

**ESTUDIO DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE
MODELOS BIM 5D Y LA HERRAMIENTA LAST PLANNER EN LA
PLANIFICACIÓN DE PROYECTOS DE EDIFICACIÓN**

CESAR AGUSTO QUIROGA LEON

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2015

**ESTUDIO DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE
MODELOS BIM 5D Y LA HERRAMIENTA LAST PLANNER EN LA
PLANIFICACIÓN DE PROYECTOS DE EDIFICACIÓN**

CESAR AGUSTO QUIROGA LEON

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director

Omar Giovanni Sánchez Rivera

Ingeniero Civil

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECANICAS**

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2015

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar a este punto, por llenarme de sabiduría, guiarme en mi camino, y regalarme la salud para lograrlo.

A mi madre Carmen Rubiela León Toloza, quien es mi ejemplo a seguir y prueba constante de superación personal, le agradezco por su esfuerzo, experiencia y apoyo continuo durante mi formación como persona y profesional.

A mi padre Eduardo Quiroga Useda, quién me formo firme y correctamente, quien con sus innumerables consejos me permitieron encontrar el camino correcto y actuar de la mejor forma con mis semejantes, además del apoyo incondicional que siempre me brindó.

A mi hermano David Eduardo Quiroga León por su inmensa paciencia y acompañamiento durante la elaboración de este proyecto, gracias por ser mi apoyo.

A mis hermanos Laura Daniela Quiroga León y Juan Sebastián Quiroga León, quienes fueron mi inspiración y mi ideal para terminar este proyecto.

A mi prima Yeinmy Alexandra Fonseca Quiroga quien me acompañó, aconsejó y animó durante mi vida universitaria y quien ha sido mi apoyo constante e incondicional.

A mis abuelos quienes siempre se han preocupado por mí y le han pedido a Dios que me permita culminar mi meta.

A mi familia que siempre creyeron en mí y de alguna u otra forma han aportado para que este sueño se pueda hacer realidad, gracias a todos.

A mis amigos Gimeth, Karen y compañeros de universidad que me han acompañado durante cinco años en este proceso y con los que he aprendido, con los que hemos pasado muy buenos momentos y otros no tanto, pero a la final, todo fue por el aprendizaje, gracias.

A la Universidad Industrial de Santander, que me formo como profesional y donde conocí a personas maravillosas que me permitieron ampliar mi visión del mundo.

Finalmente les agradezco a todas las personas que en este momento no mencioné, pero que han sido de vital importancia para alcanzar esta meta, muchas gracias a todos

Cesar Augusto Quiroga León

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la colaboración al Ingeniero Civil y director de proyecto Omar Giovanni Sánchez Rivera, por la participación y asesorías durante la elaboración de esta investigación, también expresa sus agradecimientos al grupo de investigación Geomática, al diplomado de modelado y gestión de la construcción a José Alberto Galvis Guerra, y a los compañeros quienes aportaron sus conocimientos, para el desarrollo de esta investigación.

Cesar Augusto Quiroga Leon

CONTENIDO

| | Pag |
|--|-----|
| INTRODUCCIÓN | 15 |
| 1. JUSTIFICACIÓN..... | 17 |
| 2. OBJETIVOS..... | 19 |
| 2.1 OBJETIVO GENERAL..... | 19 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS | 19 |
| 3. METODOLOGÍA | 21 |
| 3.1. FASE 1: MARCO CONCEPTUAL..... | 21 |
| 3.2. FASE 2: CASO DE ESTUDIO..... | 21 |
| 3.3. FASE 3: ELABORACIÓN DE MODELOS BIB 3D | 21 |
| 3.4. FASE 4: PRESUPUESTO Y PROGRAMACIÓN DE OBRA..... | 22 |
| 3.5. FASE 5: SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR (LPS), DEFINICIÓN Y APLICACIÓN | 22 |
| 3.6. FASE 6: MODELACIÓN BIM 5D..... | 22 |
| 3.7. FASE 7: DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | 23 |
| 4. FASE 1: MARCO CONCEPTUAL..... | 23 |
| 4.1. MODELO TRADICIONAL DE PLANIFICACIÓN DE OBRAS..... | 23 |
| 4.1.1. Bases conceptuales..... | 26 |
| 4.2. LEAN CONSTRUCTION | 27 |
| 5. FASE 2: CASO DE ESTUDIO..... | 29 |
| 6. FASE 3: ELABORACIÓN DE MODELOS BIM 3D | 31 |
| 6.1. MODELO 3D EN AUTODESK REVIT | 32 |
| 7. FASE 4: PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES..... | 34 |
| 7.1. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS APU | 34 |
| 7.1.1. Materiales | 35 |

| | |
|--|----|
| 7.1.2. Equipos..... | 35 |
| 7.1.3. Mano de obra..... | 36 |
| 7.1.4. Transporte..... | 36 |
| 7.2. ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTOS..... | 37 |
| 7.3. PRESUPUESTO..... | 39 |
| 7.4. PROGRAMACIÓN DE OBRA..... | 40 |
| 8. FASE 5: SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR (LPS), DEFINICIÓN Y APLICACIÓN..... | 41 |
| 8.1. NIVELES DE PLANIFICACIÓN, LAST PLANNER SYSTEM..... | 45 |
| 8.1.1. Programación maestra..... | 47 |
| 8.1.2. Programación de fase..... | 48 |
| 8.1.3. Programación intermedia..... | 48 |
| 8.1.4. Programación de trabajo semanal..... | 50 |
| 9. FASE 6: MODELACIÓN BIM 5D..... | 54 |
| 10. FASE 7: DISCUSIÓN Y RESULTADOS..... | 57 |
| 10.1. RECOMENDACIONES PARA LA PLANIFICACIÓN DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN..... | 57 |
| 10.2. CUADRO DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA VINCULACIÓN DE BIM CON LAST PLANNER SYSTEM..... | 59 |
| 11. CONCLUSIONES..... | 61 |
| CITAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 63 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 67 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pag |
|--|-----|
| Figura 1. Proceso de construcción convencional que puede ser dividido en subprocesos jerárquicamente. Tomada de: Application of the new production philosophy to construction [9]..... | 27 |
| Figura 2. Imagen tomada de Google maps. Ubicación parque estación UIS. Entre carreras 25 y 26 y calles 10 y 11. | 30 |
| Figura 3. Plano de cimentación Parque estación UIS. Otorgado por el grupo de investigación Geomática. | 32 |
| Figura 4. Modelo 3D de la estación Parque estación UIS. Elaborado por el autor, modelado en Autodesk Revit 2014. | 33 |
| Figura 5. Cronograma de actividades, diagrama de Gantt. Realizado por el autor en Microsoft office Project 2013..... | 40 |
| Figura 6. Interrelación entre actividades, tomada de: la gestión de la obra, tomada desde la vista del último planificador [24]..... | 43 |
| Figura 7. Planificación tradicional, Tomada de [22]. | 44 |
| Figura 8. Planificación Last Planner System, Tomada de [22]..... | 45 |
| Figura 9. Tabla planificación intermedia [24]..... | 49 |
| Figura 10. Tabla de planificación semanal [24]..... | 50 |

Figura 11. Esquema de aplicación por fases, sistema del último planificador tomado de [24].53

Figura 12. Esquema metodológico para la elaboración de modelos BIM. Tomada de: “Metodología para la elaboración de modelos del proceso constructivo 5D con tecnologías: Building Information Modeling” [18].54

Figura 13. Simulación BIM 5D del proceso constructivo de la estructura de concreto reforzado del caso de estudio, elaborado por el autor en el Software Autodesk Naviswork 2014.56

LISTA DE TABLAS

| | Pag |
|---|-----|
| Tabla 1. Materiales de columna. | 35 |
| Tabla 2. Equipos de la columna. | 36 |
| Tabla 3. Mano de obra necesaria para las columnas. | 36 |
| Tabla 4. Costo de obra. | 39 |
| Tabla 5. Hitos de la programación del proyecto. | 47 |
| Tabla 6. Ejemplo de cómo medir el PPC. | 52 |
| Tabla 7. Cuadro de ventajas y desventajas de la utilización de modelos BIM y la herramienta Last Planner System, en la planificación de proyectos de construcción. | 59 |

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE MODELOS BIM 5D Y LA HERRAMIENTA LAST PLANNER EN LA PLANIFICACIÓN DE PROYECTOS DE EDIFICACIÓN*

AUTOR: CESAR AGUSTO QUIROGA LEON**

PALABRAS CLAVE: Cronograma de obra, *Building Information Modelling*, BIM 5D, *Last Planner System*, *Lean construction*.

DESCRIPCIÓN:

La elaboración y planificación de un cronograma de obra suele ser subestimado, y en muchas ocasiones solo se realiza por cumplir un protocolo, esto debido al poco control que se presenta en el campo. El objetivo de esta investigación es dar a conocer la utilidad que tiene la herramienta de control sistema del último planificador, de la filosofía *Lean construction*, en la proyección de una obra, además mostrar la utilización de modelos BIM 5D (*Building Information Modelling*) en la realización de prototipos virtuales, para tratar de anticiparse en la ejecución del proyecto a los inconvenientes presentados, esto con el fin estudiar las consideraciones y recomendaciones que deben tenerse presentes en el momento de la aplicación en la fase de ejecución del proyecto, además de las ventajas y desventajas de la implementación de Last Planner System y modelos BIM 5D.

Para representar mejor lo que se quiere hacer en esta investigación, se toma como caso de estudio una estructura de concreto reforzado, que sirve como estación de buses de Metrolinea llamado parque estación UIS, con la cual se va a mostrar cómo sería la aplicación de los modelos BIM en el proceso de diseño de un proyecto y cómo se realiza la implementación de la herramienta last planner system en las estructuras durante su proceso constructivo.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Omar Giovanni Sánchez Rivera

ABSTRACT

TITLE: STUDY THE ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF THE USE OF MODELS BIM 5D LAST PLANNER TOOL AND PLANNING IN BUILDING PROJECTS*

AUTHOR: CESAR AGUSTO QUIROGA LEON**

KEYWORDS: work schedule, *Building Information Modelling*, BIM 5D, *Last Planner System*, *Lean construction*.

DESCRIPTION:

The preparation and planning of a construction schedule is underestimated, and in several only occasions is made to fulfil protocols, this is because of the lack of control that happens in the field. The objective of this research is to show the usefulness of the planning and control tool Last Planner System, the philosophy of *Lean construction*, in the projection of a work, showing the use of models BIM 5D (*Building Information Modelling*) in the fulfilment of virtual prototypes, to try to anticipate the issues that are presented, this in order to study the considerations and recommendations that should be present at the time of the application in the implementation phase of the project, in addition to the advantages and disadvantages of the implementation Last Planner System and 5D BIM models.

To better represent what we want to do in this investigation, is taken as a case study reinforced concrete structure, which serves as a bus station Metrolinea called park UIS station, with which it goes to show how the application would BIM models of the design process of a project and how the tool implementation is Last Planner system in the structures during their construction process.

* Work Degree

** Faculty of Physical – Mechanics. School of Civil Engineering. Director: Omar Giovanni Sánchez Rivera

INTRODUCCIÓN

Ciertamente el sector de la construcción es el principal impulsor del crecimiento de la economía de un país. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el PIB Colombiano del 2014 presento un crecimiento del 4,6% con respecto al año anterior, donde el sector de la construcción presento un incremento del 5,9% de participación, siendo el sector con mayor aporte a la economía nacional, todo esto se debe principalmente al crecimiento de 7,4% en la construcción de edificaciones y de un 12% en la construcción de obras civiles. [1].

A pesar de su importancia, los problemas asociados a la construcción siempre están presentes, ya sea por la falta de materiales en obra por parte de los proveedores, malos rendimientos de los trabajadores, los altos índices de accidentalidad, entre otros. Todo esto arraigado a las malas jefaturas, bajos niveles de comunicación y un seguimiento deficiente al cronograma de actividades, lo cual conlleva a que los proyectos no se puedan ejecutar de manera óptima.

Además a esto se pueden encontrar los inconvenientes relacionados con desperdicios de materiales que suelen ser muy significativos al momento de analizar el estado de obra, esta situación genera retrasos en la entrega y resultados económicos poco favorables.

Como una solución a esta problemática se da origen a la metodología *Lean Construction* o construcción sin perdidas, la cual consta del diseño de un sistema de producción cuyo objetivo es disminuir la variabilidad, mejorar la previsibilidad y el flujo de trabajo, reduciendo así las tareas que no generan valor a la producción [2]. De esta forma, es posible obtener procesos optimizados, que están directamente ligados a la satisfacción y economía del cliente, dentro de un entorno de trabajo en equipo, mano de obra controlada y más organizada.

Lean Construction tuvo su origen gracias al modelo productivo que fue desarrollado en la compañía Toyota Motors, donde se empezó a manejar el concepto de producción en serie. A mediados de los años 80, investigadores del Massachusetts Institute of Technology (MIT), iniciaron estudios para profundizar y desarrollar esta filosofía, dando como resultado, su aplicación en distintos sectores comerciales [3].

En el año de 1992 Lauri Koskela estructura los conceptos más avanzados de la administración (Benchmarking, Mejoramiento Continuo, Justo a Tiempo) y junto con la ingeniería de métodos renueva los conceptos tradicionales de planificar y controlar obras [4]. *Lean Construction* cuenta con varias herramientas que permiten obtener un mejor desarrollo y estructuración del trabajo elaborado, una de esas herramientas de planificación y control fue desarrollada por Ballard y Howell. Llamado sistema del último planificador (LPS), el cual fue desarrollado para aliviar los problemas prácticos que puedan presentar los equipos de construcción, estructurando tareas semanales y analizando cuales pueden ser las causas de no cumplimiento de alguna de ellas, *Last Planner* se basa en la mejora continua de la producción. [5].

El objetivo principal de esta investigación es tomar los fundamentos principales de la herramienta *Last planner* y proponer un sistema de planificación que sirva para mejorar la gestión de un proyecto, además aplicando todas las ventajas que ofrecen las tecnologías para el modelado de información (*Building Information Modelling*) 5D.

Al final lo que se quiere conseguir es resaltar las ventajas y desventajas que tiene la utilización de *Last planner* y modelos BIM en la planificación de obras constructivas.

1. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el sector de la construcción presenta un crecimiento significativo en el territorio nacional, generando así mayores beneficios para la economía del país, incentivando a la creación de empresas y generando más empleo. Según CAMACOL en los últimos años el sector de la construcción ha jugado un papel importante en la actividad nacional sobresaliendo en sus niveles de crecimiento con variaciones anuales que van entre el 7,9% y el 10%.

Debido al gran aumento en el sector, las constructoras se han visto obligadas a cumplir con la demanda que ofrece el mercado, ocasionando así que los planes de ejecución de obra no se realicen según sus cronogramas, generando todo tipo de pérdidas relacionadas con desperdicios de material y extensión en las fechas de entrega y eso sin tener en cuenta los imprevistos que se puedan generar por las demoras de los proveedores.

Todos estos problemas demuestran que existen falencias en la administración de obra, lo cual ha llevado a la creación de métodos los cuales permitan obtener mejores resultados al momento de ejecutar los planes de obra. La universidad de Stanford ha venido trabajando en la aplicación de estos métodos estudiando una filosofía llamada *lean construction*, (Construcción sin pérdidas) implementada por *Laury koskela* en 1992 en el sector de la construcción, esta filosofía cuenta con una herramienta llamada *last planner*, (*Sistema del último planificador*), la cual permite tener una mejor administración, mejora la productividad y ayuda a mejorar el flujo de trabajo, reduciendo así las tareas que no generan ningún valor agregado a la obra.

Además de los procesos de planificación existentes, hay otro tipo de herramientas que ayudan con la gestión de obra. Durante los últimos tiempos se ha venido trabajando con herramientas informáticas que de alguna u otra forma permiten al administrador, tener un concepto más claro de un proceso constructivo antes de dar inicio a la construcción. Las tecnologías BIM (Building Information Modeling) Han evolucionado de tal manera que ahora permiten realizar modelos 5D teniendo en cuenta el modelo 3D, tiempo y costos del proyecto, con esto se intenta minimizar cualquier inconveniente que se puede presentar al momento de la realización de la obra.

Lo que se quiere lograr con el siguiente proyecto, es comparar las ventajas y desventajas que se pueden obtener al utilizar la herramienta de la filosofía *lean construction*, *Last Planner*, aplicada a modelos 5D. El caso de aplicación será la estructura en concreto reforzado del parque estación UIS de Metrolinea con el plan de obra al cual se le ha implementado la Herramienta *Last Planner*. Para esto se generan los modelos de la estación en Autodesk Revit 2014, se realizan los respectivos planes de obra en Microsoft Project 2013, se realiza la simulación de construcción con Autodesk Naviswork Manage 2014, y luego finalizar la investigación haciendo la comparación de resultados para comprobar que método puede ser más óptimo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar las ventajas y desventajas de la utilización de modelos del proceso constructivo BIM 5D, con la vinculación de la herramienta de control *last planner*, en la planificación de proyectos de edificación.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Elaborar el modelo BIM (Building Information Modeling) de la estructura en concreto reforzado de la estación de buses alimentadores parque estación UIS de Metrolinea, con la utilización del software Autodesk Revit 2014, teniendo en cuenta los estudios realizados por el equipo técnico del grupo de investigación de Geomática.
- Realizar la programación de obra, en el software Microsoft Project 2013, aplicando la herramienta *last planner* de la filosofía *lean construction*, enfocada a la reducción de pérdidas en el proceso de construcción del caso de aplicación.
- Modelar el proceso constructivo BIM 5D, en el software Autodesk Navisworks 2014, a partir de la programación de obra elaborada con la utilización de la herramienta *last planner*, teniendo en cuenta las variables; dimensión en el eje x, dimensión en el eje y, dimensión en el eje z, tiempo y costo.
- Proponer un conjunto de recomendaciones sobre actividades que se deben realizar en la construcción del proyecto del caso de aplicación para reducir la posibilidad de que se presenten pérdidas en el proceso de construcción.

- Elaborar un cuadro de ventajas y desventajas de la vinculación del BIM con la herramienta last planner en la planificación de proyectos de construcción tipo edificación.

3. METODOLOGÍA

Este trabajo tiene como propósito estudiar las ventajas y desventajas de la utilización de modelos del proceso constructivo BIM (*Building Information Modelling*) 5D, vinculando la herramienta de planificación y control *Last Planner* de la filosofía *Lean Construction*, en la planificación de proyectos de construcción. La metodología realizada para realizar la investigación se divide en las siguientes fases.

3.1. FASE 1: MARCO CONCEPTUAL

La primera fase consiste en la revisión bibliográfica donde se explicara cómo funciona el modelo tradicional de planificación de obras y que es la filosofía Lean construction.

3.2. FASE 2: CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio del proyecto fue la estructura de concreto reforzado, parque estación UIS.

3.3. FASE 3: ELABORACIÓN DE MODELOS BIB 3D

En esta fase se tomó toda la información digital correspondiente al proyecto con la cual se realizó un modelo estructural del caso en estudio, para la generación de un modelo 3D con la ayuda del *software* Autodesk Revit 2014. De esta se tendrá mayor manejo de la información.

3.4. FASE 4: PRESUPUESTO Y PROGRAMACIÓN DE OBRA

En esta fase se realizó el presupuesto y la programación de obra del caso de estudio, se tuvieron en cuenta todos los recursos y factores aplicados en un proyecto real. Para la creación del cronograma de actividades se usó el *software* Microsoft Project 2013. Además esta fase es una de las más importantes debido a que se verá la aplicación de la herramienta *Last Planner System*.

3.5. FASE 5: SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR (LPS), DEFINICIÓN Y APLICACIÓN

En esta fase se presentan los conceptos y la implementación del sistema del último planificador, en el proceso de diseño y programación de obra.

3.6. FASE 6: MODELACIÓN BIM 5D

En esta Fase la secuencia es lógica, primero se tenían los modelos 3D de la Fase 2, Luego se elaboraron los diagramas de costos y tiempo en la fase siguiente. Con la implementación de los costos es posible obtener el modelo 4D, el modelo 5D se obtiene con la adición de la variable del tiempo.

La visualización completa del modelo 5D se realiza en el *software* Autodesk Navisworks 2014.

3.7. FASE 7: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta fase se presentan los resultados que son producto de la investigación, se divide en dos numerales, uno en el cual se dio a conocer una serie de recomendaciones sobre actividades a tener en cuenta en los procesos de diseño y seguimiento constructivo, en el segundo se realizó un cuadro de ventajas y desventajas sobre la vinculación de modelos BIM y el sistema del último planificador en el desarrollo del programa de actividades.

4. FASE 1: MARCO CONCEPTUAL

4.1. MODELO TRADICIONAL DE PLANIFICACIÓN DE OBRAS

El modelo tradicional de gestión de proyectos es inadecuado al momento de gestionar procesos constructivos debido a que no cuenta con un sistema estructurado de seguimiento. Desde el primer momento que se gestionan los proyectos de construcción se estima el tiempo y el dinero a utilizar, aplicando el método de ruta crítica o CPM (*Critical Path Method*), el cual determina entre todas las actividades del proyecto, cuál cuenta con la mayor duración de tiempo. El método de la ruta crítica determina la duración del proyecto general. [6].

En el método tradicional de planificación, los programadores utilizan los cronogramas para determinar cuándo cada actividad debe comenzar y así dar un tiempo de holgura e iniciar con anticipación, así con este tiempo ganado tratar de prever cualquier eventualidad.

Cada administrador determina si cada una de las actividades del proyecto se encuentra dentro de los costos y tiempos límites establecidos. Dado el caso, de que no se cumpla con lo establecido, se toman medidas necesarias para acelerar las

actividades si lo requiere, esto con el fin de evitar retrasos en el cronograma que afecten el tiempo predeterminado. En muchos casos se involucran más trabajadores a la obra para tratar de acelerar la producción, en ocasiones estas acciones repercuten en los costos ya establecidos, poniendo en riesgo la productividad del proyecto. [7].

Pero la pregunta es, si el método de planificación tradicional trata de cumplir con todos los objetivos del proyecto tratando de realizar cada actividad, ¿por qué es que este enfoque que parece razonable, suele fallar al momento de su ejecución?

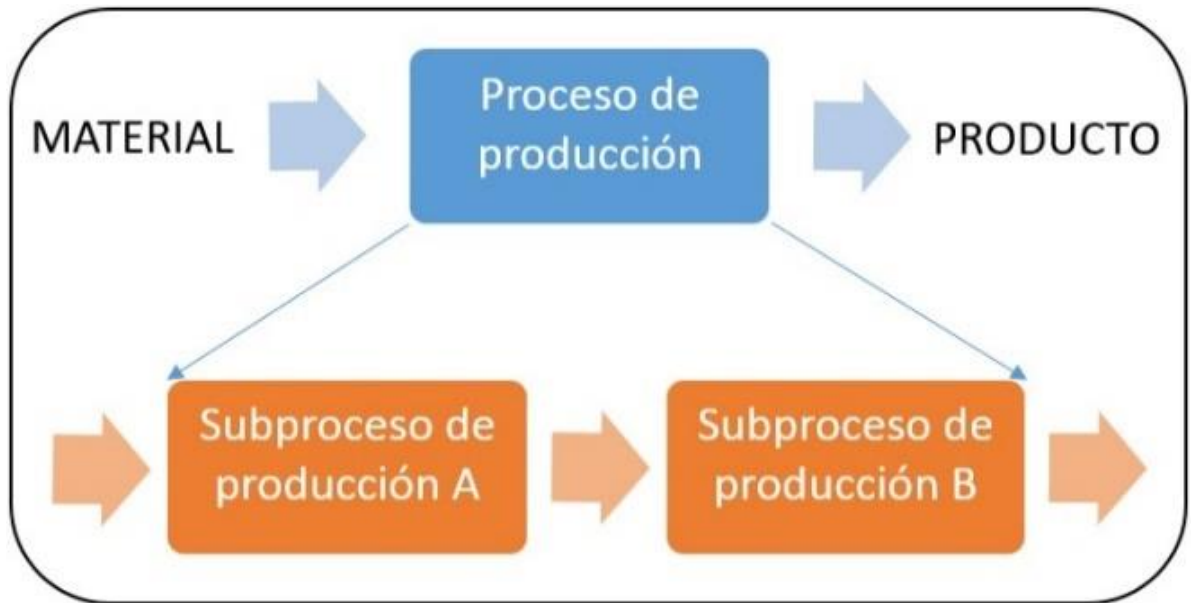
Desde el punto de vista de la construcción sin pérdidas, la metodología tradicional de planificación posee un sistema defectuoso de control en sus actividades. La gestión del proyecto y el intento de cumplir con las tareas, mediante mediciones de procesos y producción, fracasa en el intento de gestión ya que se pierde total control del flujo de trabajo. Cada vez los tiempos de entrega son más cortos, y ciertamente la incertidumbre hace más complicada la elaboración de las actividades. La presión y la falta de flujo en actividades simples, aumenta el riesgo de malos resultados [7].

Teniendo en cuenta la falta de control por los procesos de gestión, los resultados esperados en obra no pueden ser los más favorables. Cuando se presentan estos casos de mal seguimiento al cronograma de actividades, el profesional a cargo de la producción debe identificar cuáles son los problemas que aumentan la incertidumbre del proyecto, para así tomar alguna medida para la disminución de los mismos. Según el Arquitecto Luis Fernando Botero, no solo en método de ejecución del proyecto es el causante de los problemas presentados en obra, también se pueden encontrar algunos de los factores que inciden de manera negativa en la realización de un proyecto disminuyendo la productividad de la obra, como los que se mencionan a continuación. [8].

- Errores en los diseños y falta de especificaciones.
- Modificación de los diseños durante la ejecución del proyecto.
- Falta de supervisión de los trabajadores.
- Agrupamiento de trabajadores en espacios muy reducidos (sobrepoblación en el trabajo).
- Alta rotación de trabajadores.
- Pobres condiciones de seguridad industrial que generan altas tasas de accidentes.
- Composición inadecuada de las cuadrillas de trabajo.
- Distribución inadecuada de los materiales de obra.
- Falta de materiales requeridos.
- Falta de suministros de equipos y herramientas.
- Lotes con condiciones difíciles para su desarrollo.
- Excesivo control de calidad.
- Características de duración y tamaño de la obra que no motivan al personal.
- Clima y condiciones adversas en la obra.

4.1.1. Bases conceptuales En un estudio realizado por el Finlandés Lauri Koskela en 1992, "APPLICATION OF THE NEW PRODUCTION PHILOSOPHY TO CONSTRUCTION". Se hace referencia a los efectos que tiene en nuevo enfoque de producción en la construcción, y resalta que la filosofía *Lean construction* comparte varios fundamentos principales en su estructura con el método tradicional, el modelo se enfoca en mejorar y darle una nueva disposición a los procesos convencionales, haciéndolos más productivos. Primero se da un nuevo planteamiento al modelo productivo convencional que durante mucho tiempo ha sido utilizado en distintos sectores industriales y comerciales, el cual consta de entradas y salidas, en la Figura 1, se presenta un nuevo concepto del proceso de producción, el cual es dividido en subprocesos que permite un mejor entendimiento de la conversión del producto, esto permite mejor control de cada actividad, mejores resultados y se hace más sencilla la medición de la productividad.

Figura 1. Proceso de construcción convencional que puede ser dividido en subprocesos jerárquicamente. Tomada de: Application of the new production philosophy to construction [9].



Al dividir en subprocesos cada uno de los procesos de producción, se puede minimizar el costo de la actividad debido a que se tiene más claro el costo de cada uno de los subprocesos, así el costo de la salida del producto puede ser más justificado al relacionarlo con el de cada subproceso, y así obtener un valor más preciso y con menor incertidumbre del proyecto total [9].

4.2. LEAN CONSTRUCTION

La producción sin pérdidas se basa originalmente en el sistema implementado por Toyota Motors, que fue diseñado para reducir las actividades no productivas y agregar valor a las que si mejoran el sistema de producción [10]. Es una filosofía que va encaminada a la gestión de la producción hasta la transformación del

producto, aplicando durante toda las fases del proyecto los conceptos lean en una estructura desglosada, el proceso se encamina a la completa satisfacción del cliente [11].

Lean construction abarca completamente la aplicación de sus herramientas desde la concepción del proyecto, ejecución y puesta en servicio. Este sistema también se enfoca en el crecimiento y mejora de la empresa, buscando alcanzar todos los objetivos de la fase de vida de un proyecto de construcción, considerando a todos los agentes que intervienen en el diseño. Involucrando también a todas las empresas asociadas a la cadena de flujo de valor, sin dejar a ningún miembro fuera, incorporándolos a todos bajo un objetivo en común [12].

La gestión en los procesos productivos debe estar comprendida por un buen planteamiento, (Visión a largo plazo) que implemente principios y genere estrategias para el manejo de la incertidumbre, que es la principal fuente de pérdida en los proyectos constructivos, la dependencia que tiene un proceso de los subprocesos, y los problemas presentados por la ubicación que puede tener el proyecto, o factores climáticos que afectan el desarrollo de cualquier obra. Para eso se debe tener un sistema de prevención a mediano y corto plazo, el cual pueda servir de referencia llegado al caso que se presenten inconvenientes en la gestión [13].

Las empresas que logran implementar con éxito el concepto *Lean construction*, son capaces de ganar ventaja competitiva y aumentar significativamente sus ingresos, esta filosofía puede ser vista como una opción estratégica teniendo en cuenta su liderazgo en costos y control de la producción [14].

La implementación de la filosofía *Lean construction* se basa en la aplicación de distintas herramientas, las cuales permiten la gestión y el control de recursos en un

proyecto. A continuación se dará a conocer el proceso de evolución que tuvo esta investigación.

Lean construction ofrece muchas herramientas de control, la investigación se enfoca en la aplicación del sistema del último planificador, con la vinculación de modelos BIM.

5. FASE 2: CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio al que se le realizó la implementación de la herramienta *Last Planner System*. Está ubicado en Colombia, en la ciudad de Bucaramanga. Este proyecto lleva como nombre Parque estación UIS, y pertenece a Metrolínea S.A. Para hacer parte de su sistema integrado de transporte (SITM). Está ubicado en un terreno con un área aproximada de 5.612,75 m² y se encuentra localizado sobre el par vial de la carrera 25 y 26 entre calles 10 y 11 ver Figura 2. En el sector norte de la ciudad, barrio la Universidad.

Figura 2. Imagen tomada de Google maps. Ubicación parque estación UIS. Entre carreras 25 y 26 y calles 10 y 11.



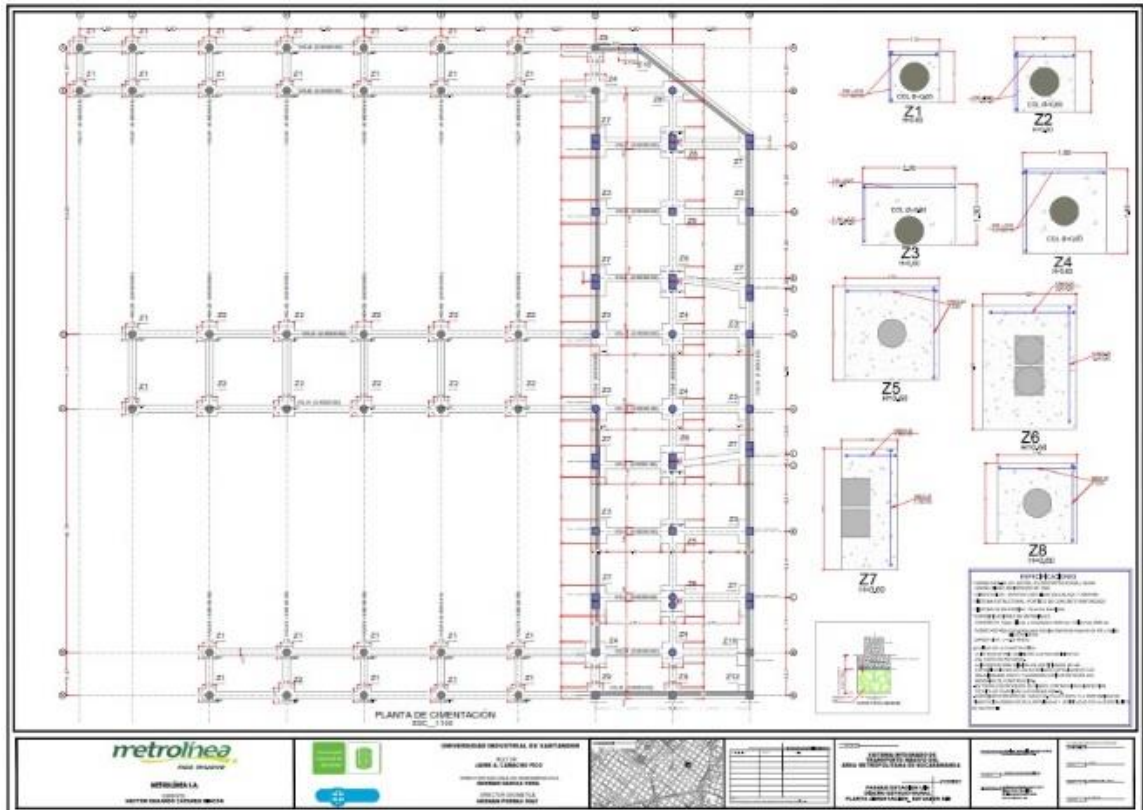
La estructura consta de un módulo de servicio público distribuido en una planta con cubierta en panel módulo tipo sándwich Deck D-MC, además la estructura cuenta con un sistema de cercha metálica, cielo raso interior y exterior y sótano de comunicación peatonal, oficinas administrativas y baños públicos, con capacidad de recibir los vehículos tipo padrones y alimentadores que cubrirán las rutas que circulan por el sector de Bucaramanga. [15].

6. FASE 3: ELABORACIÓN DE MODELOS BIM 3D

Para la creación de los modelos BIM (*Building Information Modelling*) 3D, se inició con los modelos BIM 2D, estos modelos cuentan solo con dos dimensiones, y permiten tener una percepción de lo que se está haciendo, en este caso plasmar un esquema bidimensional que va a ser la base del diseño, esta representación se enfoca en los espacios en los que puede existir el proyecto, solo contando con el ancho y largo, el plano pasa a ser modelo 3D cuando se le agrega una tercera dimensión, la profundidad. BIM se entiende como un prototipo virtual de algo que se quiera representar, permite obtener una evaluación y un análisis previo de un modelo incluso antes de su realización, permite un mejor manejo de la información, gracias a que se puede prever algún inconveniente o en dado caso ver las consecuencias de las decisiones tomadas. [16].

La información del portal Parque estación UIS de Metrolínea fue suministrada en la universidad Industrial de Santander UIS, por medio del grupo de gestión y optimización de sistemas GEOMÁTICA, donde se pudo tener acceso a los planos del portal en formato CAD 2D, en la Figura 3, se observa el plano con la planta de cimentación, este fue uno de los planos suministrados para la elaboración del modelo digital.

Figura 3. Plano de cimentación Parque estación UIS. Otorgado por el grupo de investigación Geomática.

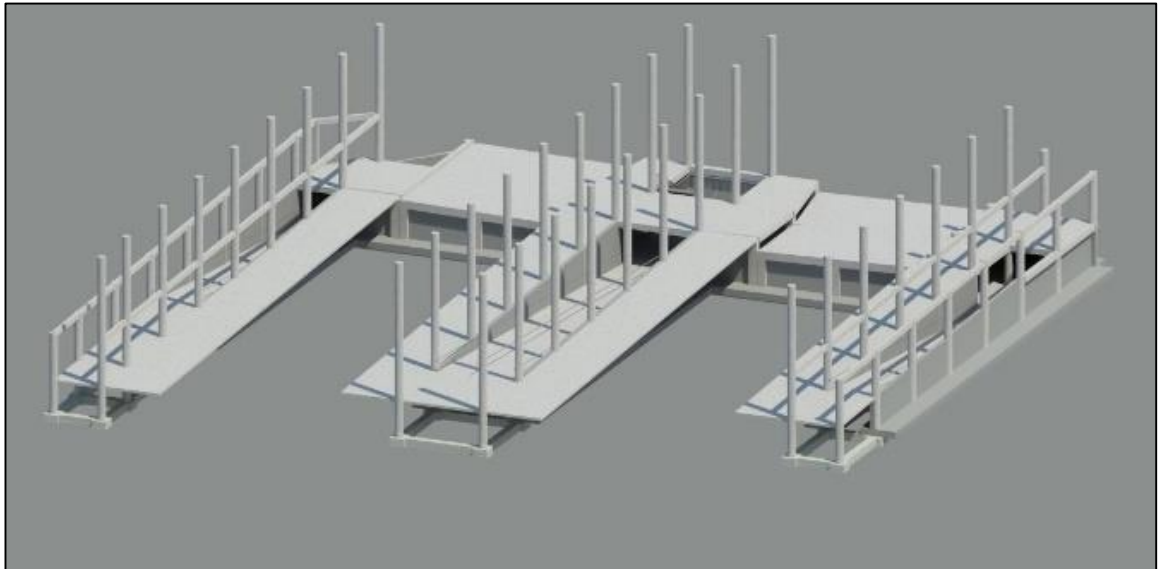


6.1. MODELO 3D EN AUTODESK REVIT

El *software* Autodesk Revit ha sido desarrollado específicamente para BIM (*Building Information Modelling*) y permite a los usuarios y diseñadores la transformación de las ideas y conceptos bidimensionales, permite la generación de especificaciones, presupuestos y la cuantificación del proyecto. Este sistema de modelación asistido por computador, ha demostrado ser muy eficiente al momento de prevenir inconvenientes, lo cual ha sido de gran ayuda en esta investigación. Con referencia al caso de estudio, en la Figura 4, se observa el modelo BIM 3D del caso de estudio.

Con toda la información obtenida de los planos se pudo dar forma a la estructura, dándoles volumen a todas las figuras en planta y complementando información con planos de los demás niveles, de esta manera, se puede tener una visualización anticipada del proyecto, y dado el caso, si es necesario realizar un cambio antes de pasar al proceso constructivo.

Figura 4. Modelo 3D de la estación Parque estación UIS. Elaborado por el autor, modelado en Autodesk Revit 2014.



La modelación se inicia tomando las medidas y representándolas en objetos tridimensionales en el *software*. Al ser muy interactivo el programa permite la generación de los elementos necesarios para dar forma a la estructura, y es muy versátil al momento de organizar la información.

La estructura del caso de estudio está conformada por zapatas de cimentación, vigas de cimentación columnas, vigas aéreas, pisos, placas, escaleras y rampas.

7. FASE 4: PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

La elaboración del presupuesto y el plan de obra de un proyecto establecen un papel fundamental en el progreso y avance del mismo, permite tener un esquema más claro de lo factible que puede ser su realización. En esta parte se establecieron los APU o Análisis de Precios Unitarios de cada una de las actividades relacionadas con la obra, se calcularon las cantidades de obra con la ayuda del *software* Autodesk Revit y complementando esta información se establece un presupuesto. [17].

7.1. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS APU

Este proceso corresponde al análisis de costos de cada una de las actividades que se van a realizar en la obra, en pocas palabras es el desglose que se realiza para calcular el valor o precio unitario de una tarea. El APU debe estar dividido en diferentes ítems que expliquen todas las tareas que se deben realizar en ciertas actividades, el APU del caso de estudio se realizó para la parte estructural del proyecto. Para explicar un poco más lo que se hizo, tomaremos como ejemplo una de las actividades realizadas, en este caso la que corresponde a Columnas [4000PSI], que pertenece a la sección de concretos. Cada uno de los ítems o actividades tiene en cuenta los siguientes aspectos, materiales, equipos, mano de obra y transporte.

7.1.1. Materiales Primero se deben tener en consideración todos los materiales que va a tener la actividad escogida, esto se pone en una casilla la cual tiene como nombre descripción, como se muestra en la Tabla 1. También se puede agregar al APU la casilla de unidad, cantidad, valor unitario y valor parcial, cabe resaltar que los valores de precios unitarios para las actividades de los APU fueron consultados en los listados de precios de referencia de actividades de obra del IDU (Instituto de Desarrollo Urbano) para el año 2014. En este caso los materiales para columnas son.

Tabla 1. Materiales de columna.

| I. MATERIALES | | |
|----------------------------------|----------------|---------------|
| Descripción | Unid. | Vlr. Unitario |
| Curador para concreto y morteros | Kg | \$ 4.060 |
| Concreto clase B 28 [Mpa] | m ³ | \$ 375.654 |

7.1.2. Equipos Esta sección del APU considera todas las herramientas necesarias para la ejecución de la actividad. En la Tabla 2, se puede apreciar la herramienta que por lo general es usada en esta actividad.

Tabla 2. Equipos de la columna.

| II. EQUIPOS | | |
|---|----------------|---------------|
| Descripción | Unid. | Vlr. Unitario |
| Bomba de concreto | m ³ | \$ 40.600 |
| Formaleta columnas Incluidos accesorios | ml/Hr | \$ 1.125 |
| Vibrador de concreto | Hr | \$ 5.024 |
| Andamios | Gl | \$ 35.000 |
| Planchon para andamios | Hr | \$ 29 |
| Herramienta menor % | % | 5% |

7.1.3. Mano de obra Hace referencia a los maestros y ayudantes, (Cuadrilla) que se encargan de ejecutar la actividad. En la Tabla 3, se observa que para la realización de esta tarea se necesita de 1 oficial y 1 ayudante. Esta información fue tomada de la investigación “Metodología para la elaboración de modelos del proceso constructivo 5D con tecnologías: Building Information Modeling”. [18].

Tabla 3. Mano de obra necesaria para las columnas.

| III. MANO DE OBRA | | |
|-------------------|-------------------|---------------|
| Descripción | Unid. | Vlr. Unitario |
| 1 Oficial | Hr/m ³ | \$ 6.387 |
| 1 Ayudante | Hr/m ³ | \$ 4.412 |

7.1.4. Transporte En este caso el transporte no fue incluido al APU del concreto para columna, a razón de que este ya se encuentra incluido en el valor del material.

7.2. ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTOS

La productividad en la construcción está relacionada con la cantidad producida y los recursos que se emplean o la medida de eficiencia de cómo son administrados los recursos para el desarrollo de una actividad. El objetivo fundamental de la productividad se centra en la optimización de recursos, de tal manera que se consiga mayor producción con menos recursos.

A la hora de realizar la programación de una obra se deben tener en cuenta factores muy importantes que marcan la diferencia en la realización de la misma, como son, planes económicos de inversión, presupuestos y programación, los cuales deben ser bien administrados para evitar pérdidas. Para evitar este problema se debe tener gran conocimiento al momento de realizar la programación de rendimientos de mano de obra, debido a que juegan un papel importante en la reducción de tiempos y costos.

El consumo de mano de obra se define como la cantidad de recurso humano en horas hombre, que se emplea en una cuadrilla conformada por uno o varios trabajadores para completar el valor unitario de alguna actividad. Esta medida por lo general se encuentra en la unidad de horas hombre por unidad de medida [Hh/um].

Ciertamente la productividad de una obra depende mucho de los rendimientos que se le sean asignados, una mala asignación en los rendimientos podría provocar pérdidas en el tiempo de ejecución y aumento en los costos. Teniendo en cuenta que cada obra el análisis de rendimientos es totalmente diferente, en cada una de ellas se pueden presentar diferentes inconvenientes que terminan por afectar la

productividad. A continuación se mencionan algunos de los factores más comunes que pueden afectar los rendimientos de mano de obra.

- Economía general
- Aspectos laborales
- Clima
- Actividad
- Equipamiento
- Supervisión
- Trabajadores

Al considerar que se pueden presentar estos inconvenientes y algunos otros es necesario tener cierto grado de experiencia para la asignación de los rendimientos. Basados en esto, el proyecto se trabajó con rendimientos resultado del estudio de una tesis para la ciudad de Bucaramanga realizada por la Universidad Pontificia Bolivariana, en los que se consideran muchos de los factores respectivos de la ciudad, y teniendo en cuenta que el caso de estudio se encuentra en la ciudad de Bucaramanga, facilita las cosas, además las cantidades de mano de obra para la parte estructural, fueron tomados de otra investigación [19-18].

7.3. PRESUPUESTO

La elaboración del presupuesto permite tener una idea aproximada del valor del proyecto a realizar, se basa en la estimación y el valor de todas las actividades que se presentan en la obra. El primer paso para realizar el presupuesto es contar con los APU (Análisis de Precios Unitarios) de todas las actividades, para este proyecto la lista de análisis de precios unitarios se dividió en tres ítems, **1.** Preliminares y movimientos de tierras, **2.** Estructura de concreto y **3.** Aceros de refuerzo, los cuales cuentan con sus respectivas actividades. El siguiente paso es el cálculo de las cantidades de obra, y gracias a que la estructura fue modelada en el *software* Revit, la cuantificación de materiales y cantidades de obra se hizo más sencilla.

Teniendo esta información previa, se calcula el costo directo total de la obra o CDT que corresponde al resultado de la suma de las actividades de cada uno de los ítems. A este valor se le agrega un estimado del 35% el cual corresponde al A.I.U (Administración Imprevistos y Utilidades), el cual busca reconocer todos los gastos indirectos del proyecto. En la Tabla 4, se presenta el costo total de inversión de la parte estructural del caso de estudio.

Tabla 4. Costo de obra.

| | |
|---------------------------|-------------------|
| Costo directo total C.D.T | \$ 7.732.512.930 |
| Costo A.I.U 35% | \$ 2.706.379.525 |
| Costo total inversión | \$ 10.438.892.455 |

La realización de la programación se llevó a cabo en el *software* Microsoft Office Project 2013, el *software* ofrece una visualización del desarrollo de las actividades mediante el diagrama de Gantt, donde se escriben cada una de las actividades identificadas por ítems, y su duración se ve representada mediante barras, que ocupan un espacio entre el inicio y fin de alguna actividad específica. En la Figura 5, se puede observar el cronograma de actividades de la obra, con una duración de 248.9 días equivalente a 12.45 meses, iniciando el seis de abril del 2015 y terminando el diecisiete de marzo del 2016.

A partir de este punto se realizara la implementación de la herramienta de del último planificador, y se mostrara cómo afecta esta práctica la productividad de un proyecto.

8. FASE 5: SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR (LPS), DEFINICIÓN Y APLICACIÓN

El sistema último planificador es una herramienta de *Lean Construction* utilizada para mejorar la programación de los proyectos de construcción, su objetivo es mantener un flujo de trabajo continuo en la fase de construcción y que se cumplan los plazos de entrega de los proyectos. El sistema fue creado en el año de 1997 por Greg Howell y Glen Ballard para mejorar la planificación de los proyectos de constructivos y aumentar la productividad de los proyectos [20].

El sistema último planificador hace referencia a las últimas personas o grupos de personas encargadas del proyecto en campo, generalmente el ingeniero residente y los oficiales de construcción [21].

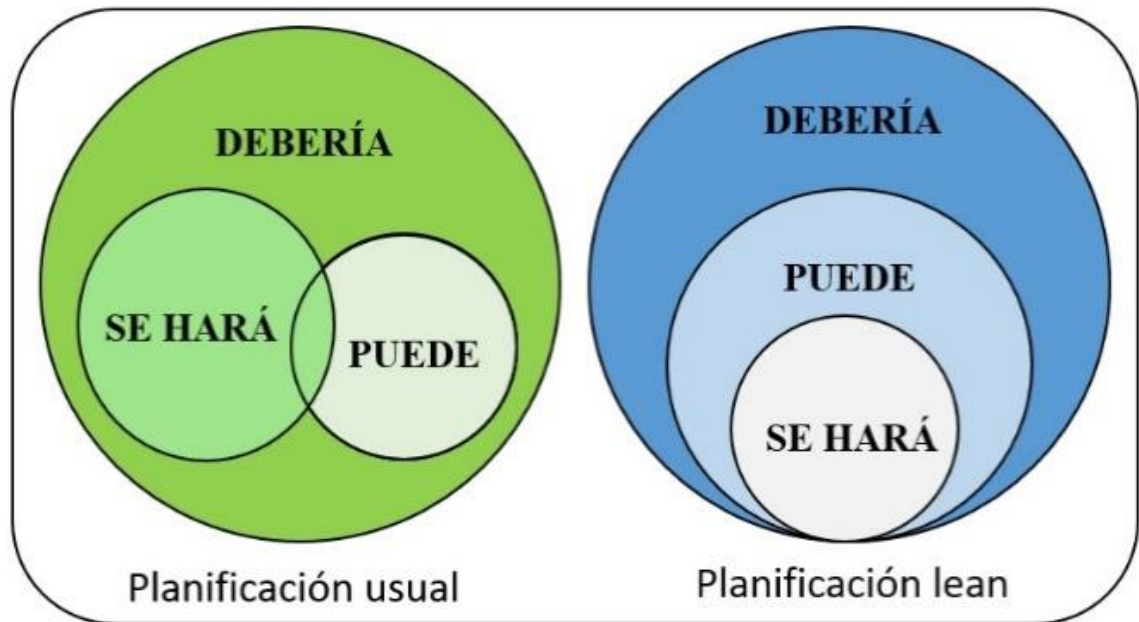
Las actividades planificadas para la ejecución de la obra, se requiere de seguimiento y control durante el proceso constructivo. La planificación convencional tiende a centrarse en los objetivos y restricciones globales que rigen un proyecto, la implementación de esta herramienta tiene como fin una planificación a menor nivel y un análisis de restricciones que una vez liberadas permitan el avance de las actividades [22-23].

En obra no siempre el cronograma de actividades realizado es ejecutado correctamente, el seguimiento que se debe realizar no es tomado con la importancia que debería. Por lo general al momento de la planificación todo es organizado basándose en el trabajo que debería ser hecho, sin importar si se cuenta con los requisitos y recursos necesarios para su elaboración, lo cual limita las decisiones a si una actividad puede ser realizada o no, generando efectos que difícilmente pueden ser corregidos. Al momento de desarrollar alguna actividad se puede presentar alguna causa que impida que esta se desarrolle al 100%, entre ellas falta de algún prerrequisito, escasa información, falta de materiales y mano de obra, entre otras. Esto ocasiona que el planificador de obra no puede hacer coincidir el trabajo que se hará con el que debería hacerse, ocasionando la extensión del tiempo de vida del proyecto y aumentando costos por falta de prevención.

Es importante que antes de decidir lo que se hará se tenga conocimiento de lo que puede hacerse. La planificación usual como puede verse en la Figura 6, lo que se hará y lo que puede son subconjuntos de lo que debería, esto repercute en las decisiones al momento de realizar una actividad puesto que lo que se hará se desarrolla sin saber lo que puede hacerse, el desarrollo de las actividades ejecutadas sería basado en este subconjunto el cual carece de control. En procesos constantes de planificación los encargados del seguimiento de obra deben identificar de antemano lo que puede hacerse y posteriormente se podrá identificar

lo que finalmente se hará, durante una semana de trabajo como puede verse en la planificación lean de la Figura 6, [23].

Figura 6. Interrelación entre actividades, tomada de: la gestión de la obra, tomada desde la vista del último planificador [24].



La gestión de obra debe enfocarse en la realización del PUEDE, de esta manera todas las restricciones que pueda presentar una actividad para su realización serán analizadas y liberadas con anterioridad, aumentando el tamaño de este conjunto se garantiza la realización de más tareas en el conjunto de se hará, aumentando el avance de la obra, esta estrategia de trabajo provee mejor seguridad y requiere de mayor compromiso por parte de todas las unidades de trabajo, no tiene sentido tratar de agilizar las tareas lo más antes posible si no se encuentran liberadas sus restricciones.

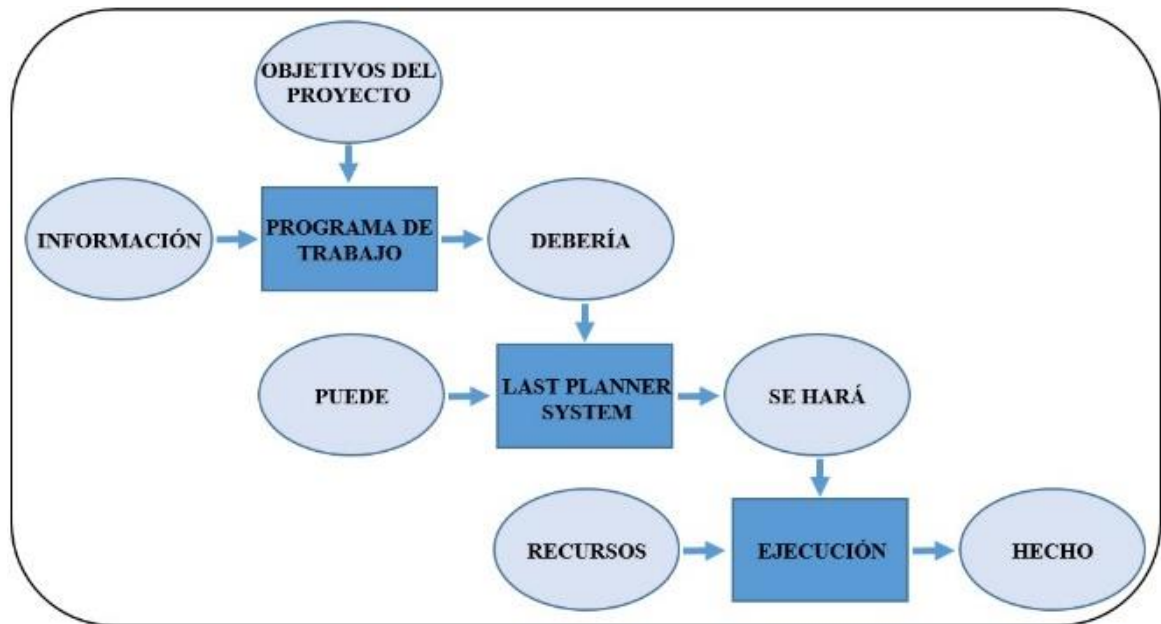
Según *Ballard*, el sistema tradicional de planificación se rige por el flujograma de la Figura 7, este sistema como se ha mencionado anteriormente es inadecuado al momento de la planificación debido al alto grado de incertidumbre entre lo que debería ser hecho y lo que finalmente se hace en obra, el flujograma no considera un análisis previo de las actividades para ver si se cuenta con lo necesario para su realización [22].

Figura 7. Planificación tradicional, Tomada de [22].



El sistema del último planificador incorpora un componente de control de la producción a la gestión tradicional de los proyectos como se muestra en la Figura 8. *Last Planner* se puede entender como un mecanismo para la transformación de lo que debe hacerse en lo que se puede hacer, formando así un inventario de trabajo listo, del cual se puedan formar planes de trabajo semanal incluyendo asignaciones para determinar lo que finalmente se va a hacer, este es un compromiso de los últimos planificadores (Capataces, Jefes y cuadrillas) [22].

Figura 8. Planificación Last Planner System, Tomada de [22].



8.1. NIVELES DE PLANIFICACIÓN, *LAST PLANNER SYSTEM*.

El sistema del último planificador está conformado por cuatro niveles de programación: programación maestra, programación de fase, programación intermedia y programación de trabajo semanal. Estos niveles existen en cada uno de los conjuntos de la planificación Lean de la Figura 6.

El sistema del último planificador define unos pasos que son importantes para el seguimiento y la buena implementación de LPS, considerados compromisos en la producción con el fin de aprovechar las ventajas que ofrece el sistema, [24].

1. Revisión del plan general de la obra (Programa maestro).

2. Elaboración del programa de fase en el caso de proyectos complejos y extensos. Se identifica la fase que se va a desarrollar a continuación y se elabora el programa.
3. Elaboración de la planificación intermedia para uno y tres meses aproximadamente, realizando análisis de restricciones con el fin de eliminar los cuellos de botella, enmarcada dentro del programa maestro.
4. Elaboración de la planificación semanal, con la participación de los últimos decisores o planificadores: Encargados, capataces, subcontratistas, almacenistas, etc. Como parte del inventario de actividades ejecutables obtenido en la planificación intermedia.
5. Reunión de los últimos planificadores para verificar el cumplimiento del plan semanal, detectando las causas de no cumplimiento de lo planificado y estableciendo el plan de la siguiente semana.

Los resultados y el grado de eficiencia del sistema del Último Planificador se miden mediante el porcentaje de plan completado o (PPC), al finalizar cada semana de trabajo, se analizan las restricciones que evitaron el cumplimiento de las tareas y se toman medidas para solucionar las causas de no cumplimiento.

8.1.1. Programación maestra La programación maestra es la fase inicial en la implementación del sistema del último planificador, esta define un cronograma para la coordinación de las actividades que se deben hacer para terminar el proyecto. En la Figura 5, se presenta la programación maestra obtenida para el caso de estudio.

Tabla 5. Hitos de la programación del proyecto.

| HITO | INICIO | FIN |
|--|----------|----------|
| Entrega de la excavación | 15/04/15 | 15/06/15 |
| Fundida de zapatas, vigas de cimentación y muros | 04/08/15 | 26/11/15 |
| Finalización de la obra | 06/04/15 | 17/03/16 |

La programación maestra define todas las actividades que están en el conjunto de se debería hacer de la planificación Lean de la Figura 6, incorporando una relación entre las demás actividades y estableciendo relaciones de tiempo y espacio, también se establecen los hitos del programa, estos son considerados actividades sin duración, los hitos son los entregables principales en obra, la programación se coordina en base a estos, en la Tabla 5, vemos lo hitos establecidos para el caso de estudio [23].

También se debe tener en consideración al momento de realizar el programa maestro se deben identificar los responsables de cada una de las actividades, también se debe conocer y tener a mano información de los proveedores y subcontratistas que puedan intervenir en las actividades planeadas, se debe tener conocimiento de en qué periodo de vida del proyecto interviene cada uno de estos agentes externos, además tener conocimiento si se requiere algún permiso o

solicitud para el desarrollo de actividades, como administraciones públicas, empresas de servicios públicos, gestores de infraestructura, etc.

8.1.2. Programación de fase La programación de fase representa una subdivisión con más detalle que el programa maestro, esta subdivisión es realizada por las personas encargadas de la administración del trabajo, y se realiza con el fin de tener más control con el cumplimiento de los hitos y se realiza cuando los proyectos son demasiado extensos.

El cálculo del tiempo de la fase también es decisión de los encargados de la programación, y se toma en base a un tiempo que pueda ser cómodo para el análisis.

8.1.3. Programación intermedia Dentro de la programación intermedia, también llamada (*Lookahead*), se analizan las restricciones que puede presentar una actividad. El horizonte de trabajo de esta programación se abarca en semanas. Para el caso de estudio que tiene una duración de 12.45 meses se eligió un intervalo de tiempo de seis semanas obteniendo como resultado la realización de ocho programaciones intermedias [24].

La programación intermedia define lo que se puede hacer en la obra, para esto tomamos del programa maestro todas las actividades que se encuentren entre las seis primeras semanas, ya teniendo esta información se realiza la programación en el *software* Microsoft Office Project 2013. La utilización del *software* permite obtener el diagrama de Gantt y tener un mejor control de las actividades que se encuentran en el tiempo establecido.

Para entender mejor la implementación del sistema de último planificador, se elaboró una tabla como la que se puede ver en la Figura 9 (el formato de la tabla fue sacado de la referencia [24]), en la cual se tiene mejor manejo de la información, en esta se consigna la descripción de cada una de las tareas su duración, fecha de inicio y de finalización, luego se agrega el diagrama de Gantt de las seis primeras semanas tomado de la programación de Project 2013 y finalmente se realiza el análisis de restricciones. Las restricciones que se encuentran en la tabla fueron escogidas tratando de cubrir todas las posibles inconvenientes que se pueden encontrar en obra, además al final está la casilla de ITE (Inventario de Trabajo Ejecutable), esta casilla hace referencia al trabajo que ya cuenta con todas sus restricciones liberadas y puede ser ejecutado en la semana [23-24].

En la programación intermedia se identifican los recursos para el cumplimiento de las actividades programada, se realiza el análisis de restricciones que pueden ser considerados de diferente manera según el programador, para esta investigación se tomaron las siguientes restricciones: Proveedores, prerequisites, equipos y herramientas, mano de obra, cambio de programa o diseños, medioambiente y otros.

Figura 9. Tabla planificación intermedia [24].

| EDT | Nombre de tarea | Duración | Comienzo | Fin | DIAGRAMA DE GANTT | | | | | | | ANÁLISIS DE RESTRICCIONES | | | | | | | | | | | |
|-----|-----------------|----------|----------|-----|-------------------|---|----|---|----|----|----|---------------------------|----------------|------------------------|--------------|------------------------------|------------|----------------|-------|-------------|-----|--|--|
| | | | | | SEMANA 1 | | | | | | | PROVEEDORES | PRERREQUISITOS | EQUIPOS Y HERRAMIENTAS | MANO DE OBRA | CAMBIO DE PROGRAMA O DISEÑOS | MATERIALES | MEDIO AMBIENTE | OTROS | DESCRIPCIÓN | ITE | | |
| | | | | | ABRIL | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | L | M | MI | J | V | S | D | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 10. **Tabla de planificación semanal [24].**

| EDT | Nombre de tarea | Comienzo | Fin | SEMANA 1 | | | | | DIAGRAMA DE GANTT | | | | | | | CNC | DESCRIPCIÓN DE LA CNC |
|-----|-----------------|----------|-----|-------------|------------|-----------|-------------|-------------------|-------------------|----|----|---|---|---|---|-----|-----------------------|
| | | | | Responsable | OBJETIVO | | | Cumplido SI/NO | SEMANA 1 | | | | | | | | |
| | | | | | A Ejecutar | Ejecutado | % Alcanzado | | ABRIL | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | L | M | MI | J | V | S | D | | |
| | | | | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | | | | | |
| | | | | | 100% | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 100% | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 100% | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 100% | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 100% | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 100% | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 100% | | | | | | | | | | | | |

El seguimiento se realiza de la siguiente manera, desde el principio se establecen responsables para cada una de las actividades, cada actividad que este liberada o disponible para su ejecuciones es consignada en la tabla de la Figura 9. La programación cuenta con listas desplegables, si la actividad está preparada para su ejecución o no tiene inconveniente se deja Liberada de lo contrario también se encuentra programada entre la lista desplegable la palabra No liberada, si una actividad cuenta con todas sus restricciones liberadas pasa al ITE (Inventario de Trabajo Ejecutable), e inmediatamente pasaría a la planificación semanal, de lo contrario sigue en la planificación intermedia hasta su liberación.

8.1.4. Programación de trabajo semanal Para el seguimiento de la programación de trabajo semanal también se cuenta con un modelo de tabla que se presenta en la Figura 10 (el formato de la tabla fue sacado de la referencia [24]). Esta programación semanal se analiza el trabajo que se hará, estas actividades fueron el resultado del filtro de la programación intermedia pasando por el ITE.

La programación de trabajo semanal es el control con mayor nivel de detalle. Para su aplicación es conveniente la realización de una reunión semanal ya sea al inicio

o al final de la semana, deben estar presentes todos los encargados de obra, jefes, contratistas, empleados y últimos planificadores.

La reunión semanal no puede durar más de dos horas, se deben tratar los resultados de la semana anterior, si existe alguna tarea que no fue completada se deben analizar cuáles fueron las causas de no cumplimiento y cómo se puede hacer para mejorar.

La forma de medir la productividad de la programación de trabajo semanal es mediante el PPC. El formato de la Figura 10, está programado para realizar el seguimiento de cada una de las actividades, primero se establece el responsable de la actividad, o la persona encargada de que esta se realice, segundo se da el porcentaje a ejecutar de la actividad, si la actividad inicia hasta ahora el porcentaje será del cien, pero si esta actividad ocupa más de una semana entonces se debe realizar una regla de tres para conocer qué porcentaje de avance tiene la actividad.

El porcentaje ejecutado hace referencia a la cantidad de trabajo realizado en la semana en curso, no siempre va a ser del cien por ciento debido a que se puede presentar que no se cumpla en su totalidad la actividad de esa semana.

Si una actividad es completada en la semana se marca con un 1 de lo contrario se debe poner 0, si la actividad aun así logra un avance considerable mayor al 50% también se marca con el 1, [23].

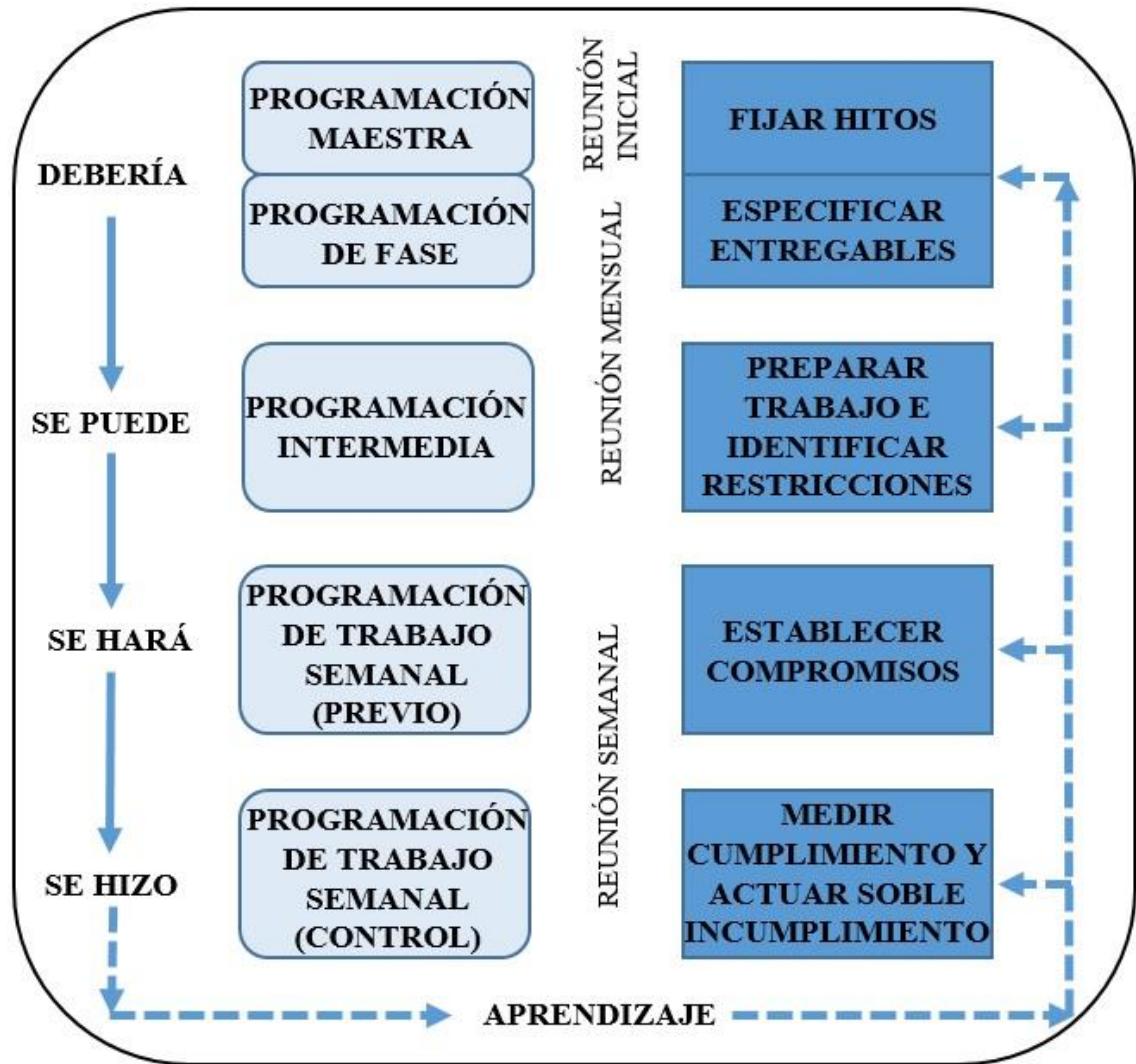
El PPC se mide dependiendo del porcentaje de actividades cumplidas por semanas. Por ejemplo: Si contamos con 5 actividades en una semana estas equivalen al 100%

solo tres de estas han sido cumplidas en su totalidad, así que el PPC de esa semana sería del 60%, como muestra la Tabla 6, como la programación cuenta con seis semanas se debe calcular un porcentaje de PPC para cada semana, para al final realizar una gráfica de PPC vs semanas.

Tabla 6. Ejemplo de cómo medir el PPC.

| Nombre actividad | Cumplida Si/No | % | PPC |
|------------------|----------------|-----|-----|
| Actividad A | 1 | 20% | 60% |
| Actividad B | 0 | 0% | |
| Actividad C | 1 | 20% | |
| Actividad D | 1 | 20% | |
| Actividad E | 0 | 0% | |

Figura 11. Esquema de aplicación por fases, sistema del último planificador tomado de [24].

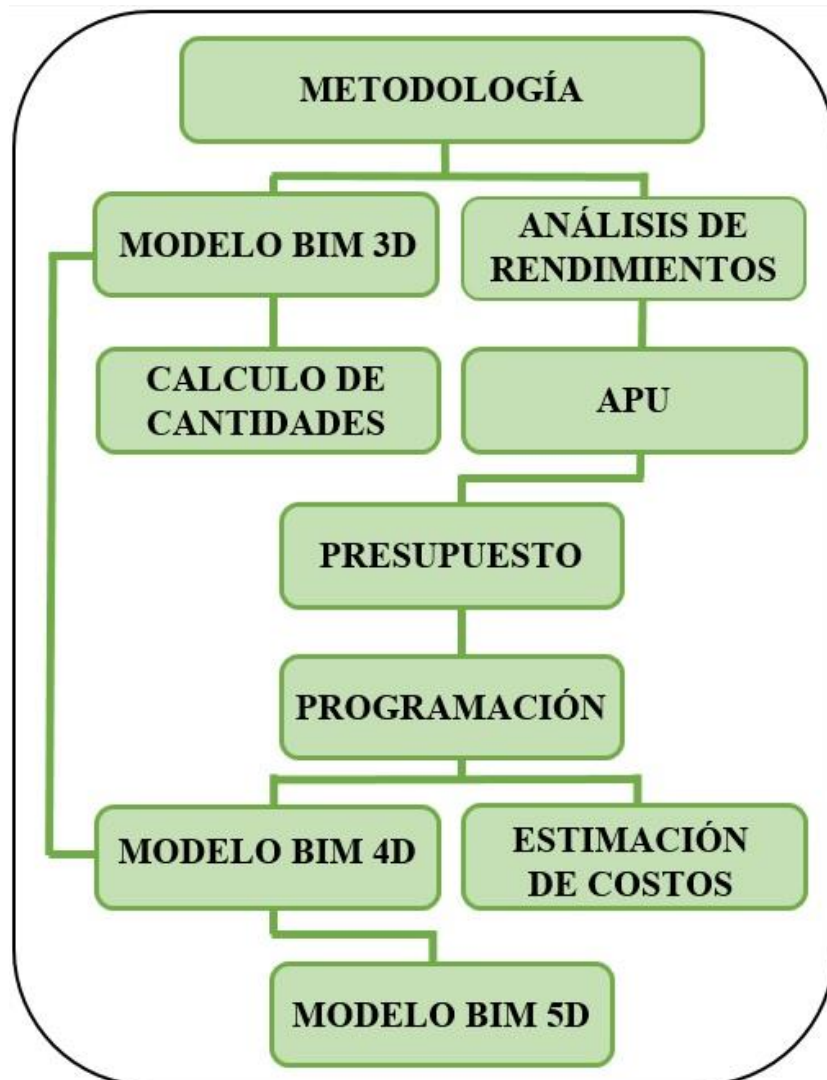


La implementación de la herramienta de control sistema del último planificador, en la planificación de proyectos ha sido de gran utilidad a la hora de revisar los resultados en una obra. En la figura 11, se observa un esquema del proceso de aplicación del último planificador según cada una de las programaciones,

empezando desde la programación maestra hasta la programación de trabajo semanal.

9. FASE 6: MODELACIÓN BIM 5D

Figura 12. Esquema metodológico para la elaboración de modelos BIM. Tomada de: “Metodología para la elaboración de modelos del proceso constructivo 5D con tecnologías: Building Information Modeling” [18].



La elaboración de modelos BIM 5D se basa en la metodología que se muestra en la figura 12 [18].

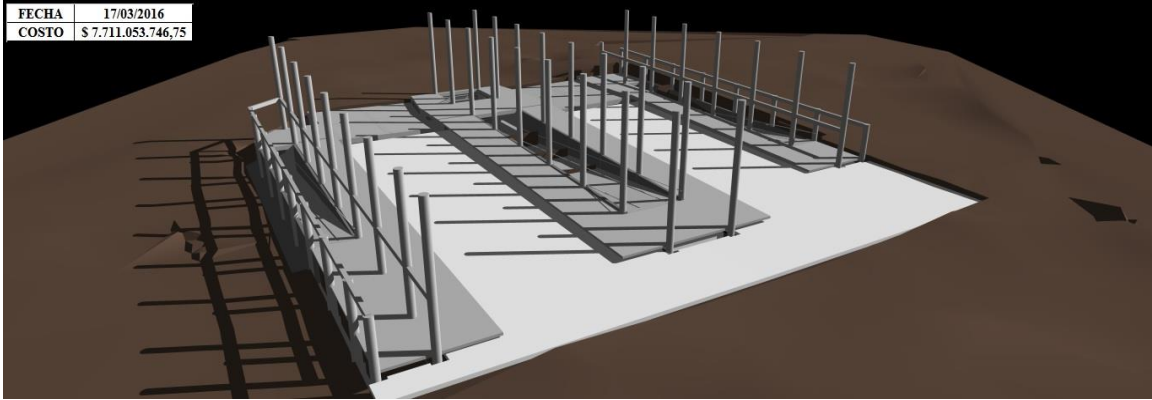
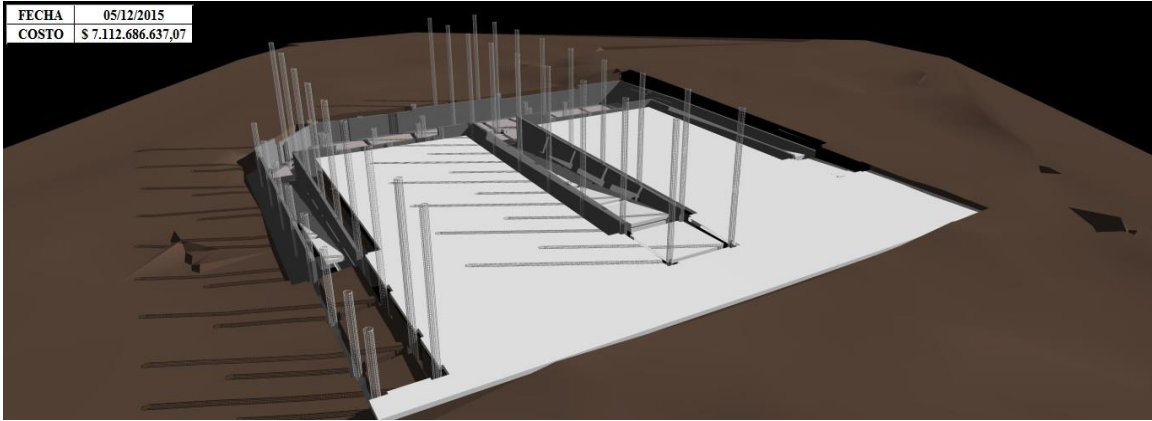
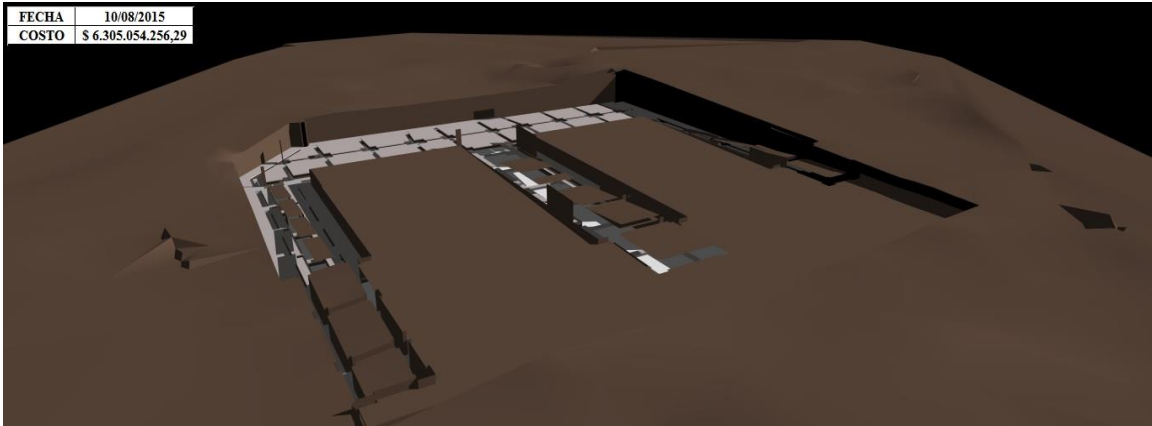
La metodología descrita en la Figura 12, comienza con la creación del modelo BIM 3D Figura 4, realizado en el *software* Autodesk Revit 2014. La metodología sigue con la realización de un presupuesto, conformado por los análisis de precios unitarios y los APU.

El siguiente paso de la metodología de elaboración de modelos BIM 5D, sugiere la elaboración de la programación de obra Figura 5, generada en el *software* Microsoft Office Project 2013.

Luego se continúa con la elaboración de los modelos BIM 4D, que se realizan con la implementación del tiempo y el modelo BIM 3D. Finalmente el *software* Autodesk Naviswork 2014, permite la generación de modelos BIM 5D, uniendo todos los procesos obtenidos anteriormente, según la metodología de elaboración de modelos BIM 5D de la Figura 12.

BIM 5D facilita el trabajo con información de manera ordenada y coherente, incluso llegar a predecir cualquier eventualidad antes de poner en marcha el proyecto.

Figura 13. Simulación BIM 5D del proceso constructivo de la estructura de concreto reforzado del caso de estudio, elaborado por el autor en el Software Autodesk Naviswork 2014.



En la Figura 13, se observa una secuencia de imágenes del proceso constructivo del caso de estudio, modelado en el *software* Autodesk Naviswork 2014, también se aprecia la fecha y el presupuesto invertido hasta la finalización de cada una de las fases ilustradas.

10. FASE 7: DISCUSIÓN Y RESULTADOS

10.1. RECOMENDACIONES PARA LA PLANIFICACIÓN DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

Esta investigación pretende dar a conocer la importancia que tiene la implementación de la herramienta de planificación del último planificador, con la vinculación de modelos BIM 5D. A continuación se dará a conocer una lista de recomendaciones para aplicar a los procesos de planificación y diseño de una obra, además se realizó una tabla de ventajas y desventajas que presenta la implementación del último planificador, con los modelos BIM 5D, en un proceso de diseño y construcción de una obra.

10.1.1. Esta investigación ayudo a entender el arduo proceso por el que debe pasar un planificador de obra y la exigencia laboral a la que está sometido cuando una actividad no se lleva a cabo según lo planeado, lo que conlleva a pérdidas de dinero y a tener mano de obra inactiva. Debido a esto y según lo aprendido en esta investigación, es recomendable tener un plan de contingencia con las tareas que presentan mayor incidencia en la programación, o las que su realización representa mayor compromiso de recursos. Para esto se deben tomar el valor de todas las actividades que se tenga en el programa de obra y dividir las en el costo directo total del proyecto, las actividades con mayor porcentaje serán las que representan más

riesgos en el proyecto. Una vez identificadas, se pueden tomar medidas de prevención, como tener en cuenta otras actividades para realizar si por alguna razón las tareas de mayor incidencia no pueden ser ejecutadas, o por si alguna restricción no pudo ser liberada.

10.1.2. Para obtener buenos resultados en la implementación del sistema último planificador, se requiere de compromiso por parte de todos los miembros que conforman el equipo de trabajo. Ya está demostrado como se menciona en LPS un caso de estudio [20], que el aprendizaje constante se forma con las reuniones semanales y mostrando a todos los implicados en la obra el avance y los logros alcanzados con la realización del proyecto.

10.1.3. El análisis semanal de las CNC (causas de no cumplimiento), permite estar preparado para la realización de actividades de la semana siguiente, además el estudio detallado de estas CNC ayuda a ganar experiencia para próximas obras. La implementación del último planificador, hecha por Andrade M, y Arrieta B, en Last planner en subcontrato de empresa constructora [23], corrobora la importancia de realizar la medición y el estudio detallado de las CNC, como experiencia para evitar que ocurran en próximos proyectos.

10.1.4. Es de vital importancia que los últimos planificadores no autoricen la realización de alguna actividad hasta no estar completamente seguros de que esta tendrá liberadas todas sus restricciones a tiempo y podrá ser ejecutada para la semana de labor [12].

10.1.5. En Colombia hasta ahora se le está dando una oportunidad a la herramienta de planificación del último planificador, la iniciativa tiene gran potencial y se ha

venido desarrollando por el arquitecto Luis Fernando Botero Botero, en la ciudad de Medellín con la ayuda de la universidad de EAFIT, quienes implementaron el sistema en algunas constructoras de la ciudad, y que estadísticamente han aumentado su nivel de producción y obteniendo buenos resultados [8].

10.2. CUADRO DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA VINCULACIÓN DE BIM CON LAST PLANNER SYSTEM

Aunque es evidente que la utilización de tecnologías BIM (*Building Information Modelling*), presenta más ventajas que desventajas al momento de ser utilizado en la elaboración de diseños y modelos de un proyecto, también se encuentran asociados algunos inconvenientes menores pero que son importantes resaltar. En la Tabla 7, se dejó una lista de ventajas y desventajas que se encontraron durante la realización de esta investigación, y que fueron consideradas importantes y por eso se mencionan.

Tabla 7. Cuadro de ventajas y desventajas de la utilización de modelos BIM y la herramienta Last Planner System, en la planificación de proyectos de construcción.

| VENTAJAS |
|--|
| Aumenta la visualización del proyecto. |
| Permite la toma de decisiones de forma anticipada en todas las etapas de vida del proyecto. |
| Permite una mejor cuantificación de todo lo modelado, esto es de ayuda al momento de realizar presupuestos y análisis de cantidades de obra. |

| |
|--|
| <p>Facilita el trabajo colaborativo entre los distintos departamentos encargados de la obra, esto ayuda a una mejor implementación de la herramienta de planificación Last Planner y mejora el trabajo en equipo.</p> |
| <p>A un proyecto se le puede dar un aspecto visual muy realista, mejorando el entendimiento del mismo.</p> |
| <p>Ayuda a prevenir cualquier problema de colisión presentado en los diseños, y su arreglo en el campo es más sencillo y práctico, evitando pérdidas.</p> |
| <p>La implementación de los distintos programas de Autodesk permite la generación de todo tipo de informes de los elementos del proyecto y de los cambios realizados durante su vida, un caso práctico serían las animaciones en Naviswork que genera resultados según el tiempo de vida de un proyecto.</p> |
| <p>DESVENTAJAS</p> |
| <p>Aunque el manejo de los programas llega a ser muy intuitivo, se necesita de tiempo y práctica para su manipulación.</p> |
| <p>Los programas como Autodesk Revit están diseñados para trabajos grandes y elaborados, así que no es muy justificado su utilización para la modelación de proyectos pequeños ya que su configuración no alcanza a justificar su elaboración.</p> |
| <p>Aunque son muy usados la adquisición de licencias de estos programas puede llegar a ser un poco inasequible por sus elevados costos.</p> |

Para proyectos relativamente extensos el trabajo en Autodesk Revit debe ser complementado con el realizado en Autodesk Autocad y viceversa, debido a que el modelado en tres dimensiones es complicado en Autocad y el trabajo en planta no se facilita en Revit.

11. CONCLUSIONES

- La utilización de modelos BIM en la etapa de diseño de la construcción son de gran ayuda, gracias a la cuantificación y manejo de grandes cantidad de información, además permite la visualización de modelos y procesos constructivos que permiten encontrar errores relacionados con los diseños.
- La implementación del sistema del último planificador genera un incremento en la confiabilidad de la programación de un proyecto, el cálculo semanal del porcentaje del PPC obliga a los planificadores a tomar medidas al respecto disminuyendo la improvisación que se presenta constantemente en las obras.
- Cabe resaltar que un alto porcentaje en el PPC semanal no necesariamente indica buena productividad del sistema último planificador, si una actividad no logra tener todas sus restricciones liberadas no entra a la programación intermedia, y si por alguna razón se comete el error de descuidar su seguimiento se pueden presentar atrasos en la programación general.
- Los modelos BIM juegan un papel importante al momento de realizar ajustes en el presupuesto, debido a que permiten una simulación de costos según el

cronograma de obra, esto antes de la ejecución del proyecto, permitiendo realizar cualquier cambio.

- El uso de *softwares* para la realización de modelos BIM resultan ser una herramienta muy versátil, ya que no solo se puede enfocar al campo de la construcción, sino que está diseñada para ser implementada en otras áreas.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Cuentas Trimestrales – Colombia Producto Interno Bruto Cuarto Trimestre de 2014. Disponible: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bol_PIB_dem_IVtrime14.pdf [Citado 11 de Febrero de 2015].
- [2] B. Pontes Mota, R. Rola Mota, T. da C.L Alves. "Implementing lean construction concepts in a residential project, Procede de 16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction People, Culture and Change. pp. 252.
- [3] J.F. Pons Anchell. "Lean Construction Management", Revista del colegio de arquitectos de murcia, España, No. 44, Febrero 2012, pp. 8-9.
- [4] C. Milberg, "Tolerance considerations in work structuring", 15a Conferencia IGLC, 18-20 de Julio del 2007. pp. 233-243.
- [5] L. Koskela, R. Stratton, A. Kosjenvesa, "Last planner critical chain in construction management: Comparative Analysis", 18a Conferencia IGLC, 18 Julio Del 2010. pp. 538-547.
- [6] Método de Ruta Crítica - CPM (*Critical Path Method*). Disponible: <http://www.eoi.es/blogs/madeon/2013/04/14/metodo-de-ruta-critica-cpm-critical-path-method/>, [Citado 15 de febrero de 2015].
- [7] L. Koskela, G. Howell, G. Ballard, I. Tommelein. "The Foundations of lean construction", DESING AND CONSTRUCTION: BUILDING IN VALUE, Capítulo 14 y 15, 01 Junio 2007, pp. 215-127.

- [8] L.F. Botero Botero, M.E. Álvarez Villa, "Guía de mejoramiento continuo, para la productividad en construcción de proyectos de vivienda (Lean construction como estrategia de mejoramiento), Revista Universidad EAFIT, Vol 40, No 136, 23 de Julio del 2004. pp. 50 - 64.
- [9] L. Koskela. "Application of the new production philosophy to construction", CIFE Center For Integrated Facility Engineering, Stanford University, Report #72, Septiembre 1992, pp. 12-14.
- [10] L.F. Alarcón Cárdenas, "Un nuevo enfoque en la gestión: La construcción sin pérdidas, A new management focus: Lean construction" Revista de obras públicas, No 3.496, Febrero del 2009. pp. 45-52.
- [11] Qué es magra diseño y construcción. Disponible: <http://www.leanconstruction.org/about-us/what-is-lean-construction/>, [Citado 25 de marzo del 2015].
- [12] Juan Felipe Pons Achell, "Introducción a Lean Construction", [Tesis pregrado], Pontificia Universidad Católica de Chile, Marzo del 2014.
- [13] Boletín del Portaldeingenieria.com, No 4 año 1 Julio del 2011, Disponible: <http://www.portaldeingenieria.com>, [Citado 25 de Marzo del 2015].
- [14] S. Senaratne, D. Wijesiri. "Lean Construction as a Strategic Option: Testing its Suitability and Acceptability in Sri Lanka", © Lean Construction Journal, 2008, pp. 34-48.
- [15] Documentos y estudios previos, Ejecución de las obras de construcción del parque estación UIS Para el sistema integrado de transporte masivo – Metrolínea S.A. Par vial Crr 25 y 26 calles 10 y 11, en la ciudad de

Bucaramanga, sector barrio la Universidad. 27 de noviembre del 2009. pp. 25.

- [16] Building Information Modelling (BIM). Disponible: http://www.arup.com/Services/Building_Modelling.aspx , [Citado 31 de Marzo 2015].
- [17] L.F. Botero Botero, “Análisis de rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción”, REVISTA Universidad EAFIT, No 128, Octubre, Noviembre y Diciembre del 2002. pp. 1 – 14.
- [18] H. Porras Díaz, O.G. Sánchez Rivera, J.A. Galvis Guerra, “Metodología para la elaboración de modelos del proceso constructivo 5D con tecnologías: Building Information Modeling”, División Editorial y Publicaciones Universidad Industrial de Santander, V. 13, fascículo 3, 2014. pp. 1-15.
- [19] Lina Marithza Polanco Sánchez, “Análisis de rendimientos de mano de obra para actividades de construcción – Estudio de caso edificio J UPB”, tesis de pregrado, Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Civil, Bucaramanga, 2009.
- [20] José Luís Ponz Tienda, Fernando Cerveró Romero, Luís F Alarcón Cárdenas, Last Planner System Un caso de estudio [Tesis], Universitat Politècnica de València, Pontificia universidad Catolica de Chile, 2013.
- [21] L. Koskela, R. Stratton, A. Koskenvesa, “Last Planner and Critical Chain in Construction Management: Comparative Analysis”, Technion, Haifa, Israel, IGLC-18, Julio 2010, pp. 538 – 547.

- [22] Herman Glenn Ballard, "The Last Planner system of Production Control", [Tesis Doctorado], The University of Birmingham, Faculty of Engineering, may 2000.
- [23] M. Andrade, B. Arrieta, Last Planner en subcontrato de Empresa constructora, revista de la construcción, Vol 10, No 1, 2011, pp 1-17.
- [24] A. Rodríguez, L. Alarcon, E. Pellicer, La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador, Revista de obras públicas, No 3518, Febrero del 2011, pp 1-9.

BIBLIOGRAFIA

ALARCÓN CÁRDENAS, Luis. Un nuevo enfoque en la gestión: La construcción sin pérdidas, A new management focus: Lean construction. Revista de obras públicas, No 3.496, Febrero del 2009, p. 45-52.

ANDRADE, M. ARRIETA, B. Last Planner en subcontrato de Empresa constructora, revista de la construcción, Vol 10, No 1, 2011, pp 1-17.

BALLARD, Herman. The Last Planner system of Production Control. Tesis Doctorado. The University of Birmingham, Faculty of Ingineering, may 2000.

BOTERO BOTERO, Luis. ÁLVAREZ VILLA, María. Guía de mejoramiento continuo, para la productividad en construcción de proyectos de vivienda (Lean construction como estrategia de mejoramiento). Medellín. Revista Universidad EAFIT, Vol 40, No 136, 23 de Julio del 2004, p. 50 - 64.

BOTERO BOTERO, Luis. Análisis de rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción, REVISTA Universidad EAFIT, No 128, Octubre, Noviembre y Diciembre del 2002, p. 1 – 14.

KOSKELA, Lauri. Application of the new production philosophy to construction, CIFE Center For Integrated Facility Engineering, Stanford University, Report #72, Septiembre 1992, p. 12 - 14.

KOSKELA, Lauri. HOWELL, Greg. BALLARD, Glen. The Foundations of lean construction, DESIGN AND CONSTRUCTION: BUILDING IN VALUE, Capítulo 14 y 15, 01 Junio 2007, p. 215 - 127.

KOSKELA, Lauri. STRATTON, Roy. KOSJENVESA, Anssi. Last planner critical chain in construction management: Comparative Analysis, 18a Conferencia IGLC, 18 Julio Del 2010, p. 538 - 547.

PONZ, Juan. Introducción a Lean Construction, Tesis pregrado, Pontificia Universidad Católica de Chile, Marzo del 2014.

PONZ, José. CERVERÓ, Fernando. ALARCÓN, Luís. Last Planner System Un caso de estudio [Tesis], Universitat Politècnica de València, Pontificia universidad Católica de Chile, 2013.

RODRÍGUEZ, Antonio. ALARCON, Luis. PELLICER, Eugenio. La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador, Revista de obras públicas, No 3518, Febrero del 2011, p 1 - 9.

S.A. Par vial Crr 25 y 26 calles 10 y 11, en la ciudad de Bucaramanga, sector barrio la Universidad. 27 de noviembre del 2009, p. 25.