

**PLANIFICACIÓN DE RECURSOS HUMANOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE
ESTRUCTURAS EN CONCRETO REFORZADO, CON BASE EN MODELOS BIM**

5D

JHERSON JHADIR BOHÓRQUEZ CASTELLANOS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

**PLANIFICACIÓN DE RECURSOS HUMANOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE
ESTRUCTURAS EN CONCRETO REFORZADO, CON BASE EN MODELOS BIM
5D**

JHERSON JHADIR BOHÓRQUEZ CASTELLANOS

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

Director:

**OMAR GIOVANNY SÁNCHEZ RIVERA
Ingeniero Civil, M.Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

En la ciudad del amor hay un camino de luz y se permite soñar.

Sin amor no habría vida, y donde existe la vida se escriben historias que permanecen en el espacio y en el tiempo.

Así que la historia de mi vida está dedicada a amar, a sentir y a imaginar.

A mi padre, Martín Bohórquez Pineda, a mi madre Lilita Castellanos Aguilar les dedico mis logros y resultados, ellos son el significado de amor verdadero, ellos son los cimientos de mi vida, un ejemplo a seguir.

A mi hermano Julián Andrés Bohórquez Castellanos, por su hermandad.

A mis tías, María Rosmira Bohórquez Pineda y Azucena Castellanos Aguilar por su amor incondicional, por tenerme como hijo en su estima.

A mis ahijadas, Isabela y Daniela Arciniegas Santos, presente y futuro de mi familia.

A mis demás familiares, por su apoyo, aunque estén lejos, les agradezco por tenerme así sea por un segundo en su pensamiento.

A mis amigos, afortunadamente son muchos, ellos saben quiénes son, solo les diré que los amo, y que cada segundo compartido a mi lado fue un milenio soñado.

Y antes de que se pregunten, agradezco al amor de mi vida, a la luz de mis ojos, a la mujer que cuando veo su tiempo se vuelve mi tiempo, aunque es importante aclarar que no se si esa persona es del futuro o del pasado.

A María Isabel...

Y, para resumir,

A la Vie, à l'Amour,

... À toi, A la façon que tu as d'être belle.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al grupo de investigación Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas y al Diplomado en Modelado y Gestión de la Construcción, de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.

Agradezco a Omar Giovanni Sánchez Rivera Ingeniero Civil Msc. de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, Director del Diplomado en Modelado y Gestión de la Construcción, por el continuo apoyo y guía en el desarrollo de esta investigación como director de proyecto.

Agradezco a José Alberto Galvis Guerra, integrante del grupo Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas, por la contribución de los modelos de formaleta que fueron modificados y usados para este proyecto de investigación.

Agradezco a la empresa JM CONSTRUCCIÓN & CONSULTORIA S.A.S por proporcionar los planos con los despieces usados como caso de estudio para esta investigación.

Agradezco a Autodesk por las licencias educativas del software Autodesk Autocad 2016, Autodesk Revit 2016 y Autodesk Navisworks 2016.

Agradezco el continuo apoyo de mis amigos, colegas y compañeros, valoro su aporte en mi formación integral como ingeniero, estimo en gran medida su tiempo, su amor y su comprensión, sobre todo en los momentos en los que mi mente estaba en otro lugar y en otro tiempo, a cada uno de ustedes, amigos, los amo y los respeto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	4
1. ANTECEDENTES: METODOS Y ESTRATEGIAS RELACIONADAS CON LA PLANIFICACION DEL RECURSO HUMANO	8
1.1 Planificación de la mano de obra-Hacer un contrato moral.....	8
1.2 Asignación y optimización de la distribución de mano de obra parcialmente polivalente.....	9
1.3 Aproximación grafica para la planificación de la mano de obra en redes de Infraestructura.....	10
1.4 Planeación estratégica del recurso humano para la gestión en la construcción.....	10
1.5 Predicción de la mano de obra requerida para las actividades de pre construcción en carreteras.....	12
1.6 Modelo de planificación basado en construcción ajustada para obras de corta duración	13
2. METODOLOGIA	14
2.1 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES RELACIONADAS CON LA PLANIFICACIÓN DEL RECURSO HUMANO	14
2.2 ELECCIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL EN CONCRETO REFORZADO COMO CASO DE ESTUDIO	15
2.3 MODELACIÓN BIM 3D DEL CASO EN ESTUDIO	15
2.3.1 Cálculo de cantidades de obra	16

2.4	PLANIFICACIÓN DEL RECURSO HUMANO PARA EL CASO EN ESTUDIO	16
2.4.1	Rendimientos de obra	16
2.4.2	Organización del equipo de trabajo	17
2.4.3	Programa de obra	17
2.5	MODELADO BIM 5D DEL PROCESO CONSTRUCTIVO	18
2.5.1	Introducción a modelos BIM 6D	18
2.6	FORMULACIÓN DEL ALGORITMO UML (<i>UNIFIED MODELING LANGUAGE</i>)	19
3.	RESULTADOS	20
3.1	VARIABLES IDENTIFICADAS	20
3.1.1	Actividad Constructiva	20
3.1.2	Cantidad de obra	21
3.1.3	Rendimiento	21
3.1.4	Duración	21
3.1.5	Sucesión de Actividades Constructivas	22
3.1.6	Recurso Humano	22
3.1.7	Jornada laboral	22
3.1.8	Calendario del proyecto	23
3.2	PLANOS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL EN CONCRETO REFORZADO DEL CASO EN ESTUDIO	23
3.3	MODELO BIM 3D DEL CASO EN ESTUDIO	24
3.3.1	Cantidades de obra	25
3.4	PLANIFICACIÓN DEL RECURSO HUMANO PARA EL CASO EN ESTUDIO	27

3.4.1	Rendimientos de obra	27
3.4.2	Organización del equipo de trabajo.....	29
3.4.3	Programa de obra	30
3.5	MODELO BIM 5D Y SIMULACIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO.....	31
3.6	ALGORITMO UML.....	33
4.	CONCLUSIONES	37
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	40
	BIBLIOGRAFIA.....	44

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Promedio de duración de los trabajadores en el proyecto respecto al número de habilidades poseídas	9
Figura 2. Participación de los trabajadores.	11
Figura 3. Horas hombre vs. Costo de construcción	12
Figura 4. Modelo de planificación.....	13
Figura 5. Sección de un plano de Despiece.....	23
Figura 6. Modelo BIM 3D	24
Figura 7. Sección del Modelo BIM 3D.....	25
Figura 8. Cantidades de obra.....	26
Figura 9. Horario de trabajo	29
Figura 10. Programa de obra para la planificación del recurso humano	30
Figura 11. Gráfico de recursos asignados en la planificación del recurso humano	31
Figura 12. Modelo BIM 5D, Simulación del proceso constructivo	32
Figura 13. Algoritmo de planificación del recurso humano en formato UML	33

LISTAS DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Variables identificadas	20
Tabla 2. Resumen de cantidades de obra	27
Tabla 3. Nomenclatura de las actividades constructivas	28
Tabla 4. Rendimientos medidos en función de la cantidad de concreto	28
Tabla 5. Rendimiento medido en función de la cantidad de acero	28
Tabla 6. Colores por cuadrilla.....	29

RESUMEN

TITULO: PLANIFICACIÓN DE RECURSOS HUMANOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS EN CONCRETO REFORZADO, CON BASE EN MODELOS BIM 5D*

AUTOR: JHERSON JHADIR BOHÓRQUEZ CASTELLANOS**

PALABRAS CLAVE: BIM 5D, BUILDING INFORMATION MODELING, CONSTRUCCIÓN, MANO DE OBRA, PLANIFICACIÓN DE RECURSOS HUMANOS.

DESCRIPCIÓN:

En la planificación de recursos humanos para la construcción de estructuras en concreto reforzado se deben tener en cuenta variables que permitan optimizar la asignación de la mano de obra a las distintas actividades constructivas con el fin de que los trabajadores estén comprometidos con el proyecto y cumplan con sus labores sin afectar el rendimiento en la construcción de los elementos estructurales; para lograr esta optimización se propone un sistema de planificación de recursos humanos para una estructura en concreto reforzado con base en modelos BIM 5D, estos modelos permiten integrar variables como lo son: las propiedades geométricas de los elementos estructurales, el tiempo y el costo, así que la tecnología Building Information Modeling (BIM) resulta una herramienta útil para realizar la planificación del recurso humano ya que se tiene toda la información del proyecto en una única base de datos. El proceso de asignación del recurso humano se realizó representando el proceso constructivo mediante la simulación virtual del modelo BIM 5D en donde se propuso integrar en el modelo BIM el recurso humano como una variable, esto se logró haciendo que las cuadrillas trabajaran al 100% de su capacidad y representado mediante un color al recurso humano necesario para la construcción de cada elemento; para resumir el proceso de planificación del recurso humano se propuso un algoritmo de planificación con el fin de integrar la metodología de investigación propuesta.

* Trabajo de grado

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

ABSTRACT

TITLE: HUMAN RESOURCES PLANNING FOR THE CONSTRUCTION OF STRUCTURES IN REINFORCED CONCRETE, BASED ON BIM 5D MODELS*

AUTHOR: JHERSON JHADIR BOHÓRQUEZ CASTELLANOS**

KEYWORDS: BIM 5D, BUILDING INFORMATION MODELING, CONSTRUCTION, HUMAN RESOURCES PLANNING, MANPOWER.

DESCRIPTION:

In human resource planning for the construction of structures in reinforced concrete, it is necessary to take into account variables that allow to optimize the allocation of the workforce to the different constructive activities in order that the workers are committed to the project and comply with their work without affecting the performance in the construction of the structural elements; to achieve this optimization, a human resources planning system for a reinforced concrete structure based on BIM 5D models is proposed, these models allows integrating variables such as: the geometric properties of the structural elements, time and cost, so Building Information Modeling (BIM) technology is a useful tool for planning human resources since you have all the project information in a single database; The process of human resource allocation was performed by representing the constructive process through the virtual simulation of the BIM 5D model where it was proposed to integrate human resources as a variable into the BIM model. This was achieved by having the crews work at 100 % of their capacity and representing trough a color the human resources required for the construction of each element; to summarize the human resource planning process, a planning algorithm was proposed in order to integrate the proposed research methodology.

* Bachelor Thesis

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

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de proyectos de construcción la mano de obra representa un gran costo [1], es por esta razón que la planificación del recurso humano es un objetivo importante en la planeación de proyectos, en el caso de estructuras en concreto reforzado se hace importante porque este tipo de proyectos contienen un gran número de elementos y porque las condiciones de trabajo cambian a lo largo del tiempo [2]; al ser una variable cambiante algunos modelos econométricos basados en técnicas de regresión múltiple [3], [4], [5] buscan predecir la demanda de mano de obra, estos modelos son importantes para las organizaciones gubernamentales como una práctica de gestión estratégica [4], [6] debido a que se puede hacer una predicción del sistema económico, en este caso se predice la necesidad de personal competente que apoye el desarrollo de proyectos de infraestructura [3].

La demanda de mano de obra también es afectada por el tipo proyecto, ya sea por el método constructivo a usar, el grado de mecanización de este o por la complejidad del proyecto [7], es por esto que la mayoría de veces las decisiones acerca de la planificación del recurso humano se hacen con base en la experiencia de proyectos similares ya terminados [2], [8], estas decisiones son un gran reto ya que buscan optimizar el tiempo y el costo del proyecto [2] para evitar atrasos y sobre costos en las obras, una característica común en la industria de la construcción [9]; así que realizar la planificación y la gestión del recurso humano es imprescindible para ejecutar las actividades de obra en los tiempos establecidos; en el proceso de gestión es importante hacer el seguimiento en obra de las horas-hombre estimadas en el proceso de planificación del recurso humano [10] aunque en la mayoría de casos hacer este seguimiento es un problema debido a que se presentan variaciones causadas por la ineficiencia en la ejecución de las actividades constructivas [11] en donde la misma tarea asignada a diferentes personas puede tener diferentes rendimientos [12].

Un principio fundamental de la planificación del recurso humano es: ‘poner a la persona adecuada en el lugar apropiado y en el momento preciso’ [13], así que como hacer posible esto teniendo en cuenta que los proyectos de estructuras en concreto reforzado son de gran tamaño, que existen distintos métodos constructivos y que los rendimientos de la mano obra pueden variar. La respuesta podría ser: tener una visión general de la magnitud del proyecto para poder asignar el recurso humano a las distintas actividades a ejecutar. La visión de tal magnitud de información es posible hoy en día con la tecnología BIM (Building Information Modeling).

BIM es una herramienta que permite simular el proyecto de construcción en un entorno virtual [14] proporcionando un medio eficaz para comprobar la viabilidad de la construcción y resolver cualquier duda durante el proceso constructivo [15], esto incrementa la eficiencia del diseño y reduce errores potenciales [16] porque se representan explícitamente los componentes de construcción, las propiedades de los componentes y las perspectivas del diseño [17]; un modelo BIM caracteriza la geometría, las relaciones espaciales, la información geográfica, las cantidades y propiedades de elementos constructivos, estimación de costos, inventarios de materiales y programación del proyecto [14].

La tecnología BIM no es solo el modelado virtual de un proyecto en tres dimensiones, es un proceso para mejorar el rendimiento durante el ciclo de vida de los proyectos de construcción [18], [19] ya que permite la toma de decisiones de forma anticipada en todas las etapas del proyecto [20]. En la planificación, es posible desarrollar modelos del proceso constructivo en donde combinando el modelo BIM 3D con el cronograma de obra se puede visualizar gráficamente el progreso del proyecto a través del tiempo [21], así se obtiene el modelo BIM 4D, un medio eficaz en donde se integra el espacio y el tiempo, siendo el tiempo la limitación principal en los métodos de planificación convencionales como: diagramas de Gantt, diagramas de red y el método de la ruta crítica (CPM) [22]. Con el modelo BIM 4D,

el paso a seguir es la simulación mediante modelos BIM 5D en los que se puede observar el proceso constructivo en el tiempo de una determinada obra, siendo una herramienta ideal para la planificación [23].

Se observa que la tecnología BIM es una herramienta y un proceso que permite integrar variables, como el tiempo y el costo; estas a su vez dependen de factores que deben ser analizados en procura de una buena herramienta de planificación; entre los factores importantes que afectan la planificación del recurso humano están: el rendimiento de la mano de obra y el cálculo de las cantidades de obra ya que permiten calcular la duración de las actividades constructivas. El rendimiento es interpretado como una evaluación del desempeño en el proceso constructivo con respecto a una unidad de tiempo [24], y el cálculo de cantidades de obra es la determinación de cuanto material se necesita en la construcción de los elementos estructurales para tener una visión de que se va a hacer durante el proyecto, con el uso de BIM es posible automatizar el proceso de cálculo de cantidades, y de esta forma disminuir la posibilidad de errores humanos y aumentar la precisión de los resultados [25]. Aunque en algunos casos hay cantidades que no se indican en los planos, debido a simplificaciones en los dibujos o actividades que se realizan como parte del proceso constructivo y que no agregan valor operacional al proyecto, un claro ejemplo se presenta con las formaletas utilizadas durante el proceso constructivo de una estructura en concreto reforzado, convirtiéndose en una de las variables de mayor incertidumbre al momento de la elaboración del presupuesto de obra [26].

Tomando en cuenta las necesidades existentes en cuanto a la planificación del recurso humano, en proyectos de construcción de estructuras en concreto reforzado y a la cantidad de factores que la afectan, la pregunta sobre la que se desarrolla la presente investigación es: ¿Cómo realizar la planificación de recursos humanos requeridos para la construcción de una estructura en concreto reforzado, con base en modelos BIM 5D?

Para responder a la pregunta de investigación se propone un sistema de planificación de recursos humanos en donde se identificaron variables que afectan la mano de obra, como los rendimientos, las cantidades de obra y el tipo de actividades constructivas, en donde se toman en cuenta las estructuras necesarias para el encofrado de los elementos que hacen parte de la estructura en concreto reforzado, además de cerchas, parales, casetones y camas en madera usadas como soporte durante el proceso de armado y posterior fundida de las placas. En el proceso de planificación se llegó al detalle de cada actividad constructiva haciendo una caracterización en cada elemento estructural y temporal del recurso humano usado para su construcción, para ello se le asignó a cada cuadrilla un color, además se aseguró que la asignación de trabajo sea del 100% de la capacidad del recurso humano, así que con base en las variables identificadas, la modelación y la simulación del proceso constructivo del modelo BIM 5D se desarrolló un algoritmo que permite la planificación de recursos humanos para la construcción de estructuras en concreto reforzado.

1. ANTECEDENTES: METODOS Y ESTRATEGIAS RELACIONADAS CON LA PLANIFICACION DEL RECURSO HUMANO

En algunos métodos o estrategias relacionados con la planificación del recurso humano en proyectos constructivos se dan lineamientos generales para realizar la planificación, ciertos resultados o recomendaciones de esas metodologías representan un lineamiento para lograr el objetivo de esta investigación.

Algunos métodos y estrategias consultados se presentan a continuación.

1.1 Planificación de la mano de obra-Hacer un contrato moral

Uno de los trabajos relevantes con la planificación de mano de obra es el de Schafer [10], en donde se propone realizar dos reuniones con los participantes del proyecto, en la primera se hace un esquema del proyecto para hacer la asignación de tareas; lo que se busca es tener un común acuerdo con las asignaciones de trabajo teniendo en cuenta a los proveedores, los ingenieros, las especificaciones técnicas y la subcontratación para que los trabajadores puedan establecer las horas-hombre de las tareas que van a realizar y puedan presentarlas en una segunda reunión en donde se establecerá el calendario con la fecha final del proyecto, se solucionara cualquier conflicto en el proyecto y se evaluara la necesidad mano de obra.

Finalizadas esas dos reuniones se tendrá a los trabajadores comprometidos con un determinado número de horas y con un calendario para cumplir con sus tareas. Esto es lo que se conoce como contrato moral.

Lo más importante de este método no es establecer las horas hombre, es el concepto de contrato moral en donde se busca: informar a todos los participantes, hacer que los participantes interactúen, lograr un acuerdo entre todos los

participantes, Establecer el estado de ánimo de compromiso - contrato moral, Mantener un procedimiento sencillo en donde se busca evitar el papeleo y los retrasos.

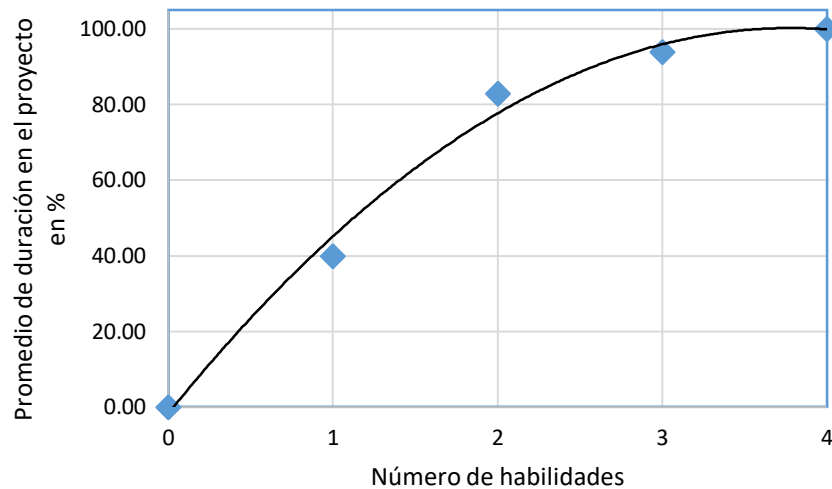
1.2 Asignación y optimización de la distribución de mano de obra parcialmente polivalente

Para Gomar et al. [11] una mano de obra polivalente es una mano de obra en la que los trabajadores poseen una serie de habilidades que les permitan participar en más de un proceso de trabajo.

El éxito de la polivalencia se basa en la capacidad del capataz para asignar a los trabajadores tareas apropiadas para componer los equipos de trabajo de manera efectiva, estas tareas son asignadas con base en la experiencia en proyectos anteriores.

En esta investigación, desarrollaron un modelo de programación lineal para ayudar a optimizar la asignación de mano de obra polivalente, y mediante un gráfico muestran en qué porcentaje de tiempo es usado el recurso humano polivalente durante el proyecto como se muestra en la Figura 1

Figura 1. Promedio de duración de los trabajadores en el proyecto respecto al número de habilidades poseídas



. **Fuente.** Elaboración propia con base en [11].

1.3 Aproximación grafica para la planificación de la mano de obra en redes de Infraestructura

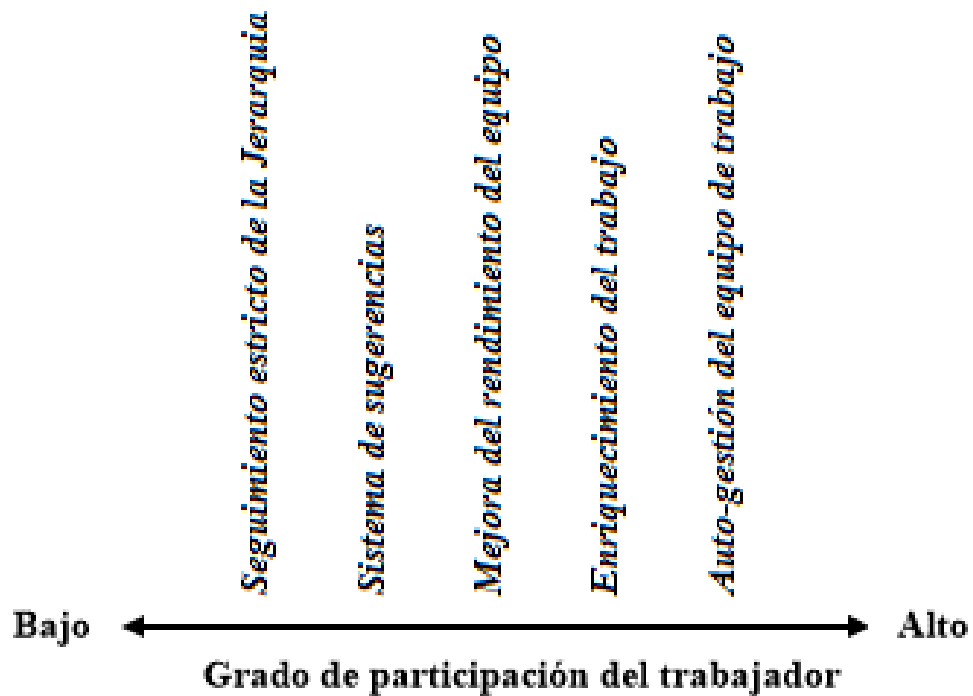
Elhakeem y Hegazy [2] desarrollaron dos nomogramas para simplificar en proceso de planificación del recurso humano; el primer nomograma determina un número básico de cuadrillas para cumplir con el tiempo de entrega del proyecto asumiendo que durante la construcción del proyecto existen condiciones favorables de trabajo, el segundo nomograma ajusta ese número básico de cuadrillas teniendo en cuenta un riesgo de retraso en la ruta crítica del proyecto lo cual representa variabilidad en las condiciones de trabajo.

1.4 Planeación estratégica del recurso humano para la gestión en la construcción

Para Maloney [27] una unidad de trabajo debe funcionar al 100% de sus capacidades independientemente de la forma en que se emplea, una de sus hipótesis es que si una organización invierte y se esfuerza por desarrollar sus

recursos al máximo en retribución obtiene una mejora en el rendimiento del trabajo, también dice que se necesita de la continua participación de los trabajadores evaluando mediante cinco enfoques cómo están implicados los trabajadores en un proyecto.

Figura 2. Participación de los trabajadores.



Fuente. Elaboración propia con base en [27].

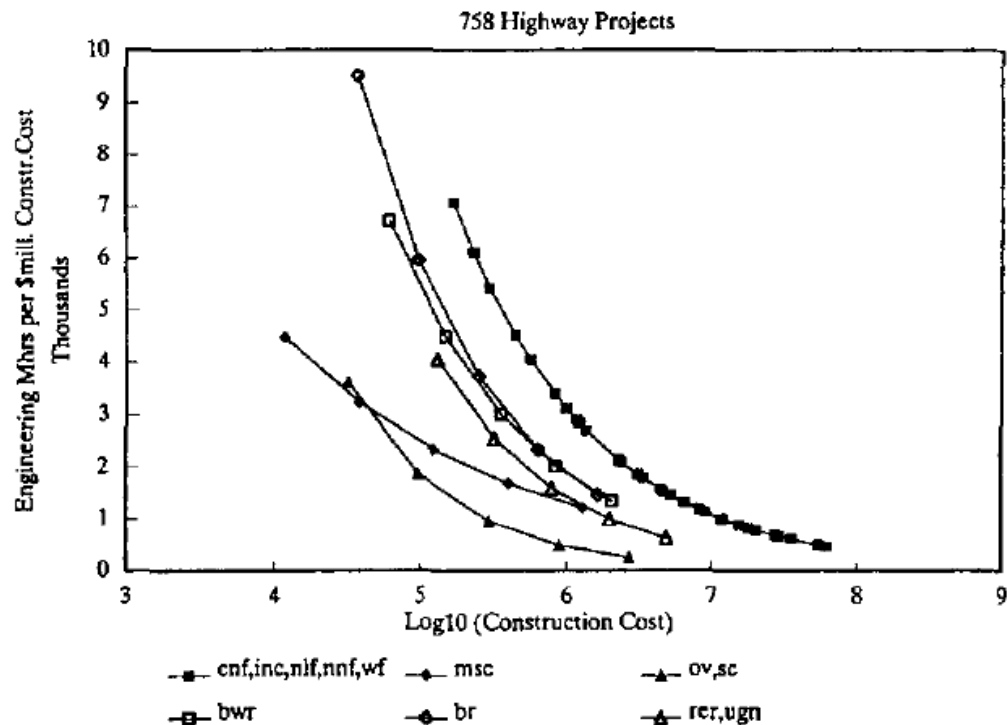
Los cinco enfoques mostrados en la Figura 2 permiten interpretar para el autor que en el lado izquierdo los trabajadores pueden involucrarse en decisiones triviales como de qué color pintar una casa y en el lado derecho, los trabajadores se involucran en decisiones importantes que exigen un juicio basado en su experiencia en los proyectos.

1.5 Predicción de la mano de obra requerida para las actividades de pre construcción en carreteras.

Persad et al. [8] presentan mediante gráficas modelos estadísticos que pueden ser utilizados para prever la necesidad de mano de obra en actividades de pre construcción en carreteras, estos modelos fueron realizados con los datos de 758 proyectos.

Las curvas muestran que las horas-hombre por millón no son constantes, sino que varían de acuerdo con el costo y el tipo de proyecto, esto indica que la complejidad del proyecto es un factor que afecta el costo de la construcción.

Figura 3. Horas hombre vs. Costo de construcción



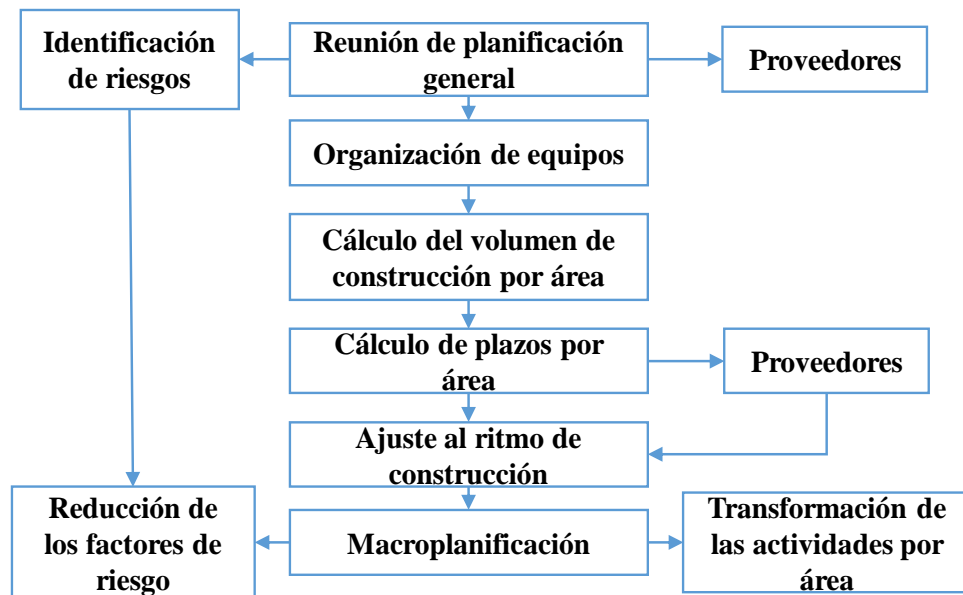
Fuente. "Forecasting Engineering Manpower Requirements for Highway Preconstruction Activities"

1.6 Modelo de planificación basado en construcción ajustada para obras de corta duración

Cruz-Machado y Rosa [28] proponen un modelo de planificación basado en construcción ajustada (Lean Construction) en el que se busca la reducción de pérdidas y la optimización de los procesos, este modelo fue validado en obras de corta duración y ejemplifican las etapas del modelo aplicado en la remodelación de una joyería.

Respecto a la planificación del recurso humano se propone que este recurso es uno de los componentes más complejos y que su gestión tiene como objetivo dimensionar las necesidades de mano de obra para la ejecución de las actividades para distribuir uniformemente el trabajo evitando las sobrecargas de trabajo.

Figura 4. Modelo de planificación



Fuente. Elaboración propia con base en [28]

2. METODOLOGIA

Para realizar la planificación de recursos humanos requeridos para la construcción de una estructura en concreto reforzado, con base en modelos BIM 5D, se propone realizar la siguiente serie de pasos en donde se tienen en cuenta variables relacionadas con la planificación del recurso humano en proyectos de construcción.

Algunos de los pasos a seguir en esta metodología se realizaron teniendo en cuenta la “Metodología para la elaboración de modelos del proceso constructivo 5D con tecnologías “Building Information Modeling”” [29] como un lineamiento general, estos lineamientos se optimizaran en pro de la planificación del recurso humano.

Para cumplir con los objetivos de la investigación, se escogió un caso de estudio: una estructura en concreto reforzado, en donde la construcción de elementos estructurales será distribuida en cuadrillas de trabajo que serán identificadas con un color representativo, dichas cuadrillas están conformadas por un oficial y un ayudante.

Al finalizar los pasos propuestos se obtiene un modelo BIM 5D que almacena la información necesaria para la simulación virtual del proceso constructivo a medida que avance el tiempo de obra; en el modelo se caracterizó la ubicación y las actividades ejecutadas por cada cuadrilla asignándoles un color y por último se formuló un algoritmo UML que representa el procedimiento para la planificación de recursos humanos.

2.1 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES RELACIONADAS CON LA PLANIFICACIÓN DEL RECURSO HUMANO

Para identificar variables relacionadas con la planificación del recurso humano se realizó la búsqueda artículos científicos en la base de datos de la American Society

of Civil Engineers (ASCE) con las siguientes palabras clave: Manpower, Manpower in Construction, Workforce, BIM and Manpower, Planning Manpower with BIM, se encontraron alrededor de 50 artículos y después de una revisión general se escogieron algunos que tuvieran una relación directa con los objetivos de esta investigación.

2.2 ELECCIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL EN CONCRETO REFORZADO COMO CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio es una estructura en concreto reforzado de 4 pisos, los planos con los despieces fueron proporcionados con fines educativos por la empresa JM CONSTRUCCIÓN & CONSULTORIA S.A.S, estos planos corresponden al proyecto CASA LA CASTELLANA ubicada en el municipio de Floridablanca, Santander.

2.3 MODELACIÓN BIM 3D DEL CASO EN ESTUDIO

La modelación BIM 3D consiste en representar los objetos en 3 dimensiones, ancho, altura y profundidad esto con el fin de aprovechar las herramientas de visualización del software Autodesk Revit 2016 que permite ver al mínimo detalle los elementos presentes en una obra de construcción. Para realizar el modelo BIM 3D se tuvieron en cuenta los planos del diseño estructural en formato AutoCAD, con esta información se procede a modelar vigas, columnas, formaletas, parales, cerchas y elementos necesarios del proceso constructivo.

2.3.1 Cálculo de cantidades de obra. Además de la visualización tridimensional Revit muestra las cantidades de obra de una manera rápida y exacta, para aprovechar las herramientas del software se agrupan las cantidades mediante comentarios, por ejemplo, RZF1: refuerzo zapatas fase 1, RVCF1: refuerzo viga de cimentación fase 1, CZF1: concreto zapatas fase 1, CVCF1: concreto vigas de cimentación fase 1.

2.4 PLANIFICACIÓN DEL RECURSO HUMANO PARA EL CASO EN ESTUDIO

Después de tener las cantidades de obra se hace uso de Microsoft Project 2016 en donde se procede a desarrollar con ayuda del diagrama de Gantt el programa de obra en donde se integrarán las cantidades y los rendimientos de obra de a cada actividad constructiva; el programa de obra tendrá un calendario de trabajo para un inicio y terminación de obra en el año 2017.

2.4.1 Rendimientos de obra. Los rendimientos de la mano de obra para el caso de estudio se obtuvieron con base en la investigación “Análisis de rendimientos de mano de obra para actividades de construcción-Estudio de caso Edificio J UPB-” [30], en la que midieron en tiempo real las duraciones de cada actividad constructiva, encofrado, refuerzo, fundida y desencofrado de los elementos estructurales, para el caso de estudio se requieren principalmente los rendimientos para zapatas, vigas aéreas y columnas.

2.4.2 Organización del equipo de trabajo. La organización del trabajo se hace por fases aprovechando la nomenclatura de las cantidades, cada fase es asignada a una cuadrilla de un oficial y un ayudante, para el caso en estudio se usaron cuatro cuadrillas nombradas sucesivamente desde la Cuadrilla 1 (C1) hasta la Cuadrilla 4 (C4); el número de cuadrilla no siempre coincide con el número de fase, ya que se busca optimizar el tiempo para que las cuadrillas estén ocupadas al 100%, esto quiere decir que los integrantes de las 4 cuadrillas asignadas al proyecto trabajan semanalmente 48 horas, además se hace énfasis en no sobrecargar la capacidad de las cuadrillas ya que la misma cuadrilla no puede trabajar en dos partes de la obra al tiempo, para ello hay que respetar la duración de cada actividad constructiva y la sucesión de actividades constructivas.

2.4.3 Programa de obra. El programa de obra consiste en organizar la información de tal forma que se pueda planificar el recurso humano, esto se hace dividiendo el proyecto en capítulos de acuerdo al grupo de elementos estructurales y al orden secuencial de los pisos, así, por ejemplo, el primer capítulo corresponde a la cimentación, el segundo a las columnas del primer piso, el tercero al encofrado de la placa del segundo piso, el cuarto a las vigas del segundo piso y así sucesivamente hasta completar todos los elementos de la estructura, después se dividen los capítulos de tal forma que elementos del mismo tipo estén detallados y agrupados por fases, por ejemplo, el capítulo de cimentación se divide en fases de construcción de zapatas y vigas de amarre y en ellos se detalla la actividad constructiva a realizar por los equipos de trabajo.

Después de tener organizadas las tareas se les asigna las cantidades y rendimientos de obra de cada actividad constructiva para automatizar el cálculo de la duración estimada mediante el programa de Project, la duración estimada es el producto entre la cantidad de obra y el rendimiento de obra y es expresado en unidades de tiempo, para el caso en estudio se expresó en horas para controlar la jornada laboral de la mano de obra.

Teniendo la duración estimada se asignan las fechas de comienzo y fin para cada actividad constructiva respetando el orden de ejecución con la columna de “actividad predecesora”, después se asigna el recurso humano seleccionando la cuadrilla de trabajo en la columna “nombre de los recursos”, en esta etapa se controla que el trabajo de las cuadrillas no quede sobre asignado usando el grafico de recursos; cuando esta información está completa, agrupada y organizada se tiene el programa de obra en el diagrama de Gantt.

2.5 MODELADO BIM 5D DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

Una vez terminado el cronograma se usa el software Autodesk Navisworks 2016 para hacer la simulación del proceso constructivo, aquí se une el modelo BIM 3D de Revit, el programa de obra de Project y la asignación del recurso humano para tener las cinco variables agrupadas en el modelo BIM 5D. En la simulación básicamente se hacen animaciones que representan cada actividad constructiva, además se les asigna un color para identificar la cuadrilla que ejecutó cada actividad.

2.5.1 Introducción a modelos BIM 6D. Otra variable que puede ser tenida en cuenta es el costo de la mano de obra, para calcular este costo a medida que avanza el tiempo de obra fue necesario extraer la información del trabajo acumulado en el gráfico de recursos del programa de obra, al conocer el valor del trabajo acumulado en horas se necesita el costo por hora de trabajo para una cuadrilla de un oficial y un ayudante, el costo es el producto de estas dos variables y se expresa en pesos; el costo del trabajo por horas de una cuadrilla de un oficial y un ayudante es de aproximadamente 19135 [\$/hora], según la consulta hecha en la base de datos de Construdata.

El costo acumulado se muestra en 6 etapas de la simulación del modelo BIM 5D, además se incluye la fecha y el número de horas acumuladas.

2.6 FORMULACIÓN DEL ALGORITMO UML (*UNIFIED MODELING LANGUAGE*)

Al final de este proceso se plantea un diagrama de flujo con los pasos a seguir para la planificación de recursos humanos para la construcción de estructuras en concreto reforzado, con base en modelos BIM 5D; la construcción de este algoritmo se hizo inicialmente con el proceso metodológico de esta investigación, posteriormente se optimizó el algoritmo con los métodos y estrategias referenciados en el capítulo 2 en procura de obtener un proceso de planificación de recursos humanos para la construcción de estructuras en concreto reforzado, con base en modelos BIM 5D más detallado.

3. RESULTADOS

3.1 VARIABLES IDENTIFICADAS

En la Tabla 1 se muestran las variables que fueron identificadas para la planificar el recurso humano y a continuación una descripción de cada una de estas.

Tabla 1. Variables identificadas

Id	Variable
1	Actividad constructiva
2	Cantidad de obra
3	Rendimiento
4	Duración
5	Sucesión de Actividades constructivas
6	Recurso Humano
7	Jornada laboral
8	Calendario del proyecto

3.1.1 Actividad Constructiva. Representa que labor va a ejecutar cada cuadrilla de trabajo, como el caso de estudio analizado es una estructura en concreto reforzado, las actividades principales analizadas fueron las de encofrado (E), colocación del refuerzo (R), fundida (F) y desencofrado (D).

3.1.2 Cantidad de obra. La cantidad de obra, es importante medirla, ya que del tamaño de la obra también depende la cantidad de trabajadores a contratar, esta variable fue medida con el software Revit ya que este programa automatizó el cálculo de cantidades al nombrar grupos de cantidades mediante comentarios, asociados al elemento estructural en concreto reforzado, vigas (V), columnas (C), zapatas (Z), esta variable es necesaria para el cálculo de la duración de las actividades constructivas, las cantidades están medidas con la unidad representativa, el concreto en metros cúbicos m^3 y refuerzo en kilogramos Kg.

3.1.3 Rendimiento. El rendimiento es un factor que representa el tiempo que se necesita para realizar una unidad de cantidad de obra representativa para cada actividad constructiva, por ejemplo, cuánto tiempo se requiere para la fundida de un metro cubico de concreto en una viga, en una columna, en una zapata o en una vigueta, para esta investigación los rendimientos consultados estaban dados en Horas por metro cubico, para la fundida, el encofrado y el desencofrado del concreto y en horas por kilogramo, para el armado del acero de refuerzo.

3.1.4 Duración. Al tener el rendimiento y las cantidades de obra es posible calcular la duración de cada actividad constructiva al hacer el producto entre estas dos variables, se obtiene un valor de tiempo de construcción en horas, dicha duración fue calculada usando el programa de Project, específicamente en el diagrama de Gantt creando una duración estimada para automatizar el proceso, luego estas duraciones estimadas fueron llevadas a la casilla duración para que el programa mostrara las barras de tiempo.

3.1.5 Sucesión de Actividades Constructivas. La sucesión de actividades constructivas es importante para saber en qué orden se deben realizar las tareas del proyecto, por ejemplo, que antes de fundir una placa esté el acero armado, los casetones colocados en su lugar y que la estructura temporal de soporte de la placa estuviese armada, esta sucesión de actividades fue representada haciendo uso de la columna predecesoras del diagrama de Gantt en Project y de la organización de las tareas por fases de actividad constructiva para cada elemento estructural y temporal de cada piso de la estructura.

3.1.6 Recurso Humano. El recurso humano es el que ejecuta cada actividad constructiva para lograr la construcción de cada elemento estructural, además de planificar que va a hacer cada trabajador durante la obra es importante conseguir mano de obra calificada que pueda rendir al 100% de su capacidad; se hizo uso del gráfico de recursos de Project ya que mediante diagramas de barras muestra la asignación porcentual del recurso humano, esto se hizo con el fin de evitar que este recurso quede sobre asignado, este proceso de asignación del recurso humano se optimizó con la sucesión de actividades constructivas, para que cada cuadrilla este en el lugar y momento adecuado haciendo su trabajo.

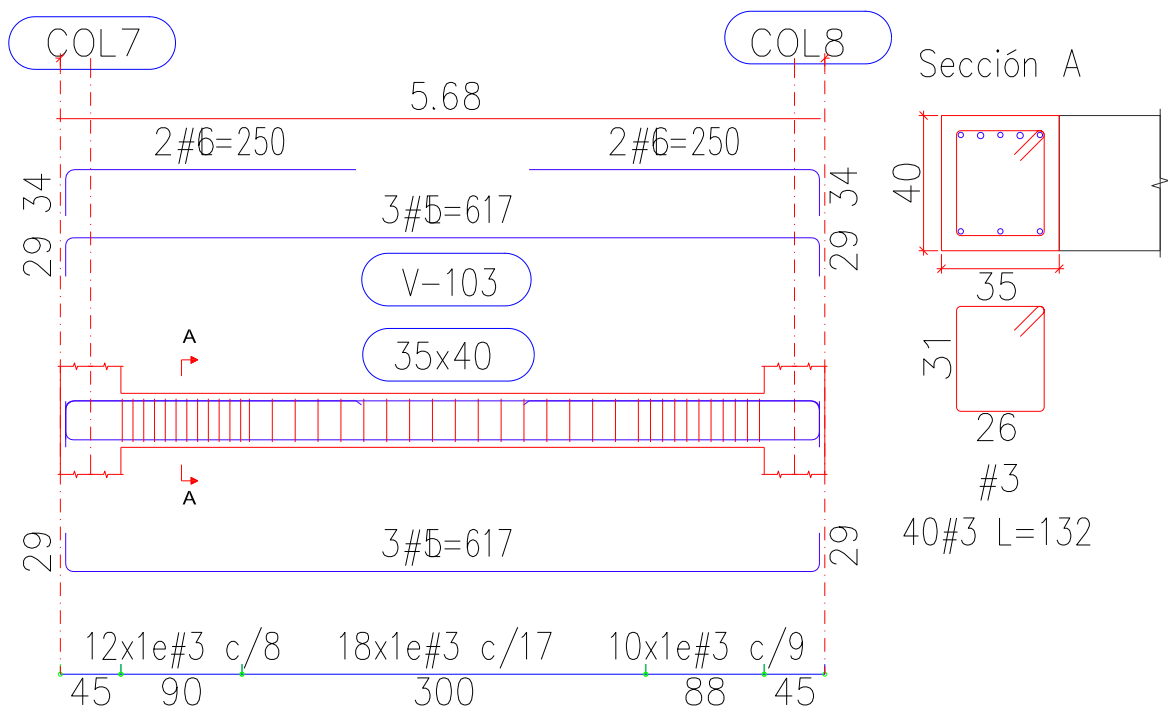
3.1.7 Jornada laboral. La Jornada laboral es importante planificarla ya que con esta se establecerá los turnos de trabajo, para el caso de estudio fue creado un horario semanal que completa 48 horas de trabajo para cada cuadrilla, dichos horarios fueron establecidos de lunes a viernes en dos turnos, en la mañana de 7 am a 12 m y en la tarde de 1 pm a 5 pm y el sábado un turno de 8 a 11 am.

3.1.8 Calendario del proyecto. El calendario del proyecto se tiene en cuenta para establecer los días laborables y así evitar asignar trabajo en días festivos, además de que el calendario se puede ver afectado al ser impuesta una determinada fecha de entrega del proyecto por el dueño, variable que afectaría la necesidad de aumentar o disminuir las cuadrillas de trabajo.

3.2 PLANOS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL EN CONCRETO REFORZADO DEL CASO EN ESTUDIO

Un ejemplo de los despieces del diseño estructural que fueron suministrados, se muestra en la Figura 5.

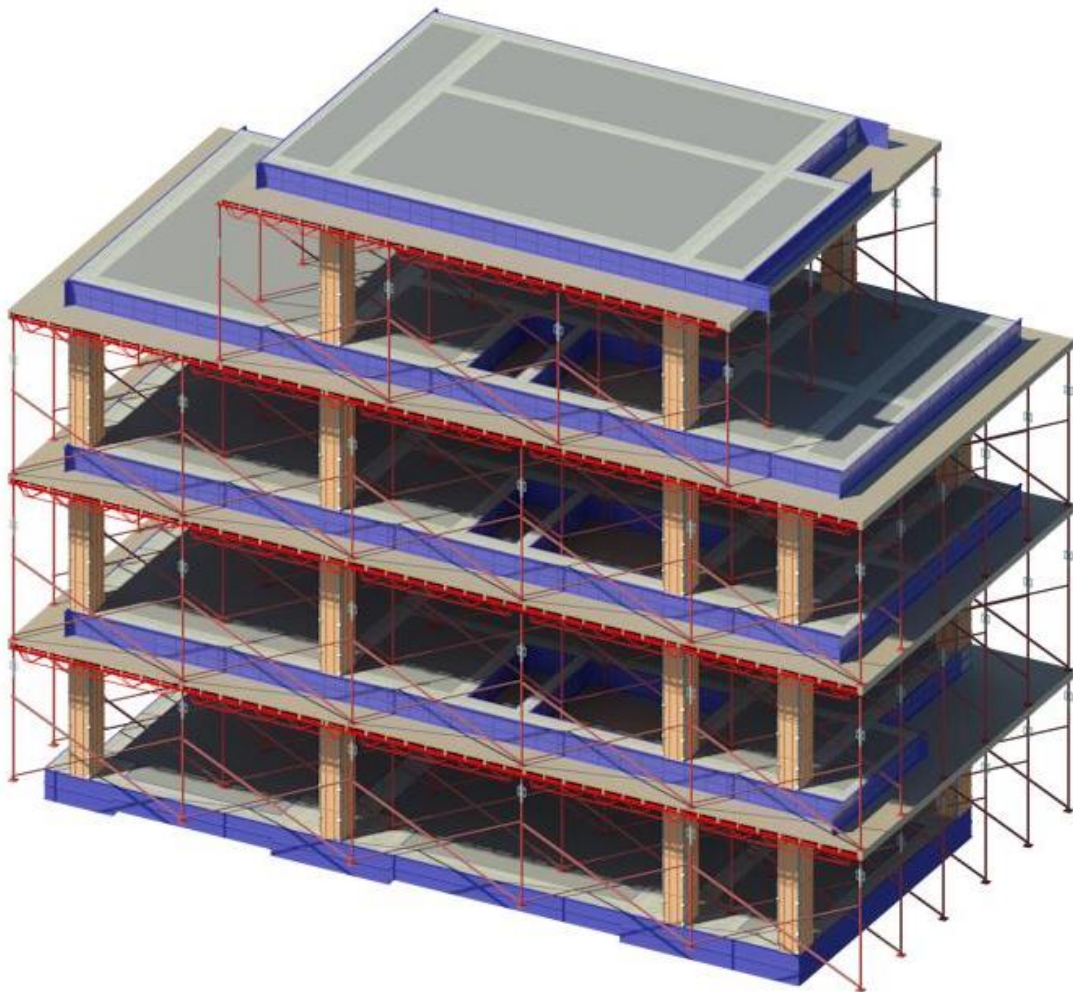
Figura 5. Sección de un plano de Despiece



3.3 MODELO BIM 3D DEL CASO EN ESTUDIO

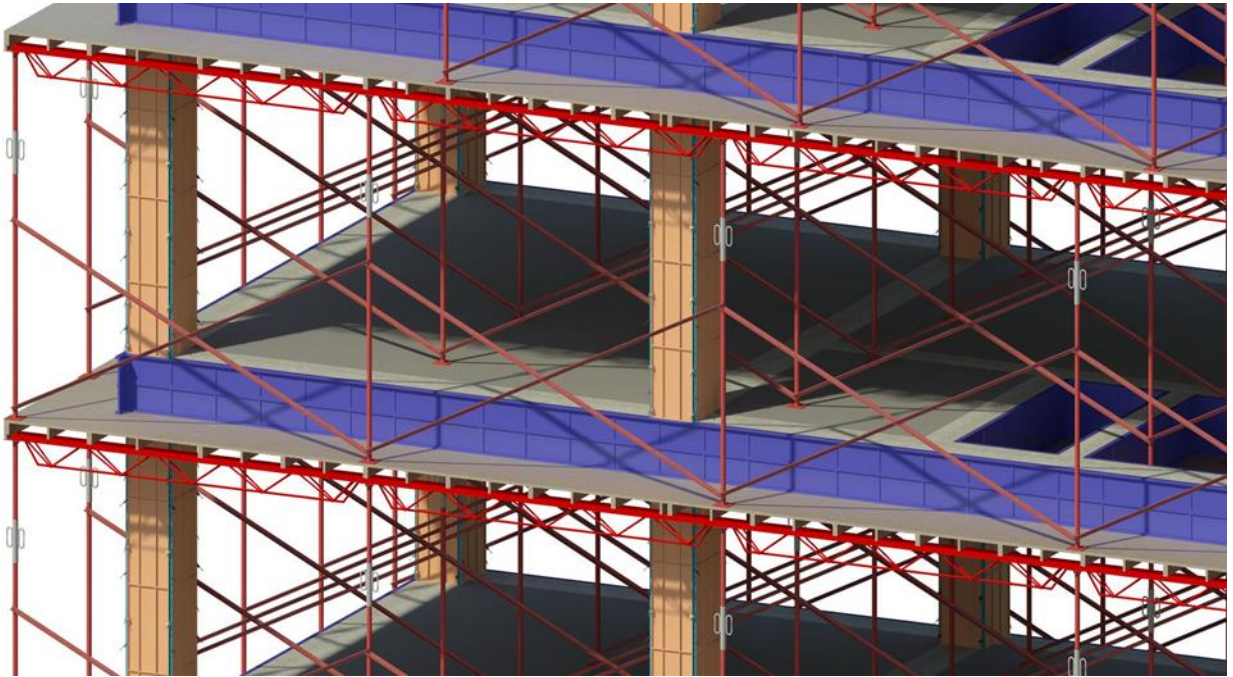
En la Figura 6 se muestra el modelo BIM 3D, fue realizado a partir de la interpretación de los planos en dos dimensiones del despiece, el modelo incluye todos los elementos estructurales comunes en la construcción de estructuras en concreto reforzado como: Vigas, Columnas, Zapatas. En la figura 7 se observa de una sección del modelo BIM 3D que muestra el detalle de las estructuras temporales necesarias para la construcción del proyecto.

Figura 6. Modelo BIM 3D



Fuente. Elaboración propia en el software Autodesk Revit 2016

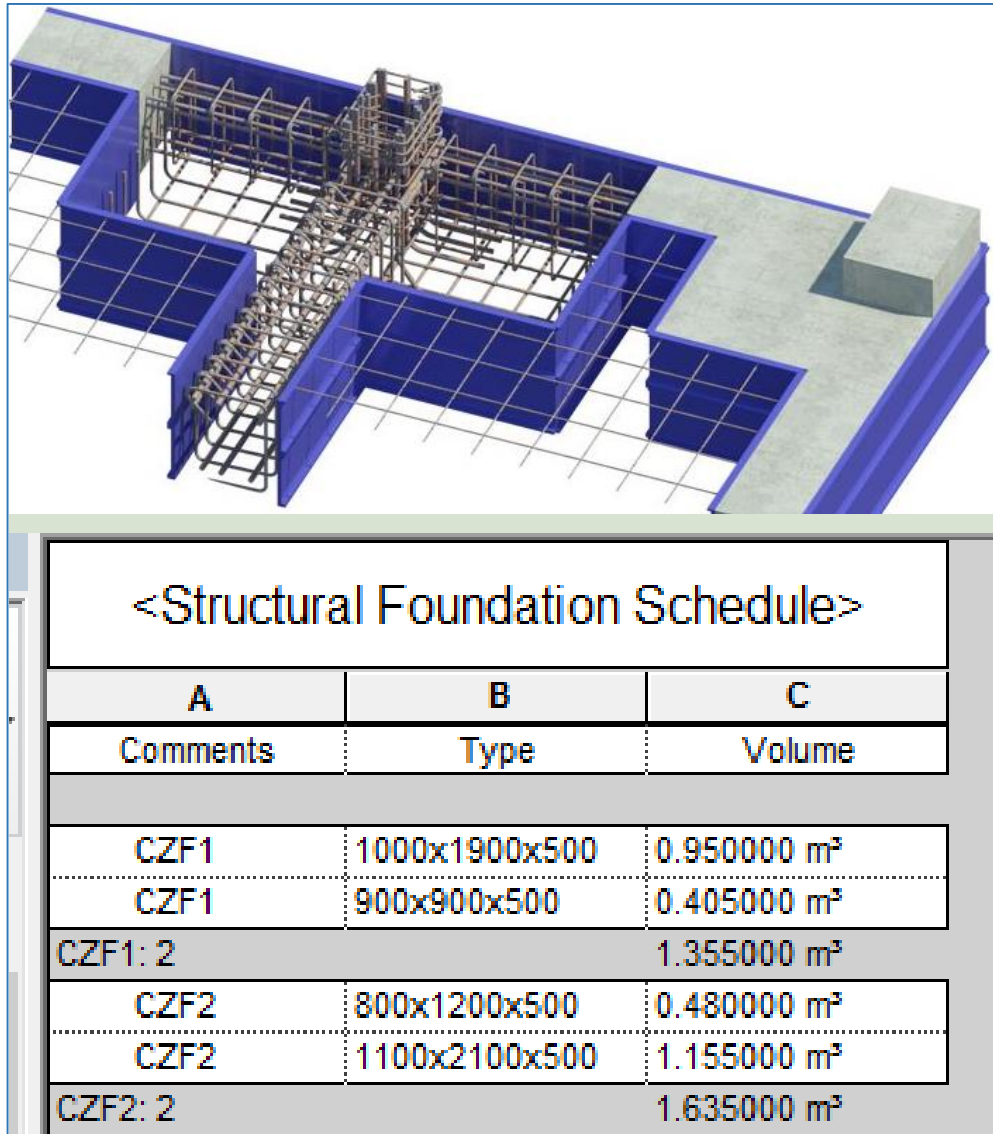
Figura 7. Sección del Modelo BIM 3D



Fuente. Elaboración propia en el software Autodesk Revit 2016.

3.3.1 Cantidades de obra. El cálculo de cantidades de obra es realizado de manera automática por el programa de Revit como se muestra en la Figura 8, después se exportan las cantidades en formato txt y se consolida toda la información en Microsoft Excel 2016, un resumen del total de cantidades se muestra en la Tabla 2.

Figura 8. Cantidades de obra



Fuente. Elaboración propia en el software Autodesk Revit 2016.

Tabla 2. Resumen de cantidades de obra

Cantidades por elemento	Total Refuerzo (Kg)	Total concreto (m³)
Vigas aéreas	3866	26.0
Columnas	3804	9.8
Viguetas	1329	8.8
Vigas de Cimentación	1140	4.6
Losa Superior de entrepiso	428	9.4
Zapatas	234	3.0
Losa de Cimentación	134	5.2
Losa Inferior de entrepiso	72	3.8
Total	11007 kg	70 m³

3.4 PLANIFICACIÓN DEL RECURSO HUMANO PARA EL CASO EN ESTUDIO

A continuación, se muestran los resultados de los pasos para planificar el recurso humano y las herramientas usadas para su planificación.

3.4.1 Rendimientos de obra. En la Tabla 3 se observa la nomenclatura usada para cada actividad constructiva, en la Tabla 4 y 5 se muestran los rendimientos para cada una de las actividades.

Tabla 3. Nomenclatura de las actividades constructivas

NOMENCLATURA	
E	ENCOFRADO
F	FUNDIDA
D	DESENCOFRADO
R	REFUERZO

Tabla 4. Rendimientos medidos en función de la cantidad de concreto

ELEMENTO	Rendimientos (<i>Hr/m³</i>)		
	E	F	D
ZAPATAS	2.70	1.91	0.71
COLUMNAS	2.54	1.91	1.03
VIGAS	2.45	1.93	1.41

Tabla 5. Rendimiento medido en función de la cantidad de acero

	Rendimiento (<i>Hr/Kg</i>)
	R

3.4.2 Organización del equipo de trabajo. Las cuadrillas de trabajo fueron representadas en el modelo BIM 5D, asignándoles los colores mostrados en la Tabla 6, además el horario de trabajo se muestra en la Figura 9.

Tabla 6. Colores por cuadrilla

CUADRILLA	COLOR
C1	
C2	
C3	
C4	

Figura 9. Horario de trabajo

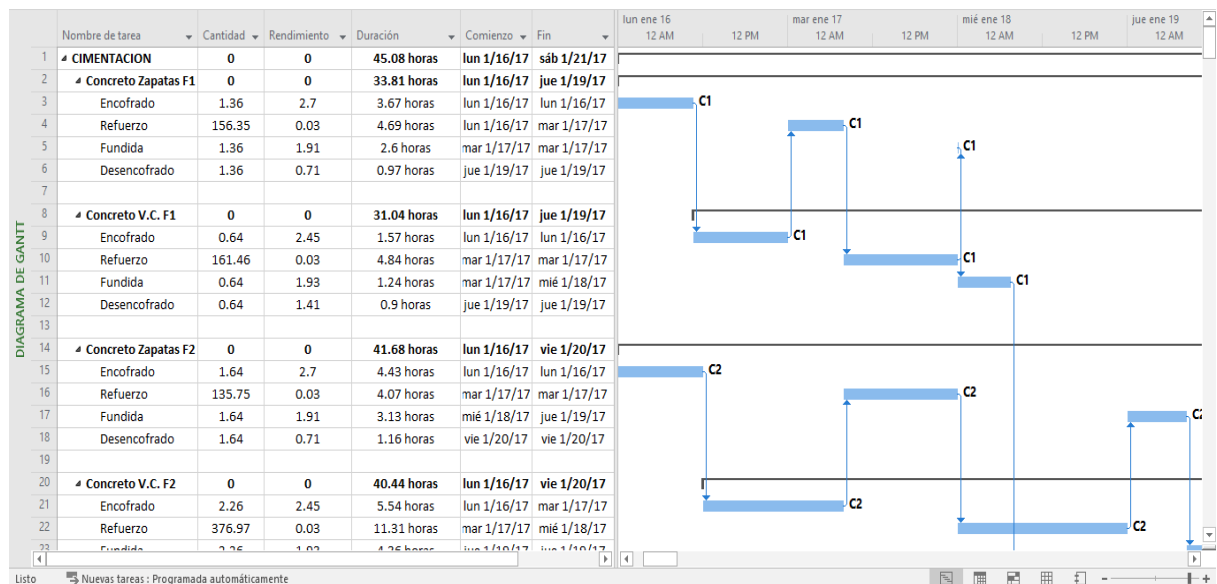
JORNADA LABORAL				
	MAÑANA		TARDE	
	DESDE	HASTA	DESDE	HASTA
LUNES	7:00 AM	12:00 PM	1:00 PM	5:00 PM
MARTES	7:00 AM	12:00 PM	1:00 PM	5:00 PM
MIERCOLES	7:00 AM	12:00 PM	1:00 PM	5:00 PM
JUEVES	7:00 AM	12:00 PM	1:00 PM	5:00 PM
VIERNES	7:00 AM	12:00 PM	1:00 PM	5:00 PM
SABADO	8:00 AM	11:00 AM		

48 HORAS SEMANALES DE TRABAJO

3.4.3 Programa de obra. En el programa de obra de la Figura 10 se muestran las actividades constructivas, los rendimientos, las cantidades de obra y el tiempo de duración de cada actividad con su fecha de comienzo y fin, en el gráfico de la derecha se observa la sucesión de actividades constructivas mediante una flecha, las barras azules son las representaciones de las duraciones y al lado aparecen las cuadrillas que ejecutaron cada actividad.

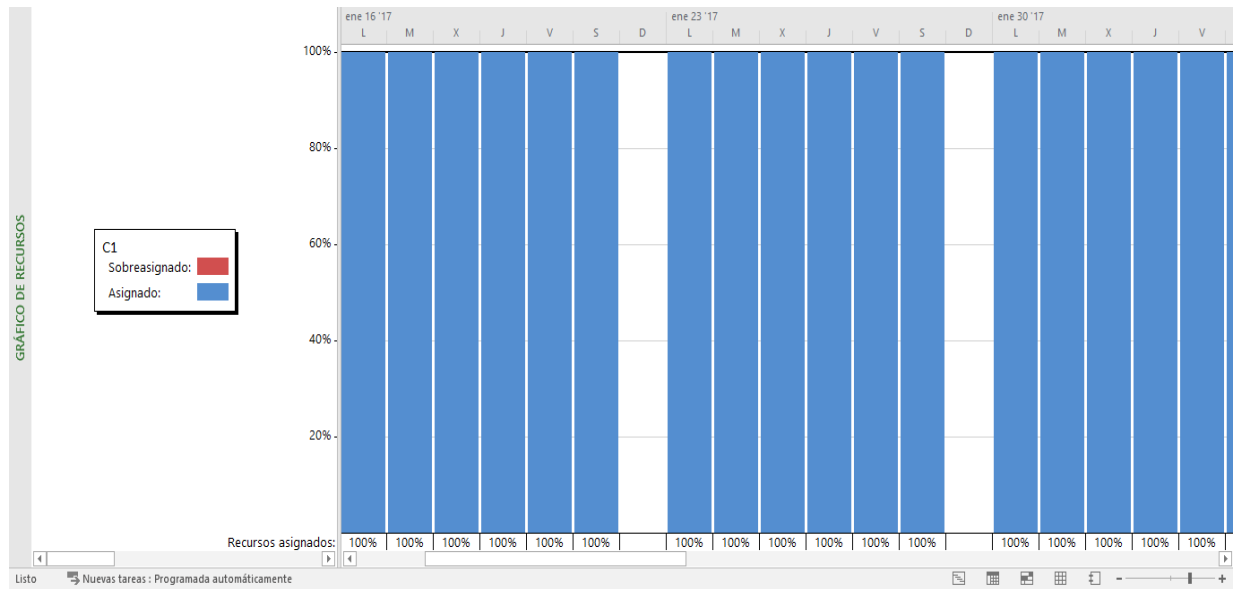
Además del programa de obra había que tener certeza de que las cuadrillas no estuvieran sobre asignadas, es decir, cada día debían trabajar al 100% de su capacidad, para esto se usaron los gráficos de recursos de Project como se muestra en la Figura 11.

Figura 10. Programa de obra para la planificación del recurso humano



Fuente. Elaboración propia en el software Microsoft Project 2016

Figura 11. Gráfico de recursos asignados en la planificación del recurso humano

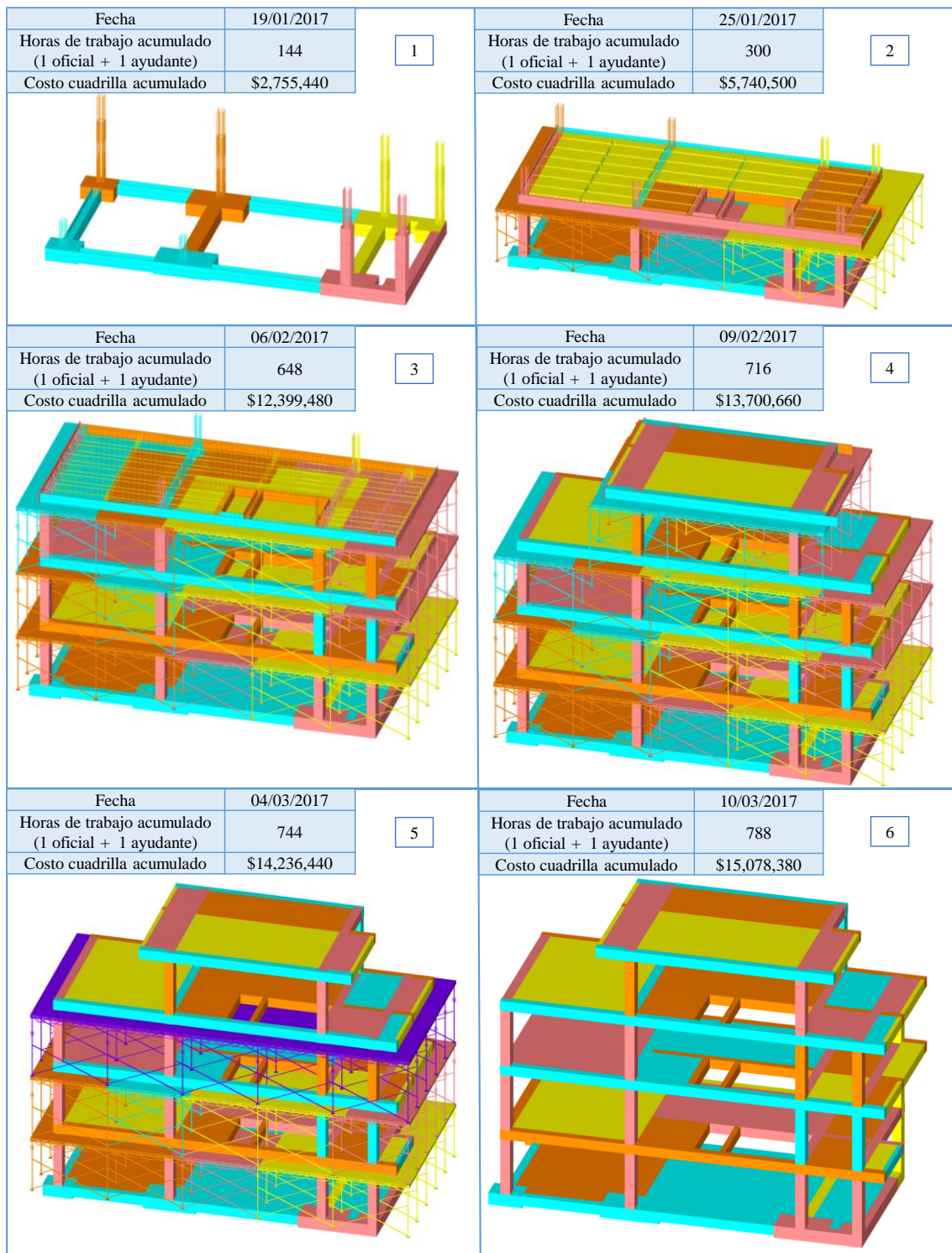


Fuente. Elaboración propia en el software Microsoft Project 2016

3.5 MODELO BIM 5D Y SIMULACIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

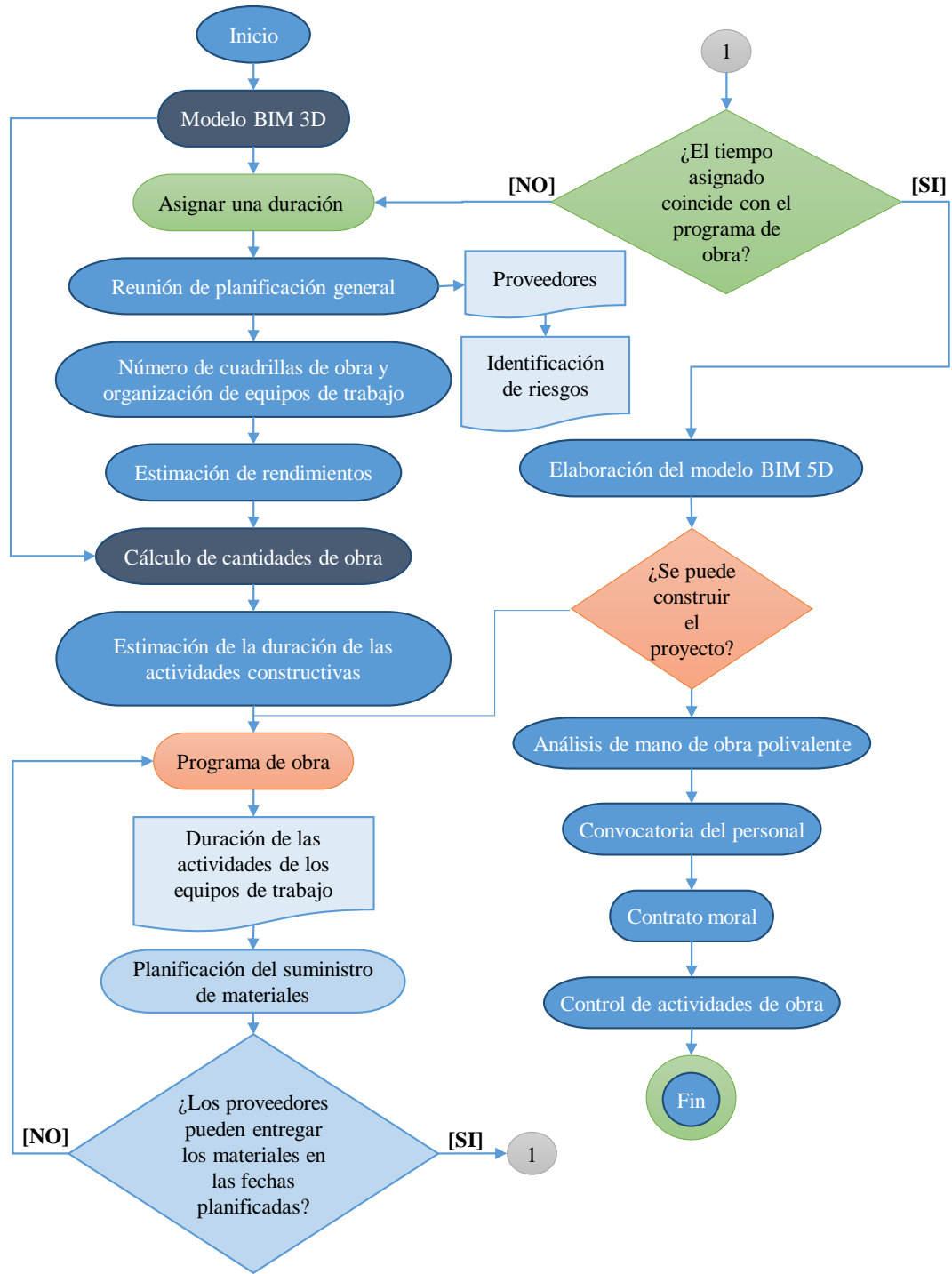
A continuación, se muestran 6 momentos de la simulación virtual del proceso constructivo del modelo BIM 5D con las fechas, horas y costo acumulado de las cuadrillas de obra. Ver Figura 12.

Figura 12. Modelo BIM 5D, Simulación del proceso constructivo



3.6 ALGORITMO UML

Figura 13. Algoritmo de planificación del recurso humano en formato UML



El algoritmo para la planificación del recurso humano mostrado en la Figura 13 comienza con la realización del modelo BIM 3D, con este modelo se tiene una visión general de la obra, así que el encargado de planificar le puede asignar una duración al proyecto con base en su experiencia haciendo una simple inspección visual del modelo, seguidamente se debe hacer una reunión de planificación general donde se propondrá el paso a paso de la obra, es decir se escogerá el proceso constructivo a usar, además se tendrá en cuenta a los proveedores para determinar qué tipo de materiales se pueden usar para la construcción del proyecto, y se identificarán los posibles riesgos durante la ejecución del proyecto.

Después se determinará un número de cuadrillas de obra y se organizarán los equipos de trabajo para la construcción del proyecto por fases, en seguida se hará un análisis de rendimientos de obra para determinar el ritmo de trabajo por actividad constructiva, ahora se usará de nuevo el modelo BIM 3D para extraer las cantidades de obra, una vez se tenga rendimientos y cantidades se estimará la duración de las actividades constructivas que es el producto entre de las dos variables.

Ahora se deberá realizar el programa de obra, en donde se integrará la variable del tiempo con las fases constructivas del proyecto y se establecerá la fecha de comienzo y fin de cada actividad constructiva, a continuación se debe imprimir un informe con la duración de las actividades de los equipos de trabajo, esto se hace con el fin de planificar el suministro de materiales a la obra; en esta etapa se debe tener de nuevo en cuenta a los proveedores preguntándoles si pueden entregar los materiales en las fechas planificadas, en el caso de que no puedan hay que volver al programa de obra y modificarlo, esto es una recomendación, la profundización en esta parte del algoritmo está fuera del alcance de esta investigación, de ser tomada en cuenta sería otro proceso de optimización del programa de obra.

Cuando el programa de obra está listo y los proveedores están de acuerdo hay que preguntarse si el tiempo asignado por inspección visual coincide con el tiempo del

programa de obra, en caso de no coincidir se hace de nuevo la inspección visual al modelo BIM 3D y se asigna una nueva duración con una inspección más rigurosa, una vez se cumpla esta condición se procederá a elaborar el modelo BIM 5D en el cual se hará la simulación virtual del proceso constructivo.

Una vez se visualice el video de la simulación la pregunta que surge es si se puede construir el proyecto, es decir, hay que asegurar que las actividades constructivas tengan una secuencia lógica de construcción, si esta condición no se cumple se deberá revisar y ajustar el programa de obra hasta que el proyecto se pueda construir, es posible que se deba corregir las actividades predecesoras o la asignación de las cuadrillas a las fases constructivas; una vez se pueda ver la correcta construcción del proyecto en el modelo BIM 5D, se hará un análisis de mano de obra polivalente, es decir inspeccionar si en la zona del proyecto hay personal calificado para hacer más de tres actividades constructivas básicas; para el caso en estudio fueron las actividades de encofrado, colocación del refuerzo, fundida y desencofrado, para asegurarnos de que los trabajadores cumplen la condición de polivalencia se debe hacer una convocatoria del personal, para hacer los respectivos contratos, pero el enfoque de esta investigación no es administrativo, entonces una vez estén los trabajadores listos para trabajar se hará el contrato moral.

La idea del contrato moral es mostrarles a los trabajadores el video de la simulación virtual del proceso constructivo para que estén informados de las tareas que deben hacer durante el proyecto y de las fechas de comienzo y fin de cada actividad, esta inspección será fácil para los trabajadores ya que cada cuadrilla tiene un color representativo en la simulación, lo que se espera con este contrato moral es tener a los trabajadores motivados y comprometidos con la ejecución del proyecto, y así evitar atrasos de la obra, una vez comience la ejecución del proyecto se hará un control de las actividades de obra usando de nuevo el video para observar lo planeado con lo ejecutado en obra y se llamara a los trabajadores para evaluar su

progreso, es de aclarar que se permitirá a los trabajadores mirar el video del proceso constructivo varias veces, sea semanalmente o diariamente, esto depende del tamaño y la dificultad del proyecto y de que tanto control se quiera hacer del recurso humano y así termina el flujo de información del algoritmo concerniente a la planificación del recurso humano.

4. CONCLUSIONES

En el proceso de planificación de recursos humanos para la estructura en concreto reforzado del caso de estudio, se observó que, al representar a las cuadrillas de trabajo con un color, como se muestra en la Tabla VI, y al asignarle este color a las distintas actividades que ejecutaron, se puede visualizar a gran escala cual cuadrilla participó en la construcción de los de los distintos elementos que conforman la estructura como se observa en la Figura 12.

En la simulación virtual del modelo BIM 5D, mostrado en la Figura 12, se observó como a medida que avanza el tiempo se van ejecutando sucesivamente las actividades constructivas, es decir fue representado el proceso constructivo que da forma a los elementos estructurales del caso en estudio.

Se recomienda que antes de planificar el recurso humano en el programa de obra se tenga terminado el modelo BIM 3D, como se muestra en la Figura 6; para el caso en estudio se modelaron todos los elementos estructurales en concreto reforzado y las estructuras temporales necesarias para su construcción.

Las cantidades de obra que se muestran resumidas en la Tabla II fueron extraídas del software Revit, la identificación de a cuál actividad constructiva pertenecen se realizó asignándoles un comentario, como se muestra en la figura 8, este paso ayudo en forma significativa a la realización del programa de obra para detallar las actividades constructivas de cada una de las fases de construcción.

En el programa de obra, mostrado en la figura 10 se observan las cantidades de obra, los rendimientos de la mano obra y la duración de las actividades, de esta

forma se incluyó la variable del tiempo al modelo BIM 5D, también se observa la variable del recurso humano y la sucesión de las actividades constructivas; además en el programa de obra del caso en estudio se aseguró que las cuadrillas trabajaran al 100% de su capacidad, como se muestra en el gráfico de recursos de la figura 11.

Las variables que se muestran en la Tabla I fueron tenidas en cuenta como parte del proceso de planificación del recurso humano planteado para el caso de estudio y son exclusivamente para la simulación del proceso constructivo en condiciones de obra ideales, es decir que pueden existir otros factores y variables que afecten la planificación de la mano de obra, esto hace que planificar el recurso humano para una estructura en concreto reforzado sea labor difícil por la cantidad de variables que pueden afectar la ejecución de actividades constructivas, como el tipo de contratación y eventos externos que hacen que una obra se atrase por seguridad de los trabajadores.

Para evitar posibles errores en la simulación del modelo BIM 5D en el software Autodesk Navisworks se recomienda que se hagan las animaciones del proceso constructivo a medida que se vayan terminando los capítulos del programa de obra en Microsoft Project.

En la metodología se explicó la introducción de la variable del costo a los modelos BIM, aunque solo se tuvo en cuenta el costo del recurso humano como se muestra en la Figura 12, en futuras investigaciones se puede hablar de modelos BIM 6D al tener en cuenta todos los tipos de costos presentes en un proyecto de construcción.

En el Algoritmo de planificación mostrado en la Figura 13 se propuso un sistema de planificación de recursos humanos para la construcción de estructuras en concreto

reforzado, este algoritmo se planteó con base en la metodología propuesta en esta investigación y fue enriquecido con las metodologías existentes respecto a la planificación del recurso humano referenciadas en los antecedentes y puede ser usado en futuras investigaciones en las que se quiera planificar el recurso humano.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] NIE, Hao; STAUB-FRENCH, Sheryl y FROESE, Thomas. OLAP-integrated project cost control and manpower analysis. *Journal of Computing in Civil Engineering*. vol. 21, n.º 3, pp. 164-174, 2007.
- [2] ELHAKEEM, Ahmed y HEGAZY, Tarek. Graphical Approach for Manpower Planning in Infrastructure Networks. *Journal of Construction Engineering and Management*. vol. 131, n.º February, pp. 168-175, 2005.
- [3] HO, Paul H. K. Forecasting Construction Manpower Demand by Gray Model. *Journal of Construction Engineering and Management*. vol. 136, n.º December, pp. 1299-1305, 2010.
- [4] SING, Chun-pong; LOVE, Peter E.D. y TAM, Chi-Ming. Multiplier Model for Forecasting Manpower Demand. *Journal of Construction Engineering and Management*. vol. 138, n.º 10, pp. 1161-1168, 2012.
- [5] LIU, Junxiao et al. Dynamic Modeling of Workforce Planning for Infrastructure Projects. *Journal of Management in Engineering*. n.º 4016019, pp. 1-9, 2016.
- [6] SING, Chun-pong; LOVE, Peter E.D. y TAM, Chi-Ming. Forecasting the Demand and Supply of Technicians in the Construction Industry. *Journal of Management in Engineering*. vol. 30, n.º 3, pp. 1-9, 2014.
- [7] WONG, James M.W; CHAN, Albert P.C. y CHIANG, Y.H. Modeling and Forecasting Construction Labor Demand: Multivariate Analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*. vol. 134, n.º September, pp. 664-672, 2008.
- [8] PERSAD, Khali R; O'CONNOR, J.T. y VARGHESE, Koshy. Forecasting Engineering Manpower Requirements for Highway Precosntruction Activities. *Journal of Management in Engineering*. vol. 11, n.º June, pp. 41-47, 1995.

- [9] BRAIMAH, Nuhu. Understanding Construction Delay Analysis and the Role of Preconstruction Programming. *Journal of Management in Engineering*. vol. 30, n.º 5, p. 4014023, 2014.
- [10] SCHAFFER, Robert J. Manpower Planning—Make a «Moral Contract». *Journal of Management in Engineering*. vol. 4, n.º 1, pp. 56-59, 1988.
- [11] GOMAR, Jorge E; HAAS, Carl T. y MORTON, David P. Assignment and Allocation Optimization of Partially Multiskilled Workforce. vol. 128, n.º April, pp. 103-109, 2002.
- [12] CHANG, Shing-Tao Andrew. Work-Time Model for Engineers. *Journal of Construction Engineering and Management*. vol. 127, n.º APRIL, pp. 163-172, 2001.
- [13] WU, Wei y ISSA, Raja R.A. Key Issues in Workforce Planning and Adaptation Strategies for BIM Implementation in Construction Industry. *Construction Research Congress*. n.º April 2016, pp. 1478-1487, 2014.
- [14] AZHAR, Salman. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*. vol. 11, n.º Bazjanac 2006, pp. 241-252, 2011.
- [15] BYNUM, Patrick; ISSA, Raja R.A. y OLBINA, Svetlana. Building information modeling in support of sustainable design and construction. *American Society of Civil Engineers*. vol. 139, n.º 1, pp. 24-34, 2013.
- [16] ASHCRAFT, Howard W. Building information modeling: a framework for collaboration. *Construction Law*. vol. 28, n.º June, p. 5, 2008.
- [17] NEPAL, Madhav Prasad et al. Ontology-based feature modeling for construction information extraction from a building information model. *Journal of Computing in Civil Engineering*. vol. 27, n.º October, pp. 555-570, 2012.
- [18] LU, Weisheng et al. A Generic Model for Measuring Benefits of BIM as a

- Learning Tool in Construction Tasks. *Journal of Construction Engineering and Management*. vol. 139, n.º February, p. 441, 2012.
- [19] SAFDAR, Syed; SHAFIQ, Nasir; KHAMIDI, Faris. Prospects of Building Information Modeling (BIM) in Malaysian Construction Industry as Conflict Resolution Tool. *Journal of Energy Technologies and Policy*. vol. 3, n.º March 2016, pp. 346-350, 2013.
- [20] QUIROGA, Cesar. 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. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Universidad Industrial de Santander, 2015.
- [21] SU, Xing y CAI, Hubo. Enabling Construction 4D Topological Analysis for Effective Construction Planning. *Journal of Computing in Civil Engineering*. vol. 30, n.º 2008, pp. 1-10, 2014.
- [22] SU, Xing y CAI, Hubo. Life Cycle Approach to Construction Workspace Modeling and Planning. *Journal of Construction Engineering and Management*. vol. 140, n.º 7, p. 4014019, 2014.
- [23] CHONG, Heap et al. Comparative Analysis on the Adoption and Use of BIM in Road Infrastructure Projects. *Journal of Management Engineering*. pp. 1-13.
- [24] MEJÍA, Guillermo y HERNÁNDEZ, Triny. Seguimiento de la productividad en obra: técnicas de medición de rendimientos de mano de obra. *Revista UIS ingenierías*. n.º 2, pp. 45-59, 2007.
- [25] SÁNCHEZ RIVERA, Omar Giovanni. Análisis del flujo de caja de la construcción de un proyecto con modelos BIM 5D y dinámica de sistemas. Tesis de Maestría en Ingeniería Civil. Universidad Industrial de Santander, 2015.
- [26] PORRAS-DÍAZ, Hernán; SÁNCHEZ-RIVERA, Omar Giovanni; GALVIS-

GUERRA, José Alberto y CASTAÑEDA-PARRA, Karen Milady. Tecnologías “ Building Information Modeling ” en la elaboración de presupuestos de construcción de estructuras en concreto reforzado. *Entramado*. vol. 11, n.º 1, p. 21, 2015.

- [27] MALONEY, William F. Strategic planning for human resource management in construction. *Journal of Management in Engineering*. vol. 13, n.º 3, pp. 49-56, 1997.
- [28] CRUZ-MACHADO, Virgilio y ROSA, Pedro. Modelo de planificación basado en construcción ajustada para obras de corta duración. *Informacion Tecnologica*. vol. 18, n.º 1, pp. 107-118, 2007.
- [29] PORRAS, Hernán; SÁNCHEZ, Omar y GALVIS, José. Elaboración de modelos del proceso constructivo 5D con tecnologías “ Building Information Modeling ”. *Revista Gerencia Tecnológica Informativa*. vol. 14, n.º 38, pp. 59-73, 2014.
- [30] SÁNCHEZ, Lina. Análisis de rendimientos de mano de obra para actividades de construcción-Estudio de caso Edificio J UPB-. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Universidad Pontificia Bolivariana, 2009.

BIBLIOGRAFIA

CRUZ MACHADO, Virgilio y ROSA, Pedro. Modelo de planificación basado en construcción ajustada para obras de corta duración. En: Información Tecnológica. vol. 18, no 1, pp. 107-118, 2007.

ELHAKEEM, Ahmed y HEGAZY, Tarek. Graphical Approach for Manpower Planning in Infrastructure Networks. En: Journal of Construction Engineering and Management. vol. 131, no February, pp. 168-175, 2005.

GOMAR, Jorge E; HAAS, Carl T. y MORTON, David P. Assignment and Allocation Optimization of Partially Multiskilled Workforce. En: Journal of Construction Engineering and Management. vol. 128, no April, pp. 103-109, 2002.

MALONEY, William F. Strategic planning for human resource management in construction. En: Journal of Management in Engineering. vol. 13, no 3, pp. 49-56, 1997.

SÁNCHEZ, Lina. Análisis de rendimientos de mano de obra para actividades de construcción-Estudio de caso Edificio J UPB-. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Universidad Pontificia Bolivariana, 2009.

SÁNCHEZ, Omar. Análisis del flujo de caja de la construcción de un proyecto con modelos BIM 5D y dinámica de sistemas. Tesis de Maestría en Ingeniería Civil. Universidad Industrial de Santander, 2015.

SCHAFFER, Robert J. Manpower Planning—Make a «Moral Contract». En: Journal of Management in Engineering. vol. 4, no 1, pp. 56-59, 1988.

PERSAD, Khali R; O'CONNOR, J.T. y VARGHESE, Koshy. Forecasting Engineering Manpower Requirements for Highway Preconstruction Activities. En: Journal of Management in Engineering, vol. 11, June, pp. 41-47, 1995.

PORRAS, Hernán; SÁNCHEZ, Omar y GALVIS, José. Elaboración de modelos del proceso constructivo 5D con tecnologías "Building Information Modeling". En: Revista Gerencia Tecnológica Informática. vol. 14, no 38, pp. 59-73, 2014.

PORRAS, Hernán; SÁNCHEZ, Omar; GALVIS, José Alberto y CASTAÑEDA, Karen Milady. Tecnologías "Building Information Modeling" en la elaboración de presupuestos de construcción de estructuras en concreto reforzado. En: Entramado. vol. 11, no 1, p. 21, 2015.