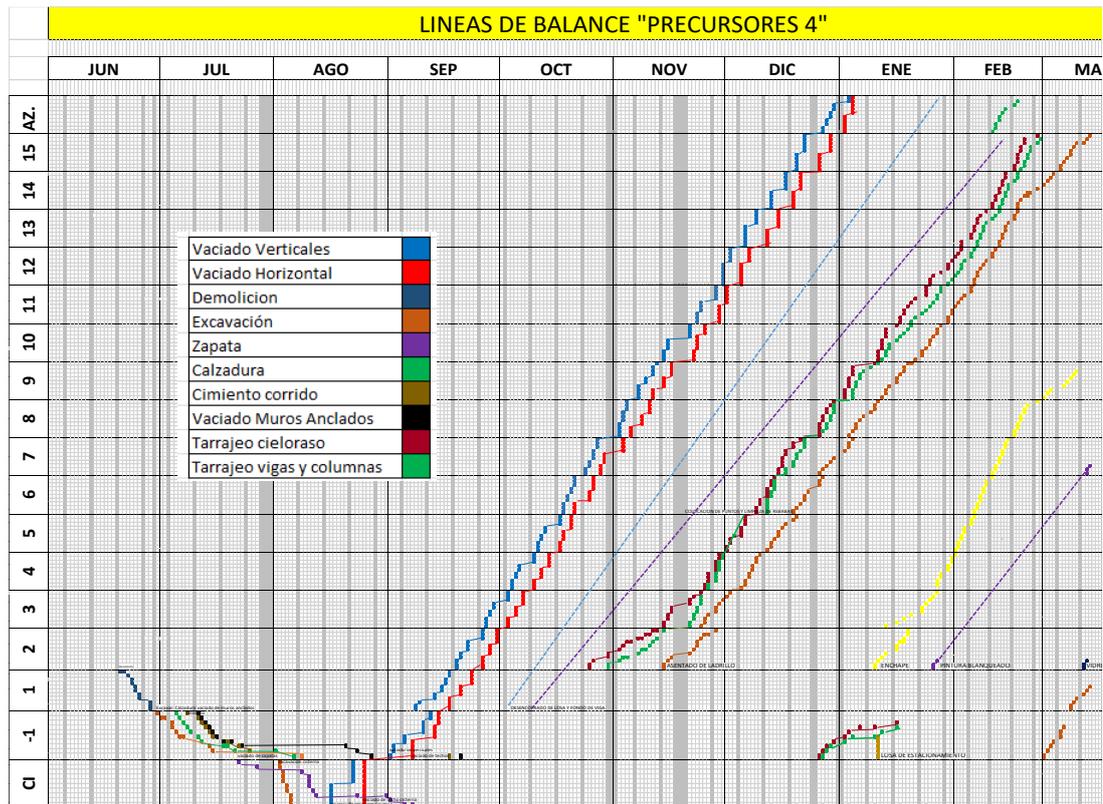


Figura N°6.13 Líneas de balance.  
Fuente: Elaboración propia.

Las líneas de balance de la Figura N°6.13 muestran el avance real de las actividades correspondientes a la leyenda, en ella podemos observar que el casco (línea de color rojo) fue terminado en enero, es decir, ocho semanas antes de lo planificado, ya que según el plan maestro este estaba programado para terminarlo en la 1era semana de marzo; esto se debió a que las actividades previas como la demolición, el movimiento de tierras, calzaduras y muros anclados, tuvieron una velocidad de producción mayor a la planificada. Esto permitió que las partidas de acabados tengan una mayor holgura y puedan iniciar antes.

En las figuras siguientes se muestra la comparación del avance según el plan maestro vs el avance real de obra en dos instantes de tiempo; en el primero, el avance al 15 de enero del 2017 (Figura N°6.14); en el segundo, el avance al 15 de marzo del 2017 (Figura N°6.15). Dichas impresiones visuales nos dan una mejor idea de cuán adelantados estamos realmente en el proyecto, respecto al plan maestro.



Figura N°6.14 Plan Maestro vs Avance Real al 15/01/17.  
Fuente: Elaboración propia.



Figura N°6.15 Plan Maestro vs Avance Real al 15/03/17.  
Fuente: Elaboración propia.

De manera complementaria también resulta beneficioso poder hacer el seguimiento respecto a la curva “S”; por ejemplo, en la Figura N°6.16 se observa que al 15 de marzo se ha valorizado un total de S/. 6,432,050; habiendo ejecutado un 67% de la obra y encontrándose la obra adelantada un promedio de 4 semanas, respecto al 59% programado del cronograma de obra.

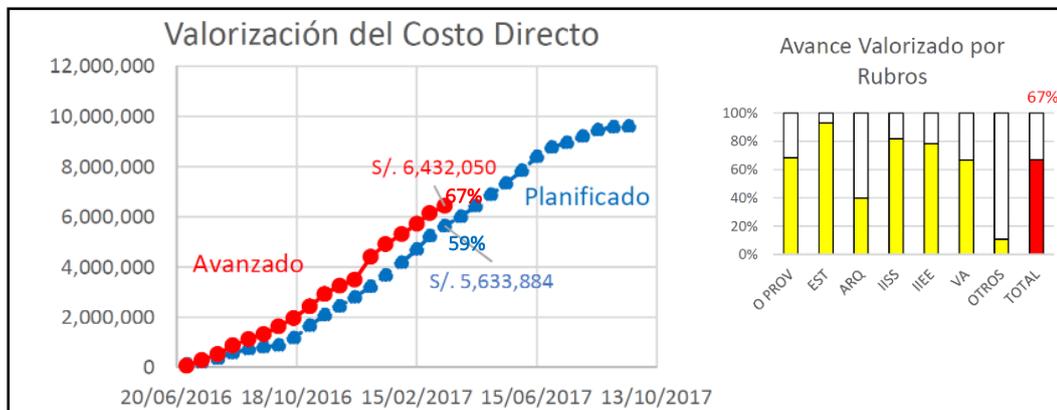


Figura N°6.16 Avance Valorizado al 15/03/17.  
Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

Sobre la Sinergia Last Planner & Bim podemos decir lo siguiente:

- Como observamos, el BIM complementa al last planner desde el plan maestro, en el cual no sólo visualizamos el proyecto a ejecutar mediante la ejecución de partidas con fechas de inicio-fin, sino que también se pudo observar el modelo 3D del proyecto, lo cual nos dio una mejor interpretación de lo que se piensa desarrollar en la realidad.
- Seguidamente, en el plan de fases, el modelo aportó con los metrados de los elementos para la generación, visualización de las alternativas de sectorización y las secuencias constructivas.
- En el lookahead, el modelo aportó visualizando y calculando los lotes de producción para una proyección futura a mediano plazo, de acuerdo con la programación, a su vez, fomentando la participación de los last planners durante la realización del análisis de restricciones.
- En el plan semanal, el modelo mejoró la clásica programación en Excel a una representación más gráfica, facilitando la comunicación visual desde los ingenieros de campo hasta los subcontratistas, maestros de obra, capataces, jefes de cuadrillas y los trabajadores finales quienes son los que realmente se encargan de ejecutar lo planificado.
- En el plan diario, el modelo aportó con los metrados del avance programado y en el seguimiento mediante el registro virtual del avance real con el modelo, los cuales sirvieron posteriormente para el cálculo de los rendimientos reales.
- En el cálculo del PPC, el BIM aportó mostrando visualmente lo programado versus el avance real, haciendo más fácil la interpretación de los porcentajes de avance e identificando visualmente las partidas atrasadas y las causas de incumplimiento para tomar acciones correctivas.
- Debido a la utilización de herramientas BIM en la etapa previa a la construcción se pudo identificar un porcentaje alto de RFI de manera temprana, lo cual hubiese causado demoras, retrasos o retrabajos y por ende sobrecostos, de haberlos detectados en una etapa más avanzada del proyecto.
- Finalmente, podemos decir que las herramientas BIM pueden potenciar y facilitar el desarrollo de cada una de las fases del Last Planner System, como una herramienta de información tanto visual como numérica que genera una

sinergia mediante la cual se puede reducir los sobrecostos, obteniendo mayores utilidades, además de lograr una mayor confiabilidad en la planificación, logrando así una mejor gestión de la construcción del proyecto.

Así mismo, de manera complementaria podemos mencionar lo siguiente:

- Uno de los aportes más importantes del BIM es la automatización, en cuanto al reporte de los metrados y el impacto visual que generan los modelos para construir virtualmente el proyecto, mediante el cual se pudo evaluar las posibles formas de construcción y prevenir los posibles inconvenientes antes de realizarlo en campo.
- Durante la ejecución del proyecto, el PPC obtenido fue alto en promedio; sin embargo, hay algunos puntos en donde los PPC's fueron bajos, lo cual ocurrió debido a que el flujo de comunicación se veía interrumpido, ya sea por inasistencia durante las reuniones, lo cual no permitió identificar adecuadamente todas las restricciones, o por no asegurarse que la planificación llegue hasta los últimos jefes de las cuadrillas de trabajo; sin embargo, estos los valores del PPC fueron mejorando en el tiempo, lo que quiere decir que también mejoró el flujo de comunicación.
- Como se pudo observar, el resultado del PPC está ligado al grado de compromiso que existe entre todos los involucrados en el proyecto, al grado de dinamismo en la reunión de planificación y al flujo de comunicación; asimismo, tales puntos pueden ser reforzados mediante el uso de herramientas visuales como los modelos BIM, lo cual puede mejorar los resultados y la confiabilidad de la planificación.
- Respecto a los resultados obtenidos, si bien no se cuantificó en qué medida o porcentaje son atribuibles al BIM o al Last Planner System, sí se pudo observar una mejora en los resultados gradual en el tiempo, producto de la intervención sinérgica de ambas herramientas.

## RECOMENDACIONES

- Para la aplicación de la metodología presentada es recomendable tener dentro del equipo de producción en obra a alguien encargado de hacer el seguimiento de los avances diarios con el modelo, que realice todos los cambios que se den en obra, actualizando el modelo y realizando las programaciones 4D.
- Además de la existencia de un responsable en obra a cargo del manejo de la información del modelo BIM, también es recomendable que el personal técnico que acompaña la gestión y dirección de la obra pueda extraer información, visualizar y manejar básicamente el modelo; para ello, es imprescindible que se les pueda brindar capacitaciones internas, de lo contrario sólo generará un mayor rechazo al empleo de tales herramientas tecnológicas.
- Durante las mediciones de avance real en campo, se llevaban planos y se coloreaban en campo, para luego en oficina exportar los metrados del Revit, este proceso puede simplificarse si se utilizaran herramientas adecuadas, como por ejemplo, tablets, en donde se puedan registrar directamente en campo, seleccionando y registrando en el modelo, lo que se ha avanzado.
- Es importante mantener un estándar de colores que representan ciertos procesos constructivos y tratar de no cambiarlos, para no confundir al personal técnico – obrero y generar una mejor correlación mental con los procesos y sus colores, fomentando un aprendizaje más rápido.
- Al usar herramientas BIM durante las reuniones, se recomienda usar una pantalla principal o proyector, así como distribuir impresa la planificación visual a cada uno de los participantes, de tal manera que todos los asistentes la puedan apreciar y se pueda fomentar la participación de cada uno de los involucrados.
- Dado los beneficios encontrados entre el BIM y el Last Planner System en la presente tesis, se recomienda complementar la gestión y control de los proyectos con otras herramientas, como el valor ganado, entre otros, vinculados con el modelamiento paramétrico BIM, en conjunto con el Last Planner System; los cuales podrían realizar un control más completo de la ejecución del proyecto. Asimismo, también sería interesante poder analizar y aplicar de qué manera podría complementarse el BIM y el Lean Construction a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto, desde su concepción hasta su operación y mantenimiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Autodesk (2002). *Building Information Modeling*. White Paper.
2. Ballard, G. (2000). *Phase Scheduling*. Recuperado de <https://p2sl.berkeley.edu/wp-content/uploads/2016/03/W007-Ballard-2000-Phase-Scheduling-LCI-White-Paper-7.pdf>
3. Ballard, G. (2000). *The Last Planner System of production control*. Birmingham: University of Birmingham. Recuperado de <https://leanconstruction.org/uploads/wp/media/docs/ballard2000-dissertation.pdf>
4. Ballard, G. (2008). The Lean Project Delivery System: An Update. *Lean Construction Institute Journal*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/228362769\\_The\\_lean\\_project\\_delivery\\_system\\_An\\_update](https://www.researchgate.net/publication/228362769_The_lean_project_delivery_system_An_update).
5. Ballard, G. y Tommelein, I. (1998). *Aiming for continuous flow*. Lean Construction Institute, White paper 3.
6. Bhatla, A. and Leite, F. (2012). *Integration Framework of BIM with the Last Planner System TM*. Proceedings of the 20th Annual Conference International. Group for Lean Construction, California - USA.
7. BimForum (2017). *Level Of Development Specification Guide*. Recuperado de: [https://bimforum.org/wp-content/uploads/2017/11/LOD-Spec-2017-Guide\\_2017-11-06-1.pdf](https://bimforum.org/wp-content/uploads/2017/11/LOD-Spec-2017-Guide_2017-11-06-1.pdf).
8. Botero, L. (2006). *Construcción sin pérdidas, análisis de procesos y filosofía lean construction*. Segunda edición: Editorial Legis, Colombia.
9. CAPECO. (2021). *Informe Económico de la Construcción (39)*. Recuperado de [http://www.construccioneindustria.com/iec/descarga/IEC39\\_0321.pdf](http://www.construccioneindustria.com/iec/descarga/IEC39_0321.pdf).
10. Castillo, I. (2014). *Inventario de herramientas del sistema de entrega de proyectos Lean (LPDS)* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
11. Chevallier, N., & Russell, A. (1998). Automated Schedule generation. *Canadian Journal for Civil Engineering*, 25(6), 1059-1077. <https://doi.org/10.1139/I98-029>.
12. Dave, B., Koskela, L., Kiviniemi, A., Tzortzopoulos, P., & Owen, R. (2013). Implementing lean in construction: Lean Construction and BIM. *Ciria Guide C725*. London, UK.

13. Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, architects, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons.
14. Fuentes, D. (2014). *Influencia de la estandarización en el uso de modelos de información de edificios (BIM)* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
15. Galiano, H. (2018). *Planeamiento, programación y control de obras de edificaciones empleando herramientas BIM 3D, 4D y 5D* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
16. Grabowski, R. (2010). *CAD & BIM: Is There A Free Pass?*. UpFront.reSearch. ISBN: 978-1-926897-15-8.
17. Hamzeh, F., Ballard, G., & Tommelein, I. (2009). *Is The Last Planner System Applicable To Design? A Case Study*. Proceedings of the 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Taipei - Taiwán.
18. Khanzode, A., Fischer, M., Reed, D., & Ballard, G. (2006). *A Guide to Applying the Principles of Virtual Design & Construction (VDC) to the Lean Project Delivery Process*. Stanford University, USA.
19. Kong, S., & Li, H. (2009). *A Qualitative Evaluation of Implementing Virtual Prototyping in Construction*. International Conference in Visualisation. IEEE Computer Society, Barcelona - España.
20. Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. CIFE Technical Report # 72. Stanford University, USA.
21. Lean Construction Institute (2017). *What is Lean Design & Construction?*. Recuperado de <https://www.leanconstruction.org/about-us/what-is-lean-design-construction/>.
22. Lean Construction Institute (2017). *Lean Project Delivery Glossary*. <https://leanconstruction.org/glossary/>.
23. Lean Enterprise Institute (s.f.). *What is Lean?*. Consultado en <https://www.lean.org/WhatsLean/>.
24. Liker, J. (2004). *The Toyota Way, 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill.
25. MacLeamy, P. (2004). *Collaboration, Integrated Information, and the Project Lifecycle in Building Design, Construction and Operation*. Construction Users Roundtable. Recuperado de <https://kcuc.org/wp->

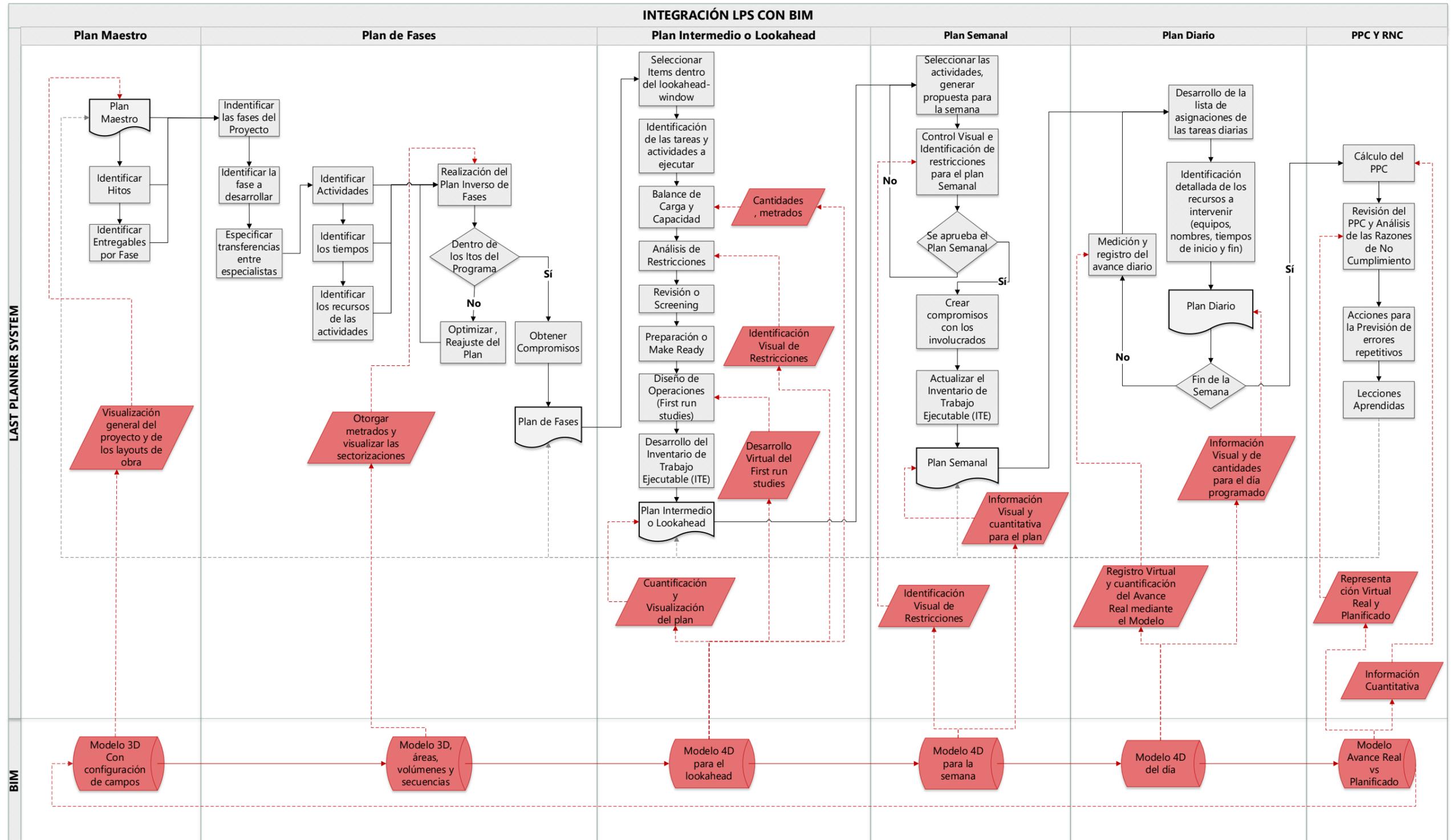
- content/uploads/2013/11/Collaboration-Integrated-Information-and-the-Project-Lifecycle.pdf
26. Mateu, D. (2015). *Building Information Modeling 4D aplicado a una planificación con Last Planner System* (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10251/55623>.
  27. Murguía, D. (2019a). *Factors influencing the use of Last Planner System Methods An empirical study in Perú*. <https://doi.org/10.24928/2019/0224>.
  28. Murguía, D. (2019b). *Estudio de Macro Adopción BIM en Perú 2019*. <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/166976>.
  29. Nielsen, A., Madsen, S. (2010). *Structural modelling and analysis using BIM tools* (Tesis de maestría). Aalborg University, Aalborg - Dinamarca.
  30. Olgún, R. (2011). *Estudio de Impacto por la Implementación de un modelo 4D y Last Planner en Obra*. Santiago (Tesis de pregrado). Recuperado de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104018>.
  31. Orihuela, P., Canchaya, L., & Rodriguez, E. (2015). *Gestión Visual del Sistema Last Planner Mediante el Modelado BIM*. Recuperado de [http://www.motiva.com.pe/articulos/Gestion\\_Visual\\_BIM\\_aplicada\\_LastPlanner.pdf](http://www.motiva.com.pe/articulos/Gestion_Visual_BIM_aplicada_LastPlanner.pdf).
  32. Ouchi, W. (1982). *Theory Z, how American business can meet the Japanese challenge*. Avon.
  33. Sacks, R., Dave, B., Koskela, L., & Owen, R. (2009). *Analysis framework for the interaction between Lean Construction and Building Information Modelling*. Proceedings for the 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Taipei - Taiwán.
  34. Sacks, R., Eastman, C., & Lee, G. (2004). Parametric 3D modeling in building construction with examples from precast concrete. *Automation in Construction*, 13(3), 291-312. [https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(03\)00043-8](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(03)00043-8).
  35. Sacks, R., Koskela, L., Dave, B., & Owen, R. (2010). Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. *Journal of construction engineering and management*. 136(9), 968-980. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000203](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203).
  36. Vicencio, G. (2015). *Desarrollo del Sistema Último Planificador usando Tecnología Bim-4D en proyectos de construcción* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima - Perú.

37. Womack, J., & Jones, D. (1996). *Lean Thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. Simon & Schuster.
38. Zarzo, J. (2019). *Implementación de un sistema de seguimiento y control usando BIM en las obras civiles de un proyecto petroquímico* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima - Perú.

## ANEXOS

ANEXO N°01:	ESQUEMA DE INTEGRACIÓN DEL LPS CON BIM.....	136
ANEXO N°02:	REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN (RFI) .....	137
ANEXO N°03:	MODELO DE ESTRUCTURAS .....	139
ANEXO N°04:	MODELO DE ARQUITECTURA.....	140
ANEXO N°05:	PLAN MAESTRO MEDIANTE BARRAS GANTT .....	141
ANEXO N°06:	PLAN MAESTRO MEDIANTE LÍNEAS DE BALANCE .....	142
ANEXO N°07:	LAYOUT 3D DE PISOS SUPERIORES .....	143
ANEXO N°08:	PLAN DE SEGURIDAD, ACCESO A DESCARGA DE MATERIALES Y SEÑALIZACIÓN DE VÍAS OCUPADAS.....	145
ANEXO N°09:	PLANILLA DE ACTIVIDADES – ANÁLISIS DE RESTRICCIONES.....	146
ANEXO N°10:	LISTA RESUMEN DEL ANÁLISIS DE RESTRICCIONES ...	147
ANEXO N°11:	PROGRAMACIÓN VISUAL .....	148

ANEXO N°01: ESQUEMA DE INTEGRACIÓN DEL LPS CON BIM

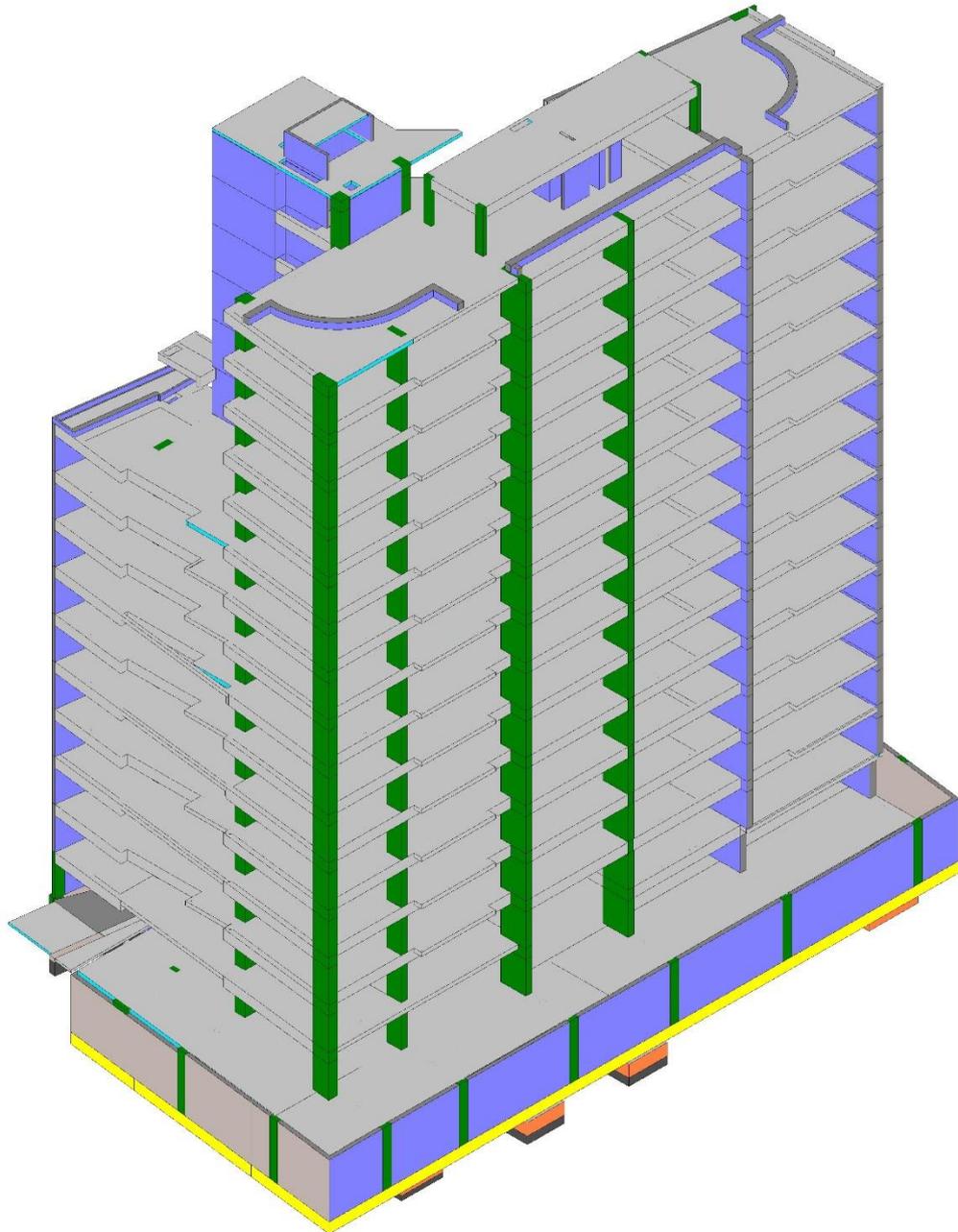


ANEXO N°02: REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN (RFI)

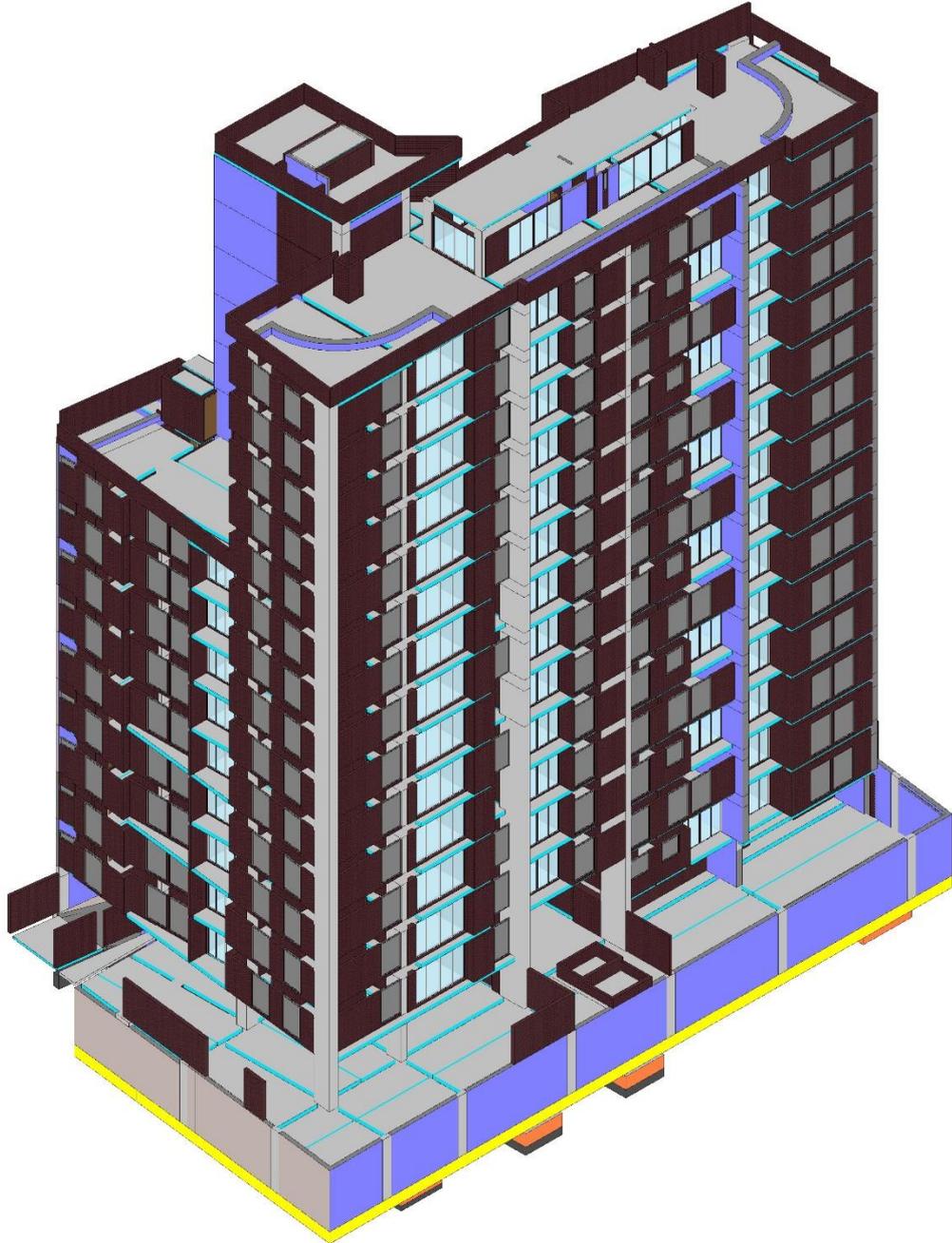
RFI	FASE	Tipo	Asunto	Requerimiento de la Información - RFI	Envío de la Información - SI	Especialidad	Revisión
				Consulta	Respuesta		
RFI-138	Construcción	Confirmación y/o aclaración de información	Intercomunicadores en dormitorios principales	Arquitecto, de acuerdo con los planos eléctricos se debe de colocar intercomunicadores en los dormitorios principales y cocina, sin embargo se ha elaborado el presupuesto considerando sólo 01 intercomunicador imagino que en la cocina.	Se considerará un solo intercomunicador y estará ubicado en la cocina	ARQUITECTURA	OK
RFI-137	Construcción	omisión de Información	Subestación eléctrica,	Arquitecto, Se sabrá algo de los requerimientos técnicos de la subestación?, estamos a la espera de información para terminar trabajos en esa zona. Saludos Delfín	Se adjunta detalles finales en zona de subestación.	ARQUITECTURA	OK
RFI-136	Construcción	Incompatibilidad	Pulsador y luz estroboscópica en piso 01	Arquitecto, Como le comenté por teléfono, existen en el primer piso según planos de INDECI hasta 04 pulsadores y 04 luces estroboscópicas, y de acuerdo con el plano eléctrico no existe ninguno. Requerimos saber si trabajaremos con todos los puntos indicados	Se actualiza plano eléctrico adjunto, de acorde a los planos de INDECI	ARQUITECTURA	OK
RFI-135	Construcción	Confirmación y/o aclaración de información	Piso de jardinera de rampa	Arquitecto, De acuerdo a conversaciones sostenidas con el Sr. Luis de La Cruz de Jardín Urbano, no hay problema en vaciar un piso de concreto en la jardinera del primer piso que está a la altura de la rampa, que él lo consideraría así.	Esta correcto, la idea era coordinar con Luis, para no variar el costo pactado.	ARQUITECTURA	OK
RFI-134	Construcción	Otros	Viga de Lobby	Arquitecto, Adjunto viga de lobby, para que lo revise el proyectista estructural de acuerdo a solicitud del supervisor de obra. Saludos Delfín	Es conforme, proceder.	ARQUITECTURA	OK
RFI-133	Construcción	Incompatibilidad	Detalle de losa vibratoria monóxido	Fernando, Previo a este correo, el 11.02, me han enviado otro detalle para la losa vibratoria cuyas medidas no compatibiliza con el detalle enviado el 20.02. Nosotros respetaremos el último envío. Por otro lado, queremos determinar el alto de la losa vibratoria.	Ing. Delfin Considerar la última información enviada por ingeniería. Gracias.	ARQUITECTURA	OK
RFI-132	Construcción	Omisión de Información	Detalle de parrillas y azotea	Arquitecto Jorge, Requerimos nos pueda enviar el detalle de las parrillas que irán en la azotea, además en el plano de azotea que nos ha enviado, necesitamos que nos defina los formatos y tipo de cerámico que colocaremos para poder realizar el presupuesto	los detalles de parrilla, es necesario levantar los ductos a una altura de 2.30 m para iniciar el trazado de las parrillas. En estos ductos se colgará el	ARQUITECTURA	OK
RFI-131	Construcción	Omisión de Información	Detalle de azotea	Arquitecto, Está pendiente el detalle de la azotea, posición de los bbq, y tipo de pisos que colocaremos. Saludos Delfín	Proceder de acorde al detalle adjunto.	ARQUITECTURA	OK
RFI-130	Construcción	Otros	Vanos de celosía, puertas y ventanas modificadas por gas	Arq. Jorge Hay que definir cómo quedarían los siguientes vanos producto de la modificación del gas. Dpto. 201 • V-09 Lavandería (Celosía)- No tiene sobre encimado. • PV-01 Cocina - Puerta batiente Dpto. 202 • V-7 (Lavandería) Dpto. 203 • PV-	Ya se coordinó con Mónica Guillen, dice que el encargado esta enfermo y asignaran otro ingeniero para iniciar la producción.	ARQUITECTURA	OK
RFI-129	Construcción	Otros	Subestación eléctrica, suministro de acometida de agua y gas	Arq. Jorge De acuerdo con Lorenzo, lo de la sub estación debo coordinarlo con Ud. A la espera de su confirmación. Por otro lado, queríamos solicitar la conexión domiciliaria a la red de desagüe,.	telefonos: 517-3018 y 999-778-365) quien esta encargado del proyecto. La respuesta es que la otra semana darán el presupuesto y apenas se pague	ARQUITECTURA	OK
RFI-128	Construcción	Aprobación y/o sugerencia de Cambio	Resistencia del concreto y distribución de acero en muro king block	Ing. Rivera, Para la tabiquería del edificio Precursores 4 estamos empleando tabiquería armada king block de 9cm de espesor, para lo que estamos usando concreto líquido de 140 kg/cm2 de resistencia, con un refuerzo vertical y horizontal de 3/8".	Es conforme, de acuerdo a lo acordado.	ESTRUCTURAS	OK

RFI-23	Preconstrucción	Interferencias	Ubicación de red de tuberías	La red de tuberías se modelo considerando a esta zona como la ubicada a fondo de viga	para crecer en altura, teniendo 2.70m entre fondo de Viga y Piso del Sótano con la finalidad de poder pasar toda la tubería de Desagüe debajo del fondo	INSTALACIONES SANITARIAS	OK
RFI-22	Preconstrucción	Incompatibilidad	Incompatibilidad de niveles de VC-5, VC-6 con Z-9 y Z-11	Incompatibilidad de niveles en las vigas de cimentación VC-5 y VC-6. De acuerdo al detalle TIPO 7 la viga de cimentación conecta las zapatas Z-9 y Z-11 con el muro de la cisterna, sin embargo estas zapatas están por encima del nivel de la cisterna lo que origina que el detalle sea incorrecto. Se solicita compatibilizar.	La VC-5 y VC-6 van de Z-09 a Z-12 y Z-11 a Z-08 respectivamente, tomando la profundidad la de la zapata menos profunda	ESTRUCTURAS	OK
RFI-21	Preconstrucción	Incompatibilidad	Incompatibilidad de niveles de VC-1 con Z-6 y Z-10	En la sección de la viga de cimentación TIPO 1 se indica que la viga conecta ambas zapatas teniendo como base el nivel inferior. Sin embargo las zapatas se encuentran a diferente nivel lo que genera que este detalle no sea correcto (VER IMAGEN 1), se solicita corregir detalle.	La VC-1 toma la profundidad de la zapata tipo 10A	ESTRUCTURAS	OK
RFI-20	Preconstrucción	Incompatibilidad	Incompatibilidad VC-1 y VC-2 de plano y detalle	La viga de cimentación 1 y 2 no tienen el mismo ancho en la vista en planta que en el cuadro de detalles de las vigas.	Se corrigió el ancho de las vigas de cimentación en plano en planta	ESTRUCTURAS	OK
RFI-19	Preconstrucción	Omisión de Información	Refuerzo columna CZA	No se especifica el refuerzo de las columnas de azotea CZA.	Se adjunta detalle solicitado (dwg.)	ESTRUCTURAS	OK
RFI-18	Preconstrucción	Confirmación y/o aclaración de información	Tipo de Vigas de cimentación 06 y 07	De acuerdo con el cuadro de vigas de cimentación, se indica que las vigas VC-06 y VC-07 son de tipo 7. Debido al desnivel de las zapatas que conectan ambas vigas, por el contrario parecen ser de una combinación de un tipo 7 y 08. Para efectos de metrado se considera esta distribución geométrica.	Es conforme, se actualizará detalle.	ESTRUCTURAS	OK
RFI-17	Preconstrucción	Omisión de Información	Cuadro de acabados	Arq. Jorge, requiero el cuadro de acabados que solía hacer para sus proyectos, para saber los tipos de acabados, sobretodo en áreas comunes, lobby, hall de ascensores, vestíbulos, escaleras, etc. Gracias.	Se adjunta cuadro de acabados.	ARQUITECTURA	OK
RFI-16	Preconstrucción	Incompatibilidad	Jardinera piso 11	El diseño de la jardinera en el piso 11 del plano de encofrados E-11, no coincide con arquitectura, se considera para fines de presupuesto el detalle de los cortes 1, 2 y 3, sin embargo es necesario actualizar los planos para fines de construcción. Además que la losa maciza considerada bajo la jardinera también se reduciría.	Ver detalle en plano E-07	ESTRUCTURAS	OK
RFI-15	Preconstrucción	Incompatibilidad	Muro ME4	No existe muro ME-4 en planos de estructuras, sin embargo se menciona en cuadro de muros.	Es conforme, se actualizará cuadro detalle en plano E-05.	ESTRUCTURAS	OK
RFI-14	Preconstrucción	Omisión de Información	Resistencia de concreto muros estructurales	- No se indica resistencia de concreto de muros de corte I, III, IV en cuarto de bombas y monóxido, se asumirá resistencia de $f'c=280\text{kg/cm}^2$ , igual a la cisterna. Tampoco se especifica resistencia de los detalles AM1, AM2, AM3, M2, M-2A, M3, M-3A.	Conforme, la resistencia es $f'c=280\text{kg/cm}^2$	ESTRUCTURAS	OK
RFI-13	Preconstrucción	Aprobación y/o sugerencia de Cambio	Resistencia de concreto de elementos verticales	construible (Muros, columnas y placas). Por ejemplo, de acuerdo a los planos de diseño en el piso 01 se debería colocar hasta 03 tipos de resistencia sólo en columnas ( $f'c=210\text{kg/cm}^2$ , $f'c=260\text{kg/cm}^2$ , $f'c=350\text{kg/cm}^2$ ), con volúmenes de concreto por consumir bastante bajos (< a los 3m <sup>3</sup> ) por cada tipo. Esto genera sobre costos en cuanto	Se ha uniformizado las resistencias del concreto, verificar en plano E-05	ESTRUCTURAS	OK
RFI-12	Preconstrucción	Aprobación y/o sugerencia de Cambio	Distribución de subcimientos	son, por ejemplo en las zapatas Z-1 y Z-2, es más conveniente que la zapata Z-1 lleve la subzapata debido a la cercanía con la Z-2, sin embargo se le coloca subzapata de 0.30 a la zapata Z-2. Se solicita que se verifique la consideración de la construcción de las subzapatas. Para efectos del metrado se considera el diseño tal cual.	acorde con la profundidad de cimentación solicitada del estudio de suelos ( $h_c=1.50\text{m.}$ ), por lo que sólo sería necesario relizar subzapata en Z-	ESTRUCTURAS	OK
RFI-11	Preconstrucción	Incompatibilidad	Incompatibilidad NFZ zapata Z-10	El NFZ de la zapata Z-10 en el cuadro de zapatas indica -5.55 y no coincide con el corte VI que indicaría el nivel de esta zapata a NFZ -7.55. Se considera para efectos de presupuesto el nivel del corte VI debido a que se encuentra a un nivel más abajo que el del NPT de la cisterna, tal como debe de ser.	El NFZ debe de ser de -7.55 tal como se indica en el corte.	ESTRUCTURAS	OK

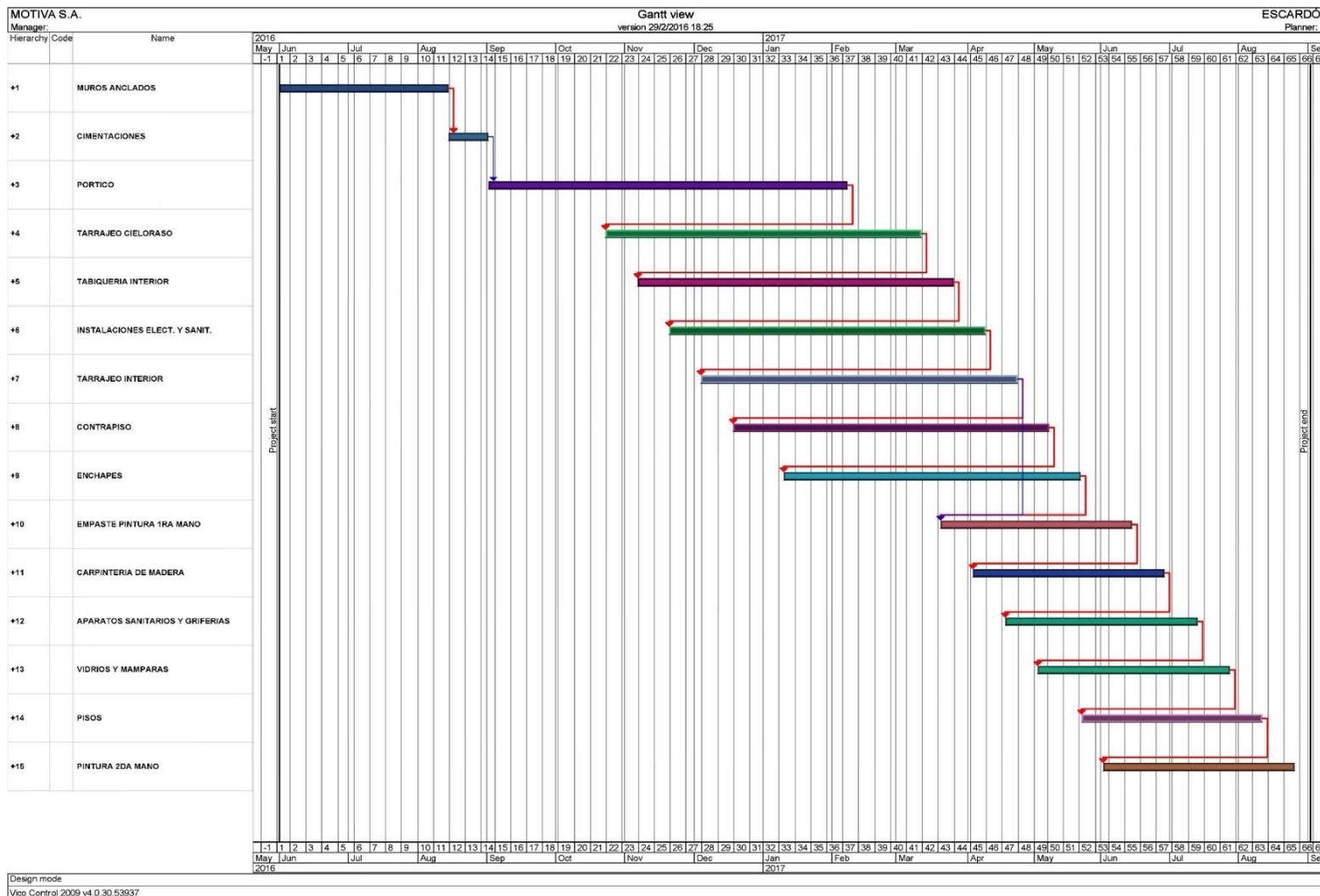
ANEXO N°03:      MODELO DE ESTRUCTURAS



ANEXO N°04:      MODELO DE ARQUITECTURA



ANEXO N°05: PLAN MAESTRO MEDIANTE BARRAS GANTT





ANEXO N°07: LAYOUT 3D DE PISOS SUPERIORES

7.1 UBICACIÓN DE ÁREAS DE TRABAJO



## 7.2 UBICACIÓN DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS



ANEXO N°08: PLAN DE SEGURIDAD, ACCESO A DESCARGA DE  
MATERIALES Y SEÑALIZACIÓN DE VÍAS OCUPADAS





ANEXO N°10: LISTA RESUMEN DEL ANÁLISIS DE RESTRICCIONES

Item	FECHA DE SOLICITUD	SEM. SOL.	SOLICITANTE	RESPONSABLE	ÁREA RESPONSABLE	DESCRIPCIÓN DE LA RESTRICCIÓN	TIPO DE RESTRICCIÓN	FECHA REQUERIDA	SEM. REQ.	FECHA COMPROMETIDA	SEM. COMP.	ESTADO	FECHA DE LEVANTAMIENTO	SEM. LEV.	OBSERVACIONES
183	05-dic-16	49	DEY	ORLANDO	LOGISTICA	ARREGLAR ELEVADOR MONTACARGA	EQ.	13-dic-16	50	09-dic-16	49	LEVANTADA	09-dic-16	49	----
220	05-dic-16	49	DEY	FERNANDO	11. OFICINA TÉCNICA	SOLICIT. DE AUMENTO DE CUADRILLA	MO	12-dic-16	50	09-dic-16	49	LEVANTADA	08-dic-16	49	----
222	05-dic-16	49	DEY	ORLANDO	LOGISTICA	SOLICITAR CAMBIO DE TUBOS DE DESMONTE	EQ.	12-dic-16	50	09-dic-16	49	LEVANTADA	08-dic-16	49	----
224	05-dic-16	49	DEY	ORLANDO	LOGISTICA	SOLICITAR ACERO PARA ANCLAJE DE KING BLOCK	MAT	13-dic-16	50	13-dic-16	50	EN PROCESO	13-dic-16	50	----
228	05-dic-16	49	DEY	ORLANDO	LOGISTICA	FALTA MATERIAL KING BLOCK	MAT	19-dic-16	51	12-dic-16	50	EN PROCESO	----	----	----
264	05-dic-16	49	DEY	FERNANDO	11. OFICINA TÉCNICA	INF. PARA CAMBIO DE TRIPODES PARA TARRAJEO	INF.	15-dic-16	50	15-dic-16	50	EN PROCESO	----	----	----
537	05-dic-16	49	DEY	FERNANDO	10. PRODUCCIÓN	CORDINAR EL USO DEL ELVADOR MONTACARGA	EQ.	12-dic-16	50	12-dic-16	50	LEVANTADA	07-dic-16	49	----
541	05-dic-16	49	DEY	FERNANDO	LOGISTICA	LADRILLO DE TECHO	MAT.	13-dic-16	50	13-dic-16	50	LEVANTADA	09-dic-16	49	----
547	05-dic-16	49	DEY	ORLANDO	11. OFICINA TÉCNICA	FALTA DETALLES DE ACERO VARILLAS DE ACERO	INF.	12-dic-16	50	07-dic-16	49	LEVANTADA	07-dic-16	49	----
549	05-dic-16	49	DEY	FERNANDO	11. OFICINA TÉCNICA	ENVIAR PROGRAMACIÓN DE CONCRETO	MAT.	13-dic-16	50	07-dic-16	49	LEVANTADA	07-dic-16	49	----
550	05-dic-16	49	DEY	ORLANDO	11. OFICINA TÉCNICA	BASTIDORES PARA VIGAS	EQ.	14-dic-16	50	09-dic-16	49	LEVANTADA	09-dic-16	49	----
555	05-dic-16	49	DEY	FERNANDO	11. OFICINA TÉCNICA	FALTA PLÁSTICO PARA CUBRIR LADRILLO	MAT.	15-dic-16	50	07-dic-16	49	LEVANTADA	07-dic-16	49	----

ANEXO N°11: PROGRAMACIÓN VISUAL

