UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Optimización del planeamiento y control de un proyecto inmobiliario, a través
de LPS y un modelo BIM para el secuenciamiento e identificación de
restricciones

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Chávez Ñaupari, Fernando Pros`t Deninson (0000-0002-2415-2469)

Toledo Pineda, Julio Alfredo (0000-0002-5050-2805)

ASESOR

Gutiérrez Lazarte, Frederick Michell (0000-0003-4559-276X)

Lima, 15 de noviembre de 2018

DEDICATORIA

Este trabajo es parte del esfuerzo compartido de toda mi familia, por lo cual les dedico el presente trabajo, en especial a mi madre, quien siempre se esforzó para que sea un gran profesional.

Julio Toledo Pineda

Les dedico este trabajo a mis padres por haberme apoyado en todo mi paso por la universidad, por su constante aliento y soporte en momentos difíciles.

Fernando Chávez Ñaupari

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a nuestro asesor de tesis por el apoyo brindado a través de su conocimiento, nos ha resultado un proceso de mucho aprendizaje bajo su tutela.

Mención aparte para la empresa LIDER Grupo Constructor por brindarnos la información de varios de sus proyectos y por dejarnos participar del proyecto en el cual realizamos nuestro análisis. Nuestros más sinceros agradecimientos.

RESUMEN

Mediante el presente trabajo se demuestra la viabilidad de poder integrar la metodología Lean Construction, a través de su principal herramienta (el Last Planner), con el BIM (Building Information Modeling) generando una mejora de productividad enfocada a las etapas de diseño y construcción de un proyecto inmobiliario. La integración se resume en el soporte tecnológico de los modelos virtuales desarrollados por el BIM en conjunto con la manera como se trabaja la información brindando un soporte efectivo y que suma valor a los procesos ejecutados por el Last Planner.

A través de un análisis de interferencias e incompatibilidades que pueden ser consideradas como restricciones de obra, al ejecutarse la planificación del avance, se pudo determinar una liberación de restricciones no identificadas que podrían ser considerables a la hora de ejecutar el proyecto y que no se hubieran detectado de manera temprana trayendo consigo retrasos. Además, se tiene un soporte visual de lo ejecutado y de lo planificado, en conjunto con la posibilidad de dar soluciones a problemas de constructabilidad del proyecto.

Se considera un ahorro en trabajos rehechos a través de la integración de ambos elementos y se traduce en una mejora de PPC y de SPI, demostrando que tanto en planeamiento como en el control del proyecto se puede optimizar la productividad con el análisis descrito.

Palabras clave: Productividad en obra; Lean Construction; BIM; Interferencias; Incompatibilidades; Análisis de Restricciones; Lookahead; Simulación 4D.

Optimization of the planning and control of a real estate project, through LPS and a BIM
model for the sequencing and identification of restrictions

ABSTRACT

Through this work we demonstrate the feasibility of being able to integrate the Lean Construction methodology, through its main tool (the Last Planner), with the BIM (Building Information Modeling), generating an improvement in productivity focused on the design and construction stages of a real estate project. The integration is summarized in the technological support of the virtual models developed by the BIM together with the way in which the information is worked providing an effective support that adds value to the processes executed by the Last Planner.

Through an analysis of interferences and incompatibilities that can be considered as work restrictions, when executing the progress planning, it was possible to determine a release of unidentified restrictions that could be considerable at the time of executing the project and that would not have been detected early, bringing with it delays. In addition, there is a visual support of the executed and the planned, together with the possibility of giving solutions to problems of constructability of the project.

It is considered a saving in reworked works through the integration of both elements and results in an improvement of PPC and SPI, demonstrating that both in planning and in the control of the project, productivity can be optimized with the analysis described.

Keywords: Productivity on site; Lean Construction; BIM; Interferences; Incompatibilities; Analysis of Restrictions; Lookahead; 4D simulation.

TABLA DE CONTENIDOS

1	GENERALIDADES	1
1.1	Introducción	1
1.2	Definición del Problema.....	2
1.3	Delimitación del estudio	5
1.4	Objetivos de la investigación.....	6
1.4.1	Objetivo General.....	6
1.4.2	Objetivos Específicos	6
1.5	Metodología de la Investigación	7
2	MARCO TEORICO	12
2.1	Building Information Modeling	12
2.1.1	Modelando una definición para BIM	12
2.1.2	BIM en las etapas de un proyecto	16
2.1.3	Beneficios para la construcción	20
2.1.4	Herramientas BIM	21
2.1.5	El panorama internacional de BIM	23
2.1.6	BIM en el Perú	27
2.2	Lean Construction.....	30
2.2.1	Definición.....	30
2.2.2	Herramientas	33
2.2.3	Last Planner System.....	33
2.2.4	Aplicación en obra	38
2.2.5	Principales ventajas de su aplicación:.....	40
2.3	Integración de BIM y Lean Construction, La Sinergia	41
2.3.1	El Plan Maestro y Simulación 4D con elementos genéricos:	43
2.3.2	Phase Scheduling y Modelo 3D cuantificables:	43
2.3.3	Lookahead, secuenciamiento de actividades e identificación de restricciones con un Modelo 4D	45
2.3.4	Planificación Semanal y comunicación visual a los Lastplanners:	46
2.3.5	Plan diario y retroalimentación: Avance real y virtual:	47

3	APLICACIÓN DE LA INTEGRACIÓN BIM Y LEAN CONSTRUCTION EN UN PROYECTO INMOBILIARIO.....	48
3.1	Sobre el Proyecto Inmobiliario	48
3.1.1	Descripción y alcances del proyecto.....	48
3.1.2	Planeamiento y control convencional del proyecto	51
3.2	Metodología de aplicación de la Integración BIM y Lean Construction.....	54
3.2.1	Flujograma de aplicación BIM integrado al LPS.....	54
3.3	Plan de ejecución BIM	56
3.3.1	Usos y metas de BIM en el proyecto	56
3.3.2	Mapeo de procesos BIM:.....	58
3.3.3	Procedimientos de colaboración	58
3.3.4	Necesidades de Infraestructura tecnológica	60
3.4	Construcción digital	61
3.4.1	Nivel de desarrollo.....	61
3.4.2	Técnicas de modelado	63
4	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA APLICACIÓN EN EL PROYECTO	65
4.1	Análisis de las incompatibilidades e interferencias	65
4.1.1	Incompatibilidades	65
4.1.2	Interferencias.....	67
4.1.3	Cantidad de RFIs	69
4.1.4	Gravedad de los RFIs	71
4.2	Análisis de Constructabilidad con el modelo 4D.....	74
4.2.1	Índices de falta de constructabilidad.....	76
4.3	Análisis del Planeamiento a través de la Simulación 4D	77
4.3.1	Análisis del Lookahead:	77
4.3.2	Curva S: SPI	84
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
5.1	Conclusiones	87
5.2	Recomendaciones	88
5.3	El siguiente paso: BIM y la sustentabilidad	88
5.4	Hacia un estándar BIM Nacional.....	89

6	REFERENCIAS	91
7.	ANEXOS.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Aplicaciones del BIM en las etapas de un proyecto</i>	16
Tabla 2 <i>Usos BIM en el Proyecto Las Condes</i>	56
Tabla 3 <i>Metas BIM en el proyecto Las Condes</i>	57
Tabla 4 <i>Listado de Software BIM</i>	60
Tabla 5 <i>Requerimientos mínimos de Hardware</i>	61
Tabla 6 <i>Cantidad de RFI por especialidad</i>	70
Tabla 7 <i>Gravedad de los RFIs por Módulo</i>	71
Tabla 8. <i>Gravedad de los RFIs por Especialidad</i>	72
Tabla 9 <i>Cuadro de Fuente de Consulta de los RFIs</i>	73
Tabla 10 <i>Implicancia del Número de RFIs en un mes</i>	76
Tabla 11 <i>Cantidad de RFI que son restricciones del Lookahead</i>	79
Tabla 12 <i>Comparación de Restricciones a base de RFIs</i>	80
Tabla 13 <i>Comparativo de PPC</i>	81
Tabla 14 <i>Tipos de Causas de Incumplimiento</i>	83
Tabla 15 <i>Causas de incumplimiento semanal</i>	83

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Comparación de la productividad entre en sector construcción frente a otras industrias en USA.....	2
<i>Figura 2.</i> Comparación del tiempo productivo y desperdicios entre el sector construcción y la manufactura	3
<i>Figura 3.</i> Etapas básicas del Método de investigación Cuantitativo.....	7
<i>Figura 4.</i> Definición de Building Information Modeling	13
<i>Figura 5.</i> Entendiendo cada término del concepto BIM	14
<i>Figura 6.</i> Un modelo único rico en información del proyecto	15
<i>Figura 7.</i> Representación gráfica de las pérdidas de datos durante el tiempo de vida de un edificio	17
<i>Figura 8.</i> Curva de esfuerzo del proceso constructivo en el tiempo	18
<i>Figura 9.</i> Beneficios de BIM en palabras puntuales	20
<i>Figura 10.</i> Herramientas BIM usadas	22
<i>Figura 11.</i> Niveles de adopción BIM en Norte América	24
<i>Figura 12.</i> Adopción de BIM en Norte América vs. Europa	24
<i>Figura 13.</i> Niveles de adopción.....	25
<i>Figura 14.</i> Tipos de proyectos donde se usa BIM.....	26
<i>Figura 15.</i> Edificio UTEC.....	28
<i>Figura 16.</i> Nueva Planta Industrial Lindley	29
<i>Figura 17.</i> Edificio UPC Sede San Isidro	29
<i>Figura 18.</i> Flujo de Valor de la Producción.....	30
<i>Figura 19.</i> Lean Project Delivery System	31
<i>Figura 20.</i> Enfoque Lean Construction.....	32
<i>Figura 21.</i> Herramientas de Lean Construction	33
<i>Figura 22.</i> Formación de las tareas en el proceso de LPS	34
<i>Figura 23.</i> Planificación de un proyecto usando LPS	34
<i>Figura 24.</i> Resumen de Last Planner System.....	35
<i>Figura 25.</i> Usos BIM en el Proyecto Las Condes	42
<i>Figura 26.</i> Plan maestro y 4D	43
<i>Figura 27.</i> Phase Scheduling y Modelo 3D cuantificables	44
<i>Figura 28.</i> Lookahead y el 4D.....	45

<i>Figura 29. Planificación semanal y los Lastplanners.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 30. Plan diario y retroalimentación</i>	<i>47</i>
<i>Figura 31. Ubicación Proyecto Las Condes.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 32. Áreas de esparcimiento proyecto Las Condes.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 33. Modelo de las Casas y de las Torres del Proyecto Las Condes.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 34. Planta General del proyecto Las Condes.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 35. Organigrama Proyecto Las Condes</i>	<i>50</i>
<i>Figura 36. Sectorización Proyecto Las Condes</i>	<i>52</i>
<i>Figura 37. Lookahead usado en la sectorización del proyecto Las Condes.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 38. Flujograma de integración BIM y Last Planner</i>	<i>54</i>
<i>Figura 39. Fotografía 1ra Reunión ICE proyecto Las Condes.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 40. Fotografía 2da Reunión ICE proyecto Las Condes con especialistas</i>	<i>59</i>
<i>Figura 41. Niveles de desarrollo de Modelado</i>	<i>62</i>
<i>Figura 42. Consideraciones de modelado en Vigas y columnas.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 43. Consideraciones para modelado de vigas y losas.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 44. Consideraciones de modelado para placas, vigas y losas.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 45. Corte obtenido en BIM</i>	<i>66</i>
<i>Figura 46. Corte obtenido en CAD</i>	<i>66</i>
<i>Figura 47. Interferencia Instalaciones Mecánicas vs Estructuras</i>	<i>68</i>
<i>Figura 48. Solución de las interferencias de Instalaciones Mecánicas vs Estructuras.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 49. Cantidad y porcentaje de RFIs por tipo de Módulo</i>	<i>69</i>
<i>Figura 50. Porcentajes de RFI por especialidad</i>	<i>70</i>
<i>Figura 51. Porcentaje de RFIs según Gravedad.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 52. Gráfico: Gravedad de los RFIs por Especialidad</i>	<i>72</i>
<i>Figura 53. Clasificación de los RFIs por fuente de Consulta</i>	<i>73</i>
<i>Figura 54. Layout de Obra.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 55. Plano de detalle de Baño extraído del Modelo 3D</i>	<i>75</i>
<i>Figura 56. Porcentaje de RFIs que aplican al análisis de Restricciones</i>	<i>79</i>
<i>Figura 57. Tipos de Restricciones.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 58. Cambio de PPC respecto al tiempo</i>	<i>82</i>
<i>Figura 59. Curva S al finalizar el mes de Abril</i>	<i>84</i>
<i>Figura 60. Curva S al finalizar el mes de Mayo 2015</i>	<i>85</i>
<i>Figura 61. Curva S al finalizar el mes de Junio</i>	<i>86</i>

1 GENERALIDADES

1.1 Introducción

Hubo una época donde se originó un salto generacional con el empleo de herramientas para el diseño de proyectos civiles. Se migró, de los trazos hechos a mano, hacia planos dibujados mediante herramientas computacionales en 2 dimensiones. Para ese entonces, ello resultó una revolución dentro del sector de la construcción.

Si analizamos el contexto actual nos daremos cuenta de que estamos viviendo el inicio de una nueva revolución tecnológica para la gestión de proyectos de construcción, equivalente a la que se vivió hace aproximadamente 25 años. No se trata de nada nuevo, de hecho, se trata de una tecnología que lleva más de veinte años desarrollándose tanto como el CAD convencional. Ahora bien, esta nueva visión resulta especialmente atractiva no sólo en el panorama de la concepción de un proyecto, sino también en su ejecución y en la puesta en marcha de este. Esta nueva revolución se conoce como Building Information Modeling o BIM, que en sencillas palabras es una nueva metodología de trabajo que se soporta en modelos tridimensionales inteligentes e intenta mejorar la comunicación interdisciplinaria a través del trabajo colaborativo.

En nuestro país, esta metodología de trabajo se está implementando por fases, muchas empresas reconocidas en nuestro medio están logrando ejecutar exitosamente BIM en la etapa de definición y el diseño de proyectos; sin embargo, muy pocas lo aplican para la construcción y casi nadie para la operación y mantenimiento. Dada esta situación y viendo los beneficios que ha traído su implementación, en muchos países del mundo, surge la necesidad de investigar y aplicar BIM durante la ejecución de proyectos.

Se sabe que durante la construcción surgen cambios e interferencias que alteran el cumplimiento del Plan Maestro y prolongan el plazo de la entrega del proyecto, ¿Qué pasaría si estas interferencias son detectadas tempranamente mediante el uso de herramientas BIM con el fin de levantar las restricciones del Lookahead para afianzar el cumplimiento de lo proyectado?

Esta investigación intentará resolver la interrogante planteada, haciendo uso de modelos en 3D y 4D para perfeccionar la planificación y control de un proyecto inmobiliario integrando herramientas de Lean Construction con la metodología BIM.

1.2 Definición del Problema

En nuestro país existen muchas fuentes de crecimiento económico emergentes, divididas por sectores de explotación. Uno que ha reportado excelentes índices de crecimiento es el sector construcción. Durante el año 2013 se ha reportado un crecimiento de 8,56%¹, un índice elevado con respecto a otros sectores. Esto lleva a pensar que se va por buen camino en cuanto a temas de mejoramiento. Se habla de un boom en la construcción que se mantendrá por muchos años trayendo consigo desarrollo económico para el país. Cada vez los proyectos se presentan con mayor complejidad, cosa que se ve a diario con megaproyectos inmobiliarios o edificios de gran altura; sin embargo, se siguen realizando bajo la misma metodología de trabajo, lo cual genera una baja productividad del sector construcción con respecto a otros sectores.

Uno puede decir que los países más desarrollados no tienen muchos problemas con respecto al sector construcción por el hecho de tener mayores avances tecnológicos o ser grandes economías, pero si bien son avanzados, presentan los mismos problemas que se tienen en nuestro medio local. La diferencia es como los enfrentan.

Figura 1. Comparación de la productividad entre en sector construcción frente a otras industrias en USA

Fuente: (Teicholz, 2013)

¹ Cfr. Estudio de crecimiento 2013 Ministerio de Economía y Finanzas

En un estudio realizado en EEUU (Ver Fig.1), se puede evidenciar el decaimiento de la productividad del sector construcción frente a otras industrias a lo largo del tiempo. Este declive se debe a que cada día, los proyectos en el rubro de la construcción, son más complejos pero las soluciones siguen siendo las mismas para una industria que tiene mucha variabilidad espacial y temporal.

Entonces el problema radica en mejorar la productividad. Este es el punto de partida para tratar de integrar la filosofía BIM a la gestión de proyectos de construcción. El hecho de crecer conlleva a afrontar nuevos retos dentro de los ambientes cotidianos en construcción. Se conciben nuevos proyectos a pasos acelerados sumándole las exigencias de los clientes y los cambios en los precios de materiales. Todo repercute en el manejo y control de los mismos.

Es por esto que el control se basa en mantener eficiencia dentro de los procesos, lo cual últimamente se está logrando mediante la aplicación de filosofías y metodologías que abren un panorama nuevo.

Una forma de medir cuanto se puede mejorar la forma de ejecutar un proyecto se da por la misma productividad con el que se maneje. Como se ve en la Figura 2, los índices de desperdicio son altos en comparación a otras actividades como la manufactura, dejando un alto porcentaje para mejorar.

Figura 2. Comparación del tiempo productivo y desperdicios entre el sector construcción y la manufactura

Fuente: (Mossman, 2013)

En nuestro medio ya se viene aplicando la Filosofía Lean Construction como forma de mejorar estos porcentajes de desperdicios. Esta metodología busca la satisfacción de las necesidades del cliente en conjunto con la disminución de desperdicios, asegurando el flujo y manteniendo óptimos los procesos dentro de la construcción. Es más, cuenta con

herramientas de planificación con las cuales, uno analiza las actividades que se van a realizar para lograr el alcance del proyecto; así también, las restricciones que pueden surgir para completar dicha actividad.

Algunas empresas del medio que ya tienen implementado la filosofía lean, han llegado a un punto tal en que las restricciones de tipo administrativo-logístico no representan una gran dificultad y son fáciles de solucionar debido a la frecuencia con que se presentan. Por otro lado, existen restricciones que no se reflejan hasta el momento de su ejecución, como son las incompatibilidades e interferencias de proyecto. Estas muchas veces interrumpen el flujo de producción por su tiempo de resolución de consulta.

Con esta solución se tendría que dar fin a los problemas de productividad, pero la suma de varios factores dentro del medio demuestra que si bien se ha mejorado no se está alcanzando un proceso óptimo.

Por otro lado, surgen más problemas por la forma como se dan los proyectos de construcción en el Perú, haciendo que la transmisión de la información no sea la adecuada. Se rige principalmente bajo un modelo de contratación donde una empresa realiza el diseño y es otra totalmente diferente la que lleva la construcción, haciendo difícil la resolución de incompatibilidades antes de que se ejecute el proyecto.

Las obras suelen atrasarse por una mala definición del enfoque que se quiere dar a los proyectos, en pocas palabras los dueños no conciben bien lo que quieren obtener al 100 % sumándole un grado más de dificultad. Debido a que las especialidades son independientes, el modelo de trabajo serial no sirve en su totalidad por los posibles cruces que se dan al diseñar el proyecto. Se debería plantear un modelo más iterativo y coordinado donde la comunicación sea recíproca entre especialidades.

Un caso aparte suele ser la dificultad administrativa que suelen tener los proyectos para su ejecución. Tanto involucrados vuelven la transmisión de la información dificultosa y genera muchos problemas dentro de los proyectos a la hora de compatibilizar especialidades.

El BIM no plantea solucionar, ni engloba la resolución de todos los problemas que puedan surgir durante un proyecto, sino, poder anticiparse a través del análisis de los modelos y poder generar una buena planificación de los tiempos de ejecución. El BIM mejora la comunicación y permite la integración de los Stakeholders.

1.3 Delimitación del estudio

Para el análisis del presente estudio nos enfocaremos específicamente en dos etapas del ciclo de vida de un proyecto: el diseño y la construcción; sin embargo, cabe resaltar que habrá mayor énfasis en la última etapa mencionada.

El ámbito de estudio de esta investigación contempla proyectos inmobiliarios de mediana a gran envergadura; ya que, este tipo de proyectos presentan mayor complejidad al momento de realizar una compatibilización de especialidades, durante la fase de diseño, en comparación con otros tipos de proyectos como oficinas.

Con los métodos de trabajo convencionales, se suele hacer la compatibilización de sistemas en 2D, en donde se pasa por alto muchas interferencias que no se detectan. El problema surge en la etapa de construcción; cuando, tras supuestamente haber aprobado las restricciones del Lookahead, surgen las incompatibilidades en obra producto de una mala compatibilización. Esto conlleva a alargar el plazo de entrega de proyecto, y esto a su vez aumenta considerablemente el costo.

La propuesta es implementar la integración de BIM con Lean durante el diseño y la construcción, con el fin de asegurar que todas las restricciones por incompatibilidades e interferencias sean levantadas correctamente al momento de elaborar la planificación con un horizonte de 3 a 5 semanas. Ya que se considera que la metodología BIM es la mejor herramienta para asegurar la compatibilización en etapas tempranas.

Para estas fases de proyecto, las aplicaciones comprenden el uso de modelos en 3D para la detección de interferencias y compatibilización de especialidades; y 4D para la simulación del proceso constructivo en cuanto a planeamiento y control se refiere. Asimismo, en lo que corresponde al uso de las herramientas Lean, se enfatizará el Sistema del último planificador (Last Planner System).

Se puede manejar adicionalmente como un soporte de visualización al layout de obra utilizando los modelos 3D, comparación del avance real con lo planificado con una simulación en 4D por paquetes pequeños de trabajos y poder mostrar al personal en campo lo que se realizara pudiendo detectar problemas de proceso constructivo.

1.4 Objetivos de la investigación

La finalidad del presente, es demostrar que la sinergia, entre Metodologías BIM y Lean, puede resultar beneficiosa para el desarrollo de las etapas de diseño y construcción de un proyecto inmobiliario. Además, se busca repotenciar el uso del sistema Last Planner System con las herramientas de visualización en 3D y 4D, haciendo una mejora en términos de transmisión de información. Los principales objetivos de la tesis son:

1.4.1 Objetivo General

Demostrar mediante mediciones, análisis y comparaciones que la integración de las herramientas BIM y la filosofía Lean Construction, perfeccionaría el planeamiento y control de los proyectos de edificaciones.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Demostrar que el uso de las herramientas convencionales para el diseño y construcción están evolucionando; y que es necesario, incorporar en nuestro medio, nuevas formas de trabajo.
- Describir la metodología BIM, mostrar sus herramientas y usos.
- Enfatizar el empleo de Lean, sus herramientas y su sinergia con BIM.
- Mostrar mediante un ejemplo, el flujo de procesos adecuado para integrar BIM y Lean.
- Realizar un modelo 3D para la identificación de interferencias e incompatibilidades dentro de un proyecto inmobiliario.
- Mejorar el PPC a través del secuenciamiento e identificación de restricciones que involucren incompatibilidades e interferencias.
- Mejoramiento del Plan maestro a través de una simulación 4D.
- Comparar los resultados obtenidos de la integración de BIM y Lean, tras ser aplicado a un proyecto específico.

1.5 Metodología de la Investigación

En primer lugar, el origen de la presente investigación nace a partir de analizar un problema cotidiano en el medio de la Ingeniería Civil. Dado que abarca muchas ramas, se decidió centrarse en la parte de gestión de proyectos de construcción inmobiliarios, para hacerlos factibles a toma de muestra en el medio local.

Como primer paso para la investigación se definió la orientación de la misma haciéndola una investigación de índole **Cuantitativa**, siguiendo un orden lógico a través del planteamiento de una problemática y su respectiva hipótesis. Esta se validará por medio de recolección de información previa para después ponerse en práctica y recolectar datos. Se concluye con un análisis de los resultados validando o desacreditando la hipótesis planteada².

Figura 3. Etapas básicas del Método de investigación Cuantitativo

Fuente: (Sampieri, 2010)

2 Metodología de la Investigación , (Sampieri, 2010)

El método de investigación Cuantitativo que se desarrollara presenta las siguientes partes tomadas de la imagen anterior:

- Definición del problema
- Definición del alcance
- Búsqueda de información
- Planteamiento de la hipótesis
- Muestreo de datos
- Análisis de datos
- Conclusiones

Dentro de estos parámetros se desarrolla el marco de investigación o planeamiento de la tesis.

Para comenzar, el problema a analizar; como ya se explicó en puntos anteriores, surge a través del interés en nuevas tecnologías aplicadas al desarrollo de proyectos de construcción.

Se centra en base al uso de tecnologías BIM en nuestro medio local, el cual está dando un salto generacional hacia las innovaciones tecnológicas. Sin embargo, como parte de la costumbre humana siempre se es reacio al cambio y no se da cabida a nuevas fuentes o mejoras.

Es por eso que se pretende establecer si el empleo de estas tecnologías es necesario para mejorar nuestra forma de concebir los proyectos. Entonces, la principal problemática radica en la innovación tecnológica, aunque se le trata de dar otro enfoque más allá del uso de una simple herramienta computacional.

Para esto se busca darle un enfoque más aplicativo y por eso también surge como parte del problema el empleo de técnicas tradicionales en la construcción que no mejoran la productividad de la misma.

Entonces la definición del problema queda como el uso de tecnologías BIM aplicadas a mejorar la producción.

Si hablamos de producción, en el medio de la construcción, todo está relacionado a la aplicación de la metodología Lean Construction, debido a que ya ha sido asimilado por la

gran mayoría de empresas en el medio local y se podría decir que es parte inherente de su funcionamiento.

Por lo tanto, si queremos que el BIM se desarrolle como problema de investigación con respecto a la productividad debemos desarrollarla a la par con la metodología Lean Construction y es aquí donde radica el problema general y surge la principal pregunta de investigación:

¿Resultaría factible integrar la metodología BIM y la filosofía Lean Construction para mejorar la producción de las obras?

Con la definición del problema acotada por la generación de la pregunta principal se puede continuar con el siguiente paso de la investigación llevando acabo la delimitación adecuada para un fácil manejo y abarcar lo necesario, evitando la amplitud del tema. En pocas palabras, se define el alcance que se le quiere dar a la investigación.

Debido a que se basa en temas de productividad, parte de ello se debe desarrollar en la etapa constructiva de un proyecto para ser probado y poder sacar conclusiones acertadas. Además, se busca exponerlo en una obra en específico y bajo ciertas condiciones que hacen más manejable el proyecto de investigación.

Luego de poder definir el problema y determinar su alcance, el método de investigación nos lleva la búsqueda de material informativo del cual poder extraer ideas, conocimientos previos, datos o mejorar el entendimiento y la visión del problema. Se tomaron como parte del desarrollo del marco teórico diversos conceptos sobre BIM y Lean Construction, necesarios para la explicación y el análisis de los resultados de la investigación.

Las principales fuentes usadas surgen a partir de Libros de texto, Revistas, Conferencias, papers y consulta a expertos. La característica principal del modelo cuantitativo es la objetividad, las fuentes de información son seleccionadas por relevancia y se descartaron aquellas cuya confiabilidad no era la adecuada para el estudio. A partir de este punto se puede desarrollar un criterio de información relevante y detallada que conformara la teoría o marco teórico que dé soporte a la investigación y haga posible su entendimiento.

La principal parte del estudio es la hipótesis que se plantea. Este es el punto de investigación necesario a analizar dado que hace proposiciones tentativas respecto a la solución del problema y se busca comprobar su veracidad³.

Como respuesta a la interrogante de la productividad que se planteó anteriormente, la hipótesis se define principalmente de la siguiente manera:

“Una integración de la filosofía Lean Construction y las herramientas BIM puede mejorar el planeamiento y control de un proyecto inmobiliario “

Parte de lograr demostrar si una hipótesis es verdad supone el trazo de objetivos generales y específicos, que a corto y largo plazo demuestren la veracidad del estudio. Esta es una forma de trazarse un camino secuencial y resulta conveniente dentro de la aplicación del método de investigación.

Los objetivos que se trazaron partían de un análisis esquemático del desarrollo que se quería tener en el estudio, siendo el principal objetivo “demostrar que se puede mejorar el planeamiento de un proyecto inmobiliario de la forma planteada anteriormente”.

Para la toma de datos se tuvo que determinar las variables involucradas dentro de la hipótesis, en nuestro caso son todos los lineamientos productivos que puedan ser medidos a través de Last Planner. Aplicar la integración dentro de un proyecto del medio local que tuviera ciertos lineamientos importantes, por ejemplo, la empresa debería estar desarrollando un proyecto inmobiliario manejable dentro de los parámetros impuestos por la filosofía Lean Construction, los cuales deben estar siendo llevados de la mejor manera y siendo documentados. Tanto el sistema Last Planner como los trenes de trabajo deben de ser hechos con criterios lógicos y ser aplicados correctamente.

Se decidieron hacer reuniones semanales integrando a los encargados del proyecto para poder poner en marcha la propuesta. Se emplearon modelos digitales en 3D y 4D para poder analizar las restricciones del planeamiento y poder verificar su mejora. La toma de datos se hizo a través de la retroalimentación del plan semanal con el soporte de los modelos digitales, así mismo, con la detección de interferencias entre especialidades. Además, se tomarán índices de productividad y se evaluará el porcentaje de plan cumplido para tener una medida

3 “Metodología de la Investigación” (Sampieri, 2010)

de mejoramiento de la productividad en obra. Estos últimos como indicadores empíricos de cuantificación que se necesitan para la ejecución del plan de investigación. Las muestras deben tener validez y ser confiables.

Los resultados fueron medidos de acuerdo a su importancia. Se busca que los análisis de los resultados sean lo más objetivos posibles. Los datos deben ser analizados descriptivamente. En este caso en particular se tiene un análisis de costos para la cuantificación de la mejora con respecto a interferencias de especialidades, además de su relación con otras especialidades, y el análisis del planeamiento como mejora en tiempo traducido en ahorro.

Para finalizar, el análisis termina con la elaboración de las conclusiones las cuales deben ser directamente asociadas con los objetivos. Estas demostrarán la veracidad de la hipótesis y generarán conocimiento sobre la problemática que se trata de desarrollar. Las conclusiones deben ser redactadas de forma concisa tratando de responder la pregunta que se originó como respuesta al problema de investigación, dando por finalizado el método de investigación.

2 MARCO TEORICO

2.1 Building Information Modeling

2.1.1 Modelando una definición para BIM

El entendimiento y la adopción de tecnologías BIM (Building Information Modeling) o como se traduciría literalmente al español: “Modelo de la Información de la Edificación”, está evolucionando y expandiéndose. En este proceso, la industria de la construcción y organizaciones académicas están usando diferentes definiciones para el concepto BIM.

Por su parte, 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”*.

Así también, la empresa de software Autodesk define que:

“El BIM es una metodología de trabajo basada en el uso de información coordinada, coherente y computable relativa a las características físicas y funcionales de un edificio o infraestructura. De esta manera, se busca facilitar la interoperabilidad y la colaboración entre los diferentes agentes que participan en el proceso constructivo ofreciendo una plataforma para la toma de decisiones fundamentada en información fiable y compartida.”

Aunque se pueda evidenciar cierta diferencia entre las formas de definir BIM, debemos destacar que ambos hablan de los procesos involucrados en un proyecto de construcción.

Como se detalló anteriormente, BIM es un concepto en expansión y evolución, el cual continuará cambiando a medida que las capacidades tecnológicas y las habilidades humanas para manipular estas tecnologías mejoren. En esta investigación, más que buscar “la mejor” definición de BIM, se mostrará las principales características de estos modelos, sus aplicaciones y los desafíos que implica, para así formar una idea más clara del concepto.

Para partir todos de una misma base, debemos tener claro que BIM no es software, no es un gráfico en 3D, tampoco una base de datos. En suma, BIM abarca todo lo mencionado anteriormente incluyendo conocimientos, experiencias, procesos, estrategias, tecnologías y metodologías integradas de trabajo.

¿Qué es BIM ?

Figura 4. Definición de Building Information Modeling

Fuente: *Propia*

Se suele confundir los modelos 3D con los modelos de información. BIM, además de ser un modelo 3D (información gráfica) se le puede incorporar información relevante del proyecto (información no gráfica), que queda guardada en la base de datos del modelo.

La otra característica de un modelo de información, es que este posee un grado de inteligencia dada por dos particularidades:

La primera está asociada al **Diseño Paramétrico**, con el que ahora los elementos (muros, columnas, ventanas, puertas, etc.), antes representados por propiedades fijas (ancho, alto, largo, por ejemplo), son caracterizados por parámetros y reglas que determinan la geometría del edificio.

La segunda particularidad, es la **Bidireccionalidad Asociativa**, con lo cual se pueden gestionar los cambios durante el diseño, por ejemplo, al hacer una modificación en el modelo, automáticamente todas las vistas (2D) generadas a partir de este se actualizan, eliminando posibles inconsistencias.

BIM es una representación digital rica en información que describe las características físicas y funcionales de la definición, diseño, construcción, puesta en marcha y mantenimiento de

un proyecto. Sirve como una base compartida de conocimiento, la cual proviene de un intercambio abierto de información a través de una plataforma operada por las distintas especialidades que manipulan un modelo único. BIM sirve como una base confiable para la toma de decisiones y provee de una plataforma para análisis automatizados que pueden asistir la planificación, los procesos de diseño, la gestión en la construcción y las actividades de operación y mantenimiento.

El propósito de BIM es hacer que los datos del diseño, sea una información que puede ser entendido y evaluado inmediatamente. Un enfoque basado en BIM apoya la generación de documentos (dibujos 2D y 3D, listas, tablas, etc.) en forma simultánea y desde un modelo consistente. Un modelo BIM contribuye a la eficiencia de los procesos y provee de una mayor precisión en comparación a los tradicionales dibujos CAD en 2D.

Figura 5. Entendiendo cada término del concepto BIM

Fuente: Propia

El “Modelo de la Información de la Edificación”, como el nombre indica, permite representar virtualmente los componentes del proyecto en sus diferentes áreas de trabajo.

Una práctica común dentro del sector de la construcción es la transmisión de la información de los proyectos por medio de planos y especificaciones técnicas en documentos separados. En muchas ocasiones la transmisión no es la más adecuada y por lo general se genera mucha

perdida de información. Es por esto que la utilización del BIM tiene como objetivo reunir toda la información de un proyecto en una sola base de datos, completamente integrada e interoperable por todos los usuarios encargados del proyecto, tanto en la definición, el diseño, la construcción y para su posterior operación y mantenimiento durante el tiempo de vida de la edificación.

Así pues, la idea es la de generar un modelo único que contenga toda la información del edificio para que, en vez de crear múltiples representaciones, haya suficiente con uno y a partir de este se pueda realizar el proyecto integro. De él saldrán representaciones, estimados y se realizarán todos los análisis necesarios las cuales en realidad serán diferentes tipos de vistas del modelo central.

Figura 6. Un modelo único rico en información del proyecto

Fuente: (Coloma, 2009)

Por otro lado, si bien el BIM es una corriente de forma de trabajo basada en herramientas de cómputo y modelamientos virtuales, la idea de los trabajos no sería pertinente sin la presencia de los mismos. Es en este punto donde entra a tallar la definición de “herramientas o aplicaciones BIM”, que no son más que las herramientas o software de diferentes empresas desarrolladoras, que permiten realizar tanto el modelado como la planificación detallada y el control de un proyecto con respecto a las variables de tiempo y costo.

2.1.2 BIM en las etapas de un proyecto

Existen muchas formas de nombrar y distribuir el ciclo de vida de un proyecto de construcción, pero en esencia, todas pueden ser definidas básicamente en 4 etapas:

- Definición o concepción
- Diseño
- Construcción
- Operación y mantenimiento

Cada una de las cuales presenta diferentes requerimientos y usos del BIM de acuerdo a la función que se desea desempeñar; así pues, se podría decir que, para cada etapa hay un uso de BIM establecido que se podría explotar; sin embargo, esto no indica que sean estrictamente definidas únicamente para una sola etapa, sino que hay aplicaciones que pueden estar a lo largo de varias etapas y no solo en una. Lo ideal, es que se trabaje desde

Tabla 1

Aplicaciones del BIM en las etapas de un proyecto

DEFINICIÓN	DISEÑO	CONSTRUCCIÓN	OPERACIÓN
Condiciones existentes del modelo			
Estimación de costos			
Fase de planificación			
Programación			
Análisis de sitio			
	Revisiones del diseño		
	Validación de diseño		
	Análisis Energético		
	Análisis estructural		
	Análisis Lumínico		
	Análisis Mecánico		
	Otros análisis de ingeniería		
	Evaluación LEED		
	Código de validación		
		Coordinación 3D	
		Planificación del uso del sitio	
		Diseño del sistema constructivo	
		Fabricación digital	
		Planificación y control 3D	
			Registro del modelo
			Programación del mantenimiento
			Análisis del sistema de construcción
Usos primarios de BIM			Gestión de activos
Usos secundarios de BIM			Gestión y rastreo de espacios
			Planificación de desastres

Fuente: (Pennsylvania State University, 2011)

etapas tempranas como la concepción del proyecto hasta su puesta en marcha; sin embargo, puede aplicarse a una sola etapa en particular.

Basados en la Guía del Plan de Ejecución de Proyectos o *Project Execution Planning Guide* de la *University of Pennsylvania*, el BIM en toda su magnitud tiene múltiples usos en cada una de las fases del proyecto, tal y como se muestra en la Tabla 1.

No es novedad, que actualmente el país existe mucha investigación y aplicación de las herramientas BIM durante la etapa de definición y diseño. Sin embargo, en la etapa de construcción se ha investigado poco, al grado tal que, las principales empresas constructoras del país recién están haciendo intentos por aprovechar las aplicaciones y beneficios que el BIM puede ofrecer en esta etapa, y esto se debe principalmente a que no hay mucha investigación durante esta fase. Asimismo, no se aprovechan los usos de BIM para la operación y mantenimiento, ya que los edificios en el país, son relativamente nuevos.

Figura 7. Representación gráfica de las pérdidas de datos durante el tiempo de vida de un edificio

Fuente: (Eastman, 2011)

El objetivo final de la metodología BIM es evitar la pérdida de valor de la información a lo largo del ciclo de vida del proyecto por efecto del método tradicional existente. Y obliga a un mayor esfuerzo de producción de información en las distintas fases del proyecto. Este resultado de aplicación de la metodología BIM en el valor de la información se puede ver de manera clara en la figura anterior (Figura 7).

El proceso de trabajo en BIM mantiene una línea de constante crecimiento del valor de la información frente a la rotura y pérdida de información en el proceso tradicional.

Para la realización de esta premisa de no perder valor de la información se precisa un cambio en el proceso de toma de decisiones para que estas sean tomadas en edades tempranas donde la capacidad de influir positivamente en el costo final de un edificio es muy alta frente al coste de ejecutar una acción que es muy bajo. Este paradigma se refleja en la ya conocida como Curva de MacLeamy, debido a la difusión que le dio su autor:

Figura 8. Curva de esfuerzo del proceso constructivo en el tiempo

Fuente: (Macleamy, 2014)

En esta gráfica se comparan las curvas del esfuerzo en un proceso tradicional frente a un proceso BIM con respecto a la capacidad de influir en el costo final con un cambio y el costo de dicho cambio a lo largo del ciclo de vida del inmueble.

Esta realidad ha llevado a nuevas metodologías de desarrollo del proyecto como puede ser la Entrega Integrada de Proyecto (IPD) difundida por el Instituto Americano de Arquitectos (AIA). Se trata de una alianza de colaboración entre personas, sistemas, estructuras de negocio y prácticas en un proceso que aprovecha los talentos y puntos de vista de todos los participantes para optimizar el resultado del proyecto, aportar mayor valor al propietario, reducir los residuos, maximizar la eficiencia a lo largo de todas las fases de diseño, fabricación y construcción.

Las ventajas de la aplicación de BIM dentro de las etapas en que se aplica esta tesis son:

a) Diseño

- Ayuda a la concepción preliminar del proyecto
- Obtención de los planos definitivos del proyecto: de plantas, de secciones, de elevaciones, de detalles y vistas 3D isométricas.
- Visualización realista en 3D de acabado del proyecto
- Gestión de espacios y usos de los ambientes del edificio.
- Análisis estructural y MEP.
- Detección preliminar de incompatibilidades

B) Construcción

- Visualización del diseño final a ejecutarse.
- Simulación del proceso constructivo.
- Detección de incompatibilidades para planificación y ejecución.
- Obtención inmediata de reportes y estimaciones (Metrados)
- Permite una fácil interacción a través de los modelos con proveedores de materiales específicos.
- Mejoramiento de la planificación y control a través de modelos virtuales y simulaciones en 4D.
- Levantamiento de restricciones de actividades
- Simulación el Layout de obra.
- Mejoras en el plan de ataque de proyecto.

2.1.3 Beneficios para la construcción

Según un nuevo estudio realizado por McGraw Hill Construction (2014), los contratistas de los nueve primordiales mercados del mundo que utilizan BIM manifiestan que Building Information Modeling les ayuda a mejorar la productividad, la eficiencia y la calidad y seguridad en sus proyectos, así como su propia competitividad.

El informe *“The Business Value of BIM in Major Global Markets”* revela que los contratistas de los mercados en los que el uso de BIM está establecido (Canadá, Francia, Alemania, Reino Unido y Estados Unidos), así como de los mercados que todavía están en las etapas iniciales de la adopción (Australia, Brasil, Japón y Corea del Sur) están apreciando un retorno positivo de sus inversiones en BIM: desde los beneficios en los proyectos, tales como en la reducción de los errores, como en la capacidad para procesar mejoras tales como la ampliación de los procesos de colaboración, además de la mejora que para la imagen de su empresa supone BIM. Durante los próximos dos años, los contratistas esperan que el porcentaje de su trabajo que está asociado con BIM se incremente en un 50% aproximadamente.

El estudio también demuestra que las empresas más comprometidas con BIM logran más beneficios y consiguen un retorno mayor de sus inversiones en estos procesos que aquellos menos comprometidos.

El 40% de los contratistas con alto nivel de adopción de BIM informan que reduce significativamente las modificaciones de proyectos, lo que redunda en un ahorro significativo de los costos. El estudio proporciona evidencia de un fuerte crecimiento, así como la intención de los contratistas de hacer fuertes inversiones en sus implantaciones BIM.

Figura 9. Beneficios de BIM en palabras puntuales

Fuente: Propia

Además, un gran número de los contratistas con un nivel alto de adopción de BIM (61%) están invirtiendo en los dispositivos móviles, lo que demuestra que el futuro radica en extender la oficina al trabajo de campo.

La implementación del BIM puede llegar a reducir las incertidumbres dentro de los procesos de gestión de los proyectos, debido a que permite un mejor control y manejo de la información. Reduce el número de incompatibilidades e interferencias entre especialidades mejorando la comunicación entre los involucrados en el proyecto. Facilita la obtención de mitrados, estimados, reportes y planos. Asimismo, es una poderosa herramienta de Marketing al momento de concursar por licitaciones o simplemente para vender un departamento.

Por un lado, la integración de las labores de diseño y construcción como punto ideal mejoraría los diseños, la planificación de las obras y su control, reduciendo con ello el costo de los proyectos.

Una de las principales ventajas dentro de la aplicación BIM es la automatización y coordinación de la información, haciéndola visible para todo personal y manejable, trayendo consigo menores plazos en ciertas actividades y coordinaciones.

Sin embargo el aplicar tecnologías BIM conlleva un esfuerzo en paralelo que necesita de la intervención multidisciplinaria de todos los involucrados dentro del proyecto de construcción, lo que podría resultar en un esfuerzo extra que tal vez resulta pesado pero aplicado de la mejor manera conllevaría a mejoras dentro de los procesos de construcción.

2.1.4 Herramientas BIM

El desarrollo de las aplicaciones o herramientas BIM se ha ido nutriendo de simples imágenes tridimensionales y de una tecnología que proviene principalmente del mundo industrial. Es cierto que la mayoría de las aplicaciones que actualmente se conocen como BIM nacieron mucho antes de que este término se acuñase y se han desarrollado en paralelo al resto de software dedicado al diseño y a su gestión. De hecho, Achicad data de 1982 y Allplan de 1984. Lo que ocurre es que su aparición ha aprovechado muchos de los avances del campo industrial. Ambos siendo pioneros en modelación de la información, aunque en esos tiempos de una manera muy simple.

De todas formas, el mundo de la producción industrial y el de la arquitectónica aún mantiene diferencias esenciales, cosa que hace que las características de unas y otras aplicaciones difieran notablemente en muchos aspectos. Si bien el trasfondo es el mismo (modelos tridimensionales contenedores de información accesible en tiempo real) la forma en cómo esto se aborda es substancialmente distinta. De hecho, la producción industrial ya hace tiempo que ha conseguido superar en términos de calidad y eficacia a la producción de la construcción, todavía muy artesanal.

Por ello, hemos visto como, en los últimos años, la construcción se ha ido industrializando, empezando por los componentes, llegando a los sistemas y, en un futuro, acabando en todos sus procesos.

Desde el principio de esta investigación hemos dejado claro que BIM no es un software en específico, sin embargo, para su desarrollo es vital el uso de aplicaciones conocidas como herramientas BIM.

Figura 10. Herramientas BIM usadas

Fuente: (Universidad de Chile, 2013)

La reciente encuesta realizada en Chile en el 2013, coloca a Autodesk Revit como la herramienta utilizada regularmente por los usuarios BIM, seguida de su producto hermano Navisworks. Sin embargo, ArchiCAD presenta un representativo 31%; mientras que Tekla y Bentley están por debajo del 5%.

2.1.5 El panorama internacional de BIM

La adopción de BIM se ha desarrollado en diferentes grados a nivel mundial en los últimos 20 años. La Building SMART International (BSI) tiene en la actualidad unidades locales en Europa, América del Norte, Australia, Asia y el Medio Oriente. En la mayoría de los países es impulsada por los gobiernos. Por ejemplo, en USA, la GSA o Administración de Servicios Generales requieren como mínimo un modelo BIM que proporcione información geométrica, y apoya el desarrollo de las implementaciones más avanzadas. La GSA también ha desarrollado lineamientos BIM, y fomenta el uso de BIM en el sector público.

La Dirección de Obras Públicas y de la Propiedad del Gobierno Noruego (*Statsbygg*) exige su uso en todos sus edificios. La Agencia de servicios de las propiedades del Senado en Finlandia ha solicitado de manera similar el uso de BIM en todos sus proyectos. Diversos clientes estatales también están solicitando BIM en Dinamarca. En los Países Bajos, la Agencia de los Edificios del Gobierno dispone el uso de BIM, que es apoyada por el estándar *Rgd BIMnorm*. Esta norma ha sido producida por la agencia *Rijksgebouwendienst*.

Además, la Autoridad de la Vivienda de Hong Kong tiene el objetivo de la utilización de BIM en todos sus proyectos para el año 2015. El Servicio de Contratación Pública de Corea del Sur también asume el objetivo de usar BIM en todos los proyectos públicos, y en todos los proyectos de más de 50 millones de dólares para el 2016. En el Reino Unido, el gobierno requiere un “Nivel 2” de BIM en sus proyectos a partir del 2016.

El primer sistema a nivel mundial que utiliza los modelos de información de la edificación en la presentación electrónica de los proyectos fue propuesto por la Autoridad de la Edificación y la Construcción de Singapur en el año 2008. La finalidad del sistema era la de agilizar el proceso de registro de la presentación de un proyecto. Se basa en un modelo único que contiene toda la información necesaria. En 2008, Estados Unidos, Noruega, Finlandia, Dinamarca y los Países Bajos firmaron el “*Statement of intent to support Building Information Modeling with Open Standards*” con el objetivo de impulsar el openBIM y mejorar los procesos de interoperabilidad entre las plataformas BIM.

Hace poco se han llevado a cabo diversos estudios para evaluar los niveles de adopción de BIM en varios países y se obtuvo los siguientes resultados:

Niveles de adopción BIM en América del Norte

Figura 11. Niveles de adopción BIM en Norte América

Fuente: (NBS, 2013); (McGraw-Hill Construction, 2012)

El porcentaje de la penetración en la industria de la Arquitectura, Ingeniería, Construcción y Operación (AEC/O) varía significativamente en las encuestas. El informe McGraw Hill Construction de 2012 ya reflejaba que en América del Norte la adopción de BIM ha pasado del 49% en 2009 al 71% en 2012. Asimismo, a manera de contraste, McGraw Hill muestra el nivel de adopción del BIM de Europa versus Norte América.

Adopción de BIM: América del Norte vs. Europa

Figura 12. Adopción de BIM en Norte América vs. Europa

Fuente: (NBS, 2013); (McGraw-Hill Construction, 2012)

En el año 2009, América del Norte presentaba un mayor nivel de adopción que Europa en 2010. El uso de BIM se ha incrementado significativamente en los últimos años también en la industria de la construcción del Reino Unido. Una encuesta publicada por la National

Building Specification (NBS) refleja que el porcentaje de la industria que utiliza BIM aumentó del 13% en 2010 al 39% en 2012. Además, en 2012, del 54% de la industria que manifestó no estar utilizando BIM, un 77% de ellos declaró que lo estaría utilizando en el próximo año (NBS, 2013)

La revisión de la Directiva de la Unión Europea sobre Contratación Pública quiere incorporar la metodología BIM, tomando como referencia a Reino Unido, creando un modelo para que otros miembros de la Unión Europea puedan adoptar estos nuevos procesos. En enero de este año 2014, el Parlamento Europeo ha propuesto renovar las normas de contratación pública, recomendando el uso de instrumentos electrónicos, tales como el BIM para los contratos de obras públicas y concursos de diseño. Esta decisión ha sido apoyada por asociaciones profesionales como *The European Construction Technology Platform (ECTP)* o la *BIM Alliance Sweden*.

Sin alejarnos mucho de la realidad sudamericana, en el año 2013 el *Departamento de Arquitectura de la Universidad de Chile*, realizó una encuesta con el fin de conocer el estado actual del uso de BIM en este país. En resumen los resultados de la *Encuesta Nacional BIM 2013* (Universidad de Chile, 2013) proporciono los siguientes resultados:

Figura 13. Niveles de adopción

Fuente: (Universidad de Chile, 2013)

Los porcentajes de nivel de adopción según la intensidad de uso, muestra que un 23% han adoptado el BIM como parte de su forma de trabajo. De manera similar un 14% son usuarios iniciales; mientras que, un 61 % aún no es usuario. Esta última cifra nos indica que hay aún mucho por hacer.

Por otro lado, los usuarios de BIM en Chile, manifiestan haber aplicado esta metodología de trabajo según el tipo de proyecto.

Figura 14. Tipos de proyectos donde se usa BIM

Fuente: (Universidad de Chile, 2013)

El resultado muestra que las edificaciones para uso de oficinas, residenciales y aquellos menores a 250 m2, son los que más emplean BIM en su desarrollo.

En base a los resultados de la Encuesta realizada en Chile, se prevé que la utilización de los sistemas BIM se convertirá en un requisito imprescindible para la realización de proyectos relacionados con la construcción e ingeniería civil; lo que supone una oportunidad para los profesionales y las empresas.

2.1.6 BIM en el Perú

Líneas arriba se ha mostrado la situación del BIM en el mundo; sin embargo, el Perú no ha desarrollado estrategias gubernamentales en este ámbito, por lo que tenemos mucho camino por recorrer. La tecnología BIM está muy extendida en otros países, por lo que es de vital importancia su implantación en Perú. A finales del año 2014 se comenzó a desarrollar los primeros encuentros internacionales de profesionales. En agosto de 2014 se celebró el primer congreso internacional enfocado al desarrollo de esta tecnología.

Las empresas del sector se han visto en la necesidad de aproximarse a estos nuevos procesos en el caso de optar a licitaciones nacionales e internacionales. Esto está planteando la necesidad de abordar nuevos retos entre los que se encuentran:

- Crear, gestionar y desarrollar entornos colaborativos de trabajo.
- Garantizar los flujos de información del proyecto.
- Gestionar la transmisión de la información al cliente final.

Diariamente podemos apreciar y admirar como el país va creciendo, pero muchos desconocen que varios de estos proyectos son los primeros intentos por implementar la metodología BIM en el país. A continuación, se muestra una lista con los proyectos peruanos realizados bajo ésta forma de trabajo:

- **Proyecto: Hospital del Corazón (INCOR) - 2010**

Uso de BIM: Modelación y detección de interferencias.

Área construida: 14 576.88 m²

- **Proyecto: Hospital de Cajamarca (ESSALUD) - 2011**

Uso de BIM: Modelación y detección de interferencias

Área construida: 20 578.76 m²

- **Proyecto: Nuevo Edificio Cesel -2011**

Uso de BIM: Modelación de especialidades, análisis de interferencias y solución de conflictos.

Área construida: 12 570.90 m²

- **Proyecto: Hospital III Callao - 2012**

Uso de BIM: Modelamiento BIM. Detección de interferencias y gestión del proyecto.

Área construida: 19 857.55 m²

- **Proyecto: Edificio UTEC -2013**

Uso de BIM: Modelado de especialidades, obtención de estimados, compatibilización de especialidades y mejora de la constructabilidad.

Área construida: 20 578.00 m²

- **Proyecto: Edificio UPC - 2013**

Uso de BIM: Modelación de especialidades, análisis de

Interferencias y obtención de estimados.

Área construida: 16 768.10 m²

- **Proyecto: Nueva Planta Industrial Lindley - 2012**

Uso de BIM: Modelado, detección y compatibilización de especialidades, obtención de metrados.

Área modelada: Aproximadamente 15 hectáreas de instalaciones.

- **Proyecto: Remodelación Base Aérea Hangares – 2013**

Uso de BIM: Modelado de las opciones de remodelación del proyecto

Área construida: 24 458.20 m²

Figura 15. Edificio UTEC

Fuente: Archivos (PROISAC, 2014)

Figura 16. Nueva Planta Industrial Lindley

Fuente: Archivos de (PROISAC, 2014)

Figura 17. Edificio UPC Sede San Isidro

Fuente: Archivos de (PROISAC, 2014)

2.2 Lean Construction

2.2.1 Definición

Lean es una forma de diseño de sistemas de producción que minimiza el desperdicio de materiales. Estos se categorizan en tipos de pérdidas tanto en tiempo como en capital humano para poder así generar un valor de producción óptimo. Se busca el máximo provecho del valor de un producto para todos los interesados a través de mejoras sistemáticas y continuas tanto en diseño del producto como en el diseño de los procesos y métodos de selección.

Figura 18. Flujo de Valor de la Producción

Fuente: (Pons Achell, 2014)

Se dice que dentro de una empresa existen gran parte de actividades que no agregan valor al proceso de elaboración por lo cual se busca tomar una medida confiable que puede ser aportada por el concepto Lean.

Todo esto está estructurado para la producción, pero se ha automatizado para la etapa constructiva de los proyectos haciéndolo una herramienta muy confiable y de uso común en el medio peruano.

Este sistema utiliza menos de todo comparado con la producción en masa: la mitad de esfuerzo humano en la fábrica, la mitad de espacio en la fabricación, la mitad de inversión en herramientas, la mitad de horas de ingeniería para desarrollar un nuevo producto en la mitad de tiempo. Además, requiere mantener mucho menos de la mitad del inventario necesario en el sitio, dando lugar a muchos menos defectos y produce una mayor e incluso creciente variedad de productos

Todas estas definiciones surgen como desarrollo de Lean a nivel producción en general, y como se ve a continuación en la imagen se aprecia el enfoque total de Lean por sus 5 principios:

Figura 19. Lean Project Delivery System

Fuente: (Ballard, 2000)

La aplicación de los principios y herramientas del sistema Lean a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto de construcción se conoce como Lean Construction o construcción sin pérdidas.

Se tomó a la construcción como un flujo de procesos en vez que solo la conversión en sí de materiales.

Entonces, este enfoque enfatiza en la minimización y/o eliminación de las pérdidas de un proceso constructivo en general con gran impacto en el proceso de la producción debido a que las pérdidas consumen la mayor parte de los procesos.

Un primer paso fue la denominación de las 7 pérdidas dentro de obra:

- Sobre - Producción
- Esperas
- Transporte

- Sobre - Procesamiento
- Inventario
- Movimientos
- Defectos (Trabajos Rehechos)

Inclusive surge la concepción de un nuevo desperdicio de “aptitud”, por el cual, si una persona no está en constante desarrollo de sus habilidades genera desperdicio de sus capacidades.

En resumen, Lean Construcción aplica un enfoque dividido en tres partes importantes dentro de los procesos de construcción:

- Flujos continuos
- Flujos eficientes
- Procesos Eficientes

Figura 20. Enfoque Lean Construction

Fuente: (Gùzman, 2014)

Todo esto asegura un mejoramiento en producción si se aplica correctamente y se lleva un control adecuado.

2.2.2 Herramientas

Dentro del sistema “Lean Construction” se pueden aplicar diferentes herramientas dependiendo de la etapa del proceso de producción en la que uno se encuentre. Se tiene tres enfoques principales o teorías de producción que se han visto reflejados en diversas herramientas, no necesariamente creadas para Lean, como se ve a continuación:

Figura 21. Herramientas de Lean Construction

Fuente: (Gúzman, 2014)

2.2.3 Last Planner System

El “**Last Planner**” o “**último planificador**”, se resume en un sistema de control en obra a espacios de tiempos pequeños y manejables. Sirve para reducir la incertidumbre de las actividades involucrando a las personas directamente ejecutantes: el capataz, encargado o jefe de obra. Este se define como la última persona capaz de asegurar un flujo de trabajo predecible debido a que se encuentra sumergido en las actividades. “LPS” faculta al encargado a involucrarse en el planeamiento yendo más allá de simples planes teóricos, sino aplicarlos a la realidad.

El plan se elabora en lugares o espacios habilitados para ello, instalados lo más cerca posible de la obra.

Si se organizan las obras como flujo de trabajo previsible se mejoraría en organización dando paso a una mejor forma de trabajo productivo.

Se busca añadir un componente de control de la producción al sistema tradicional de gestión de proyectos mediante esta nueva visión de manejo el cual puede entenderse como un mecanismo para la transformación de “lo que debería hacerse” en “lo que se puede hacer”, formando así un inventario de trabajo realizable, que puede ser incluido en los planes de trabajo semanal, en pocas palabras: “lo que se hará”.

Figura 22. Formación de las tareas en el proceso de LPS

Fuente: (Ballard, 2000)

En consecuencia, el “Last Planner” puede resumirse como método de trabajo a través del siguiente flujograma:

Figura 23. Planificación de un proyecto usando LPS

Fuente: (Ballard, 2000)

Dentro del grafico anterior se puede destacar las diferentes partes que conforman el LPS y que son herramientas básicas que deben ser utilizadas de manera acorde y con un análisis adecuado de las condiciones.

Para comenzar nos muestra tres panoramas de tiempo que hacen manejable el control y la planificación del proyecto, va desde un nivel macro como es el Plan maestro, pasando por una planificación intermedia hasta llegar a una planificación semanal o diaria, dependiendo el caso.

Las medidas de control hacen que se retroalimente con posibles mejoras que se pueden realizar al ser más manejable las actividades del proyecto con este sistema.

A partir de estos niveles de tiempo surgen los 5 elementos dentro de la aplicación del LPS como se resumirá en la siguiente imagen:

Figura 24. Resumen de Last Planner System

Fuente: (Ballard, 2000)

a) Programación maestra:

Se trazan los tiempos de cumplimiento de la obra o Lead time y se genera una planificación a base de hitos o logros generales (Master Plan). Es un nivel macro o general de todo el proyecto, además se puede trazar la estrategia de planeamiento y se verifican la viabilidad de los plazos.

b) Programación Pull:

Como siguiente paso, después de tener una gráfica general del proyecto en hitos o tiempos de entrega, se define la secuenciación y las actividades para que se desarrolle el trabajo. A partir de la fecha de entrega del trabajo y en retroceso se trata de poner las fechas o tiempos estimados de término de las actividades. Después se analiza la mejor manera de realización y se toman contingencias como buffers para las actividades que puedan ser más riesgosas o puedan generar problemas de cumplimiento.

c) Planificación Intermedia (Make Ready):

Consiste en prever y tener todas las actividades listas para su ejecución, haciendo que estas no tengan ninguna imposibilidad ni restricción. Para esto es común el uso de:

d) Lookahead:

Una manera de levantar las restricciones que surgen para la realización de las actividades en un panorama de semanas de análisis antes de, para poder así prevenir estas restricciones antes de que generen atraso y para luego asignar responsables como seguimiento y pasar a su respectiva solución.

e) Análisis de restricciones:

Consiste en levantar las restricciones que se generan en el Lookahead a través de un análisis de incumplimiento buscando las causas más comunes y generando responsables para su levantamiento y seguimiento.

f) Programación semanal:

Luego de liberar restricciones se procede a generar acuerdos o compromisos de trabajo realizable de manera semanal. Se generan reuniones periódicas para su constante elaboración. Se tiende a identificar lo que se puede hacer, lo que se debe hacer y lo que se hará en el lapso de la siguiente semana.

g) Aprendizaje:

Para terminar el ciclo de retroalimentación del LPS se miden los porcentajes y las causas de no cumplimiento más comunes presentes durante la ejecución de la obra, además de generar lecciones aprendidas y optimizar el proceso de construcción. Suelen contener este análisis:

h) PPC:

Es un indicador de cumplimiento del trabajo ya planeado para así tener en consideración para futura mejora. Se trata de cuantificar el avance real y representarlo en porcentaje de lo planificado. Ayuda a la hora de elaborar mejora para reestructurar cuadrillas o planificar trabajos que se podrían optimizar. Este porcentaje demuestra la productividad que se maneja en obra dependiendo de qué tan alto pueda llegar a ser.

i) Tren de actividades y sectorización:

Dentro del marco de conseguir que los procesos de construcción sean óptimos fue necesario entender que todo proceso se puede medir en el tiempo que demora ser ejecutado. Se puede mejorar ese tiempo dependiendo de la forma como atacamos el proyecto y llevemos la planificación correcta. Para esto en construcción bajo ciertos parámetros se puede dar la generación de trenes de trabajo los cuales facilitan y mejoran la producción.

- **Tren de actividades:** Se le denomina a la técnica de programar y realizar trabajos continuos, asegurando el flujo de construcción a través de la explotación de sectores definidos y cuadrillas de ataque establecidas que cada día desarrollan actividades secuenciales. Se forma una seguidilla de trabajo y genera una inercia o ritmo de trabajo. Esto hace que se desarrollen las actividades constantemente y agiliza la producción⁴. Cuando se aplica se genera una optimización de los procesos constructivos.

Las actividades se consideran estaciones de trabajo y estas deberán estar balanceadas en capacidad de trabajo y demanda. La producción diaria para cada cuadrilla es repetitiva a lo largo de la semana y consecuentemente se tiene el mismo avance diario.

Para generar un tren de actividades es necesario realizar como paso previo una sectorización:

⁴ “Presentación Lean Construction: Flujos continuos” Guzmán 2013

- **Sectorización:** Se busca generalmente dividir las zonas de trabajo en partes iguales por la cantidad del volumen de trabajo. Se hace que cada día si una cuadrilla desarrolla un rendimiento este se mantenga y el trabajo sea fluido. Se elaboran a criterio del especialista a través de iteraciones y mediciones que aseguran la mejor forma o plan de ataque. 5 Las divisiones de trabajo por sector deben ser cumplidas en un día de trabajo. Generalmente se rigen por los procesos constructivos y evaluación de metrados.

j) Línea Balance:

Es una forma de planificación o verificación del ritmo de trabajos repetitivos a través de su representación como una sola línea y con la cual a través del análisis de su pendiente se puede verificar el ritmo de trabajo. Esto para balancear bien el trabajo que precede a una actividad. ES de común uso para verificar el ritmo que se le da al tren de actividades y generar mejoras.

2.2.4 Aplicación en obra

El sistema Last Planner es de uso común en la mayoría de empresas constructoras. Hay quienes la aplican con toda rigurosidad y hay también quienes solo lo toman como algo referencial para poder lograr su planeamiento. Esta investigación se desarrolla bajo buenas prácticas de esta herramienta, lo que asegura la validez y confiabilidad de los resultados.

Como es basado en un sistema de producción sin perdidas, las obras deben ser manejables y tener ciertos requisitos para que el uso en obra del LPS sea el adecuado. Por ejemplo, si se aplica en la construcción de elementos repetitivos se puede obtener ritmo de trabajo si se realiza una sectorización y se trabaja por trenes de actividades, llegando a mejorar la productividad.

Generalmente este es el primer paso dentro de la aplicación a obra, se elabora el plan general y se realiza una sectorización de ataque para darle fluidez al trabajo.

Como parte importante se encuentra el capital humano, para esto, se realiza reuniones con los involucrados directamente tanto ingenieros como capataces. Se tratan de dar a conocer

5 “Enfoque Lean Construction” Pons Aschell 2014

los logros de la metodología siempre y poder analizar las restricciones que se dan en las actividades debido a que son los ejecutantes directos. Estas pueden ser realizadas a mitad de semana.

Después, se realiza una planificación intermedia de las actividades donde se busca tener un horizonte mayor a una semana con la finalidad de anticipar problemas y terminar las actividades en su fecha programada.

El intervalo de tiempo establecido para analizar las actividades generalmente es de 4 semanas ya que es el tiempo de respuesta máximo de los proveedores.

Posterior a esto, se revisan las actividades que estaban programadas durante las próximas cuatro semanas. Cada actividad se analiza mediante un formato en donde se detallan las fechas de inicio y término programadas, las restricciones de cada actividad, el responsable de su ejecución y de su seguimiento.

Las restricciones más comunes se dan por falta de material, falta de equipos y de mano de obra.

Semanalmente se deben revisar el estado de las restricciones de las actividades, pueden incorporarse nuevas actividades que no hayan sido incorporadas desde un principio en la planificación intermedia por haber considerado poco probable que fueran realizadas o debido a que liberando restricciones alguna otra actividad se haya visto perjudicada.

Además, se debe identificar las tareas que deberían haber sido liberadas para la semana siguiente.

Todos los días viernes, por ejemplo, se realiza una reunión de planificación semanal. Estas reuniones generan una instancia de conversación muy productiva para todos, ya que se plantean inconvenientes surgidos durante la semana y entre todos se comentan las soluciones aplicadas a ellos. Además, los participantes al revisar la programación tentativa y proponer cambios a ella según lo que creen que pueden hacer durante la semana, generan un compromiso y se sienten más incorporados a todo el proceso.

A todo esto, los indicadores son una buena forma de ver qué tanto ha influido la implementación del sistema en la evolución de la obra. Para esto se medirá el PPC y el IP al final o al a mitad de la semana. La idea de medir en la mitad de la semana en curso es para poder obtener el porcentaje de actividades completadas para identificar aquellas tareas que

no han sido comenzadas o no llevan el avance estimado según lo programado y poder tomar acciones correctivas a tiempo.

Se realizan la curva de producción o avance físico donde se compara con la curva de producción teórica según lo programado inicialmente en el diagrama de barras. Así podremos comparar gráficamente y ver si estamos atrasados o adelantados. Ambos estados son positivos, ya que si notamos un atraso estaremos a tiempo de corregirlo y si estamos adelantados servirá de incentivo para el grupo de trabajo.

Determinaremos las características de las actividades realizadas por los trabajadores, clasificándolas como productivas, no productivas, contributivas a través de cartas balance. En teoría si se estabiliza el flujo de trabajo la productividad de los trabajadores debería aumentar y eso precisamente es lo que verificaremos con estas mediciones.

Todos los indicadores medidos semana a semana se registrarán para tener estadísticas de la evolución que hayan experimentado a lo largo de la obra.

2.2.5 Principales ventajas de su aplicación:

La implementación de todas las partes involucradas en un LPS puede resultar complicada, en especial si no se tiene el compromiso de todos los participantes. Este problema se incluye en el análisis de las causas de no cumplimiento, ya que no se realizaría una mejora al delegar responsabilidades. Todos los involucrados, desde los capataces hasta el administrador, deben tener una real convicción de los beneficios que se pueden alcanzar al implementar el sistema. Las reuniones semanales de planificación refuerzan este concepto, ya que son el motor del sistema de control y es donde se adoptan todos los compromisos. Son fundamentales para intercambiar opiniones acerca de la evolución del proyecto y constituyen el momento adecuado para plantear inquietudes o dificultades encontradas en terreno.

El compromiso de todo el equipo de trabajo es vital, sin embargo, hay que mencionar la importancia de que el jefe del proyecto crea en el sistema. Ellos ejercen un liderazgo importante y son esenciales en el establecimiento o remoción de barreras a la implementación. Para esto es necesario comprender cuáles son sus principales ventajas de la aplicación del LPS:

- A través del empleo de Last Planner System se puede llevar la planificación y el control de los proyectos de construcción de una forma más detallada generando

mayor confiabilidad y reduciendo la incertidumbre de los procesos de construcción. Esto se hace en forma directa al generar una programación semanal confiable. Así se logra disminuir las diferencias entre lo que programo y lo que ejecuto realmente en la obra.

- A través del empleo en obra se genera un mayor nivel de comunicación entre los involucrados directos mejorando su desempeño. Además, al asignar responsabilidades a estos mismos involucrados se puede mantener un seguimiento más detallado de las actividades y sus restricciones.
- Se genera un mejor sistema de producción debido a la detección temprano de causas de no cumplimiento. Se puede llegar al origen del problema que no genera el desarrollo según lo planificado de una actividad. Se mejora el tiempo de ciclo de la cadena productiva y al mismo tiempo, hace que los trabajadores no pierdan tanto tiempo en actividades que no agregan valor, como por ejemplo, esperas de material o falta de herramientas.
- Se mejora el cumplimiento de plazos debido a una planificación más directa. En la medida que se estabilice el flujo de trabajo la producción mejorará y también se estabilizará.

2.3 Integración de BIM y Lean Construction, La Sinergia

El Last Planner System es una de las principales herramientas del Lean Construction, esta parte precisa que la planificación de la obra no debería hacerse en la oficina para luego hacerlas cumplir en el campo, sino, que debemos hacerla a pie de obra en forma continua, progresiva e involucrando a los Last planners, es decir, con el maestro de obra, con las subcontratistas y con los obreros quienes son los que finalmente ejecutan la obra. De esta manera, la programación no se impone o empuja para que se cumpla aguas abajo (Push), sino que desde abajo, desde la cancha, se jalen los recursos justos y necesarios para que lo planificado se pueda cumplir (Pull).

Por su parte el uso del BIM conlleva a reducir pérdidas y reprocesos en las diferentes fases de un proyecto: En la Definición, permite evaluar con mayor eficiencia las diferentes opciones arquitectónicas; en el Diseño, facilita el trabajo multidisciplinario evitando las iteraciones negativas y reprocesos; en el requerimientos de materiales, ayuda con los

metrados y presupuestos; en la Ejecución y Control, apoya con la visualización de los procesos y la mejora de comunicación con los Last planners; y en la Operación, puede facilitar la capacitación de los usuarios en el mantenimiento.

Figura 25. Usos BIM en el Proyecto Las Condes

Fuente: Propia

BIM y Lean están desarrollando cambios fundamentales en la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción; mientras que los dos son conceptualmente independientes, ambos poseen ideas que podrían generar herramientas poderosas si se utilizaran en conjunto.

Después de haber conocido independientemente cada concepto, se puede relacionar directamente cada una de las herramientas de LPS y la sinergia que existe con BIM (Ver Cuadro 2).

2.3.1 El Plan Maestro y Simulación 4D con elementos genéricos:

En el momento de definir el Plan maestro, se debe contar con un modelo BIM, el cual debería venir conjuntamente con la documentación del diseño; para nuestro objetivo, es suficiente que este modelo cuente con un adecuado nivel de despiece que considere el proceso constructivo y con información genérica de sus elementos. Por ejemplo, en un edificio de concreto armado, el modelado de los elementos verticales debe contemplar las alturas de vaciado hasta el fondo de viga o fondo de losa, además de considerar que estas uniones deberán ser cuantificadas como elemento horizontal en los metrados de encofrado y concreto. Los elementos correspondientes a las vigas y losas deben ser modelados por tramos, considerando que estas no serán construidas monolíticamente, sino que deben obedecer a la sectorización en lotes de producción los cuales deben “cortarse” en coordinación con las recomendaciones estructurales. Este modelo nos permitirá visualizar con mucha más eficiencia el proyecto que vamos a programar, así también podemos incorporar algunos elementos externos de importancia para elegir la mejor sectorización, como la disposición de maquinaria, equipos y espacios para la logística y almacenamiento.

Figura 26. Plan maestro y 4D

Fuente: Propia

2.3.2 Phase Scheduling y Modelo 3D cuantificables:

La velocidad de la obra está marcada por la velocidad del casco estructural, que es la que constituye la primera línea de balance, por ello el modelo debe ofrecernos por lo menos los metrados de encofrado y concreto de los elementos estructurales verticales y horizontales, considerando además los diferentes tipos de concreto; por lo tanto, en esta etapa, el modelado ya debe ser capaz de presentar las diferentes alternativas de los lotes de producción y sus

secuencias de ejecución. Las armaduras de acero de refuerzo son quizás los elementos más complicados de modelar; sin embargo, se espera y confía que pronto los nuevos softwares hagan fácil esta tarea. Respecto a las instalaciones sanitarias y eléctricas, estas generalmente no constituyen cuellos de botella en la programación, por lo que se acostumbra a considerar que estas acompañarán sin problemas el ritmo de avance de la estructura. Las vistas por filtros de los modelos son muy útiles para el análisis, es aquí donde se pueden tener vistas separadas de acuerdo a los parámetros considerados anteriormente: vistas por niveles, por secuencia de procesos, además de poder consignar filtros para las etapas de encofrado y de vaciado de un elemento. La sectorización debe tratar que las diferentes partidas tengan volúmenes similares de trabajo en cada lote de producción; es aquí donde el modelo nos brinda las áreas de encofrados y los volúmenes de concreto por niveles y sectores, siendo estos balanceados de una manera más eficiente y amigable que con una planilla electrónica tipo Excel; finalmente se dimensionan las cuadrillas en función a los rendimientos históricos que se manejan en la empresa. Estas propuestas de sectorización, deben ser discutidas con los involucrados en la fase de obra que estamos planificando. El objetivo de estas reuniones es lograr la interacción de los participantes, escuchar sus observaciones y comentarios, seleccionar la mejor alternativa y obtener sus compromisos para lograr el ritmo planeado. El mostrar las diferentes alternativas en 3D, hace muy amigable su visualización y entendimiento.

Figura 27. Phase Scheduling y Modelo 3D cuantificables

Fuente: Propia

2.3.3 Lookahead, secuenciamiento de actividades e identificación de restricciones con un Modelo 4D:

Para el Lookahead, el modelo ya debe incorporar las fechas de ejecución de la secuencia elegida, de esta manera ya se convierte en un modelo 4D, con el que se puede simular la programación virtual con un horizonte de 4 a 6 semanas. Si además, con ayuda de un Modelo BIM realizamos una compatibilización de especialidades, estaríamos también en condición de hacer un Análisis de Restricciones, advirtiéndonos tempranamente de interferencias y conflictos. La figura 34 nos muestra un típico documento de programación por lotes de producción, en el cual se usan códigos y colores para identificar la localización y las fechas de los trabajos programados para las siguientes 4 semanas, es frecuente, por ejemplo, si ocurre que las áreas de encofrado horizontales tengan que extenderse más allá de los límites del vaciado de concreto, esta tabla ya no es aplicable. La Figura de abajo, muestra el modelo de apoyo visual al Lookahead, con las fechas establecidas de avance, tanto de acero, como de encofrado y concreto.

Figura 28. Lookahead y el 4D

Fuente: Propia

Todo el proceso del LPS se plasma en la Planificación Semanal, aquí se lista día a día las tareas que han sido liberadas de sus restricciones y estarían listas para su ejecución, por lo que su comunicación a los lastplanners debe ser muy efectiva y amigable. La Figura 5 muestra la alternativa que ha tenido mayor acogida por los obreros de las cuadrillas encargadas del casco estructural, la cual visualiza la programación semanal en una hoja A4 dividida en 6 espacios, un espacio para cada día laborable, donde lo más simple resulta ser los más efectivo, es decir, sólo mostrar lo que denominamos “micro hitos semanales”, que en esta fase del casco estructural están dados por los vaciados de concreto.

46

2.3.5 Plan diario y retroalimentación: Avance real y virtual:

Terminada la semana y en la reunión semanal con los Last Planners, la presentación del modelo, acompañado de algunas capturas de pantalla promoverá la participación de todos en la tarea de identificar las Causas de No Cumplimiento (CNC).

Si bien este es un espacio donde frecuentemente surgen los reclamos y las quejas, también es donde se generan muy buenas propuestas e ideas para obtener mejores Porcentajes de Planificación Cumplida (PPC).

PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO - ELITÉ											P PRODUCTIVA					
Descripción de la Actividad	Und	Metrado Programado	Metrado Realizado	Metrado Programado					ANÁLISIS DE INCUMPLIMIENTO							
				Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	SI	NO	TIPO	CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO	MEDIDA CORRECTIVA			
SUBESTRUCTURA																
ACERO EN PLACAS Y COLUMNAS	kg	2586.00	2586.00	P4S2	P4S3	P4S4	P5S1	P5S2	X							
ENCOFRADO EN PLACAS Y COLUMNAS	m2	740.00	740.00	P4S2	P4S3	P4S4	P5S1	P5S2	X							
CONCRETO EN PLACAS Y COLUMNAS	m3	79.00	79.00	P4S2	P4S3	P4S4	P5S1	P5S2		X	PROG					
ENCOFRADO EN VIGAS, LOSAS	m2	307.00	307.00	P4S1	P4S2	P4S3	P4S4	P5S1		X	PROG					
ACERO EN VIGAS, LOSAS	kg	3793.00	3793.00	P4S1	P4S2	P4S3	P4S4	P5S1		X	PROG					
VIGUETAS, BOVEDILLAS	m2	307.00	307.00	P3S4	P4S1	P4S2	P4S3	P4S4	X							
ISS, IEE	pto	10.00	10.00	P3S4	P4S1	P4S2	P4S3	P4S4	X							
CONCRETO EN LOSA	m3	82.50	82.50	P3S3	P3S4	P4S1	P4S2	P4S3		X	PROG					
DESENCOFRADO	m2			P1S1	P1S2	P1S3	P1S4	P2S1	X							
ARQUITECTURA																
ARMADO DE PLATAFORMA Y COLOCACIÓN DE NIVEL	m2			P1S2	P1S3	P2S1	P2S2	P2S3		X						
SOLAQUEO DE CIELO RASO	m2			P1S1	P1S2	P1S3	P2S1	P2S2		X						
SOLAQUEO DE VIGAS	m2			ST3S1	P1S1	P1S2	P1S3	P2S1		X						
SOLAQUEO DE COLUMNAS Y PLACAS	m2			ST3S1	ST3S1	P1S1	P1S2	P1S3		X	PROG	PROGRAMACIÓN MUY OPTIMISTA			SINCEPAA PROGRAMACIÓN	
LIMPIEZA Y TRAZO PARA ALBAÑILERÍA	m2			ST3S1	ST3S1	P1S1	P1S2	P1S3		X						
IEE, ISS	pto			ST0S3	ST3S1	ST3S1	ST3S1	P1S1		X						
ANCLAJE DE ACERO VERTICAL PARA ALBAÑILERÍA	pto			ST0S3	ST3S1	ST3S1	ST3S1	P1S1		X						
SOLAQUEO INTERIOR DE DUCTOS	m2			ST0S2	ST0S3	ST3S1	ST3S1	ST3S1		X						
ASENTADO DE LADRILLO (1RA ETAPA)	m2			ST0S1	ST0S2	ST0S3	ST3S1	ST3S1		X						
ASENTADO DE LADRILLO (2DA ETAPA)	m2			ST1S1	ST0S1	ST0S2	ST0S3	ST3S1		X						
DINTELES EN VANDOS	m1			ST1S1	ST1S1	ST0S1	ST0S2	ST0S3		X	SC	INGRESO TARDE SC.			SEGUIMIENTO A SC	
REMATE DE INST. Y SOLAQUEO DE MUROS	pto			ST1S1	ST1S1	ST1S1	ST0S1	ST0S2		X						
DERRAMES DE MUROS Y ALFEIZARES	m1			ST2S1	ST1S1	ST1S1	ST1S1	ST0S1		X

Figura 30. Plan diario y retroalimentación

Fuente: Propia

3 APLICACIÓN DE LA INTEGRACIÓN BIM Y LEAN CONSTRUCTION EN UN PROYECTO INMOBILIARIO

3.1 Sobre el Proyecto Inmobiliario

3.1.1 Descripción y alcances del proyecto

El proyecto inmobiliario “Las Condes” es realizado por el “Grupo Constructor LIDER”, empresa reconocida en el rubro y en el mercado peruano. El proyecto se encuentra ubicado a la altura del km19.5 de la carretera Central, en Ñaña – Chosica, una zona que está tomando impulso para la construcción de viviendas por su clima y por la escasez de terrenos en Lima.

Figura 31. Ubicación Proyecto Las Condes

Fuente: (LIDER Grupo Constructor, 2015)

Se tiene un área aproximada de terreno de 17 758 m², el cual se trata de aprovechar al máximo con la construcción de viviendas, así como también para uso recreativo de los mismos moradores teniendo zonas de esparcimiento y áreas comunes.

Como alcance del proyecto se tiene la construcción de un condominio privado que albergara dos tipos principales de edificaciones: Casas y Departamentos, los cuales estarán divididos por bloques y torres.

Figura 32. Áreas de esparcimiento proyecto Las Condes

Fuente. (LÍDER Grupo Constructor, 2015)

Además, se presenta la construcción de una zona de esparcimiento cerrada o casa club para los afiliados, este cuenta con terrazas, zona de juego para niños, lugares de esparcimiento y una piscina con dos niveles de profundidad. Debajo de la misma se encuentran 2 semisótanos establecidos como estacionamientos con una rampa de acceso vehicular. En su interior, el proyecto, cuenta con vastas áreas verdes que le dan un toque más estilizado.

Las casas constan de un área aproximada de por lo menos 170 m², tienen 2 pisos y una azotea con lavandería, conexiones de agua fría caliente, gas, 6 cuartos entre otras características. Están divididas en bloques de la “A” a la “F”. En total suman 78 casas.

Figura 33. Modelo de las Casas y de las Torres del Proyecto Las Condes

Fuente: (LÍDER Grupo Constructor, 2015)

Los departamentos están divididos en torres de tres pisos y una azotea. Teniendo dos departamentos por cada piso de la torre y haciendo el tercer piso un dúplex en conjunto con la azotea.

Figura 34. Planta General del proyecto Las Condes

Fuente: (LÍDER Grupo Constructor, 2015)

El equipo constructor destinado para la ejecución de este proyecto se muestra en la Fig. 34. Este organigrama, como en anteriores proyectos de Líder, no consideraba un equipo BIM. Sin embargo, a raíz de la propuesta de investigación se optó por incluir un equipo BIM, que de soporte a las distintas áreas.

Figura 35. Organigrama Proyecto Las Condes

Fuente: (LÍDER Grupo Constructor, 2015)

El proyecto está a cargo del Ing. jefe de Obra Paul Robles, quien es participe de todo lo relacionado al proyecto. Debajo de él encontramos al Ing. de Producción Juan Manuel Quitoran con quien se resuelven todas las interferencias antes de ser ejecutadas las partidas involucradas. A la par, se encuentra en contacto la Ing. de Calidad Anidka Cabrera, quien es la encargada de llevar el contacto con los proyectistas y dar seguimiento a los cambios o consultas que aparecen mediante la modelación y la detección de interferencias interdisciplinarias, dando aviso y manteniendo informado a las partes del proyecto. Asimismo, a las reuniones se hizo partícipe al administrador de obra, capataces y jefes de grupo con el fin de escuchar y tomar en cuenta sus observaciones y resolver las dudas.

El aporte que se da por medio del equipo BIM es trabajar en paralelo con todo el staff del proyecto, por lo cual se encuentra relacionado directamente con el Jefe de obra y se encuentra a su servicio directo. Además, se halla relacionado con el área de Producción debido a la aplicación que se le dará en este estudio de ejecutar las partidas levantando las restricciones que surjan a través del uso del BIM

3.1.2 Planeamiento y control convencional del proyecto

El Proyecto Las Condes inicialmente estuvo basado en un método tradicional de planificación que se basa generalmente en la experiencia o destreza del ingeniero a cargo. Este analiza las posibles implicancias de su planeamiento a través de conocidos métodos como son el PERT o CPM, viendo las actividades que son críticas. Previo a esto es necesario definir tanto el alcance del proyecto como su WBS, para tener como punto de partido el desglose del trabajo que se va a realizar. Se elabora un listado de actividades que se genera de forma sencilla a partir del WBS, se calcula las duraciones y se asignan los recursos a las actividades. Por último, se realiza el secuenciamiento de las actividades a través de experiencia propia y se puede elaborar su diagrama de Gantt.

La principal desventaja que tiene este sistema convencional es que solo permite planificar y controlar un proyecto sin poder analizar temas de habilidad y desempeño a la hora de ejecutar. Todo esto genera que no se detecten los errores de planificación y no se tenga un aprendizaje o mejoramiento.

Por estos motivos, se trabaja el sistema Last Planner como forma de asegurar y mejorar el planeamiento, así como también de generar una mejora y un análisis más detallado de causas de incumplimiento del mismo.

Partiendo con el mejoramiento de la planificación, se puede comenzar a acelerar los procesos y el ritmo de trabajo debido a la facilidad que brinda el proyecto por tener trabajo repetitivo. Por lo que se emplea el uso de trenes de actividades para lograr un ritmo de producción continuo.

Debido a que la planta general presentaba geometrías similares se optó por sectorizar de la manera en que se muestra en la Fig.33. De tal modo que el volumen de trabajo este balanceado para cada sector.

Figura 36. Sectorización Proyecto Las Condes

Fuente: (LÍDER Grupo Constructor, 2015)

Cada bloque de casas se dividió en 7 sectores, mientras que cada torre conformaba un solo sector. Asimismo, con el fin de identificar en qué nivel se está trabajando se asignaron colores en cada nivel de las casas y los edificios.

Con la ayuda de la sectorización y el uso de trenes de actividades se consiguió balancear el trabajo de las cuadrillas para que cumplan su rendimiento diario y mejoren su productividad con el paso del tiempo a través del especializado.

Por ejemplo, si hoy tenemos encofrado de placas en el sector 1 del bloque de casas, el día de mañana se tendrá a la misma cuadrilla en el sector 2 más la cuadrilla de vaciado de concreto

en el sector 1. Al tercer día se tendrá a la cuadrilla de encofrado en el sector 3, mientras que en el sector 2 se estaría vaciando concreto, y en el sector 1 se estaría desencofrando. Y así sucesivamente hasta acabar el primer piso y pasar al segundo y tercer nivel.

En la siguiente imagen se puede apreciar el tren de trabajo detallado con su nomenclatura de una actividad en particular:

LAS CONDES							
			SEM 19				
			X	J	V	S	L
			06-may	07-may	08-may	09-may	11-may
TECHO	Und	Metrado					
BLOQUES - CASAS							
ENCOFRADO	m2			DE - 1 - 1er	DE - 2 - 1er	DE - 3 - 1er	DE - 4 - 1er
ACERO	kg			DE - 1 - 1er	DE - 2 - 1er	DE - 3 - 1er	DE - 4 - 1er
INST GAS				DE - 1 - 1er	DE - 2 - 1er	DE - 3 - 1er	DE - 4 - 1er
INST. IIEE - IISS				DE - 1 - 1er	DE - 2 - 1er	DE - 3 - 1er	DE - 4 - 1er
PRUEBAS					DE - 1 - 1er	DE - 2 - 1er	DE - 3 - 1er
VACIADO CONCRETO	m3				DE - 1 - 1er	DE - 2 - 1er	DE - 3 - 1er
CURADO						DE - 1 - 1er	DE - 2 - 1er

Figura 37. Lookahead usado en la sectorización del proyecto Las Condes

Fuente: (LÍDER Grupo Constructor, 2015)

De la Fig. 36. podemos describir que para el encofrado, acero e instalaciones de muros se comenzará por el sector 1 del primer piso del bloque D y el E, al día siguiente se pasará al sector 2 del primer piso del bloque D y el E y así sucesivamente. Asimismo, si vemos que se liberó el sector 1 debido a que esta cuadrilla pasó al sector 2, en el sector 1 entrará otra cuadrilla haciendo otra actividad en este caso las actividades son Pruebas y Vaciado de concreto. La idea con esta sectorización es que las cuadrillas se hagan cada vez más productivas debido al trabajo repetitivo. Finalmente hay que tener en cuenta que cuando trabajamos con trenes de trabajo, cada actividad se hace crítica.

3.2 Metodología de aplicación de la Integración BIM y Lean Construction

3.2.1 Flujograma de aplicación BIM integrado al LPS

Como propuesta, el estudio busca mejorar el trabajo realizado dentro de la obra, optimizando el planeamiento como primera meta y el control como segundo objetivo. Para esto fue necesario definir lo que se hizo dentro de la forma de trabajo del staff del proyecto. Entonces se define la forma de trabajo mediante el siguiente esquema complementando la idea general del Last Planner System:

Figura 38. Flujograma de integración BIM y Last Planner

Fuente: (Bhatla & Leite, 2012)

Este esquema parte de la forma como se desarrolla normalmente el sistema Last Planner como se vio en capítulos anteriores. Se le suma parte de las herramientas que aplica el BIM para desarrollar la integración de una manera correcta.

Como parte del seguimiento a nivel general el BIM plantea aplicar en paralelo un modelo 4D que sirva como soporte al plan maestro de obra y tener un control de los tiempos detallado para fácil manejo. Esto se integra a la primera pauta de aplicación del LPS o Master Plan

para tener el control macro de fechas a través de hitos importantes que se tengan dentro del planeamiento que se haya generado.

La parte principal radica en la secuenciamiento y coordinación BIM, para lo cual se hará uso de un modelo 3D. Este será utilizado en las reuniones de coordinación para identificar interferencias, mejorar la constructabilidad del proyecto y optimizar el cronograma general para secuenciar el trabajo semanal y poder levantar las restricciones de una manera sencilla.

Además, con el modelo ya alzado se podrá trabajar las sectorizaciones y armar los trenes de trabajo, asegurando los principios Lean de flujo y proceso continuos.

Posteriormente se podrá realizar un análisis de diversos tipos que corroboraran el mejoramiento del planeamiento y control a base del uso de los modelos digitales, los cuales deben ser actualizados periódicamente y ser supervisados y aprobados por los encargados pertinentes.

Además, cabe resaltar que se usó formatos específicos para la transmisión de la información. Como por ejemplo, para reportar las interferencias detectadas en el análisis de los modelos se realizó a través de formatos RFI, que básicamente contienen una descripción de la consulta, a quien va dirigido, la fecha y la respuesta.

3.3 Plan de ejecución BIM

En este capítulo se describirán los alcances para la implementación BIM en el proyecto, la identificación de flujos de procesos de las actividades BIM, la metodología de intercambio de información entre las partes involucradas y la infraestructura requerida por el proyecto, para apoyar la implementación, a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Adicionalmente, se detallarán las diferentes aplicaciones BIM en el proyecto y los procesos de la coordinación.

La razón de contar con un Plan de Ejecución BIM es definir el alcance, la metodología de gestión y la interacción entre los stakeholders en el proyecto, para realizar las coordinaciones adecuadas, que faciliten lograr el éxito del proyecto.

Por otro lado, la implementación BIM formará parte de la visión de la Constructora Líder, para gestionar la información y cumplir en el plazo y el costo ofrecido. Esta visión diferenciará y permitirá reducir el riesgo implícito de aplicar una nueva tecnología.

3.3.1 Usos y metas de BIM en el proyecto

Con el uso de la tecnología BIM, es posible construir digitalmente un proyecto cuantas veces sea necesario, hasta alcanzar su definición final, antes de ejecutarlo en la realidad. Un modelo digital, también facilita la compatibilización de las diferentes disciplinas, la prefabricación y favorece el trabajo colaborativo de las diferentes partes interesadas al contener información geométrica, paramétrica y técnica de los elementos que conforman el proyecto. En anteriores capítulos se mostró los múltiples usos de BIM en cada una de las fases de un proyecto; sin embargo, en esta oportunidad daremos a conocer los usos específicos para el proyecto analizado.

Tabla 2

Usos BIM en el Proyecto Las Condes

DISEÑO	CONSTRUCCIÓN
Diseño de especialidades	Planeamiento de Obra
Metrados	
Detección de Conflictos	
Generación de Planos	

Fuente. Propia

De acuerdo con cada uso que se dará al proyecto, a continuación, se muestra una tabla con las metas a alcanzar:

Tabla 3

Metas BIM en el proyecto Las Condes

Metas de BIM en el proyecto LAS CONDES		
USOS	ACCIONES PARA LOGRAR LA META	EVIDENCIA DE QUE SE LOGRO LA META
Diseño de especialidades	Utilización del Revit para corroborar el diseño de las especialidades	Menor cantidad de errores interdisciplinarios.
Metrados	Obtención de metrados referenciales directamente del Revit para comparar metrados	Afinar metrados.
Detección de Conflictos	Utilización de Navisworks para encontrar conflictos.	Reducir la cantidad de RFIs en Obra.
Generación de Planos	Incluir toda la información 2D & 3D dentro del Modelo.	Generación de planos de ingeniería de detalle compatibles con el modelo 3D.
Planeamiento de Obra	Utilización de Navisworks para vincularlo con Project y estudiar alternativas de construcción.	Poder ser capaces de visualizar el proceso constructivo en un Modelo 4D.

Fuente: Propia

3.3.2 Mapeo de procesos BIM:

Para el desarrollo del presente proyecto se tendrá en cuenta el flujograma planteado por el Project Execution Planning Guide de la University of Pennsylvania, con el fin de mapear los procesos BIM (Ver Anexo3).

3.3.3 Procedimientos de colaboración

Para una adecuada implementación de BIM a lo largo de las etapas de diseño y construcción, se dispondrá de la infraestructura que permita que el trabajo colaborativo y el intercambio de ideas sea más efectivo en los procesos de coordinación, revisión del diseño y planeamiento de obra.

- En la Etapa de Diseño:

Será necesario realizar diversas reuniones para analizar, revisar y compatibilizar los diseños de los distintos proyectistas. Para ello, se dispondrá salas de reuniones que cuentan con el equipamiento necesario para desarrollar las coordinaciones necesarias.

- En la Etapa de Construcción:

La visualización del modelo durante la rutina de reuniones servirá de apoyo para la programación y permitirá, entre otras cosas, identificar restricciones, anticipar pedidos de materiales, controlar el avance programado, obtener metrados de materiales y la prefabricación de algunos elementos.

En campo, las vistas obtenidas del modelo servirán de ayuda para el entendimiento de cualquier visitante y la coordinación visual entre el personal staff y obrero.

a). Intercambio de Información

El intercambio de información se realizará mediante el servidor “Autodesk 360”. Los coordinadores BIM crearán una carpeta compartida denominada “Proyecto LAS CONDES” para facilitar el intercambio de modelos. Dentro de esta carpeta se podrá encontrar los planos, los modelos BIM, y toda la información detallada y ordenada del proyecto.

Cada especialista es responsable de actualizar sus planos según los acuerdos realizados en las sesiones de coordinación. Cada actualización deberá ser subida creando un nuevo archivo y no una nueva versión con la finalidad de mantener un historial. Se debe respetar

necesariamente la organización de las carpetas. Por otro lado, cada actualización de los archivos debe ser informada vía correo electrónico.

b). Reuniones de coordinación multidisciplinarias

Las Reuniones de Coordinación Multidisciplinarias se desarrollarán en concordancia al avance del modelo. Estas sesiones serán convocadas por el Coordinador BIM, dejando a su criterio la participación de los especialistas, programación y duración de cada reunión. Dichas reuniones tienen como objetivo resolver incompatibilidades y buscar oportunidades de mejora en el diseño y planeamiento del proyecto.

La realización de reuniones tipo Sesiones ICE, en principio sirven para verificar el modelado digital y para resolver las inquietudes que pudieran surgir por no entendimiento del proyecto. Son revisiones semanales del proyecto ya digitalizado para asegurar la calidad y la optimización del proyecto tanto en tiempo como en costos.

Figura 39. Fotografía 1ra Reunión ICE proyecto Las Condes

Fuente: Propia

Figura 40. Fotografía 2da Reunión ICE proyecto Las Condes con especialistas

Fuente: Propia

Durante la coordinación, el levantamiento de incompatibilidades se lleva a cabo bajo un conteo y uso de formatos tipo RFIs. para que facilite llevar a cabo el control del levantamiento de las observaciones y/o consultas. También, es vital clasificar los RFIs por especialidad y ver su respectiva solución con la ayuda de los especialistas.

3.3.4 Necesidades de Infraestructura tecnológica

a). Software:

A continuación, se presenta la lista de programas que permitirán gestionar la información BIM.

Tabla 4

Listado de Software BIM

USO BIM	DISCIPLINA	SOFTWARE	VERSIÓN
Diseño: Modelado	Todas	Autodesk Revit	2014
Diseño: Integración de modelos	Todas	Autodesk Navisworks	2014
Construcción: Edición de modelos	Todas	Autodesk Revit	2014
Construcción: Revisión de modelos	Todas	Autodesk Navisworks	2014
Diseño / Construcción: Sesiones colaborativas de trabajo	Todas	SMART Notebook o Proyector multimedia	-

Fuente: Propia

b). Hardware:

Las necesidades mínimas de equipamiento de cómputo y hardware, necesarias para gestionar la información BIM es la siguiente:

Tabla 5

Requerimientos mínimos de Hardware

USO BIM	HARDWARE	PROPIETARIO DEL HARDWARE	ESPECIFICACIÓN
Diseño / Construcción	Computadora	Área BIM / Especialista BIM	Procesador Core i7, Windows 7, Disco Duro de 500GB, Tarjeta de video 3D para 2 monitores, Tarjeta de internet, lectora de CD.
Diseño / Construcción	Monitor	Área BIM / Especialista BIM	Monitor LCD o LED
Diseño / Construcción	Proyector	Usuarios de sala multimedia	Proyector Multimedia
Diseño / Construcción	Pizarra inteligente	Usuarios de sala multimedia	Pizarra inteligente

Fuente: Propia

3.4 Construcción digital

3.4.1 Nivel de desarrollo

El Nivel de Detalle (ND) describe los requisitos mínimos que los diferentes elementos del Modelo deberán de incluir. Según el tipo y la complejidad del proyecto, se pueden modelar los elementos del edificio siguiendo los niveles de desarrollo. Estos dependerán del fin para el cual se usa BIM en determinado proyecto. Así, por ejemplo, podemos mencionar que un hospital requerirá de un nivel de desarrollo mayor al de un edificio para uso de aulas. Esto se debe a la complejidad y cantidad de especialidades ingenieriles (IIEE, IISS, IIMM, etc.) que interactúan de manera distinta en cada tipo de proyecto.

○ NIVEL DE DESARROLLO 100

Los modelos de Nivel de Desarrollo 100 (ND-100) incluyen elementos tales como masas que se utilizarán para estudios preliminares tales como diseño conceptual y etapas (Fases)

generales del proyecto. Análisis basados en ubicación y orientación, así como metrados generales de reales y volúmenes pueden ser realizados en este nivel.

- NIVEL DE DESARROLLO 200

Los modelos de Nivel de Desarrollo 200 (ND-200) incluyen elementos en los cuales se han utilizado componentes genéricos cuyas características son generales, estas pueden ser espesor y/o volumen. Este Nivel permite la compatibilización mediante la generación de reportes de interferencias.

- NIVEL DE DESARROLLO 300

Los modelos de Nivel de Desarrollo 300 (ND-300) incluyen elementos en los cuales sus componentes genéricos han sido remplazados por materiales totalmente definidos. Este Nivel permite obtener cuadros de metrados exactos según los diferentes materiales.

- NIVEL DE DESARROLLO 400

Los modelos de Nivel de Desarrollo 400 (ND-400) incluyen elementos en los cuales los componentes han sido complementados con información en 2D, así como texto, dimensiones, notas, etc. Este nivel permite la fabricación y/o construcción del Proyecto.

- NIVEL DE DESARROLLO 500

Los modelos de Nivel de Desarrollo 500 (ND-500) incluyen parámetros asociados a todos los elementos de la edificación que permitirán, una vez exportados fuera del entorno BIM, realizar la programación de obra, así como el mantenimiento y operación del proyecto. La vinculación del Modelo con sistemas de base de datos puede ser realizada en este Nivel.

Figura 41. Niveles de desarrollo de Modelado

Fuente: (Practical BIM, 2014)

El modelado del Proyecto las Condes se realizó teniendo en cuenta un LOD 300, ya que el fin era realizar un Clash Detection del Modelo 3D y una Simulación 4D.

3.4.2 Técnicas de modelado

Como ya se dio a entender líneas arriba, antes de empezar a construir el modelo digital, es necesario definir el alcance del modelado; vale decir, para que fin o metas se empleara BIM en el proyecto. Por ejemplo, para el desarrollo de esta tesis, se tiene que soportar en un Modelo 4D, es decir un modelo que ayude a simular los procesos constructivos con el fin de optimizar la planificación. El fin de detallar las técnicas de modelado se centra básicamente en elaborar el modelo tal y como se construirá en la realidad. Teniendo en cuenta como ha sido sectorizado inicialmente el proyecto sin el empleo de BIM, para que posteriormente con la ayuda de una simulación 4D constructiva, podamos mejorar el plan de ataque a cada sector, mejorando la planificación inicial.

A continuación, se especificará detalladamente las técnicas utilizadas para ciertos elementos de la edificación. En esta sección se describirá las diferentes técnicas de modelado que aplica la empresa DCV Consultores para la implementación de estándares BIM dentro de las empresas privadas del país.

Columnas y vigas: La parte inferior o base de la columna se modelará hasta la parte más baja de la viga de mayor peralte y la parte superior de la columna se modelará como parte de la viga o vigas que se amarran a esa columna. Esto es debido a que la parte superior de la columna se construye en obra como parte de las vigas.

La imagen de la abajo ilustra este concepto en una vista de elevación en donde la columna ha sido dividida en dos elementos de acuerdo a lo antes mencionado.

Figura 42. Consideraciones de modelado en Vigas y columnas

Fuente: (DCV Consultores, 2014)

Otra característica para considerar es la creación del elemento superior de la columna anclado al nivel superior, es decir, al mismo nivel “Base Level” en donde están ancladas las vigas y no al nivel en el cual está anclada la columna.

Vigas y losas: Las losas deberán de ser modeladas entre vigas y no atravesando las mismas. Esto, a pesar de tomar más trabajo, es debido a que ambos elementos se deberán medir de manera independiente.

La imagen de la abajo ilustra este concepto en una vista de sección en donde dos losas han sido modeladas individualmente y están siendo atravesadas por una viga de acuerdo a lo antes mencionado.

Figura 43. Consideraciones para modelado de vigas y losas

Fuente: (DCV Consultores, 2014)

Placas, vigas y losas: Las placas deberán de ser modeladas de manera convencional pero el comando Parts debería de ser usado para dividirlo en dos partes fundamentalmente, una siendo el muro propiamente dicho y otra la parte del muro que estará asociado con la viga.

Figura 44. Consideraciones de modelado para placas, vigas y losas

Fuente: (DCV Consultores, 2014)

4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA APLICACIÓN EN EL PROYECTO

En los planos tradicionales CAD de 2 dimensiones hay cosas que los ojos no pueden ver a simple vista. Por ejemplo, para el caso del Proyecto Las Condes, se tenían los planos supuestamente compatibilizados en fechas previas a la construcción; es decir los planos estaban aparentemente limpios y liberados de toda restricción para su ejecución. Sin embargo, más adelante se probó que aún faltaban cosas por resolver. Una vez que los Modelos BIM para todas las disciplinas fueron creados, lo siguiente fue exportarlos al Navisworks, donde se realizó la detección de Interferencias e Incompatibilidades mediante la simple navegación y con la herramienta Clash Detection. Después de encontradas las interferencias se generaron Reportes de Conflictos personalizados y se realizó las consultas a los especialistas durante las reuniones interdisciplinarias o Sesiones ICE.

Los arquitectos, ingenieros y el equipo BIM trabajaron junto con la empresa Constructora, subcontratistas e instaladores para detectar y resolver conflictos de diseño entre los elementos de construcción; así como también se realizó un análisis de constructabilidad, para ver qué tan fácil y eficiente era la construcción de algunos sectores o elementos. De manera paralela, siempre se estuvo analizando el impacto de los conflictos en la programación planteada inicialmente.

Líneas abajo se mostrarán algunos ejemplos ilustrativos como parte del contenido de este capítulo, sin embargo, en el anexo se pueden encontrar todas las interferencias detectadas en el proyecto.

4.1 Análisis de las incompatibilidades e interferencias

4.1.1 Incompatibilidades

Las incompatibilidades son problemas que por lo general se deben a una incorrecta representación gráfica en los planos cuando el detalle de un elemento no guarda relación con lo indicado en los demás planos. Por ejemplo, durante la modelación de las columnas del sótano que tienen continuidad hasta la casa club, se observó un desfase menor al que se mostraba en corte de CAD.

La Fig.45. es un corte obtenido a partir del CAD, donde se aprecia que existe una distancia traslapada de 40 cm entre la columna del sótano y las columnas de la Casa Club. Sin embargo, en la Fig. 46. Se tiene un corte obtenido a partir del modelo BIM, se observa que la distancia traslapada es de 55cm. Este conflicto surgió a partir de la incompatibilidad que existía entre los planos en planta y el corte.

Figura 46. Corte obtenido en CAD

Figura 45. Corte obtenido en BIM

Fuente: Archivos (LÍDER Grupo Constructor, 2015)

Cuando en campo se detecta este error en los planos, se generará incertidumbre durante la construcción de cierta actividad de encofrado o armado de acero de esta columna, ya que los trabajadores no sabrán qué plano respetar para cumplir con la actividad según lo planificado. Además, esta observación necesita de un tiempo para ser atendida, ya que debe ser resuelta por la vía formal contratista-supervisión, mientras supervisión, como instancia superior a la contratista, realiza la consulta a los especialistas involucrados del proyecto para que la

observación sea levantada y se generen nuevos planos, modificados y aprobados, para que sean entregadas a la contratista. Este tiempo de espera, puede convertirse en campo en tiempo no productivo (TNP) para los obreros si no se les da de inmediato otra tarea que reste a su productividad, o puede convertirse en tiempo no contributivo (TNC), si los obreros realizan actividades complementarias que no producen en obra o forme parte de lo programado para ese día.

4.1.2 Interferencias

Las interferencias son problemas que por lo general ocurren entre los planos de las distintas especialidades debidos a su deficiente integración y, como vimos, usualmente y sobre todo en las instalaciones, las interferencias son detectadas y resueltas en campo, los cuales generan posteriormente órdenes de cambio, causando retrasos y sobrecostos. De ahí la necesidad de usar herramientas adecuadas que permitan alertar con tiempo la presencia de interferencias, de esta forma habrá un mayor tiempo que se le puede destinar para resolverlo y, lo que es mejor aún, mucho antes de llegar a campo.

El proceso de modelado comienza con la elaboración de un modelo BIM de la estructura de la edificación, luego de la arquitectura y después de las instalaciones. Es decir, al final se tienen distintos modelos BIM por especialidad, que pueden ser integrados y centralizados en uno solo de tal manera de visualizar el proyecto como un todo y encontrar interferencias y conflictos entre los elementos sólidos 3D de estas especialidades. Por ejemplo,

Tras integrar los modelos BIM de las especialidades de Estructuras vs Instalaciones Mecánicas, se detectó que en las escaleras que se encuentran entre el sótano y la cisterna, existen obstáculos generados por los ductos de instalaciones mecánicas, estos dificultan el libre paso tanto en el ancho de escaleras como en altura mínima para que una pueda transitar sin golpear la cabeza. Asimismo, se puede apreciar que el ducto principal de IIMM se encuentra atravesando Zapatas y Columnas (Fig.45).

Figura 47. Interferencia Instalaciones Mecánicas vs Estructuras

Fuente: Propia

Una vez detectada esta interferencia se procedió a generar los Reportes de Consultas, a lo cual los especialistas dieron soluciones óptimas tal como se muestra en la Figura 46.

Figura 48. Solución de las interferencias de Instalaciones Mecánicas vs Estructuras

Fuente: Propia

Se optó por llevar uno de los brazos pequeños de mecánicas, por la parte superior de tal modo que permita tener una altura mínima de 2.2m de libre circulación. Asimismo se pegó los ductos a los muros de tal modo que se obtuvo un ancho de escaleras de 1.20 m .Y en tanto al cruce de zapatas y mecánicas, se decidió cambiar el trazo de mecánicas en planta de tal modo que no se cruce con zapatas.

Cabe resaltar que en el Anexo 1 se encuentra un cuadro con el total de RFIs registrados, donde se describe la consulta y la respuesta de los especialistas, también se detalla la ubicación, el grado de incidencia en la obra y el costo involucrado.

4.1.3 Cantidad de RFIs

Durante el tiempo de estudio se han registrado consultas o RFIs, los cuales han ido surgiendo durante la modelación, así como también durante la compatibilización virtual, a continuación, se muestra algunos cuadros estadísticos.

Figura 49. Cantidad y porcentaje de RFIs por tipo de Módulo

Fuente: Propia

De un total de 44 RFIs registrados un 41 % corresponden al módulo de la Casa, mientras que 29.5% se encontraron en las Torres y del mismo modo en el Sótano. El hecho que la casa haya presentado mayor número de RFIs, se debe a poco espacio que se tenía para pasar las instalaciones debido a que se trata de un área pequeña muy bien optimizada.

De manera similar se procedió a analizar la cantidad de RFIs que se presentaba por cada especialidad, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 6

Cantidad de RFI por especialidad

	Total de RFIs	Porcentaje
ARQUITECTURA	3	7%
ELÉCTRICAS	6	14%
ESTRUCTURAS	6	14%
GAS	3	7%
SANITARIAS	24	55%
IIMM	2	5%
Total	44	100%

Fuente: Propia

Figura 50. Porcentajes de RFI por especialidad

Fuente Propia

El mayor número de Consultas se realizó a la especialidad de Sanitarias (54%), esto debido a que en la mayoría de casos se da prioridad a Estructuras y quien tiene que realizar los movimientos o cambios es Sanitarias. Instalaciones y Estructuras presenta 14% cada uno. Mientras que Eléctricas con Arquitectura presentan 7% independientemente. Finalmente, Instalaciones Mecánicas posee un 4% pero de cambios significativos que se analizaran más adelante.

4.1.4 Gravedad de los RFIs

La gravedad de los RFIs fue medida en base al impacto que generan en la construcción, tanto en el correcto desempeño de la planificación como su impacto en la productividad. Se clasificaron en 4 grupos Leve, Moderada, Grave y Muy grave.

Tabla 7

Gravedad de los RFIs por Módulo

Ubicación	Gravedad de los RFIs				Total
	Graves	Leves	Moderadas	Muy graves	
CASA	4	5	9		18
SOTANO				13	13
TORRE	4	1	8		13
Total	8	6	17	13	44

Fuente: Propia

Porcentaje de RFI según Gravedad

Figura 51. Porcentaje de RFIs según Gravedad

Fuente: Propia

Del gráfico estadístico obtenido se puede observar que un 39% de las consultas presentadas tienen un grado de incidencia Leve. Mientras que 29% son Muy graves y 18% son Graves, lo cual refleja que si estos no hubieran sido resueltos con anticipación probablemente alterarían el plazo y costo del proyecto debido a la incidencia que presentan. Finalmente, un 14% figuran como Leves, sin embargo, no dejan de ser importantes a la hora de levantar restricciones del Lookahead.

El nivel de gravedad presentado por cada especialidad se muestra a continuación:

Tabla 8.

Gravedad de los RFIs por Especialidad

Especialidad	Grave	Leve	Moderada	Muy grave	Total general
ARQUITECTURA	2	1			3
ELÉCTRICAS		1	4	1	6
ESTRUCTURAS				6	6
GAS			3		3
SANITARIAS	6	4	10	4	24
II MM				2	2
Total	8	6	17	13	44

Fuente: Propia

Del gráfico se concluye, que la especialidad con mayor número de RFIs Muy graves es Estructuras, esto debido a que es una especialidad con prioridad alta al momento de compatibilizar. Realizar un cambio en estructuras tiene un alto impacto en el proyecto. Seguidamente se encuentra Sanitarias quien presenta 4 consultas muy graves y un número significativo de Graves.

Figura 52. Gráfico: Gravedad de los RFIs por Especialidad

Fuente: Propia

Con el propósito de clasificar los RFIs según la fuente de consulta se elaboró el siguiente cuadro:

Tabla 9
Cuadro de Fuente de Consulta de los RFIs

FUENTE DE CONSULTA	
Cruce físico	Cruce físico de elementos estructurales y no estructurales, entre especialidades.
Falta de interpretación geométrica	Diferentes interpretaciones dadas a un mismo plano o línea. Alturas, medidas o áreas mínimas insuficientes. Cotas de niveles.
Propuesta de mejora mediante un 3D	No hay incompatibilidades o errores, sin embargo se pueden proponer mejoras en el proyecto o que le agreguen valor o faciliten la etapa de
Falta/Error de información	Falta/error de información en los planos proporcionada por los proyectistas. Errores de dibujo.
Falta de coordinación entre especialistas	Incompatibilidades debido a la poca comunicación y colaboración entre los proyectistas.
Confirmación de información	Aclaraciones respecto al diseño planteado, a los planos.

Fuente: Propia

Del gráfico de barras anterior se puede inferir que la mayor fuente de consulta es debido a la falta o al error en la información de la ingeniería; seguido de la coordinación interdisciplinaria. Asimismo, se destaca un número considerado de las propuestas de mejora realizados por el equipo BIM.

Figura 53. Clasificación de los RFIs por fuente de Consulta

Fuente: Propia

4.2 Análisis de Constructabilidad con el modelo 4D

Como se sabe, la constructabilidad se define como la facilidad y eficiencia con que los elementos se pueden construir. Es una técnica de gestión de proyectos, para la integración de la experiencia de la construcción en todas las fases de desarrollo de las ingenierías, en beneficio de los costos, programación (tiempo), calidad y otros objetivos claves. Esta revisión de los diseños constructivos de principio a fin, durante la fase de la ingeniería, permite identificar obstáculos y errores, corregibles antes de llegar a la ingeniería de detalles en revisión de aceptación y mejor aún antes de la etapa de construcción.

Figura 54. Layout de Obra

Fuente: (LÍDER Grupo Constructor, 2015)

Constructabilidad no es sólo la revisión de dibujos y planos, ni es la optimización de la construcción a expensas de otras actividades, constructabilidad implica pensar acerca de cómo construir un proyecto incluso antes de que se diseñe.

En el caso del Proyecto Las Condes (Ver Fig.54) la ingeniería ya estaba desarrollada, por ello, con la ayuda del Modelo se revisaba y estudiaba el proceso constructivo, velando por las vías de acceso, posicionamiento de máquinas, priorizaciones de construcción para el programador del proyecto y condiciones de seguridad para las personas y equipos de montaje, logrando documentar este proceso y llevando en algunos casos como especialidad, planos de constructabilidad que mostraran formas y movimientos.

Figura 55. Plano de detalle de Baño extraído del Modelo 3D

Fuente: (LÍDER Grupo Constructor, 2015)

Con el fin de mejorar la constructabilidad y acelerar los procesos constructivos, se optó por plotear planos de ambientes específicos como baños, detallando claramente las medidas y mostrando un 3D. Estos eran entregados a los obreros antes de iniciar la jornada con el objetivo de no caigan en error y aceleren el proceso de construcción.

4.2.1 Índices de falta de constructabilidad

Siempre habrá cálculos, dibujos y diseños que no son previstos, pero para ello existen las ingenierías de terreno (Field Engineering) para resolver en conjunto con el constructor, la mejor solución.

Ahora bien, como saber el grado de errores y correcciones realizadas, no previstas en el proceso de constructabilidad. Es sencillo, para eso se crearon, entre otras razones, los RFI (Request for Information), que establecen una modalidad de consulta escrita para confirmar correcciones o consultas a la ingeniería.

Para lo anterior, la medición del grado de calidad o falta de constructabilidad, se puede definir de acuerdo a experiencias pasadas o estadísticas de algunas empresas de ingeniería (Fluor, Bechtel, Hatch, SNCLavalin, Outotec, entre otras) y como práctica estándar, de acuerdo a un Gerente de Proyecto de Bechtel, conocedor del tema, la constructabilidad puede medirse en función a los RFIs:

Tabla 10

Implicancia del Número de RFIs en un mes

Número de RFIs por Mes	IMPLICA	Calificación
1 a 5	Excelente ingeniería, aplicación y desarrollo de constructabilidad en el proceso de ingeniería	1
6 a 10	Excelente ingeniería, aplicación con defectos de constructabilidad, pudiendo haber faltado experiencia constructiva	0.75
11 a 50	Falta de constructabilidad inminente, errores en la ingeniería por falta de consolidación de especialidades de ingeniería	0.5
51 a Más	Implica falta de constructabilidad inminente, errores de la ingeniería con un alto costo constructivo, por indefiniciones de la ingeniería.	0.25

Fuente: Propia

Basados en este cuadro y con el número de RFIs registrados que son 44, la calificación correspondiente a Falta de Constructabilidad sería 0.5; del cual podríamos concluir que existe una falta de constructabilidad inminente y que hay errores en la ingeniería por falta de

consolidación de especialidades de ingeniería. En hora buena estos errores de constructabilidad y RFIs fueron detectados con anticipación y no durante la construcción. Lo cual permitió un flujo de trabajo continuo sin detener las actividades por error o falta de información.

4.3 Análisis del Planeamiento a través de la Simulación 4D

Como punto de partida para comprender el nivel en que afecta el BIM dentro de la programación del proyecto Las Condes, es necesario entender que el trabajo se da por sectorización y trenes de actividades. Lo cual conlleva a tomar todas las actividades como críticas al estar secuenciadas y balanceadas en cantidades de trabajo repetitivo. Sin embargo, el hecho de poder prever un problema con el uso de BIM dentro de este tipo de producción repetitiva hace que la problemática se dé solo una vez, generalmente al comienzo del secuenciamiento. Según como la curva de aprendizaje vaya creciendo, no se incurre en el mismo error para el saldo de actividades, por el hecho de ser un problema superado. Es por esto que emplear BIM dentro del planeamiento desde etapas tempranas nos permite prever las causas de incumplimiento al momento de realizar las actividades.

Entonces si tomamos lo anterior como punto de partida, podemos analizar la influencia de los RFIs directamente dentro del planeamiento poniéndolos en un margen de gravedad que pueden originar retrasos dentro del cronograma de obra.

Dado que se hizo una repartición por tipo de estructura que se va a construir, el cronograma será una secuencia de sectores divididos por módulos, estos tipos de módulos son Casa, departamento y sótano.

4.3.1 Análisis del Lookahead:

Para la realización del Lookahead dentro de la metodología Lean Construction, las reuniones de elaboración del plan se llevaron a cabo a la par que las sesiones de coordinación interdisciplinarias. Estas se realizaron los días jueves de 3 a 7pm como parte del plan de trabajo semanal.

Siempre se realizaba la sesión de coordinación las primeras 2 horas. En esta etapa se presentaban los modelos y se realizaban consultas sobre las especialidades. Lo más resaltante de esta parte fue la implicancia del modelo a la hora de detectar falencias en los planos mediante la navegación, gracias al criterio de los especialistas y la participación de los

capataces de las diversas cuadrillas. Las participaciones de estos últimos fueron de vital importancia a la hora de lograr identificar las interferencias interdisciplinarias puesto que su experiencia suma directamente al momento de proponer las soluciones.

Para la segunda parte de la reunión, se mejoró la elaboración del Lookahead de obra a través del uso de los modelos virtuales. Cabe resaltar que, en un principio la obra ya contaba con un planeamiento semanal elaborado, donde se suponía tener compatibilizada las especialidades. Su Lookahead contemplaba ciertas restricciones, sin embargo, ninguna de estas contemplaba el hecho de tener interferencias que surjan solo a la hora de ejecutar la obra.

Se aplicó el uso de visualizaciones en 4D para poder así contemplar el planeamiento en un espacio de tiempo manejable y haciendo modificaciones según el criterio de construcción de los especialistas. Esta simulación 4D permitió realizar iteraciones de secuencias constructivas las veces necesarias, sin asumir ningún costo por equivocaciones.

La implementación del equipo BIM dentro de la aplicación del sistema Last Planner mejoró en cierta medida la ejecución del proyecto como se explicará en los siguientes puntos:

a) **RESTRICCIONES:**

Con el fin de lograr un eficiente cumplimiento de lo detallado en el Lookahead, se tomó el análisis de restricciones respectivo. Para esto, fue necesario incluir los RFIs más representativos del análisis de interferencias a las restricciones convencionales que se tenían. Puesto que algunos solo presentan modificaciones sencillas o de poca relevancia. Se tomó los cruces interdisciplinarios y todo aquel que pudiera presentar un elevado retraso al proyecto. Por ejemplo, dentro del análisis de las restricciones del sótano, casi todos los RFIs se tomaron en cuenta puesto que su clasificación es de Muy Grave.

En el siguiente cuadro podemos comparar el número de RFIs representativos del total recopilado durante las sesiones de coordinación y planeamiento.

Tabla 11

Cantidad de RFI que son restricciones del Lookahead

RFI Restricciones	15
RFI Normales	29
Total de RFI	44

Fuente: Propia

Si se analiza en porcentajes podemos llegar a concluir que cerca de un tercio de los RFIs son involucrados directamente con el levantamiento de restricciones del Lookahead, esto por generar un retraso en caso no se levantaran y se ejecutaran. Ello se puede apreciar en el siguiente cuadro:

Figura 56. Porcentaje de RFIs que aplican al análisis de Restricciones

Fuente: Propia

A partir del análisis de restricciones se pudo levantar muchas interferencias importantes en sótano y departamentos que se generaron al inicio de las labores de planificación.

Para ver la importancia que tienen los RFIs dentro de las restricciones, se obtuvo sus porcentajes. Se llegó a la conclusión que el 25.42% de las restricciones pertenecían al levantamiento de algún RFI. Es decir que una cuarta parte del trabajo de levantamiento de restricciones corresponden a levantar los RFIs.

En siguiente cuadro se aprecia que 15 de las 59 restricciones corresponden a RFIs.

Tabla 12

Comparación de Restricciones a base de

TIPO	Restricciones
Equipo BIM	15
LIDER	44
Total general	59

Fuente: Propia

Figura 57. Tipos de Restricciones

Fuente: Propia

Ahora bien, el hecho esta en manejar ese 25% para disminuir la variabilidad del proyecto. Reduciendo esas restricciones podemos mejorar la producción del proyecto al evitar paralizaciones innecesarias, re trabajos y posibles aumentos de costos. Levantar las restricciones que tienen que ver con RFIs asegura mejorar los índices del PPC. Y esto último, solo se logra mediante una construcción digital.

b) PPC:

Para el Porcentaje de Plan Cumplido se tomó en consideración los 2 escenarios presentados. El primero es cuando no se usaba BIM como medio para levantar restricciones (Semana 16

y 17) y el segundo cuando si se usaba BIM para anticiparse a las restricciones (A partir de la Seman18). Las mediciones y resultados están indicados en la siguiente tabla:

Tabla 13

Comparativo de PPC

PPC ACUMULADO							
Semanas	Actividades Planificadas	Acum. Act. Planificadas	Actividades Cumplidas	Acum. Act. Cumplidas	PPC	PPC ACUM	PPC META
Sem N° 16	22	22	18	18	81.8%	81.8%	85.0%
Sem N° 17	17	39	14	32	82.4%	82.1%	85.0%
Sem N° 18	17	56	16	48	94.1%	85.7%	85.0%
Sem N° 19	16	72	15	63	93.8%	87.5%	85.0%
Sem N° 20	18	90	17	80	94.4%	88.9%	85.0%
Sem N° 21	16	106	15	95	93.8%	89.6%	85.0%
Sem N° 22	42	148	39	134	92.9%	90.5%	85.0%
Sem N° 23	47	195	46	180	97.9%	92.3%	85.0%

Fuente: Propia

A primera vista, lo más importante dentro del análisis es el hecho de poder superar el valor meta que se tenía trazado (85%), esto como medición interna de la empresa para satisfacción del proyecto. A partir de la semana 18 de trabajo se logró superar la meta y a partir de ello se ha mantenido por encima del valor necesario, lo cual es favorable. Si bien no se logra el máximo porcentaje se ve que, en la última semana de medición, se logra alcanzar 98% en el cumplimiento del PPC.

Puesto que el Equipo BIM entró a tallar a partir de la semana 18, existe un antes y después con respecto a cumplir el mínimo PPC requerido. Anteriormente a la semana 18 se tuvo que tomar decisiones en campo lo cual retrasó el avance del tren y esto se vio reflejado en el PPC.

La Grafica siguiente está elaborada a partir de la tabla anterior y puede mostrar la tendencia de cumplimiento en las semanas de medición:

Figura 58. Cambio de PPC respecto al tiempo

Fuente: Propia

La tendencia del PPC acumulado es a subir, mostrando una mejora en las últimas semanas de trabajo. Esto debido a que se cumplían casi todas las actividades ya que sus restricciones habían sido levantadas anticipadamente, resaltando las restricciones por incompatibilidad interdisciplinaria. Una variación cerca de 12% del PPC muestra un alza dentro de las semanas antes y después de la aplicación del BIM dentro del LPS.

El mejoramiento de la curva del PPC normal como el acumulado refleja el cambio entre el uso del BIM y el trabajo normal a la hora de mejorar el planeamiento.

Por otro lado, si bien aún no se cumple con el 100% de las actividades, estas causas de incumplimiento no están ligadas al uso del BIM, sino más a la parte logística o de otra índole. Por ejemplo, en la semana 22 existe un pequeño decaimiento del PPC, pero esta resulta por problemas ajenos a la obra, problemas sociales con vecinos que detuvieron el avance de ciertas actividades.

c) CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO:

Existen muchas causas por las cuales se incumple las actividades a continuación se detallan las que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del planeamiento del proyecto Las Condes.

Tabla 14

Tipos de Causas de Incumplimiento

CATÁLOGO DE CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO				
CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO	PROGRAMACION(PROG)	LOGISTICA (LOG)	CONTROL DE CALIDAD (QA/QC)	EXTERNOS (EXT)
DESCRIPCION	Todas las causas que implican: *Errores o cambios en la programación. *Inadecuada utilización de las Herramientas de Programación. *Mala asignación de recursos. *Cualquier restricción que no fue identificada de manera oportuna.	Todas las causas que implican: *Falta de equipos, herramientas o materiales en obra, que han sido requeridos oportunamente por Producción.	Todas las causas que implican: *La entrega oportuna de información a producción (planos, procedimientos, etc) *Cambios o errores en la ingeniería durante el desarrollo de las actividades del Plan Semanal.	Todas las causas que implican: *Retrasos por razones climáticas extraordinarias. *Eventos extraordinarios como marchas sindicales sin previo aviso, huelgas, accidentes, etc.
CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO	CLIENTE/SUPERVISIÓN (CLI)	ERRORES DE EJECUCIÓN (EJEC)	SUBCONTRATAS (SC)	COORDINACION BIM
DESCRIPCION	Todas las causas que implican Responsabilidad del Cliente (Falta de información, cambio de prioridades, cambios o errores en la ingeniería, falta de liberación de estructuras, etc).	Se consideran las causas que corresponden a atrasos debido a retrabajos en el proceso constructivo, es decir que por errores de ejecución no se pudieron cumplir otras actividades programadas.	En este punto se consideran todas las causas de incumplimiento relacionadas a la falla en la entrega de algún recurso subcontratado o al atraso debido al no cumplimiento de alguna labor encargada a una subcontrata.	Todas las causas que pudieron haberse detectado con el uso de Coordinación Interdisciplinaria a través de BIM
CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO	EQUIPOS (EQ)	ADMINISTRATIVOS (ADM)		
DESCRIPCION	Todas las causas que implican averías o fallas en los equipos que no permitieron el cumplimiento de las actividades del Plan Semanal. Están incluidos los mantenimientos no programados de equipos.	Todas las causas que implican: *No llegada del personal especializado (incluido subcontratos). *Falta de permisos y licencias.		

Fuente: Propia

En el cuadro anterior se resalta como una causa de incumplimiento el hecho de no tener coordinada las especialidades mediante el empleo de BIM. Como se explicó anteriormente la baja en el PPC en las primeras semanas se debe principalmente a que se daban por compatibilizadas las disciplinas. Sin embargo a la hora de ejecutar surgían interferencias interdisciplinarias. A partir desde el momento en que el equipo bien entra a tallar, se nota una mejora del PPC. Esto debido a que dentro del análisis de restricciones ya se consideraba la compatibilización BIM como un punto a analizar.

Tabla 15

Causas de incumplimiento semanal

DETALLE CAUSA DE NO CUMPLIMIENTO	TIPO	Sem N° 16	Sem N° 17	Sem N° 18	Sem N° 19	Sem N° 20	Sem N° 21	Sem N° 22	Sem N° 23
Error en diseño - Incompatibilidad de Planos	Proyectos	1							
Causas sociales	Externo							3	1
Incongruencia de planos con campo	Ingeniería								
Interferencias	Producción	2	2						
Cambio en proceso constructivo	Producción			1					
Problemas con subcontratista	Contrato	1	1		1	1	1		

Fuente: Propia

Comparando la incidencia de causas de incumplimiento, se puede apreciar la cantidad de actividades que influyo la no Coordinación, o la no compatibilización adecuada del proyecto que se ve en las primeras semanas del cuadro anterior.

Se puede resaltar de este último cuadro que las causas de no cumplimiento se centran en las primeras dos semanas en incompatibilidad de planos e interferencias. Lo que demuestra la necesidad de realizar un ajuste de coordinación por especialidades para evitar retrasos innecesarios, como se hizo en las semanas siguientes. Además, van disminuyendo las de este tipo conforme avanza el tiempo de desarrollo del equipo BIM.

4.3.2 Curva S: SPI

El Índice de Desempeño del Cronograma (SPI, por sus siglas en inglés) mide la eficiencia del trabajo y el progreso de un proyecto, comparando el trabajo real realizado con el trabajo planeado del proyecto. Si el SPI es mayor o igual a 1, el proyecto está exactamente ajustado al cronograma. Un SPI mayor a 1 indica que el proyecto marcha antes de lo planeado, mientras que un SPI menor a 1 indica que el proyecto está retrasado.

Figura 59. Curva S al finalizar el mes de Abril

Fuente: (LÍDER Grupo Constructor, 2015)

Basados en la curva S registrada al termino del mes de abril se puede apreciar que la curva del avance Real está por debajo del avance Planeado, lo cual indica a simple vista que hay un ligero retraso. Esto también se sustenta con el índice de SPI presentado que es igual 0.91.

Cabe resaltar que en los primeros 2/3 de mes, la curva Real se encuentra distante a la curva Planificada. Y a medida que va finalizando el mes las curvas tienden a acercarse, esta aproximación se debe particularmente a 2 cosas, la primera al desarrollo de la curva de aprendizaje generado por los obreros y la segunda debido al apoyo que brindo la metodología BIM al momento de levantar restricciones y mejor el PPC.

De manera similar se aprecia la Curva S registrada al final del mes de mayo donde se observa que el avance Real supera en ocasiones al avance planeado.

Figura 60. Curva S al finalizar el mes de mayo 2015

Fuente: (LÍDER Grupo Constructor, 2015)

En este caso el $SPI = 1.01$ presentado en el mes de mayo nos indica que el proyecto se encuentra ligeramente adelantado. Este mismo panorama se repite en el mes de junio, en donde hasta la fecha se presenta un $SPI = 1.09$ que nuevamente refleja un panorama alentador.

Figura 61. Curva S al finalizar el mes de Junio

Fuente: (LÍDER Grupo Constructor, 2015)

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Resulta factible integrar la metodología BIM y la filosofía Lean Construction, mejorando la producción en obra, debido a que permite levantar incompatibilidades o interferencias que se pueden traducir en restricciones a la hora de realizar el planeamiento semanal. Estas afectan directamente nuestro tren de actividades y avance de obra, por re trabajos o paralización de avance hasta que se da la solución correspondiente en campo o se consulta a expertos.
- La integración descrita resulta favorable debido a que para cada herramienta de Lean Construction se puede utilizar una herramienta BIM, generando sinergia entre ambas. Se puede realizar la Planificación Maestra a través de un modelo 4D, utilizar el modelo 3D del proyecto para realizar la sectorización y el tren de actividades, etc.
- Se logró verificar un cambio en la curva del PPC semanal favorable por encima de lo requerido (85%), demostrando que al levantar las restricciones generadas por las interferencias o incompatibilidades mantenemos un flujo de producción estable. Asimismo, el índice SPI genero un cambio de 0.91 a 1.01 demostrando mejora con la implementación.
- Las reuniones de planificación semanal se vuelven más dinámicas al poder contar con una ayuda visual de lo que se estará ejecutando, dando puntos de vista para la ejecución y soluciones a problemas de procesos constructivos.
- El empleo de una Simulación en 4D contribuyo al momento de ejecutar el secuenciamiento, pudiéndose detectar problemas de ejecución de manera anticipada y generando su acción correctiva. Permitió balancear volúmenes de trabajo de tal modo que las horas hombre y los materiales estén equilibrados en cada actividad. Además, se puede llevar el control de lo planificado con un soporte visual de lo ejecutado.
- A través del uso de la metodología BIM, no solo se ha aprendido a mejorar el planeamiento y control, también se ha logrado controlar el manejo óptimo de personas, materiales y equipos, sugiriendo formas de cómo atacar el proyecto y en qué momento propicio poder definir suministros de materiales o coordinar subcontratos.

- Mediante el uso de métodos de trabajo convencionales no se hubiera podido detectar tempranamente las interferencias que afectan directamente la programación. Es por esto que aplicar nuevas tecnologías como el uso de BIM trae beneficios tanto en plazo como en costo, al evitar retrabajos por correcciones en plena ejecución. En conjunto con el jefe de proyecto y un rápido análisis de precios unitarios se pudo estimar un ahorro significativo alrededor de los 260 000 soles en temas de 44 RFIs resueltos hasta culminar este estudio.

5.2 Recomendaciones

- Es necesario entender que BIM sugiere un manejo de 80% en términos de recurso humano y formas de trabajo, y 20% en manejo de tecnologías. Por lo que se debe enfocar más en la gestión del proyecto o la construcción apoyándose en los modelos virtuales, que solo al modelamiento como una actividad aislada.
- Cada vez que se realicen las reuniones interdisciplinarias, es vital participar a todos los colaboradores, ya que, por ejemplo, muchas veces se deja de lado al personal obrero sin tener en cuenta que este es quien ejecuta la obra y deben ser conscientes del proceso constructivo y de posibles inconvenientes que tengan a la hora de ejecutar una actividad.
- Es necesario ser ordenado al momento de llevar el control de los RFIs, para lo cual se debe contar con una matriz de seguimiento de RFI, donde se debe detallar las características de las interferencias o incompatibilidades, causa, gravedad y acción a tomar para levantar dicha observación.
- Para el modelado del 3D es necesario tener bien definido el alcance, ya que de este dependerá el nivel de detalle y nivel de desarrollo en que se modele.
- Asimismo, es recomendable modelar tal y como se va a construir. Ya que al momento de generar las secuencias, la simulación 4D tiene que tener en cuenta cada detalle del proceso constructivo. De esta manera se pueden detectar problemas en las reuniones de planificación semanal.

5.3 El siguiente paso: BIM y la sustentabilidad

Hoy en día es vital modelar temprana y continuamente con el fin de apoyar decisiones oportunas y económicas que optimicen el valor del cliente y que hagan nuestros proyectos sustentables. Las tecnologías BIM están logrando establecerse en el desarrollo de proyectos de alta complejidad constructiva, en los que se introduce gran cantidad de información. Pero

con el desarrollo generalizado de estrategias sustentables, se requiere que evaluemos la información que generamos en cada proyecto de manera de poder garantizar la reducción de los impactos ambientales.

Una vez que ya hemos emprendido el cambio metodológico que implica el uso de tecnologías BIM, si se considera un flujo de trabajo colaborativo entre los Stakeholders del proyecto se debe hacer, del proceso de generación de datos, uno que repercuta en un edificio con un mejor desempeño energético.

La modelación de BIM se realiza básicamente a partir de elementos constructivos con atributos físicos reales y si a esto le sumamos información geográfica y características de funcionamiento del edificio, podemos utilizar estos datos para analizarlos energéticamente desde etapas tempranas como la Definición o el diseño.

Gracias al software de hoy en día, podemos realizar análisis lumínicos, donde es posible analizar esquemáticamente el sombreado de la volumetría de distintas horas y días del año. Se puede realizar análisis de carga térmica de acuerdo a los materiales empleados.

Ya que en estos tiempos dentro del sector construcción se está dando más importancia al medio ambiente, es vital resaltar que BIM trata de introducir estrategias energéticas desde etapas tempranas, durante la construcción, así como también durante la operación y el mantenimiento.

5.4 Hacia un estándar BIM Nacional

EL BIM en el Perú está teniendo un desarrollo muy acelerado, implementar esta tecnología supone muchos cambios dentro de las formas de trabajo. La forma como se viene utilizando los procesos son desordenados y exploratorios, muchas veces, se utiliza la tecnología BIM con el flujo de trabajo convencional, como si fuera un CAD.

A fin de mejorar sus formas de trabajo muchas empresas han optado por contratar a consultorías nacionales e internacionales que ayuden a organizar y dar orden a los procesos de trabajo, pero lo malo es que son hechos de manera personalizada a las metodologías particulares de cada empresa. Los más exitosos al momento de utilizar BIM son los estudios arquitectónicos, quienes quizá por ser los pioneros han logrado establecer algunos intentos de forma de trabajo.

Actualmente se desconoce de alguna intervención de los órganos el gobierno enfocados a construcción y que sugieran formas de trabajo bajo la metodología BIM. Todo este desorden pone en evidencia la carencia de un elemento ordenador y estandarizado a nivel nacional. Es necesario un estándar que norme la forma de aplicar BIM en el desarrollo de proyecto, este ayudaría a la industria nacional a sacar el máximo provecho a este sistema, tal y como lo comprueban las experiencias de estandarización en otros países como: Estados Unidos, Noruega, Reino Unido, Finlandia, Singapur entre otros.

6 REFERENCIAS

(s.f.).

Abdelhamid, T. (2006). *Lean Construction Principles and Methods*.

Alcántara Rojas, V., & Fuentes Hurtado, D. (2012). *Clasificación e impacto de las deficiencias de diseño en la construcción de proyectos de edificaciones*.

Alcantara, V. (2013). *Metodologia para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construccion virtual usando tecnologias BIM*. Lima: Tesis para optar titulo profesional.

Ballard, G. (2000). *The Last Planner System of Production Control*. Birmingham.

Bhatla, A., & Leite, F. (2012). *Integration framework of BIM with the Last Planner System*.

Coloma, E. (2009). *Introduccion a la Tecnologia BIM*. Catalunya: UNiversidad Politecnica de Catalunya.

DCV Consultores. (2014). *Estandares BIM*. Lima.

Eastman, C. (2011). *BIM Handbook A Guide to Building Information*.

Gùzman, C. (2014). *Metodologia Lean Construction*. Lima.

LÌDER Grupo Constructor. (16 de Marzo de 2015). *Lider Grupo Constructor*. Obtenido de <http://www.lider.com.pe>

Macleamy. (16 de noviembre de 2014). *Bim Task Group*. Obtenido de <http://www.bimtaskgroup.org/bim-faqs/>

McGraw-Hill Construction. (2012). *The Business Value of BIM in North America: Multi-Year Trend Analysis and User Rating*. McGraw-Hill Construction.

Mossman, A. (2013). *Last Planner 5 + 1 crucial and collaborative conversations for predictable design and construction delivery*.

NBS. (2013). *National BIM Report*. Newcastle: NBS National BIM Library.

Orihuela, P., & Ulloa, K. (2011). *La Planificación de las obras y el sistema Last Planner*.

- Pennsylvania State University. (2011). *Building Information Modeling Project Execution Planning Guide*. Pennsylvania.
- Pons Achell, J. F. (2014). *Introduccion a Lean Construction*. Madrid: Fundacion Laboral de la Construcccion.
- Practical BIM. (2 de Diciembre de 2014). Obtenido de <http://www.practicalbim.blogspot.com>
- PROISAC. (2014). Usos y beneficios del BIM. *EXCON*. Lima.
- Rios, L., & Rubio, R. (2011). Tren de Actividades. Capitulo Peruano de Lean Construction Institute.
- Sacks, R. (2014). *BIM and Lean Construction, Can BIM remove waste from construction processes?* TeklaEuropean BIM Forum 2014.
- Sacks, R., Koskela, L., & Dave, B. a. (2010). Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management ASCE 136(9)*, 968-980.
- Sacks, R., Treckmann, M., & Rozenfeld, O. (2009). Visualization of Work Flow to Support Lean Construction. *"Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 135(12)*, 1307-1315.
- Salinas, J. R., & Ulloa, K. A. (2014). *Implementacion de BIM en Proyectos Inmobiliarios*.
- Sampieri, R. (2010). *Metodologia de Investigacion*. Mexico DF: MacGraw Hill.
- Taboada, J., Alcantara, V., Lovera, D., Santos, R., & Diego, J. (2011). *Deteccion de interferencias e incompatibilidades en el diseño de proyectos de edificaciones usando tecnologias BIM*.
- Teicholz, P. (2013). *Labor-Productivity declines in the Construction Industry: Causes and Remedies*.
- Universidad de Chile. (2013). Encuesta BIM Chile.

7. ANEXOS

ANEXO 1

IMÁGENES DE LOS RFI DETECTADOS:

CASA:

PROBLEMA

SOLUCION

RFI 1:

RFI 2:

RFI 3

RFI 4

PROBLEMA

RFI 5:

RFI 6:

RFI 7:

RFI 8:

SOLUCION

PROBLEMA

SOLUCION

RFI 9:

RFI 10:

RFI 11:

RFI 12:

PROBLEMA

RFI 13

RFI 14:

RFI 15:

RFI 16:

SOLUCION

PROBLEMA

RFI 17:

RFI 18:

DEPARTAMENTO:

RFI 19:

RFI 20:

SOLUCION

PROBLEMA

RFI 21:

SOLUCION

RFI 22:

RFI 23:

PROBLEMA

RFI 24:

RFI 25:

RFI 26:

SOLUCION

RFI 27:

RFI 28:

RFI 29:

RFI 30:

RFI 31:

SOTANO:

RFI 32:

PROBLEMA

RFI 33:

SOLUCION

RFI 34:

RFI 35:

RFI 36:

RFI 37:

RFI 38:

RFI 39:

RFI 40:

RFI 41:

RFI 42:

RFI 43:

RFI 44:

ANEXO 2

ANÁLISIS DE COSTOS DE RFI

Conforme se iban detectando, generando y llenando el cuadro de control y seguimiento de RFI, se generaba un formato de adicional, control de cambio o costo del RFI. De esta manera se puede tener un sustento tangible si se requiere solicitar un adicional a un cliente o demostrar ante gerencia de forma detallada el ahorro por la detección temprana de las incompatibilidades o interferencias.

El formato empleado es de un presupuesto adicional simple por partidas con desarrollo de precios y metrados:

Formato de Cambio

Lider

GRUPO CONSTRUCTOR

LAS CONDES

CONSTRUCTORA PERUANA S.A.

PRESUPUESTO ADICIONAL N°1 :

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS (UPC)

Laureate International Universities®

Proyecto :

Especialidad :

Lugar :

N° RFI :

Revisado por :

Revisión :

LAS CONDES

ARQUITECTURA

ÑAÑA

N° 1

Fecha:

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	P.U. S/.	PARCIAL S/.
01	ELEVACIÓN DE MURETE DE MEDIDOR				
01.01	MAMPOSTERIA				
	MURETE DE PUERTA PRINCIPAL PARA MEDIDOR - 79 VIVIENDAS	M2	106,65	90,37	9.636,16
02	DEMOLICIÓN DE EXCESO DE ALTURA				
02.01	MAMPOSTERIA				
	MURETE DE PUERTA PRINCIPAL PARA MEDIDOR - 79 VIVIENDAS	M2	106,65	16,41	1.750,43
03	TARRAJEO				
03.01	MAMPOSTERIA				
	MURETE DE PUERTA PRINCIPAL PARA MEDIDOR - 79 VIVIENDAS	M2	29,63	28,30	838,49
04	RETOQUE DE PINTURA				
04.01	MAMPOSTERIA				
	MURETE DE PUERTA PRINCIPAL PARA MEDIDOR - 79 VIVIENDAS - PINTURA TODO EL MURETE	M2	314,03	9,46	2.969,59
				COSTO DIRECTO S/.	S/ 15.196,67
				GG + UTILIDAD (16%)	S/ 911,80
				SUB TOTAL	S/ 16.108,47
				IMPUESTO IG.V (18%)	S/ 2.899,52
				PRESUPUESTO TOTAL	S/ 19.007,99

Fuente Propia

De esta manera, se llevó un correcto control de costo para la detección de interferencias e incompatibilidades.

De las 44 detectadas, solo se tomaron en consideración aquellas que representan un cambio en el diseño o proceso constructivo sin que esta sea una mejora sugerida por el equipo BIM. Esto debido a que se está cuantificando a través de estos presupuestos el ahorro que se genera al no tener re trabajos, aquellos que hubieran salido en plena ejecución.

Se puede tener una semejanza al coste de no conformidad que se genera por incumplimientos de calidad, siendo este un formato similar y un análisis parecido.

Del coste total de RFI, se obtuvo el siguiente cuadro resumen:

Costeo de RFI por probables re trabajos

GRAVEDAD	SOBRE COSTO	INCIDENCIA
Grave	S/ 75.477,09	28,97%
Leve	S/ 31.661,08	12,15%
Moderada	S/ 78.194,83	30,01%
Muy grave	S/ 75.203,18	28,86%
Total	S/. 260.536,19	

Fuente Propia

El ahorro supuesto que se tendría es de S/260,536.19. Este monto no considera paralizaciones de actividades, ni gestiones de staff. Solo contempla el costo directo de actividades por re trabajos supuestos que se tuvieran que haber hecho si no se detectaban las incompatibilidades e interferencias.

Por temas de confidencialidad no se nos proporcionó el costo total del proyecto a fin de poder verificar la magnitud del ahorro. Sin embargo, calculando el costo de la implementación BIM en el proyecto, a través de un análisis de costo se tiene lo siguiente:

PARTIDA: Modelamiento Virtual						
RENDIMIENTO (dia)		MO :	1,00	EQ :	1,00	
		HH :	16,0000	HM :	0,0000	
		COSTO DIRECTO :				381,50
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
1	Mano de Obra					
	Modeladores Estructuras y Arquitectura	hh	1,00	8,0000	14,58	116,67
	Modeladores IISS, IIEE	hh	1,00	8,0000	16,67	133,33
						250,00
2	Materiales					
	Laptop	und		2,0000	45,00	90,00
	Software	und		2,0000	8,25	16,50
						106,50
3	Equipos					
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		10,0000	250,00	25,00
						25,00

S/ 381 por día, en un lapso de modelamiento de 14 días, genera un total de S/ 5341

PARTIDA: Coordinación BIM (detección interferencias, incompatibilidades reuniones semanales)						
RENDIMIENTO (día)			MO :	1,00	EQ :	1,00
			HH :	16,0000	HM :	0,0000
			COSTO DIRECTO :		454,83	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
1	Mano de Obra					
	Coordinador BIM	hh	1,00	8,0000	22,92	183,33
	Modelador	hh	1,00	8,0000	16,67	133,33
						316,67
2	Materiales					
	Laptop	und		2,0000	45,00	90,00
	Software	und		2,0000	8,25	16,50
						106,50
3	Equipos					
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		10,0000	316,67	31,67
						31,67

Por coordinación y reuniones semanales se tiene S/454.83 por día, en un lapso de 30 días, sumando un total de S/13645.

Se obtuvo un total de S/ 18.986,00, solo en el transcurso que demoro la investigación, lo cual representa un 7.29% del monto total del ahorro por trabajos re hechos, demostrando lo conveniente que resulta poder utilizar la metodología BIM en conjunto con la filosofía Lean Construction.

ANEXO 3

DIAGRAMA DE FLUJO DE MODELACION Y COORDINACION BIM

Diagrama de Flujo de procesos BIM

Fuente: (Pennsylvania State University, 2011)

ANEXO 4

MATRIZ DE SEGUIMIENTO DE RFI

N°	FECHA DE CONSULTA	UBICACIÓN	ELEMENTO	DPTO / AREA	DESCRIPCIÓN	ESPECIALIDAD	STATUS	RESPUESTAS	FUENTE DE CONSULTA	GRAVEDAD DE RFI	SOBRE COSTO ESTIMADO DE RFI	TIEMPO DE RESPUESTA RFI
1	23/04/2015	CASA	Muro	Puerta Principal	Murete de la puerta principal que contiene los medidores de gas no tiene altura definida, por lo que se asume hasta nivel superior, debido a falta de detalle en planos	ARQUITECTURA	APROBADA	La altura que debe colocarse es la correspondiente a los planos de arquitectura actualizados (1.2m)	Falta/Error en la información	Leve	S/ 15.196,67	1
2	23/04/2015	CASA	Muro	Puerta Principal	Los medidores de gas no pueden ser contenidos en la misma pared por tener 15cm de espesor, se traslapan	GAS	APROBADA	Reubicar los medidores uno al lado del otro para evitar que se traslapan	Falta/Error en la información	Moderada	S/ 6.928,69	1
3	23/04/2015	CASA	Tubería Gas	Ingreso	Línea de gas debe ser reubicada a la vereda	GAS	APROBADA	Colocarla en la vereda como se indica en los planos modificados y actualizados	Falta/Error en la información	Moderada	S/ 9.935,08	2
4	23/04/2015	CASA	Tubería Ventilación	SH-2	La tubería de ventilación en el baño principal del segundo nivel se encuentra a la misma altura que las cajas de tomacorrientes generando cruce	SANITARIAS	APROBADA	Colocar la Tubería a 1.4m y las cajas de interruptores a 1.2m, siguiendo planos de arquitectura actualizados	Coordinación entre especialistas	Moderada	S/ 2.588,15	2
5	23/04/2015	CASA	Tubería Gas	-	Tubería del gas debe ir pegado a la malla inferior del refuerzo en losa	GAS	APROBADA	Modificar el modelo para que cumpla con las especificaciones indicadas por el experto	Falta/Error en la información	Moderada	S/ 17.472,61	3
6	23/04/2015	CASA	Montante de Desague	Lateral	La montante de desague se encuentra expuesta sin ninguna protección	ARQUITECTURA	APROBADA	Levantar murete de protección de 10 cm solo el primer piso	Coordinación entre especialistas	Grave	S/ 21.864,43	2
7	23/04/2015	CASA	Llave de Agua	Cocina	Reubicar la llave de agua fría de la cocina en el primer piso para una mejor línea de flujo del agua	SANITARIAS	APROBADA	Hacer que la línea de agua venga del baño a través de la pared donde se colocará la llave	Propuesta/Sugerencia de mejora mediante un 3D	Moderada	NO GENERA	2

8	23/04/2015	CASA	Tubería de agua	SH-2	Tubería de agua fría en el baño principal del segundo piso debe ser reubicada por cruce con tubería de desagüe. Buscar posible reubicación por pared.	SANITARIAS	APROBADA	La tubería de agua será reubicada	Coordinación entre especialistas	Grave	S/ 4,660.00	1
9	30/04/2015	CASA	Tomacorriente	SH-1	Tomacorriente en baño principal del segundo piso se encuentra volando según planos,	ELÉCTRICAS	APROBADA	Reubicar a la pared cercana	Falta/Error en la información	Leve	S/ 5,129.65	1
10	30/04/2015	CASA	Tubería de tomacorriente	SH-	Modificar el recorrido de la tubería para tomacorriente, tratar de alejarla de el inodoro y la tubería de desagüe	ELÉCTRICAS	APROBADA	Hacer que vaya a 50 cm mínimo alejado de la pared	Falta/Error en la información	Moderada	S/ 6,467.18	1
11	30/04/2015	CASA	Tubería Desagüe	Cocina	La tubería de desagüe del lavatorio en la cocina debe estar a 40 cm de la puerta	SANITARIAS	APROBADA	Modificar la distancia y verificar en actualización de planos	Coordinación entre especialistas	Leve	S/ 2,831.31	1
12	30/04/2015	CASA	Duchas	SH-2, SH-	Las duchas de los baños del segundo piso interfiere con ventana de ventilación. Posibilidad de reubicar	ARQUITECTURA	APROBADA	Hacer el cambio a la pared apuesta	Coordinación entre especialistas	Grave	S/ 9,647.70	3
13	30/04/2015	CASA	Tubería Desagüe	Ducto jardín	Tamaño del ducto para tubería de desagüe muy pequeño, haciendo que se corte la tubería con el muro lateral de 10cm.	SANITARIAS	APROBADA	Se generó su pase en losa y ya no en muro	Propuesta/Sugerencia de mejora mediante un 3D	Leve	NO GENERA	2
14	30/04/2015	CASA	Tubería Ventilación	Cocina	Tubería que pasa por alfeizar puede debilitar muro y puede generar problemas futuros. Se considera su análisis para factibilidad de construcción	SANITARIAS	APROBADA	Refuerzo en muro	Propuesta/Sugerencia de mejora mediante un 3D	Grave	NO GENERA	4
15	30/04/2015	CASA	Tubería de agua	SH-2	Tubería de agua fría del baño secundario del segundo piso se encuentra encima de la tubería de desagüe generando muy poco espacio para la losa en sí	SANITARIAS	APROBADA	Cambio del recorrido alejándose del desagüe	Coordinación entre especialistas	Moderada	S/ 5,219.20	2
16	30/04/2015	CASA	Tubería de agua	SH-2	Tubería de agua fría del baño secundario del segundo piso debe ser reubicada por posible cruce con desagüe al no haber suficiente espacio en losa	SANITARIAS	APROBADA	Cambio del trazo por losa sino por muro	Coordinación entre especialistas	Moderada	S/ 2,796.00	2
17	30/04/2015	CASA	Llave de Agua	SH-1	Las llaves de agua fría y caliente no tienen suficiente espacio para mantenimiento	SANITARIAS	APROBADA	Reubicar la llaves de agua del baño secundario del segundo piso hacia el muro por falta de espacio para mantenimiento	Propuesta/Sugerencia de mejora mediante un 3D	Moderada	NO GENERA	2

18	30/04/2015	CASA	Tubería de desagüe	Ducto lateral	Montante de desagüe pasas por delante de ventena de ventilación del baño. Segundo piso	SANITARIAS	APROBADA	Mover ventana 20cm lateralmente	Falta/Error en la información	Leve	S/ 3.125,29	1
19	30/04/2015	DEPARTAMENTO	Tubería de agua	SH-2	Línea de agua fría pasa debajo del inodoro y al ser colocado este puede dañar la tubería de agua	SANITARIAS	APROBADA	Reubicar línea de agua	Propuesta/Sugerencia de mejora mediante un 3D	Moderada	NO GENERA	2
20	30/04/2015	DEPARTAMENTO	Tubería de agua	SH-2	Cruce de tubería de agua fría con otras especialidades	SANITARIAS	APROBADA	Pasar la línea de agua para que pase por la pared	Falta/Error en la información	Moderada	S/ 3.610,02	2
21	30/04/2015	DEPARTAMENTO	Duchas	SH-2, SH-1	Las duchas de los baños superiores se cruzan con las ventanas de ventilación	SANITARIAS	APROBADA	Cambio de lugar de las duchas a la pared opuesta	Coordinación entre especialistas	Grave	S/ 13.822,44	3
22	30/04/2015	DEPARTAMENTO	Tubería Ventilación	Cocina	La ventilación pasa por un alfeizar pudiendo causar problemas estructurales	SANITARIAS	APROBADA	Refuerzo en muro	Propuesta/Sugerencia de mejora mediante un 3D	Grave	NO GENERA	4
23	30/04/2015	DEPARTAMENTO	Tubería de agua	Cocina	las tuberías de Agua fría y desagüe se encuentran pasando por el mismo punto Traslapándose	SANITARIAS	APROBADA	Reubicar trazo de agua fría según especialista	Cruce físico	Moderada	S/ 8.494,18	2
24	30/04/2015	DEPARTAMENTO	Tubería de agua	Lavandería	La línea de agua fría se cruza con la tubería de ventilación, la línea de agua caliente se cruza con agua fría, y además se genera un cruce con línea de gas	SANITARIAS	APROBADA	Reubicar trazo de agua fría según especialista	Cruce físico	Grave	S/ 25.482,53	3
25	07/05/2015	DEPARTAMENTO	Tomacorriente	Lavandería	El punto de tomacorrientes en la lavandería está sobreponiéndose a la tubería de gas	ELÉCTRICAS	APROBADA	Reubicar tomacorriente 30cm lateralmente	Coordinación entre especialistas	Moderada	S/ 5.843,91	1
26	07/05/2015	DEPARTAMENTO	sumidero	Azotea	el sumidero de la azotea choca con las viguetas que rodean el ducto de ventilación	SANITARIAS	APROBADA	Mover de lugar el sumidero	Falta/Error en la información	Leve	S/ 5.378,17	1
27	07/05/2015	DEPARTAMENTO	Registro	Lavandería	la lavandería no cuenta con registro	SANITARIAS	APROBADA	Agregar registro	Propuesta/Sugerencia de mejora mediante un 3D	Moderada	NO GENERA	1

28	07/05/2015	DEPARTAMENTO	Tubería de agua	SH-1	el trazo de la tubería de agua fría pasa por debajo del inodoro y puede recibir daño por la colocación de los pernos de fijación del inodoro	SANITARIAS	APROBADA	sacar la línea de agua a 45 cm mínimo de la pared para evitar pernos	Propuesta/Sugerencia de mejora mediante un 3D	Grave	NO GENERA	2
29	07/05/2015	DEPARTAMENTO	Luminaria	Escalera, piso 1,2 y 3	Luminaria tiene muy poca altura	ELÉCTRICAS	APROBADA	Subir las luminarias a 2.10m	Falta/Error en la información	Moderada	S/ 2,921.95	1
30	07/05/2015	DEPARTAMENTO	Luminaria	Piso 2, Piso3	Luz de emergencia se encuentra traslapando la puerta de ducto de telecomunicaciones	ELÉCTRICAS	APROBADA	Reubicar luz de emergencia al muro de al lado	Falta/Error en la información	Moderada	S/ 973.98	1
31	07/05/2015	DEPARTAMENTO	Tubería de desagüe	Piso 1	Salidas de desagüe se encuentran con una misma cota y además se cruzan entre sí.	SANITARIAS	APROBADA	Bajar la cota a una de las salidas de desagüe	Coordinación entre especialistas	Moderada	S/ 4,943.87	3
32	14/05/2015	SOTANO	Tubería Desagüe	cimentación	el trazo de la tubería de desagüe en el sotano cruza con varias zapatas	SANITARIAS	APROBADA	Cambiar el trazo de la línea de desagüe	Cruce físico	Muy grave	S/ 5,767.85	5
33	14/05/2015	SOTANO	sumidero	cimentación	varios puntos de salida de sumideros están cruzando zapatas	SANITARIAS	APROBADA	Reubicar los puntos de sumidero en sotano	Cruce físico	Muy grave	S/ 1,075.63	4
34	14/05/2015	SOTANO	Tubería de agua	cimentación	Acometida de agua fría cruza elementos electromecánicos	SANITARIAS	APROBADA	Girar las tuberías electromecánicas para generar espacio a las tuberías de agua, además colgar las tuberías de agua que salen con bombeo	Cruce físico	Muy grave	S/ 9,372.59	6
35	14/05/2015	SOTANO	Tubería Desagüe	cuarto de máquinas	Las llegadas del desagüe no tienen poza de bombeo	SANITARIAS	APROBADA	Equipo de Sanitarias envía propuesta para que Equipo de estructuras diseñe	Falta/Error en la información	Muy grave	S/ 2,733.68	6
36	14/05/2015	SOTANO	Tubería ACI	Escalera	En la escalera que da para el primer piso se cruzan las tuberías de ACI en un nivel muy bajo	SANITARIAS	APROBADA	Cambiar trazo de ACI según respuesta de especialista	Falta/Error en la información	Muy grave	S/ 5,000.00	5
37	14/05/2015	SOTANO	Pozo a tierra	cimentación	Pozos a tierra Torre 13,14,15 aparecen colgando del sotano, siendo estos mal ubicados	ELÉCTRICAS	APROBADA	Cambio de lugar según equipo de eléctricas hacia los jardines al costado de los bloques de departamentos	Coordinación entre especialistas	Muy grave	S/ 8,000.00	6
38	21/05/2015	SOTANO	columna	Casa club	Desfase entre columnas que provienen del sotano hacia la casa club	ESTRUCTURAS	APROBADA	Alinear la casa club a la posición del sotano según se acordó con el especialista	Falta/Error en la información	Muy grave	S/ 11,327.21	4

39	21/05/2015	SOTANO	Muro	fondo	Discontinuidad en el muro de sotano que continua o traslapa con bloque de departamentos	ESTRUCTURAS	APROBADA	Se volvio a trazar la ubicación de las torres 13-15	Falta/Error en la información	Muy grave	S/ 10,500.00	5
40	21/05/2015	SOTANO	Tubería	cimentacion	Drenaje del jardín atraviesa zapata antes de conectarse con la red principal	ESTRUCTURAS	APROBADA	Pasar el drenaje entre zapata y losa	Cruce físico	Muy grave	S/ 2,798.67	3
41	21/05/2015	SOTANO	Poza	Cisterna	Diseño de Poza genera interferencia con cimiento corrido de cisterna	ESTRUCTURAS	APROBADA	Mover Poza para evitar cruce	Cruce físico	Muy grave	S/ 2,164.46	4
42	21/05/2015	SOTANO	Tubería de desagüe	cimentacion	La línea de desagüe cruza en varios puntos a las vigas de sotano	ESTRUCTURAS	APROBADA	Bajar la cota del desagüe y cambiar las entradas de tubería	Cruce físico	Muy grave	S/ 1,422.56	4
43	21/05/2015	SOTANO	Tubería de desagüe	cimentacion	La línea de buzones de desagüe se cruzan con los cimientos	ESTRUCTURAS	APROBADA	Cambiar el recorrido de la línea de buzones de desagüe	Cruce físico	Muy grave	S/ 2,040.54	5
44	21/05/2015	SOTANO	Electromecánicas	cisterna	Elementos electromecánicos dificulta el pase por escaleras	ELÉCTRICAS	APROBADA	Cambiar la forma de pase de la estructura electromecánica	Cruce físico	Muy grave	S/ 13,000.00	5
											S/ 260,536.19	