

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**DESARROLLO DEL SISTEMA ÚLTIMO PLANIFICADOR
USANDO TECNOLOGÍA BIM-4D EN PROYECTOS DE
CONSTRUCCIÓN**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

GEDEÓN VICENCIO SALAZAR

Lima- Perú

2015

A Dios

A mis padres, hermana y familia

*A la Universidad Nacional de
Ingeniería.*

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a mi familia por todo el apoyo brindado durante mi formación universitaria, por sus consejos y esfuerzos realizados para que pueda realizarme como profesional.

A la Universidad Nacional de Ingeniería, mi alma mater, que durante estos años me brindo una excelente formación académica y a quien espero retribuir con mis aportes a la sociedad; a sus profesores de la Facultad de Ingeniería Civil que guiaron mis estudios.

A mi asesor de tesis Dr. Juan Ríos Segura, por haberme brindado su disposición y tiempo para corregirme y enseñarme el camino a seguir para desarrollar el presente trabajo.

A la empresa JJC Contratistas Generales, por haberme permitido un espacio para aplicar mi trabajo.

ÍNDICE

RESUMEN	3
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	7
INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1 ESTADO DEL PROBLEMA	11
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.3 PROPÓSITO DE LA INVESTIGACIÓN	17
CAPÍTULO II: CONCEPTOS FUNDAMENTALES	18
2.1 LEAN CONSTRUCTION	18
2.2 SISTEMA ULTIMO PLANIFICADOR	21
2.2.1 Control de la Unidad de Producción	22
2.2.2 Control del Flujo de Trabajo	24
2.3 BUILDING INFORMATION MODELING	26
2.4 BIM-4D	29
2.5 INTERACCIÓN LEAN CON BIM	30
2.6 INTERACCIÓN DEL SISTEMA ULTIMO PLANIFICADOR CON EL BIM-4D	31
CAPÍTULO III: MODELADO BIM-4D	33
3.1 MODELAMIENTO BIM	33
3.2 DESARROLLO DEL MODELO BIM	34
3.3 DESARROLLO DEL MODELO BIM-4D	35
3.4 INTERACCIÓN DEL SISTEMA ULTIMO PLANIFICADOR CON EL MODELO BIM-4D	38
CAPÍTULO IV: APLICACION DEL SISTEMA ULTIMO PLANIFICADOR CON USO DE TECNOLOGIAS BIM-4D EN UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN	42
4.1 CARACTERISTICAS DEL PROYECTO	42
4.2 APLICACIÓN DE SISTEMA ULTIMO PLANIFICADOR	43
4.2.1 Plan Maestro	43
4.2.2 Plan de Fases	49

4.2.3	Plan Lookahead	51
4.2.4	Plan Trabajo Semanal	60
CAPÍTULO V: EVALUACIÓN DE RESULTADOS		62
5.1	EVALUACIÓN DEL RESULTADO DE APLICAR EL SISTEMA ÚLTIMO PLANIFICADOR USANDO BIM-4D	64
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		67
6.1	CONCLUSIONES	67
6.2	RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFÍA		70
ANEXOS		73

RESUMEN

Los proyectos de construcción en el Perú son cada vez más exigentes en cuanto a la optimización de costos y plazos, por lo general la metodología de la planificación empleada se basa en crear un plan maestro único, elaborado sin colaboración de las personas a estar encargadas de la realización, este plan que conduce al proyecto es solamente actualizado cuando la realidad de avance se encuentra desfasada de las proyecciones dadas, volviendo a replantearse sin identificar las causas que llevaron al no cumplimiento por ende no se puede tomar acciones de corrección. A esto se suma el hecho que la información del proyecto se encuentra repartida en varios documentos que hacen más ardua la tarea de planificar y entender toda la dimensión del proyecto.

Como una medida de solución, se analiza el desarrollo del Sistema Último Planificador como una metodología que integra a los actores del proyecto para la realización de la planificación con lo cual busca mejorar la fiabilidad de los programados, siendo este el paso para lograr un mejor desempeño de los procesos, tal aplicación acompañada de la tecnología BIM que almacena la información del proyecto en un modelo tridimensional expondrá un mejor resultado, al sumarle las características de visualización.

El estudio de los conceptos fundamentales nos lleva a conocer cuáles son los principales cambios e implementaciones que debe tener la organización de los proyectos para un mejor aprovechamiento, sin embargo al estar originadas para una realidad distinta están deben ser analizadas para transfórmalas a la nuestra, una de las principales cambios que proporciona la metodología es la transformación desde lo *Debe Hacerse* a lo que *Puede Hacerse* en determinación de los recursos con los que se cuenta.

Los actuales mecanismos de desarrollo del Sistema Ultimo Planificador son comparados con la inclusión de un modelo BIM, esta interrelación lleva consigo ampliar mediante la visualización de la secuencia constructiva un mayor horizonte de análisis, tanto para determinar interferencias de diseño como conflictos de espacio para la realización de labores.

En la aplicación de un proyecto de construcción, propiamente una edificación, se revisó con ejemplos el desarrollo de la metodología encontrándola como una herramienta que permite una mejora en la integración del equipo de trabajo al centrar todas las ideas de ejecución y un mejor entendimiento de las estrategias tomadas mediante diferentes niveles de planificación, la mayor parte del análisis se realizó en la etapa de ejecución de sótanos; no obstante el texto ofrece ejemplos de uso en las demás etapas que pueden ser tomados para una posterior investigación.

LISTA DE FIGURAS

Figura Nº 1.1: Proyección del crecimiento del PBI en America Latina	11
Figura Nº 1.2: Condiciones para la Industrialización de la Construcción	12
Figura Nº 1.3: Filosofía Lean Construction	14
Figura Nº 1.4: Enfoque Sistema Último Planificador	15
Figura Nº 1.5: Modelo 4D - Paradise Pier de Disney California Adventure	16
Figura Nº 2.1: Esquema Conceptual de Producción como un Flujo	19
Figura Nº 2.2: El Sistema Último Planificador	21
Figura Nº 2.3: Nivel de Planificación respecto al Porcentaje del Plan Completado	23
Figura Nº 2.4: Jerarquías o Niveles de Planificación	25
Figura Nº 2.5: Aplicación y Beneficios BIM durante las Etapas de un Proyecto	28
Figura Nº 2.6: Maqueta Arquitectónica exhibida en Ingreso del Hotel	29
Figura Nº 2.5: Interralación Lean y BIM	31
Figura Nº 3.1: Modelado Paramétrico	34
Figura Nº 3.2: Exportación de Revit a Naviswork	36
Figura Nº 3.3: Enlace Elemento 3D con Programa – Time Liner	37
Figura Nº 4.1: Recorrido Virtual	43
Figura Nº 4.2: Principales Ambientes	44
Figura Nº 4.3: Imagen del Salón Principal	45
Figura Nº 4.4: Vista Principales Sectores del Proyecto	46
Figura Nº 4.5: Entorno del Proyecto	47
Figura Nº 4.6: Análisis de Área de Influencia de la Grúa	48
Figura Nº 4.7: Etapas o Fases del Proyecto	50
Figura Nº 4.8: Imagen de Posibilidades para Eliminación de Material	51
Figura Nº 4.9: Simulación de Construcción I. Imagen del Día 6 y 7	52
Figura Nº 4.10: Simulación de Construcción II. Imagen del Día 8 y 9	53
Figura Nº 4.11: Evaluación de Sistema Prelosa	54
Figura Nº 4.12: Sectorización de Edificio	55
Figura Nº 4.14: Seguimiento de Avance de los Muros Pantalla	56
Figura Nº 4.15: Lookahead utilizando Modelo BIM	57
Figura Nº 4.16: Presentación de Trabajo Semanal	58

Figura N° 4.18: Revisión del Cumplimiento Semanal	59
Figura N° 4.19: Trazabilidad de PAC	62
Figura N° 4.20: Tipo de Causa de No Cumplimiento Acumulado	62
Figura N° 5.1: Elaboración de la Planificación	65
Figura N° 5.2: Transformación DEBE – PUEDE – HARÁ	66

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1.1: Diferencia entre Industria Manufacturera Y Construcción	14
Tabla N° 2.1: Filosofía del Lean Construction	20
Tabla N° 3.1: Comparativo entre Aplicaciones BIM	33
Tabla N° 4.1: Resumen del Proyecto	42
Tabla N° 4.2: Estrategia General sobre Entorno	46
Tabla N° 4.3: Plan de Riesgos General del Proyecto	49
Tabla N° 4.4: Análisis de Causa de No Cumplimiento	60

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

3D:	Tres Dimensiones del Espacio
4D:	Cuatro Dimensiones (Espacio + Tiempo)
AGC:	Associated General Contractors of America
BIM:	Building Information Modeling
BIM- 4D:	Aplicación de un modelo BIM con el tiempo
BCRP:	Banco Central de Reservas del Perú
CAD:	Computer-Aided Design
CAPECO:	Cámara Peruana de Construcción
CIFE:	Center for Integrated Facility Engineering
CPM:	Critical Path Method
IGLC:	Institute Group of Lean Construction
INEI:	Instituto Nacional de Estadística e Informática
GSA:	U.S. General Service Administration
JIT:	Just in Time
LCI:	Lean Construction Institute
LPS:	Last Planner System
M2:	Metros Cuadrados
M3:	Metros Cúbicos
NIBS:	National Institute of Building Standards
PAC:	Porcentaje de Asignaciones Completadas
PPC:	Porcentaje del Plan Completado
RAE:	Real Academia Española
SUP:	Sistema Último Planificador
TQC:	Total Quality Control
TPM:	Total Productive Maintenance
VDC:	Virtual Design and Construction

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del sector construcción en el Perú en los últimos años la ubica entre las principales actividades del país, produciendo cada vez proyectos con mayores retos en cuanto a plazo, costo y arquitectura; esto ha conllevado que los profesionales involucrados en este rubro busquen nuevas metodologías, tecnologías y/o herramientas que contribuyan a mejorar el rendimiento de la construcción, parte del cual está enfocado el renovar el tradicional sistema de planificación basando en la programación de actividades considerando lo que debería hacerse sin considerar lo que puede hacerse, obteniendo como resultado poca confiabilidad en el flujo de trabajo, a este problema se suma la falta de una herramienta que permita una mejor visualización y entendimiento de proceso constructivo entre los miembros del proyecto, tanto entre los integrantes de la contratista principal, así como el manejo de las subcontratistas y la comunicación con el cliente y supervisión restando así la posibilidad de maximizar esfuerzos comunes, confiando en la destreza de interpretación de programas y documentos en dos dimensiones; lo cual conduce a tomar mayores plazos, productos no conformes, conflictos contractuales, entre otros problemas.

El propósito principal del presente trabajo es exponer una metodología de desarrollo del Sistema Último Planificador con tecnología BIM en el manejo de proyecto de construcción que permita realizar una mejor calidad de planificación como un medio para lograr un mejor desempeño de los procesos, para lo cual se realizó una aplicación en la edificación de un moderno hotel en Lima, principalmente en la ejecución de los sótanos, se ha encontrado literatura suficiente que demuestre que ambas metodologías de trabajo pueden existir una sin necesidad una de otra, pero que al interrelacionarlas logran un mejor desempeño de sus beneficios; el Sistema Último Planificador tiene como propósito una mejor confiabilidad de planificación en base a un mayor compromiso de los involucrados mientras que el BIM desarrolla un mejor entendimiento del proyecto por medio de modelos en tres y cuatro dimensiones que contienen información del proyecto. Durante el desarrollo de la metodología los mecanismos del Sistema Último Planificador se vieron complementados con las aplicaciones del BIM.

El presente trabajo consta de seis capítulos cuyo contenido sintético es el siguiente:

Capítulo I: Planteamiento del Problema

Se analiza el estado de arte conduciendo a identificar las principales características y carencias de la construcción, realizando una justificación de la problemática y planteando un propósito de la investigación.

Capítulo II: Conceptos Fundamentales

Consta de un marco teórico con definiciones tomadas de la literatura que servirán de base para la investigación en donde se exponen: Filosofía Lean Construction, Sistema Ultimo Planificador, Building Information Modeling, BIM- 4D, Interacción BIM-4D con el Sistema Ultimo Planificador.

Capítulo III: Modelado BIM-4D

Se explicara el proceso de modelado 4D, las características y desafíos que presenta dicho proceso, así como un resumen de los principales software que existen en el mercado para el desarrollo BIM, finalmente se hará las principales características de una interrelación con el sistema ultimo planificador.

Capítulo IV: Aplicación del Sistema Ultimo Planificador con Uso de Tecnologías BIM-4D en un Proyecto de Construcción

En este capítulo se explicara las experiencias que se realizaron durante la construcción de una edificación, bajo ejemplos breves del desarrollo.

Capítulo V: Evaluación de Resultados

Se da a conocer en resumen los resultados obtenidos que presentan la implementación de la metodología de trabajo, los principales obstáculos y soluciones para su desarrollo.

Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones

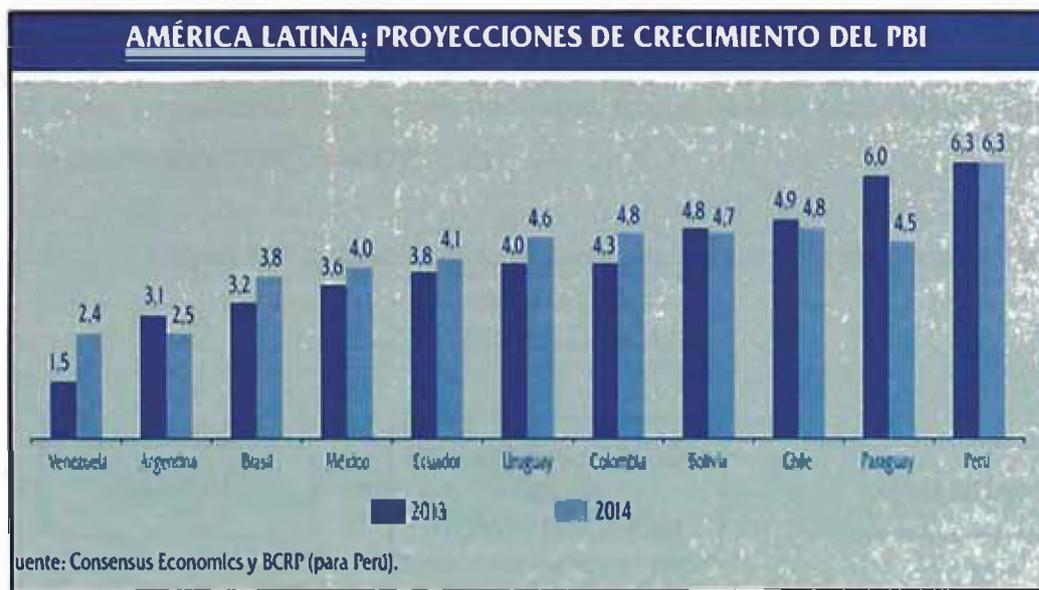
Se presentan las conclusiones finales a las que ha llegado la investigación así como las recomendaciones al momento de aplicar esta metodología.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ESTADO DEL PROBLEMA

El sector de la construcción en el Perú es una de las actividades económicas más importantes; según reporta el INEI¹, el incremento porcentual entre el 2011 y 2012 es 15.64%, y en los últimos 8 años la construcción peruana ha duplicado su producción, contribuyendo de esta manera que el Perú este entre los países con mayor proyección de crecimiento en América Latina (ver Figura N° 1.1), según estudio del BCRP².

Figura N° 1.1: Proyección del crecimiento del PBI en America Latina



Fuente: BCRP . Panorama actual y proyecciones macroeconómicas 2013-2014

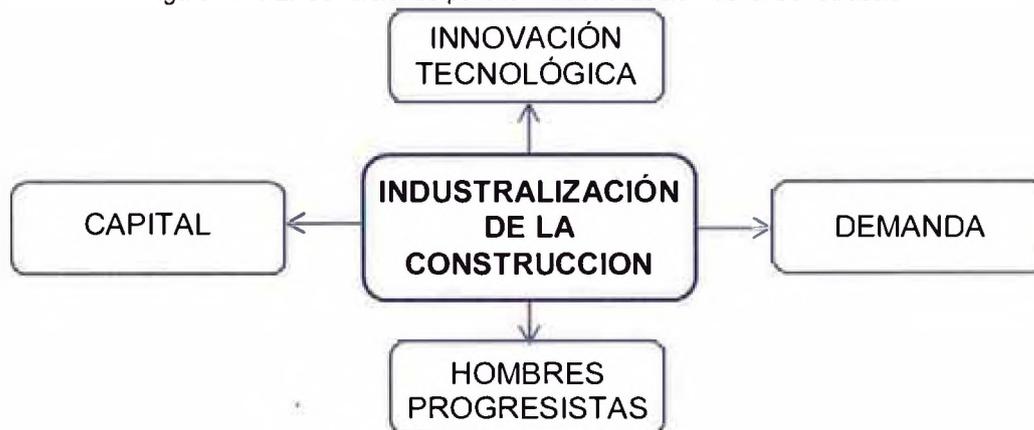
Diversos autores han llamado a este panorama como “Boom de la Construcción” en referencia al crecimiento económico sostenido del sector, se espera que en los próximos años el crecimiento de la construcción siga con el mismo dinamismo mostrado en los último años, impulsado por otros sectores como el inmobiliario, hotelero, salud, retail (quien entre el 2013 y 2014 augura concretar diez nuevos centros comerciales), el grueso de obras para el sector minero; por parte del Estado se espera la licitación de diversas proyectos que mantiene en cartera.

¹ INEI. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Cada año reporta un informe en este caso se tomó el 2013.

² BCRP. Banco Central de Reservas del Perú.

¿Pero esta bonanza produjo una industrialización del sector construcción en el Perú? Entendiéndose industrialización como la aplicación de prácticas manufactureras tales como automatización de procesos, producción en serie, entre otros; Chemillier (1980) explica que deben existir ciertas condiciones para que se produzca una industrialización de la construcción; i) en principio es necesario una demanda real o potencial, por el cual un productor (empresa constructora, consultora, de distribución de materiales y equipos, etc.) decide modificar o crear nuevos productos, siendo además este el principal estímulo para evolucionar el actual estado productivo; ii) innovación tecnológica acorde con la solución de problemas específicos, en nuestro caso acorde con el proceso constructivo; iii) capital para adquirir maquinarias las cuales resten el uso intensivo de mano de obra y uso de herramientas artesanales; finalmente iv) los hombres no menos importante, quienes se necesitan tengan sentido progresista y abiertos a la innovación. (Ver Figura N° 1.2).

Figura N° 1.2: Condiciones para la Industrialización de la Construcción



En respuesta a las condiciones planteadas tenemos en el Perú; una déficit de viviendas, redes viales, hospitales, centrales hidroeléctricas, entre otros equipamientos básicos para el desarrollo social - económico las cuales indican que aún existe una gran demanda que debe cubrir el sector construcción; el fomento de investigación en las universidades e institutos representa una oportunidad para conseguir un desarrollo tecnológico acorde con las condiciones y recursos nacionales, las cual debe ser canalizada con apoyo de organizaciones estatales y empresariales tales como CAPECO³ entre otras; más

³ CAPECO. Cámara Peruana de Construcción. Agrupa a las principales empresas ligadas a la industria de la construcción en el Perú. Entre constructoras, proveedores, etc.

el capital proveniente de operaciones mineras y el también creciente sector agroindustrial debe ser aprovechado para la renovación de maquinaria lo cual ya se percibe en el mercado peruano con el ingreso de nuevas marcas internacionales dedicadas a la venta de equipos pesados entre otros servicios; finalmente la ingeniería peruana presenta un gran reto para lo cual es vital el compromiso de todos los involucrados.

Por lo anteriormente expuesto, el Perú presenta la posibilidad y está en la senda de industrialización del sector construcción, para lo cual hay que señalar existen dos vías para tal fin, la prefabricación de elementos de construcción que son producidos fuera del proyecto para luego ser ensamblados, y la aplicación en la organización de procesos manufacturero.

Cabe señalar que la industria manufacturera ha representado por muchos años el modelo a seguir, por los apreciables resultados que ha tenido, no solo en producción, sino también en calidad y seguridad, sin embargo tal como señala Bender(1973) quizás esta visión de la industrialización enfocada en la comparación con la industria manufacturera ha impidiendo que nos demos cuenta de los cambios que ha tenido lugar en la propia industria y que llevan consigo cambios importantes en el procesos constructivo.

A diferencia de otras industrias la construcción tiene las siguientes características de producción:

- 1) Es una industria nómada, una vez terminado el producto (obra) se desplazan a otro lado disgregando así la organización provocando curva de aprendizaje limitada, debido a que las lecciones aprendidas son pocas veces informadas.
- 2) El nivel de precisión que se maneja es menor que otras industrias, así se tiene que parámetros como el presupuesto y plazo varían a lo largo del proyecto.
- 3) La construcción crea productos únicos y no seriados, por lo cual no se estandariza el producto sino el proceso, teniendo poca inversión en investigación.

- 4) El entorno en que emplaza una obra afecta al desarrollo de los proyectos, de manera natural (clima, restricción de recursos, etc.) y social (huelgas, restricciones horarias, etc.)
- 5) Interacción con muchas otras empresas que sirven de apoyo para la fabricación de productos o prestan servicio, los cuales no siempre tienen los mismos estándares de la contratista principal, en este punto también abarca la participación de la supervisión.

Tabla N° 1.1: Diferencia entre Industria Manufacturera y Construcción

INDUSTRIA MANUFACTURERA	INDUSTRIA CONSTRUCCIÓN
Organización Estática	Organización Dinámica
Alto Nivel de Precisión	Bajo Nivel de Precisión
Productos Únicos y Seriadados	Productos Distintos
Entorno Fijo	Entorno Variable
Proveedores Únicos	Gran Variedad de Proveedores

Podemos decir entonces que la producción en la industria de la construcción es compleja, al tener variables diferentes para cada producto realizado, por lo cual se debe concentrar esfuerzos para realizar una planificación anticipada de la producción; además al no poder reproducir un producto prueba a escala real del producto se hace necesario crear un modelo que permite identificar las características del producto.

Koskela (1992) propone una nueva filosofía de producción para la construcción, la cual se denomina Lean Construction o también conocido como construcción sin pérdida, la cual es una aplicación y adaptación de los conceptos y principios básicos del Sistema de Producción Toyota, para la construcción. Al igual que en el sistema de producción Toyota, el foco en la construcción sin pérdidas es la reducción de residuos, aumento de valor para el cliente, y la mejora continua.

Figura N° 1.3: Filosofía Lean Construction



Teniendo como marco el Lean Construction, Ballard y Howell (1997) propusieron un enfoque de gestión y control de producción basado en una mejor calidad de asignaciones; ampliado estos conceptos Ballard (2000) expone en su tesis doctoral *The Last Planner System of Production Control*, o Sistema Último Planificador⁴ es un sistema de planificación y control de la producción enfocado principalmente a mejorar la fiabilidad de la planificación y con esto a mejorar el desempeño, incorporando en algunos casos a supervisores, subcontratistas, entre, con el fin de lograr compromisos en la planificación, abarcando para tal fin diferentes niveles planificación.

Figura Nº 1.4: Enfoque Sistema Último Planificador



De manera paralela, otra iniciativa viene desarrollándose a nivel mundial para la industria de la construcción, conocido como BIM acrónimo de Building Information Modeling - que traducido al español es Modelado de Información de una Edificación - es una tecnología de información que genera y gestiona los datos de un proyecto de construcción durante todo su ciclo de vida. El BIM promueve la participación de los diferentes integrantes de equipo para un mejor diseño y construcción, al tener además una plataforma en 3D permite mediante la visualización un entendimiento más rápido del proyecto.

⁴ Tal como toman muchos autores de habla hispana, se ha tomado para este trabajo la frase "Sistema Último Planificador" con abreviación SUP como traducción de Last Planner System cuyas siglas son LPS.

BIM-4D es una de las aplicaciones del BIM, que enlaza el modelo en tres dimensiones con una dimensión más, el tiempo que en este caso está representado por la programación de actividades, por medio de distintos programas computacionales y metodologías de modelamiento. Por tanto es posible desarrollar una construcción virtual antes que se realice la construcción física, conocida también bajo el nombre de simulación 4D, permitiendo predecir los problemas durante la construcción de manera anticipada, así como verificar distintas alternativas de las secuencias constructivas.

Figura N° 1.5: Modelo 4D - Paradise Pier de Disney California Adventure



Fuente: Fischer, M. y Kunz, J. The Scope and Role of Information Technology in Construction

El BIM-4D y el Sistema Ultimo Planificador son dos metodologías de trabajo que pueden desarrollarse de manera independiente obteniendo buenos resultados, pero tal como muestran experiencias realizadas en otros países pueden mejorarse resultados cuando se trabajan de forma conjunta.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1. Deficiente planificación, al aplicar el sistema tradicional basando en la planificación de actividades considerando lo que debería hacerse sin considerar lo que puede hacerse, obteniendo como resultado poca confiabilidad en el flujo de trabajo.
2. Falta de una herramienta que permita una mejor visualización y entendimiento de proceso constructivo entre los miembros del proyecto, tanto entre los integrantes de la contratista principal, así como el manejo de las subcontratistas, restando la posibilidad de maximizar esfuerzos comunes, confiando en la destreza de interpretación de programas y documentos en dos dimensiones.

3. Alto porcentaje de incumpliendo de la planificación semanal debido a que la selección y secuenciación de actividades es impuesto, dejando de lado el compromiso de los que ejecutaran el trabajo en campo.
4. Falta de medición de desempeño de la planificación, así como no identificación de responsabilidad de incumplimiento, lo cual no permite tomar acciones correctivas ni mejora continua.
5. Presencia de conflictos de tiempo- espacio, las cuales son complicadas de analizar con diagrama de barras Gantt, las cuales son resueltas en campo dejando de lado la constructibilidad, repercutiendo en un mayor costo y plazo.
6. Falta de un medio de comunicación a personal no técnico, acerca de la ejecución del proyecto.

1.3 PROPÓSITO DE LA INVESTIGACIÓN

El propósito principal del presente trabajo es evaluar la sinergia entre el Sistema Último Planificador y el BIM-4D en el desarrollo de un proyecto de construcción, al ser dos metodologías de trabajo que pueden existir sin necesidad una de otra pero que al interrelacionarlas logren un mejor desempeño de sus beneficios; el Sistema Ultimo Planificador busca una mejor confiabilidad de planificación mientras que el BIM desarrolla un mejor entendimiento del proyecto, existe diversas investigaciones sobre estos dos conceptos pero relativamente poca literatura acerca de la interrelación de ambas, sobre todo para el medio local.

Usando el caso de la construcción del Swissotel, un moderno hotel en la ciudad de Lima con cerca de 36 361 m² de área construida, presenta la gran oportunidad de servir como campo donde se puede experimentar la presente investigación, haciendo efectiva una medición de los supuestos señalados.

Es de esperar que el desarrollo del sistema último planificador con el uso de la tecnología BIM-4D permita la visualización de la secuencia constructiva, logrando así un mayor entendimiento de los participantes de la secuencia de las actividades, y las restricciones que conllevan la realización de esta logrando una mejor confiabilidad en la planificación del proyecto.

CAPÍTULO II: CONCEPTOS FUNDAMENTALES

2.1 LEAN CONSTRUCTION

La nueva filosofía de producción - conocida bajo varios términos como producción de clase mundial, producción delgada o lean, nuevo sistema de producción⁵- tuvo origen en Japón alrededor de los años 50⁶, fomentando en las empresas de manufactura japonesas mejores prácticas de producción, el caso más resaltante es la empresa automotriz Toyota liderada por Shingo y Ohno, los cuales buscaban la eliminación de inventario y otras pérdidas mediante la formación de lotes pequeños de producción y reducción del set-up (tiempo para que inicie un proceso) que es la base de esta nueva filosofía; luego esta es difundida hacia Europa y América en los años 90, y en el Perú cerca del 2007.

Este nuevo modelo de producción es influenciado por el Total Quality Control (TQC), Control Total de la Calidad es una evolución de los métodos netamente estadísticos a un enfoque más amplio enfocado hacia el esfuerzo de las personas que están a cargo de los procesos para monitorear la calidad de los mismos, a este grupo se le denominó círculos de calidad. Además del TQC, otra gran influencia es el método de control de producción Just in Time (JIT), Justo a Tiempo promueve que la producción es iniciada por la demanda actual en vez de planes basados en estimados a este tipo de método también se le conoce con el término de Jalar (Pull en inglés) el cual se detallará más adelante, cuando se vea el sistema último planificador.

La aplicación del nuevo modelo de producción es introducido a la construcción por Koskela (1992) la cual busca reducir o eliminar las actividades que no añaden valor y aumentar la eficiencia de las actividades que agregan valor, entendiendo valor como el cumplimiento de los requerimientos del cliente, tales como precio, calidad y fecha de entrega; en contraparte al valor existen las pérdidas que son los incumplimientos de los requerimientos.

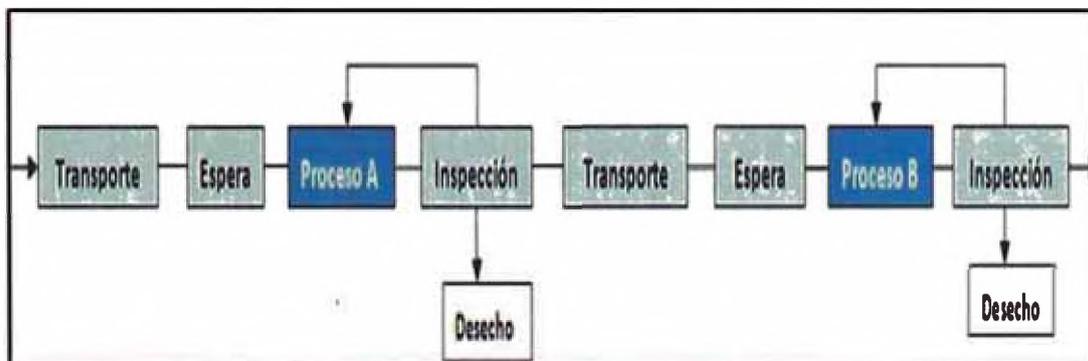
⁵ El término común usado en Perú es Lean, que para el caso del sector construcción es Lean Construction o Construcción sin Desperdicios o Construcción Delgada.

⁶ Luego de la segunda guerra mundial, Japón invita especialistas para mejorar el desempeño de las industrias nacionales, entre ellos a Deming.

Aun cuando el Lean no tenga una base teórica desarrollada⁷, quizá una de sus principales carencias, esto en referencia a que muchos principios en mayoría no son cuantitativos sino más bien una guía de toma de decisiones y operaciones; más bien el Lean se ha manifestado a base de un paradigma o “conocimientos prácticos” que se ha convertido en filosofía, esto sumado a lo diversos ejemplos que muestran el éxito de su uso.

A diferencia del modelo de conversión, que es el modelo convencional de producción, que ve al proceso de producción como un proceso de conversión de una entrada a una salida siendo esta la representación implícita al pensar en producción pero que para aplicaciones más complejas requiere de mayores características, el Lean reconoce además que existen flujos de materiales y/o información entre estas conversiones (tales como inspección, movimiento, espera) los cuales al no añadir valor no son consideradas, deteriorando la eficiencia del flujo. (Ver Figura N° 2.1)

Figura N° 2.1: Esquema Conceptual de Producción como un Flujo. En color claro las actividades que no agregan valor, en color oscuro las actividades que si lo hacen



Fuente: Application of the New Production Philosophy to construction (Koskela (1992)

El Lean sustenta su filosofía en 11 principios (Koskela, 1992), alguno de ellos tomados de varios modelos de producción⁸, estos principios presentan los fundamentos así como aplicaciones esta nueva filosofía, a continuación se enumeran y se describe brevemente cada una de ellas. (Ver Tabla N° 2.1)

⁷ Actualmente el Institute Group of Lean Construction (IGLC) viene desarrollando un marco teórico, parte de esta tarea es la difusión de conferencias como las realizadas en Lima (2011,2012)

⁸ Just in Time, Just in Case, Total Quality Management (TQM), Total Productive Maintenance (TPM), Visual Management, Reingeniería, Six Sigma e Ingeniería Recurrente.

Tabla N° 2.1: Principios del Lean Construction

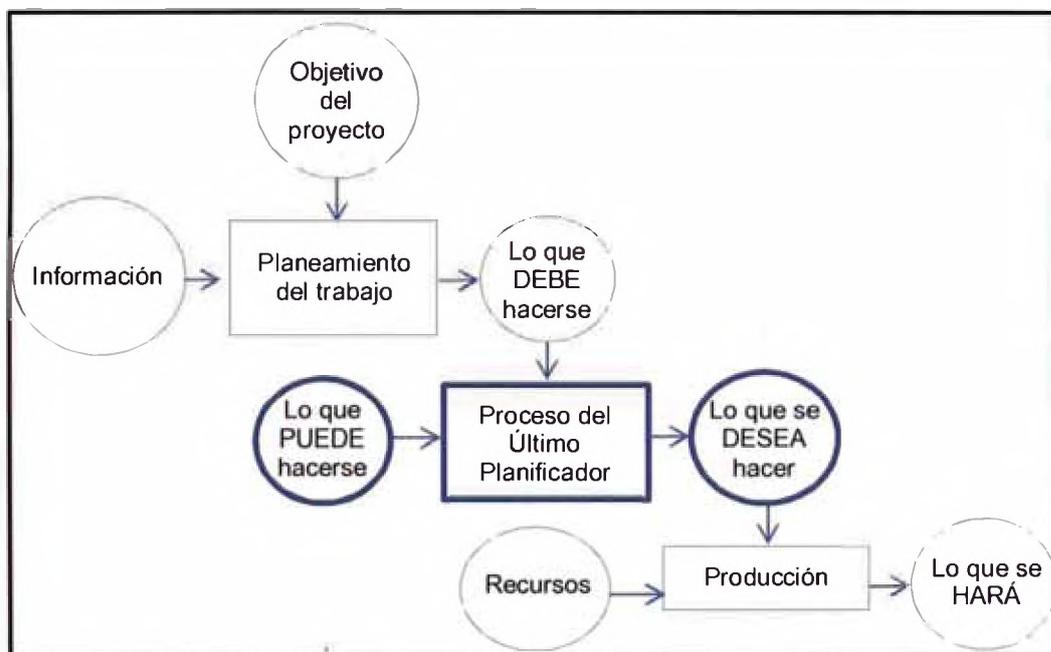
Principio Lean	Descripción
<i>Reducir la porción de actividades que no añaden valor</i>	Se estima que representan entre 3 al 20% de las actividades que añaden valor, hacer un diagrama de flujo del proceso contribuirá detectar estas actividades.
<i>Incrementar el valor de salida a través de una sistematización de requerimientos del cliente</i>	Definir claramente los requerimientos del cliente final e intermedio (actividad siguiente) por cada etapa.
<i>Reducir variabilidad</i>	Definiendo las especificaciones por actividad y estandarizando los procesos, se puede entregar un producto uniforme lo cual es mejor para el cliente; y una menor variabilidad de duración disminuyendo el volumen de actividades que no añaden valor.
<i>Reducción del tiempo de ciclo</i>	Esta es mejora básica de la nueva filosofía, la reducción de holguras se reduce los trabajos no relacionados al proceso encontrándose los obstáculos que impiden un óptimo proceso.
<i>Simplificación por la minimización de número de pasos y partes</i>	Haciendo los sistemas más simples se genera mayor confiabilidad, debe buscar acortarse el número de pasos de un proceso y la estandarización de partes del producto, la constructibilidad contribuye a tal efecto.
<i>Incrementar la flexibilidad de la salida</i>	Enfocado a la personalización del producto al final de proceso
<i>Incrementar la transparencia del proceso</i>	El objetivo es hacer un proceso productivo transparente y observable para facilitar el control y mejora.
<i>Enfocar el control en el proceso completo</i>	Tal como menciona el TQC se debe realizar un control total con apoyo de grupos auto dirigidos disminuyendo así la propagación de errores que van a lo largo de flujo.
<i>Crear el mejoramiento continuo dentro del proceso</i>	En complemento a la innovación que busca realizar cambios radicales en los procesos de conversión, la mejora continua se enfoca en mejorar el flujo de procesos, mejorando la medición y monitoreo, recompensando la unidad que lo desarrolla y eliminando la causa raíz en vez de los efectos.
<i>Mejoramiento del balance del flujo con el mejoramiento de la conversión</i>	Existe un gran potencial de desarrollo del flujo debido a que este por décadas no ha sido tomado en cuenta por los modelos de conversión.
<i>Benchmarking</i>	Busca la radical reconfiguración de procesos de conversión a través de la comparación con la potencial mundial del rubro, incorporando de la mejor manera el conocimiento del proceso.

Fuente: Application of the New Production Philosophy to construction (Koskela (1992))

2.2 SISTEMA ULTIMO PLANIFICADOR

El sistema⁹ último planificador es desarrollado por Howell y Ballard (1997) para la planificación y control de la producción, enfocado en mejorar la fiabilidad de la planificación y con esto mejorar el desempeño; realizando un transformación entre lo que DEBE ser hecho a lo que PUEDE ser hecho, para comprometerse en lo que se desea HACER y que finalmente en el desarrollo de trabajo se HARÁ, en este proceso se involucra al grupo o persona que impulsara la labor a quien se le denomina último planificador.

Figura Nº 2.2: El Sistema Último Planificador



(Fuente: Sobre el Último Planificador (Vargas, 2013))

Mientras la planificación establece objetivos y una secuencia deseada de eventos para lograr los objetivos, el control de eventos hace que a la aproximación de la secuencia deseada, inicia replanificación cuando la secuencia establecida o bien ya no es factible o no deseable, e inicia el aprendizaje cuando los eventos no están conforme con el plan (Ballard, 2000), a diferencias de los sistemas tradicionales que solo monitorean el costo y programación respecto a los supuestos iniciales, y que son propensas a colapsar cuando algo resulta equivocado.

⁹ Según RAE, sistema es el conjunto de reglas o principios sobre una materia racionalmente enlazados entre sí; a pesar de que Ballard mencionase que este sistema también es una filosofía, el autor considera que es un sistema provisto de normas y procedimientos y no una filosofía.

El SUP es desarrollado en varios proyectos desde 1992 enfocado inicialmente en mejorar la calidad de asignaciones semanales, debido a que muchas de estas eran incumplidas o cambiadas generando inestabilidad, a lo cual se le denominó blindaje de producción; a esto se agregó una visión de mayor plazo para controlar el flujo de trabajo proveyendo de materiales e información cuando sea necesario¹⁰, a diferencia del planeamiento en cadena que no planea el flujo sino que es asumido dentro de una actividad (Koskela, 1992). El sistema tiene dos componentes: el control de la unidad de producción y el control de flujo de trabajo.

2.2.1 Control de la Unidad de Producción

Encargada de mejorar la calidad de los planes elaborados por el último planificador para lo cual se deben cumplir características fundamentales de las asignaciones (grupo de trabajos que se realizan diariamente), a continuación se describen cada una de ellas (Ballard, 2000) con un ejemplo práctico a modo de revisión de preguntas sobre una asignación de encofrado:

Definición, la asignación está bien definida lo cual significa que se pueda determinar sin ambigüedad. ¿Qué columna se va encofrar? La columna C-2, con una sección de 0.90m.x1.30 m. con una altura de 3 m., ubicadas en la intersección de los ejes 2 y C, del sector A.

Secuencia, coherente con la lógica interna de la obra misma y la estrategia de la obra. ¿Está en el orden de edificabilidad? Antes de la labor se verificara la colocación de acero, luego procederá a la colocación de concreto de la columna.

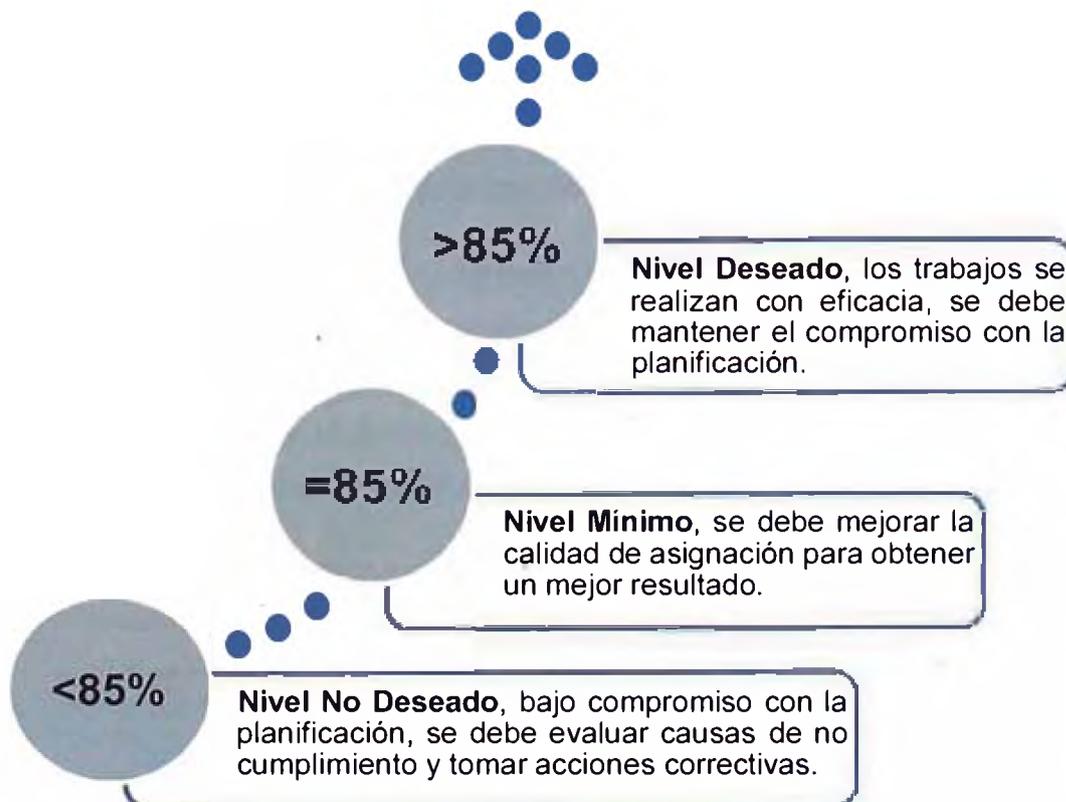
Tamaño, es la cantidad que los planificadores juzgan a sus unidades de producción capaces de completar después de la revisión de los precios unitarios del presupuesto y aun examen de trabajo. ¿La cantidad acorde a la capacidad? Se cuenta con una cuadrilla de carpinteros las cuales generan una cantidad de horas hombres acorde al presupuesto además de hacerse comprobado en campo este rendimiento.

¹⁰ El sistema último planificador es influenciado por el trabajo de Victor Sanvido sobre los sistemas, Lauri Koskela sobre los flujos, y Alejandro Laufer en la planificación de proyectos de construcción. Ballard & Howell (1997)

Práctico, significa que todo el trabajo requerido esté en su lugar y todos los recursos disponibles. ¿Se tiene los materiales, planos listos? Los materiales se encuentran acopiados, se utilizara encofrado metálico, los planos aprobados, se dispone de una torre grúa para movilización de equipo y el trazo realizado,

La medición de la calidad de las asignaciones hechas por el último planificador es clave en este proceso, para tal fin se utiliza un indicador estándar denominado Porcentaje del Plan Completado (PPC) o Porcentaje de Asignaciones Completadas (PAC) que es el número de actividades previstas completadas dividido por el número total de las actividades previstas expresadas en porcentaje. Los proyectos de altos estándares de calidad y compromisos con la planificación, presentarán mayores PAC, correspondientes a realizar mejores trabajos con los recursos dados (Nieto et al., 2009). Se estima que 85% es el porcentaje que representa el nivel mínimo para resultados del PAC.

Figura N° 2.3: Nivel de Planificación respecto al Porcentaje del Plan Completado



El análisis de las actividades que no se realizaron debe realizarse por todo el personal responsable del trabajo, descubriendo la causa raíz de la no ejecución de los trabajos¹¹, tomando acciones para mejorar el rendimiento futuro.

2.2.2 Control del Flujo de Trabajo

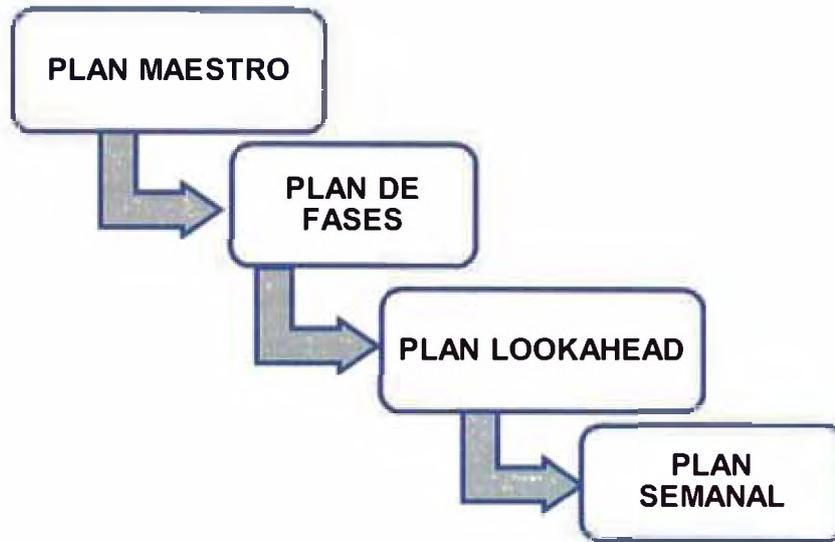
En complemento al control de unidad de producción es necesario controlar y coordinar el flujo de trabajo entre las unidades en la mejor secuencia y velocidad posible, estos flujos pueden ser de diseño, suministro e instalación; por lo cual es necesario con un planeamiento preventivo, a continuación un resumen de las jerarquías o niveles de planeamiento:

- a) *Plan Maestro*, es el que se genera a partir del presupuesto y cronograma de proyecto, proporcionando un mapa general de coordinación, así como los hitos principales¹², la realización de este plan se hace al inicio del proyecto enfocado en los objetivos y limitaciones globales.
- b) *Plan de Fases*, cuando los proyectos son de gran magnitud se hace una división de del programa maestro en fases o paquetes de trabajo como excavación, cimentaciones, estructura, arquitectura, etc. asignando un responsable el cual coordina con todo el equipo del proyecto.
- c) *Plan Lookahead*, el plan intermedio o plan de búsqueda hacia adelante, por lo general toma una duración de 3 a 12 semanas, el cual puede variar de acuerdo a la características del proyecto (Ballard, 2000), este es el aporte del sistema ultimo planificador para el control de flujos de trabajo, propiciando las actividades se realicen sin inconvenientes.
- d) *Plan Semanal*, formado por la acumulación de asignaciones viables realizadas en el lookahead, esta es un planificación de compromiso con lo que se hará (Ballard & Howell, 1997)

¹¹ Se puede emplear el diagrama de Ishikawa, también llamado diagrama de espina de pescado, o también la técnica de los cinco porqués.

¹² Un hito es una tarea de duración cero que simboliza el haber conseguido un logro importante en el proyecto

Figura N° 2.4: Jerarquías o Niveles de Planificación



A diferencia de la manera tradicional el lookahead no solo es una visión de corto plazo de lo que debe hacerse sino una serie de funciones que contribuyen al control del flujo de trabajo, estas son:

- **Análisis de Restricciones**, las restricciones son limitaciones dentro del proyecto que podrían impedir el inicio o terminación de una actividad, estas pueden ser envío de materiales, definición de planos de construcción, espacio de trabajo, permisos, entre otros; en principio se trabaja en la revisión de restricciones por la cual se examina el estado de las actividades según el lookahead, luego mediante la preparación de restricciones se nombra a una persona que tenga la capacidad de realizar la gestión para eliminarla y proporcionar una alerta en caso no sea posible tenerla resuelta a tiempo (Nieto et al. 2009), tal como señala la ley de Prossl resolver los problemas que ponen más lento o interrumpen al flujo de valor será menos costoso y más efectivo que aquellos destinados a atacar los efectos del problema. (Koskela, 1992)
- **Jalando**, tradicionalmente en los programas de construcción se emplea los mecanismos Empujar (Push) liberando materiales e información según fechas previstas, al contrario el sistema último planificador toma el mecanismo Jalar (Pull) por el cual el ingreso de un material y/o información es adecuado al estado del sistema.

- Carga y Capacidad, compatibilizar la carga con la capacidad es una tarea crítica para mantener la productividad para lo cual el lookahead mantiene una cartera de trabajo lista para las unidades de producción, la cantidad de trabajo a realizar generalmente se ajusta a la capacidad, pues se trata de mantener la fuerza laboral estable, salvo ciertos casos.

En síntesis el sistema último planificador plantea un mecanismo menos determinista para la planificación de la producción, buscando la mejora continua y compromiso de los últimos planificadores; hay que señalar que este sistema de origen americano-europeo en el que hay mayor empleo de subcontratistas quienes cumplían el papel de último planificador, muy en cambio en el Perú, se hace manejo de capataces quienes asumen este rol.

2.3 BUILDING INFORMATION MODELING

El glosario del Manual de BIM (Eastman et al. 2008) define Building Information Modeling¹³ (BIM) como "un verbo o una frase adjetiva para describir herramientas, procesos y tecnologías que son facilitadas por una documentación digital e inteligible por la maquina (computadora) de un edificio acerca de su desempeño, su planificación, su construcción y su funcionamiento más adelante", el resultado de una actividad BIM es un modelo de información de una edificación¹⁴; de manera similar algunas instituciones presentan su propia definición, Saldias (2010) reúne una serie de ellas:

"La NIBS (National Institute of Building Standards) define: 'BIM es una representación digital de las características físicas y funcionales de una instalación. Sirve como fuente de conocimiento para compartir información acerca de una instalación formando una base confiable para tomar decisiones durante su ciclo de vida, desde el inicio hacia adelante'.

¹³ El término "Building Model" fue introducido por Robert Aish en 1986, y que fue un paso antes de convertirse en "Building Information Modeling" como la conocemos hoy por Nederveen and F. Tolman en 1992.(Eastman et al. 2011)

¹⁴ Por edificación se debe entender no solo a equipamientos urbanos, sino diversos tipos de obra, siendo las primeras de mayor aplicación de esta.

La AGC (Associated General Contractors of America) ve a BIM con una tecnología que 'permite la construcción virtual de estructuras a través del desarrollo y uso de software computacionales inteligentes que ayudan a simular la construcción'.

La GSA (U.S. General Service Administration) separa a BIM entre el proceso de modelamiento (Building Information Modeling) y el modelo (Building Information Model) y los define como sigue: 'Modelamiento de Información de la Edificación es el uso de software multifacéticos para no sólo documentar y desarrollar el diseño de una edificación, sino que simular la construcción y operación de esta. El resultante Modelo de Información es una representación digital, basada en objetos, paramétrica y rica en datos de la edificación, desde donde vistas apropiadas para varios usuarios pueden ser extraídas del modelo y analizadas para generar retroalimentaciones y un mejoramiento del diseño de la obra'.(...)

El CIFE (Center for Integrated Facility Engineering de la Universidad de Stanford) ha desarrollado el concepto de VDC (Virtual Design and Construction) y lo define como 'el uso de modelos virtuales, multidisciplinarios de proyectos de diseño y construcción, incluyendo modelos de productos, procesos y organizaciones, para apoyar objetivos de negocios explícitos y públicos'. Aunque este concepto es un poco más amplio que el que se emplea para BIM, son desarrollos tecnológicos que apuntan a lo mismo: mejorar y facilitar la gestión de los procesos involucrados en un proyecto de construcción."

En consecuencia, BIM representa una metodología de trabajo por la cual se busca centralizar la información por medio de programas computacionales (software) utilizando nuevos mecanismos para la coordinación con los participantes (clientes, diseñadores, constructores, etc.) de un proyecto, durante todo el proceso que conlleve este, algunos de los beneficios y/o aplicaciones del BIM, se resumen brevemente:

- a) *Detección de Conflictos*, debido a la gran cantidad de especiales que incurren en un proyecto, es común encontrar interferencias entre ellas, el BIM presenta una gran oportunidad para la solución (compatibilización) de este punto al proveer un modelo exacto con información centralizada (para mayor información véase Alcantara(2013)).

- b) *Simulación 4D*, proceso por el cual el modelo en tres dimensiones o con una dimensión más, el tiempo, por medio de distintos programas computacionales y metodologías de modelamiento. (Se ampliara en el siguiente punto del presente capítulo).
- c) *Visualización y Entendimiento*, BIM tiene una plataforma en 3D, siendo esta la forma más completa de transmitir información acerca de la edificación que se desea construir (Rischmoller et al, 2002); tanto para participantes técnicos y no técnicos.
- d) *Metrados*, en base a la información ingresada al modelo, la estimación de cantidades de elementos se puede obtener automáticamente y clasificarlos según el criterio escogido, y fácilmente enlazable con software de preparación de presupuestos
- e) *Varios*, el BIM puede contribuir a la prefabricación de elementos, dar buenas vistas para una actividad de marketing, da una buena base para la constructibilidad, apoyo a la documentación del proyecto, entre otros.

Más de un punto de la lista anterior, puede ser utilizado en las diferentes etapas del proyecto. Por ejemplo en caso de metrados es una actividad que realizan tanto en el diseño como en la construcción. (Figura 2.5)

Figura Nº 2.5: Aplicación y Beneficios BIM durante las Etapas de un Proyecto



Se debe tener en cuenta que el uso de modelos en tres dimensiones no es invención de la era digital, ya desde épocas muy antiguas durante el desarrollo de la construcción se usaba maquetas que escenificaban las características y magnitud de la obras. Por otro lado estas maquetas no siempre están dirigidas a un público técnico, sino más bien a personas no especialistas en construcción que deseen conocer el proyecto sin necesidad de leer un plano o leer una especificación técnica. (Figura 2.6)

Figura N° 2.6: Maqueta Arquitectónica exhibida en Ingreso del Hotel



2.4 BIM-4D

El BIM-4D es el resultado del proceso por el cual se enlaza las tres dimensiones (espaciales) con una dimensión más, el tiempo, por medio de distintos programas computacionales y metodologías de modelamiento. Estos modelos 4D se han venido realizando antes del BIM, el CAD 3D (plataforma a la cual luego se añadía el tiempo) presentaba las características físicas del proyecto en plataforma en 3D (Fischer y Kunz, 2004), pero no contenían información lo cual es una característica del BIM, de ahí el uso del término BIM-4D para diferenciar con los diferentes tipos de simulaciones 4D.

El modelo 4D es un medio de visualización, que reemplaza a las películas mentales proyectadas por los integrantes, las cuales al no ser similares conducían a errores, falta de precisión y coordinación; en consecuencia una mala planificación (Fischer y John Kunz, 2004). Es de esperar que el uso de un modelo 4D apoya a una eficiente y eficaz toma de decisiones acerca de la ejecución del proyecto. Un ejemplo es el caso de la construcción del proyecto “The Walt Disney Concert Hall” en el cual la complejidad de la arquitectura producía inconsistencias en la programación, lográndose optimizar con el uso de un modelo 4D (Haymaker y Fischer, 2001). Cabe aquí señalar que a diferencia de la industria manufacturera la cual generalmente tiene la capacidad de producir prototipos en su planta de producción, en construcción no es así, debido a que no se cuenta con un laboratorio para experimentación.

Fischer y Kunz reúnen aplicaciones del uso de modelos 4D (Fischer y Kunz, 2004), alguna de ellas son:

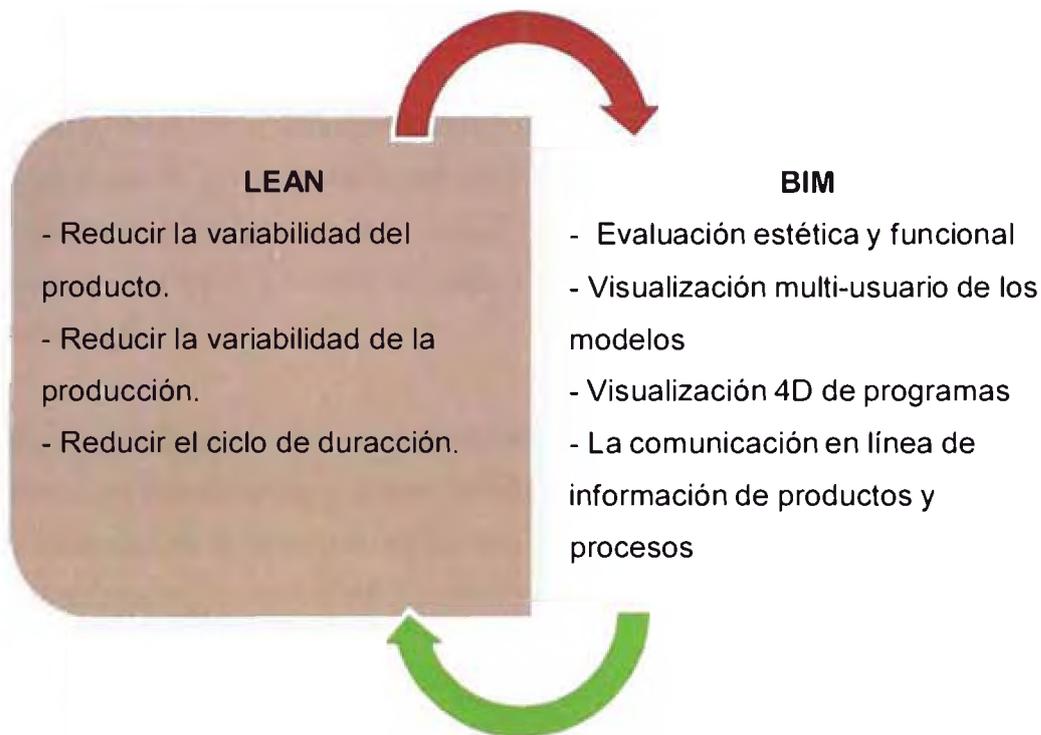
- ✓ Para la reconstrucción de las instalaciones mientras están en funcionamiento para recoger las aportaciones de los grupos de interés
- ✓ Gestión de proyectos con condiciones temporales o espaciales difíciles para proporcionar información constructibilidad temprano para el diseño.
- ✓ Para la evaluación de degradación esperada de una serie de edificios durante su ciclo de vida.
- ✓ Simulación de procedimientos operacionales en instalaciones industriales para proporcionar información operativa a principios del diseño.

2.5 INTERACCIÓN LEAN CON BIM

En base a sus experiencias los miembros del LCI realizaron la interacción de dos conceptos independientes que han sido adoptados por la industria de la construcción Lean y BIM, para lo cual preparan una matriz en la que conjugan los principios del Lean y las características del BIM encontrando 56 interacciones sobre las cuales primo el fundamento Lean posicionando al BIM como una herramienta de apoyo, las principales funciones que se interrelacionan positivamente son mostradas en Fig. 2.7 sobre las cuales destaca la “Reducción de Variabilidad del Producto” esto se puede desprender debido a que la utilización

del BIM ha demostrado producir diseños más compatibilizados; mientras que un uso inadecuado del BIM puede aumentar innecesariamente la cantidad de información afectando el flujo de información (por ende al concepto Lean) puede convertirse en una interrelación negativa (Sacks, Koskela, Bhargav y Owen, 2009) esto puede notarse al momento de implementar el BIM en una empresa pues se tendría nuevos procedimientos de trabajo que podrían conducir al error.

Figura N° 2.7: Interralación Lean y BIM



2.6 INTERACCIÓN DEL SISTEMA ÚLTIMO PLANIFICADOR CON EL BIM-4D

La interacción del Sistema Último Planificador con BIM-4D buscar emplear a este último como una herramienta que potencie el manejo del primero, es así que se exponen algunos estudios acerca de esta sinergia; cabe señalar que las simulaciones no siempre han sido necesariamente hechas con modelos BIM, un ejemplo de como un modelo CAD con una programación por lotes de producción puede convertirse en un modelo 4D se puede leer en Artica (2010).

Olguín (2011), realiza un estudio práctico acerca de los beneficios del uso del LPS (SUP) con modelos 4D, en el que a partir de simulaciones mostradas en reuniones

de los participantes del proyecto, obtuvo una mejora en la calidad de la planificación y la comunicación entre ellos; además optimizó la facilidad en encontrar restricciones en los trabajos.

Gonzalez (2012), realiza una comparación entre proyectos que usan el LSP (SUP) y LPS-4D, encontrando que los modelos 4D contribuyen a esclarecer el plan a ejecutar, pero que no están ligados directamente con los resultados del Porcentaje de Plan Completado, la investigación también propone un método de uso del sistema último planificador con modelos 4D.

Bhatla y Leite (2009), estudian la integración BIM con el SUP durante el desarrollo de un proyecto en la Universidad de Austin, proponiendo un marco teórico para esta integración, con el cual logran reducir el número ordenes de cambio (alrededor de 50%) y mejorar el análisis de progreso del proyecto por parte de los participantes.

En esta investigación han sido tomadas en cuenta para el desarrollo del presente trabajo, en la cual se ha buscado canalizar las principales características del BIM-4D para mejorar el desarrollo de los dos mecanismos del SUP, control de la unidad de producción y el control de flujo de trabajo.

CAPÍTULO III: MODELADO BIM-4D

3.1 MODELAMIENTO BIM

Para la generación de un modelo BIM es necesario generar nuevos mecanismos de trabajo, entre los cuales incluye el uso de aplicación BIM (programas computacionales) actualmente existen diversas opciones en el mercado; Coloma (2008) realizó una clasificación de las más usadas diferenciándolas en *aplicaciones nativas* las cuales desde su creación han sostenido una metodología BIM, entre las cuales figuran Revit, Graphisoft y Allplan; y *aplicaciones implementadas* que han sido desarrolladas en base CAD, para luego soportar trabajos BIM, tales como Autodesk Architecture y Bentley Architecture; una comparación de las características fundamentales es presentada en la Tabla 3.1, sobre las cuales se destaca que Revit¹⁵, programa que se emplea en este trabajo, por poseer una estructura de datos única, esto en referencia que los trabajos en esta aplicación se almacenan en un solo archivo, otras de las características es el alto potencial en modelado paramétrico esto en función de que cuenta con una gran variedad de tipos para el modelamiento de estructuras como columnas, puertas, ventanas entre otras las cuales ya bien predefinidas y solo se cambian cierto parámetros según el diseño.

Tabla N° 3.1: Comparativo entre Aplicaciones BIM

	Estructura de la base de datos	Gestión del proyecto	Modelado literal	Modelado paramétrico libre	Conectividad nacional	Soporte CAD	Grado de desarrollo
Autodesk Architecture	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆
Autodesk Revit	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆
Graphisoft ArchiCAD	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆
Nemetschek Allplan	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆
Bentley Architecture	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆

Fuente: Coloma. Introducción a la Tecnología BIM

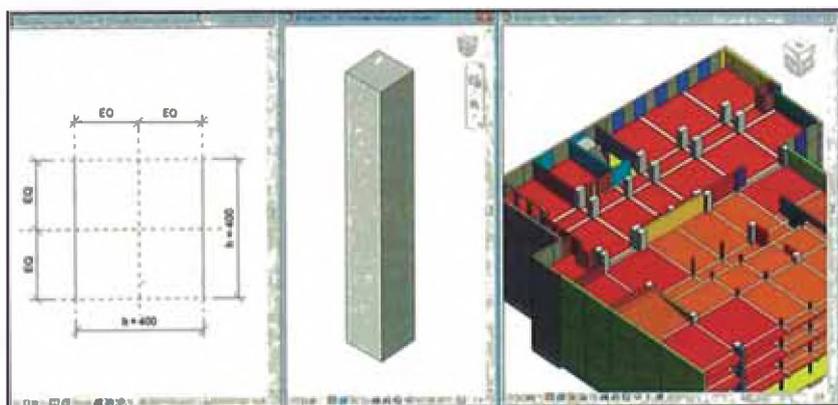
¹⁵ Revit es un programa de uso mundial desarrollado por la compañía Autodesk (www.autodesk.com), este software cuenta con gran aceptación parte de los usuarios BIM, tal como se muestra en una encuesta elaborada por Aecbytes, en la que figura con mayor uso (Coloma, 2008)

3.2 DESARROLLO DEL MODELO BIM

Para el desarrollo del modelo se hizo uso de la aplicación Revit Architecture; el modelo fue elaborado por el autor, iniciando en el periodo en el que el proyecto se encontraba en la construcción de muros pantalla (4º Semana de Proyecto). Se tomó como base los planos y especificaciones entregadas contractualmente, elaborándose de manera un reporte de interferencias encontradas al momento de modelar las estructuras y arquitectura; luego de tres meses y medio se obtuvo el modelo para estudio el cual gradualmente se fue actualizando a lo largo de la investigación, aun cuando los sistemas electromecánicos no fueron modelos para esta investigación el autor considera que con el modelo de estructura se obtiene los resultados esperados, en especial el análisis del Modelo 4D fue realizado para la ejecución de los sótanos.

Dentro de las experiencias del modelamiento se puede destacar el amplio desarrollo paramétrico que contiene el programa, un ejemplo se puede notar al modelar columnas- las cuales generalmente son parecidas en este tipo de proyectos- pues es el programa ofrece una familia de columna rectangular a la cual se modifica las dimensiones y los niveles de referencia (base y tope), de igual manera se encuentra elementos para vigas, puertas, ventanas, escaleras, etc. permitiendo un modelamiento más ágil. (Ver Figura N° 3.1)

Figura N° 3.1: Modelado Paramétrico



Del modelo se puede extraer datos como volúmenes y áreas, permitiendo así calcular volúmenes de concreto y encofrado clasificados según criterios establecidos (sectores, niveles, tipos, etc.); para el caso del cálculo de la cantidad de acero contenido en la estructura existe la aplicación Revit Structure que trabaja

en la misma plataforma, pero que a criterio del autor puede resultar tediosa el uso de esta a esto se suma que la aplicación aún sigue en mejora, por tanto para calcular la cantidad de acero de los elementos se usó el informe de metrados del presupuesto corroborando con densidades de áreas y volúmenes.

Se ha realizado en modelado de los entregables del proyecto y de los equipos principales, siendo los equipos secundarios y/o auxiliares no tomados en cuenta, debido que restan claridad de información, este punto también es compartido por Vargas (2007) quien señala que incluir estos elementos en el modelo no tendrían utilidad.

3.3 DESARROLLO DEL MODELO BIM-4D

El desarrollo del modelo BIM-4D fue realizado luego de haber creado el modelo BIM y en paralelo el desarrollo de la escala de tiempo, el cual está representado por el programa de actividades de la obra, en este caso la línea de tiempo fue establecida por las actividades establecidas en los niveles del programa Lookahead; como también se puede establecer usando una programación basada en un diagrama Critical Path Method (CPM – Método de la Ruta Crítica) o también de un diagrama Gantt, los cuales son las representaciones más comunes del programa de obra (Salazar, Álvarez y Gómez, 2011).

Antes de iniciar la vinculación del modelo con la escala de tiempo es necesario fijar el nivel de detallé con el que se trabajar, a continuación se explicara brevemente el proceso de vinculación para luego aclarar este punto.

El programa que se utilizó para vincular es el Naviswork (también es una aplicación de la firma Autodesk); a continuación un resumen de los pasos de trabajo:

- 1) Se exporta el archivo del Revit al formato de Naviswork, bajo la extensión *.nwc, desde la aplicación Naviswork se abre el archivo exportado, guardándolo en una extensión *.nwf; lo cual permitirá en sucesivo que los cambios hechos en el modelo BIM en la plataforma Revit se actualicen en el modelo 4D manejado en Naviswork.

- 2) Se agrupan los elementos según criterio, por ejemplo todas las columnas de un piso o sector, o se puede realizar columna por columna; esto pasará a ser parte de un conjunto.
- 3) Se vincula el archivo que contiene la programación, el programa admite formatos de aplicación como Primavera Project, Microsoft Project, extensiones del Excel; o crear una propia escala de tiempo.
- 4) Luego se unen los conjuntos creados en el punto 3 con el programa del punto 4, asignándole finalmente el tipo de tarea, pudiendo ser de construcción, demolición entre otros, en el primer caso el elemento aparece según el tiempo, en el caso contrario desaparece.
- 5) Finalmente se realiza la simulación del modelo, mostrando así la secuencia constructiva por fechas establecidas (días, semanas, meses, etc.)

Figura Nº 3.2: Exportación de Revit a Naviswork

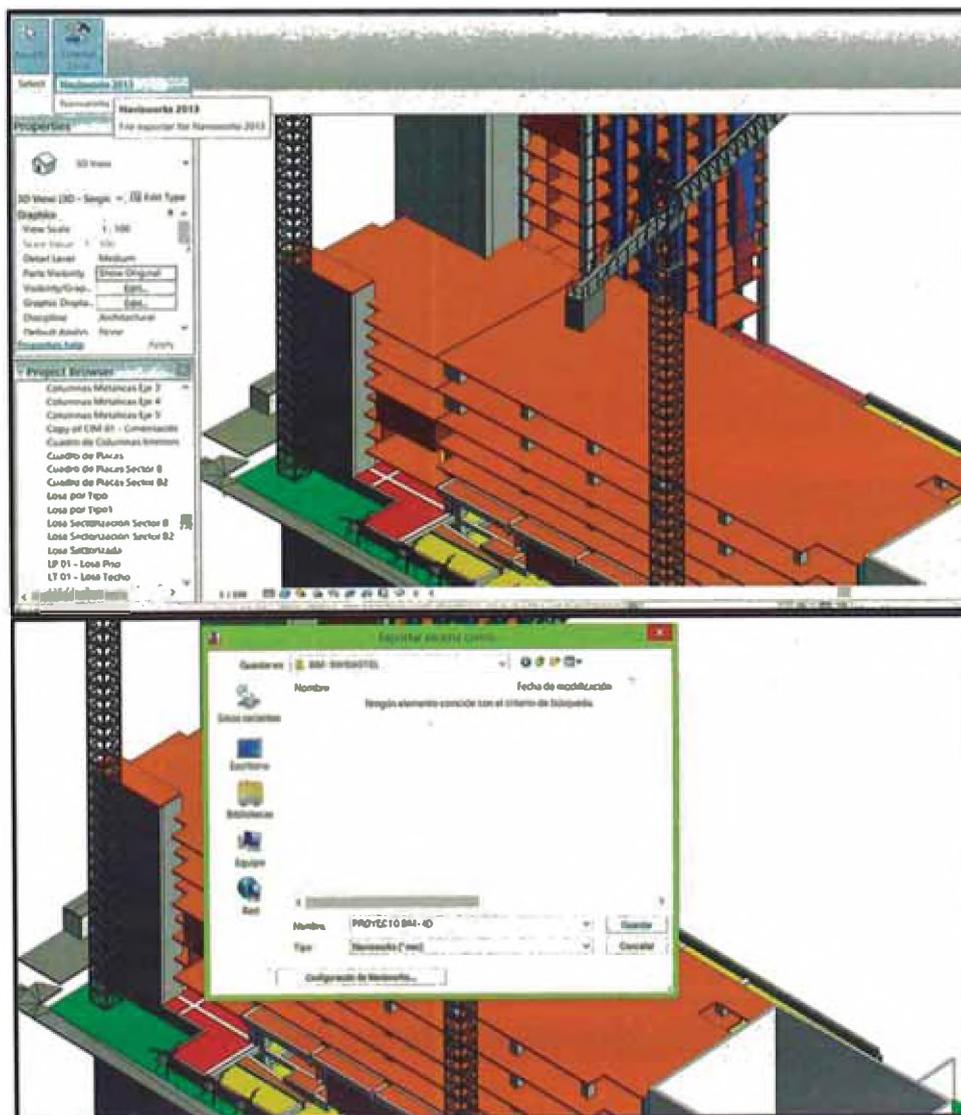
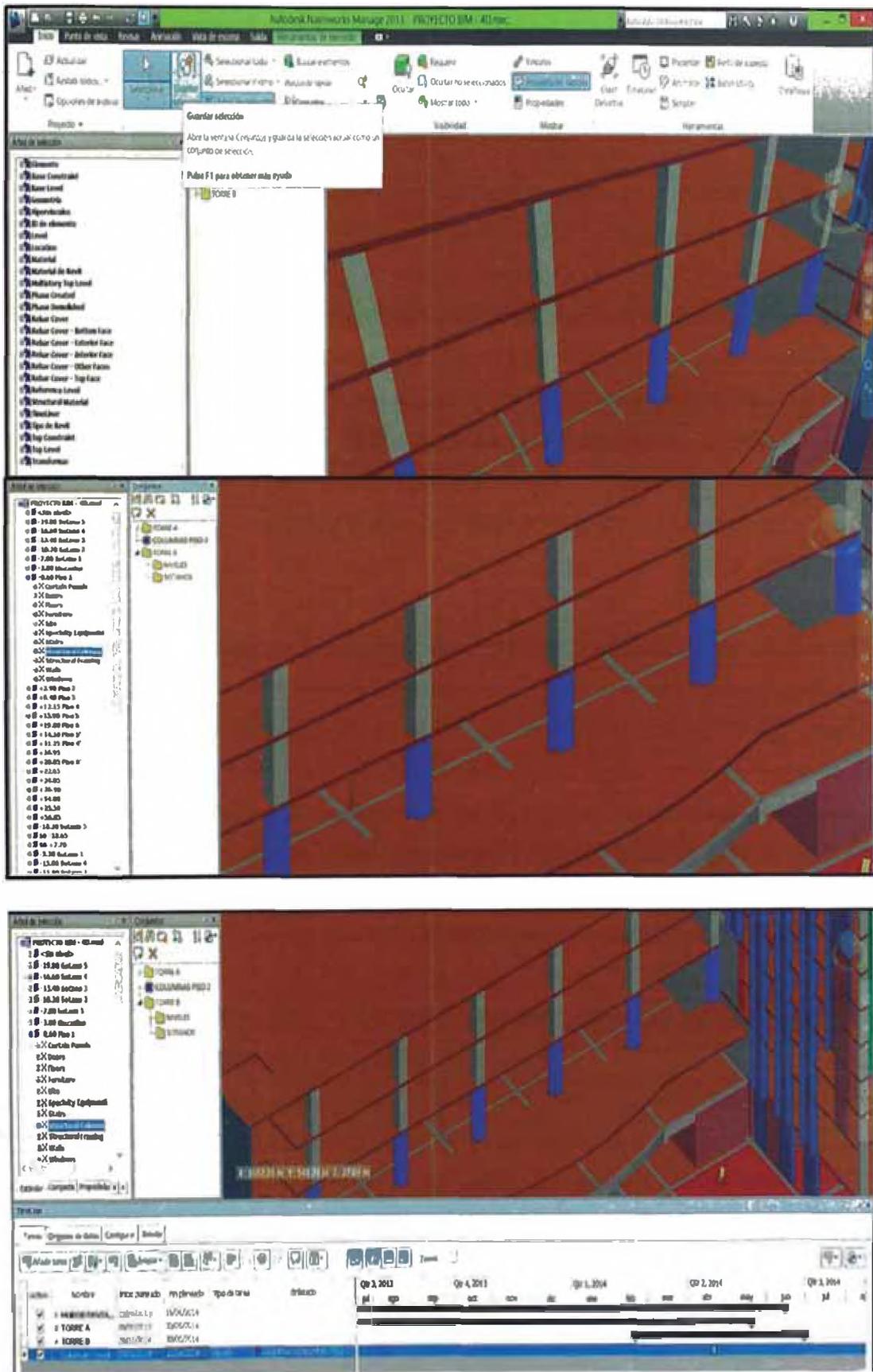


Figura N° 3.3: Enlace Elemento 3D con Programa – Herramienta TimeLiner



Esta metodología de modelamiento BIM puede variar de acuerdo a la experticia del usuario, metodología de trabajo, características del proyecto a modelar, etc.; este informe trata de resumir la experiencia no siendo el fin principal presentar estas labores técnicas.

El grado de detalle del modelo-4D que puede variar desde el nivel más preciso que es entregar una escala de tiempo a cada elemento a un nivel más general que es trabajar elementos sectorizados, es proporcional a la complejidad y esfuerzo que demanda la labor del modelamiento, es por tanto que debe fijarse el nivel detalle acorde con la utilización de modelo; por ejemplo para reuniones gerenciales o con el cliente es práctico utilizar la visualización de hitos importantes; reuniones de obra conformada por ingenieros de obra se puede establecer la secuencia de labores mensuales; finalmente en las reuniones de producción en las que participan los responsables de cuadrillas y subcontratistas se puede fijar un nivel diario o semanal.

Si bien esta es la forma más natural de presentar un modelo 4D, también es factible realizar toma de imágenes instantáneas de modelo en diferentes etapas previstas de tiempo, restando así el efecto de simulación que se consigue en el caso anterior, pero manteniendo el objetivo de mostrar el avance de manera rápida la intención de trabajos a realizar que el fin de uso de un modelo 4D para planificación con el Sistema Último Planificador; este método es más práctico de realizar en cuanto al manejo de software medido en ahorro de tiempo. Es parte de esta tesis hacer práctica de esta metodología para comparar resultados.

3.4 INTERACCIÓN DEL SISTEMA ÚLTIMO PLANIFICADOR CON EL MODELO BIM-4D

El desarrollo del modelo BIM-4D debe servir de base para optimizar las labores del desarrollo del sistema último planificador, en algunos casos sustituyendo pasos y en otros mejorándolos.

En base a lo descrito en el capítulo 2, sección 2, se describe las labores que se realizan de forma convencional para ejecutar las funciones del SUP, para luego detallar el valor que agrega un modelo BIM-4D:

1) Calculo de Carga y Capacidad, por lo general se realiza un metrado por cada elemento con ayuda del software AUTOCAD, o con un cálculo manual en base a las dimensiones de los planos, los cuales luego son llevados a tablas, la deficiencia de esta situación es que generalmente esta información no es actualizada, además que de haber un cambio de planos las tablas de metrado tiene que volverse a construir resultando un proceso tedioso.

El aspecto que puede optimizar este proceso; es la facilidad que ofrece el modelo para obtener un metrado actualizado de forma automática y organizado según el criterio del usuario.

2) Análisis y Preparación de Restricciones, En las reuniones con los encargados de las cuadrillas de trabajo (tanto capataces como jefes de subcontratistas) se evalúa, las restricciones que se tiene para completar el trabajo, estas puede ser de abastecimiento, de diseño, falta personal, entre otras; para lo cual se utiliza proyección de planos y diagramas que muestren la secuencia de trabajo; estas reuniones toman más del tiempo necesario debido a las diferentes velocidad de interpretación de cada integrante respecto a los esquemas presentados.

Estas labores pueden optimizarse presentando una representación visual al momento de mostrar un modelo 4D permitiendo un mayor entendimiento y consenso con los participantes, además esta aplicación permite detectar las restricciones de diseño (interferencias entre especialidades) de manera más rápida.

3) Porcentaje de Actividades Completadas, el seguimiento de actividades planificadas se realiza diariamente, exponiendo al fin de la semana los resultados y las causas de no cumplimiento para una posterior toma de acciones de mejora.

A esta labor se podría modificar la representación con colores diferenciados los elementos completados y no completados respecto a lo planteado inicialmente identificando de manera más eficiente los aspectos que conllevaron al no cumplimiento de estos. También podría emplearse un representación 4D de las labores planeadas en comparación a las realizadas detectando cambio de planes.

En base a estas funciones, se puede desarrollar los niveles de planificación de modo que se vean sostenidas por el uso del modelo, a continuación se describe los puntos que generalmente se revisan y analizan en cada nivel de planificación y los aportes que podrían mejorarse.

1) Plan Maestro y Plan de Fases, se revisan el metrado de las principales partidas que componen el proyecto agrupándolas por Fase, la ubicación de los principales equipos, la estrategia general de obra.

El uso del modelo BIM permite una rápida identificación de los volúmenes de cada partida sectorizada por niveles o por ubicación, además de la facilidad de hacer un recorrido virtual ahorrando el tiempo de revisión de planos convirtiéndolo en proceso dinámico, identificando los elementos que componen el proyecto. En cuanto a equipos principales (llámese grúa, bombas de concreto, etc.) el modelo permite medir alcance de equipos, la ubicación respecto a otros elementos. Adicionalmente permitirá detectar elementos *constructable*, aprovechando la experiencia de los participantes.

2) Plan Lookahead, se realiza las secuencias de actividades las cuales se entregan en forma de un formato establecido con un plano de los elementos, se analiza las restricciones lo cual se mencionó en párrafos anteriores.

Para dar a conocer de forma más clara los hitos que se deben tener en un periodo de 4 o 9 semanas (este periodo puede variar de acuerdo a cada proyecto), se debe realizar una simulación 4D de los entregables principales, detallar cada elemento disminuye la claridad de la representación, además de resultar un procesos tedioso, se debe identificar las restricciones que conllevan la realización de labores anotándolas en un esquema separado, dejando el seguimiento a un responsable.

El compromiso que se obtenga de estas reuniones marcara la buena realización del programa, es así que al momento de realizar las labores diarias se tenga claro la ruta trazada, además de dejar incubada la idea de las labores a tres semanas permite que en el transcurso que conlleve llegar a este punto se pueda presentar otros métodos más óptimos para su realización.

3) Plan Semanal, se destaca las asignaciones diarias, cálculo de los principales volúmenes de trabajo, así como principales suministros a ser entregados.

Se destaca la labor de carga y capacidad mencionada en párrafos anteriores, así como el cálculo de principales insumo para la semana (por ejemplo cantidad y tipo de concreto a utilizar). Se debe hacer entrega de una imagen del resultado que se desea realizar en la semana, permitiendo hacer un seguimiento claro de la semana.

CAPÍTULO IV: APLICACION DEL SISTEMA ULTIMO PLANIFICADOR CON USO DE TECNOLOGIAS BIM-4D EN UN PROYECTO DE CONSTRUCCION

4.1 CARACTERISTICAS DEL PROYECTO

Con el fin de implementar y evaluar el desarrollo del sistema ultimo planificador con apoyo de herramientas BIM-4D se realizó una aplicación en la construcción del proyecto Swissotel, consistente en la demolición de estructuras existentes y construcción de un edificio a nivel de casco vestido, denominado Bloque "A", de 18 pisos para habitaciones, y 5 de sótanos para servicios, estacionamientos y cisternas; y un edificio denominado Bloque "B" que incluye un auditorio, Bussines Center y departamentos, con 5 pisos y sótano de 5 niveles de estacionamiento, haciendo una área aproximada de 36,361 m². Destacando un mayor análisis de los Modelos 4D en la etapa de construcción de Sótanos.

Tabla N° 4.1: Resumen del Proyecto

Propietario	SWISSÔTEL - LIMA
Proyecto	Ampliación Swissôtel Lima
Objetivo	Ampliación de las instalaciones del Hotel que incluye las demoliciones de estructuras existentes y construcción de un edificio a nivel de casco vestido, denominado Bloque "A", de 18 pisos para habitaciones, y 5 de sótanos para servicios, estacionamientos y cisternas; y un edificio denominado Bloque "B" que incluye un auditorio, Bussines Center y departamentos, con 5 pisos y sótano de 5 niveles de estacionamiento. Área aprox. 36,361 m ² .
Modalidad	Suma Alzada
Duración	16 meses
Ubicación	Distrito de San Isidro, provincia de Lima, Dpto. Lima - Perú
Altitud	A 100 msnm.
Clima	Temperatura máxima del aire: 26°C Temperatura mínima del aire: 14°C

La complejidad del proyecto radica en el corto tiempo de ejecución, además de estar ubicado en una zona residencial el cual determina un horario fijo de termino de labores, haciendo más rigurosa la tarea de coordinar los trabajos para no exceder horario establecido.

La decisión de utilizar el Sistema Ultimo Planificador es una opción ya adoptada y en proceso de implementación por parte de la empresa, mientras que el uso de la tecnología BIM es tomada en este proyecto como un medio de experimentación para una posterior incorporación como plan de negocio.

4.2 APLICACIÓN DE SISTEMA ULTIMO PLANIFICADOR CON TECNOLOGÍA BIM-4D

En concordancia con lo expuesto en la sección 3.4; se tiene el análisis que se realizó para los niveles de planificación en el proceso de construcción, teniendo como punto de partida una explicación general al equipo sobre los principales alcances del estudio.

4.2.1 PLAN MAESTRO

- a) Se realizó un recorrido virtual (Figura N° 4.1) de la obra logrando un mejor entendimiento de la geometría del proyecto, los desniveles existentes, la ubicación y características de los principales ambientes que conforman el proyecto (Figura N° 4.2), tipología elementos verticales y horizontales de la estructura, etc.

Figura N° 4.1: Recorrido Virtual

Recorrido de los Sótanos correspondientes a la Torre B,
se hace medición de columnas Metálica

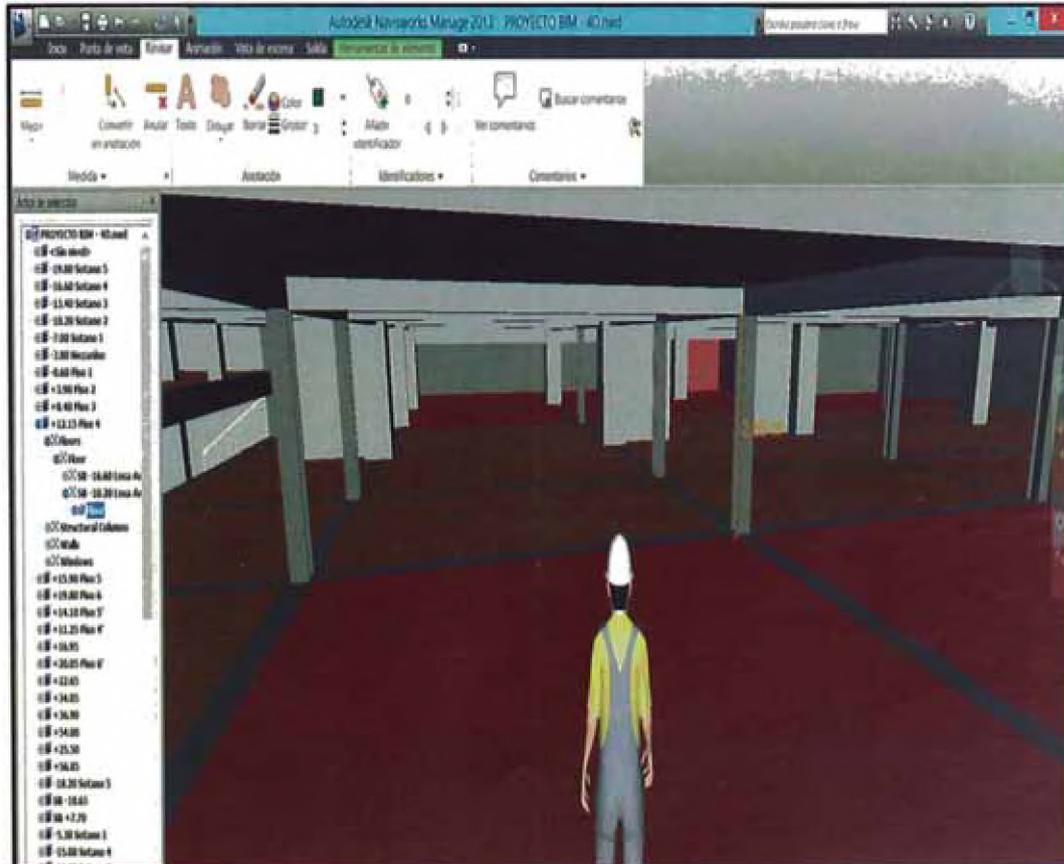
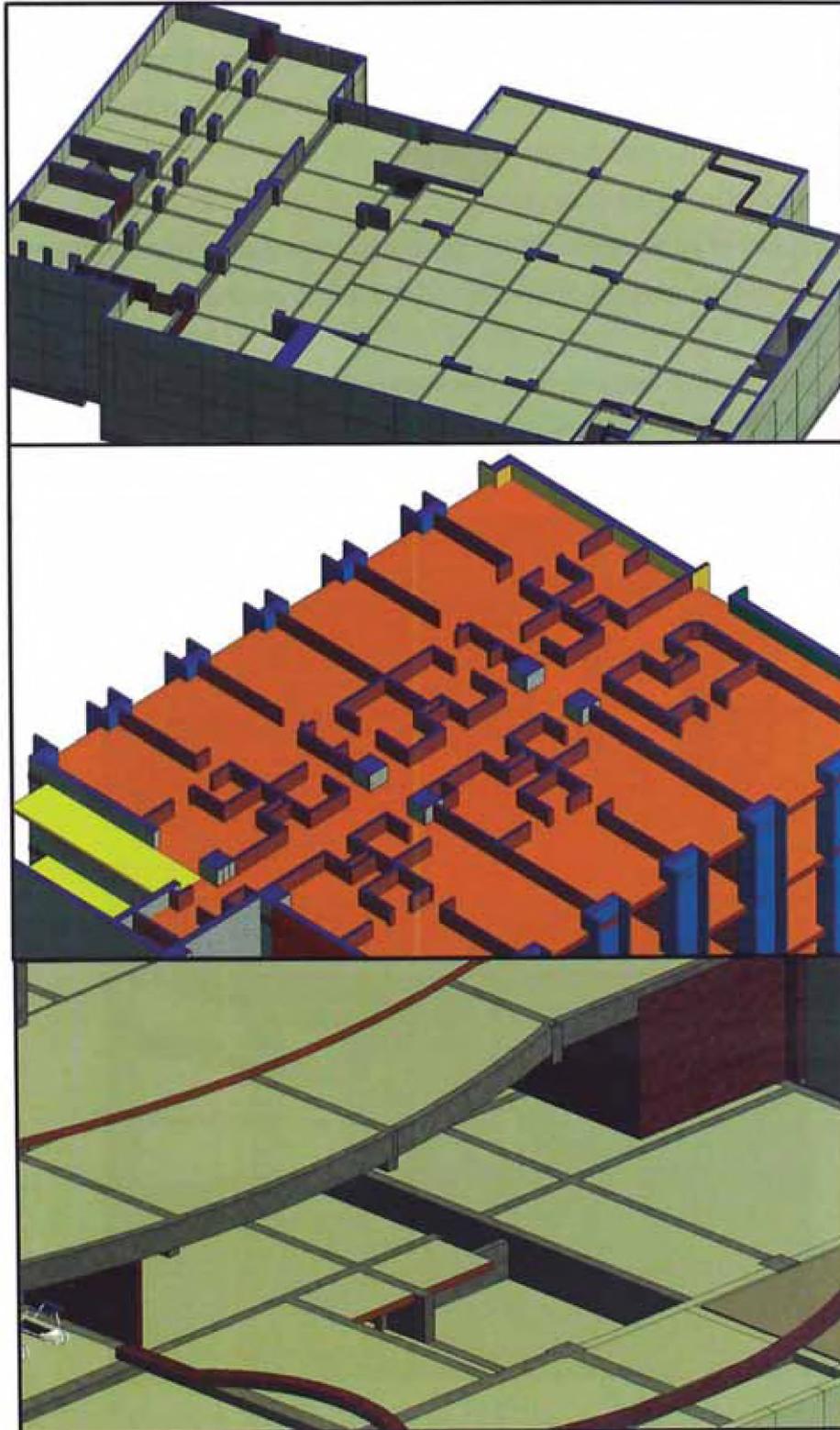


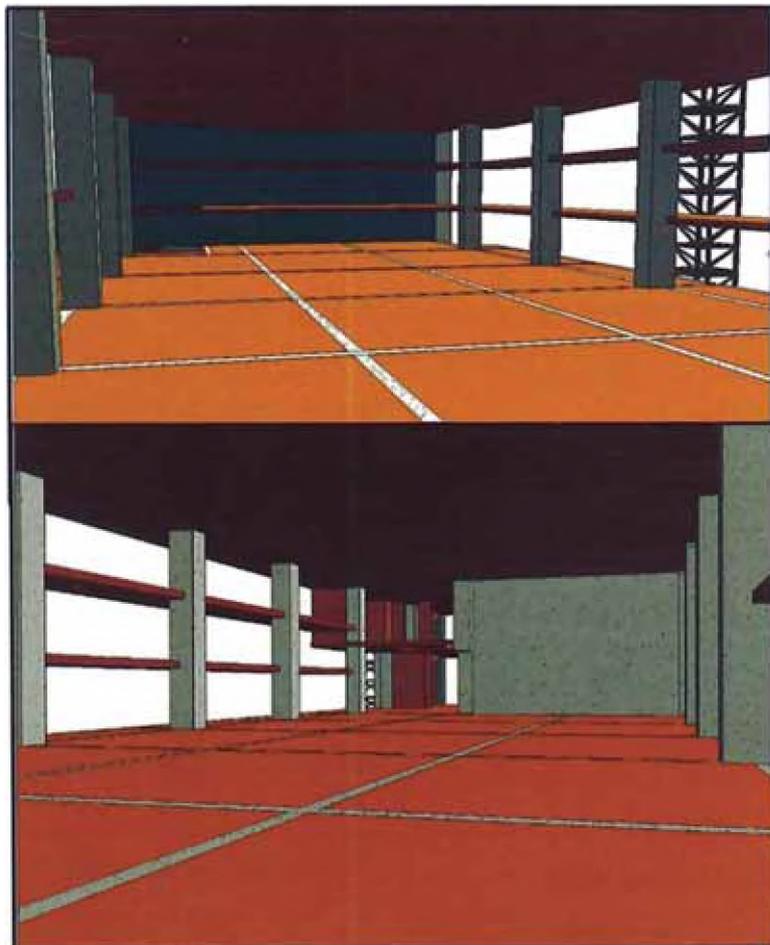
Figura N° 4.2: Principales Ambientes.

Figura Superior muestra una planta típica de los 5 sótanos,
Figura Intermedia es la zona de habitaciones típicas desde el piso 4 al 18,
Figura Inferior es el área de esparcimiento en el primer piso



- b) En estas reuniones de reconocimiento se compartió experiencias en la construcción de casos similares explicando las tecnologías usadas, los principales problemas que se afrontaron y oportunidades de mejora para la realización, esto fortaleció al equipo de trabajo e incentiva la cultura del conocimiento, otro punto es la concordancia sobre los principales proveedores/subcontratistas a ser invitados al proyecto y criterios generales de evaluación, también se comentó de manera global la gestión de seguridad reconociéndose los principales zonas críticas, esta reunión de integración conto con la participación de la línea de mando, ingenieros de producción y maestro de obra, un punto a mejorar es la inclusión de los últimos planificadores en esta reunión (principalmente capataces).

Figura N° 4.3: Imagen del Salón Principal. Hace evidencia la necesidad de contar con un sistema de encofrado doble altura, los participanets comentaron acerca de la empresas que proveen este sistema de encofrado en el mercado.



- c) De igual manera se realizó proyección de la forma global que compone el proyecto, reconociendo los dos grandes sectores que la componen denominadas Torre A y B (separadas por un junta), los niveles que componen ambos 18 pisos para la primera torre y 5 pisos la siguiente, el área promedio que representaban, los ejes en los que estaban ubicados.

Figura N° 4.4: Vista Principales Sectores del Proyecto



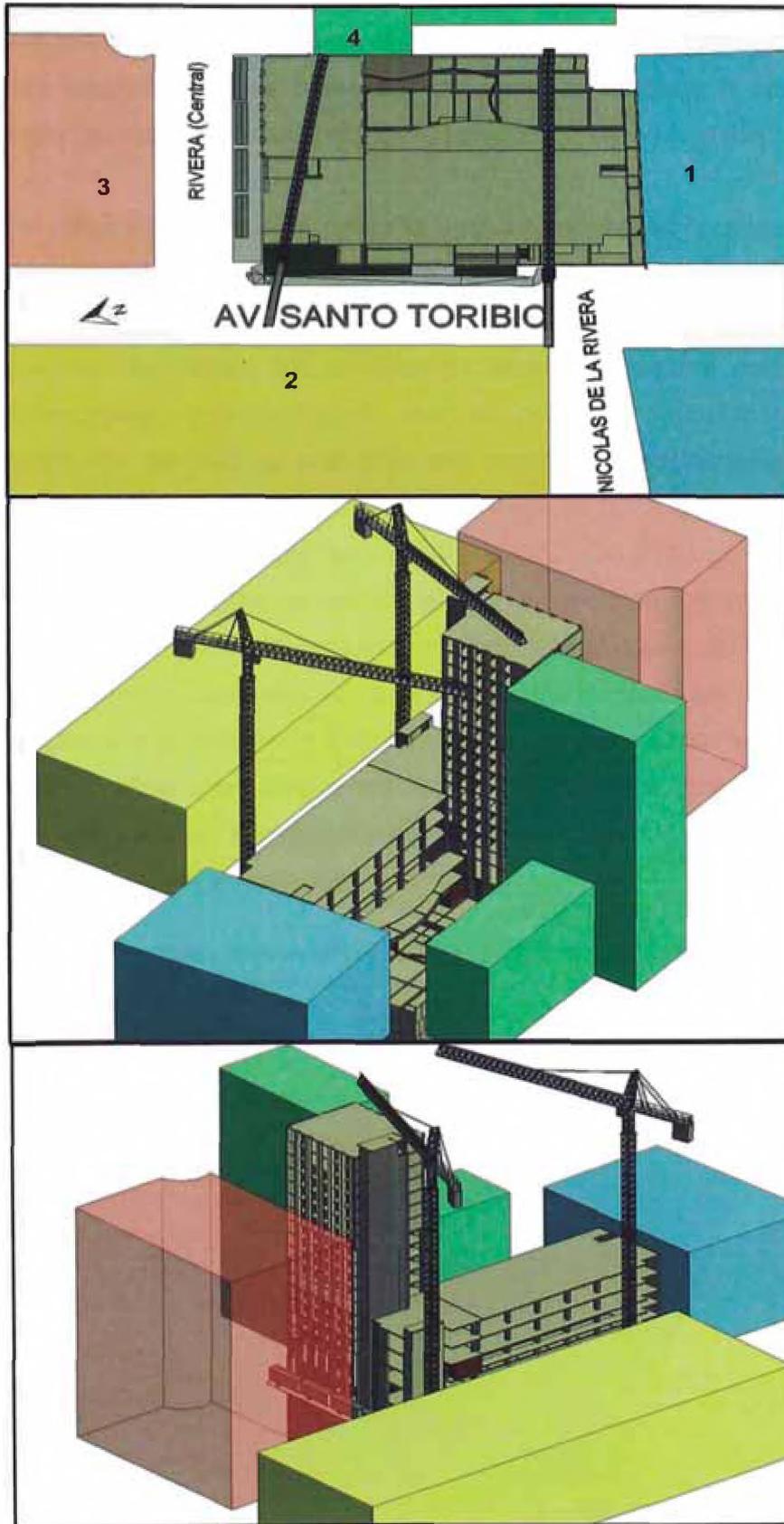
Luego se pasó a reconocer el entorno periférico en que la obra estaba emplazada para tomar las siguientes decisiones acerca de controles que se debería tomar.

Tabla N° 4.2: Estrategia General sobre Entorno

ZONAS	ACCION
Zona 1. Conjunto Residencial	Control de Polvo y Ruido
Zona 2. Frontis a Colegio	Control Vehicular, para no afectar a los padres de familia y alumnos de la institución educativa
Zona 3. Ingreso Hotel y Obra de Tercero	Coordinación de descarga Material debido a que se tiene una calle compartida
Zona 4. Frente Hotel Existente Tercero	Control de Polvo

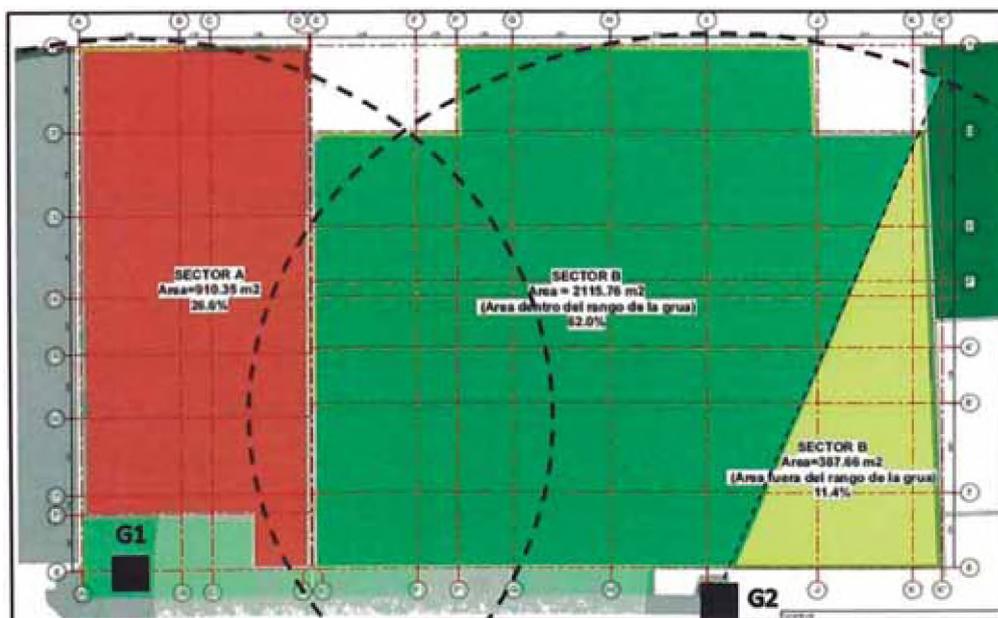
Figura N° 4.5: Entorno del Proyecto.

Zona 1 (Color Celeste), Zona 2 (Color Amarillo), Zona 3 (Color Rojo) y Zona 4 (Color Verde)



- d) Se examinó el volumen de concreto por tipo que se empleara durante la ejecución del proyecto, utilizándolo además este parámetro como indicador de avance del proyecto; además este valor sirve para realizar negociaciones con el proveedor de concreto en base a cantidad de suministro que se despachara en el tiempo que conlleve la ejecución.
- e) Se utilizó el modelo para definir la disposición de los principales equipos (layout) para la ejecución de la obra, se modeló y ubicó las dos torres grúas teniendo en cuenta la altura de los bloques del edificio, la cantidad de volumen de trabajo, los cambios de altura que deberá tener la grúa (telescopaje), una restricción que se presentó puntualmente es la restricción de giro de una grúa por encima del edificio vecino (Zona residencial) esto debido a que inicialmente se tenía planeado pasar la pluma de la grúa 2 por encima del edificio sin embargo esto no fue aprobado, se realizó un cálculo que el volumen de trabajo medido en cantidad de metros cúbicos fuera del alcance de la grúa es 1180 m³ utilizando la información contenida en el modelo BIM expresada en una tabla del programa y el área es 11.4 % del total de una planta, esto sirvió de base para modificar sobre esta la estrategia de vaciado que consistía en utilizar balde de concreto transportado por la grúa a un uso de bomba de concreto necesariamente en esta zona.

Figura N° 4.6: Análisis de Área de Influencia de la Grúa.



- f) Estas revisiones del Plan Maestro, sirvió de guía para la realización de un a Plan de Riesgos Generales del Proyecto, en el que se muestran los principales factores que podrían alterar el normal desarrollo, y las efectos que se ocasionarían, si bien la metodología del sistema ultimo planificador no establece el análisis de una matriz de riegos y oportunidades, esta debe realizarse para así estar alertados sobre las principales desviaciones que rigen el proyecto.

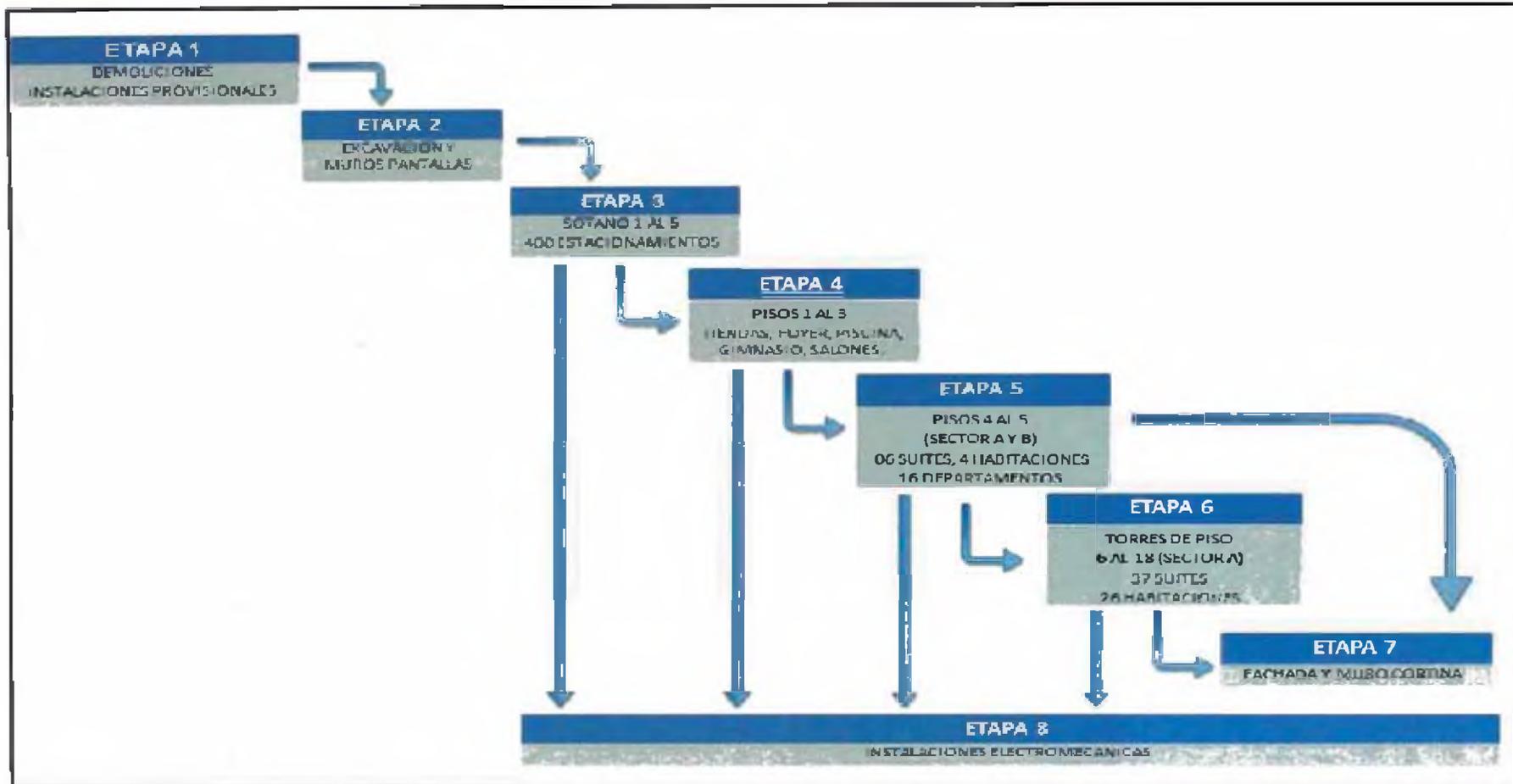
Tabla N° 4.3: Matriz de Riesgos General del Proyecto. La prioridad es calculada multiplicando la probabilidad(P) por el impacto(I), en este caso el incremento de costo de mano de obra es el mayor prioridad esto se debe a que el cliente establecio un monto máximo por alza de mano de obra luego del cual es el contratista quien asumia este riesgo.

REGISTRO DE RIESGOS					PRORIZACION DE LOS RIESGOS
Id.	Descripción del Riesgo	Causa	Categoría de Impacto	Efecto	Prioridad P x I
A7	Mayor volumen de concreto en muro pantalla (>%desperdicio)	Mayor sobreexcavación que la prevista (25%)	Costo	Mayor costo no reconocido (>% desperdicio C* en muro pantalla)	0.16
O2	Acortar el plazo de excavación	Avance más rápido del subcontralista de Movimiento de Tierras	Tiempo	Término anticipado de obra	0.10
A8	Posible necesidad de incrementar la fc del concreto respecto a la presupuestada	Necesidad de realizar el tensado de los paños del muro pantalla al cuarto día	Costo	Mayor costo no reconocido del C*	0.16
O3	Cambio a prelosa	El proyecto considera una losa aligerada normal	Tiempo	Ahorro en plazo	0.16
			Costo	Ahorro en GG	0.10
A9	Incremento de costo de mano de obra	Alza en costo de Mano de Obra por reajuste de salarios de construcción civil	Costo	Mayor costo no reconocido por alza de mano de obra	0.32
A10	Incremento en costo de concreto	Alza en costo de concreto premezclado	Costo	Mayor costo no reconocido por alza de C* premezclado	0.16

4.2.2 PLAN DE FASES

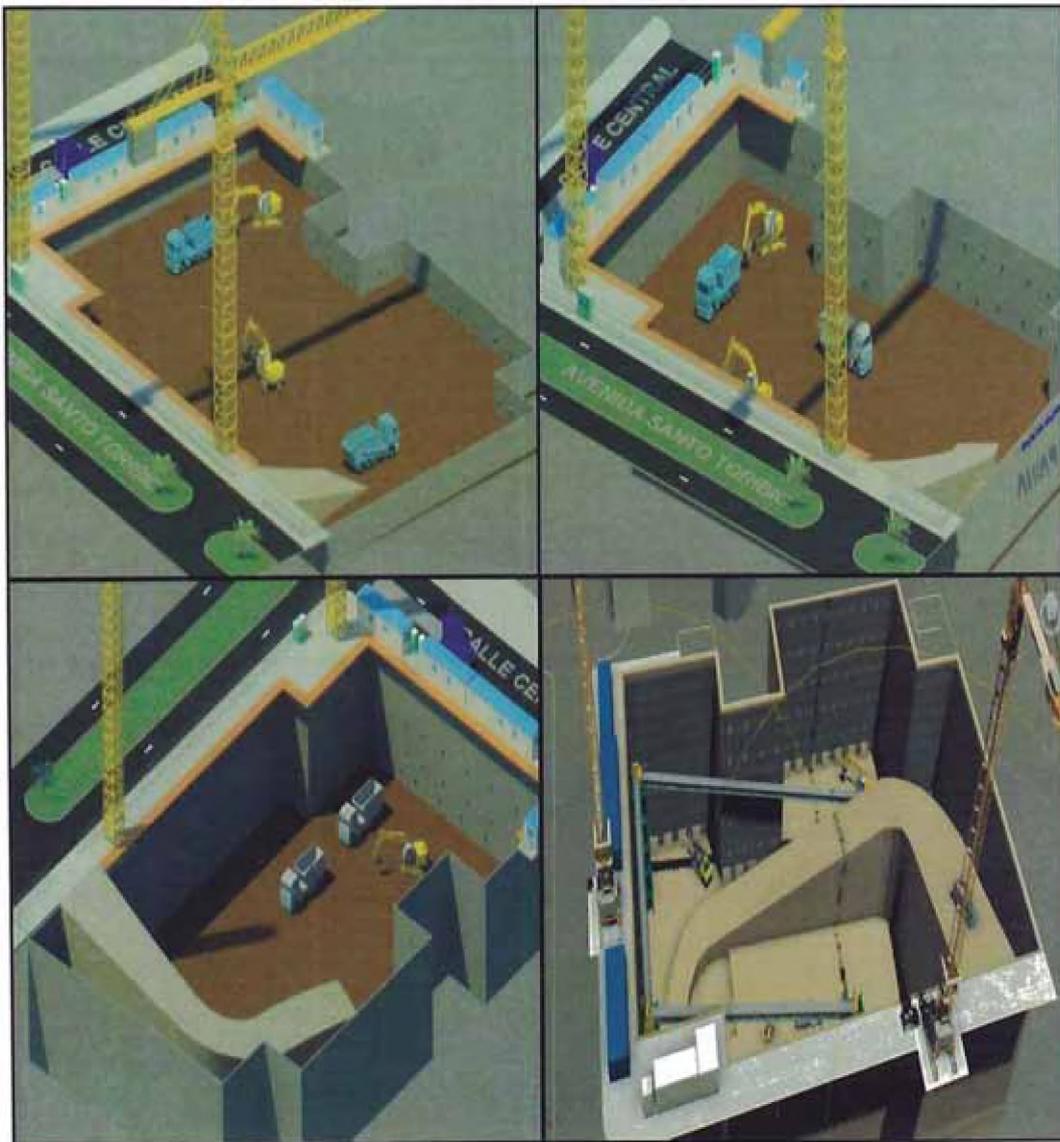
Se dividió la obra en 8 Etapas o Fases, de las cuales se reconoció algunas características principales (ver Fig.4.7), para lo cual se hizo un recorrido virtual del proyecto distinguiendo ubicación y características físicas de los elementos.

Figura N° 4.7: Etapas o Fases del Proyecto



- a) Se comparó las dos posibilidades para retirar el material de excavación, una de ellas mediante fajas transportadoras de material las cuales se tenían que colocar sobre los muros pantalla o hacer uso de una rampa de tierra por donde se hace el recorrido de los volquetes. Escogiendo la segunda opción debido al costo que implica la instalación de fajas además de por la ubicación de la salida de faja próxima al hotel existente el nivel de ruido y polvo podría causar incomodidad al cliente y vecinos. (Ver Figura N° 4.8)

Figura N° 4.8: Imagen de Posibilidades para Eliminación de Material



- b) La sectorización global del proyecto es mostrada como una secuencia diaria con el fin dar a conocer el ritmo de trabajo, el flujo de cuadrillas, la secuencia espacial y enumeración de sectores; para lo cual se ha balanceado la carga de trabajo calculando los metrados de los elementos de manera rápida es así que en el transcurso de la presentación de haber un cambio se podrá estimar de manera ágil al poseer un repositorio de datos que se tiene al trabajar en la plataforma BIM. Esto sirve de base para luego en el siguiente nivel de planeamiento (Plan Lookahead) analizar con mayor detalle.

Figura N° 4.9: Simulación de Construcción I. Imagen del Día 6 y 7

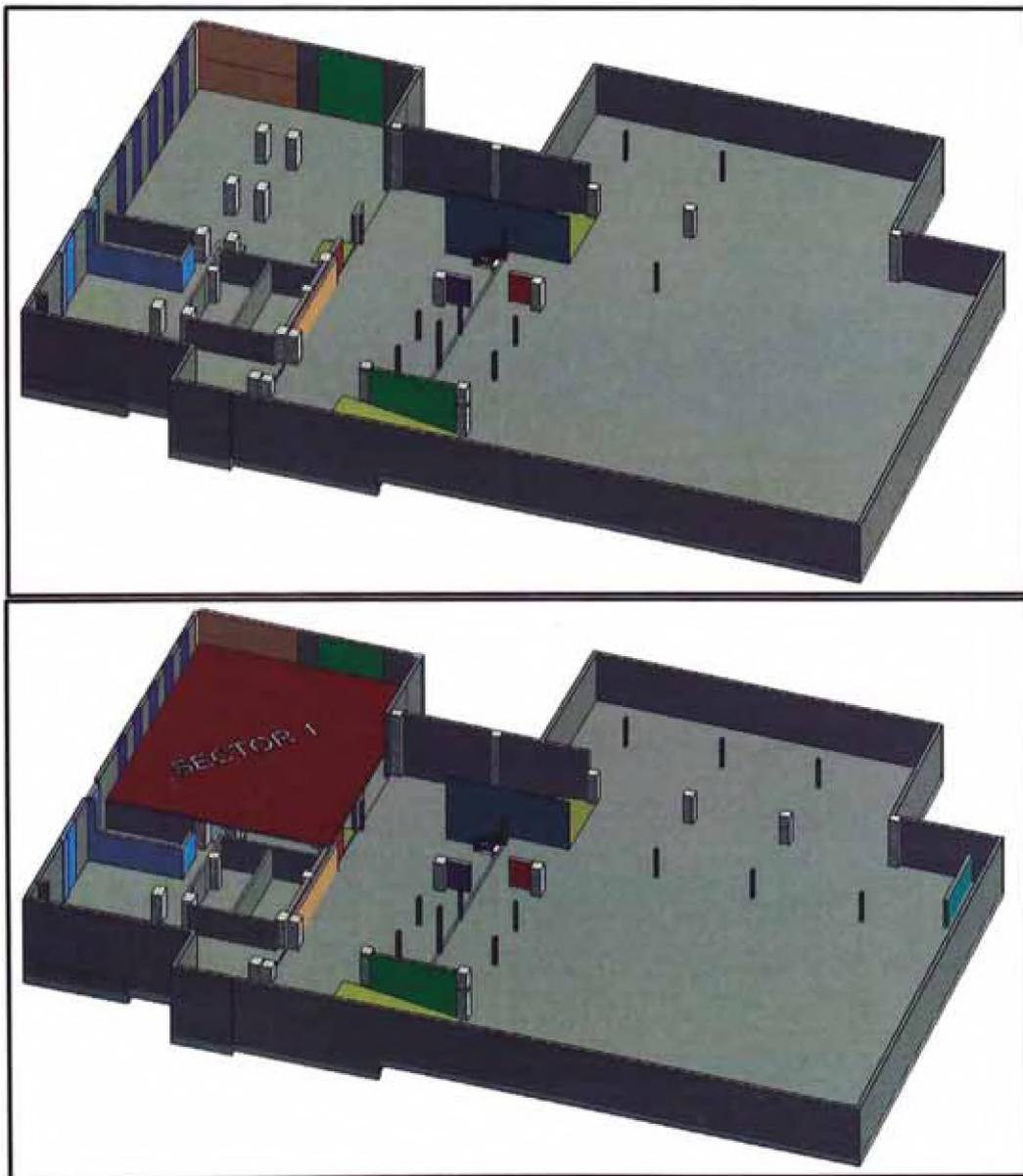


Figura Nº 4.10: Simulación de Construcción II. Imagen del Día 8, y 10.

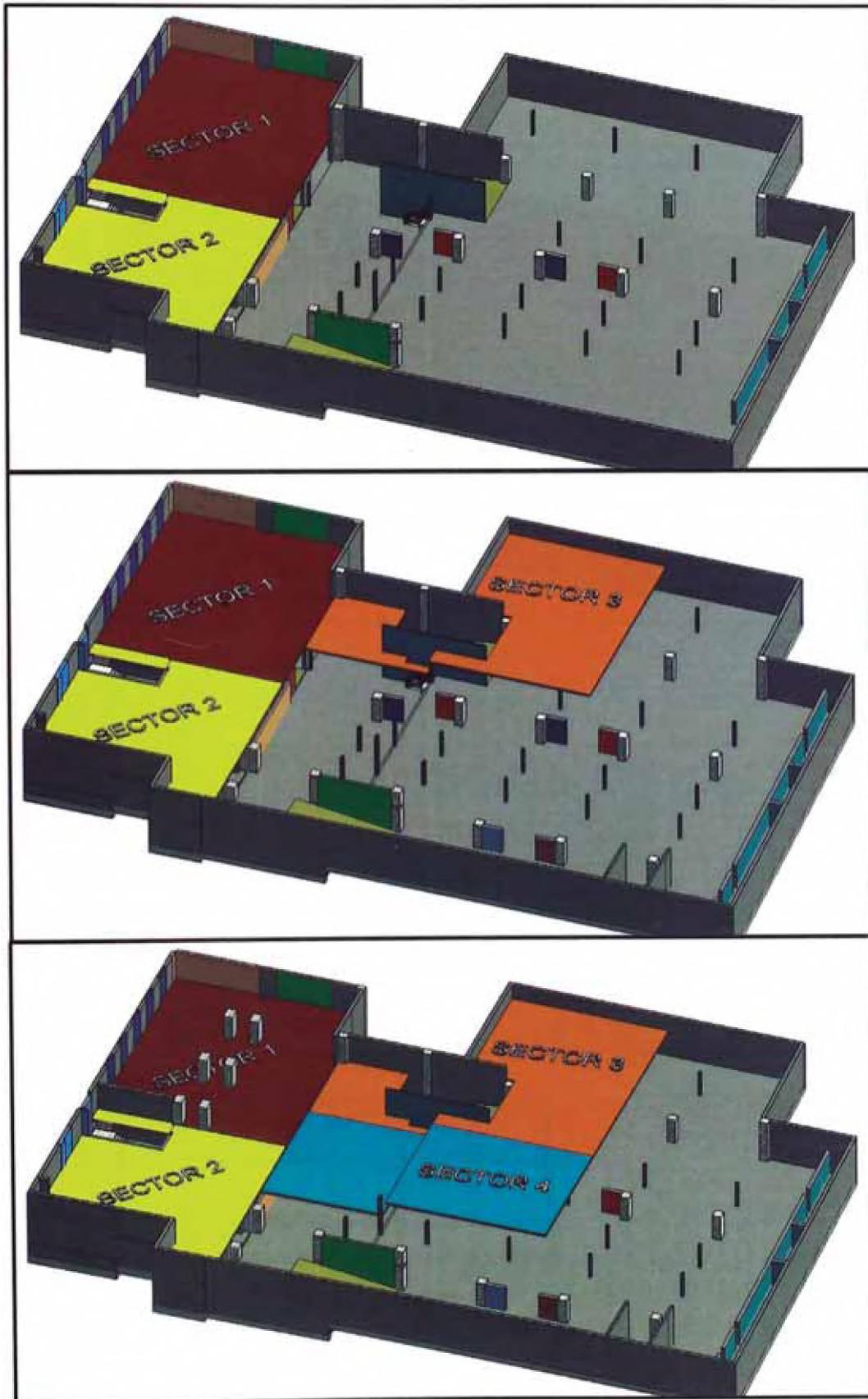
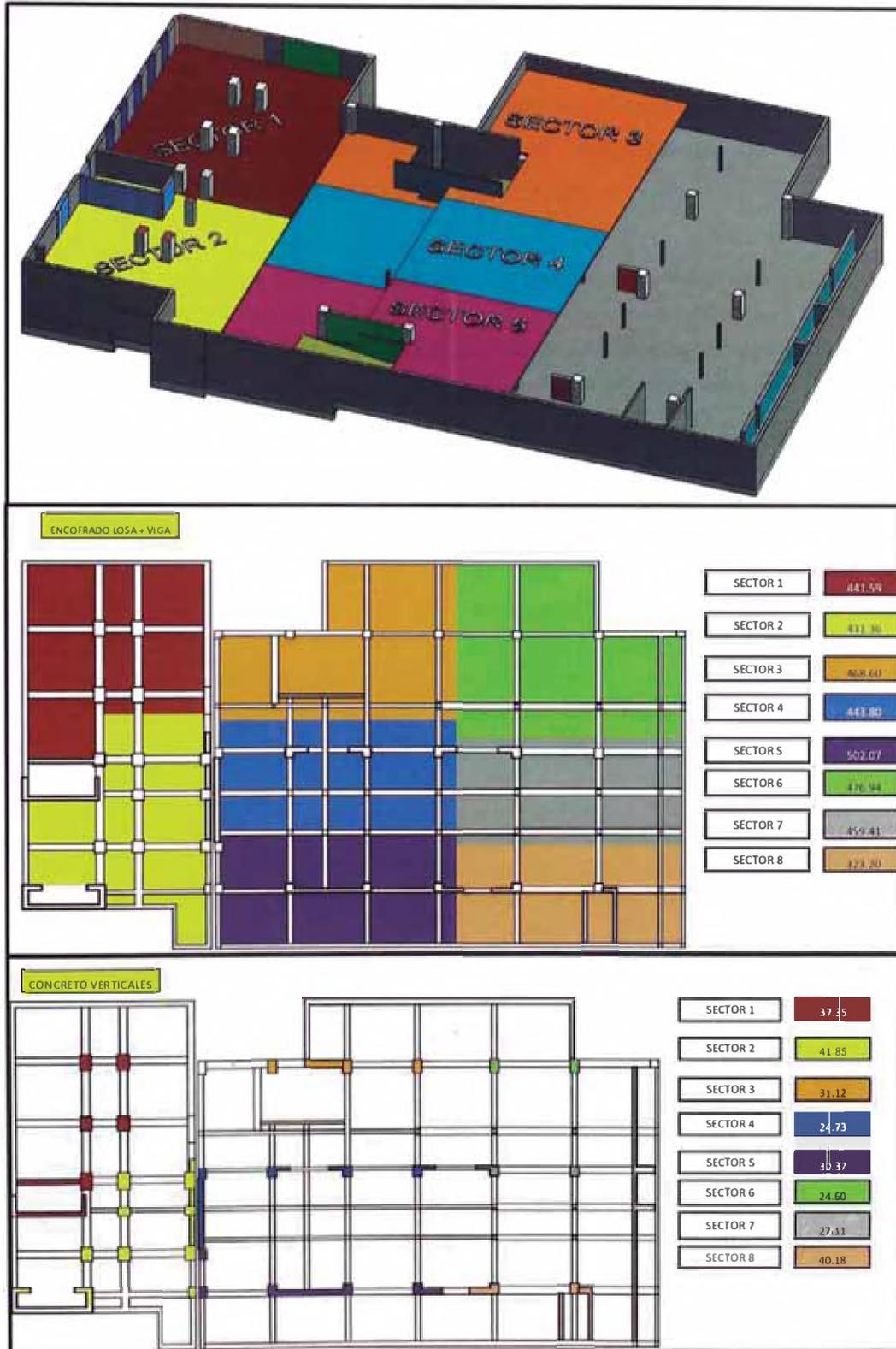
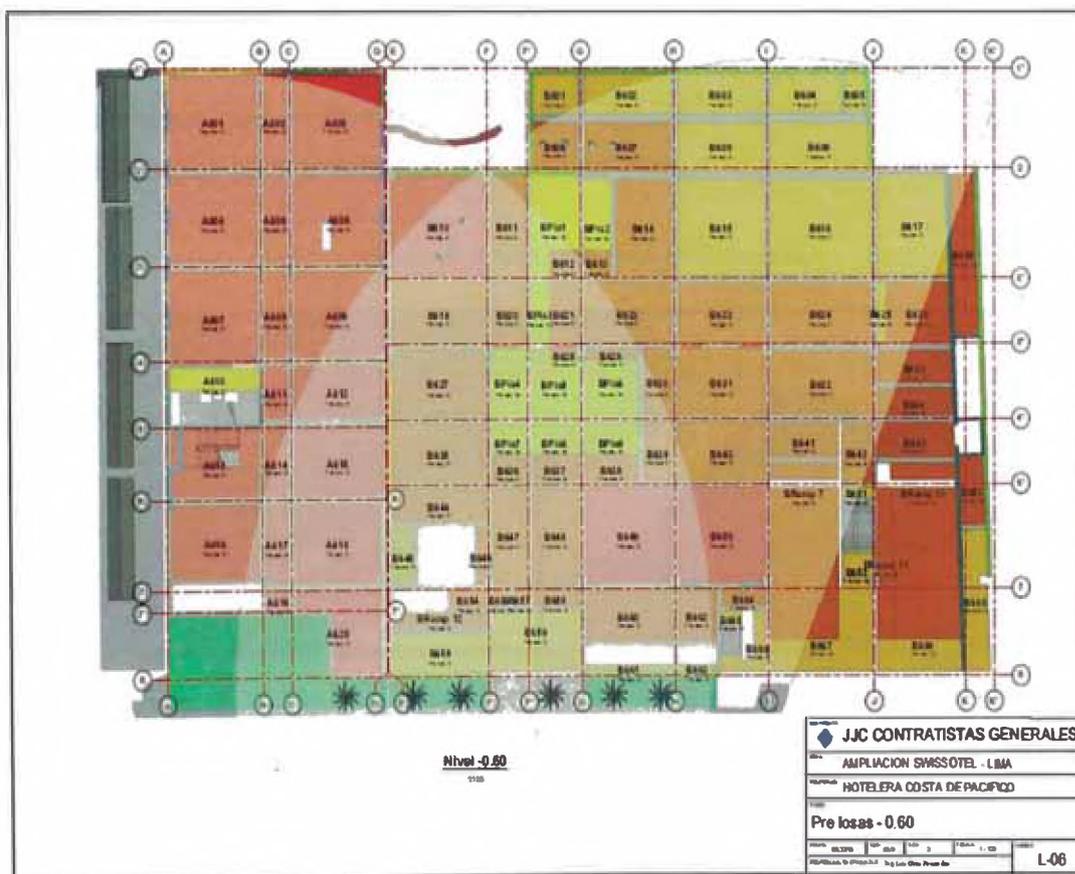


Figura N° 4.11: Simulación de Construcción II. Imagen del Día 11. En el gráfico intermedio se puede apreciar el área de encofrado horizontal de cada sector con un promedio 442 m² y el gráfico inferior el volumen de concreto para los verticales con un promedio de 32 m³, se balanceo estas cantidades para determinar los sectores, los cuales en la fase de lookahead sirvieron de base para el planteo de ejecución.



- c) Se evaluó la posibilidad de utilizar el sistema Prelosa en vez del sistema aligerado convencional para las losas de techo, se comparó los costos que implican cada opción optando por el sistema de prelosas para lo cual se calculó el área neta de techo por niveles dando un código a cada paño de losa y con el área calculada por el programa multiplicada por la densidad se obtuvo el peso de cada prelosa con lo cual se verificó que estas puedan ser transportadas por la grúa entregando en un plano a los encargados de la maniobra, además contribuyó al seguimiento de avance del subcontratista (proveedor). (Figura N° 4.12)

Figura N° 4.12: Evaluación de Sistema Prelosa. Estos cambios son positivos en áreas de sótanos donde el sistema de prelosa puede sustituir los trabajos de tarrajeo de cielo raso y el nivel de acabado arquitectónico es menor respecto a áreas comunes o habitaciones, estos cambios deben contar con la aprobación del cliente, en especial el acabado que se da entre juntas de prelosa.



4.2.3 PLAN LOOKAHEAD

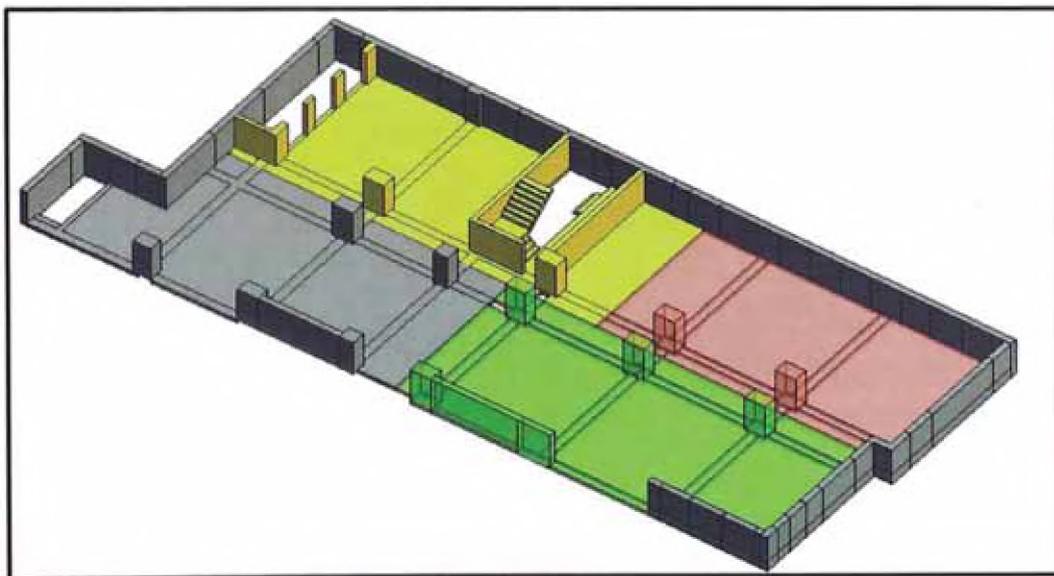
- a) La etapa final de la excavación implicaba retirar la rampa que había servido como vía para los volquetes, para lo cual se tenía planteado retirar todo el material hacia la esquina de salida, para luego con dos excavadoras una posicionada en la parte superior y la otra sobre el material le entrega la tierra de balde a balde, este proceso se dio hasta donde la longitud del brazo permitían (la altura entre ellas era de 20 m que comprendía los 5 sótanos), antes de terminar con esta operación se realizó una excavación que permita luego depositar el material excedente, finalmente la excavadora fue retirada con un grúa telescópica. El soporte del programa permitió visualizar el proceso constructivo además de calcular el volumen de material para cada etapa (Revit permite cálculo de volumen de tierra para áreas menores a 100km²). Esta experiencia sirvió de experiencia para en futuros proyectos para evaluar el uso de faja transportadora u otro sistema que reemplaza el usado, debido a la cantidad de recursos utilizados para el retiro de la rampa de tierra.

Figura N° 4.13: Etapa Final de Excavación



- b) Se realizó la sectorización de los dos bloques teniendo en cuenta la igualdad de carga, haciendo uso de los metrados se verifico esta nivelación de carga además de contar con la opinión de los capataces sobre la dificultad existente en los elementos, por ejemplo las placas que contenían una columna en la parte final representaban mayor trabajo a una placa que no la contenía aun cuando se tenía el mismo metrado. Finalmente se realizó un modelo 4D para experimentar el proceso de construcción (Ver Fig. 4.14), en principio la simulación se realizaba elemento por elemento, lo cual hacia las presentaciones tomaran mayor tiempo para luego trabajar con elementos sectorizados

Figura Nº 4.14: Sectorización de Edificio. En la epara de Lookahead la Torre A se divido en cuatro sectores los cuales tenian un área promedio de 223 m² y un volumen de concreto para elementos verticales de 20 m³, este cambio correspondio a los recursos que se tenian, siendo el cuello de botella el uso de la grúa torre la cual se utilizaba con un balde de concreto para realizar los vaciado de los elementos. El volumen de vaciado diario para este sector era de 60 m³ el cual demandaba 5 horas en promedio que era el tiempo destinado para esta actividad.



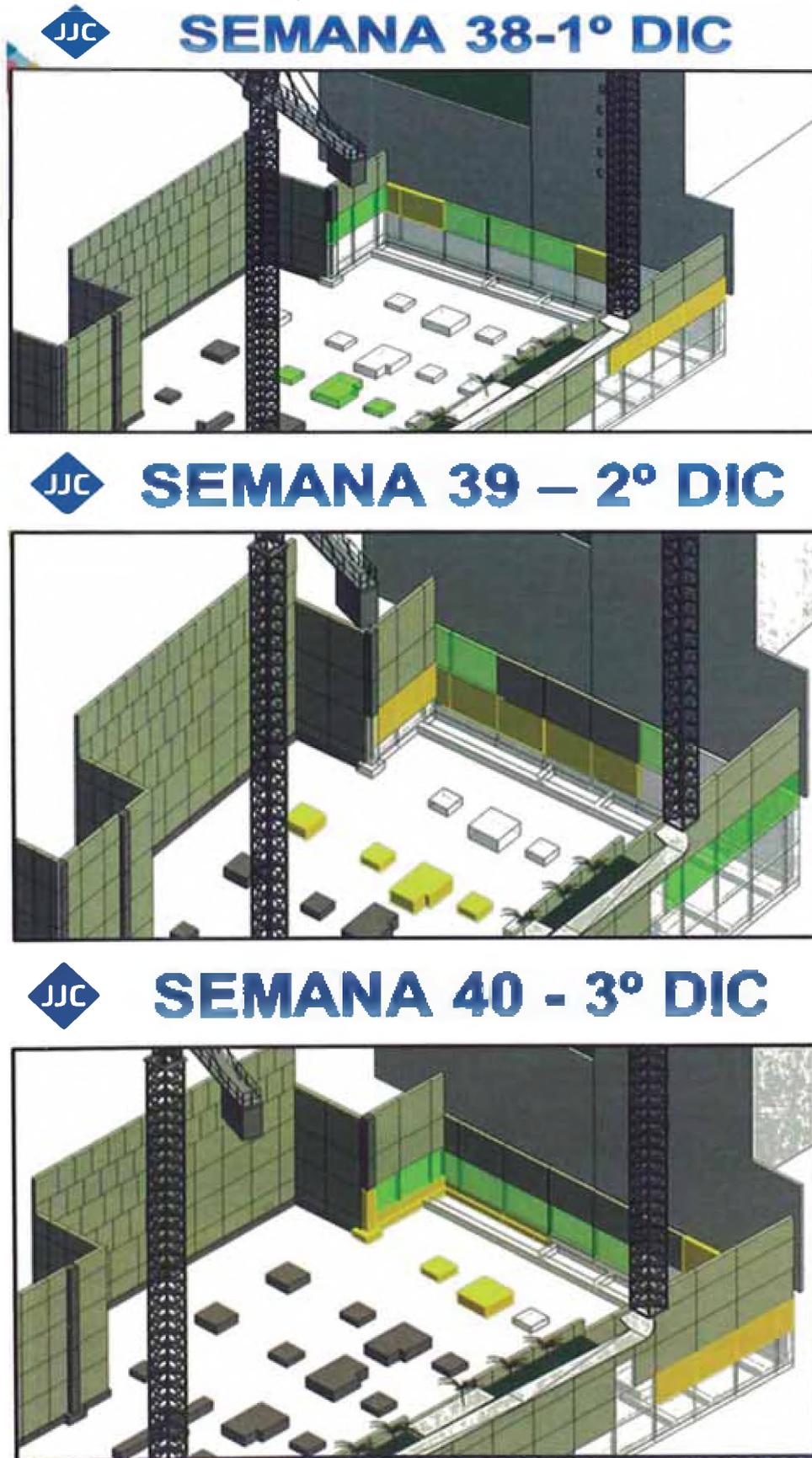
- c) Se realizó seguimiento a la realización de los muros pantalla, actualizando semanalmente la información, es en esta labor que se utilizó con mayor frecuencia el uso del modelo debido que se necesitaba una mayor compresión del espacio usado en obra debido al uso de dos equipos que ocupaban gran parte del área de trabajo, una perforadora y una excavadora, semanalmente se entregaba un reporte del estado de la semana en cuanto a avance.

Figura N° 4.15: Seguimiento de Avance de los Muros Pantalla. En color verde los muros realizados en la semana, lo muros en color amarillo realizados la semana pasada, en plomo los realizados semanas anteriores.



- d) Dentro del alcance de las reuniones semanales se mostraba las acciones a realizar la siguiente semana, lo elementos a construir iban mostrándose semana a semana, lo cual permitía identificar las restricciones que llevarían hacerla, las interferencias en campo que se tenía por ejemplo almacenes temporales ubicados en la zona, se comunicaba si era necesario el uso de un equipo o herramienta especial para el trabajo. Hacer esta labor con anticipación permitía tener una mejor logística debido a que según la norma de la empresa el proceso de pedido tomaba 7 días. (Ver Fig. 4.16)

Figura N° 4.16: Lookahead utilizando Modelo BIM. En colo amarillos los muros planeados a ejecutar en la semana.



4.2.4 PLAN TRABAJO SEMANAL

- e) Se mostraba los elementos que debían ser realizados la siguiente semana, planificando con los responsables de los trabajos la secuencia que debería realizarse para el cumplimiento de este, así como una análisis de la capacidad de trabajo y las restricciones que pudieran afectar las labores. Finalmente luego de comprometer al personal de las labores se programaba la cantidad de volumen de concreto a colocar que sirvió como indicador de avance. (Fig. 4.17)

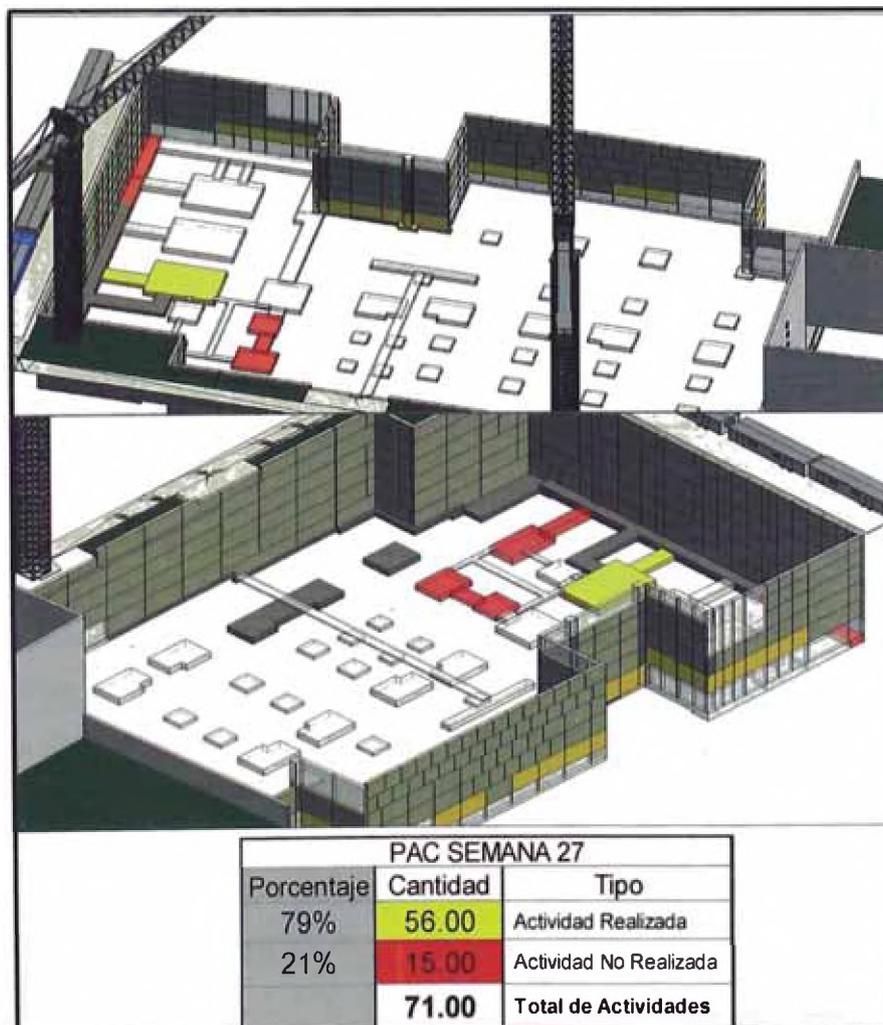
Figura Nº 4.17: Presentación de Trabajo Semanal. En color morado los elementos que debían realizarse en la semana.



4.2.5 PORCENTAJE DE ACTIVIDADES COMPLETADAS (PAC)

- f) Parte del proceso del lookahead, es la revisión del Porcentaje de Asignaciones Completadas para lo cual se representaba como imagen un vista 3D del edificio, mostrando con color amarillo los elementos que se planificaron y cumplieron, en contra parte se mostraban en color rojo los elementos que se habían planificado realizar en la semana y no se habían completado. Esto ayudo a conocer por qué no se había completado la planificación, haciendo una reunión para identificar las causas de no cumplimiento así como las acciones correctivas que se implementaran para que el futuro no se tengan estas deficiencias. Un ejemplo es mostrado en la Fig. 4.18 la cual muestra cimentaciones que no se habían completado debido a una falta de materiales, para luego establecer un programa de envío de encofrados.

Figura N° 4.18: Revisión del Cumplimiento Semanal



Los valores de cumplimiento semanalmente son registrados para así tener una trazabilidad de la gestión, así como los valores acumulados, tener en cuenta que estos valores pueden dar referencia al avance del proyecto. De la misma manera que se toma el cumplimiento, debe anotarse la causa de no cumplimiento acumulado que permita tomar acción sobre las de mayor incidencia.

Figura N° 4.19: Trazabilidad de PAC

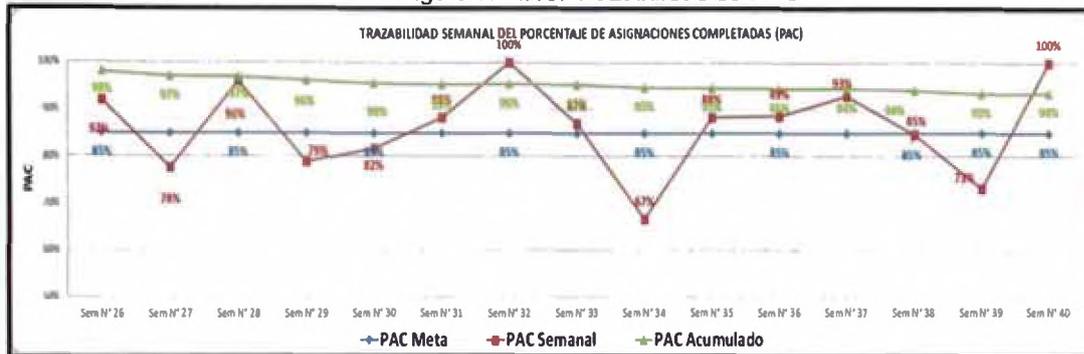


Figura N° 4.20: Tipo de Causa de No Cumplimiento Acumulado



La evaluación de causa de no cumplimiento debe conducirnos a la causa raíz del problema para lo cual se puede hacer uso de la técnica de los 5 Por qué o el diagrama de Ishikawa, estas causas pueden deberse a distintas causas y ser producida por diferentes áreas dentro de la organización del proyecto, en alguno casos además pueden ser causados por factores externos tales como huelgas o factores climáticos, el cliente también puede ser un agente de no cumplimiento, por ejemplo el hecho de causar interferencias en campo que impidan labores planificadas acordadas contractualmente.

Tabla N° 4.4: Análisis de Causa de No Cumplimiento

N°	DETALLE CAUSA DE NO CUMPLIMIENTO	TIPO CAUSA NO CUMPLIMIENTO	N°	DETALLE CAUSA DE NO CUMPLIMIENTO	TIPO CAUSA NO CUMPLIMIENTO
1	Problemas de no calidad	QA/QC	15	Falta de personal	Administración
2	Falta prueba o ensayo	QA/QC	16	Incongruencia de planos con campo	Ingeniería
3	Indefinición de diseño	Cliente	17	Ineficiencia de topografía	Ingeniería
4	Interferencias en campo	Cliente	18	Falta de planos para construcción	Ingeniería
5	Error en diseño	Cliente	19	Falta de Equipos	Logística
6	Incumplimiento compromisos contractuales	Cliente	20	Falta de materiales	Logística
7	Falla de equipos	Equipos	21	Falta de subcontratista	Logística
8	Mantenimiento no programado de equipos	Equipos	22	Error en la planificación por rendimiento	Producción
9	Huelgas	Externo	23	Error en la planificación por mal análisis de restricciones	Producción
10	Marchas sindicales	Externo	24	Condiciones Inseguras	Seguridad
11	Exceso de lluvias	Externo	25	Accidentes	Seguridad
12	Exceso de calor	Externo	26	Problemas con subcontratista	Subcontrato
13	Causas sociales	Externo	27	Falta de coordinación gerencial	Gerencia
14	Falta de permisos o licencias	Administración			

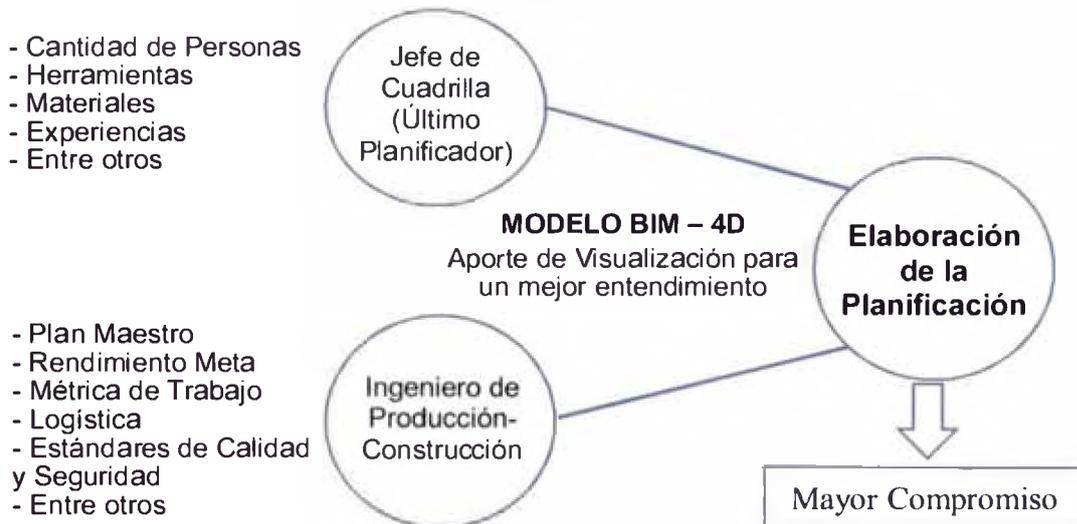
CAPÍTULO V: EVALUACIÓN DE RESULTADOS

5.1 EVALUACIÓN DEL RESULTADO DE APLICAR EL SISTEMA ÚLTIMO PLANIFICADOR USANDO BIM-4D

El Sistema Último Planificador busca mejorar la calidad y compromiso con la planificación, la aplicación de estos dos aspectos recaen sobre el último planificador que para el proyecto y en líneas generales para la industria de construcción peruana es el jefe de cuadrilla o normalmente llamado capataz por la forma en que se desarrollan los proyectos; es en este punto que se tiene que evaluar la diferencia que existe entre la realidad de la construcción peruana con la europea y norteamericana donde se originó esta metodología y en cuyos casos la responsabilidad del último planificador recaía en el encargado de la subcontratista, por lo general una persona con grado de instrucción superior, debido a que el desarrollo de sus proyectos se basa en una contratista general que organiza a su vez emplea varias subcontratistas, esta brecha hace notar la capacidad de preparación técnica entre ambos últimos planificadores, razón por la cual cuando se hace uso de esta metodología quien asume la organización y dirección de esta metodología dentro del proyecto es el Ingeniero de Producción o también llamado Ingeniero de Construcción, en el desarrollo de nuestro proyecto inicialmente se tenía 4 capataces que llegaron a ser 12, la función que debe tener el encargado de Producción es elaborar conjuntamente con los capataces la planificación para lograr de este manera que lo primeros aporten sus conocimientos sobre plan maestro, la métrica de trabajo, rendimientos metas por actividad, secuencias de otras actividades, estándares de seguridad y calidad, etc. y el segundo pueda complementar con sus conocimientos acerca sobre la cantidad de personas para el trabajo (rendimiento), tipo de herramientas y materiales a utilizar, experiencias de trabajo acerca de labor a desarrollar, etc. esto lograra un mayor compromiso con la planificación. Parte del desarrollo de esta metodología establece una reunión de coordinación semanal durante la cual se debe dar un mutuo acuerdo sobre la planificación de actividades a realizar el aporte de un modelo BIM-4D ayuda no solo como herramienta de cálculo métrico sino como un gran motor de visualización el cual aseguro el entendimiento entre los participantes esto permitió conocer cómo serán desarrolladas las actividades, las restricciones que presentan y el encargado de solucionarlas, permitirá hacer

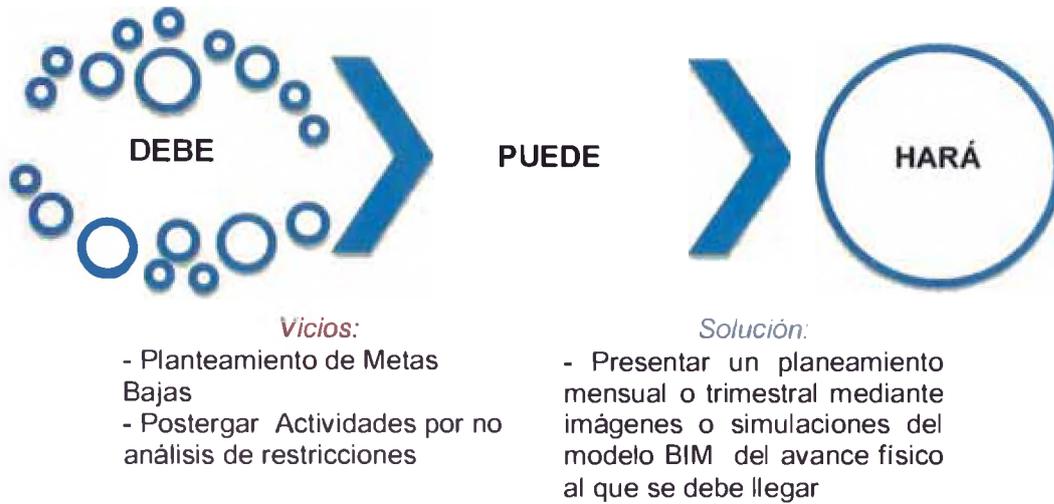
una retroalimentación de los trabajos anteriores y finalmente se dará una mejora del proceso de trabajo. (Ver Fig. 5.1). Cabe señalar que este mismo mecanismo se puede emplear para las reuniones de líneas de mando con los mismos resultados.

Figura N° 5.1: Elaboración de la Planificación



Otro punto que se evaluó dentro de la metodología de trabajo es la transformación que se hace desde el DEBE HACERSE al PUEDE HACERSE y finalmente se convertirá en lo que se HARÁ, en algunos casos esto influyó a plantear metas bajas lo cual se traducirá a que se tenga el indicador de PAC con un promedio satisfactorio que signifique una buena calidad de planificación sin embargo otros indicadores de avance usando en la organización señalen que no se ha cumplido con el avance esperado y/o también se hace un uso poco eficiente de los recursos. Otra práctica que conlleva esta transformación es postergar actividades con la “promesa” de realizarse en las siguientes semanas, ambos casos representan un vicio de la metodología y deben ser analizados porque no se tiene actividades listas, ¿Por qué no se liberaron las restricciones con anterioridad? En ambos casos además debe tenerse en cuenta que los planes semanales deben estar alineados con plan Lookahead (4-9 semanas) y plan maestro que gobierna la estrategia del desarrollo del proyecto, razón por la cual debe plantearse la planificación para que se obtengan las metas inicialmente trazadas, una solución es el uso de imágenes 3D o simulaciones 4D que muestren que avance físico se debe tener al final de un mes o trimestre, o estableciéndose un hito de tiempo; esto contribuirá a un mejor control.

Figura N° 5.2: Transformación DEBE – PUEDE - HARÁ



La medición del PAC debe tenerse en cuenta que si bien se explica con anterioridad que el nivel mínimo de 85 %, valores menores no deben de tomarse como absolutamente negativos pues brindan la posibilidad de descubrir las causas que impidan un adecuado flujo de trabajo, estas deben de llevarse de manera acumulada para observarse claramente cuál es el más incidente aun cuando un punto a mejorar es el hecho de no aceptar que se pueda tener incumplimientos, a este punto se suma la veracidad que debe contar el análisis de la causa de no cumplimiento pues desde un punto de vista estricto es el ingeniero de planificación y producción quienes son los responsable del cumplimiento y debe en cuanto asegurar que factores externos estén mitigados y controlados para que no afecten la planificación ; un punto que se desarrolla en el presente trabajo fue el hecho de observar que elementos no se habían concluido. La inclusión de las vistas 3D acelero las reuniones de trabajo al identificar rápidamente las actividades no cumplidas, cuando se muestra una simulación de lo ocurrido en la semana se evoca al recuerdo de lo ocurrido y es más fácil identificar cual es la cusa raíz del no cumplimiento.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- El uso del Sistema Último Planificador contribuyó a la mejora de la planificación y coordinación del equipo de obra, preparando e informando con anticipación los recursos necesarios para ejecución de los trabajos; es de esta manera que al encontrarse restricciones por falta de diseño se comunicaba al encargado del Área de Ingeniería dando un mayor horizonte para la solución del problema, de la misma manera el requerimiento de materiales es comunicado al Jefe de Administración lo cual permitía tener los recursos cuando eran necesitados en campo.
- La mejora en la planificación de las actividades de obra favoreció a la disminución de paros las cuales en experiencia de los profesionales que integraban la obra se suscitaba por fallas logísticas; además la colaboración con los capataces sobre el plan de trabajo permitió balancear la cantidad de trabajo con lo cual cada grupo de trabajo tenía la cantidad de personal y materiales necesarios, y una mejora de flujo de actividades entre cuadrillas al conocer la secuencia de trabajos; esto se ve reflejado en los rendimientos reales eran mayores a los esperados (ver anexo).
- La inclusión de Tecnologías BIM como soporte al SUP, facilitó una mejor coordinación de trabajos, al permitir en reuniones de obra visualizar el modelo tanto en 3D y 4D el tiempo que tomaba en entender el plan de trabajo disminuyó (debido a que antes estos se hacían en base a planos los cuales no resultaban didácticos), contribuyendo a que las reuniones se tornen más ágiles enfocando el esfuerzo en un análisis de mejora de proceso, por ejemplo el reconocimiento rápido de las áreas de trabajo permitía al Ingeniero de Seguridad dar las recomendaciones necesarias para realizar un trabajo seguro; finalmente se tenía una mayor convicción de que los planes habían sido entendidos por los integrantes del equipo.

- Uno de los principales beneficios apreciables de realizar simulaciones 4D es la detección de conflictos de espacio, esto se consigue al verificar según la secuencia de actividades en el modelo los espacios utilizados por las cuadrillas de trabajo, permitiendo una mejor coordinación de trabajos así como la disposición de los principales equipos (*layout*) como puede verse en el capítulo 4.2.2
- Finalmente, las labores de cálculo de metrados son automatizadas y actualizadas con el manejo del BIM permitiendo tener la carga de trabajo actualizada para la planificación de actividades, así como la detección de interferencias tempranas son mejor analizadas en esta plataforma lo cual crea una ventaja comparativa con el manejo actual.

6.2 RECOMENDACIONES

- Tal como se pudo observar en el análisis de la metodología, uno de los principales inconvenientes en la aplicación se basa en la creación de planes semanales poco exigentes con la finalidad de solo cumplir los indicadores, lo cual a la larga crea retraso en el proyecto se recomienda como medida de control establecer hitos que permitan identificar estos desfases, esto es producto de la idiosincrasia de los conductores del proyecto en la que el tiempo que debería dedicarse a la planificación de trabajos son desatinados a la resolución de conflictos, motivo por el cual se debe conducir al factor humano hacia una mayor proactividad.
- Se debe involucrar en el desarrollo de los planes de trabajo, a las persona encargadas de proveer los materiales y/o equipos a la línea de producción, administrador y almacenero, para también involucrarlos con el planteamiento, además de revisar con ellos los tiempos de entrega que se tiene desde el inicio del pedido.
- Durante el desarrollo del modelamiento, se observó la necesidad de fijar el grado de detalle del Modelo BIM en cuanto al tiempo que involucra su realización, así como para el caso de simulaciones 4D, se deberá tomar en cuenta la experticia del usuario para generar simulaciones; como una opción se puede hacer uso de toma de imágenes instantáneas de modelo en diferentes etapas previstas de tiempo, restando así el efecto de simulación que se consigue en el caso anterior; estas pruebas contribuirá al conocimiento de manejo de estas herramientas a la empresa para una posterior implementación del BIM; en la se puede establecer un estándar de trabajo con un mapa de procesos definidos.

BIBLIOGRAFÍA

Alcántara, V. (2013). *Metodología para Minimizar las Deficiencias de Diseño Basada en la Construcción Virtual Usando Tecnologías BIM*. Tesis de Título Profesional, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Altamirano, C. (2009). *Aplicación del Sistema de Planificación Ultimo Planificador en Proyectos de Construcción*. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Ártica, P. (2010). *Planificación por Lotes de Producción con Modelos 4D*. Recuperado el 14 de mayo de 2013 de <http://www.icq.edu.pe>

Ballard, G. (2000). *The Last Planner System of Production Control*, Ph. D. Thesis. School of Civil Engineering. The University of Birmingham, USA.

Ballard, G., y Howell, G. (1997). Shielding Production: An Essential Step in Production Control. *Journal of Construction Engineering and Management*, (124), 11-17.

Bhatla, A. y Leite, F. *Proceedings for the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*

Bender, R. (1973). *Una visión de la construcción industrializada*. Barcelona: Gustavo Gili.

Berdillana, F. (2008). *Tecnologías Informáticas para la Visualización de la información y su uso en la Construcción – Los Sistemas 3D Inteligente*, Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Chemillier, P. (1980). *Industrialización de la Construcción*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados.

Coloma, E. (2008). *Introducción a la Tecnología BIM*. Recuperado el 4 de marzo de 2013 de <http://www.practicaintegrada.com/storage/tecnologiabim/IntroducciónalaTecnologíaBIM.pdf>

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. y Liston, K. (2008). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Constructors*. New Jersey: Eds, John Willey & Sons, Inc.

Fischer, M. y Kunz, J. (2004). *The Scope and Role of Information Technology in Construction*. Technical Report N° 156, Center For Integrated Facility Engineering, Stanford University, Stanford, USA.

Ghio, V. (2000). *Productividad en Obras de Construcción: Diagnóstico, Crítica y Propuesta*. Lima: Editorial de la Pontificia universidad Católica de Perú.

Gonzalez, A. (2012). *Propuesta De Implementación del Sistema Last Planner con el Apoyo De Modelación 4d Para la Obra Gruesa de Edificaciones*. Tesis de Grado, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Haymaker, J. y Fischer, M. (2001). Challenges and Benefits of 4D Modeling on the Walt Disney Concert Hall. Working Paper N° 64, Center For Integrated Facility Engineering, Stanford University, Stanford, USA.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2013), *Producción Nacional: Enero 2013*, Informe Técnico N° 03, Lima, Perú.

Koskela, L. (1992). Application of the New Production Philosophy to construction, Technical Report N° 72. Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University, Stanford, USA.

Nieto, A., Nieto, Ruz, F. y Nieto, C. (2009). Estrategias para la Implementación del Sistema de Gestión Last Planner, *XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*. (pp. 197-206). Badajoz, España.

Olguín, R. (2011). *Estudio de Impacto por la Implementación de un Modelo 4D y Last Planner en Obra*. Tesis de Grado, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Rischmoller, L., Fischer, M., Fox, R., Alarcón, L. (2002). Impacto de las Herramientas Avanzadas de visualización en la Industria AEC, *Revista Ingeniería de Construcción*, Vol. 17, (2), 64-73.

Salazar, G., Álvarez, S. y Gómez, M. (2011). *Seguimiento al Programa de Obra utilizando BIM 4D y Cámaras Web*. Worcester?

Saldías, R. (2010). *Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM*. Tesis de Grado, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Sacks, R, Koskela, L., Dave, BA. y Owen, R. (2009). *The interaction of Lean and building information modeling in construction*, *Journal of Construction Engineering and Management*, (9), 968-980.

Vargas, J. (2007). *Aplicación de Herramientas para la Visualización y para el Flujo de Información en un Proyecto de Edificación. Ventajas de los Sistemas 4D en la Construcción de Edificios*. Tesis de Grado, Universidad Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

ANEXOS