

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, que siempre ilumina nuestro camino.

A mi familia por su profundo apoyo y amor.

A mi padre, que ya no está con nosotros pero sé que desde allá estará
orgullosa.

A mi madre, mi hermana y mi novia, que me hicieron sentir su apoyo
constante.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por el apoyo siempre brindado, el cual fue aprovechado para cultivar mis dotes de investigador y gusto por la tecnología vanguardista en lo que me apasiona, la ingeniería civil.

Agradezco a mi alma mater y al convenio con Portal de Ingeniería – Red Profesional de GyM, los cuales me permitieron conocer los primeros indicios de las nuevas tendencias en construcción, BIM y LEAN

Agradezco también a mi asesor de tesis, el Ms. Carlos Vargas Cárdenas, por sus sabios consejos y constante apoyo en múltiples ocasiones.

Y a mi novia y familia mi eterno agradecimiento por tolerarme muchos días de ausencia, cuyo esfuerzo están plasmados en esta tesis.

INDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
INDICE.....	III
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	IX
I. INTRODUCCION.....	1
1.1 Antecedentes y Justificación del Problema.....	2
1.1.1 Antecedentes.....	2
1.1.2 Justificación.....	4
1.2 Formulación del Problema.....	5
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Hipótesis.....	6
1.4.1 Definición de las variables:.....	6
1.4.2 Definiciones Conceptuales.....	6
1.4.3 Operacionalización de las Variables.....	7
1.5 Marco Teórico.....	8
1.5.1 Modelado de la Información de la Edificación (BIM).....	8
1.5.1.1 Definición.....	8
1.5.1.2 Aplicaciones BIM para la industria de la construcción.....	10
1.5.1.3 Aplicaciones BIM para la etapa de construcción.....	12
1.5.1.4 Beneficios del uso del BIM en el diseño y la construcción	16

1.5.1.5 BIM como herramienta TIC para la construcción.....	17
1.5.1.6 La sinergia Lean – BIM.....	18
1.5.1.6 Adopción de tecnologías BIM en el Perú y el mundo	19
1.5.2 Lean Project Delivery System (LPDS)	22
1.5.2.1 Lean Construction	23
1.5.2.2 Last Planner System	25
1.5.2.3 Look ahead.....	28
1.5.2.4 Tren de Actividades.....	29
II. MATERIAL Y METODOS.....	34
2.1 Material de Estudio.....	34
2.1.1 Población	34
2.1.2 Diseño de la Muestra	34
2.2 Métodos y Técnicas.....	34
2.2.1 Método	34
2.2.2 Técnica	34
2.2.3 Procedimiento	35
2.2.3.1 Recolección de Datos.....	35
2.2.3.2 Modelado BIM	38
2.2.3.3 Planificación según Lean Construction.....	49
III. RESULTADOS.....	54
3.1 Metrados del Proyecto.....	54
3.1.1 Metrados del Proyecto (Revit).....	54
3.1.1.1 Placas.....	54
3.1.1.2 Losas.....	55
3.1.1.3 Puertas	55

3.1.1.4 Ventanas	55
3.2.1.5 Sanitarios	56
3.1.2 Metrados del Proyecto (Excel)	56
3.1.2.1 Placas.....	56
3.1.2.2 Losas.....	57
3.1.2.3 Puertas	58
3.1.2.4 Ventanas	58
3.1.2.5 Sanitarios	59
3.2 Sectorización	59
3.2.1 Edificio D – Placas	59
3.2.2 Edificio C - Placas	61
3.2.3 Bloque CD - Losa.....	63
3.3 Tren de Actividades.....	64
IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	71
4.1 Metrados del Proyecto.....	71
4.1.1 Placas	71
4.1.2 Losas	71
4.1.3 Puertas.....	72
4.1.4 Ventanas.....	72
4.1.5 Sanitarios	72
4.2 Sectorización	73
4.3 Tren de Actividades.....	74
4.4 Planificación 4D.....	74
V. CONCLUSIONES	76
VI. RECOMENDACIONES.....	79

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS..... 80

RESUMEN

La presente investigación se basará en aplicar Planificación 4D en la obra Villa Municipal Bolivariana Torre “C-D”, debido a que en dicho proyecto se presentó dificultad con cumplir con los plazos programados, ya que los planos de ingeniería eran deficientes y se generó un gran número de RFI.

La cantidad de información que el proyecto contenía y la forma en que estaba organizada y representada (Planos 2D) influía directamente en la dificultad e incertidumbre del proyecto, creando variabilidad durante el proceso de construcción y conduciendo a pérdidas durante la ejecución (retrasos, interferencias, etc.).

Nuevas tecnologías presentes en el mercado ofrecen algunas herramientas para mitigar estos problemas, disminuyendo los costos (trabajos re hechos, los plazos (Lean Desing y Last Planner) y mejorando la calidad de los trabajos.

En base a estas nuevas Filosofías y Tecnologías se aplicó un nuevo método de Planificación, que abarca el 3D generado por BIM + la Planificación optimizada Lean (tiempo), generando así una simulación del Proceso Constructivo denominada PLANIFICACIÓN 4D.

Se concluyó que la PLANIFICACIÓN 4D te ayuda a obtener una mejor gestión del modelo, esto se puede evidenciar por varios puntos, entre ellos los principales son: Obtención de reporte de metrados automáticos, mejor visualización del Proyecto ya que te permite visualizar el proyecto en 3D, preconstrucción virtual la cual permite encontrar errores en esta etapa, errores que en el sistema tradicional se encontraban insitu y detenían el flujo del proyecto, y por último la obtención de un video del proceso constructivo que demuestre el ciclo constructivo del proyecto.

Para ello se desarrollarán cuadros comparativos, donde se contraste los beneficios de BIM y su fiabilidad como gestor de Información, asimismo se generará una Planificación Lean basada en la Sectorización del Proyecto, generando así un Tren de Actividades y contrastando la fiabilidad de esta Sectorización.

Posteriori como resultado final se contrastará el Modelo BIM con el Modelo LEAN y se gestionará la información a fin de obtener la Simulación 4D del Proyecto en Mención.

A B S T R A C T

This research is based on applying 4D Planning's work Bolivarian Municipal Villa Torre "CD", because in difficulty with the project meet scheduled deadlines was presented as the engineering drawings were deficient and a large number was generated RFI.

The amount of information that the draft contained and how it was organized and represented (2D Drawings) directly influenced the difficulty and uncertainty of the project, creating variability during the construction process and leading to losses during execution (delays, interference, etc.).

New technologies on the market offer some tools to mitigate these problems, lowering costs (re-made work, deadlines (Lean Desing and Last Planner) and improving the quality of work.

Based on these new philosophies and a new method of Technology Planning, which includes the generated 3D BIM + Lean Planning optimized (time), thus generating a simulation called PLANNING 4D Construction Process was applied.

It was concluded that 4D PLANNING helps you get a better management model, this can be evidenced by several points, including the main ones are: Getting metrados automatic reporting, better visualization of the project as it allows you to visualize your project in 3D , which allows virtual preconstruction find errors at this stage, errors in the traditional system were insitu and stopped the flow of the project, and finally obtaining a video of the building process to demonstrate the construction project cycle.

This comparison charts, where the benefits of BIM and its reliability as a manager of Information contrast is developed also will be generated based

on Lean Planning Project Sectorización, generating a Train Activities and contrasting the reliability of this Sectorización.

Post the final result will be contrasted with BIM Model Model LEAN and information in order to obtain the 4D simulation Mention Project will be managed.

I. INTRODUCCION

La empresa constructora JMA ANDINA S.A.C. necesita mejorar la utilización de sus recursos en su proyecto Villa Municipal Bolivariana, asimismo lograr una planificación óptima y maximizar la eficiencia y productividad de su mano obrera y técnica, la metodología de planificación 4D, alinea los principios Lean con el modelo 3D BIM, logrando una planificación en cuatro dimensiones, donde se muestra detalladamente el proceso y se puede visualizar la vía de construcción más factible, la cual acelerará el proceso de construcción del proyecto.

El proyecto “Villa Municipal Bolivariana” consta de 14 edificios multifamiliares de 12 a 20 pisos y 552 playas de estacionamiento, el proyecto está ubicado en La Av. Villarreal sin número cuadra 1, intersección con Av. Túpac Amaru – Urb. Santa Leonor

Este proyecto presentaba mucha variabilidad, principal fuente de pérdidas debido a la interrupción de los flujos de producción.

Es por esto que surge la necesidad de Gestionar el Proyecto con un enfoque BIM, ya que es razonable llegar a pensar que la infinidad de detalles, la variedad de sistemas de instalaciones y gran cantidad de información no solo pueden estar plasmadas y dispersas en planos 2D no integrados, ya que se omiten detalles e información espacial produciéndose incompatibilidades e interferencias entre éstas que muchas veces se detectan y corrigen en el peor tiempo, en plena construcción.

Estas deficiencias en los documentos de diseño estaban siendo detectadas y resueltas en campo (obra) en plena ejecución del proyecto, en la etapa menos indicada ya que es en la etapa de construcción donde todo cambio cuesta más.

Se trató de aplicar la Filosofía Lean Construction por sí sola, pero nos dimos cuenta que no podíamos hablar de la aplicación del enfoque “Lean Construction” tratando de mejorar la productividad en campo y minimizando sus pérdidas sin que previo a esto se haya realizado un óptimo diseño “Lean” que permita la construcción del proyecto sin deficiencias ni retrasos (Esto se consigue con un Modelo BIM).

La industria de la construcción y negocios inmobiliarios, es muy competitiva actualmente y los proyectos de inversión inmobiliaria tienen una alta demanda, asimismo los proyectos de construcción son cada vez más complejos, no siendo suficiente planos 2D, donde se denota ambigüedad en los planos contractuales.

1.1 Antecedentes y Justificación del Problema

1.1.1 Antecedentes

GRISALES CONSULTING GROUP Gestión dice que al aplicar tecnologías Building Information Modeling ya no se estarán trabajando en vistas en 2D, sino aparte de poder generar la disminución de residuos se podrán trabajar en mejores vistas como 3D, 4D, 5D y 6D, además de ser una gran herramienta gestora de detección de incompatibilidades y de manejo de espacios en la construcción en sí.

PAUL VLADIMIR ALCÁNTARA ROJAS

“MODELANDO EN BIM 3D Y 4D PARA LA CONSTRUCCIÓN: CASO PROYECTO UNIVERSIDAD DEL PACÍFICO”

Hoy en día los proyectos de construcción requieren herramientas eficaces para gestionar la información del proyecto, a pesar de ello, el sector construcción es una de las industrias que a nivel mundial tiene bajos niveles de implementación de TIC para mejorar o innovar sus procesos. Una tecnología emergente es el uso de modelos 3D para almacenar toda la información del proyecto, aprovechando varias de sus aplicaciones como modelar en 3D para propósitos de compatibilización del proyecto, simulación 4D del proceso constructivo o la cuantificación de la cantidad de materiales. En este paper se dará a conocer una serie de criterios a tomar en cuenta para modelar en BIM 3D y 4D, los cuales han sido estudiados y desarrollados en el proyecto 1712: Edificio Educativo Universidad del Pacífico.

UNI 2013: PAUL VLADIMIR ALCÁNTARA ROJAS

“METODOLOGÍA PARA MINIMIZAR LAS DEFICIENCIAS DE DISEÑO BASADA EN LA CONSTRUCCIÓN VIRTUAL USANDO TECNOLOGÍAS BIM”

El realizar un modelado BIM-3D de la edificación permite equivocarnos virtualmente en el modelo 3D y no en campo, ahorrando costos por procesos mal diseñados. El modelo no sólo se utiliza para identificar conflictos entre disciplinas, sino que se convierte en una herramienta de

análisis para revisar los criterios de diseño y la adecuada funcionalidad del conjunto entre las distintas instalaciones dependientes. Además permiten evaluar aspectos constructivos que faciliten un mejor planeamiento y control de las actividades de construcción a través de la gestión de subcontratistas. Tema que sería importante tratar en el futuro y que actualmente se viene descuidando.

BIM provee un modelo exacto del diseño requerido para cada sector del proyecto. Esto puede proveer las bases para mejorar el planeamiento y programación de subcontratistas y ayudar a para asegurar la llegada justo a tiempo (just-in-time) de personas, equipamiento, y materiales.

1.1.2 Justificación

Se debe a que al aplicar Planificación 4D en la obra de edificación Villa Municipal Bolivariana Torre C-D, se puede realizar un análisis de incompatibilidades entre estructuras, arquitectura, instalaciones sanitaria e instalaciones eléctricas.

Además de esto la Metodología de Planificación 4D te permite realizar un cómputo de los metrados del proyecto, desde los m³ de vaciado, los m² de encofrado, y los Kg de Acero por placa, piso y/o proyecto.

Por si fuera poco te permite realizar una construcción virtual del proyecto, lo que te permite tener una mejor visualización del proyecto y realizar un mejor manejo de espacios en todos los axis.

Añadiendo que el tesista tiene un interés expreso en conocer esta nueva tecnología para generar ventaja competitiva personal e incorporarse rápidamente a un mercado laboral que innova cada día.

1.2 Formulación del Problema

En relación a los antecedentes referidos, nos planteamos el siguiente problema de investigación:

¿De qué manera se puede elaborar una planificación 4D utilizando softwares especializados BIM y parte de la herramienta Last Planner en el Proyecto Villa Municipal Bolivariana Torre C-D?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar la Planificación 4D en la obra de edificación “Villa Municipal Bolivariana” Torre C – D, aplicando softwares especializados BIM y parte de la Herramienta Last Planner

1.3.2 Objetivos Específicos

- Lista de Verificación sobre documentos necesarios para la tesis.
- Modelar el Proyecto original (2D), a 3D utilizando Softwares especializados BIM.
- Elaboración de las Hojas de Metrados.
- Elaboración de la programación para la secuencia constructiva del Proyecto.

- Elaboración de un video que muestre el ciclo constructivo del Proyecto (Planificación 4D).

1.4 Hipótesis

“Al utilizar planificación 4D en la obra de edificación “Villa Municipal Bolivariana”, utilizando softwares especializados BIM y parte de la herramienta Last Planner, se puede verificar los metrados, obtener una mejor visión del proyecto y Obtener un Video del Proceso Constructivo del Proyecto.”.

1.4.1 Definición de las variables:

Variable Independiente: Aplicación de Softwares especializados
BIM y parte de la Herramienta LastPlanner.

Variable Dependiente: Planificación 4D en la Obra de Edificación
Villa Municipal Bolivariana.

1.4.2 Definiciones Conceptuales

Softwares Especializados BIM: Los Softwares de la generación BIM están caracterizados por la capacidad de compilar modelos virtuales de las edificaciones usando objetos paramétricos legibles por la máquina que exhiben su comportamiento en proporción con las necesidades del diseño, análisis y pruebas del diseño. Como algo semejante, los modelos CAD 3D no están expresados como objetos que exhiben formas, funciones y comportamientos; por lo tanto, no pueden ser considerados modelos BIM.

Last Planner: Last Planner ® (último planificador) es un sistema de control que mejora sustancialmente el cumplimiento de actividades y la correcta utilización de recursos de los proyectos de construcción. Fue desarrollado originalmente por Ballard y Howell, fundadores del Lean Construction Institute. Actualmente, está siendo utilizado por cientos de constructoras alrededor del mundo. En Latinoamérica – especialmente en Chile y Brasil – su implementación ha sido exitosa. En Colombia, un grupo de empresas constructoras lo ha implementado recientemente. Gracias a sus resultados, su utilización se ha incluido como un sistema de control imprescindible en los proyectos de construcción.

Planificación 4D: Sistema que integra la Planificación (Tradicional o Lean) con un sistema 3d, en el cual se pueda mostrar el ciclo constructivo del proyecto.

1.4.3 Operacionalización de las Variables

Operacionalizar una variable significa traducir la variable en indicadores. A continuación se presentan los indicadores para las variables de estudio:

VARIABLE	Dimensiones	Indicadores	Medición
VI: “Aplicación de Softwares BIM y parte de la Herramienta Last Planner”	Dimensión Operativa	M ²	Nominal
VD: “Planificación 4D”	Verificación de Metrados	M ²	Nominal

en la Obra de Edificación Villa Municipal Bolivariana”	Visión del Proyecto	Tiempo	Nominal
	Video del Proceso Const.	Tiempo	Nominal

1.5 Marco Teórico

1.5.1 Modelado de la Información de la Edificación (BIM)

1.5.1.1 Definición

El glosario del “BIM Handbook” (Eastman, 2011) define BIM describiendo herramientas, procesos y tecnologías que están facilitadas por una documentación digital e inteligible por la máquina acerca de la edificación, su desempeño, su planeamiento, su construcción y su posterior operación. El resultado de una actividad BIM es un modelo de información de la edificación. (5)

Los programas de la generación BIM están caracterizados por la capacidad de compilar modelos virtuales de las edificaciones usando objetos paramétricos legibles por la máquina que exhiben su comportamiento en proporción con las necesidades del diseño, análisis y pruebas del diseño. Como algo semejante, los modelos CAD 3D no están expresados como objetos que exhiben formas, funciones y comportamientos; por lo tanto, no pueden ser considerados modelos BIM. (10)

BIM (Building Information Modeling) por sus siglas en inglés, puede ser traducido como “Modelo de la Información de la Edificación” y, tal como se

puede apreciar en la Figura 1 permite representar virtualmente los componentes del proyecto. Tradicionalmente, el sector de la construcción ha comunicado la información de los proyectos por medio de planos y especificaciones técnicas en documentos separados, sin embargo, el proceso de modelado en BIM tiene como objetivo reunir toda la información de un proyecto en una sola base de datos de información completamente integrada e interoperable para que pueda ser utilizada por todos los miembros del equipo de diseño y construcción y al final por los propietarios para su operación y mantenimiento a lo largo del ciclo de vida de la edificación.(13)

Figura 1: Representación virtual tridimensional mediante el uso del BIM

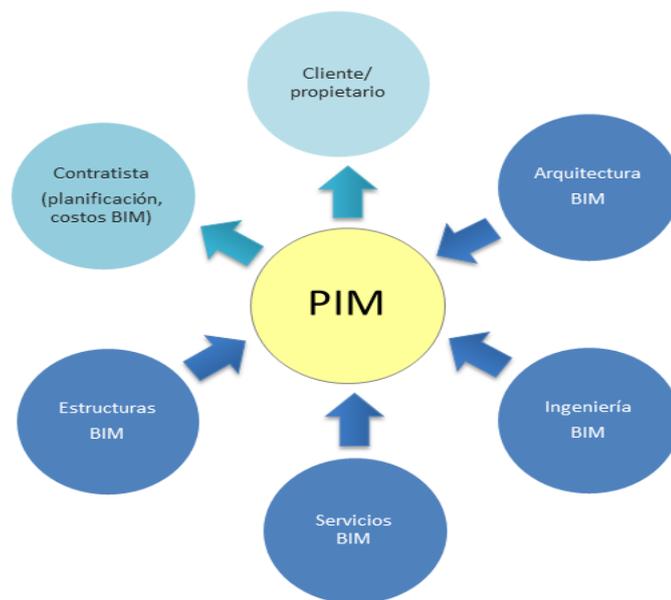


Fuente: Proyecto Universidad del Pacífico - GyM

El BIM también es una forma de trabajar en equipo, en la que tanto los proyectistas, arquitectos, ingenieros y el cliente trabajan en torno a modelos BIM del proyecto. Esto se da ya que el BIM se soporta en herramientas tecnológicas que permiten crear, administrar y gestionar estos modelos BIM generando la fuente de información necesaria que

pueda ser usada en cualquier etapa del ciclo de entrega de proyectos. La teoría original del BIM recomienda un solo repositorio (modelo) con todas las partes extraíbles de información. Sin embargo, cada disciplina requerirá su propio modelo BIM. Las soluciones coordinadas pueden entenderse como un modelo de integración del proyecto, como se muestra en la Figura 2. (10)

Figura 2: Modelo de Integración del Proyecto (PIM) mediante el BIM



Fuente: National BIM Standard – United States

1.5.1.2 Aplicaciones BIM para la industria de la construcción

BIM es una nueva filosofía de trabajo basada en herramientas tecnológicas, en la literatura se habla mucho acerca de sus beneficios y ventajas que pueden obtenerse en proyectos de construcción, siendo en algunos casos muy hipotéticos y optimistas. Las aplicaciones del BIM

pueden ser estudiadas desde muchos puntos de vista. Algunos las clasifican por los beneficios obtenidos, otros por los problemas que se quiera abordar y otros por los resultados que se desee obtener. Al no haber un consenso que determine claramente las aplicaciones del BIM para proyectos de construcción, se tomará como referencia el caso práctico de implementación del BIM realizada por Skanska, una compañía multinacional de construcción y desarrollo de origen sueco. Ellos han implementado el BIM en su compañía y han adaptado sus procesos de desarrollo y entrega de proyectos de construcción basados en las tecnologías que la soportan. Para ello desarrollaron un estudio del cual determinaron 16 aplicaciones, las mismas que pueden diferenciarse según la etapa de entrega de proyecto en donde son aplicadas, sea diseño, construcción, operación y/o mantenimiento. Lo más resaltante de esta clasificación es que está basada en un caso real de implementación a nivel corporativo influyendo en todas las esferas de gestión de proyectos de construcción y da a entender las áreas que pueden ser mejoradas dentro de la organización. Además, esta clasificación indica que el BIM puede aplicarse seleccionando independientemente cualquiera de sus 16 áreas, dependiendo de las utilidades y/o beneficios específicos que se deseen aprovechar. En la Figura 3 se observan las 16 áreas de aplicación del BIM desarrolladas por Skanska.(10)

Figura 3: Áreas de aplicación del BIM para proyectos de construcción



Fuente: Skanska

1.5.1.3 Aplicaciones BIM para la etapa de construcción

En la Figura 3 se vio que la implementación del BIM en una empresa constructora puede darse mediante el uso de 16 aplicaciones, las cuales pueden ser desarrolladas en cualquiera de las etapas del Sistema de Entrega de Proyectos (PDS). De éstas, sólo desarrollaremos cuatro aplicaciones.(9)

a) Estimación de la cantidad de materiales (Metrados)

La estimación de la cantidad de materiales con BIM, comúnmente conocida en nuestro medio como metrados, ofrece una nueva forma de trabajar, pues estos pueden ser obtenidos directamente de un modelo BIM después de finalizada la etapa de modelado 3D. Esto es razonable ya que los modelos BIM representan una fuente de información y una base de datos, y todos sus componentes, de acuerdo a su geometría,

tienen asociados distintos parámetros de cantidad de materiales que pueden ser extraídos del modelo BIM, generando hojas de reporte de las principales partidas de materiales de un presupuesto.(9)

b) Detección de conflictos

La construcción consiste en la materialización de los diseños estructurales, arquitectónicos y de instalaciones. En obra, los enfrentamientos entre estas especialidades pueden significar retrabajo, generando pérdidas en términos de tiempo y costos. Al respecto, la tecnología BIM puede ser usada para detectar estos conflictos o interferencias, realizando una construcción virtual, ayudando a evitar los riesgos que puedan derivar de la no identificación de los mismos. (9)

Entre los beneficios de utilizar las tecnologías BIM para detección de conflictos están:

- Mejora la coordinación de los diseños y la ingeniería.
- Facilita la revisión completa del diseño.
- Permite la identificación rápida de los conflictos e interferencias.
- Capacidad para explorar opciones, integrar los cambios en los modelos BIM y eliminar los riesgos.
- Minimiza el reproceso, los desperdicios y el tiempo muerto de espera por conflictos.
- Ayuda a mejorar la calidad de los diseños (lean design).

c) Visualización

A través del análisis de los componentes del edificio, en los modelos 3D se puede analizar la topología de la construcción, que puede servir de ayuda para la generación del planeamiento de la construcción. Tradicionalmente, el planeamiento de la construcción es un factor crítico en la gerencia de la edificación. El planificador de la construcción es una persona con mucha experiencia en la construcción de edificios que sabe estimar el trabajo y los equipos requeridos para la construcción del edificio. Usando este conocimiento es creado un planeamiento de la construcción.(9)

d) Simulación 4D

Las tecnologías BIM-4D combinan los modelos BIM-3D con la cuarta dimensión que viene dada por las duraciones de las tareas de construcción programadas en un calendario de obra con algún software. Al combinar las actividades de un programa de ejecución de la construcción con elementos de un modelo BIM-3D se obtiene una simulación visual de la secuencia constructiva, que también es conocida como modelo 4D, ya que muestra simultáneamente las tres dimensiones geométricas del proyecto, más la cuarta dimensión del tiempo proveniente de las duraciones de las actividades de los procesos de construcción. Debido al factor crítico del planeamiento, muchos esfuerzos de investigación se han dirigido a la simulación del proceso del edificio basado en el planeamiento. De esta investigación han emergido los

sistemas 4D por medio de los siguientes programas de cómputo: InVizn, Navisworks, 4D Suite y Smart Plant Review. Estos programas apoyan al responsable de la planificación a relacionar los componentes del edificio modelado en BIM-3D con las actividades de la construcción de un sistema de planeamiento del proyecto, utilizando una interfaz gráfica adecuada para tal fin.(9)

De esa manera el proceso de la construcción puede ser simulado en base a lo desarrollado en la fase de planeamiento, mientras a su vez el usuario puede comprobar visualmente cómo va procediendo el proceso constructivo y adelantarse visualmente a observar qué proceso debe ser ejecutado o desarrollado un día específico.

Con ello, el responsable del planeamiento del proyecto debe asociar los componentes del edificio modelado en BIM con las actividades de la programación de la obra. Esto es muy crucial, pues se relaciona manualmente los componentes que serán construidos (virtualmente) con las actividades de la construcción, evaluando visualmente qué problemas podrían ocurrir durante el proceso de la construcción real y definitiva.

De esta manera, el manejo de modelos 4D ayuda a reducir la variabilidad, optimizar el tiempo de los ciclos de producción, incrementar la transparencia de los procesos y, en general, mejorar la confiabilidad del planeamiento. Estos son algunos de los puntos fuertes en el manejo de la productividad (Berdillana, 2008).

1.5.1.4 Beneficios del uso del BIM en el diseño y la construcción

La gestión de proyectos usando la tecnología BIM reduce la incertidumbre en su manejo, ya que aumenta las posibilidades de controlarlo, pues elimina las aproximaciones abstractas. Asimismo, la integración de las labores de diseño y construcción abre las puertas a una ingeniería en la que los profesionales se dedicarán a mejorar los diseños, la planificación de las obras y su control, reduciendo con ello el costo de los proyectos.

(10)

Algunos de los beneficios de aplicar BIM en una empresa que haya realizado un maduro proceso de implementación son:

a) En la etapa de diseño

- Para generar un Lean Design (Diseño Lean)
- Obtención de los planos del proyecto paramétricos: de plantas, de secciones, de elevaciones, de detalles y vistas 3D isométricas.
- Creación de imágenes foto realistas (renders), vistas de perspectivas, animaciones y escenas de realidad virtual para el marketing del edificio.
- Gestión de espacios y usos de los ambientes del edificio.
- Proveer datos para el análisis estructural de elementos del edificio.

b) En la etapa de construcción

- La revisión visual del diseño del proyecto.
- Realizar análisis visuales o automatizados de interferencias físicas entre los diseños (detección de interferencias).
- Obtener reportes de cantidades de materiales (metrados).
- Intercambio electrónico de datos de diseño con proveedores
- Obtención del Presupuesto de las Partidas más Importantes de Obra BIM 5D
- Simulación del proceso constructivo BIM 4D.
- Una mejor integración del modelo con el propietario, así como sus requerimientos y estándares.

1.5.1.5 BIM como herramienta TIC para la construcción

Hace muchos años se viene experimentando en el mundo una revolución tecnológica con el desarrollo de herramientas que permiten integrar, a los procesos tradicionales de construcción tecnología que permita hacer más eficiente el manejo de los proyectos. (11)

Colwell (2008) elaboró un estudio, basado en opiniones de expertos y en su propia experiencia, logrando identificar las siete herramientas TIC más influyentes para la industria de la construcción, los cuales son mostrados en la Figura 4. Asimismo, el estudio también identifica los beneficios de las herramientas TIC en las diversas fases de los procesos de diseño y construcción.

Figura 4: Herramientas TIC más influyentes en la construcción

Nº	Herramienta TIC	Peso
1	Software de Gestión de Proyectos	85%
2	Modelado 3D y 4D	77%
3	Computación móvil	73%
4	Software para planeamiento y programación de obras	71%
5	Sistemas ERP	66%
6	Hojas de asistencia web	38%
7	RFID y código de barras	32%

Fuente: Colwell, 2008

En este estudio, Colwell identificó al modelado 3D y 4D como una de las herramientas TIC que pueden ser aplicados a la construcción dando beneficios y mejoras en la administración de: la programación, planeamiento del trabajo, calidad, seguridad y comunicación. Colocándose en el segundo componente TIC más influyente para la industria de la construcción con respecto a su aporte como herramienta de productividad. (3)

1.5.1.6 La sinergia Lean – BIM

Lean y BIM son diferentes iniciativas que tienen un profundo impacto en la industria de la construcción, ya que desarrollan entre ambas una sinergia que puede ser explotada al integrar sus principios para mejorar los procesos de construcción. (1)

Los miembros del LCI publicaron en la revista “The interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction” una matriz que interrelaciona las funcionalidades del BIM con los principios del Lean en la

construcción, identificando 56 interacciones, de las cuales establecieron que el BIM y el Lean están muy estrechamente ligados principalmente en cinco de ellas. (7)

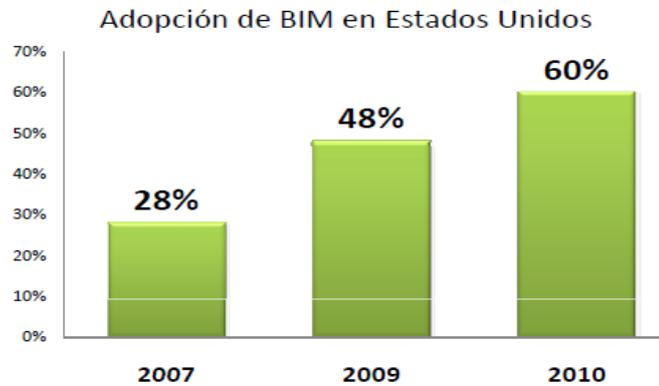
- a) Reduce los re-procesos.
- b) Diseña el sistema de producción para un flujo y valor.
- c) Genera automáticamente dibujos y documentos.
- d) Rápida generación y evaluación de los planes alternativos de construcción.
- e) Permite la comunicación online/electrónica basada en objetos.

1.5.1.6 Adopción de tecnologías BIM en el Perú y el mundo

a) En Norte América

En los últimos años se puede observar un crecimiento acelerado en BIM, as empresas ya tomaron conciencia de los beneficios de éste, y aproximadamente al 2013 el 82% de las empresas constructoras, proyectistas o consultorías usan BIM o parte de éste en el diseño y/o construcción. (10)

Figura 5: Crecimiento en la adopción del BIM en los EE.UU)



(Fuente: Mc Graw-Hill Construction)

b) En Latinoamérica

La adopción del BIM en Latinoamérica aún no es una realidad concreta. Sin embargo, ya existen iniciativas para la difusión y adopción de éstas tecnologías, siendo los realizados en Chile uno de los casos más resaltantes.

En Chile, la Cámara Chilena de la Construcción (el símil de Capeco en el Perú) desde el año 2007 viene asumiendo el liderazgo para romper la barrera del desconocimiento, promoviendo la difusión del uso del BIM por medio de charlas dictadas gratuitamente. Tres años después, el mismo gobierno aprobó con financiamiento una política de “Implementación y promoción de la tecnología BIM en Chile”, a cargo de la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) y de siete importantes constructoras de ese país. (10)

c) En el Perú

En el Perú, el uso del BIM está poco difundido y no se cuenta con estadísticas o casos reales de implementación. Si bien se sabe que

algunas empresas de vanguardia lo están utilizando, tales como GyM, Odebrecht y ahora Cosapi, éstas sólo se enfocan en algunas de sus áreas de aplicación de manera aislada, dependiendo de sus necesidades y de las utilidades que desean aprovechar. De otro lado, muchas empresas desconocen de sus potenciales ventajas. Esto se debe a que el BIM como panorama general no es en sí aprovechar los beneficios de utilizar un software, sino un cambio en la manera de pensar y gestionar los proyectos, al igual que Lean. (10)

De todas formas queda claro que el uso del BIM, aplicado a los proyectos de construcción, está en pleno desarrollo y es una oportunidad para mejorar los tradicionales procesos de gerencia del diseño y/o construcción de los proyectos y cuyos beneficios podrían ser percibidos en cualquiera de las etapas del proyecto.

1.5.2 Lean Project Delivery System (LPDS)

Teniendo como modelo el Lean Production japonés, se crea una nueva filosofía de planificación de proyectos, que nace a comienzos de los años 90 en Finlandia, donde Lauri Koskela sistematiza los conceptos más avanzados de la administración moderna (Benchmarking, Mejoramiento Continuo, Justo a Tiempo). Junto con la ingeniería de métodos reformula los conceptos tradicionales de planificar y controlar obras. Koskela propone esta nueva filosofía de control de producción en su tesis doctoral "Application of the New Production Philosophy to Construction", 1992. Él ofreció la primera conferencia del International Group for Lean Construction en Finlandia en Agosto de 1993. (2)

Esta nueva filosofía propone una gestión de producción donde la planificación de las actividades de obra sea totalmente realizable y predecible. Evitar pérdidas en el flujo de actividades apostando por una planificación confiable. Para ello, se propone generar un "escudo" de producción para proteger el flujo de trabajo (Buffer); de esta manera se hace más fácil ordenar los requerimientos de materiales durante el desarrollo del proyecto. (1)

En el año 2000, Glen Ballard introdujo un diagrama de proceso organizacional que consiste en un enfoque holístico o total para administrar un proyecto de construcción. Ballard lo llamó el Sistema de Entrega del Proyecto Sin Pérdidas (LPDS, Lean Project Delivery System) y propuso que el pensamiento "Lean" podría estar sistemáticamente

aplicado para todas las etapas del proyecto y no sólo para la etapa de diseño y construcción por separado. (1)

De esta metodología (LPDS) es de donde nace el LAST PLANNER o también conocido como sistema del último planificador conocido

1.5.2.1 Lean Construction

Lean construction es una filosofía orientada hacia la administración de la producción en construcción, cuyo objetivo fundamental es la eliminación de las actividades que no agregan valor.

Es indudable que el sector de la construcción es un componente significativo en la economía de un país. En el Perú se registro que la actividad de la construcción lideró el crecimiento en el 2008 con 16,4 por ciento respecto al 2007, debido fundamentalmente al mayor consumo interno de cemento en 16,6 por ciento e inversión en el avance físico de obras que se incrementó en 18 por ciento (INEI). A pesar de su importancia los problemas que enfrenta el sector son bien conocidos: baja productividad, pobre calidad, altos índices de accidentes, desviaciones en cumplimiento de plazos y presupuestos, entre otros. (8)

El modelo denominado Lean construction (construcción sin pérdidas), propuesto por Lauri Koskela (1992) , analiza los principios y las aplicaciones del JIT (justo a tiempo) y TQM (control total de la calidad) en la industria de la construcción, intentando identificar las bases que él define como “la nueva filosofía de producción”, conocida como lean production. (8)

Lean construction introduce principios que cambian el marco conceptual de la administración del mejoramiento de la productividad y enfoca todos los esfuerzos a la estabilidad del flujo de trabajo. Mediante el enfoque Lean construction se han desarrollado diversas herramientas tendientes a reducir las pérdidas a través del proceso productivo. Una de estas herramientas de planificación y control fue diseñada por Ballard y Howell. El sistema denominado el último planificador (Last Planner System) presenta cambios fundamentales en la manera como los proyectos son planificados y controlados. El método incluye la definición de unidades de producción y el control del flujo de actividades, mediante asignaciones de trabajo. Adicionalmente facilita la obtención del origen de los problemas y la toma oportuna de decisiones relacionada con los ajustes necesarios en las operaciones para tomar acciones a tiempo, lo cual incrementa la productividad. (2)

Figura 6: Sistema de Programación Lean



Fuente: UPC

1.5.2.2 Last Planner System

Planificar adecuadamente se convierte en uno de los más efectivos métodos para incrementar la productividad, lo cual mejora la producción mediante la eliminación de esperas, se realizan las actividades en la secuencia más conveniente y coordina la interdependencia de las múltiples actividades por realizar. (2)

Ballard (1994) plantea que una buena planificación ocurre cuando se superan algunos obstáculos presentes en la industria de la construcción, como son los siguientes:

- La planificación no se concibe como un sistema, sino que se basa en las habilidades y el talento del profesional a cargo de la programación.
- El desempeño del sistema de planificación no se mide.
- Los errores en la planificación no se analizan, ni se identifican las causas de su ocurrencia.

En este nuevo sistema se introduce adicionalmente a la planificación general de la obra (plan maestro), realizado tradicionalmente, planificaciones intermedia y semanales y el seguimiento de lo planificado a través del indicador PPC (Porcentaje de Plan completado).

Se denomina asignaciones al trabajo definido como posible de realizar una vez analizadas y eliminadas las restricciones (cuellos de botella). El individuo o grupo de trabajo que las plantea recibe el nombre de “último planificador”, de donde el sistema toma su nombre. La función de la

1.5.2.3 Look ahead

Corresponde al segundo nivel de la jerarquía en la planificación, y le sigue a la planificación inicial, de la cual se deriva el plan maestro y antecede a la planificación compromiso, esta genera el plan de trabajo semanal (PTS). La planificación intermedia abarca intervalos de 3 a 6 semanas. Las actividades son exploradas con más detalle, lo cual permite determinar las sub-tareas para su ejecución, y que pueden entenderse como prerrequisitos de trabajo, directrices o recursos necesarios para su realización, que se conocen como restricciones. Una vez éstas se determinan, las actividades deben someterse al proceso de preparación, donde las restricciones son eliminadas, dejando la actividad lista para ser ejecutada. (1)

El sistema funciona como una lista de verificación, con el cual comprobamos que cada actividad planificada para una ventana de tiempo de 3 a 6 semanas cuente con los recursos necesarios cuando estos sean requeridos en campo. La intención es no permitir pasar a aquellas actividades que no tengan asegurada su completa asignación de recursos al nivel de la planificación semanal. (1)

Así los programas generados con Look ahead son utilizados en la industria de la construcción con la intención de dirigir los esfuerzos de la gestión de obra de las actividades que se esperan ejecutar en un futuro cercano, promoviendo la toma de acciones en el presente, de manera que ese futuro sea una realidad.(8)

Figura 9: Ejemplo de Look ahead de 4 semanas.

LOOKAHEAD										ANÁLISIS DE RESTRICCIONES						
PARTIDAS	SEMANA 46						S 47	S 48	S 49	T.PREVIA	MAT.	EQUIPO	INFORM.	ESPACIO	M. DE O.	C. EXT.
	LU	MA	MI	JU	VI	SA										
Conc.Placas	P6-9	P12-8	P16	P11-9-7	P14	P13	P21a32	P33a44	P45a51	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Conc. Losas		L3		L4		L5	L7a9	L10a13	L14a17	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tarrajeo C.R.	T45	T54	T47	T50	T48	T56	T60a72	T73a85	T86a99	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Fuente: 1er Congreso de Lean Construction

1.5.2.4 Tren de Actividades

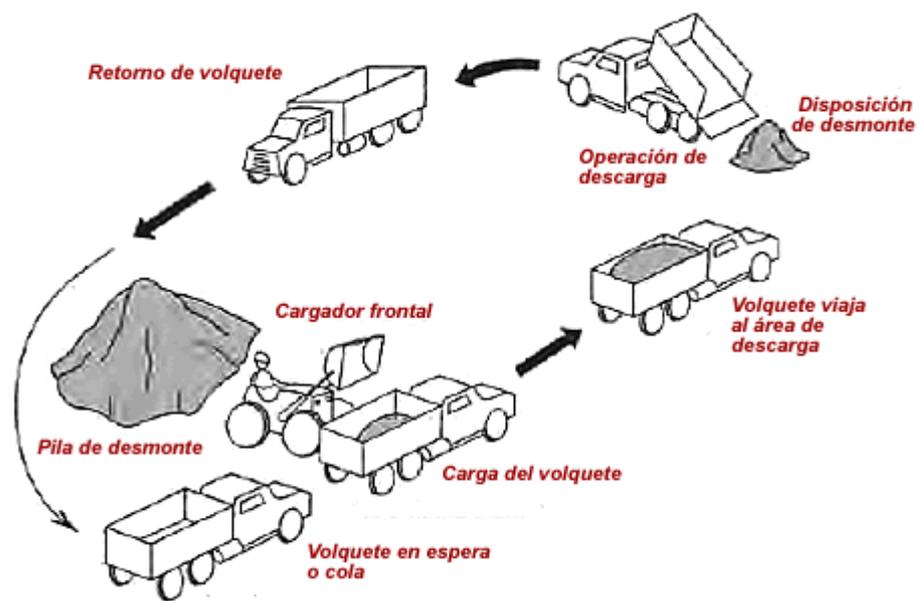
Al interior de un proyecto, es posible distinguir procesos repetitivos o cíclicos (compuestos por tareas que se reiteran para obtener algún componente del proyecto). Son fácilmente distinguibles –por ejemplo-, en la construcción de pavimentos, en la perforación de un túnel, en el encofrado y construcción de losas en edificios con pisos típicos, en la preparación y colocación de elementos prefabricados. La estandarización y modulación de procesos cíclicos resultan convenientes para medir y mejorar la eficiencia en el uso de los recursos. (8)

Los Trenes de Trabajo son secuencias de actividades que fluyen como un tren, donde los vagones son las actividades; el objetivo es reducir las holguras entre dichas actividades a través de la relación de dependencia, convirtiendo todas las actividades en críticas. (8)

La programación rítmica permite programar físicamente cualquier obra de carácter repetitiva, además de programar los materiales y mano de obra requeridos durante su ejecución. Yo lo uso bastante en conjunto de

viviendas en extensión. Entregamos un detalle tal, que permite detectar atrasos/adelantos en cuanto a que actividad lo produce, en qué casa y en qué fecha. (8)

Figura 11: Eliminación de desmonte de obra, ejemplo de actividad repetitiva.



Fuente: TAF Tren de Actividades - UPC

Características

- Las actividades (procesos) se consideran como una estación de trabajo
- Se busca que todas las estaciones estén balanceadas en capacidad y demanda
- Todos los procesos son cuello de botella, todas las actividades son Ruta Crítica

- Todos los días, cada cuadrilla produce lo mismo
- Consecuentemente, todos los días se tiene el mismo avance en el Proyecto
- La cantidad de recursos necesarios es constante

Ventajas

- Busca que una cuadrilla específica realice todos los días la misma actividad y así aprovechar las ventajas de la curva de aprendizaje (especialización)
- Facilidad de Control
- Mejor Productividad

Desventajas:

- Existe el peligro que, al no contar con holguras, cada retraso de una actividad genere atraso al resto de actividades. Por ello, para su aplicación se prefieren Proyectos con poca variabilidad.

Pasos a seguir para generar un tren de actividades

- Sectorizar el área de trabajo, identificar áreas pequeñas, que puedan ser construidas en un día de trabajo, curva de aprendizaje. La cantidad de trabajo debe ser equivalente entre sí en cada sector, es decir, todas las cuadrillas deben estar balanceadas para avanzar diariamente el mismo metrado por cada actividad, sin holguras ni pérdidas. De esta forma se minimizan los picos de trabajo, y por lo tanto se reducen los valles plagados de tiempos muertos.

- Listar actividades necesarias, El detalle de este listado deberá ser tal que permita entender claramente el proceso y a su vez que no signifique manejar muchas actividades que puedan confundir a los obreros.
- Secuenciar las actividades previamente listadas de modo que se cubran todos los sectores de trabajo. Este es el paso que toma más tiempo y es muy común que las primeras secuencias que se consideren no sean las mejores, éstas se irán mejorando a lo largo del Proyecto. Se incluirán colchones de tiempo en función a la variabilidad de las actividades. Siempre se tiene que tomar en cuenta que la duración del tren debe encajar dentro de los hitos del plan general. De no encajar, revisar la secuencia constructiva diaria, y ver la manera de ajustarla. Tal vez sea necesario, por ejemplo, disponer de mayor cantidad de equipos, o de mayor cantidad de obreros.
- Dimensionar los recursos, la cantidad de obreros y de equipos necesario, considerando:
 - Metrados de cada sector (del más representativo)
 - Velocidad de avance de cada cuadrilla básica
 - Número de cuadrillas básicas para que las actividades se ejecuten en 1 sólo día (en lo posible).

Figura 10: Tren de actividades de tendido de tubería de agua potable.

TRENES TRENCHLESS AGUA POTABLE		05/08/2002																											
Diam: 100mm		SEMANA 92																											
Item	Descripción de las Actividades	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V		
	FRENTE 01 - Craking Of Pipes	Und	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	
1	Trazo y Replanteo de Ventanas de Excavación	ml	F1-1	F1-2	F1-3	F1-4	F1-5	F1-6	F1-7	F1-8	F1-9	F1-10	F1-11			F1-12	F1-13	F1-14	F1-15	F1-16	F1-17								
2	Señalización y corte de pavimento	ml		F1-1	F1-2	F1-3	F1-4	F1-5	F1-6	F1-7	F1-8	F1-9	F1-10			F1-11	F1-12	F1-13	F1-14	F1-15	F1-16		F1-17						
3	Rotura de pavimento y eliminación	m2		F1-1	F1-2	F1-3	F1-4	F1-5	F1-6	F1-7	F1-8	F1-9	F1-10			F1-11	F1-12	F1-13	F1-14	F1-15	F1-16		F1-17						
4	Excavación de ventanas y Calibración de Tubería	m3			F1-1	F1-2	F1-3	F1-4	F1-5	F1-6	F1-7	F1-8	F1-9			F1-10	F1-11	F1-12	F1-13	F1-14	F1-15		F1-16	F1-17					
5	Eliminación de desmonte	m3			F1-1	F1-2	F1-3	F1-4	F1-5	F1-6	F1-7	F1-8	F1-9			F1-10	F1-11	F1-12	F1-13	F1-14	F1-15		F1-16	F1-17					
6	Traslado de tubería	hm			F1-1	F1-2	F1-3	F1-4	F1-5	F1-6	F1-7	F1-8	F1-9			F1-10	F1-11	F1-12	F1-13	F1-14	F1-15		F1-16	F1-17					
7	Termofusionado de tubería PE	ml			F1-1	F1-2	F1-3	F1-4	F1-5	F1-6	F1-7	F1-8	F1-9			F1-10	F1-11	F1-12	F1-13	F1-14	F1-15		F1-16	F1-17					
8	Operativo Instalación de Tapones	hh			F1-1	F1-2	F1-3	F1-4	F1-5	F1-6	F1-7	F1-8			F1-9	F1-10	F1-11	F1-12	F1-13	F1-14		F1-15	F1-16	F1-17					
9	Fragmentación de tubería de Agua	ml			F1-1	F1-2	F1-3	F1-4	F1-5	F1-6	F1-7	F1-8			F1-9	F1-10	F1-11	F1-12	F1-13	F1-14		F1-15	F1-16	F1-17					
10	Instalación y/o reempalmes de CDD	Und				F1-1	F1-1		F1-3	F1-3	F1-5	F1-6	F1-7			F1-8	F1-9	F1-10	F1-11	F1-12	F1-13		F1-14	F1-15	F1-16	F1-17			
11	Dados de anclaje en Accesorios y Válvulas	Und					F1-1		F1-2	F1-3	F1-4	F1-5	F1-6			F1-7	F1-8	F1-9	F1-10	F1-11	F1-12		F1-13	F1-14	F1-15	F1-16	F1-17		
12	Prueba hidráulica de tubería c.CDD	Und							F1-1	F1-2	F1-3	F1-4	F1-5			F1-6	F1-7	F1-8	F1-9	F1-10	F1-11		F1-12	F1-13	F1-14	F1-15	F1-16		
13	Instalación de Grifos Contra incendio	Und								F1-1	F1-2	F1-3	F1-4			F1-5	F1-6	F1-7	F1-8	F1-9	F1-10		F1-11	F1-12	F1-13	F1-14	F1-15		
14	Relleno y compact. de ventanas, con mat. selecto	m2								F1-1	F1-2	F1-3	F1-4			F1-5	F1-6	F1-7	F1-8	F1-9	F1-10		F1-11	F1-12	F1-13	F1-14	F1-15		
15	Pavimentación de ventanas de concreto	m2									F1-1	F1-2	F1-3			F1-4	F1-5	F1-6	F1-7	F1-8	F1-9		F1-10	F1-11	F1-12	F1-13	F1-14		
16	Reposición de Asfalto	m2														F1-1,2,3		F1-4,5,6					F1-7,8,9		F1-10,11,12				
	<i>Inst. Tubería Avance Semanal</i>	<i>ml</i>														45	40	36	30	40	38		40	36	38	36	42		
	<i>Inst. Tubería Avance Acumulado</i>	<i>ml</i>														45	85	120	150	190	228		268	304	342	378	420		

Fuente: TAF Tren de Actividades UPC

II. MATERIAL Y METODOS

2.1 Material de Estudio

2.1.1 Población

Como el estudio de investigación se centra en el proyecto propiamente como una sola unidad de investigación, la población viene a ser el mismo proyecto per-sé.

2.1.2 Diseño de la Muestra

Como el estudio de investigación se centra en el proyecto propiamente como una sola unidad de investigación, la muestra viene a ser el mismo proyecto per-sé.

2.2 Métodos y Técnicas

2.2.1 Método

De manera general, los métodos utilizados son:

Método Descriptivo: El objeto de la investigación descriptiva consiste en evaluar ciertas características de una situación particular en uno o más puntos del tiempo. En esta investigación se analizan los datos reunidos para descubrir así, cuales variables están relacionadas entre sí.

2.2.2 Técnica

Modelamiento BIM y Planificación Lean: Porque para generar una planificación en 4 dimensiones, se debe realizar un previo Modelo BIM y una Previa Planificación (Tradicional o Lean).

2.2.3 Procedimiento

2.2.3.1 Recolección de Datos

La fase inicial del Desarrollo del cuerpo de la Tesis es la recolección de datos, la cual se realizó en los meses de Diciembre a Julio del 2013, ya que fue el tiempo de ejecución de obra y tiempo donde se pudo recolectar todo el material técnico, es decir Planos y Especificaciones técnicas.

La decisión de llevar a cabo un modelamiento BIM, es por haber podido participar del proceso constructivo de la obra, así como de las interferencias y por ende paralización del flujo productivo del proyecto, lo que conllevaba a atrasos y pérdidas por parte de la contratista.

a) Características del Proyecto

El proyecto en estudio es un bloque compuesto por 2 edificios multifamiliares, ubicados en la ciudad de Trujillo, en la urbanización Santa Leonor.

Cada edificio tiene 4 departamentos por piso, el edificio C comprende 12 pisos y el D comprende 15 pisos, estos a su vez constan de departamentos idénticos, con pequeñas diferencias en volados y/o terrazas. Estos edificios serían los encargados de albergar a los deportistas llegados por los juegos bolivarianos, lo cual no se cumplió por factores externos a la producción de obra.

El proceso constructivo se inicia en una platea de Cimentación, sobre esta se encuentran muros de concreto armado y losas macizas, quedando así

la herramienta más productiva y económica a la vista, encofrado metálico, generando una producción óptima de 1 departamento por día en cada frente de trabajo.

Tabla N°1: Características Generales del Proyecto

Proyecto: Villa Municipal Bolivariana		
Ubicación:	Urbanización Santa Leonor	
Bloque:	CD	
Pisos:	C = 12	D = 15
Área de terreno:	920 m ²	
Área Construida:	9420 m ²	

Fuente: Propia

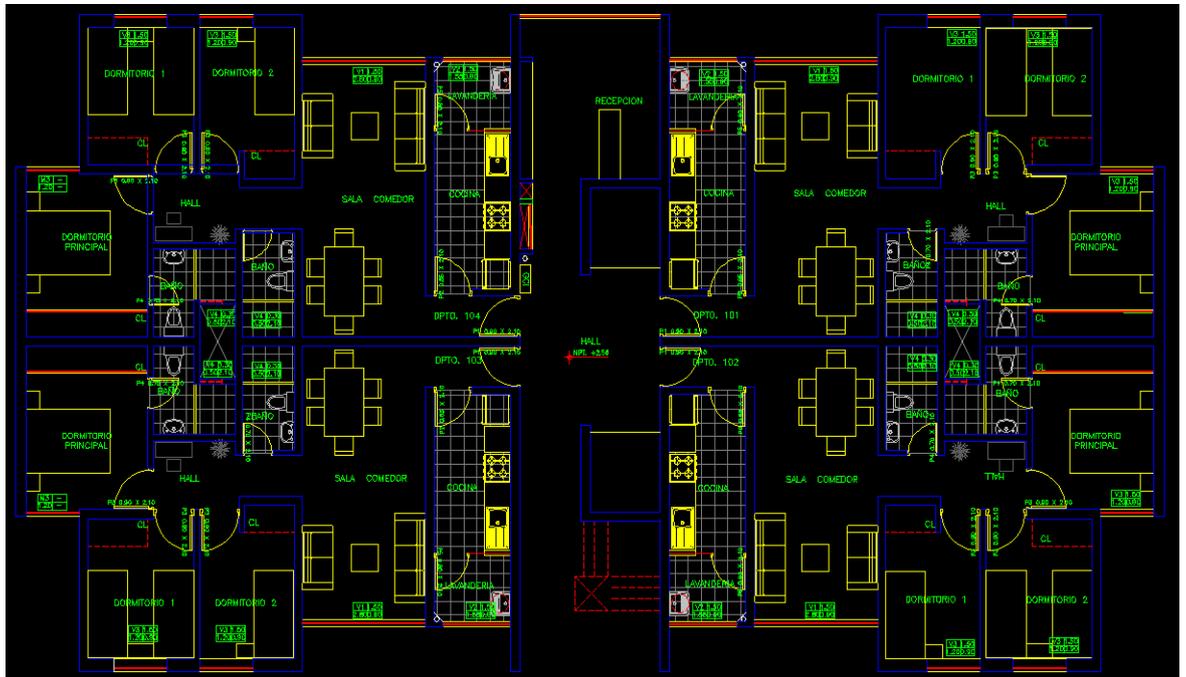
b) Planos del Proyecto:

Los planos de este proyecto se encuentran modelados en Autocad, en un total de 5 especialidades (Arquitectura, Estructuras, Instalaciones Sanitarias, Instalaciones Eléctricas y ACI), lo que asegura una total descoordinación entre especialidades.

El diseño de los departamentos consta de plantas típicas, contando con un total de 4 departamentos por edificio por piso, lo que hace un total de 8 departamentos por piso por edificio.

Al tener planos en 2D, la visualización del Proyecto es casi nula, ya que al tratar de recrear imaginariamente todo el proyecto completo en 3D, quedarían demasiadas incongruencias y cosas por definir, además que por no tener esto claro es que las incompatibilidades usualmente se corrigen insitu.

Figura 11: Plano de Distribución Típica Bloque CD (Autocad)



Fuente: Proyecto Villa Municipal Bolivariana

c) Especificaciones Técnicas:

Éstas son muy importantes para el modelamiento BIM, debido a que en el Modelo BIM, no solo es un 3D sino que comprende también la información de todos y cada uno de sus elementos, se introduce información del Proyecto, ya sea Materiales, Características, etc.

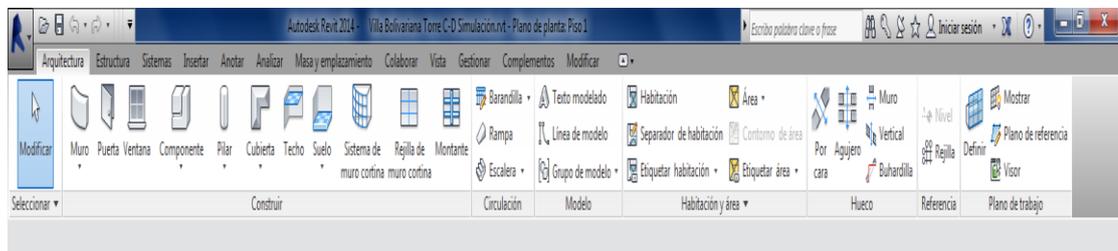
Las especificaciones técnicas son necesarias a la hora de realizar un correcto cuadro de metrados con BIM, ya que estos servirán de filtro a la hora de realizar y ejecutar el cuadro de metrados y/o cuadro de cantidades o conteo.

2.2.3.2 Modelado BIM

2.2.3.2.1 Introducción

Esta fase se inicia con el Modelado en Revit 2014, el programa BIM mas usado a nivel Mundial, el cual presenta una interfaz muy intuitiva y muchas similitudes al ya conocido Autocad, ya que pertenece también a la Familia Autodesk.

Figura 12: Interfaz de Usuario Revit 2014

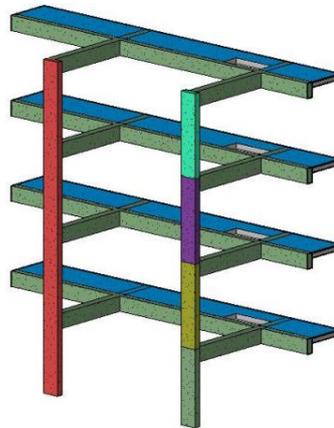


Fuente: Propia

Para trabajar de manera idónea en Revit 2014, hay 4 criterios que se deben tener en cuenta:

- **Modelar de acuerdo al proceso constructivo:** Es decir si modelamos una columna que vaya del 1er piso al 4to piso, en el proceso constructivo eso no cumplirá con la constructabilidad. Por eso se recomienda modelar elementos finitos que inicien y terminen en un mismo piso

Figura 13: Forma de modelar una columna usando un software BIM



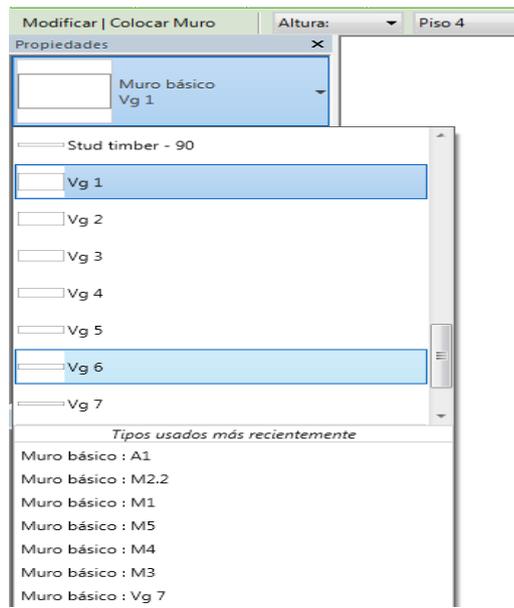
Fuente: Propia

- Respetar las restricciones del programa, y evaluar todos los errores por temas de desencajamientos, compatibilidad o sobrepuestos, ya que al ser paramétrico si tenemos esto, esto se verá reflejado en el cuadro de metrados propio del Programa
- Partir de los niveles del proyecto, ya que todos los elementos del programa estarán vinculados a ellos, y si no los definimos con antelación, posteriori se tornará complicado.
- Crear todas las familias de elementos según las especificaciones técnicas, para luego solo proceder a la colocación de estos. (ejm: muros de concreto o drywall de 0.10m, 0.15m, etc.)

2.2.3.2.2 Secuencia de Modelado – Revit

Secuencia fotográfica del Modelado 3D

Figura 14: Creación de las familias de elementos estandarizados



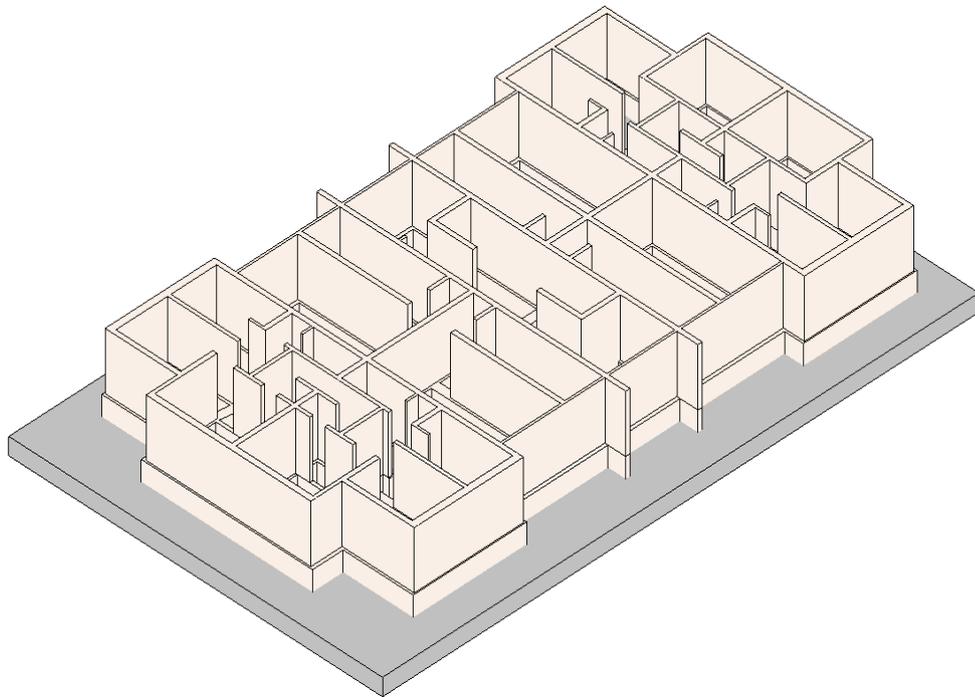
Fuente: Propia

Figura 15: Niveles del Proyecto Villa Municipal Bolivariana



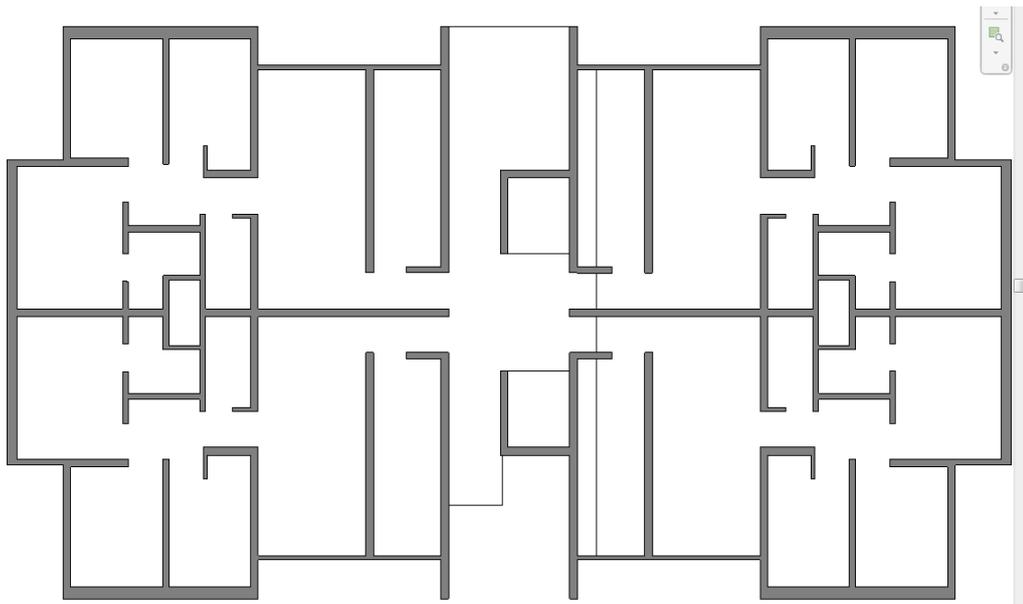
Fuente: Propia

Figura 16: Modelado de las Bases del Proyecto (Platea + Vigas + Placas Sótano)



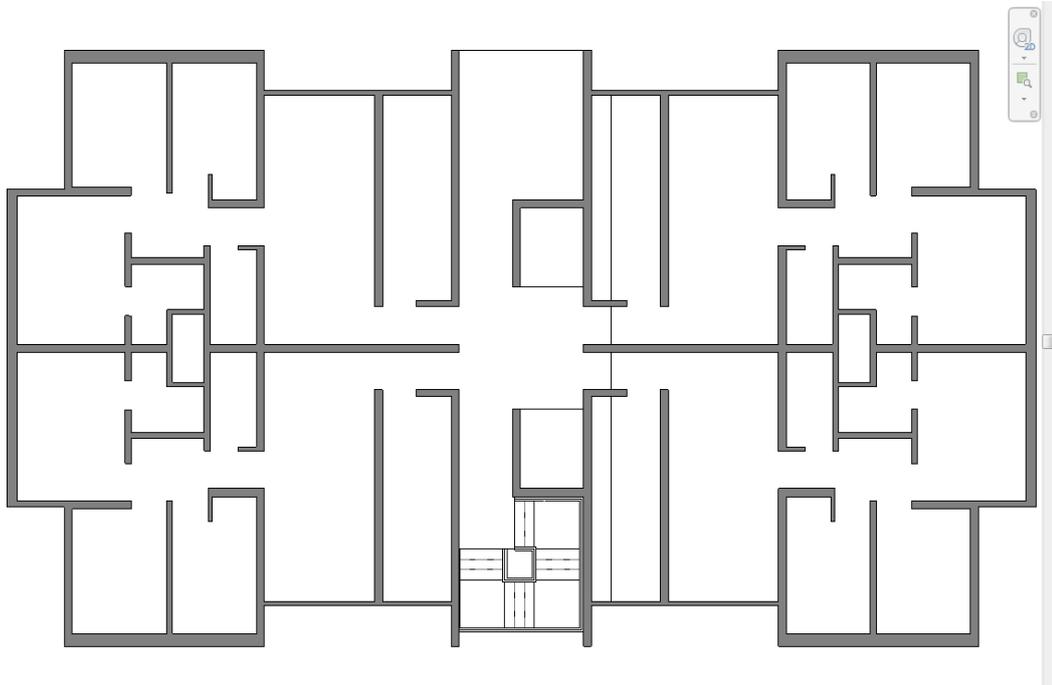
Fuente: Propia

Figura 17: Placas en Planta - Piso Típico Villa Municipal Bolivariana



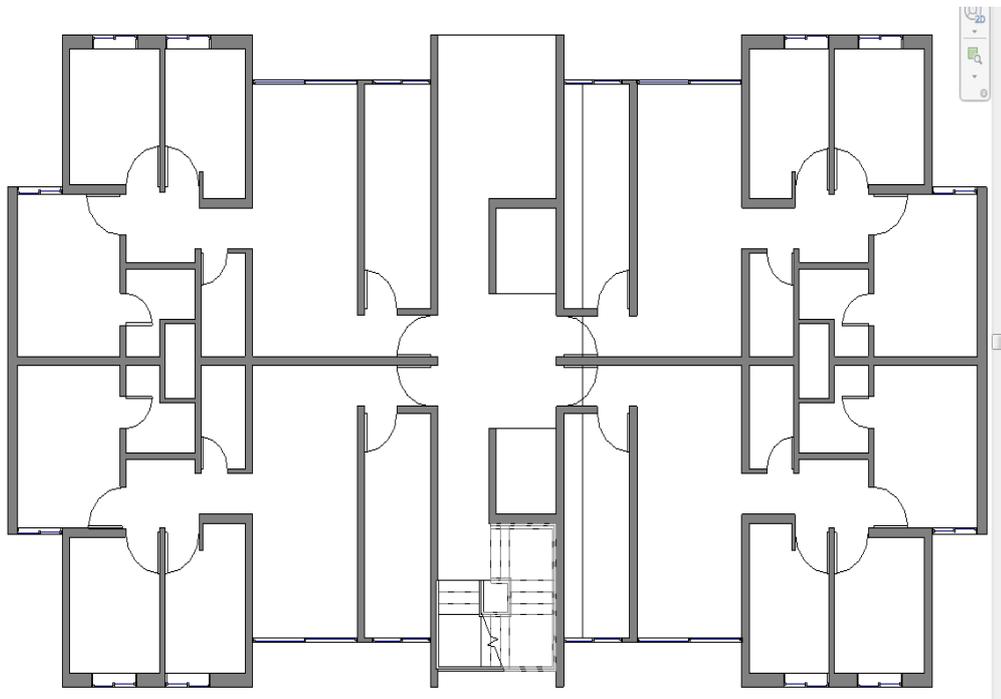
Fuente: Propia

Figura 18: Escalera Típica (Piso 2 a +)



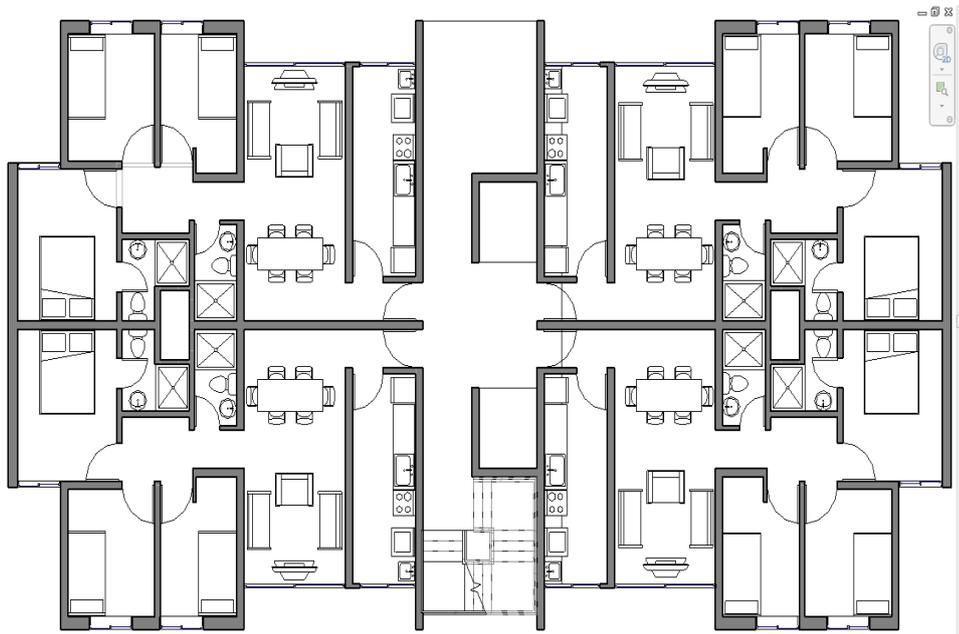
Fuente: Propia

Figura 19: Inserción de Puertas y Ventanas en Muros



Fuente: Propia

Figura 20: Inserción de Mobiliario Básico para Conteo



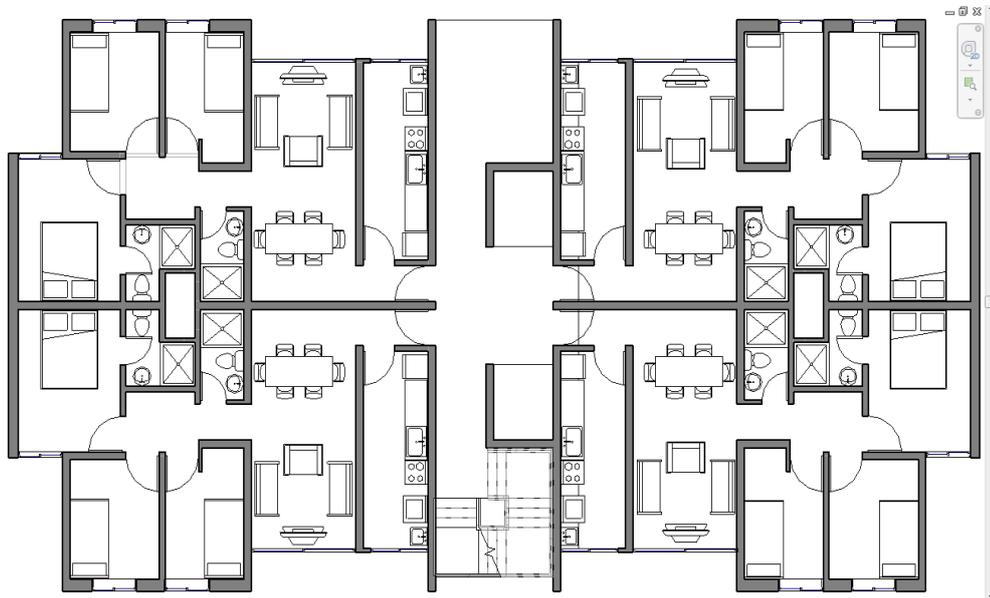
Fuente: Propia

Figura 21: Solución de Problemas de Incompatibilidades o elementos sobrepuesto.



Fuente: Propia

Figura 22: Copia de la planta típica a las demás plantas del edificio



Fuente: Propia

Figura 23: Vista Frontal Proyecto Villa Municipal Bolivariana - Bloque CD



Fuente: Propia

Figura 24: Vista Perfil Proyecto Villa Municipal Bolivariana - Bloque CD



Fuente: Propia

2.2.3.2.3 Estimación de Metrados

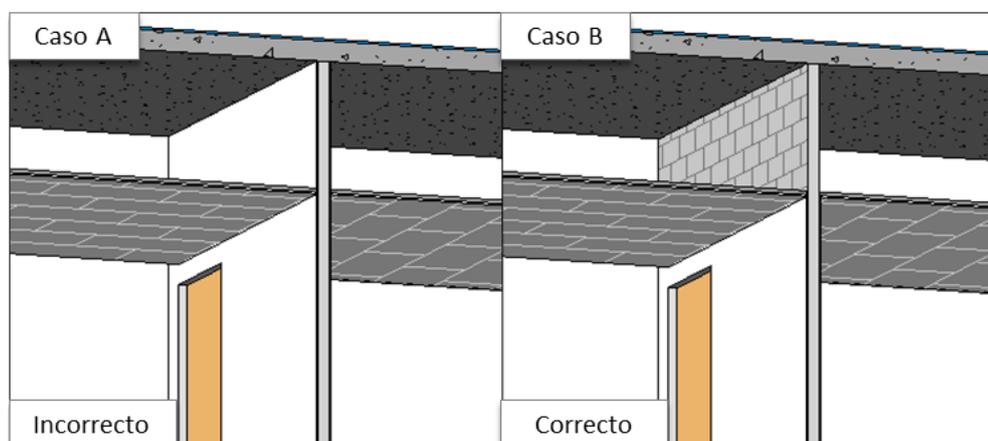
Una aplicación directa de modelar la edificación en BIM-3D es la estimación de la cantidad de materiales, comúnmente conocida como metrados. Los programas de la generación BIM permiten una estimación de los metrados de forma automática. Sin embargo, si queremos que los programas computen los metrados y den resultados confiables que se ajusten a las condiciones reales del proyecto, los componentes de la edificación se deben modelar en 3D siguiendo la secuencia y lógica constructiva.

Los modelos BIM-3D se crean en base a objetos 3D inteligentes conocidos como componentes o familias, un muro, una columna o una losa son algunos ejemplos. Los componentes muro, para algunos programas, son objetos 3D compuestos por varias capas, en la que cada capa está asociada a un tipo de acabado o material. Por ejemplo, una tabiquería de albañilería tarrajada y pintada exterior e interiormente puede ser, para efectos del modelado 3D, un muro compuesto por cinco capas, con un núcleo de albañilería de 15cm de ancho, una capa de tarrajeo y otra de pintura aplicadas en ambas caras, tal como se puede apreciar los casos A y B de la Figura 0.16. Si se modela el muro como elemento compuesto (como en el Caso A) según la práctica y enseñanza tradicional, más adelante se tendrá problemas con la precisión del medrado cuando el muro sea parte de un ambiente con un falso cielo raso (FCR) a media altura, pues constructivamente, para aislar acústicamente

ambos ambientes, se prefiere que sólo el muro de albañilería llegue hasta el nivel del fondo de losa del piso superior y que el resto de capas de acabados queden al nivel del FCR (Como en el Caso B).

Este problema puntual, como muchos otros no mencionados, podría resolverse modelando en base a la lógica constructiva, pues el muro compuesto de cinco capas (del ejemplo) no permitiría simular en 4D su proceso constructivo, ya que el programa lo interpretaría como un solo objeto y no como cinco como es en la práctica real, pues lógicamente primero se construye el muro de albañilería, y después de semanas (o meses) se le coloca las capas de acabado interior y exterior.

Figura 25: Formas de modelado 3D tomando como ejemplo un muro con FCR a media altura



Fuente: Mc Graw Hill

En conclusión, se podría decir que los programas BIM pueden estimar cálculos de materiales precisos en la medida que el modelado 3D de la edificación tenga el nivel de precisión y exactitud necesario, el cual se

logra si el modelo 3D tiene componentes (paramétricos e inteligentes) que corresponden a la forma como en realidad se va a construir.

Una vez desarrollado el Modelado BIM óptimo y correcto, se podrá obtener los cuadros de cantidades de todo el proyecto, sea: Conteo, Área, Volumen, Longitudes, Perímetro, los cuales servirán para relacionarlos directamente con las partidas de metrado de todo el proyecto.

Figura 26: Cuadro de Metrados de Muros Revit – Área y Volumen

<Cuadro de Muros>				
A	B	C	D	E
Tipo	Anchura	Recuento	Área	Volumen
A1	0.10 m	108	191.16 m ²	19.12 m ³
M1	0.30 m	305	550.28 m ²	165.07 m ³
M2	0.25 m	264	843.84 m ²	210.96 m ³
M2.2	0.25 m	31	568.47 m ²	142.12 m ³
M3	0.20 m	709	5181.34 m ²	1036.16 m ³
M4	0.15 m	1285	6101.33 m ²	915.17 m ³
M5	0.10 m	813	918.19 m ²	91.82 m ³
Vg 1	0.50 m	6	16.10 m ²	8.05 m ³
Vg 2	0.40 m	40	329.65 m ²	131.44 m ³
Vg 3	0.30 m	46	234.72 m ²	70.35 m ³
Vg 4	0.25 m	4	9.95 m ²	2.49 m ³
Vg 5	0.20 m	12	37.00 m ²	7.40 m ³
Vg 6	0.15 m	16	51.90 m ²	7.78 m ³
Vg 7	0.10 m	9	10.16 m ²	1.02 m ³
Total general		3648	15044.10 m ²	2808.94 m ³

Fuente: Propia

2.2.3.3 Planificación según Lean Construction

2.2.3.3.1 Introducción

Al pensar en Planificación 4D, hay dos factores que se evalúan, el primero el modelo BIM, y el segundo la Planificación.

Esta al estar enfocada en Lean Construction nos permitirá ser lo más productivos posibles en tanto la sigamos con fervor y no se presenten inconvenientes en campo.

Estos inconvenientes vendrían de la mano del tema logístico en su mayoría, debido a que el modelo BIM anteriormente realizado te permite pre construir la edificación, de tal manera que se encuentra gran cantidad de problemas que de la manera tradicional se encuentran en campo.

El modelo denominado Lean construction (construcción sin pérdidas), propuesto por Lauri Koskela (1992) , analiza los principios y las aplicaciones del JIT (justo a tiempo) y TQM (control total de la calidad) en la industria de la construcción, intentando identificar las bases que él define como “la nueva filosofía de producción”, conocida como lean production.

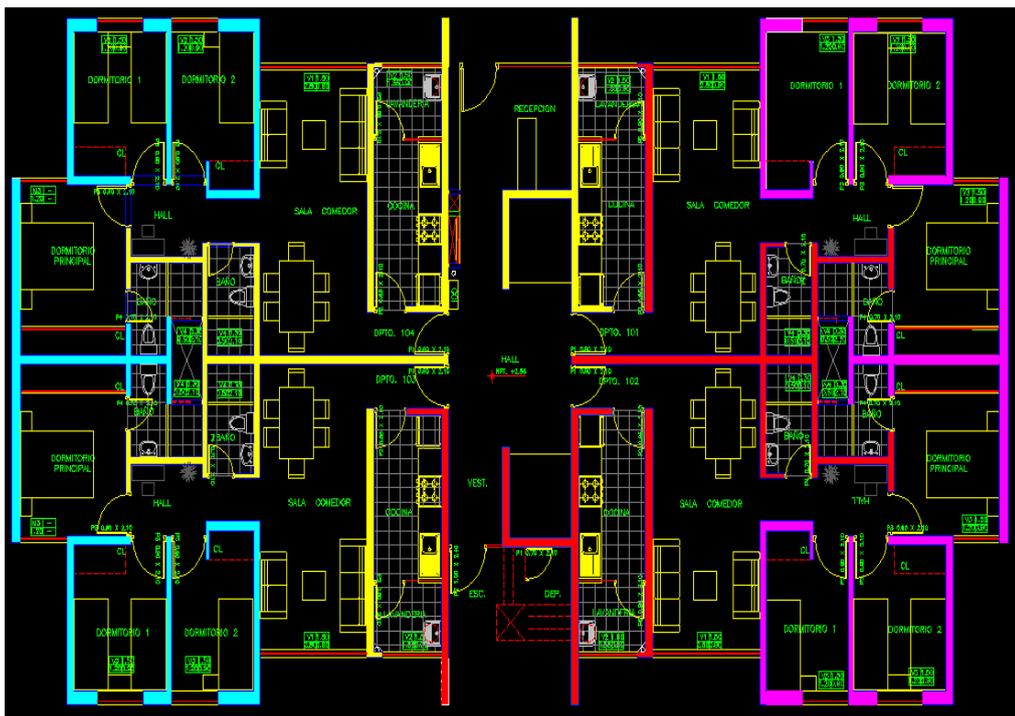
Lean construction introduce principios que cambian el marco conceptual de la administración del mejoramiento de la productividad y enfoca todos los esfuerzos a la estabilidad del flujo de trabajo. Mediante el enfoque Lean construction se han desarrollado diversas herramientas tendientes a reducir las pérdidas a través del proceso productivo. Una de estas herramientas de planificación y control fue diseñada por Ballard y Howell. El sistema denominado el último planificador (Last Planner System) presenta cambios fundamentales en la manera como los proyectos son planificados y controlados. El método incluye la definición de unidades de producción y el control del flujo de actividades, mediante asignaciones de

trabajo. Adicionalmente facilita la obtención del origen de los problemas y la toma oportuna de decisiones relacionada con los ajustes necesarios en las operaciones para tomar acciones a tiempo, lo cual incrementa la productividad.

2.2.3.3.2 Sectorización

Al tener una arquitectura típica en todos los 4 departamentos y a su vez en todos los pisos, se procede a sectorizar las placas de esta manera, con el propósito de lograr un avance de un departamento al día

Figura 27: Sectorización de Placas – Pisos Típicos



Fuente: Propia

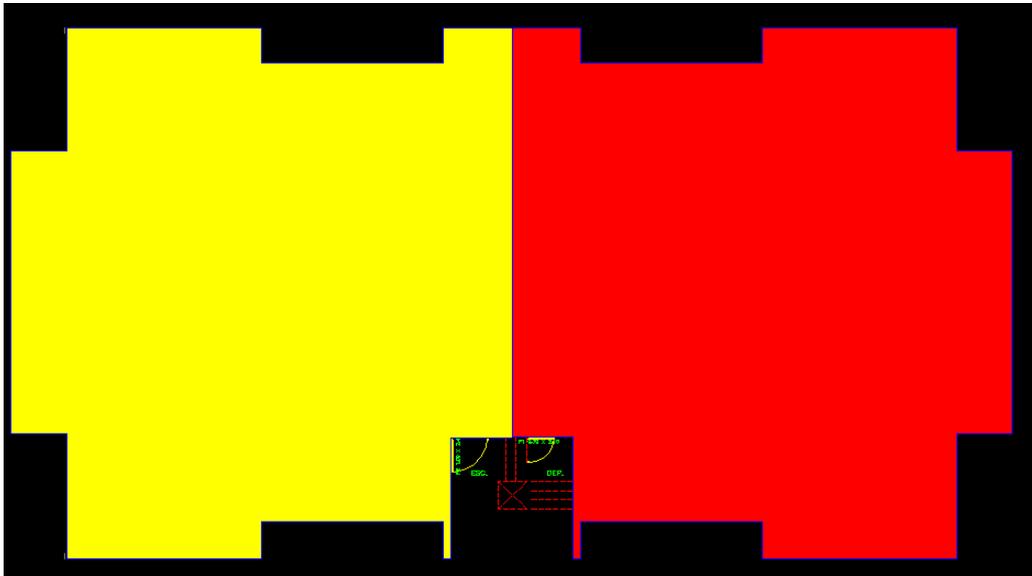
Color Celeste: Sector 1

Color Amarillo: Sector 2

Color Rojo: Sector 3

Color Magenta: Sector 4

Figura 28: Sectorización de Losas – Pisos Típicos



Fuente: Propia

Color Amarillo: Sector 1

Color Rojo: Sector 2

Para dar con esta sectorización previamente se realizaron muchos cálculos e intentos de sectorizaciones, los cuales no cumplían con la homogeneidad de cargas (metrados).

Después de múltiples intentos se logró sectorizar de esta manera, ya que es la más adecuada y cumple con el margen del $\pm 10\%$ de variación de metrado

2.2.3.3.3 Tren de Actividades:

Teniendo como base la sectorización del Proyecto, se asignará un día para cada partida, pudiéndose hacer dos o más en un solo día, solo limitadas por criterios de constructabilidad, temas técnicos y temas de recursos.

El tren de trabajo o tren de actividades está delimitado por la cantidad de metrado y el rendimiento generado por cada cuadrilla.

Cabe resaltar que el tren de actividades fue trabajado solo con días laborables, y que las cuadrillas de acero empezarán un día antes, posteriormente las cuadrillas de instalaciones eléctricas y sanitarias, luego encofradores y vaciadores, con el fin de generar un buffer de 1 día entre las distintas actividades y disminuir la variabilidad.

Tabla N°29: Tren de Actividades – Producción

Tren de Actividades																					
Actividades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Acero en Placas	S1D1	S2D1	S3D1	S4D1	S1C1	S2C1	S3C1	S4C1	S1D2	S2D2	S3D2	S4D2	S1C2	S2C2	S3C2	S4C2					
Instalaciones Sanitarias Placas		S1D1	S2D1	S3D1	S4D1	S1C1	S2C1	S3C1	S4C1	S1D2	S2D2	S3D2	S4D2	S1C2	S2C2	S3C2	S4C2				
Instalaciones Eléctricas Placas		S1D1	S2D1	S3D1	S4D1	S1C1	S2C1	S3C1	S4C1	S1D2	S2D2	S3D2	S4D2	S1C2	S2C2	S3C2	S4C2				
Encofrado de Placas			S1D1	S2D1	S3D1	S4D1	S1C1	S2C1	S3C1	S4C1	S1D2	S2D2	S3D2	S4D2	S1C2	S2C2	S3C2	S4C2			
Vaciado de Placas			S1D1	S2D1	S3D1	S4D1	S1C1	S2C1	S3C1	S4C1	S1D2	S2D2	S3D2	S4D2	S1C2	S2C2	S3C2	S4C2			
Encofrado de Losas				S1LD1	S2LD1	S1LC1	S2LC1	S1LD2	S2LD2	S1LC2	S2LC2										
Acero en Losa				S1LD1	S2LD1	S1LC1	S2LC1	S1LD2	S2LD2	S1LC2	S2LC2										
Instalaciones Sanitarias Losa				S1LD1	S2LD1	S1LC1	S2LC1	S1LD2	S2LD2	S1LC2	S2LC2										
Instalaciones Eléctricas Losa				S1LD1	S2LD1	S1LC1	S2LC1	S1LD2	S2LD2	S1LC2	S2LC2										
Vaciado Losa				S1LD1	S2LD1	S1LC1	S2LC1	S1LD2	S2LD2	S1LC2	S2LC2										

Fuente: Propia

En el tren de actividades propuesto, el avance es de un departamento por día, y el techado de dos departamentos cada dos días.

III. RESULTADOS

3.1 Metrados del Proyecto

3.1.1 Metrados del Proyecto (Revit)

Una aplicación directa de modelar la edificación en BIM-3D es la estimación de la cantidad de materiales, comúnmente conocida como metrados. Los programas de la generación BIM permiten una estimación de los metrados de forma automática. Sin embargo, si queremos que los programas computen los metrados y den resultados confiables que se ajusten a las condiciones reales del proyecto, los componentes de la edificación se deben modelar en 3D siguiendo la secuencia y lógica constructiva.

Para comprobar la veracidad de los resultados obtenidos en Revit, se procederá a obtener los metrados manualmente de los planos 2D de Autocad y trabajados en Excel y se obtendrá el reporte de Metrados propio del programa BIM - Revit.

3.1.1.1 Placas

Tabla N°02: Cuadro de Metrados de Muros – Revit 2014

<Cuadro de Muros>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	Anchura	Recuento	Área	Volumen	Perímetro	Encofrado (m2)
M1	0.30 m	301	504.36 m ²	151.30 m ³	780.60 m	1322.74 m ²
M2	0.25 m	293	1376.28 m ²	344.07 m ³	1407.10 m	3031.82 m ²
M3	0.20 m	685	4892.52 m ²	978.40 m ³	4493.84 m	10382.81 m ²
M4	0.15 m	1257	5963.34 m ²	894.47 m ³	6269.47 m	12522.06 m ²
M5	0.10 m	802	844.09 m ²	84.41 m ³	2186.16 m	1844.50 m ²
Total g		3338	13580.59 m ²	2452.64 m ³	15137.17 m	29103.93 m ²

Fuente: Propia

3.1.1.2 Losas

Tabla N°03: Cuadro de Metrados de Losas - Revit

<Cuadro de Losas>			
A	B	C	D
Tipo	Perímetro	Área	Volumen
Losa Macisa	3972.80 m	8921.10 m ²	1784.22 m ³
Total general: 56	3972.80 m	8921.10 m ²	1784.22 m ³

Fuente: Propia

3.1.1.3 Puertas

Tabla N°04: Cuadro de Conteo de Puertas – Revit

<Cuadro de Puertas>				
A	B	C	D	E
Tipo	Anchura	Altura	Nivel	Recuento
P1	0.90 m	2.40 m		432
P2	0.85 m	2.40 m		108
P3	0.70 m	2.40 m		216
Total general: 756				

Fuente: Propia

3.1.1.4 Ventanas

Tabla N°05: Cuadro de Conteo de Ventanas – Revit

<Cuadro de Ventanas>			
A	B	C	D
Tipo	Altura	Anchura	Recuento
V1	1.50 m	2.80 m	108
V2	1.50 m	1.55 m	108
V3	1.50 m	1.25 m	48
V4	1.50 m	1.20 m	276
V5	0.30 m	0.50 m	216
Total general: 756			

Fuente: Propia

3.2.1.5 Sanitarios

Tabla N°06: Cuadro de Conteo Equipos Sanitarios – Revit

<Cuadro de Sanitarios>	
A	B
Tipo	Recuento
Ducha	108
Ducha 1	108
Inodoro	216
Lavadero	108
Lavamanos	216
Lavatorio Cocina	108
Total general: 864	864

Fuente: Propia

3.1.2 Metrados del Proyecto (Excel)

3.1.2.1 Placas

Tabla N°07: Cuadro de Metrados de Muros Torre D – Autocad y Excel

METRADOS D						
Muro	Área	N° Rep	Altura	CONCRETO (M3)	Perímetro	ENCOFRADO (M2)
P1	3.15	2	2.40	15.13	29.70	142.58
P2	1.18	4	2.40	11.33	12.20	117.12
P3	0.71	4	2.40	6.77	8.50	81.60
P4	1.36	4	2.40	13.06	13.24	127.10
P5	3.99	2	2.40	19.17	46.94	225.31
P6	1.07	4	2.40	10.22	11.25	108.00
P7	1.37	2	2.40	6.57	14.54	69.79
P8	2.11	2	2.40	10.12	21.94	105.31
A1	0.18	4	0.90	0.65	2.70	9.72
A2	0.36	8	0.90	2.59	3.00	21.60
A3	0.28	4	0.90	1.01	5.80	20.88
A4	0.15	4	0.90	0.56	3.30	11.88
Total Por Piso			1 Piso	97.18		1040.90
Total Por Edificio			15 Pisos	1457.67		16654.43

Fuente: Propia

Tabla N°08: Cuadro de Metrados de Muros Torre C – Autocad y Excel

METRADOS C						
Muro	Área	N° Rep	Altura	CONCRETO (M3)	Perímetro	ENCOFRADO (M2)
P1	2.97	2	2.40	14.26	29.90	143.52
P2	0.975	4	2.40	9.36	11.50	110.40
P3	0.675	4	2.40	6.48	8.50	81.60
P4	1.1175	4	2.40	10.73	13.50	129.60
P5	3.2525	2	2.40	15.61	47.00	225.60
P6	0.8075	4	2.40	7.75	11.20	107.52
P7	1.065	2	2.40	5.11	14.50	69.60
P8	1.805	2	2.40	8.66	21.90	105.12
A1	0.1875	4	0.90	0.68	2.80	10.08
A2	0.3	8	0.90	2.16	2.90	20.88
A3	0.42	4	0.90	1.51	5.90	21.24
A4	0.155	4	0.90	0.56	3.30	11.88
Total Por Piso			1 Piso	82.87		1037.04
Total Por Edificio			12 Pisos	994.43		12444.48

Fuente: Propia

3.1.2.2 Losas

Tabla N°09: Cuadro de Metrado de Losas – Excel

METRADO LOSA MACIZA			
Equipo	Perímetro	Área	Volumen
Maciza	94.00	327.50	65.50
Ascensor	7.00	3.04	0.61
Ductos	4.90	1.32	0.26
Total 1 Piso		318.78	63.76
Total Edificio		8925.84	1785.17

Fuente: Propia

3.1.2.3 Puertas

Tabla N°10: Cuadro de Conteo de Puertas – Excel

METRADO PUERTAS					
Puertas	Ancho	Altura	N° rep.	N° Pisos	Sub Total
P1	0.9	2.4	16	27	432
P2	0.85	2.4	4	27	108
P3	0.7	2.4	8	27	216
Total					756

Fuente: Propia

3.1.2.4 Ventanas

Tabla N°11: Cuadro de Conteo de Ventanas - Excel

METRADO VENTANAS					
Ventana	Ancho	Altura	N° rep.	N° Pisos	Sub Total
V1	2.8	1.5	4	27	108
V2	1.55	1.5	4	27	108
V3	1.25	1.5	4	12	48
V4	1.2	1.5	8	27	216
V4	1.2	1.5	4	15	60
V5	0.5	0.3	8	27	216
Total					756

Fuente: Propia

3.1.2.5 Sanitarios

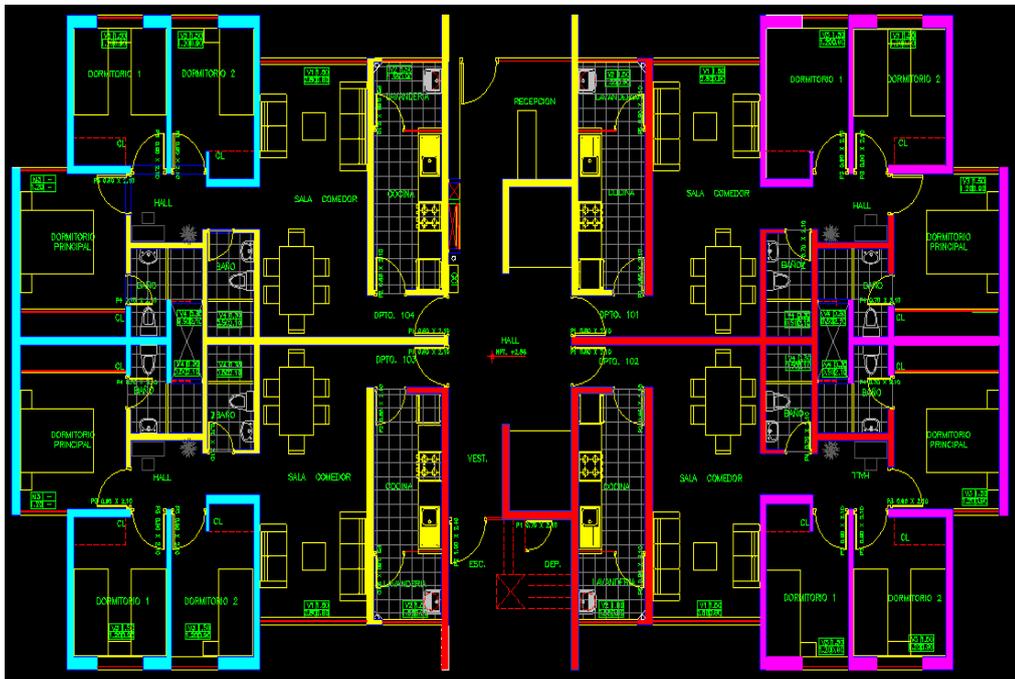
Tabla N°12: Cuadro de Conteo Equipos Sanitarios – Excel

METRADO EQUIPO SANITARIO			
Equipo	N° rep.	N° Pisos	Sub Total
Ducha	4	27	108
Ducha 2	4	27	108
Inodoro	8	27	216
Lavadero	4	27	108
Lavamanos	8	27	216
Lavatorio (Cocina)	4	27	108
Total			864

3.2 Sectorización

3.2.1 Edificio D – Placas

Figura 30: Sectorización de Placas – Pisos Típicos



Fuente: Propia

Color Celeste: Sector 1

Color Amarillo: Sector 2

Color Rojo: Sector 3

Color Magenta: Sector 4

Tabla N°13: Metrado Sector 1 – Edificio D

SECTOR 1 - D						
Placa	Área	N° Rep	Altura	CONCRETO (M3)	Perímetro	ENCOFRADO (M2)
P1	3.15	1	2.40	7.57	29.70	71.29
P2	1.18	2	2.40	5.66	12.20	58.56
P3	0.71	2	2.40	3.38	8.50	40.80
P4	1.36	2	2.40	6.53	13.24	63.55
Total Por Sector			1 Piso	23.14		234.20

Fuente: Propia

Tabla N°14: Metrado Sector 2 – Edificio D

SECTOR 2 - D						
Placa	Área	N° Rep	Altura	CONCRETO (M3)	Perímetro	ENCOFRADO (M2)
P5	3.99	1	2.40	9.58	46.94	112.66
P6	1.07	2	2.40	5.11	11.25	54.00
P7	1.37	1	2.40	3.29	14.54	34.90
P8	2.11	1	2.40	5.06	21.94	52.66
Total Por Sector			1 Piso	23.04		254.21

Fuente: Propia

Tabla N°15: Metrado Sector 3 – Edificio D

SECTOR 3 - D						
Placa	Área	N° Rep	Altura	CONCRETO (M3)	Perímetro	ENCOFRADO (M2)
P5	3.99	1	2.40	9.58	46.94	112.66
P6	1.07	2	2.40	5.11	11.25	54.00
P7	1.37	1	2.40	3.29	14.54	34.90
P8	2.11	1	2.40	5.06	21.94	52.66
Total Por Sector			1 Piso	23.04		254.21

Tabla N°16: Metrado Sector 3 – Edificio D

SECTOR 4 - D						
Placa	Área	N° Rep	Altura	CONCRETO (M3)	Perímetro	ENCOFRADO (M2)
P1	3.15	1	2.40	7.57	29.70	71.29
P2	1.18	2	2.40	5.66	12.20	58.56
P3	0.71	2	2.40	3.38	8.50	40.80
P4	1.36	2	2.40	6.53	13.24	63.55
Total Por Sector			1 Piso	23.14		234.20

Fuente: Propia

Se pueden observar metrados muy similares en cuanto a Concreto y Encofrado, motivo por el cual se trabajará en base a esta sectorización

3.2.2 Edificio C - Placas

Tabla N°17: Metrado Sector 1 – Edificio C

SECTOR 1 – C						
Muro	Área	N° Rep	Altura	CONCRETO (M3)	Perímetro	ENCOFRADO (M2)
P1	2.97	1	2.40	7.13	29.90	71.76
P2	0.98	2	2.40	4.68	11.50	55.20
P3	0.68	2	2.40	3.24	8.50	40.80
P4	1.12	2	2.40	5.36	13.50	64.80
Total Por Sector			1 Piso	20.41		232.56

Fuente: Propia

Tabla N°18: Metrado Sector 2 – Edificio C

SECTOR 2 – C						
Muro	Área	N° Rep	Altura	CONCRETO (M3)	Perímetro	ENCOFRADO (M2)
P5	3.25	1	2.40	7.81	47.00	112.80
P6	0.81	2	2.40	3.88	11.20	53.76
P7	1.07	1	2.40	2.56	14.50	34.80
P8	1.81	1	2.40	4.33	21.90	52.56
Total Por Sector			1 Piso	18.57		253.92

Tabla N°19: Metrado Sector 3 – Edificio C

SECTOR 3 - C						
Muro	Área	N° Rep	Altura	CONCRETO (M3)	Perímetro	ENCOFRADO (M2)
P5	3.25	1	2.40	7.81	47.00	112.80
P6	0.81	2	2.40	3.88	11.20	53.76
P7	1.07	1	2.40	2.56	14.50	34.80
P8	1.81	1	2.40	4.33	21.90	52.56
Total Por Sector			1 Piso	18.57		253.92

Fuente: Propia

Tabla N°20: Metrado Sector 4 – Edificio C

SECTOR 4 - C						
Muro	Área	N° Rep	Altura	CONCRETO (M3)	Perímetro	ENCOFRADO (M2)
P1	2.97	1	2.40	7.13	29.90	71.76
P2	0.98	2	2.40	4.68	11.50	55.20
P3	0.68	2	2.40	3.24	8.50	40.80
P4	1.12	2	2.40	5.36	13.50	64.80
Total Por Sector			1 Piso	20.41		232.56

Fuente: Propia

Se pueden observar metrados muy similares en cuanto a Concreto y Encofrado, motivo por el cual se trabajará en base a esta sectorización.

3.2.3 Bloque CD - Losa

Figura 31: Sectorización de Losas – Pisos Típicos



Fuente: Propia

Color Amarillo: Sector 1

Color Rojo: Sector 2

EDIFICIO C Y D

Tabla N°21: Sector 1 de Losas – Pisos Típicos

METRADO SECTOR 1 - CD				
Detalle	N° Veces	Perímetro	Área	Volumen
Maciza	1	94.00	327.50	65.50
Ascensor	0	7.00	3.04	0.61
Ductos	1	4.90	1.32	0.26
Total por Sector			326.18	65.24

Fuente: Propia

Tabla N°22: Sector 2 de Losas – Pisos Típicos

METRADO SECTOR 2 - CD				
Detalle	N° Veces	Perímetro	Área	Volumen
Maciza	1	94.00	327.50	65.50
Ascensor	2	7.00	3.04	0.61
Ductos	1	4.90	1.32	0.26
Total por Sector			320.10	64.02

Fuente: Propia

3.3 Tren de Actividades

Tabla N°23: Metrados x Sector x Partida – Pisos Típicos

Metrados x Sector x Elemento D					
Encofrado	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Total
Placas	234.2	254.2	254.2	234.2	976.8
Losas	326.2	320.1			646.3
Vaciado	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Total
Placas	23.1	23.0	23.0	23.1	92.4
Losas	65.2	64.0			129.3

Fuente: Propia

Tabla N°24: Rendimientos para Tren de Actividades – Pisos Típicos

Rendimientos x Elemento		
Elementos	Encofrado	Vaciado
Placas	28 m2	100 m3
Losas	28 m2	140 m3

Fuente: Propia

Tabla N°25: Calculo de la Duración (día) – Sector 1,4

Encofrado	
Placas	Sector 1/4
Metrado	234
Rendimiento	28
Duración días	8.36
Cuadrilla	9
Duración meta	0.93

Fuente: Propia

Tabla N°26: Calculo de la Duración (día) – Sector 1,4

Vaciado	
Placas	Sector 1/4
Metrado	23.14
Rendimiento	100
Duración días	0.23
Cuadrilla	1
Duración meta	0.23

Fuente: Propia

La duración día presenta un valor de 0.23, esto es porque los vaciados serán corporativos, así teniendo que el proyecto consta de 4 bloques idénticos al Bloque CD (Bloque tomado para la elaboración de la tesis), es decir $0.23 \times 4 = 0.92$

Tabla N°27: Calculo de la Duración (día) – Sector 1,4

Encofrado	
Losas	Sector 1
Metrado	326
Rendimiento	28
Duración días	11.65
Cuadrilla	6
Duración meta	1.94

Fuente: Propia

La duración día presenta un valor de 1.94, esto es porque por un tema de constructabilidad se decidió vaciar losas cada dos días, para solo cortar la losa en 2 y ya no en cuatro, al calcular por dos días tenemos una duración día de $1.94/2 = 0.97$

Tabla N°28: Calculo de la Duración (día) – Sector 1,4

Vaciado	
Losas	Sector 1/4
Metrado	65
Rendimiento	140
Duración días	0.47
Cuadrilla	1
Duración meta	0.47

Fuente: Propia

La Duración día presenta un valor de 0.47, esto es porque como antes se explicó los vaciados son corporativos, y se decidió vaciar losas cada dos días, Bloque CD EF un día, y Bloque GH IJ al siguiente día, al calcular por el valor por el día en total tenemos: $0.47*2 = 0.94$

Tabla N°29: Calculo de la Duración (día) – Sector 2,3

Encofrado	
Placas	Sector 2/3
Metrado	254.2
Rendimiento	28
Duración días	9.08
Cuadrilla	9
Duración meta	1.01

Fuente: Propia

Tabla N°30: Calculo de la Duración (día) – Sector 2,3

Vaciado	
Placas	Sector 2/3
Metrado	23.0
Rendimiento	100
Duración días	0.23
Cuadrilla	1
Duración meta	0.23

Fuente: Propia

La duración día presenta un valor de 0.23, esto es porque el proyecto consta de 4 bloques idénticos al Bloque CD (Bloque tomado para la elaboración de la tesis), es decir $0.23 \times 4 = 0.92$

Tabla N°31: Calculo de la Duración (día) – Sector 2,3

Encofrado	
Losas	Sector 2/3
Metrado	320.1
Rendimiento	28
Duración días	11.43
Cuadrilla	6
Duración meta	1.91

Fuente: Propia

La duración día presenta un valor de 1.91, esto es porque por un tema de constructabilidad se decidió vaciar losas cada dos días, al calcular por dos días tenemos una duración día de $1.91/2 = 0.96$

Tabla N°32: Calculo de la Duración (día) – Sector 2,3

Vaciado	
Losas	Sector 2/3
Metrado	64.0
Rendimiento	140
Duración días	0.46
Cuadrilla	1
Duración meta	0.46

La Duración día presenta un valor de 0.47, esto es porque como antes se explicó se decidió vaciar losas cada dos días, Bloque CD EF un día, y Bloque GH IJ al siguiente día, al calcular por el valor por el día en total tenemos: $0.46 * 2 = 0.92$

Tabla N°33: Tren de Actividades - Producción

Tren de Actividades		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Actividades		S1D1	S2D1	S3D1	S4D1	S1C1	S2C1	S3C1	S4C1	S1D2	S2D2	S3D2	S4D2	S1C2	S2C2	S3C2	S4C2					
Acero en Placas			S1D1	S2D1	S3D1	S4D1	S1C1	S2C1	S3C1	S4C1	S1D2	S2D2	S3D2	S4D2	S1C2	S2C2	S3C2	S4C2				
Instalaciones Sanitarias Placas			S1D1	S2D1	S3D1	S4D1	S1C1	S2C1	S3C1	S4C1	S1D2	S2D2	S3D2	S4D2	S1C2	S2C2	S3C2	S4C2				
Instalaciones Eléctricas Placas				S1D1	S2D1	S3D1	S4D1	S1C1	S2C1	S3C1	S4C1	S1D2	S2D2	S3D2	S4D2	S1C2	S2C2	S3C2	S4C2			
Encofrado de Placas				S1D1	S2D1	S3D1	S4D1	S1C1	S2C1	S3C1	S4C1	S1D2	S2D2	S3D2	S4D2	S1C2	S2C2	S3C2	S4C2			
Vaciado de Placas				S1D1	S2D1	S3D1	S4D1	S1C1	S2C1	S3C1	S4C1	S1D2	S2D2	S3D2	S4D2	S1C2	S2C2	S3C2	S4C2			
Encofrado de Losas				S1D1	S2D1	S3D1	S4D1	S1C1	S2C1	S3C1	S4C1	S1D2	S2D2	S3D2	S4D2	S1C2	S2C2	S3C2	S4C2			
Acero en Losa				S1D1	S2D1	S3D1	S4D1	S1C1	S2C1	S3C1	S4C1	S1D2	S2D2	S3D2	S4D2	S1C2	S2C2	S3C2	S4C2			
Instalaciones Sanitarias Losa					S1D1	S2D1	S3D1	S4D1	S1C1	S2C1	S3C1	S4C1	S1D2	S2D2	S3D2	S4D2	S1C2	S2C2	S3C2	S4C2		
Instalaciones Eléctricas Losa					S1D1	S2D1	S3D1	S4D1	S1C1	S2C1	S3C1	S4C1	S1D2	S2D2	S3D2	S4D2	S1C2	S2C2	S3C2	S4C2		
Vaciado Losa						S1D1	S2D1	S3D1	S4D1	S1C1	S2C1	S3C1	S4C1	S1D2	S2D2	S3D2	S4D2	S1C2	S2C2	S3C2	S4C2	

Fuente: Propia

Tabla N°34: Leyenda Tren de Actividades - Producción

Leyenda	
Sector 1 Placas	S1
Sector 2 Placas	S2
Sector 3 Placa	S3
Sector 4 Placas	S4
Sector 1 Losa	S1L
Sector 2 Losa	S2L
Edificio D	D
Edificio C	C
Piso	1
Ejemplo: S1D1 (Sector 1, edificio D Piso 1)	

Fuente: Propia

Con el tren de actividades definido y el modelo BIM realizado, podemos elaborar la secuencia constructiva del Video, que al integrar un modelo en 3 dimensiones con el vector Tiempo, nos da la PLANIFICACIÓN 4D DEL BLOQUE CD.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Metrados del Proyecto

4.1.1 Placas

Tabla N°35: Cuadro comparativo Metrados de Muros Revit Vs Excel

METRADOS TOTALES PLACAS		
FUENTE	CONCRETO (m3)	ENCOFRADO (m2)
Excel	2452.10	29098.91
Revit	2452.64	29103.03
Diferencial	0.02%	0.01%

Fuente: Propia

Se puede decir que la diferencia es irrelevante, debido a que es inferior al 0.1%, por lo tanto el metrado del programa BIM es Válido y Confiable

4.1.2 Losas

Tabla N°36: Cuadro Comparativo de Metrados en Losas Revit Vs Excel

METRADO TOTAL LOSAS		
FUENTE	CONCRETO (m3)	ENCOFRADO (m2)
Excel	1785.17	8925.84
Revit	1784.22	8921.1
Diferencial	-0.05%	-0.05%

Fuente: Propia

Se puede decir que la diferencia es irrelevante, debido a que es inferior al 0.1%, por lo tanto el metrado del programa BIM es Válido y Confiable

4.1.3 Puertas

Tabla N°37: Cuadro Comparativo de Conteo de Puertas Revit Vs Excel

METRADOS TOTALES PUERTAS			
FUENTE	P1	P2	P3
Excel	432.00	108.00	216
Revit	432.00	108.00	216
Diferencial	0.00%	0.00%	0.00%

Fuente: Propia

El metrado del programa BIM es Válido y Confiable

4.1.4 Ventanas

Tabla N°38: Cuadro Comparativo de Conteo de Ventanas Revit Vs Excel

METRADOS TOTALES VENTANAS					
FUENTE	V1	V2	V3	V4	V5
Excel	108.00	108.00	48	276	216
Revit	108.00	108.00	48	276	216
Diferencial	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Fuente: Propia

El metrado del programa BIM es Válido y Confiable

4.1.5 Sanitarios

Tabla N°39: Cuadro Comparativo de Conteo de Equipo Sanitario - Revit

Vs Excel

METRADOS TOTALES SANITARIOS					
FUENTE	Ducha	Inodoro	Lavadero	Lavamanos	Lavatorio
Excel	216.00	216.00	108	216	108
Revit	216.00	216.00	108	216	108
Diferencial	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Fuente: Propia

El metrado del programa BIM es Válido y Confiable

4.2 Sectorización

Tabla N°40: Comparativo Sectores Placas – Edificio D

COMPARATIVO SECTORES D		
Placa	CONCRETO (M3)	ENCOFRADO (M2)
Sector 1	23.14	234.20
Sector 2	23.04	254.21
Sector 3	23.04	254.21
Sector 4	23.14	234.20
Ratio (Min/Max)	1.00	0.92

Fuente: Propia

Observando los cuadros se deduce que es una
n Válida, ya que el diferencial del metrado entre
uno y otro sector es menor al 10%

Tabla N°41: Comparativo Sectores Placas –
Edificio C

COMPARATIVO SECTORES C		
Placa	CONCRETO (M3)	ENCOFRADO (M2)
Sector 1	20.41	232.56
Sector 2	18.57	253.92
Sector 3	18.57	253.92
Sector 4	20.41	232.56
Ratio (Min/Max)	0.91	0.92

Fuente: Propia

Tabla N°42: Comparativo Sectores – Pisos Típicos

Observando los cuadros se deduce que es una Sectorización Válida, ya
que el diferencial del metrado entre uno y otro sector es menor al 10%

COMPARATIVO SECTORES C y D		
Placa	CONCRETO (M3)	ENCOFRADO (M2)
Sector 1	65.24	326.18
Sector 2	64.02	320.10
Ratio (Min/Max)	0.98	0.98

Fuente: Propia

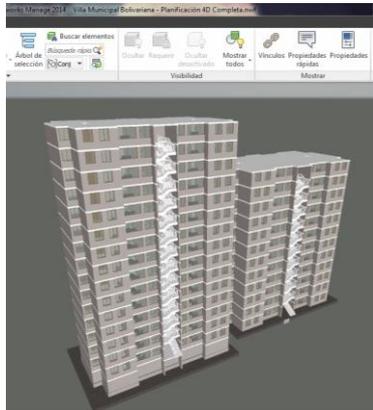
Observando los cuadros se deduce que es una Sectorización Válida, ya que el diferencial del metrado entre uno y otro sector es menor al 10%

4.3 Tren de Actividades.

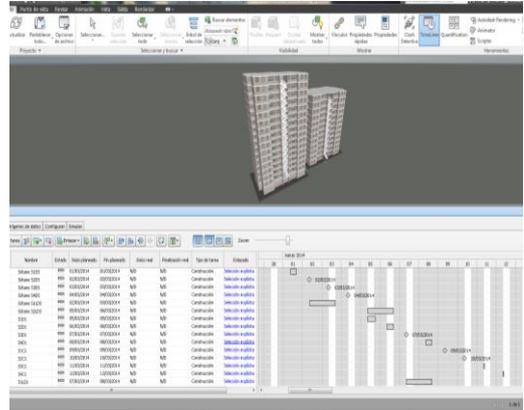
En base al desarrollo metodológico del sistema el ultimo planificador (Last Planner System), se pudo determinar que la mejor manera de sectorización en Placas eran cuatro sectores sin restricciones relevantes, sin embargo para la losas se determinaron dos sectores, la razón es el alto rendimiento en los vaciados y encofrados que no permitieron el desarrollo de la línea de producción en cuatro sectores, además de un tema de calidad. Esta es la razón por la cual el tren de actividades se ve forzado a mantener una arritmia en las partidas concernientes a la losa.

4.4 Planificación 4D

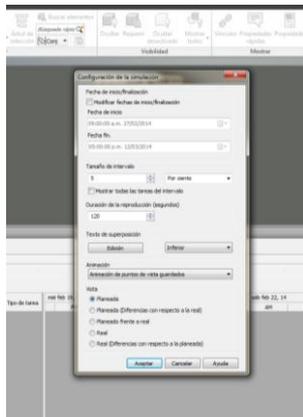
Luego de la modulación del proyecto y con la información del producto terminado, utilizando los datos del software Revit, con la ayuda del software Navisworks se generó un video del proceso constructivo conforme al sistema del último planificador. Para ello se presenta un StoryBoard del mencionado video.



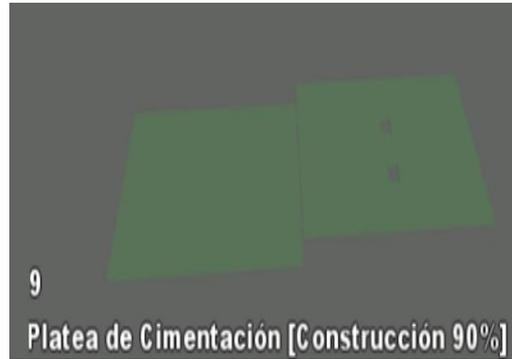
Inserción del Modelo BIM - Navisworks



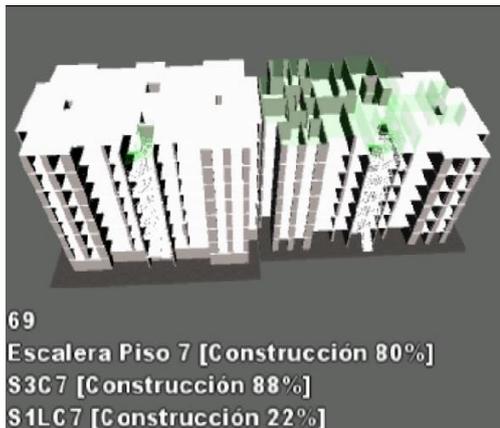
Planificación Lean insertada en Navisworks



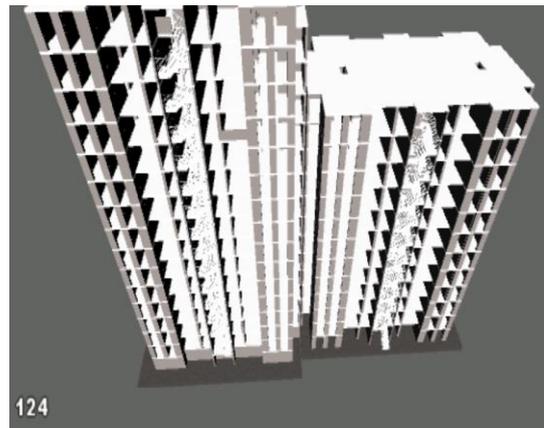
Configuración de Parámetros de Planificación 4D



Inicio de la Secuencia Constructiva – Plata de Cimentación.
Día 09: Plata de Cimentación al 90%



Secuencia Constructiva – Placas y Losas.
Día 69: Simulación Placas, Losas y Escalera



Fin de la Secuencia Constructiva –
Día 124: Bloque CD Completo al 100%

V. CONCLUSIONES

Luego de establecer el proceso metodológico desarrollado de acuerdo a la tecnología BIM y a parte de la herramienta Last Planner, generar la modulación del proyecto y de establecer los resultados y discutir los mismos, se puede determinar las siguientes conclusiones:

1. Se concluye que el desarrollo de la planificación 4D de la obra Villa Municipal Bolivariana es mucho más beneficioso aplicando softwares especializados BIM y parte de la Herramienta Last Planner. Esto se puede evidenciar por varios puntos, entre ellos los principales son: Obtención de reporte de metrados automáticos, mejor visualización del Proyecto ya que te permite visualizar el proyecto en 3D, preconstrucción virtual la cual permite encontrar errores en esta etapa, errores que en el sistema tradicional se encontraban insitu y detenían el flujo del proyecto, y por último la obtención de un video del proceso constructivo que demuestre el ciclo constructivo del proyecto.
2. Otra conclusión importante es que mediante la utilización de Softwares especializados BIM se puede verificar con mayor facilidad los Documentos necesarios que sirven de insumos para modelar el proyecto
3. Se concluye también que el uso del software especializado BIM puede determinar mayor nivel de análisis y corrección de errores

en línea por la visualización 3d del producto en proceso. Es decir, el modelamiento del proyecto con software especializado BIM se puede realizar directamente en 3D, lo que es mucho más eficiente en la utilización de los recursos que el desarrollo del proyecto en 2D

4. En relación a las hojas de metrados, luego que el proyecto estuvo modelado completamente, se generaron de manera automática e inmediata las hojas de metrados conforme a la necesidad del usuario. Esto significa que si hubiera habido algún cambio en el proyecto por parte de cualquiera de los involucrados (Proveedores, Constructor, Cliente, Autoridades y otros) la hoja de metrados se recalcularía de manera instantánea.
5. La utilización del sistema el último planificador, contribuye de manera significativa para la programación secuencial del proceso constructivo del Proyecto ya que este sistema determina de manera imperativa la secuencia real de actividades a ejecutar en la programación semanal. La razón fundamental de lo antes descrito es porque las actividades programadas en la semana no tienen ninguna restricción o impedimento para su ejecución
6. La utilización del Software especializado BIM tiene una contribución muy relevante desde el punto de vista visual, porque se puede generar un video del proceso constructivo con el software especializado Navisworks, frente a los diferentes cambios que se

pueden dar tanto en la etapa de formulación del proyecto como en la etapa de construcción de la obra. Es decir podemos realizar la simulación del proceso constructivo las veces que creamos conveniente conforme a las modulaciones, cambios o reprogramaciones del proyecto o de la obra.

7. Se concluye categóricamente que la diferencia entre formular un proyecto tradicionalmente y la utilización de software especializados BIM, en lo referente a metrados, es idéntica por lo que el diferencial entre los dos sistemas calculados se considero como irrelevante

VI. RECOMENDACIONES

Frente a los resultados obtenidos en el presente estudio de investigación podemos establecer las siguientes recomendaciones:

1. Sería conveniente incorporar los costos unitarios de los insumos en el software especializado BIM con el propósito de conocer los presupuestos a costo directo del proyecto en cuestión. Esto significa que frente a algún cambio inmediato o súbito del proyecto cambiaría instantáneamente su costo directo y tendríamos tantos presupuestos como cambios o escenarios diferentes del proyecto.
2. Para próximos estudios de este tipo se recomienda hacer una contrastación de tiempos, costos y calidad con la finalidad de poder generar ratios de productividad en la utilización de software especializados BIM.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- **Artica, Pedro E.**, “Planificación por Lotes de Producción con Modelos 4D”, paper presentado en el XVII Congreso Nacional de Ingeniería Civil CONIC, 2009. (1)
- **Ballard, Glenn**, “Lean Project Delivery System”, LCI White Paper, Sep 23, 2000. (2)
- **Berdillana F.**, “Tecnologías Informáticas para la Visualización de la información y su uso en la Construcción – Los Sistemas 3D Inteligente”, Tesis para optar grado de maestro, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú, 2008. (3)
- **Kunz, Jhon y Fischer, Martín**, “Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions”, CIFE Working Paper #097, Version 10, Octubre, 2009. (4)
- **Mourgues, Claudio y Fisher, Martín**, “Investigaciones en Tecnologías de Información Aplicadas a la Industria A/E/C (Arquitectura, Ingeniería y Construcción)”, CIFE Technical Report #124, enero, 2009. (5)
- **Orihuela, P. y Orihuela, J.**, “Constructabilidad en pequeños proyectos inmobiliarios”, VII Congreso Iberoamericano de Construcción y Desarrollo Inmobiliario – M.D.I., 2003. (6)
- **Vargas, T.**, “Opción Diseño-Construcción”, Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, 2011. (7)

- **Vásquez, Juan C.**, “Aplicación del Lean Design en proyectos de edificación”, Tesis para optar grado de Ingeniero Civil, PUCP, Lima – Perú, 2006. (8)

Autodesk.(2012). **AUTODESK**, <http://usa.autodesk.com/building-information-modeling/bim/> (9)

ROJAS, P. V. (2013). “METODOLOGÍA PARA MINIMIZAR LAS DEFICIENCIAS DE DISEÑO BASADA EN LA CONSTRUCCIÓN VIRTUAL USANDO TECNOLOGÍAS BIM”. Lima, Lima, Peru. (10)

http://www.portaldeingenieria.com/archivos/publicaciones/usuarios/Coordination_MEP.pdf (11)

Alcantara, Paul V. “Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construcción virtual usando tecnologías Bim”, Octubre 2013 (12)

Alcantara, Paul V. “Modelando en bim 3d y 4d para la construcción: caso proyecto universidad del Pacífico”, Marzo 2013 (13)