

**APLICACIÓN DE MODELOS BIM 5D Y LA FILOSOFIA LEAN CONSTRUCTION EN LA  
PLANIFICACIÓN DE OBRA. CASO DE ESTUDIO: PUENTE EN CONCRETO  
REFORZADO LOCALIZADO EN LA ABSCISA K0+500 DEL PROYECTO CONEXIÓN  
ORIENTE – OCIDENTE A TRAVÉS DEL CORREDOR DE LA CALLE 54,  
BUCARAMANGA, COLOMBIA.**

**CÉSAR AUGUSTO MARTÍNEZ MARTÍNEZ  
YERSON DAMIÁN ARDILA CHACÓN**

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

**2015**

**APLICACIÓN DE MODELOS BIM 5D Y LA FILOSOFIA LEAN CONSTRUCTION EN LA  
PLANIFICACIÓN DE OBRA. CASO DE ESTUDIO: PUENTE EN CONCRETO  
REFORZADO LOCALIZADO EN LA ABSCISA K0+500 DEL PROYECTO CONEXIÓN  
ORIENTE – OCIDENTE A TRAVÉS DEL CORREDOR DE LA CALLE 54,  
BUCARAMANGA, COLOMBIA.**

**CÉSAR AUGUSTO MARTÍNEZ MARTÍNEZ  
YERSON DAMIÁN ARDILA CHACÓN**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Civil**

**Director  
OMAR GIOVANNY SANCHEZ RIVERA  
Ingeniero Civil**

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

**2015**

## DEDICATORIA

Dedico la realización de este proyecto de grado y los logros obtenidos con éste a mis padres y familiares, pues estos fueron los que me dieron su apoyo desde el inicio de mis estudios, me motivaron a esforzarme en la formación como profesional, me apoyaron y acompañaron en los tiempos más trascendentales de mi carrera.

CÉSAR AUGUSTO MARTÍNEZ MARTÍNEZ

Le doy gracias a Dios por esta nueva meta alcanzada en mi vida y dedico este trabajo a mi familia que gracias a su apoyo y a su sacrificio durante el tiempo de estudio logré terminar la carrera, también le agradezco a mis amigos y compañeros que estuvieron presente en los momentos de dificultad y de alegría.

YERSON DAMIÁN ARDILA CHACÓN

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primordialmente a Dios quien fue el que dispuso todas las situaciones necesarias para la realización de este trabajo.

También agradecemos la colaboración de nuestro director el ingeniero Omar Giovanni Sánchez Rivera, al estudiante de ingeniería civil de la UIS José Alberto Galvis Guerra por la dedicación y apoyo que han brindado a este trabajo y al grupo de investigación Geomática-UIS por el préstamo de sus instalaciones y el suministro de la información necesaria para desarrollar este trabajo.

CÉSAR AUGUSTO MARTÍNEZ MARTÍNEZ

YERSON DAMIÁN ARDILA CHACÓN

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	14
1. METODOLOGÍA.....	16
1.1 TAREA 1: MODELO BIM .....	16
1.2 TAREA 2: ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO.....	17
1.3 TAREA 3: ELABORACIÓN DEL PROGRAMA DE OBRA.....	18
1.4 TAREA 4: IMPLEMENTAR LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION A LA PLANIFICACIÓN DE OBRA DEL PROYECTO .....	18
Fase 1: Definición de los principios Lean Construction a utilizar para la reducción de pérdidas en la fase de planificación .....	19
Fase 2: Aplicación de la herramienta Last Planner System (LPS).....	19
Fase 3: Obtención del proceso de reducción de pérdidas BIM-LPS .....	20
1.5 TAREA 5: ELABORACIÓN DEL MODELO BIM 5D UTILIZANDO LA PLANIFICACIÓN TRADICIONAL Y LA PLANIFICACIÓN IMPLEMENTANDO LEAN CONSTRUCTION. ....	20
2 RESULTADOS .....	21
2.1 TAREA 1: MODELO BIM .....	21
2.2 TAREA 2: ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO.....	23
2.3 TAREA 3: ELABORACIÓN DEL PROGRAMA DE OBRA.....	24
2.4 TAREA 4: IMPLEMENTAR LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION A LA PLANIFICACIÓN DE OBRA DEL PROYECTO. ....	25
Fase 1: Definición de los principios Lean Construction a utilizar para la reducción de pérdidas en la fase de planificación .....	25
Fase 2: Aplicación de la herramienta Last Planner System LPS .....	26
Fase 3: Obtención del proceso de reducción de pérdidas BIM-LPS. ....	26
2.5 TAREA 5: ELABORACIÓN DEL MODELO BIM 5D UTILIZANDO LA PLANIFICACIÓN TRADICIONAL Y LA PLANIFICACIÓN IMPLEMENTANDO LEAN CONSTRUCTION .....	27
3 DISCUSIÓN .....	29
4 CONCLUSIONES. ....	32
REFERENCIAS .....	33
BIBLIOGRAFÍA.....	35

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metodología de desarrollo de la tarea 4. ....	19
Figura 2. Modelo BIM 3D de la estructura en concreto reforzado. Autodesk Revit 2014. ....	21
Figura 3. Acero de refuerzo para dado de cimentación. Autodesk Revit 2014. ....	22
Figura 4. Modelo BIM 3D de la estructura en concreto reforzado. Autodesk Navisworks Manage 2014. ....	22
Figura 5. Programación de obra. Microsoft Project 2013. ....	25
Figura 6. Formato planificación intermedia. ....	26
Figura 7. Formato planificación semanal. ....	26
Figura 8. Diagrama de flujo proceso de reducción de pérdidas BIM-LPS. ....	27
Figura 9. Modelo BIM 5D. Autodesk Navisworks Manage 2014. ....	28
Figura 10. Sistema tradicional de planificación. ....	29
Figura 11. Sistema de planificación lean. ....	30

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Principios de Lean Construction aplicados a la reducción de pérdidas en la fase de planificación del proyecto. ....	19
Tabla 2: Presupuesto para el caso de estudio. ....	23
Tabla 3: Rendimientos de mano de obra estimados para la construcción de la estructura en concreto reforzado de un puente en la ciudad de Bucaramanga, Colombia. ....	24
Tabla 4. Comparación de los métodos de planificación. ....	31

## RESUMEN

### TITULO:

APLICACIÓN DE MODELOS BIM 5D Y LA FILOSOFIA LEAN CONSTRUCTION EN LA PLANIFICACIÓN DE OBRA.\*

### AUTORES:

CÉSAR AUGUSTO MARTÍNEZ MARTÍNEZ

YERSON DAMIÁN ARDILA CHACÓN\*\*

### PALABRAS CLAVE:

Planificación, Building Information Modeling, Lean Construction.

### DESCRIPCIÓN:

Las tecnologías BIM (Building Information Modeling) se están estableciendo a nivel internacional como herramientas fundamentales para el modelado de información de la construcción, sin embargo su uso en Colombia es escaso y requiere de capacitación de alta calidad para desarrollar un uso correcto de estas. En este trabajo se presenta el uso de nuevas tecnologías para la planificación de la construcción de un puente de concreto reforzado en Colombia y se pretende optimizar, en términos de costo y tiempo, el proceso constructivo de este tipo de estructuras. La metodología aplicada en este proyecto se enfoca en el uso de tecnologías BIM (Building Information Modeling) y la filosofía *Lean Construction*, tiene como objetivo mejorar el rendimiento y desarrollo de la planificación constructiva de este tipo de estructuras. La elaboración del proyecto se dividió en cinco etapas: elaboración del modelo BIM 3D, elaboración del presupuesto, modelado BIM 4D, implementar la filosofía *Lean Construction* a la planificación de obra del proyecto y la elaboración del modelo BIM 5D utilizando la planificación tradicional y la planificación implementando Lean Construction. Se analizan las ventajas del uso de estas nuevas tecnologías y los resultados que pueden tener en las diferentes etapas de los procesos constructivos, planificación, diseño y construcción de este tipo de estructuras.

---

\*

Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Omar Giovanni Sánchez Rivera, Ingeniero Civil.

## ABSTRACT

### TITLE:

APPLICATION OF MODELS BIM 5D AND PHILOSOPHY LEAN CONSTRUCTION  
WORK PLANNING.\*

### AUTHORS:

CÉSAR AUGUSTO MARTÍNEZ MARTÍNEZ

YERSON DAMIÁN ARDILA CHACÓN\*\*

### KEYWORDS:

Planning, Building Information Modeling, Lean Construction.

### DESCRIPCIÓN:

The BIM technology (Building Information Modeling) is being established internationally as fundamental to information modeling building tools, but its use in Colombia is low and requires high-quality training to develop correct use of these. In this paper the use of new technologies for planning the construction of a reinforced concrete bridge in Colombia and is intended to optimize in terms of cost and time, the construction process of these structures is presented. The methodology used in this project focuses on the use of BIM technology (Building Information Modeling) and Lean Construction philosophy, it aims to improve the performance and development of constructive planning of such structures. The development of the project was divided into five stages: development of 3D BIM, budgeting, modeling BIM 4D model, implement Lean Construction philosophy at work planning the project and developing the BIM 5D model using traditional planning and planning implementing Lean Construction. The advantages of using these new technologies and the results that may be at different stages of the construction process, planning, design and construction of such structures are analyzed.

---

\*

Bachelor thesis

\*\* Physical-Mechanical Engineering Faculty. Civil Engineering school. Director: Omar Giovanni Sánchez Rivera, Ingeniero Civil

## INTRODUCCIÓN

En años recientes se han desarrollado investigaciones para la implementación de nuevas tecnologías que permitan gestionar a nivel global los proyectos, en específico los relacionados con construcción, estas investigaciones presentan sistemas que facilitan la participación, colaboración, comunicación y coordinación de todos los participantes en el análisis de cada etapa del proyecto y dan como resultado metodologías enfocadas directamente a la integración de todas las etapas de construcción del proyecto, pasando desde el diseño y construcción hasta el mantenimiento y operación [1].

En la actualidad, los investigadores relacionados con el área de planificación de obra proponen el BIM (Building Information Modeling) como una herramienta informática de apoyo a los procesos de planificación. El BIM es una base de datos digital donde es posible almacenar, integrar gestionar y consultar la información del proyecto de construcción.

BIM brinda distintas ventajas y facilidades, en la planificación de obra, una de las más importantes es la posibilidad de modelar el proceso constructivo tomando en cuenta cinco variables (dimensión en el eje X, dimensión en el eje Y, dimensión en el eje Z, tiempo y costo) [1-2-3-4-5], un modelo con las características descritas es clasificado como un modelo BIM 5D.

El principal uso de BIM se basa en la generación de una representación inteligente de los elementos de construcción del proyecto, BIM permite integrar información detallada y necesaria de todas las etapas del proceso constructivo de un proyecto [1], situación que resulta de gran beneficio, teniendo en cuenta el gran volumen de información que se produce, procesa y almacena durante el ciclo de vida de un proyecto de construcción.

Modelar las diferentes etapas, del proceso constructivo en BIM, brinda varias ventajas, entre las más significativas están: las reducciones de los costos en las diferentes fases del proyecto, almacenamiento y gestión de la información detallada de los procesos, cálculo de las cantidades de construcción [2-6-7], posibilidad de trabajo con profesionales en distintas partes del mundo, detección de inconsistencias en los diseños del proyecto [6], optimización del espacio de la obra [2-8], planificación de los recursos que han de utilizarse [2-6-9], posibilidad para la detección de falencias e incoherencias en la planificación de obra, entre otros.

La planificación con BIM resulta una modificación radical al método tradicional de planificación de proyectos de construcción, que se basa en la utilización de diagramas de Gantt y dibujos en dos dimensiones 2D, esto debido a que BIM permite visualizar el proceso constructivo en un ambiente virtual, en donde es posible la detección de falencias y posibles alternativas para el mejoramiento del proceso constructivo.

El ejercicio de la planificación de algunos proyectos, puede resultar un proceso extenso y complejo, que en algunos casos se encuentra propenso a errores de apreciación, omisiones e inexactitudes propias de la metodología tradicional de planificación, situación que cambia significativamente con el uso de BIM, ya que resulta una herramienta con

múltiples beneficios que hacen posible que la planificación, de la construcción del proyecto, se fundamente en una simulación virtual.

La filosofía *Lean Construction* (construcción sin pérdidas) se orienta hacia la administración de la producción en construcción, su objetivo principal es reducir o eliminar las actividades que no agregan valor al proyecto y optimizar las actividades que si lo hacen, por ello se enfoca principalmente en crear herramientas específicas aplicadas al proceso de ejecución del proyecto y un buen sistema de producción que minimice los residuos [10]. Entendiéndose por residuos todo lo que no genera valor a las actividades necesarias para completar una unidad productiva.

La aplicación de *Lean Construction* facilita la creación de buenos sistemas de producción que permiten optimizar, reducir o eliminar los flujos para mejorar los tiempos de entrega de los diferentes procesos constructivos de proyectos de infraestructura [11-13].

La implementación de BIM, con los principios de reducción de pérdidas de la filosofía *Lean Construction*, resulta una combinación eficaz para la disminución de la incertidumbre y las pérdidas asociadas al proceso de construcción, esta combinación resulta ideal para la planificación de los proyectos en las fases de diseño y construcción [16].

En la actualidad, la industria de la construcción colombiana presenta numerosas falencias en el ámbito de planificación de proyectos de construcción, situación que se traduce en atrasos de los proyectos, altos sobrecostos, gran incertidumbre de los presupuestos de construcción, cuantiosas pérdidas en los procesos de construcción, falencias en los diseños, entre otros [15].

En el presente trabajo se estudian los beneficios de la utilización de la filosofía *Lean Construction* y modelos del proceso constructivo BIM 5D, en la planificación de obra de puentes en concreto reforzado, frente al método de planificación tradicional. El caso de estudio es el puente en concreto reforzado de la abscisa K0+500, del proyecto “conexión oriente-occidente a través del corredor de la calle 54” de la ciudad de Bucaramanga, Colombia. Para esto se propone una metodología de elaboración de modelos del proceso constructivo BIM 5D, con la utilización de las tecnologías BIM y la aplicación de la filosofía *Lean Construction* a la planificación de obra del puente estudiado. Se presentan los beneficios que se obtienen de la implementación de los modelos BIM 5D y la filosofía *Lean Construction* en el proceso de planificación de proyectos de construcción.

## 1. METODOLOGÍA

La metodología realizada para estudiar los beneficios de *Lean Construction* y BIM, en la planificación de obra de puentes en concreto reforzado, se divide en 5 actividades que se encuentran alineadas con el método científico, ya que se realiza: medición, experimentación, análisis y formulación de las conclusiones.

La primera actividad, se basa en desarrollar un modelo tridimensional BIM a partir de los planos o dibujos, de los diseños del puente estudiado, en dos dimensiones (2D). La segunda, tiene como objetivo la elaboración de la programación de obra. La tercera, es la elaboración del modelo BIM 4D del proyecto, donde se enlaza el orden de ejecución de las actividades de obra del proyecto (programa de obra) con el modelo BIM. La cuarta, se fundamenta en implementar la filosofía *Lean Construction* a la planificación de obra del proyecto. En la quinta actividad se unifican los productos de las actividades 1, 2, 3 y 4, para obtener como resultado un modelo BIM 5D del proyecto con la planificación tradicional y la planificación producida con la implementación de LC.

### 1.1 TAREA 1: MODELO BIM

Para la elaboración del modelo BIM del proyecto se utilizó el software Autodesk Revit 2014, la información utilizada fueron los planos de diseño del puente en formato CAD 2D, donde fue posible obtener las características de los elementos de construcción del proyecto, sus niveles y la ubicación espacial de cada uno.

El proceso consistió: primero en hacer una depuración de los planos de diseño en el software Autodesk AutoCAD Civil 3D 2014 y ubicar estos en la posición propuesta por el diseñador del proyecto en el software Autodesk Revit 2014, los planos en formato CAD 2D fueron utilizados en formato *link*, en el software Autodesk Revit 2014.

La actividad de depuración de los planos se fundamentó en la verificación de la no existencia de elementos de dibujo fuera del plano principal y la eliminación de elementos innecesarios para el desarrollo del modelo BIM, esto con el objetivo de evitar que los planos utilizados como *links* generen inconvenientes relacionados con el espacio y la correcta apreciación de estos en el software Autodesk Revit 2014. Con los planos depurados y ubicados, se procedió al desarrollo de modelo BIM.

El modelo BIM inicia con el modelado de la topografía del terreno en el software Autodesk Revit 2014, con base en los planos de las curvas de nivel del terreno, de esta forma, es posible modelar las excavaciones de los cimientos del proyecto, en el caso de estudio, pilotes de 1.5 y 2 metros de diámetro, además de los estribos del puente.

Se continua con la elaboración del modelo de los elementos estructurales del proyecto como: los pilotes, las vigas, el dado de cimentación, los estribos del puente, las aletas, las columnas, los topes sísmicos, los pedestales, la viga cajón, y demás elementos como: la estructura de pavimento, el andén, los bordillos de concreto, las barandas metálicas, entre otros.

La mayoría de los elementos se modelaron creando nuevas plantillas en formato *rfa* como vigas y columnas ya que el software Autodesk Revit tiene por defecto secciones de elementos que no varían según su longitud (p. Ej. Viga de 30 x 30 cm, que no varía según su longitud).

En el caso de estudio, los elementos que no se encontraron en las secciones de vigas y columnas que el software tiene por defecto, se crearon a partir de las platillas elaboradas en formato *rfa*, como fue el caso de: la viga cajón del puente, los estribos, la pila central, los topes sísmicos, los neoprenos y las barandas vehiculares y peatonales. Un ejemplo de los elementos, que están por defecto en el software, son los pilotes, a los cuales el único parámetro que se configuro fue el diámetro, ya que la sección no varía a lo largo de la longitud del elemento.

La superficie topográfica modelada y los elementos del puente, se crearon en archivos independientes, para luego crear un archivo general donde se integraron todos los elementos del proyecto.

Los elementos de construcción del proyecto se integraron en un modelo general, utilizando cada uno de los archivos como un *link*, con base en la ubicación espacial. Al realizar el modelo del proyecto se le asignó una tarea específica a cada integrante del grupo de trabajo, donde estos modelaban un elemento del puente y seguido a esto actualizaban el modelo del archivo general.

## **1.2 TAREA 2: ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO**

En esta tarea se debe realizar el presupuesto de la obra teniendo en cuenta los precios del mercado para los materiales, la mano de obra, el transporte, los equipos y las herramientas.

Se deben tener las cantidades de obra las cuales se obtienen a partir del software Autodesk Revit 2014 que se utilizan en conjunto con los análisis de precios unitarios para hacer el presupuesto de la obra, en los análisis de precios unitarios se detallan los materiales, la mano de obra, el transporte, los equipos y las herramientas que se van a utilizar.

Un aspecto importante en los APU son los rendimientos de la mano de obra pues de estos depende cuanto se demore la realización de cada actividad y por ende cuanto se demora la ejecución del proyecto. El resultado de los análisis de rendimientos depende de varios factores que afectan el rendimiento de la mano de obra y los equipos como la ubicación geográfica del proyecto, el clima, la temperatura, la modalidad de contratación y la experiencia, entre otros.

En el caso de estudio, los rendimientos fueron estimados con base a los rendimientos propuestos en el proyecto *Construcción intercambiador El Bosque (paso elevado) en el municipio de Floridablanca, Departamento de Santander*. El cual presenta características muy similares al caso de estudio realizado en este trabajo.

Para calcular el costo de las actividades se procede a multiplicar el valor de cada APU por su respectiva cantidad y luego se suman los valores de todas las actividades, para obtener el presupuesto de la obra se suman los costos de las actividades, la administración, los imprevistos, la utilidad y porcentaje de la utilidad.

Para el caso de estudio se utilizó el software Microsoft Excel 2013, en el cual se realizó un formato de presentación del presupuesto

### **1.3 TAREA 3: ELABORACIÓN DEL PROGRAMA DE OBRA**

En la programación de obra se establecen las duraciones de las actividades necesarias para ejecutar la obra, en función de los rendimientos de la mano de obra utilizada [12]. Los datos que se deben ingresar al software Microsoft Project son las actividades, las unidades, los rendimientos y las cantidades que se encuentran en el presupuesto, con los datos mencionados se puede hallar la duración estimada de cada actividad al multiplicar las cantidades por los rendimientos de obra, esta duración estimada es el tiempo que tardará una cuadrilla en realizar la tarea.

Luego se asignan las cuadrillas a las actividades y siguiendo un orden lógico de construcción se asignan las actividades predecesoras.

Si es necesario disminuir la duración de las actividades se aumenta el número de cuadrillas que ejecutarán las tareas y así disminuir la duración total del proyecto de esta manera se obtiene el programa de obra con la fecha de inicio, la fecha de fin, las actividades predecesoras y el número de cuadrillas en un orden de construcción.

### **1.4 TAREA 4: IMPLEMENTAR LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION A LA PLANIFICACIÓN DE OBRA DEL PROYECTO**

Esta tarea consiste en implementar la filosofía *Lean Construction* a la fase de planificación para el caso de estudio: el puente en concreto reforzado de la abscisa K0+500, del proyecto “conexión oriente-occidente a través del corredor de la calle 54” de la ciudad de Bucaramanga.

La filosofía *Lean Construction* tiene por objetivo reducir las pérdidas asociadas a cada fase de los proyectos de construcción a través de la aplicación de sus herramientas y principios fundamentales.

Para desarrollar la tarea cuatro se aplicó la metodología de la figura 1. De acuerdo a la definición de cada principio, se hace uso de las herramientas Last Planner System (LPS) y BIM, para cumplir los objetivos que cada principio tiene sobre la fase de planificación del proyecto.

Figura 1. Metodología de desarrollo de la tarea 4.



**Fase 1: Definición de los principios Lean Construction a utilizar para la reducción de pérdidas en la fase de planificación**

La fase 1 consiste en seleccionar cuál de los principios de la filosofía *Lean Construction*, mostrados en la tabla 1, se aplican a la reducción de pérdidas en la fase de programación del proyecto en estudio.

**Tabla 1. Principios de Lean Construction aplicados a la reducción de pérdidas en la fase de planificación del proyecto (Campero y Alarcón, 2008).**

Principios Lean Construction	
1	Incrementar la eficiencia de las actividades que agregan valor.
2	reducir la participación de actividades que no agregan valor (también denominadas "perdidas")
3	Incrementar el valor del producto a través de la consideración sistemática de los requerimientos del cliente
4	Reducir la variabilidad
5	Reducir el tiempo de ciclo
6	Simplificar procesos
7	Incrementar la flexibilidad de la producción
8	Incrementar la transparencia de los procesos
9	Enfocar el control al proceso completo
10	Introducir la mejora continua de los procesos
11	Mejorar continuamente el flujo

**Fase 2: Aplicación de la herramienta Last Planner System (LPS)**

Last Planner System es la herramienta que propone la filosofía de gestión sin pérdidas *Lean Construction*, para reducir la variabilidad en la programación de las actividades de los proyectos de construcción, es una de las herramientas más importantes en el uso práctico en el ejercicio profesional de *Lean Construction*. Interviene principalmente en la fase de ejecución y planeación del proyecto, sus objetivos principales son controlar la

mala planeación y conseguir un flujo de trabajo continuo con un método de trabajo bien definido.

El objetivo de esta fase es implementar Last Planner System, su aplicación se basa en una programación en cascada, para cual se deben desarrollar: la planificación general, planificación intermedia y la planificación semanal.

La planificación general es la misma planificación que se utiliza en el método tradicional de programa de obra. La planificación intermedia es el segundo nivel de la planificación en cascada que propone la metodología de Last Planner, se trata de desglosar la planificación general en actividades que son probablemente ejecutables en un intervalo de tiempo mayor de una semana. Para la elaboración de la planificación intermedia, se deben seguir los siguientes pasos:

- a. Definición de hitos.
- b. Definición del intervalo de tiempo de la programación intermedia.
- c. Definición de las actividades que serán parte de la programación intermedia.
- d. Balancear la carga de trabajo y la capacidad de producción de la mano de obra.
- e. Análisis de restricciones y designación de responsables.

Después de realizar los pasos de la planificación intermedia, se procede a realizar la planificación semanal conformada por todas las actividades de la planificación intermedia que estén libres de restricciones.

### **Fase 3: Obtención del proceso de reducción de pérdidas BIM-LPS**

El objetivo de esta última fase es obtener una metodología que ayude a reducir las pérdidas en la fase de planificación de los proyectos de construcción utilizando el resultado obtenido en las fases uno y dos, y el apoyo de la tecnología BIM en base a los resultados obtenidos con el caso estudio.

## **1.5 TAREA 5: ELABORACIÓN DEL MODELO BIM 5D UTILIZANDO LA PLANIFICACIÓN TRADICIONAL Y LA PLANIFICACIÓN IMPLEMENTANDO LEAN CONSTRUCTION.**

Finalmente la metodología concluye unificando todas las tareas anteriores, con el objetivo de generar un modelo BIM 5D utilizando la planificación tradicional y la planificación en la que se implementa *Lean Construction*.

El modelo BIM 4D se obtiene de vincular el programa de obra con el modelo BIM 3D en un software de modelación BIM 4D.

Para el caso de estudio, el programa de obra se elaboró con el software Microsoft Project 2013, y el modelo BIM 3D en el software Autodesk Revit 2014, la simulación del modelo BIM 4D representa la simulación del proceso constructivo de cada elemento estructural, teniendo en cuenta la posición en el espacio, las dimensiones de los elementos, el tiempo y el costo de construcción.

Para el caso de estudio, el modelo BIM 5D se elaboró con el software Autodesk Navisworks 2014 tanto para la utilización de la planificación tradicional como para la implementación de la filosofía *Lean Construction* en el programa de obra.

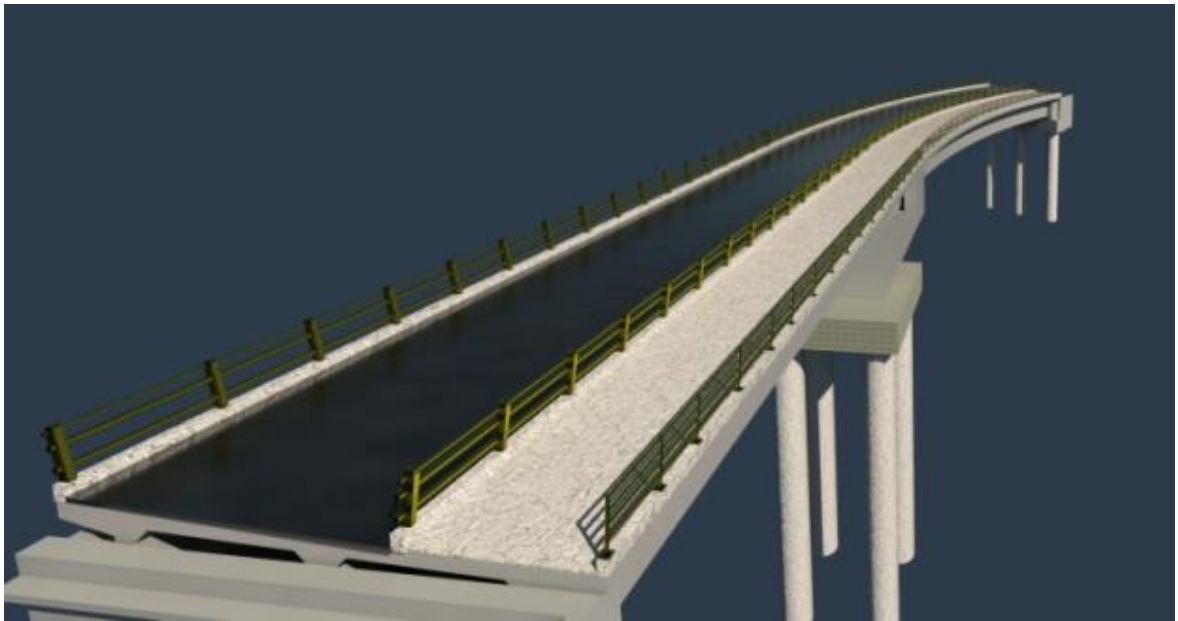
## 2 RESULTADOS

Los resultados que se presentan a continuación corresponden a la ejecución de las cinco tareas planteadas en la metodología de este trabajo, con caso de aplicación a la estructura del puente en concreto reforzado localizado en la abscisa K0+500 del proyecto conexión oriente –occidente a través del corredor de la calle 54, Bucaramanga, Colombia.

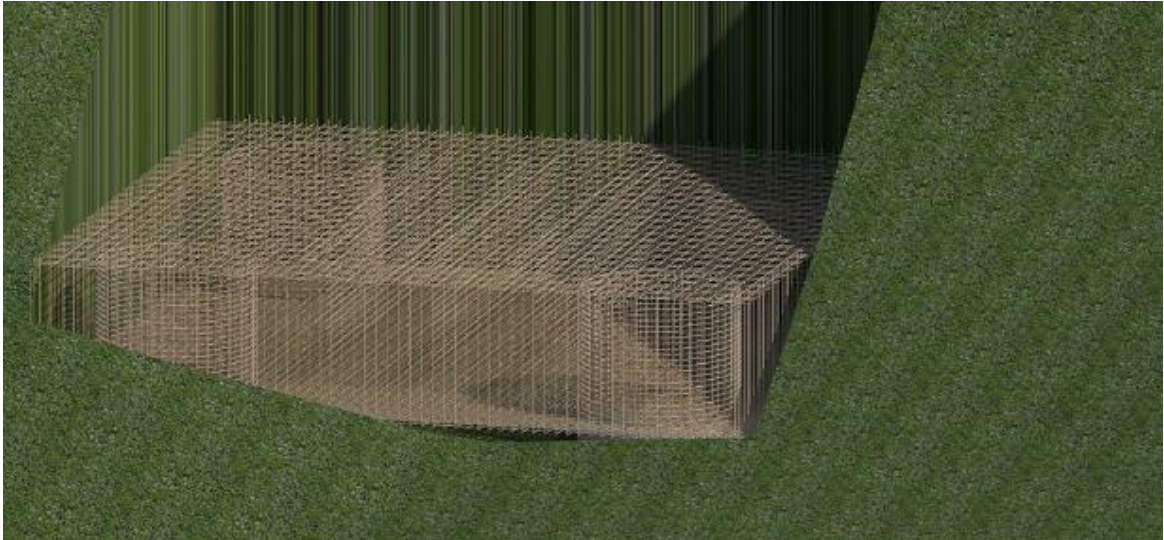
### 2.1 TAREA 1: MODELO BIM

En las siguientes figuras se muestran los resultados del modelo BIM.

**Figura 2. Modelo BIM 3D de la estructura en concreto reforzado. Autodesk Revit 2014.**

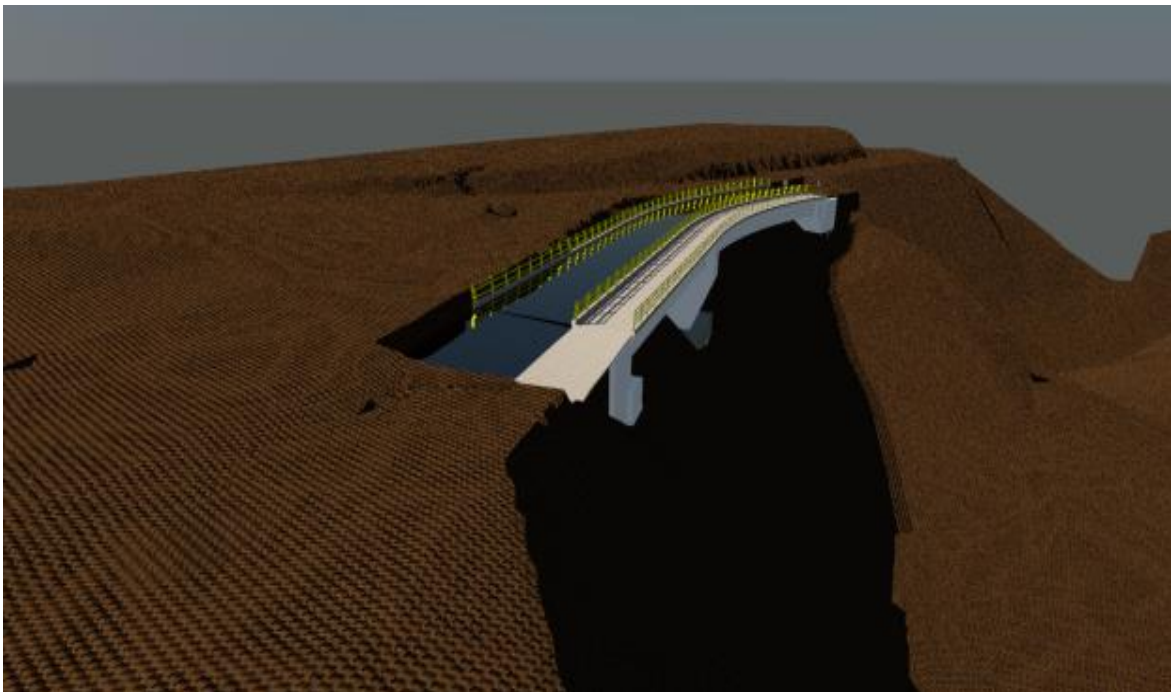


*Figura 3. Acero de refuerzo para dado de cimentación. Autodesk Revit 2014.*



Con el modelo BIM se procedió a calcular las cantidades de obra del caso de estudio. El software Autodesk Revit 2014 permitió generar un reporte de las cantidades de los elementos presentes en el modelo, es por este motivo que la utilización del modelo BIM aumenta la precisión en el cálculo de cantidades, con respecto al método tradicional que consiste en la estimación a partir de dibujos en 2D y que es propenso a errores humanos y olvido de actividades de obra.

*Figura 4. Modelo BIM 3D de la estructura en concreto reforzado. Autodesk Navisworks Manage 2014.*



Al finalizar la elaboración del modelo BIM 3D, la información de los diferentes elementos de construcción se encuentra almacenada en la única base de datos; de esta forma, la integración y la consulta se facilitan de gran manera.

## 2.2 TAREA 2: ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO.

Como producto de la elaboración del presupuesto de construcción, se obtiene el costo directo estimado para las diferentes actividades necesarias para la construcción del proyecto, además de los materiales requeridos y los recursos de mano de obra y maquinaria.

Para el caso de estudio, el puente en concreto reforzado localizado en la abscisa K0+500 del proyecto conexión oriente – occidente a través del corredor de la calle 54 de la ciudad de Bucaramanga, se obtiene el presupuesto en pesos colombianos en la tabla 2.

*Tabla 2: Presupuesto para el caso de estudio.*

<b>Concepto</b>	<b>Subtotal</b>
Preliminares	\$94.760.299
Excavaciones, Rellenos y Drenes	\$15.912.818
Concretos	\$1.435.816.131
Acero	\$1.305.603.712
Neoprenos y pernos de anclaje	\$32.906.618
Pernos de anclaje	\$2.210.293
Urbanismo	\$61.899.820
Drenaje	\$636.192
Señalización	\$3.484.228
Carpeta Asfáltica	\$13.232.861
<b>Costo directo</b>	<b>\$2.966.462.972</b>
<b>A.I.U.</b>	<b>\$1.038.262.040</b>
<b>Interventoría</b>	<b>\$207.652.408</b>
<b>Costo total</b>	<b>\$4.212.377.420</b>

En la siguiente tabla, se presentan los rendimientos de mano de obra estimados para la elaboración del presupuesto de construcción y el programa de obra del proyecto del caso de estudio.

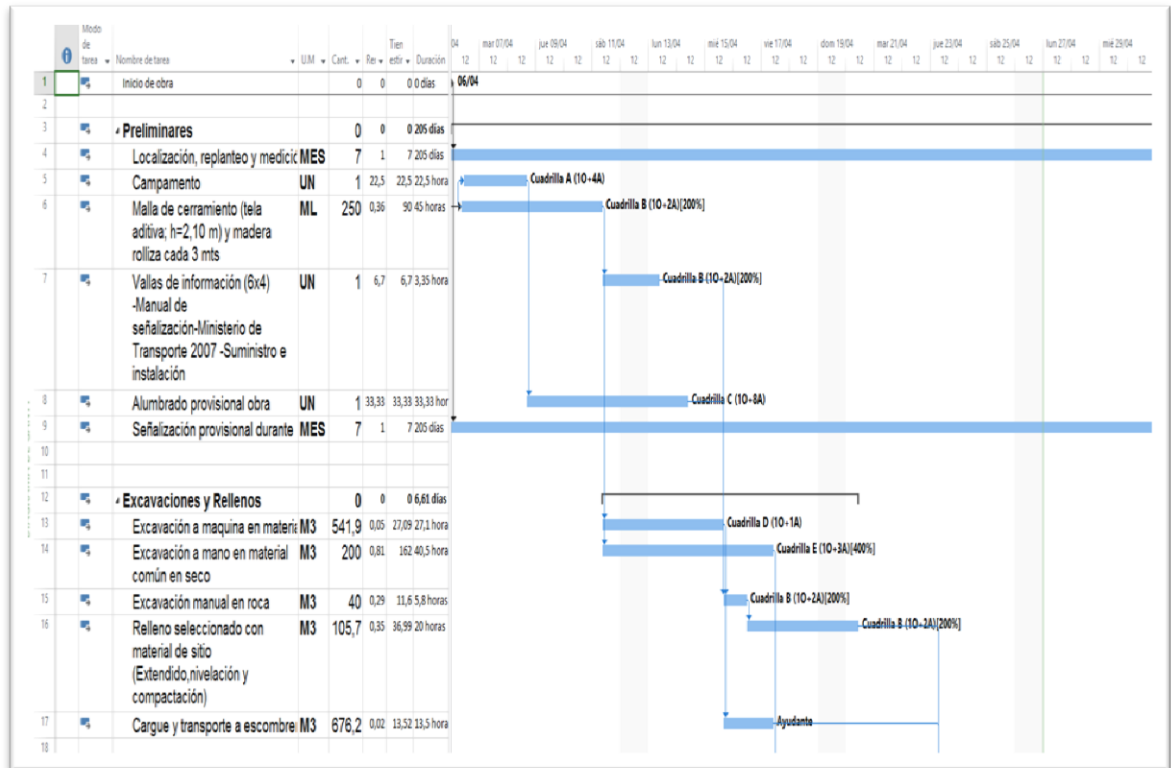
Tabla 3: Rendimientos de mano de obra estimados para la construcción de la estructura en concreto reforzado de un puente en la ciudad de Bucaramanga, Colombia.

Actividad	Cuadrilla	R	unidad
Concreto Pobre	1 oficial + 5 ayudantes	2	$\frac{hr}{m^3}$
Concreto clase D para estribos y aletas	1 oficial + 5 ayudantes	2,86	$\frac{hr}{m^3}$
Caisson en concreto Clase D (Inc. Excavación)	1 oficial + 8 ayudantes	12,5	$\frac{hr}{m^3}$
Concreto clase C para pilas	1 oficial + 4 ayudante	5,56	$\frac{hr}{m^3}$
Concreto clase C para viga cajón y riostras	1 oficial + 4 ayudantes	10	$\frac{hr}{m^3}$
Concreto clase D para losas de aproximación y andenes sobre puente	1 oficial + 5 ayudantes	2,86	$\frac{hr}{m^3}$
Junta freysinnet M80 o similar	1 oficial + 4 ayudantes	2	$\frac{hr}{mL}$
Apoyo elastomérico D=60	1 oficial + 2 ayudantes	100	$\frac{hr}{m^3}$
Barandas metálicas acero A-36 tipo INVIAS	1 oficial + 3 ayudantes	2,5	$\frac{hr}{mL}$
Acero de refuerzo $f_y = 420$ Mpa	1 oficial + 4 ayudantes	0,02	$\frac{hr}{kg}$

### 2.3 TAREA 3: ELABORACIÓN DEL PROGRAMA DE OBRA

Al finalizar la elaboración del programa de obra, se obtienen la duración de construcción del proyecto, las fechas planeadas para la ejecución de las diferentes actividades y la cantidad requerida de recursos para la ejecución de las actividades, entre otros

Figura 5. Programación de obra. Microsoft Project 2013.



## 2.4 TAREA 4: IMPLEMENTAR LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION A LA PLANIFICACIÓN DE OBRA DEL PROYECTO.

El resultado obtenido en esta tarea, en base a las fases propuestas en la metodología de la figura 1 se presenta a continuación:

### Fase 1: Definición de los principios Lean Construction a utilizar para la reducción de pérdidas en la fase de planificación

#### a. Reducción de la variabilidad

El principio de reducir la variabilidad consiste en disminuir la variación de los procesos productivos. El hecho que la duración de una actividad de un proyecto de construcción sea variable, aumenta la cantidad de actividades que no agregan valor al proceso de construcción [17].

Para mitigar el impacto que causa este problema de duraciones variables se utiliza la herramienta Last Planner System LPS, la cual se aplica en la fase dos de la tarea cuatro.

### b. Reducción de los tiempos de ciclo

El tiempo de ciclo se define como la suma de los tiempos de procesos, tiempos de inspección, tiempos de esperas y tiempos de transportes. Por tanto el objetivo es reducir el tiempo de ciclo minimizando cada sumando que lo compone y lograr mejoras en la calidad y el costo del proyecto. (p. Ej. Hacer los pedidos de suministro de material con anticipación).

### c. Reducción de actividades que no agregan valor

Las actividades que no agregan valor son aquellas que consumen más de los recursos (tiempo, espacio, dinero, mano de obra) estimados para su elaboración.(p. Ej. El vaciado del concreto para las placas es una actividad que le genera valor al proceso pero el tiempo de retardo de la mezcladora es una actividad que le quita valor).

## Fase 2: Aplicación de la herramienta Last Planner System LPS

En las siguientes figuras se muestran los resultados de la fase 2.

Figura 6. Formato Planificación intermedia.

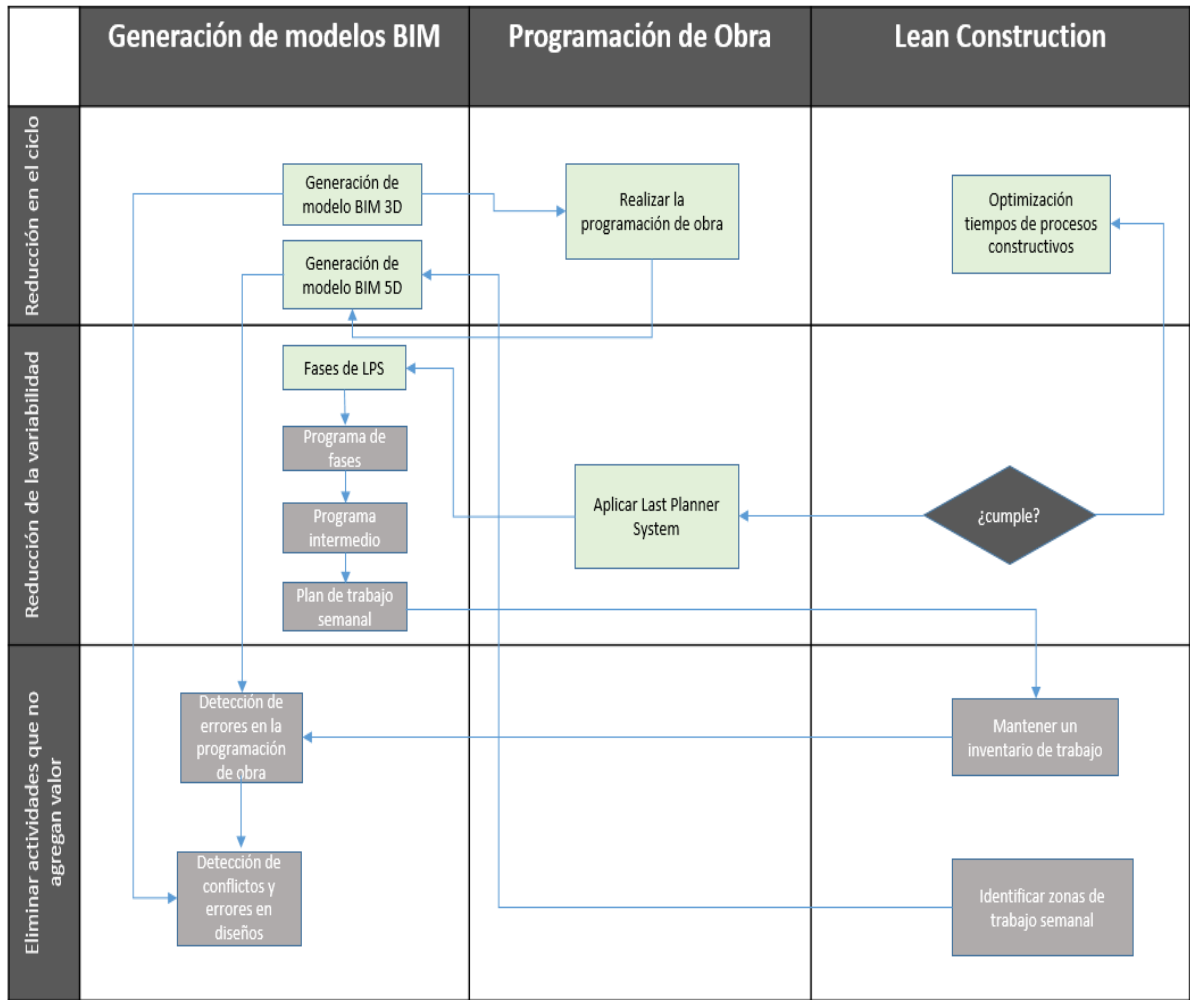
semana 1				06/04/2015						
				06/04/2015	07/04/2015	08/04/2015	09/04/2015	10/04/2015	11/04/2015	12/04/2015
				semana 1						
Semanas	ACTIVIDADES	Inicio	Termino	LU	MA	MI	JU	VI	SAB	DO
semana 1	Localización, replanteo y medición permanente	lunes, 06 de abril de 2015	domingo, 12 de abril de 2015							
	Campamento	lunes, 06 de abril de 2015	miércoles, 08 de abril de 2015							
	Malla de cerramiento (tela aditiva; h=2,10 m) y madera rolliza cada 3 mts	lunes, 06 de abril de 2015	sábado, 11 de abril de 2015							
	Vallas de información (6x4) -Manual de señalización-Ministerio de Transporte 2007 -Suministro e instalación	sábado, 11 de abril de 2015	domingo, 12 de abril de 2015							
	Alumbrado provisional obra	miércoles, 08 de abril de 2015	domingo, 12 de abril de 2015							
	Señalización provisional durante la obra	lunes, 06 de abril de 2015	domingo, 12 de abril de 2015							
	Excavación a máquina en material común	sábado, 11 de abril de 2015	domingo, 12 de abril de 2015							
	Excavación a mano en material común en seco	sábado, 11 de abril de 2015	domingo, 12 de abril de 2015							

Figura 7. Formato Planificación Semanal.

semana 1				semana 1									
				06/04/2015									
				07/04/2015									
				08/04/2015									
				09/04/2015									
				10/04/2015									
				11/04/2015									
				12/04/2015									
Actividad	Inicio	Final	Comprometido	Alcanzado	PAC	Cumplimiento contratista	lun	mar	mie	jue	vie	sáb	dom
Localización, replanteo y medición permanente	lunes, 06 de abril de 2015	domingo, 12 de abril de 2015	100%										
Campamento	lunes, 06 de abril de 2015	miércoles, 08 de abril de 2015	100%										
Malla de cerramiento (tela aditiva; h=2,10 m) y madera rolliza cada 3 mts	lunes, 06 de abril de 2015	sábado, 11 de abril de 2015	100%										
Vallas de información (6x4) -Manual de señalización-Ministerio de Transporte 2007 -Suministro e instalación	sábado, 11 de abril de 2015	domingo, 12 de abril de 2015	100%										
Alumbrado provisional obra	miércoles, 08 de abril de 2015	domingo, 12 de abril de 2015	100%										
Señalización provisional durante la obra	lunes, 06 de abril de 2015	domingo, 12 de abril de 2015	100%										
Excavación a máquina en material común	sábado, 11 de abril de 2015	domingo, 12 de abril de 2015	100%										
Excavación a mano en material común en seco	sábado, 11 de abril de 2015	domingo, 12 de abril de 2015	100%										

## Fase 3: Obtención del proceso de reducción de pérdidas BIM-LPS.

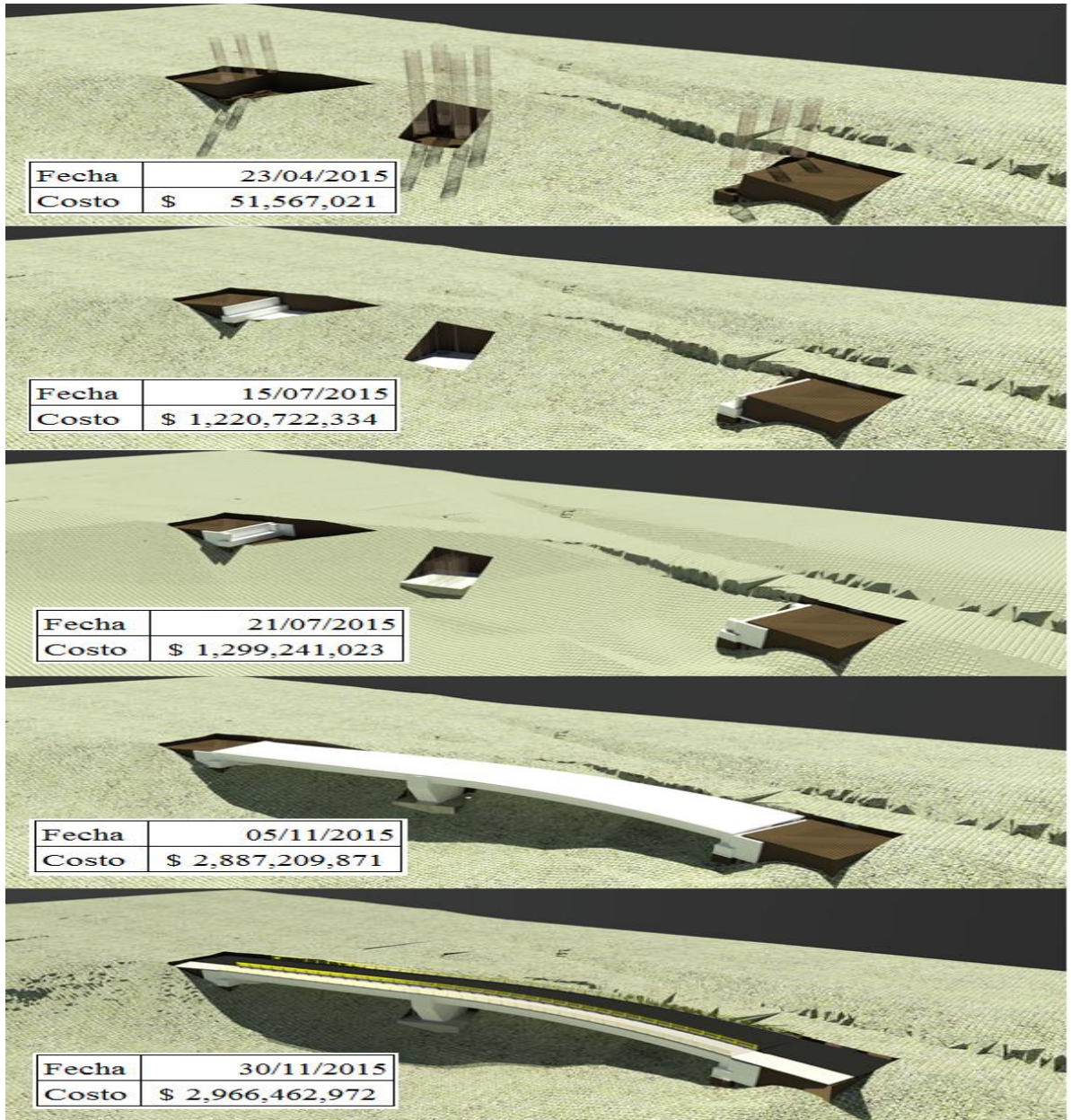
Figura 8. Diagrama de flujo proceso de reducción de pérdidas BIM-LPS.



## 2.5 TAREA 5: ELABORACIÓN DEL MODELO BIM 5D UTILIZANDO LA PLANIFICACIÓN TRADICIONAL Y LA PLANIFICACIÓN IMPLEMENTANDO LEAN CONSTRUCTION

El producto final, de la metodología propuesta para este trabajo, es el modelo del proceso constructivo BIM 5D, utilizando la planificación tradicional para obras y la planificación implementando la filosofía *Lean Construction*.

Figura 9. Modelo BIM 5D. Autodesk Navisworks Manage 2014.



### 3 DISCUSIÓN

La planificación tradicional se basa en supuestos y obtiene una programación de obra demasiado extensa que abarca solo las actividades que deben hacerse, olvidando analizar si realmente pueden hacerse en obra. Por otra parte, el Last Planner System considera cuatro niveles de planificación jerárquica que a medida que se desciende en la jerarquía se aumenta el nivel de detalle.

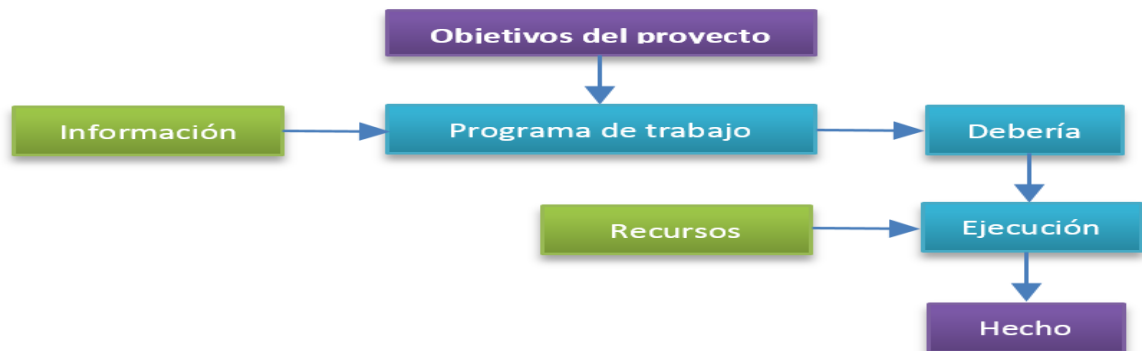
Los principios de *Lean Construction* en los cuales se basa el Last Planner System para reducir pérdidas en la programación de obra son: la reducción de la variabilidad, la reducción del tiempo de ciclo y la reducción de actividades que no agregan valor.

La reducción de pérdidas mediante Last Planner System en la programación de obras se basa entonces en la aplicación de los principios en los que se basa el sistema. Finalmente el sistema de planificación basado en los principios de *Lean Construction* logra reducir pérdidas aumentando el número de actividades ejecutadas por semana. Last Planner System controla de una mejor forma la incertidumbre de la planificación al superar obstáculos como convertir la planificación en un sistema, medir el desempeño de la aplicación del sistema de planificación y analizar e identificar los errores cometidos en la planificación.

Last Planner System no es un método más de programación, su principal diferencia con los actuales métodos de ruta crítica es que no maneja fechas si no flujos de trabajo y no sigue un camino crítico si no que maneja la variabilidad. El sistema lo que pretende es incrementar la fiabilidad en la planificación de los proyectos. Este sistema mejora los paradigmas actuales de los encargados de las diferentes actividades en obra.

Ya que tradicionalmente éstos planifican en función de aquello que debe hacerse sin tener completa certeza si pueden tener los recursos necesarios para hacerlo. El esquema tradicional de planificación de la producción se muestra en la figura 10; este esquema es poco adecuado para enfrentar la incertidumbre y variabilidad en la construcción, ya que la estructura en si crea gran incertidumbre al no controlar las restricciones que pueden tener las actividades planificadas.

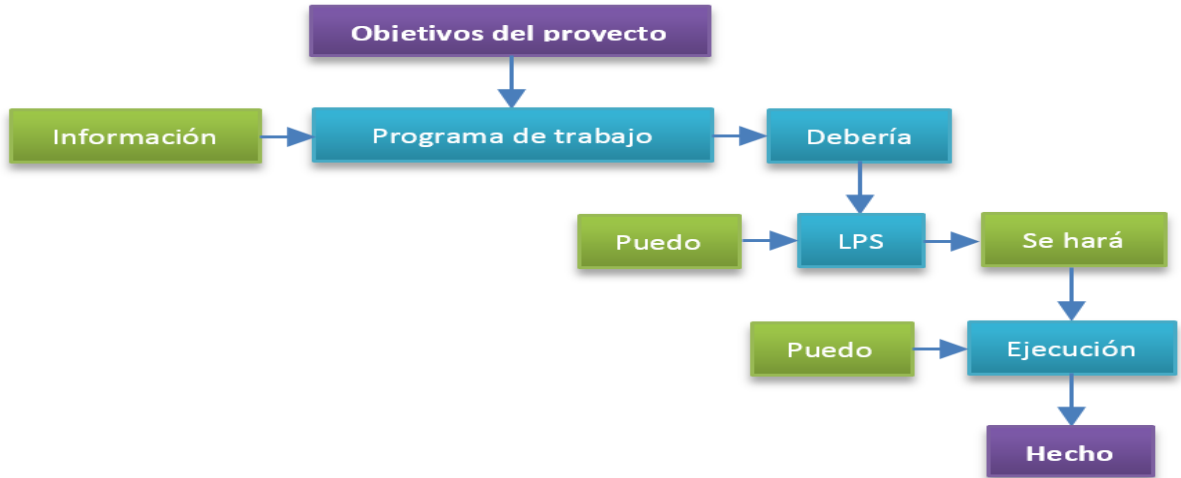
Figura 10. Sistema tradicional de planificación.



Tomada de Application of the new production philosophy to construction, Koskela, L.

Para mejorar la selección de actividades que pueden hacerse y así tener plena confianza en que actividades realmente se harán, Last Planner System modifica el proceso de programación y el control de obra para aumentar la confiabilidad en la planeación e incrementar el desempeño en obra [14]. El modelo propuesto por el sistema del último planificador se muestra en la figura 11.

Figura 11. Sistema de Planificación Lean.



Tomada de Application of the new production philosophy to construction, Koskela, L.

De esta manera se controla de una manera más efectiva la ejecución de las actividades necesarias para completar el proyecto, asegurándose de que lo que se planea hacer en la obra realmente será hecho y así evitar retrasos en obra que conllevan a pérdidas de tiempo y conllevan a cambios presupuestales [13]. El esquema tradicional de planificación de la producción es poco adecuado para enfrentar la incertidumbre y variabilidad en la construcción. El sistema último planificador modifica el proceso de programación y control de obra para aumentar la confiabilidad en la planeación e incrementar el desempeño en obra, todo esto conociendo que planificar es determinar lo que debería hacerse para completar un proyecto y decidir lo que se hará pero teniendo en cuenta que debido a restricciones no todo puede hacerse, ya que si lo que se hará se desarrolla sin saber lo que puede hacerse se crearan retrasaos en obra porque no se consideraron todas las variables especificadas del proyecto, como por ejemplo la disponibilidad de existencias por parte de los proveedores, la indefinición de diseños y requerimientos, la disponibilidad de mano de obra, rendimientos mal estimados, entre otros.

La utilización combinada del sistema Last Planner y la tecnología BIM proporcionan un modelo eficaz para reducir los tiempos de ciclo, evitar que las actividades consuman más de los recursos que se presupuestan en la fase de planificación, eliminando la variabilidad de la planificación, utilizando la programación más detallada propuesta por LPS.

El modelo propuesto en la figura 8 combina las funcionalidades de la tecnología BIM, visualización gráfica, generación y análisis de alternativas de diseño, cálculo automático de cantidades de obra, entorno de colaboración entre diseñadores y evaluación de

alternativas de construcción encontradas en este proyecto con los tres principios utilizados en esta investigación para reducir las pérdidas en la planificación. La unión de modelos BIM y la filosofía Lean Construction, brindan eficiencia, ahorro de costos y aumento de la productividad en las diferentes fases de los proyectos de construcción.

En la tabla 4 se muestra la comparación entre la planificación tradicional y la planificación *Lean Construction*.

Tabla 4. Comparación de los métodos de planificación.

	<b>Planificación tradicional</b>	<b>Planificación Lean Construction</b>
Enfoque	Camino crítico	Manejo de la variabilidad
Alcance	Planificación	Planificación, control y medición
Modo de aplicación	No sistemático	Sistemático
Metodología	Manejo de fechas	Manejo de flujos de trabajo
Compromiso	Poco	Alto
Auto-evaluación	No	Sí, mediante el ppc*
Mejora	Automatización del proceso	Mejora continua, tecnología y reducción de flujos de trabajo
Control	Costo de actividades	Costo, tiempo y calidad
Niveles de detalle	General	Discreto

(\*ppc: porcentaje de programa cumplido)

Se observa que la planificación con *Lean Construction* ofrece mejores resultados en la planificación de obra.

Algunas ventajas que presenta la planificación *Lean Construction* son:

- Aumenta la confiabilidad de que las ventajas si se puedan ejecutar.
- Mantiene un flujo de trabajo constante.
- Incrementa el desempeño de las unidades de trabajo en obra.
- Disminuye los imprevistos asociados a la falta de recursos.
- Menores plazos de ejecución de las obras.
- Mejora la calidad del control de las obras.

Algunas de las desventajas que presenta la planificación *Lean Construction* son:

- El aprendizaje del sistema de planificación dificulta su implementación.
- Debe existir un nivel de responsabilidad bueno para que funcione.
- Debido al alto número de reuniones es posible que el sistema falle por falta de compromiso.

## 4 CONCLUSIONES.

La utilización de modelos BIM, en los procesos de planificación de proyectos de construcción, resulta de gran beneficio para el mejoramiento de la precisión y reducción de la incertidumbre, ya que el cálculo de las cantidades de obra se realiza de acuerdo a los elementos de construcción presentes en el modelo, reduciendo así la posibilidad que se olviden actividades de obra y que se comentan errores humanos al momento de la estimación de cantidades en dibujos en dos dimensiones 2D, situación que en actualidad es una de las más significativas falencias del método tradicional.

La posibilidad de la simulación virtual, del proceso constructivo de un puente, en un modelo BIM 5D, resulta un valor agregado de gran beneficio, con respecto al método tradicional, ya que en la simulación es posible detectar falencias que pueden ser corregidas y ajustadas antes de iniciar la construcción del proyecto y no durante la construcción, como sucede en el método tradicional, de esta forma, es posible reducir las pérdidas por falencias en la planificación desde la fase de diseño del proyecto y aumentar la certidumbre y calidad de la planificación.

Un modelo BIM 5D, con los principios del sistema del ultimo planificador de la filosofía *Lean Construction*, representa una herramienta de gran beneficio para la planificación financiera de un puente en concreto reforzado, esto con motivo a que es posible conocer el costo del proyecto en función del proyecto, aspecto que resulta fundamental para garantizar los recursos económicos en la ejecución del proyecto y de esta forma reducir la posibilidad que se presenten periodos de inactividad en la obra u obras inconclusas por concepto de falta de recursos económicos, situación que se presenta con la metodología tradicional.

La planificación de pedidos de: material, equipos o mano de obra, resulta beneficiada de gran manera con el uso del sistema del ultimo planificador de la filosofía LC, ya que es posible establecer fechas con mayor precisión, teniendo en cuenta que el programa de obra se realiza con un mayor detalle y por tanto es posible eliminar u optimizar las actividades que no agregan valor al proyecto, esto integrado con el modelo BIM, en donde la cuantificación es posible realizarla con un alto grado de precisión mejora de forma significativa el método tradicional, es por esto que las organizaciones de la industria de la construcción relacionadas con la planificación de obra deberán procurar la implementación de la filosofía LC y las tecnologías BIM en sus procesos.

La simulación del proceso constructivo es un recurso valioso para coordinar la interacción de las diferentes actividades ejecutadas por los grupos de trabajo involucrados en la obra, con el propósito de generar la organización integra y coordinada de la construcción.

Last Planner System, reduce la incertidumbre en la planificación de la obra y aumenta la confiabilidad del sistema de planificación proporcionando herramientas para coordinar y ejecutar las diferentes fases de la planificación de obra, establece las posibles causas que afectan el cumplimiento de las actividades programadas en todos los procesos de construcción del proyecto.

## REFERENCIAS

- [1] Gaitán, J. (2013). Uso de la metodología BrIM (Bridge Information Modeling) como herramienta para la planificación de la construcción de un puente de concreto en Colombia” tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- [2] Wang, W. Weng, S. Wang, S. Chen, C. (2014). Integrating building information models construction process simulations for project scheduling support. *Automation in Construction*, 37, 68 – 80.
- [3] Chen, C. (2011). *Applying BIM and simulation to schedule construction projects*. Tesis de Trabajo de Grado de Maestría, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan.
- [4] Koo, B. Fisher, M. (2000). Feasibility study of 4D CAD in comercial construction. *Journal Engineering Construction Management*, 126, 251 – 260.
- [5] Mahalingam, A. Kashyap, R. Mahajan, C. (2010). An evaluation of the applicability of 4D CAD on construction projects, *Automation in Construction*, 19, 148 – 159.
- [6] Fisher, M. Haymaker, J. Kathleen, L. (2003). Benefits of 3D and 4D models for facility managers and AEC service providers. *Swets & Zeitlinger*.
- [7] Mikulakova, E. König, M. Tauscher, E. Beucke, K. (2010). Knowledge based schedule generation and evaluation. *Advanced Engineering Informatics*, 24, 389 – 401.
- [8] Mallasi, Z. (2006). Dynamic quantification and analysis of the construction workspace congestion utilising 4D visualization. *Automation in Construction*, 13, 640 – 655.
- [9] Wang, H. Zhang, J. Chau, K. Anson, M. (2004). 4D dynamic management for construction planning and resource utilization. *Automation in Construction*, 13, 575 – 589.
- [10] *Despradel, I. Guerrero C. Jourdain, M. Lopez, J. Nuñez, A. Oliver, C. (2011) Lean Construction: implicaciones en el uso de una filosofía, con miras a una mejor administración de proyectos de ingeniería civil en república dominicana*, innovation Information Technology and computational Tools for Sustainable Development. Medellín, Colombia.

- [11] Al-Aomar, R. (2012). Analysis of lean construction practices at Abu Dhabi construction industry, *Lean Construction Journal*, 105-121.
- [12] Sánchez, J. (1997). *Manual de programación y control de programas de obra*. (Ed.). Universidad Nacional de Colombia, (p 6). Medellín, Colombia.
- [13] Porras, H. Sánchez, O. Galvis, J. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. *Revista Avances Investigación en Ingeniería*, 11-1, 10-32.
- [14] Lean Construction Institute. *What is Lean Construction*, consultado 5 de Marzo 2015. En:<http://www.leanconstruction.org/about-us/what-is-lean-construction/>.
- [15] Juan Martín Caicedo Ferrer, presidente de la CCI le dice a Revista Semana cómo se corrompió la contratación en las regiones, consultado 21 de abril de 2015 en <http://www.infraestructura.org.co/index.php?id=70&idnotah=495>
- [16] Tushar Nath, Meghdad Attarzadeh, Robert L.K. Tiong, C. Chidambaram and Zhao Yu (2015). Productivity improvement of precast shop drawings generation through BIM-based process re-engineering. *Automation in Construction* 54 (2015) 54–68
- [17] Alarcón, L. Pellicer, E. (2009). *Un nuevo enfoque en la gestión: La construcción sin pérdidas*. *Revista de obras públicas* No 3.496

## BIBLIOGRAFÍA

Alarcón, Luis. Pellicer, Eugenio. Un nuevo enfoque en la gestión: La construcción sin pérdidas. 2009. Revista de obras públicas No 3.496

Despradel, Ian. Guerrero Camila. Jourdain, María. Lopez, Jonathan. Nuñez, Alexander. Oliver, Carmen. Lean Construction: implicaciones en el uso de una filosofía, con miras a una mejor administración de proyectos de ingeniería civil en república dominicana, innovation Information Technology and computational Tools for Sustainable Development. Medellín, Colombia. 2011.

Gaitán, Juan. Uso de la metodología BrIM (Bridge Information Modeling) como herramienta para la planificación de la construcción de un puente de concreto en Colombia” tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil. 2013. 98 p.

Porras, Hernán. Sánchez, Omar. Galvis, Jose. Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. 2014. Revista Avances Investigación en Ingeniería, 11-1, 10-32.

Sánchez, Julio. Manual de programación y control de programas de obra. (Ed.). Universidad Nacional de Colombia, (p 6). Medellín, Colombia. Facultad de arquitectura. Departamento de construcción y recursos técnicos para la edificación. 1997. 135 p.