

CONTROL DE OBRA BAJO METODOLOGÍA BIM MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS MÓVILES EN EL SITIO DE TRABAJO

DANIEL SOSA MORENO

**Trabajo de grado para optar al título de
INGENIERO CIVIL**

CÉSAR AUGUSTO RODRÍGUEZ NAVARRO
ARQUITECTO BIM MANAGER



UNIVERSIDAD EIA
CONSTRUCTORA CONCRETO
INGENIERÍA CIVIL
ENVIGADO
2017

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	7
1. PRELIMINARES.....	8
1.1 Contextualización y antecedentes.....	8
1.1.1 Contextualización.....	8
1.1.2 Antecedentes.....	9
1.2 Objetivos del proyecto.....	12
1.2.1 Objetivo General.....	12
1.2.2 Objetivos Específicos.....	12
1.3 Marco de referencia.....	12
2. ENFOQUE Y METODOLOGÍA.....	15
2.1 Recolección de información.....	15
2.1.1 Fase 1: revisión del estado del arte.....	15
2.1.2 Fase 2: reconocimiento del software.....	15
2.1.3 Fase 3: selección del software.....	16
2.2 Procedimiento.....	16
2.3 Análisis de datos.....	17
3. PRODUCTOS, RESULTADOS Y ENTREGABLES OBTENIDOS.....	19
3.1 Entregables.....	19
3.2 Investigación de aplicaciones aptas para el desarrollo del proyecto.....	19
3.2.1 Software BIM disponible en el mercado para dispositivos móviles.....	19
3.3 Factores de selección del software.....	23

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

3.3.1	Mejores opciones.....	24
3.4	Selección de la herramienta a implementar	28
3.5	Metodología BIM	29
3.6	control en obra.....	39
3.6.1	El proyecto.....	40
3.6.2	Control de cantidades y seguimiento de obra: método tradicional.	47
3.6.3	Control de cantidades y seguimiento de obra: dispositivos móviles.	49
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
	REFERENCIAS	53

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Funciones del software.....	28
-------------------------------------	----

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Retroalimentación al ciclo del proyecto	32
Ilustración 2 Entradas y entregables	33
Ilustración 3 Estructura de Desglose de Trabajo	34
Ilustración 4 Modelo de flujo de trabajo para Metodología BIM.....	39
Ilustración 5 Interiores de los apartamentos y redes	40
Ilustración 6 Cocina, red de gas y sala de estar	41
Ilustración 7 Instalación de malla electro soldada de losa y redes	42
Ilustración 8 Acero de losa	42
Ilustración 9 Encofrado de muros y formaletería de losa del P4.....	43
Ilustración 10 Encofrado de muros	43
Ilustración 11 Limpieza y transporte manual de formaletería	44
Ilustración 12 Planos en oficina	46
Ilustración 13 Planos disponibles en el sitio de trabajo.....	46
Ilustración 14 Control manual de tareas completadas.....	48
Ilustración 15 Control de avance de la estructura en altura	48

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

RESUMEN

En la industria de la construcción se busca usar tecnología para facilitar y estandarizar procesos con fines como la reducción de tiempos, la disminución del error humano y la disponibilidad de información correcta que permita la toma de decisiones de manera oportuna y óptima. Debido a esto desde los años 90 se ha venido haciendo uso del CAD para los diseños de las estructuras, logrando tener diseños más complejos y con mayor detalle que los realizados en papel, además de poder conservar toda la información necesaria para un proyecto de manera ordenada en una computadora. Desde el año 2005 con el avance en los dispositivos móviles y tabletas se fue implementando el uso de estos en el sitio de trabajo, en un principio con fines comunicativos, hasta avanzar a lo que permiten las herramientas que se tienen disponibles hoy en día.

El BIM (*Building Information Modelling*, por sus siglas en Inglés) es un proceso que integra la generación y gestión digital de modelos de un proyecto, BIM es la evolución del CAD (*Computer Aided Design*), que permite el modelado de estructuras más complejas, en mayor detalle y más cantidad de dimensiones, mezclando esto a la portabilidad y facilidad de manejo de un dispositivo móvil, se podría manipular gran cantidad de información directamente desde el sitio de trabajo en tiempo real, logrando sacar el mayor provecho de la unión de ambas tecnologías.

Este trabajo de grado tiene como fin la búsqueda de un software BIM según los requerimientos de la empresa Colombiana, Constructora Conconcreto, y tiene como meta la selección e implementación del software en dispositivos móviles para el control de cantidades de obra desde el sitio de trabajo. El proceso de selección del software a utilizar viene desde la investigación de las posibles opciones presentes en el mercado actual, pasando por la descripción de distintas aplicaciones, llegando a elegir la que se considera tiene las mejores funciones para realizar el trabajo, teniendo como criterio casos de estudios en los que fue aplicada y los beneficios obtenidos, además de factores como la facilidad de adquirirla o las restricciones de uso que pueda presentar para implementarse.

La primera parte del trabajo refleja el proceso y criterios de selección de la que se considera la herramienta más completa para realizar el trabajo, y con la cual se procedería a realizar pruebas en campo y mediciones. No obstante cabe mencionar que la empresa comenzaría pruebas con un software llamado HD Field e InfinID. En la segunda parte del trabajo se realiza una descripción del proyecto en el cual se implementa la prueba piloto, y se presenta el contexto del desarrollo de la prueba, explicando cómo se llevó a cabo y llegando a la propuesta de un modelo de flujo de trabajo que permita realizar este tipo de mediciones en proyectos futuros de manera que la implementación de estas tecnologías con la metodología BIM sea más fructífera para la empresa.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

INTRODUCCIÓN

Con el fin de poder mejorar los tiempos y procesos de control de obra de la Constructora Concreto se busca determinar la viabilidad de la implementación de BIM usado desde dispositivos móviles para realizar dichas tareas desde el sitio de trabajo.

En este documento se describe a profundidad la causa y finalidad de trabajo, y se busca plantear los procesos, herramientas y/o cambios necesarios para permitirse la implementación de la metodología BIM en el área de control de cantidades. Aquí se encuentra la investigación de las herramientas y la metodología que se usó, con base en la cual se buscará plantear una solución a los problemas actuales que presenta dicho control con los métodos tradicionales, los cuales al ser manuales y mecánicos, resultan en muchos casos en retrasos, pérdidas de información o datos erróneos, casos que no son buenos para el proyecto ni para la empresa.

Se investiga en el mercado actual el tipo de software que permita el realizar controles desde el sitio de trabajo por medio de dispositivos móviles, logrando hacer el control de obra de manera más rápida y sencilla, pudiendo conectarse y entregar la información necesaria de manera oportuna a quien la requiera en cualquier momento.

Luego de la investigación de las aplicaciones disponibles se realiza una descripción de las opciones halladas, las cuales pasan por un proceso de selección con base en diferentes factores, llegando finalmente a la selección de la aplicación móvil que será la usada para realizar una prueba piloto en un proyecto de la empresa y así determinar la viabilidad y beneficios de la implementación de esta tecnología en futuros proyectos de la empresa constructora.

Al momento de realizar la prueba piloto se encontraron barreras en procesos de gestión interna por parte de la empresa para el acceso a la información por parte del autor, por lo que se plantearon las necesidades y requerimientos para adaptarse a la metodología BIM, proponiendo un modelo de flujo de trabajo que se desglosa hasta llegar a la actividad de control en obra, y comparando en esta el método tradicional versus la implementación de los dispositivos previamente mencionados. Se analizan y comentan todos los procesos que se siguen en la obra y se mencionan beneficios, falencias y oportunidades de mejora para los procesos.

Finalmente se concluye con base en lo investigado y en las observaciones realizadas en los procesos, apuntando siempre a fundamentar el por qué la compañía debe enfrentar los retos y cambios necesarios para desarrollar sus proyectos siguiendo la metodología BIM.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

1. PRELIMINARES

1.1 Contextualización y antecedentes

1.1.1 Contextualización.

En la construcción como en muchos otros campos de la industria es necesario manejar gran cantidad de variables que permiten el correcto desarrollo y ejecución de los planes y proyectos planteados por una empresa. Con el fin de facilitar el almacenamiento, interpretación y visualización de toda la información necesaria para un proyecto, desde los años noventa los ingenieros y arquitectos empezaron a utilizar *CAD* (*Computer Aided Design*, diseño asistido por computador) y computadores para diseñar en lugar de usar papel y lápiz (Tulenheimo, 2015), logrando convertir la información suministrada a los software y computadores en factores que faciliten la toma de decisiones. Es de gran importancia tener información precisa en el momento necesario para tomar decisiones críticas de manera oportuna y competir en el mercado (Sattineni & Schmidt, 2015).

A medida que pasa el tiempo y los diseños se vuelven más grandes, ambiciosos y complejos, ha sido necesario migrar a la tecnología *BIM* (*Building Information Modelling*, modelado de información de la estructura), tecnologías de modelado y procesos asociados que permiten producir, comunicar y analizar modelos de edificaciones (Bargstädt, 2015). El BIM ha permitido llevar los diseños CAD de 2D a modelos en más dimensiones, como tiempo, espacio y costos, pudiendo analizar factores como duración de las actividades, cantidades usadas, e incluso factores energéticos y de operación de la estructura durante su vida útil.

Aproximadamente desde el año 2005 en la construcción se ha venido usando los dispositivos móviles que permitan visualizar la información de los modelos BIM y enviar información necesaria rápidamente a quien la necesite, una encuesta reveló que el 75% de pequeñas a medianas empresas constructoras de Estados Unidos y Canadá han usado dispositivos móviles para acceder a información del trabajo (Sattineni & Schmidt, 2015). El uso integrado de las tecnologías BIM con los dispositivos móviles ha hecho que en países como Finlandia se haya comenzado a estandarizar normas del uso de dichas tecnologías, mientras que en el Reino Unido ha sido instaurado para el sector público de la construcción la obligación del uso de las herramientas BIM en cierto nivel para el año 2015 (Tulenheimo, 2015).

Siguiendo la tendencia global hacia una estandarización de las reglas de diseño, y la obligatoriedad del uso de BIM que se ha instaurado en varios países, y apuntando a la integración que se logra con dispositivos móviles usando dichas tecnologías, para el total mejoramiento de muchos procesos y reducción de gastos de otros, surge la necesidad de

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

encontrar el tipo de software disponible en el mercado que permita desplegar los datos de las tecnologías BIM en dispositivos móviles haciendo posible la obtención de cualquier tipo de información y control de cantidades de un proyecto en el preciso instante que se desee.

Según Autodesk, un desarrollador clave de herramientas CAD y BIM, 75% de los dólares invertidos en un proyecto están en el campo, y de cada dólar 25 centavos son desperdiciados de alguna manera (Sattineni & Schmidt, 2015). Con software como el Autodesk 360 Field los ingenieros residentes, arquitectos o contratistas, tienen la posibilidad de ver planos, modelos, listas de materiales y entregar información a cada momento, mientras al mismo tiempo actualizan los materiales que se está usando, están pendientes por pedido o llegada al almacén, o las actividades que se realizan en un momento dado.

La Constructora Concreto es una empresa líder en desarrollo de proyectos de infraestructura y edificación en Colombia, con más de 50 años de experiencia en el mercado. Dentro de los puntos que diferencian a la empresa se tiene la eficiencia enfocada a disminuir tiempos y costos (Constructora Concreto, 2014), es por esto que la empresa busca constantemente el desarrollo y la aplicación de nuevas tecnologías que le permitan ir y mantenerse a la vanguardia en la industria de la construcción.

Con la idea de mantener actualizada la información de los proyectos en tiempo real y siguiendo las tendencias globales en el diseño, construcción y operación de edificaciones, se hace necesaria la indagación y el conocimiento del estado del arte del BIM disponible en el momento, y la capacidad de integración de estas a dispositivos móviles, para así buscar cumplir los requisitos y las necesidades que se tienen en la empresa Concreto respecto a estos modelos y su aplicación en el campo para actividades como el control de cantidades de obra y avance desde el sitio de trabajo.

Con base en lo anterior se cree necesario realizar la exploración del software y sus funciones, determinando si estas cumplen con los requerimientos de la empresa, puesto que habiendo información acerca del uso y las ventajas del mismo, no se ha investigado ni implementado su operación y no se conoce de manera muy clara dentro del mercado Colombiano, pudiendo la empresa estar un paso delante de la competencia si llega a sacar provecho de dichas tecnologías.

1.1.2 Antecedentes.

Hoy en día y a pesar de toda la tecnología, herramientas, y software existentes, los procesos en la construcción siguen los mismos pasos que se llevaban en los 1990s, cuando los ingenieros y arquitectos comenzaron a usar los sistemas CAD para sus diseños (Tulenheim, 2015). A pesar de esto, en la búsqueda del progreso, la automatización, el aumento de la productividad y velocidad con que se obtiene la información, se ha ido usando y avanzando la tecnología para cumplir dichos objetivos, es así como desde

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

mediados de los años 2000 se ha venido usando dispositivos móviles como los Blackberry y el Ipad (Sattineni & Schmidt, 2015) en los sitios de trabajo para facilitar la transmisión de la información, con herramientas como mensajes de texto o avanzados software integrados que funcionan en tiempo real.

El BIM está actualmente cambiando la forma en que son diseñadas y ejecutadas las estructuras, facilitando el trabajo multidisciplinario (Mcarthur, 2015), además de traer ventajas como visualización 3D, visualización de las diferentes etapas de la obra, estimación de costos, detección de embotellamientos en procesos, reducción del tiempo de ejecución del proyecto, incrementación la efectividad de los procesos, y otras ventajas más desde el momento de diseño y hasta la etapa operativa (Azhar, 2011), siendo estas y muchas otras herramientas y facilidades que provee el software, las razones por las cuales se ha venido implementado esta tecnología en conjunto con dispositivos móviles en países como EE.UU., Reino Unido y Finlandia.

A continuación se presentan algunos casos de estudio en donde se ha investigado el uso del BIM en dispositivos móviles, para cuestiones del manejo de la información en el sitio de trabajo, ajustes de modelos a estructuras existentes, mejoras en la producción debido al uso de la tecnología, y los resultados y cifras obtenidos de diferentes estudios.

En el artículo “Challenges of BIM for Construction Site Operations” de la “International Scientific Conference Urban Civil Engineering and Municipal Facilities” se habla de haber estado desarrollando esta tecnología (BIM) durante al menos 20 años, y que apenas ahora debido a los ingenieros jóvenes y estudiantes, ha pasado de ser esta una herramienta de renderizado de imágenes para vender al cliente y está logrando ser una herramienta de diseño tanto gráfico como de procesos (Bargstädt, 2015). Se habla de tener una herramienta integradora que necesita una industria que debe manejar muchísimos cambios desde las fases de pre visualización del proyecto hasta la realización del mismo.

Dichos cambios conllevan nuevos procesos, nuevos tiempos, nueva demanda de materiales y mano de obra, aquí es donde entran las herramientas del BIM, mostrando las nuevas alternativas funcionando en tiempo real, para que estas puedan ser aceptadas o rechazadas en momentos de toma de decisiones rápidas.

Como se ha venido mencionando, los diseños y procesos constructivos tienen muchos intermediarios, que a su vez trabajan en sitios apartados y no pueden tener una interconectividad constante, por lo que se hace útil el BIM que permita modificar por medio de todas las partes la información en tiempo real de una manera integrada, pues “la realidad es más rápida que la planeación” (Bargstädt, 2015).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Una de las herramientas más importantes es el “clash detection” (detección de errores), que mientras en un plano podría tomarse como diseño, en el software se mostrará si es una conexión o es un choque de dos elementos antes de tomar decisiones, por lo que al momento de tener un diseño definitivo se tendrá certeza de que el diseño es correcto y se puede proceder a construir.

Por otro lado Matthews et al (2015) realizaron un caso comparativo entre los clásicos diseños, chequeos y mediciones manuales, contra el uso de BIM en la nube, las cuales permiten a todos los integrantes interactuar en tiempo real. La habilidad de dar a un contratista la información que necesita para llevar a cabo un proceso constructivo como es requerido, y de manera eficiente, es sinónimo de buena calidad de la documentación

Varios estudios llevan a la sugerencia de que el uso de dispositivos móviles como tabletas, o smartphones, pueden ayudar a capturar la información en tiempo real in-situ(Matthews et al., 2015). De aquí el autor se basa en un modelo BIM ayudado por dispositivos de realidad aumentada de Meza et al (2014).

Los autores buscaron entonces examinar cómo puede usarse el BIM en la nube que permita proveer y monitorear el progreso y la información en tiempo real, para la toma de decisiones en un caso de estudio. Tomaron a una constructora como caso de estudio, donde se realizaban los procesos totalmente manuales, con listas de chequeo y actas de obra, para comparar con los resultados del modelo de su investigación.

Se levantaron los modelos de la estructura en Autodesk Revit y se llevaron por medio de la nube a Autodesk 360 Field, un software que permite la visualización e interoperabilidad con un usuario desde el sitio de trabajo y una tableta. Por medio del operador en el sitio de trabajo las cantidades de obra y elementos ejecutados se van actualizando en la tableta, y a su vez en la nube, teniendo en tiempo real la información, mientras que el trabajo hecho a mano y verificación de los elementos para después enviar la información crea retrasos.

A medida que los elementos son ejecutados se puede comparar con la programación de obra para saber si algún elemento entrará en ruta crítica debido a los retrasos, pudiendo tomar decisiones adelantadas a la situaciones. Los autores concluyen que ha habido pocos estudios que examinen como puede ser operado el BIM in-situ durante la construcción, en busca de monitorear el progreso real del proyecto, la toma de decisiones y la productividad. Por otro lado como resultado se habla de cómo un proyecto puede ser realísticamente emprendido usando dichas tecnologías.

En otro caso de Automation of Construction, Chen & Luo (2014), buscaron desarrollar un modelo BIM 4D, es decir, que incluyera y procesara la información de los tiempos de trabajo, para investigar la calidad del manejo constructivo y como este se ajustaba a las prácticas constructivas. Con objetivos como asegurar la consistencia entre los diseños y lo ejecutado, tener un proceso de control consistente durante la construcción, tener un sistema

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

colaborativo e integral entre los distintos participantes, y tener la posibilidad de combinar el BIM con otras tecnologías como los dispositivos móviles para aumentar su extensión.

Para ello tomaron diferentes estrategias de control de calidad por inspección del lugar de trabajo, crearon modelos BIM 4D en Autodesk Revit y Navisworks, formular un método de comprobación de calidad basados en las mediciones teóricas, y finalmente el desarrollo de un modelo con un flujo de trabajo en BIM 4D para el proyecto Wuham International Expo Center, en China, mediante el cual sería validado.

Por medio de listas de chequeo se asegura que los trabajos y procesos se realicen de igual manera en cada iteración, para así obtener información congruente y verídica a la hora de ser evaluada. Los resultados obtenidos dan certeza del mejoramiento de la calidad de los procesos y de la colaboración efectiva entre las partes al tener la información clara e ilustrada por medio del software. Se concluye que los modelos BIM se pueden ajustar a construcciones reales por medio de la comprobación en casos de estudio, y con un código y procesos estandarizados se obtiene un modelo bastante ajustado a la realidad.

A pesar de los buenos resultados se hace una recomendación por parte de los autores, acerca de que “el uso de computadores in-situ no es conveniente para este trabajo, pero los dispositivos móviles deberían ser usados en un futuro para el mejoramiento de la recopilación de datos en el campo y la transferencia de estos al BIM” (Chen & Luo, 2014).

1.2 Objetivos del proyecto

1.2.1 Objetivo General.

Determinar la viabilidad del uso de un software que permita controlar la obra por medio de dispositivos móviles con tecnología BIM desde el sitio de trabajo.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Identificar los tipos de software y herramientas existentes dentro del mercado actual que permitan llevar el control de obra in-situ.
- Seleccionar el software cuyas herramientas permitan llevar el control de obra usando dispositivos móviles, aplicado a un modelo BIM en alto detalle.
- Crear un modelo de flujo de trabajo detallando las actividades que se controlarán con el software seleccionado.

1.3 Marco de referencia

Este trabajo es realizado siguiendo la propuesta de la constructora Concreto de investigar la viabilidad de la implementación de un modo de realizar el control de

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

cantidades de obra desde los sitios de trabajo por medio de dispositivos móviles y el uso de BIM.

El trabajo se fundamenta en diferentes casos de estudio que aplicaron la tecnología a diferentes tipos de proyectos en diferentes etapas constructiva, pero todos con resultados similares en cuanto a los beneficios. Siguiendo dichos casos y ajustando la metodología en cuanto a la implementación del software en los sitios de trabajo, se espera conseguir resultados similares a los allí obtenidos, resultando estos en beneficios como:

- Reducción de fechas límite, reducción de la repetición de tareas, reducción del error (Vysotskiy, Makarov, Zolotova, & Tuchkevich, 2015).
- Visualización 3D en el lugar de trabajo de la estructura en diferentes planos, bien sea estructural, arquitectónico o de conexiones eléctricas o hidráulicas. Estimación de costos basándose en la cantidad de material usado y la secuencia constructiva. Proveen datos sobre iluminación y demás factores en la vida de la estructura a lo largo del tiempo (Azhar, S., 2011).
- Retroactividad con los sistemas CAD antiguos, permite usar modelos CAD como base para desarrollar nuevos modelos BIM. Permite la recolección de datos en el sitio de trabajo, facilitando el mantener actualizadas las actividades y cantidades que se usan o realizan en tiempo real desde y en el sitio de trabajo (Mcarthur, 2015).
- Interacción integrada de todas las partes de un proyecto que permiten tener toda la información necesaria para cualquier actividad, permitiendo la toma de decisiones a medida que avanza el proyecto, con posibilidad de realizar cambios rápidos que todas las partes puedan visualizar, teniendo en todo momento la concepción de la realidad del proyecto en cada fase de este.
- Diseño en las diferentes dimensiones del BIM, desde la 2D a la 7D, pudiendo revisar aspectos como los consumos energéticos, de materiales, de recursos, de personal en cada una de las instancias de la obra, ubicación geográfica, iluminación, entre otras.

De la investigación realizada se espera que los resultados y funciones de las herramientas halladas, y en especial de la que resulta como la más prometedora para una futura implementación, brinden los medios necesarios para realizar los controles que se desean, teniendo como meta que la empresa considere viable el uso de dispositivos móviles en los sitios de trabajo que les permitan alcanzar los beneficios y mejoras en sus procesos brindados por estas nuevas tecnologías.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Cabe mencionar que durante la etapa de investigación del software disponible, la Constructora Concreto estaba en búsqueda del software para una prueba piloto usando dispositivos móviles para el control de cantidades. Al momento de dar inicio a la toma de mediciones con la herramienta seleccionada en el trabajo, la empresa comenzó dicha prueba con un software diferente en un proyecto de edificación que ya había comenzado. Se usaron algunos datos y conceptos de quienes realizaron las pruebas para determinar el funcionamiento del software, y de ahí determinar el camino que debía seguirse para lograr adaptar dicha tecnología a la metodología de trabajo.

Con base en la información recopilada se plantean los retos y beneficios que conlleva no solo el uso de esta tecnología en dispositivos móviles, sino que se plantean las necesidades y retos a nivel organizacional que conlleva aplicar la metodología BIM. Finalmente se plantea un modelo de flujo de trabajo desglosando desde el macro que es la metodología BIM, siguiendo hacia el control de actividades por medio de esta, y llegando al uso de los dispositivos móviles para realizar dicho control en el proyecto en que se está aplicando actualmente, Mantia Apartamentos.

2. ENFOQUE Y METODOLOGÍA

2.1 Recolección de información

2.1.1 Fase 1: revisión del estado del arte.

Realizar una revisión del estado del arte en lo que respecta al uso de BIM desde dispositivos móviles destinado al control de obras civiles. Dicha búsqueda se realizará principalmente en las bases de datos que proporciona la Universidad EIA, al igual que en documentos de investigación primarios y secundarios, trabajos de grado, y con la ayuda de los expertos de BIM Management de la empresa Concreto.

En esta fase se buscan principalmente los resultados de estudios o modelos que se hayan realizado o controlado por medio de tecnologías BIM en dispositivos móviles, siendo los de mayor importancia los estudios o modelos de casos reales que hayan usado BIM en cualquiera de sus etapas, diseño, constructiva, o con la obra finalizada. Con la evaluación de estos casos de estudio se espera extraer la mayor información de la implementación del software, pros y contras, al igual que conocer las herramientas de los distintos tipos de software usados y la disponibilidad de los mismos dentro del mercado.

2.1.2 Fase 2: reconocimiento del software.

Con base en la revisión del estado del arte y profundizando en las herramientas y beneficios mencionados y obtenidos por los casos de estudio, se continúa la investigación del software disponible para dispositivos móviles, teniendo como base de partida la búsqueda en las casas desarrolladoras del software usado en los estudios y la facilidad de obtención del mismo, sumándose a estos las opciones encontradas fuera de los estudios.

En esta fase se apunta a encontrar la mayor cantidad de programas que se puedan ajustar a lo que se está buscando, para que partiendo de estos se pueda realizar un proceso de pre-selección, con base en las reseñas del software y sus características, las ofertas de los desarrolladores, los casos de estudio y los resultados de los mismos, por medio un proceso de selección que permita conocer las diferentes características y beneficios que ofrece un programa determinado, al igual que sus puntos débiles y restricciones.

A partir de esta Fase se comienza un proceso de filtro de las posibilidades encontradas, teniendo como factor de evaluación las posibilidades de visualización, retroactividad, integración, y facilidad de manejo, entre otros, que presente el software sobre un modelo BIM en alto detalle realizado en Autodesk Revit de un proyecto de edificación de la empresa Concreto.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

2.1.3 Fase 3: selección del software.

De la pre-selección de la fase anterior, y con base en la complejidad y versatilidad de las funciones que preste cada software, para la selección de la herramienta correcta, se pasa a evaluar por lo menos 2 de las propuestas de software que parezcan más convenientes para la tarea. En este punto la búsqueda e información de las herramientas que ofrece el software se profundiza y amplía respecto a la fase 2. En esta fase se buscará definir cuál del software disponible en el mercado actual será el elegido para el trabajo desde el dispositivo móvil, por lo que para las dos posibles y mejores opciones obtenidas de todo el proceso de selección previo se realizará un estudio más minucioso.

En esta etapa se busca hacer un comparativo entre los dos software seleccionados, por medio de la inspección de sus herramientas aplicadas desde el sitio de trabajo, haciendo uso de videos tutoriales, investigación de casos aplicados, y las diferentes especificaciones y explicación del software que provea el desarrollador. Se investiga además que software es más poderoso en cuanto a su capacidad de almacenamiento, detalle de los modelos, interoperabilidad tanto con otro software como con otros usuarios dentro de la misma plataforma, velocidad de operación; y de igual forma las restricciones de trabajo como el uso de redes de datos, complejidad del modelo, costo o cantidad de licencias otorgadas, entre otros.

Luego de la evaluación a fondo y realizar una comparación completa del software, se presenta al BIM Manager de la empresa Concreto la herramienta propuesta para realizar las labores de control de obra, y se examina en conjunto las necesidades propias de la operación del modelo BIM en el dispositivo móvil para pasar a hacer los ajustes necesarios al modelo para el uso correcto del dispositivo desde el sitio de trabajo.

2.2 Procedimiento

Terminada la investigación de las herramientas disponibles en el mercado, que contaran con las funciones que prometieran cumplir con la tarea de control, se pasó a revisar los requerimientos para la implementación del software BIM en los dispositivos móviles (Tablet). Como se mencionó anteriormente debido a procesos de gestión interna de la empresa no fue posible el acceso al proyecto, al software ni a cierta información, por lo que los datos necesarios para el desarrollo de este documento fueron extraídos de fuentes bibliográficas y entrevistas a quienes realizaron la prueba piloto.

Por medio de investigación, visitas y entrevistas, se obtuvo información acerca de la prueba piloto, como esta había sido planteada, desde que etapa se estaba ejecutando, que actores involucraba, tiempos de realización, complejidad de los datos de entrada y salida del sistema, retos y beneficios que presentaba el sistema, entre otros. Basándose en esto se comenzó a determinar que la tecnología necesitaba un cambio y un enfoque diferente desde niveles superiores en los procedimientos constructivos y organizacionales de la empresa, y

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

que para obtener los beneficios de la implementación de BIM no bastaba con simplemente realizar mediciones de unas cuantas tareas y comparar con el método tradicional de toma de mediciones.

A partir de lo anterior se determinó que es necesario realizar cambios en la forma en que se desarrolla un proyecto, pero no simplemente en la parte del control de cantidades por medio de las nuevas tecnologías que aquí plantean probarse, sino casi a un nivel organizacional, que en la medida en que se desglosan sus actores y las responsabilidades de estos, se hace necesario comprender la metodología BIM, en donde el producto de cada una de las partes es un insumo para los siguientes actores, y a su vez parte de un proceso más grande, donde finalmente se llega a una de tantas actividades que es el control de la parte constructiva.

Siguiendo el orden de ideas, se plantea un modelo de flujo de trabajo que vaya desde lo organizacional, hasta la tarea de control dentro del proyecto piloto, planteando desde el comienzo cuáles son los requisitos que se deben cumplir para que la aplicación de la metodología BIM funcione en un proyecto, reflejándose al final en la posibilidad de obtener los beneficios anteriormente mencionados en el documento por medio de la aplicación de herramientas BIM en dispositivos móviles desde los sitios de trabajo para la tarea de control de cantidades.

Habiendo sentado las bases del flujo que se debe seguir, se describe detalladamente el proyecto piloto. Se caracteriza el proyecto que se está ejecutando y se describe la forma en la que actualmente se lleva la tarea de control siguiendo el método tradicional. Posteriormente se describe el proceso de toma de datos mediante el software HD Field, y se analiza el funcionamiento del mismo, buscando las ventajas o falencias de la implementación del mismo, para así proponer soluciones que permitan aprovechar dicho recurso al máximo. Cabe mencionar que al no haber sido posible la obtención de información o manejo del software por parte del autor, el análisis de resultados y soluciones propuestas estarán fundamentadas en el conocimiento teórico-práctico que se logró conseguir durante el proceso de desarrollo de la investigación.

2.3 Análisis de datos

De los datos obtenidos se realizarán comparaciones versus los casos de estudio de los documentos bibliográficos, al igual que de los recursos visuales y datos que proveen los desarrolladores del tipo de software aquí evaluado, con el fin de obtener conclusiones no solo sobre la pertinencia del uso de dicho software, sino además sobre que opción habría sido más productiva, y sus diferentes posibles ventajas, necesidades y características.

Nuevamente se evalúan las necesidades de cambio de la metodología de trabajo o enfoque desde el nivel organizacional, llegando paso a paso hasta la tarea de control en obra, detallando cómo los cambios necesarios suponen beneficios para la compañía y a qué nivel dichos casos presentan beneficios. Para cada propuesta se busca tener material bibliográfico

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

o datos que la soporten, estando apoyado así por otros autores o mediciones reales, consiguiendo que las propuestas sean prácticas y estén bien fundamentadas.

Finalmente, del análisis de los datos e información recopilada se realiza una serie de conclusiones que permitan conocer las fortalezas y retos de la implementación de BIM para la empresa, proponiendo soluciones y comentando los resultados de la prueba piloto con el fin de que los procesos que actualmente se realizan sean revisados y optimizados para obtener el máximo provecho de la implementación de estas nuevas tecnologías.

3. PRODUCTOS, RESULTADOS Y ENTREGABLES OBTENIDOS

3.1 Entregables

Tabla 1 Entregables

PRODUCTO ESPERADO	INDICADOR DE CUMPLIMIENTO	OBSERVACIONES	ENTREGABLE
Software que permita realizar tareas de control de obra desde el sitio de trabajo.	Encontrar el software con las herramientas necesarias que permitan realizar la tarea.	Basado en las cualidades presentadas por el desarrollador de software y las reseñas y casos de estudio sobre la herramienta, se considera que será apta para realizar los controles deseados.	Informe de la investigación y diferentes funcionalidades de las herramientas investigadas, proceso de selección y conclusiones sobre el software seleccionado.
Creación de un flujo de trabajo que siga la metodología BIM.	Plantear un flujo de trabajo con su respectiva EDT para las diferentes tareas y actores.	Siguiendo los requerimientos de la metodología BIM se determina que el flujo de trabajo presentado es correcto y permitirá integrar adecuadamente la metodología.	Flujo de trabajo relacionando las diferentes tareas y actores, sus responsabilidades, y cómo estas se integran para lograr el objetivo.

3.2 Investigación de aplicaciones aptas para el desarrollo del proyecto

3.2.1 Software BIM disponible en el mercado para dispositivos móviles.

En esta etapa se investiga diferentes aplicaciones que puedan ser útiles para el desarrollo del trabajo dentro del mercado. Se toman descripciones del diferente software BIM hallado, bien fuera de las grandes casas desarrolladoras conocidas dentro del área de la ingeniería civil, la arquitectura, y la construcción, así como de otros desarrolladores diferentes que presenten un software relativamente competente con el que se encuentra en el mercado del BIM actualmente.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Los programas que serán descritos a continuación fueron elegidos de entre una gran cantidad de propuestas que se hallan en el mercado, tomando en una primera pre-selección los que se consideren que cumplan las características principales que los permitan pasar una evaluación más detallada de sus herramientas, compatibilidad con dispositivos móviles, posibilidad y precio de descarga o licencias dentro de la app, la interoperabilidad de diferentes partes dentro del modelo, y una de las más importantes, la compatibilidad del sistema con el software de diseño BIM usado en Concreto para este caso, Autodesk Revit.

Algunas de las ventajas de este tipo de software es la capacidad de usar la limitada memoria RAM o capacidad de los computadores portátiles o los dispositivos móviles sin tener que tener un programa específico para cada tarea diferente como la visualización, la creación o la modificación de archivos, lo cual colmaría un dispositivo de aplicaciones para cada fin. Esta falencia en la capacidad de estos dispositivos es subsanada aprovechando las virtudes de conexión a la nube de dichos dispositivos, lo que permite realizar cambios remotos en un modelo sin tener que almacenar la gran cantidad de datos que este posee en la memoria del dispositivo que se esté usando.

Algunas de las aplicaciones encontradas en artículos de revistas del área de la ingeniería, arquitectura y la construcción, además de la información extraída de diferentes desarrolladores, fueron:

- **Graphisoft BIMx:** una app para presentar modelos de Graphisoft ArchiCAD, un software de BIM. Esta permite la integración de 2D y 3D para la navegación en proyectos de edificación creados en ArchiCAD.
- **Tekla BIMsight Mobile:** aplicación que permite la visualización de modelos BIM y IFC (*Industry Foundation Classes*), este último siendo un tipo de archivo neutral, compatible con varios desarrolladores, lo que permite desplegar modelos creados en diferentes aplicaciones en el dispositivo móvil. Una aplicación similar del mismo desarrollador similar es Tekla Field 3D.
- **McNeel iRhino:** permite descargar modelos de McNeel iRhino 3D desde páginas web, al igual que de Dropbox, google drive o e-mail, permitiendo guardar imágenes para que sean escritas modificaciones en el modelo.
- **LCi Sightspace3D:** una herramienta de realidad aumentada que permite visualizar modelos de diferentes tipos de archivo a través de dispositivos móviles.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- **Navigator Pano Review:** un navegador que permite la visualización y marcación de modelos del software Bentley. Está optimizado para iPad y puede combinarse con archivos de MicroStation DGN, Autodesk Revit y DXF, AutoCAD (DWG), y otros softwares del mercado.
- **Structural Synchronizer:** otra app de Bentley que permite manejar cambios, sincronizar datos, llevar un historial de revisión y visualizar el modelo. Este integra la modelación, análisis y diseño estructural, documentación y redacción, además de detallado y fabricación, todo en formatos neutrales.
- **Autodesk 360 mobile:** un visualizador de datos para la anotación en dibujos de cuentas Autodesk 360, con posibilidad de vistas en 2D y 3D, dando diferentes opciones de navegación y acceso a metadatos.
- **Revitzo Viewer:** permite abrir, explorar y colaborar en modelos arquitectónicos desarrollados en Revit Editor.
- **SketchUp Viewer:** un visualizador de modelos que permite la navegación y vistas básicas de un modelo determinado antes de descargarlo.
- **Mycadbox:** una app que trabaja modelos realizados en SolidWorks, Revit y MicroStation, permite compartir y anotar en tiempo real desde el iPad.
- **BIManywhere:** permite el acceso desde el iPad a la información del modelo desde el sitio de trabajo. Su desarrollador asegura que la aplicación debido a su diseño patentado tiene la velocidad más alta en el mercado de los visualizadores de modelos.
- **Newforma:** de un desarrollador de software de manejo que ha dividido sus aplicaciones en diferentes áreas para el control de los proyectos, como: planos, tareas, correos, apuntes en campo, entre otros.
- **Buzzsaw Mobile:** permite acceder a los diseños de la industria de la ingeniería, arquitectura y construcción, usando modelos de Revit o Navisworks, aceptando

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

metadatos y visualización en 2D y 3D, además de poderse conectar y subir información a la nube.

- **Projectwise Mobile:** permite trabajar con modelos desarrollados en Bentley, con la desventaja de tener que sincronizar en la oficina los datos recopilados en campo.
- **InfraWorks 360:** permite al usuario acceder, ver y colaborar en modelos levantados con Autodesk InfraWorks, capaz de desplegar los modelos en una Tablet sin la necesidad de software de escritorio adicional.
- **BIM 360 Field:** es un software de manejo desde campo que permite crear y actualizar los documentos del proyecto en evaluación, permite correr programas de aseguramiento de la calidad, la seguridad y listas de chequeo del avance. Permite acceso a BIM 2d y 3D, anotaciones, recolección de datos del equipo en campo y compartir reportes, todo desde el sitio de trabajo.
- **BIM 360 Glue:** desarrollado por Autodesk, este software permite la colaboración en tiempo real de diferentes dispositivos, bien sea en campo u oficina, para tareas de visualización, coordinación o detección de errores de modelos multidisciplinarios.
- **Viewpoint:** permite mantenerse conectado desde el campo con los datos de 4Projects, esto permite que diferentes miembros de un equipo puedan compartir y trabajar en documentos como los RFI (*Request For Information*) que permiten conocer el estado de una etapa en un proceso, para así tomar una decisión sobre el paso a seguir.
- **P6 Team Member:** de la casa Oracle de software, esta aplicación permite la visualización y actualización remota de tareas asignadas y está disponible para dispositivos Apple y Android.
- **Veo Mobile:** permite a los usuarios acceder y colaborar con la información del proyecto desde cualquier sitio. Permite ver y actualizar documentos, fotografías y dibujos, además de información propia del modelo así como de los elementos

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

encontrados en sitio, permitiendo rastrear procesos y seguir diferentes listas de las labores y elementos.

- **Procore:** una plataforma de herramientas para la gerencia de proyectos que facilita la colaboración y mejora la eficiencia de los mismos. Permite la realización de gran cantidad de tareas correspondientes a la construcción, pero estas enfocadas al área administrativa.
- **AutoCAD 360 Mobile:** una aplicación desarrollada por Autodesk que cumple con la misma función del AutoCAD, con la diferencia de que su funcionamiento y almacenamiento funcionan directamente en la nube.
- **Autodesk Remote:** permite realizar algunas de las funciones de las versiones de escritorio de softwares como Revit o Maya, solo que de forma remota por medio de una interfaz compatible con el iPad.
- **Autodesk Formit:** es una herramienta de diseño conceptual que es compatible tanto con dispositivos móviles como de escritorio, esta aplicación experimenta con diferentes tipos de tareas e interfaces.
- **OrtoGraph Architect:** es una aplicación CAD para el iPad, ideal para trabajar con las plantas de los edificios y los planos de los mismos, permite también la realización de bocetos.

3.3 Factores de selección del software

Las anteriores aplicaciones en general tienen virtudes muy similares en ciertos casos, como la capacidad de trabajar en la nube desde redes WiFi o 3G/4G bien sea con conexión directa o la posterior sincronización de datos, las facilidades del trabajo remoto haciendo posible la toma de datos en campo con dispositivos móviles fáciles de llevar en todo momento, la posibilidad de trabajo colaborativo, y los diferentes tipos de archivos que soportan dichas aplicaciones.

Sin embargo las aquí mencionadas no son todas aptas para seguir como posibles candidatas para la su implementación debido a sus distintas naturalezas y funciones, pues se tienen

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

algunas que solo cumplen con algunas de las funciones necesarias como la visualización de los archivos, posibilidad de hacer anotaciones, trabajo colaborativo, herramientas de gestión, acceso y almacenamiento en la nube, crear y editar archivos.

Debido a lo anterior se opta por elegir las aplicaciones que se consideran más completas y explorarlas más a fondo, evaluándolas según los siguientes criterios:

- Posibilidades de colaboración.
- Mejora de procesos.
- Eliminación de redundancias.
- Información en tiempo real.
- Disponibilidad de documentos virtuales.
- Toma de datos in-situ.
- Compatibilidad con el tipo de modelo realizado.

Siguiendo dichos factores se pasan a evaluar las herramientas que cumplen todas o la mayoría de las condiciones necesarias para ser consideradas aptas, esto en búsqueda de que al ser puestas en funcionamiento puedan cumplir con los requerimientos necesarios para considerarse la herramienta correcta para el trabajo que desea realizarse con el trabajo desde campo (Grayson, 2012):

- Aumento de la precisión, velocidad y cantidad de información que es tomada.
- Vista en tiempo real del plan de avance y tareas por venir.
- Capacidad de reportar el avance en tiempo real.
- Incrementar el conocimiento y la integración que se tienen con los procesos en campo.
- Mejorar la seguridad del campo.
- Disminución en la repetición de procesos manuales.
- Buscar una reducción o total eliminación la pérdida de información.
- Reducción en el llenado de formatos innecesarios.
- Reducción del uso de papel.

3.3.1 Mejores opciones.

En esta instancia se usarán los datos y características provistas por el desarrollador, al igual que reseñas de los usuarios de los diferentes sistemas, para en el próximo paso determinar cuál o cuáles son las opciones más viables para realizar los controles en obra en un futuro.

Las herramientas seleccionadas fueron:

- **BIMx y BIMx Pro, de Graphisoft:** un software ganador de diferentes reconocimientos con una tecnología única para integrar modelos 2D y 3D para la navegación de proyectos, ayudando a disminuir la brecha entre la oficina de diseño y el sitio de construcción (Graphisoft, 2016).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Ha sido descargado por más de 500.000 usuarios a nivel mundial, ayudando a profesionales y clientes como una herramienta de presentación y colaboración en los proyectos.

La aplicación cuenta con dos versiones, una ligera que es gratuita y otra más completa con un costo de descarga en el AppStore. Esta aplicación presta funciones como: hiper-modelo BIMx, visualizador de documentos, compartir diseños, información detallada por elementos, herramientas para la colaboración que permiten mejorar la productividad en campo y oficina, herramientas de medición, mensajería y anotación en la nube, adición de fotografías, y la posibilidad de tomar información de páginas web externas o bases de datos.

A pesar de ser una herramienta muy útil y completa, cumple funciones más enfocadas al área de la arquitectura, facilitando la presentación y visualización de los proyectos con realidad aumentada en tiempo real desde cualquier sitio, y pese a las posibilidades de trabajo en conjunto desde la nube, las herramientas de anotación pueden quedarse cortas para efectos del control de obra. Otra de sus desventajas es que solo trabaja con archivos ArchiCAD.

- **BIMsight Mobile y Field3D, Tekla:** “una herramienta profesional para coordinación del diseño y ejecución en la construcción” (Tekla BIMsight, 2016).

Permite el trabajo en conjunto de las diferentes partes del proyecto, bien sea la arquitectónica, estructural o del constructor, permitiendo la detección de choques o errores del modelo, desde una visualización 3D.

Permite a las partes analizar un diseño previo a su ejecución para determinar preventivamente cambios necesarios para evitar percances en la fase constructiva. Ha sido usada por más de 100.000 usuarios en más de 160 países, desde su lanzamiento en el 2011.

Soporta archivos IFC y cumple funciones como: navegación 3D, medición, adjuntar, anotar y comentar planos, detección automática de errores en el modelo, agrupar y encontrar elementos del modelo, almacenamiento en la nube para trabajos en conjunto, sincronización automática.

Es una aplicación que compite con otras con funciones similares como Autodesk Navisworks Manage, Bentley Projectwise Navigator y Solibri Model Checker, pero

prestando sus servicios gratuitos a diferencia del costo entre USD \$1.000 y USD \$6.000 de sus competidores.

- **Navigator, Bentley:** esta herramienta permite una gran inclusión del usuario en el proyecto por medio de la visualización clara de la información del proyecto en 3D, además de mejorar la coordinación y acelerar el trabajo en conjunto a través de la rápida comunicación y actualización de las situaciones vividas en campo reportadas por el personal que allí opere, teniendo en tiempo real la información en todos los dispositivos del sistema (Navigator Mobile, 2016).

La aplicación soporta diferentes archivos de la industria AEC (*Architecture, Engineering and Construction*), lo que permite desplegar diferentes tipos de modelos para realizar funciones como: revisar, marcar y navegar por modelos de todo tipo, conectarse y recibir la última versión de los modelos en uso, crear reportes visuales para mejor entendimiento, buscar elementos según sus propiedades e información, resolución de problemas por medio del uso de formularios, la nube y flujos de trabajo; y la posibilidad de trabajo con o sin conexión a internet.

- **BIManywhere, Zimfly Inc:** “una plataforma visual de colaboración BIM para la construcción y el manejo de las instalaciones” (BIManywhere, 2016).

La plataforma mejora la comunicación entre las partes del equipo, además de los flujos de trabajo, y maneja las dificultades antes de éstas lograr afectar el proyecto en términos de costo y programación. Se presta para dar la información necesaria cuándo y dónde se necesita.

La integración de todas las partes del equipo y la disponibilidad de la información en todo momento, actualizar y anotar comentarios acerca del estado actual del proyecto; presentar características, ubicación y medidas de los elementos; reducir y prevenir cuellos de botella con la entrega oportuna de la información, son algunas de los resultados esperados con la implementación de la aplicación.

- **BIM 360 Field, Autodesk:** “un software de manejo de entornos 2D y 3D que combina tecnologías del sitio de construcción con colaboración y reportes en la nube” (BIM 360 Field, 2016).

Este software entrega la información crítica a aquellos que la necesitan en el sitio de trabajo, ayudando a mejorar la calidad, seguridad y progreso en la construcción de proyectos de cualquier tipo. Soporta más de 50 tipos de archivos y permite el trabajo con o sin conexión a internet.

Algunas de las funciones que cumple son: creación y gestión de conflictos y listas de chequeo, compilar la información de las listas de chequeo o de avance para proyecciones o períodos de tiempo, pre configurar listas para estandarizar procesos; diferentes herramientas de visualización y anotación en archivos para trabajos en conjunto; trabajo en conjunto con almacenamiento en la nube, permitiendo el envío y despliegue de todo tipo de archivos; herramientas de gestión que permiten dar record de las fuerzas y elementos de trabajo, su nivel de avance y su estado en el instante.

- **Viewpoint Mobile y Field View, Viewpoint Inc:** estas herramientas poseen diferentes secciones enfocadas a la producción, tiempo, equipo y la gestión de los proyectos. Con la posibilidad de trabajo en conjunto desde la nube todos los interesados pueden tener la información de un proyecto en todo momento y en tiempo real, siendo la única limitación un código provisto por el desarrollador, necesario para la activación de los programas.

Los beneficios esperados incluyen: facilidad y transparencia para la visualización y entrega a las partes interesadas, reducción de riesgos mediante el uso de herramientas para la detección y solución de conflictos, reducción de costos por la consistente captura y reporte de datos, entre otros.

- **Veo Mobile, M-six Technology:** un software que además de su versión móvil cuenta con plug-in para programas como Revit, AutoCAD y Excel en sus versiones de escritorio.

Presta funciones de escaneo de códigos QR y navegación por los elementos enseñando su información, posibilidad de adjuntar notas y fotos desde el sitio de trabajo, manejo de todo tipo de listas de avance, chequeo y aseguramiento de la calidad que permiten la reducción de errores y la detección de los mismos, y trabajar con o sin conexión a internet.

Requiere un registro previo en una cuenta de la página del desarrollador.

En el siguiente paso se pasan a evaluar las aplicaciones más allá de sus reseñas, revisando casos en los que fueran aplicadas y las herramientas y funciones que presentan sus desarrolladores, prestando especial atención a los resultados que puedan ser obtenidos mediante su implementación.

3.4 Selección de la herramienta a implementar

Tabla 2 Funciones del software

Herramientas	BIMx y BIMx Pro	BIMsight Mobile y Field3D	Navigator	BIManywhere	BIM 360 Field	Viewpoint Mobile y Field View	Veo Mobile
Desarrollador	Graphisoft	Tekla	Bentley	Zimflly Inc	Autodesk	Viewpoint Inc	M-six Technology
Combinación de proyectos							
Archivos soportados	ARCHICAD	IFC	Algunos neutrales	Navisworks y algunos neutrales	Más de 50 tipos	Algunos neutrales	Algunos neutrales
Visualizar varios modelos	X			X	X		
Chequeo del modelo							
Navegación 3D	X	X	X	X	X	X	X
Mediciones	X	X		X			
Adjuntar planos		X		X	X		X
Anotaciones		X	X	X	X	X	X
Resaltar	X	X		X	X		X
Detección automática de errores		X	Manual	Manual	X		
Guardar vistas del modelo	X	X	X	X	X		
Información de elementos		X	X	X	X		X
Manejar objetos por grupos		X	X	X	X		
Colaboración							
Crear notas		X		X	X	X	X
Compartir notas		X	X	X	X		X
Crear y manejar listas					X	X	X
BCF (BIM Collaboration Format)		X	X	X	X	X	X
Compartir proyectos	X	X	X	X	X	X	X
Trabajo con o sin conexión a internet				X	X		X
PLATAFORMA	IOS	IOS/Android	IOS/Android	IOS	IOS	IOS	IOS
Precio	USD \$49.99	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Después de analizar las funciones básicas de cada aplicación, además de reseñas de sus usuarios, con base en la tabla anterior se opta por usar la aplicación Autodesk BIM 360 Field.

Dicha herramienta, además de ser una de las más completas entre las investigadas, es desarrollada por la misma casa del programa usado para realizar los modelos BIM en Concreto, Autodesk, realizados con el software BIM Revit. Sumado a esto es la aplicación con más soporte, tanto reseñas positivas de los usuarios, como tutoriales y videos explicativos de su funcionamiento y la óptima utilización de sus herramientas. Además cuenta con un gran número de casos de estudio en que la herramienta fue utilizada en proyectos de construcción de edificaciones, algunos de los cuales ya han sido mencionados en este trabajo, por lo que finalmente se toma la decisión de usar el programa con fuertes bases de que sea el indicado para el trabajo.

No obstante, cabe mencionar que siendo las demás aplicaciones otras de las mejores en el mercado, y competencia directa de Autodesk, se mantendrán como respaldo las aplicaciones BIManywhere y Veo Mobile, debido a la gran cantidad de características y herramientas que poseen, pudiendo saciar alguna deficiencia que se encuentre durante el uso de la aplicación seleccionada, BIM 360 Field.

3.5 METODOLOGÍA BIM

BIM actualmente se puede definir como un modelo de negocio, que busca gestionar más eficientemente un proyecto a partir de la creación de un producto digital, que contiene información que optimiza cada proceso dentro del flujo de la construcción.

La metodología BIM se convierte en un conjunto integrado de procesos, herramientas, personas y prácticas empresariales, que combina la experiencia empresarial, con el trabajo colaborativo y una estructura tecnológicamente potente para aportar eficiencia, mayor productividad y calidad a la construcción de un proyecto.

Es por esta razón que en la actualidad la metodología BIM está muy ligada a la metodología PMI (*Project Management Institute*, por sus siglas en inglés) ya que ambas tienen como fin la gestión eficiente de un proyecto y dentro de compañías con estructuras complejas y portafolios amplios esta combinación se convierte en la mezcla perfecta para lograr el éxito en productividad.

Se podría obtener como beneficios de esta combinación:

1. Procesos Colaborativos e Integrados
2. Posibilidades de toma de decisiones más informadas.
3. Entender el trabajo y su proceso en las etapas más tempranas

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

4. Evitar cambio sin control y con mayor impacto (cambios en diseño y no en obra)
5. Asociatividad bidireccional – Coordinación Documental
6. Planeación estratégica – entregar lo esperado
7. Constructibilidad
8. Conectividad interdisciplinaria – comprender áreas que no estén claras
9. Detección de conflictos – reducción del costo
10. Flexibilidad, adaptabilidad y sustentabilidad de los proyectos.
11. Estandarización y Parametrización
12. Visualizar los límites de los proyectos e identificar la complejidad.

Este tipo de metodología generan y exige un cambio importante en las organizaciones debido a que son procesos donde el 70% corresponden al cambio cultural, desarrollo de habilidades de liderazgo, trabajo colaborativo, integración, comunicación, transferencia de conocimiento y productividad. El 20 % corresponde a procesos, mejorar en definición de alcance, planeación estratégica y eficiente, construcción adecuada de EDT (Estructura de Desglose de Trabajo), seguimientos y mediciones con mayor precisión y control, ejecuciones más ágiles y ordenadas. Y por último 10% corresponde a tecnología, contar con software BIM adecuados para cada proceso, infraestructura adecuada para los requerimientos tecnológicos que se empleen, soporte y actualizaciones (Jiménez, 2017).

De este cambio de mentalidad y de la comprensión de la metodología BIM, será posible en las instancias de seguimiento y control en obra poder obtener mejores resultados más provechosos del manejo virtual de la totalidad de la información de un proyecto en este caso una plataforma BIM que se alimenta por mediciones realizadas desde el sitio de trabajo.

Previo a implementar el tipo de software que se desea para realizar control y medición en campo, se debe entender que cambios en la metodología de trabajo requiere este para funcionar y poder ser aplicado a plenitud. Los cambios necesarios para adaptarse a la metodología BIM no son pequeños, y estos traen consigo grandes retos para una compañía, pero afrontar estos retos y adaptarse a nuevas tecnologías es lo que mantiene a la Constructora Concreto en el ranking de las más grandes en Colombia. La literatura sugiere que existen dos tácticas primarias para que una organización maneje su imagen: proteger la imagen establecida por la organización de ser degradada y mejorar la imagen de la organización basándose en las oportunidades emergentes (Rosenfield et al., 1995).

A pesar de sus ventajas potenciales la implementación de BIM implica una variedad de procesos y barreras organizacionales que pueden influir significativamente las intenciones de utilizar BIM, puramente basadas en criterios técnicos o económicos (Cao, Li, Wang, & Huang, 2015). Frente a estos retos y la creciente fuerza con la que viene esta metodología tanto a nivel global como en Colombia, donde la empresa sería una de las pioneras, adaptarse supondría además de mantener el liderato en la industria, sobrevivir y mantenerse en el largo plazo, progresando en el campo de la tecnología y la innovación (Aladag, Demirdögen, & Isik, 2016).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Siendo una necesidad de la empresa seguir liderando en la industria, además de seguir innovando, realizar los cambios que plantea BIM se vuelve una necesidad para esta. Replantear la metodología del trabajo se hace necesario no solo en las tareas individuales en el desarrollo de un proyecto, sino que se debe enfocar una gran fuerza de trabajo a conocer e integrarse como un gran sistema de información bajo las normas y procedimientos según los que opera la metodología BIM, desde las primeras etapas de planeación y diseño.

Actualmente el diseño de un proyecto se lleva a cabo por diferentes equipos de trabajo de todo tipo, desarrolladores de proyectos, ingenieros de varias clases, arquitectos, entre otros, los cuales producen planos y diseños aislados entre sí, conteniendo solo los elementos por los que cada uno es responsable (Czmoch & Pękala, 2014), planos y diseños que con gran seguridad tendrán que ser modificados debido a incongruencia de medidas, ocupaciones simultáneas de un espacio por dos elementos, dificultades constructivas, entre otros. De aquí parte uno de los problemas a la hora de ejecutar el proyecto, cuando el constructor, que no había sido tenido en cuenta en las etapas previas a la construcción, se vuelve responsable de toda la complejidad del proyecto y se vuelve una pequeña base de datos con toda la información del proyecto y de colisiones entre diseños que deben ser solucionadas (Czmoch & Pękala, 2014).

Se hace obligatorio pensar entonces en el constructor como parte fundamental del proyecto, pero no solo en la etapa de ejecución, sino como un actor fundamental desde las primeras etapas de planeación y diseño del proyecto. Aprovechando la posibilidad de integrar y validar los diseños de las diferentes disciplinas (estructural, arquitectónica, redes, entre otras) (Ciribini, Mastrolembo Ventura, & Paneroni, 2016), se logra que todo el equipo de trabajo pueda detectar dificultades o inconsistencias mucho antes de que siquiera comience la ejecución del proyecto, y que con base en la experiencia y conceptos del constructor se determinen factores como maquinaria, mano de obra, dificultades constructivas, y otros factores que de no tomarse en cuenta en la planeación del proyecto, resultarían en retrasos, tiempo y dinero en el momento de la ejecución.

Teniendo al constructor como un insumo, se plantea como debería ser una estructura de trabajo enfocada en la metodología BIM, comenzando desde la etapa de factibilidad en dónde la empresa evalúa un proyecto bien sea propio o de un cliente, y pasando por diferentes etapas que tienen como insumo procesos anteriores, para servir a quien sigue en la cadena de desarrollo y que a su vez sirven como retroalimentación de todos los procesos que finalmente constituyen el proyecto. La metodología BIM propone entonces un flujo de trabajo cíclico y de retroalimentación, en donde todos los procesos se integran y se complementan, hasta un proceso de cierre que genera reportes para otros futuros proyectos y para la compañía misma.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Ilustración 1 Retroalimentación al ciclo del proyecto

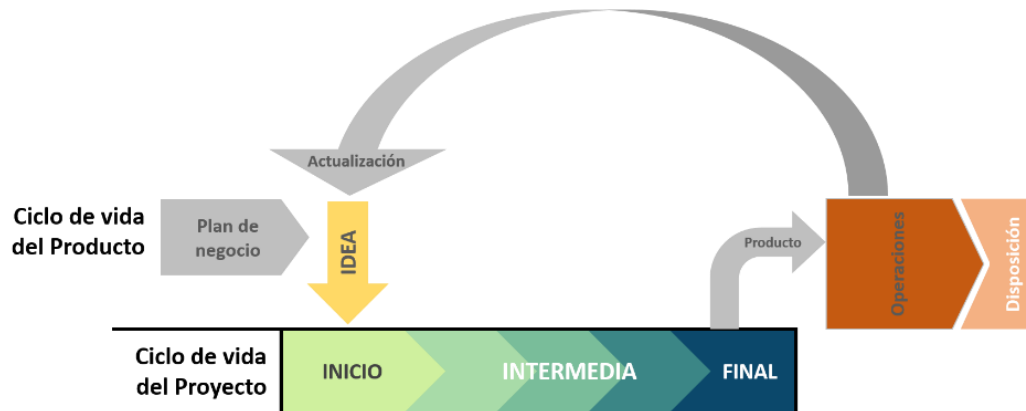


Imagen recreada del PMBO_Guide5th Ed.Sp.

3.5 Modelo de flujo de trabajo para aplicación de metodología BIM

Como se mencionó anteriormente es necesario que todas las partes estén conscientes de su papel en la cadena de producción, y que tengan claro el funcionamiento de la metodología BIM y de cómo el producto de su trabajo será el insumo para la siguiente etapa en el proceso, por lo que todos los actores deben seguir las mismas líneas y códigos de trabajo.

A continuación, se plantea un posible flujo de trabajo siguiendo los requerimientos de la metodología BIM:

3.5.1 Requisitos o entradas del sistema.

El principal requisito o entrada será un cliente, o bien la propia empresa como inversionista en un proyecto. Desde la propuesta inicial del proyecto se comienzan a seguir los lineamientos PMI, entre ellos definición de alcance, identificación de interesados y construcción de la EDT que facilitan la implementación de BIM y de sus herramientas, definiendo sus alcances dentro de cada proceso y sus entregables para cada instancia del proyecto.

Ilustración 2 Entradas y entregables

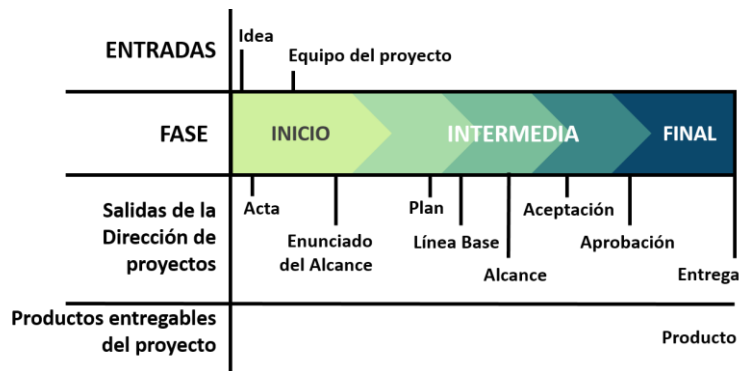


Imagen recreada del PMBO_Guide5th Ed.Sp.

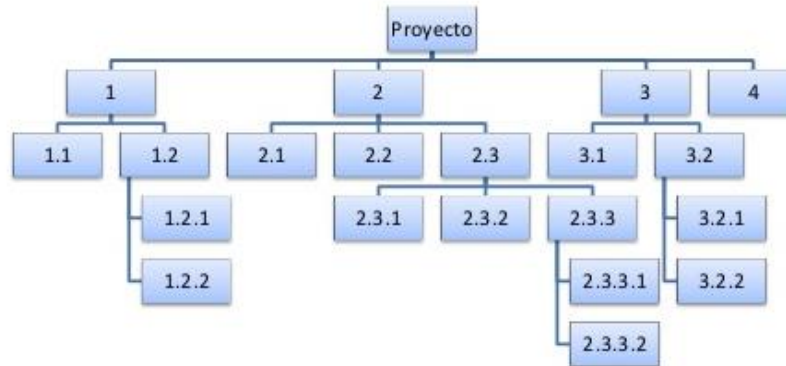
EDT: estructura de desglose de trabajo. Esta es una descomposición jerárquica del proyecto, que se enfoca al entregable del proyecto, y relativa al trabajo que será realizado por un equipo para cumplir los objetivos y desarrollar los entregables requeridos (Sanz, 2017).

Con esta descomposición se logran conocer los entregables a realizar, la forma en que se realizarán dichos entregables, se dividen los entregables en diferentes partes establecidas por niveles; al dividir los entregables se conocen tanto las tareas como las responsabilidades de estas dentro del proyecto; se garantiza que los entregables sigan los lineamientos del proyecto, se facilita el cumplimiento de objetivos al tener tareas más concretas y mejor enfocadas; permite un conocimiento mayor del proyecto a todos los involucrados, se mejora la dirección del proyecto disminuyendo el riesgo del mismo; entre otros.

A continuación, se presenta un formato de EDT básico para asimilar el concepto:

Ilustración 3 Estructura de Desglose de Trabajo

ESTRUCTURA DE DESGLOSE DEL TRABAJO (EDT)



Tomado de: <https://image.slidesharecdn.com/cursoprojectmanagement-06-estructuradedesglosedeltrabajo-130523044439-phpapp01/95/curso-project-management-06estructura-de-desglose-del-trabajo-3-638.jpg?cb=1369285292>

Imput de la construcción: como se mencionó anteriormente, el constructor estará considerado únicamente en la etapa de ejecución del proyecto, sino que su criterio deberá incluirse y ser tenido en cuenta desde las etapas más tempranas de planeación y diseño. Con los conceptos otorgados por el constructor acerca de un futuro proyecto se busca reducir o eliminar problemas que desde el área de planeación o diseño no son tenidas en cuenta, como la disponibilidad de recursos, el rendimiento de la maquinaria o mano de obra, la facilidad constructiva o dificultades de cierto tipo de elementos, entre otros. Todo esto con el fin de reducir al máximo los conflictos o demoras que se puedan llegar a presentar al momento de la ejecución, dándole solución a estos en una etapa en que no representan repercusiones en tiempo ni dinero para el inversionista.

Factibilidad/Constructibilidad: en esta etapa se llevan a cabo todos los estudios pertinentes para tomar una decisión acerca de la realización del proyecto, bien sea aceptar, reformular o rechazar el mismo. Algunos de estos estudios son: estudio estratégico, sectorial, de mercado, técnico, administrativo, legal, ambiental, financiero, económico y social. De las consideraciones de estos se continuará o no con el proyecto, y la información aquí generada debe ser compatible con los requerimientos tanto de la empresa como de la metodología BIM.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Con estos tres requisitos completados, y en caso de ser aceptados por la empresa o por el inversionista, se puede proseguir a la planeación y diseño del proyecto. Estos puntos apuntan a que los entregables de las diferentes partes estén fundamentados en los mismos requisitos, y para que quien diseñe lo haga pensando en el constructor.

3.5.2 Diseñar, presupuestar y programar.

Depende de los requisitos de exigencia del inversionista, bien sea un tercero o la empresa como tal.

En esta etapa se comienza a ingresar información a una plataforma BIM en donde los diferentes actores podrán trabajar de manera conjunta con un mismo objetivo. Aquí se modelará todo lo respectivo al proyecto, con los beneficios de poder observar en tiempo real la información suministrada al sistema por cada una de las partes, pudiendo fácilmente corregir problemas, proponer cambios, o generar reportes, en aras del correcto diseño y planificación del proyecto.

Las herramientas BIM y el software que se ha mencionado anteriormente juegan un papel crucial en estas etapas, puesto que es en estas plataformas y programas en donde se alimenta el proyecto con los entregables de cada uno de los actores, y de donde finalmente se obtienen los beneficios de visualización en tiempo real, interoperabilidad, retroalimentación, disponibilidad, entre otros previamente mencionados. Se mencionan las herramientas que facilitarían cada una de las tareas del flujo de trabajo.

De los equipos de diseño, presupuesto y programación, se producen los insumos de entrada de cuatro grandes procesos que pueden ser considerados diferentes gestiones, las cuales están relacionadas entre sí, bien sea siendo un entregable de la próxima o alimentando al paso anterior o al siguiente, por lo que se vuelven un sistema que permanentemente se está actualizando y debe ser entendido por todas las partes para asegurar su correcto funcionamiento.

Estas gestiones son:

Gestión de Diseño: busca prever todos los alcances o situaciones que puedan generar al proyecto costos extra. Con las tareas que aquí se contemplan se busca minimizar la cantidad de imprevistos que puedan presentarse en el momento de la ejecución, los cuales representan generalmente un incremento en tiempos, recursos o dinero. Se compone de:

- Coordinación: reunir a las diferentes disciplinas que actúan en el diseño de un proyecto de construcción usando las plataformas BIM que ofrecen el trabajo colaborativo en la nube.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Integración de diferentes disciplinas: combinar los diferentes diseños de las partes en un modelo 3D con herramientas de visualización que permite analizarlos todos en simultáneo, además de la posibilidad de adjuntar planos.

- Validación de interferencias: por medio de funciones de herramientas BIM como el *clash detection*, se puede validar la existencia de posibles interferencias entre los elementos, bien sean en una sola de las disciplinas como dos muros en el diseño estructural, o entre dos disciplinas como la ocupación de un mismo espacio por las redes eléctricas y sanitarias. Con esta función se evitan retrasos en obra al igual que cambios futuros o alteraciones en los diseños, además de una completa armonía entre los diseños.

- Seguimiento de obra: en caso de haber inconformidades o problemas en los puntos anteriores, se realiza una reunión de los actores involucrados en donde se genere la mejor solución para el constructor. Por otra parte, se realiza un seguimiento a las siguientes etapas, corroborando que los diseños ejecutados sean coherentes en todo momento. Por medio de plataformas como BIM 360 Field, BIM 360 Glue, y algunas otras anteriormente mencionadas, se logra realizar un seguimiento a los diseños que en muchos proyectos no son los definitivos a la hora de la ejecución, pudiéndose validar constantemente mediante listas de chequeo, notas o comentarios, los ajustes realizados.

Gestión pre-Constructiva: esta va ligada a la gestión de diseño, aun así, no es necesario que esta última se haya culminado para iniciarse, se traslapan. Se dedica a:

- Presupuestar: usando el BIM 5D se logra generar el plan de costos y desembolsos necesarios a lo largo de la ejecución del proyecto. La cantidad de dinero necesaria por actividad del proyecto y la forma en que se paga.

- Programar: usando BIM 4D se realiza una programación que siga los rendimientos y duraciones de las actividades con base en el constructor, y que propone las fechas objetivo para ciertas actividades de la ejecución.

- Generación del plan logístico: un punto crucial y que en la actualidad se realiza en el momento de la ejecución. Se hace necesario para adaptarse a la metodología BIM la generación de un plan logístico que determine el layout del sitio de trabajo y otros factores de forma previa a la ejecución. Con este plan logístico se evitan problemas como la reubicación de almacenes o depósitos de materiales, se asignan correctamente los recursos de mano de obra y maquinaria, se ubica de manera óptima y se planean los movimientos y tareas de uno de los recursos más importantes en la construcción como lo es la torre grúa, entre otros. Este plan al ser generado previo a la ejecución evita y reduce muchos problemas que generan contratiempos o amenazas a la seguridad en el sitio de trabajo, además de dinero. Es posible basarse en la visualización y simulación en un modelo 4D que represente el proyecto a medida que avanza.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Plan de adquisición: con este se prevé la necesidad de materiales o recursos, y la cantidad de este en un tiempo determinado según el avance del proyecto, así, es posible generar un plan de compra y almacenamiento de material que permita que en el proyecto haya disponibilidad de los insumos de trabajo en todo momento y que no se generen retrasos por déficit de materiales. Otro de los beneficios es la posibilidad de ganar poder de negociación ante los proveedores, pues con un plan de compra de grandes cantidades y la fidelización del proyecto a un solo proveedor, pueden obtenerse beneficios como descuentos o métodos de pago que favorezcan el proyecto.

- Contratación: conociendo las necesidades de recursos del proyecto se puede formular un plan de contratación, con este se buscaría reducir o eliminar maquinaria o mano de obra que pudiese tener tiempos de ocio excesivos durante la ejecución, generando así sobrecostos a cambio de ningún beneficio para el proyecto. Administración más adecuada de los contratos, que se adhieren a una secuencia de trabajo diaria y cumplen con una programación.

Gestión Constructiva: esta se encuentra ligada también a la gestión de diseño. Esta se encarga de todos los procesos propios de la ejecución del proyecto, sus entregables serán todos los datos de lo que se realice, cantidades, rendimientos, costos, y debe seguir los planes y programas generados en las gestiones anteriores. La buena planeación y el haber diseñado siguiendo las bases de cómo se construye, asegurará que los contratiempos en esta etapa sean mínimos. Consta de:

- Seguimiento de procesos: con base en reportes, anotaciones y listas de chequeo, se puede hacer el seguimiento a ciertas actividades dependiendo de su estado: sin comenzar, terminado, 50% terminado, en espera, en almacén, sin disponibilidad, entre otros. Se determina el estado actual de actividades o recursos para permitir la toma de decisiones veloz y eficiente frente a la situación que se presente.

- Control: con base en el seguimiento de procesos y la clasificación de elementos se hace posible el control de cantidades. Teniendo como insumo el estado de un elemento y sus características, se poseen los datos necesarios para obtener los datos de cantidades invertidas en cada proceso, y de ahí partir para sacar relaciones de consumos, rendimientos y costos, además de la posibilidad de explorar a que se deban posibles cambios en las unidades productivas que supone la programación o el presupuesto. Con base en los entregables de control se pueden tomar decisiones que mejoren el rendimiento de avance del proyecto.

Además del control de cantidades, los modelos BIM permiten realizar un control de riesgos que reducirá la probabilidad de que suceda un accidente en el lugar de trabajo, esto se logra ingresando parámetros de seguridad al sistema y mediante listas de chequeo que se revisan en el lugar de trabajo para certificar que se cumplen los requisitos de seguridad de la empresa.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Modelo As-Built: es el modelo que posee toda la información que ha sido usada en el desarrollo del proyecto. Este modelo se va completando poco a poco desde las etapas previas al diseño hasta llegar al cierre. En él se pueden visualizar y cuantificar todos los elementos de la forma que fueron concebido y hacer una comparación contra lo realmente ejecutado. Complementando este modelo con la toma de mediciones desde el lugar de trabajo se mantendrá un modelo actualizado que permitirá una toma de decisiones con la información actualizada y de manera más rápida y efectiva.

El modelo As-Built finalmente se considera un entregable de la gestión de cierre, pues en este se alberga toda la información del proyecto, pero puede estar ubicado en la gestión constructiva dado que aquí es donde se le añaden la mayoría de entregables para su elaboración.

Gestión de Cierre: esta gestión es alimentada por los entregables generados en la gestión constructiva, de donde el porcentaje de avance, recursos y materiales usados, y tareas terminadas serán las que determinen los puntos que aquí se contemplan.

- Pagos: al tener los elementos asociados desde la gestión pre-constructiva a un contrato y con los entregables de la gestión constructiva que informan tiempo y costo de cada elemento, se puede identificar que elementos o recursos deben ser pagados, facilitando los cierres o cortes de pago según se hayan planeado.

- Calidad: los modelos estarán sujetos a calidad, bien sea del diseño, de la gestión constructiva, de seguridad, entre otros. Los reportes de calidad servirán para tomar medidas frente a posibles no conformidades dentro de procesos internos, bien sea en la ejecución o en las etapas previas a esta. Con estos informes se obtiene una retroalimentación que permite realizar cambios para mejorar las debilidades, tanto del proyecto como de la empresa.

- Administración: con la validación y seguimiento a todos los procesos previos, se generan reportes de todos los entregables que alimentan al modelo, con estos es posible determinar estados, fechas, tiempos, costos, y otros, que permiten la toma de decisiones y la evaluación del proyecto a nivel administrativo.

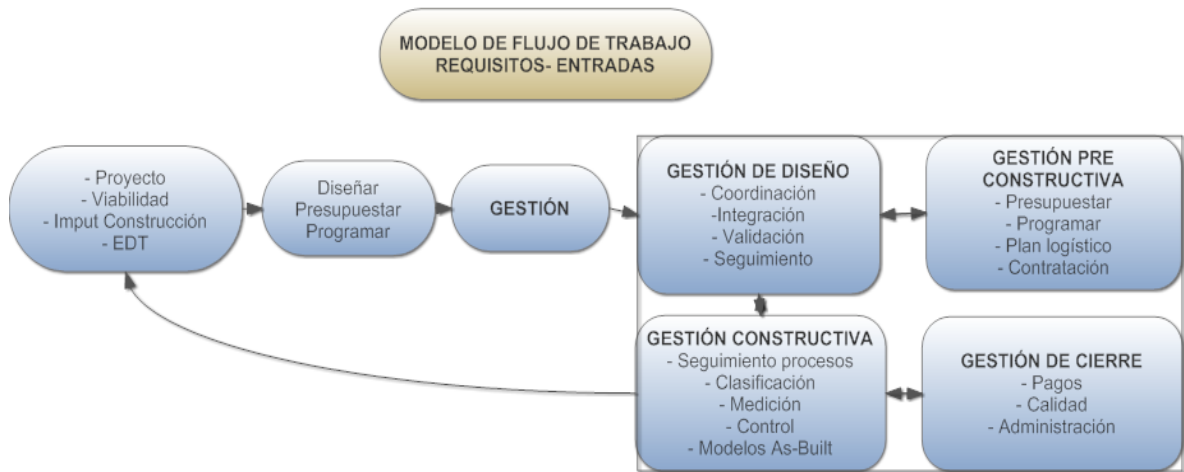
Finalmente se obtiene un modelo As-Built terminado en donde toda la información del proyecto está contenida, y con base en este se puede fundamentar el análisis de la gestión de operaciones, tema que no se tocará en este documento. Dicho modelo será una representación virtual de todo lo realmente ejecutado.

Al finalizar el proyecto se espera que de la información del modelo y de todo el flujo de trabajo, se obtengan reportes que permita la toma de decisiones y propuestas de mejora para proyectos futuros, logrando que cada proyecto se logre culminar de manera más rápida y precisa, al tener una fuerza de trabajo que entiende las pautas y requerimientos de estar siguiendo la metodología BIM.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

A continuación, se presenta una ilustración que permite visualizar de manera más clara el flujo de trabajo propuesto para la metodología BIM.

Ilustración 4 Modelo de flujo de trabajo para Metodología BIM



Cabe mencionar que el flujo de trabajo se debe seguir bajo los parámetros de la metodología BIM, y que de este depende que los controles en obra que aquí se proponen sean posibles de realizar. Habiendo dicho esto, se procede a hacer un análisis más detallado de la gestión constructiva, más específicamente de la tarea de control, siendo el objetivo de este trabajo determinar los requerimientos de software y procesos necesarios para realizar dicha tarea desde el sitio de trabajo. Para ello se implementó un software diferente a los investigados en este trabajo, en un proyecto de edificación de la empresa, a continuación, se detalla el proceso y los resultados encontrados.

3.6 Control en obra

Previo a detallar el proceso de control y medición de cantidades es necesario presentar el proyecto y detallar los procesos de control que actualmente se realizan siguiendo el método tradicional. En este punto se describirán las características del proyecto y cómo este se está ejecutando. Posteriormente se describe como se ha llevado a cabo la prueba piloto de control con dispositivos móviles mediante un iPad con el software HD Field, detallando el proceso de medición, tiempos y resultados, para finalmente concluir acerca de la prueba piloto.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

3.6.1 El proyecto.

El proyecto en el que se realizó la prueba piloto es una edificación de vivienda VIS (Vivienda de Interés Social) llamado Mantia Apartamentos, construido por la empresa Constructora Concreto, ubicado en el sector de Las Chimeneas en Itagüí, Antioquia. Consta de dos torres de 20 pisos cada una, compuestas por 240 apartamentos, distribuidos de a 6 por piso, de 2 y 3 alcobas, con áreas de 64, 69 y 77m², además de zonas húmedas, sitios deportivos, parque de juegos infantiles, entre otros (Constructora Concreto, 2017).

Las torres están siendo construidas simultáneamente y son contiguas una de la otra, y la distribución de los apartamentos en cada torre es tal que los tres apartamentos de un lado de la torre son el espejo del lado contrario, facilitando así el armado de los elementos. El sistema estructural son muros vaciados con refuerzo de acero, y losa con malla electro soldada. Los tamaños de los muros varían según su ubicación, siendo estos de mayor espesor y con más refuerzo en los fosos de ascensor y escaleras. El acero se arma en suelo previo a su instalación por medio de torre grúa, y esta misma mueve la formaletería Comain que se trasporta armada de un elemento a su espejo siguiendo un plan de movimientos generado por el proveedor. El diseño de la mezcla de concreto varía según se avanza en altura, siendo menores los requisitos de resistencia para los pisos más altos, y este es vaciado por medio de bomba o con bache operado por la torre grúa. Las redes hidráulicas y eléctricas también son armadas en suelo y posteriormente elevadas por torre grúa para ser instaladas.

En el momento de la visita, el proyecto se encontraba en el quinto nivel, siendo los niveles por nomenclatura de la obra el B1, B2, P1, P2 y P3, estando este último siendo abordado por diferentes cuadrillas en simultáneo. A continuación se presenta el registro fotográfico del proyecto al momento de la visita.

Ilustración 5 Interiores de los apartamentos y redes



ores y no

Ilustración 6 Cocina, red de gas y sala de estar



Se observa en las anteriores ilustraciones el interior de los apartamentos del nivel B1, en donde se puede apreciar la cocina, sala, alcoba principal y un poco la distribución general de los apartamentos. Por ser vivienda VIS los apartamentos se entregan en obra gris como se aprecia en las imágenes, con el concreto a vista como queda luego de desencofrar, la única obligación del constructor para este tipo de vivienda es dejar funcionales las redes, instalaciones de cocina y el baño con sus respectivas instalaciones y acabados.

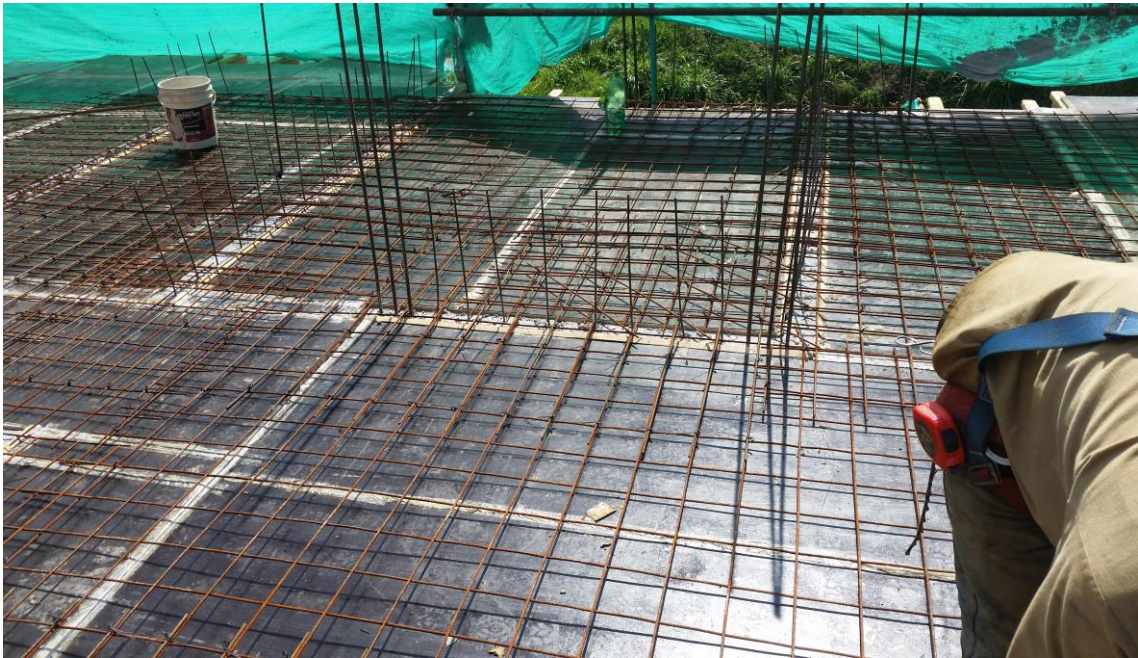
En las siguientes ilustraciones se puede apreciar las diferentes actividades que se llevan a cabo en el P3, siendo estas: encofrado y desencofrado de muros y losa, limpieza y transporte manual de encofrados, armado de acero de muros y colocación de acero de losa, e instalación de redes.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Ilustración 7 Instalación de malla electro soldada de losa y redes



Ilustración 8 Acero de losa



La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Ilustración 9 Encofrado de muros y formaletería de losa del P4



Ilustración 10 Encofrado de muros



La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Ilustración 11 Limpieza y transporte manual de formalería



En las imágenes se logra apreciar el espacio de trabajo de cada piso en general, teniendo diferentes cuadrillas realizando tareas diferentes al mismo tiempo en un espacio reducido. De la forma en que se realizan las diferentes tareas se lograron hacer las siguientes observaciones:

- El espacio de trabajo cuando se tienen los muros encofrados es demasiado estrecho, por lo que la circulación del personal y el movimiento de equipo de forma manual se ve restringido. De igual forma los movimientos de formaletas por medio de torre grúa se vuelven más riesgosos debido a la falta de espacio y visibilidad.
- Al tener diferentes cuadrillas ocupando el mismo espacio sus tareas pueden verse entorpecidas o demoradas por cuadrillas de otra tarea.
- Por falta de una buena gestión de diseño y de ayudas visuales en el sitio de trabajo, se identificaron interferencias entre redes o de estas mismas con los muros o losa, por lo que se debían hacer correcciones en el sitio, bien fuera previas al vaciado o teniendo que demoler elementos ya vaciados para reubicar las redes, en ambos casos el proceso genera retrasos y costos.
- A pesar de que el sistema de encofrado permite transportar varias piezas ensambladas por medio de la torre grúa, a que la distribución de los muros es un espejo en cada parte del edificio, y que se cuenta con un plan logístico para optimizar el desplazamiento de las piezas; se notó gran dificultad en el transporte manual de ciertas piezas del encofrado debido al peso y a las dimensiones de cada una de estas y del espacio reducido de trabajo que se tiene, al igual que cierta dificultad para entender y realizar los movimientos necesarios con la torre grúa.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- El plan de movimientos de la formaletería que se debía seguir no estaba en obra a tiempo, al llegar no era suficientemente claro para el operador de la torre grúa por lo que se generaban demoras en el traslado de las piezas.
- Las piezas de formaletería que debían ser transportadas individualmente debían ser trasladadas en conjunto por la torre grúa pero a falta de claridad del plan de movimientos de esta se transportaban manualmente.
- El vaciado de concreto se realiza en parte por medio de bombeo y en parte por medio de torre grúa con bache, aun así, debido a la poca capacidad de carga de la torre grúa no se logra cumplir con los rendimientos esperados de vaciado de 3 apartamentos por día.
- En principio se realiza la figuración del acero en sitio, pero se cambió de método para que fuera armado en suelo e izado y situado por la torre grúa, saturando la utilización de dicho recurso.
- Por falta de una buena logística se identificaron restricciones visuales y de movimientos de la torre grúa, sumado a esto su capacidad no era la apropiada para cumplir con las tareas asignadas.
- El proyecto y sus actividades son totalmente dependientes de una torre grúa saturada de tareas y con una capacidad de carga menor a la que debería tener para cumplir con estas. Debido a esto todas las actividades se ven retrasadas por depender del mismo recurso, se determina que no se contaba con una adecuada planificación del recurso, el cálculo de rendimientos viables y una buena asignación de trabajo.

Por otro lado, se observó que la disponibilidad de planos en el sitio de trabajo puede no ser suficiente y el existente posee poca claridad y detalle, teniendo grandes probabilidades de que se presenten errores en la ejecución de las actividades debido a esto. Si se dispusieran mejores ayudas visuales de los diseños y se tuviera la posibilidad de revisar los planos actualizados en tiempo real dicho problema podría solucionarse, además de la posibilidad de reportar una inconsistencia en caso de detectarse. A continuación, las imágenes muestran el material disponible.

Ilustración 12 Planos en oficina



Ilustración 13 Planos disponibles en el sitio de trabajo



La cantidad de versiones de cada plano y los planos de diferentes disciplinas, la calidad y la precaria condición del material que se tiene en el sitio de trabajo puede facilitar que se

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

presenten confusiones en el momento de ejecutarse las actividades, haciendo que se presenten las inconsistencias mencionadas. Dichos problemas se solucionarían fácilmente con material virtual desplegado en los dispositivos móviles que se propone implementar, permitiendo una clara visualización de los planos del elemento que se requiera verificar.

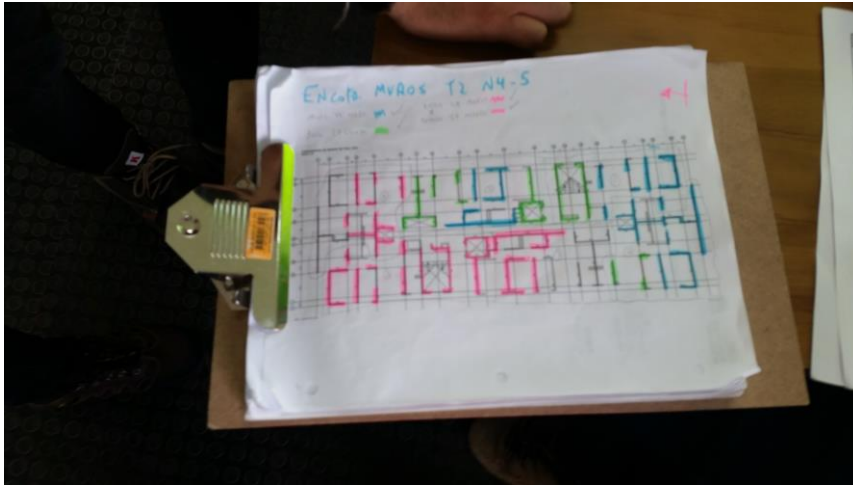
A las anteriores falencias se les puede adjudicar el retraso en obra y las dificultades debidas a la falta de planeación y gestión, las cuales han afectado fuertemente la producción, alcanzando un avance de tan solo 1.5 a 2 apartamentos por día, de un total de 3 apartamentos por día planteados como meta de producción diaria establecida. La sobre utilización de equipos y los retrasos por no tener claras las tareas de cada recurso son los claros causantes de la poca productividad en obra.

3.6.2 Control de cantidades y seguimiento de obra: método tradicional.

Como se ha mencionado con antelación, el sistema que se usa actualmente en la obra para el control de cantidades es el tradicional. El control del avance se realiza a primera hora del día y nuevamente en horas de la tarde para reportar el avance del día, este reporte se realiza por medio de ilustraciones que representan la distribución de los elementos y su nomenclatura, marcando por colores el avance de cada día. Posteriormente se ingresan los datos de los elementos completados en tablas de Excel que contienen para cada elemento sus características: área, volumen, kg de acero, y así para los diferentes elementos. Usando la nomenclatura de cada elemento se logra identificar sus características y determinar la cantidad ejecutada en el día, de donde las cantidades y rendimientos son asociadas a una cuadrilla y a una tabla de costos por actividad.

Las actividades que se controlan manualmente son 8: m² de encofrado de muros y losas; m² de desencofrado de muros y losas, kg de acero de muros y losa, y volumen de concreto vaciado en muros y losas. Del diagrama de la siguiente imagen se determina cuando el elemento fue terminado, para usar sus atributos para el cálculo de las cantidades realizadas.

Ilustración 14 Control manual de tareas completadas



Similarmente a medida que se completa un nivel se lleva un registro del avance en una vista lateral de la estructura, comparando el avance real frente al programado. El sistema se observa en la siguiente ilustración.

Ilustración 15 Control de avance de la estructura en altura



A pesar de que el proceso de control y medición es manual, al adquirir un ritmo de trabajo se logra completar en tiempos de entre 2 y 3 horas, desde la revisión del avance del día anterior hasta el ingreso de los datos en las hojas de cálculo, las cuales deben ser elaboradas previo a las mediciones y tener la cantidad de datos por elemento necesarias para el cálculo de las cantidades ejecutadas. Luego de que se calculen dichas cantidades son asignadas a las cuadrillas que las realizaron y a un costo, generando así los datos de rendimiento, tiempo y costo por actividad, de donde finalmente se extraen los datos para realizar pagos, pedidos, cortes o cierres dado el caso.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Por ser un proceso mecánico se logra obtener una destreza en la elaboración de los datos rápidamente, además de cierta confiabilidad de las salidas generadas. A pesar de ser un método tradicional, debido a las características del proyecto y a las actividades medidas, funciona de manera eficiente.

3.6.3 Control de cantidades y seguimiento de obra: dispositivos móviles.

Constructora Concreto actualmente se encuentra en una transición tecnológica y metodológica, incorporando e implementando el uso de herramientas BIM, para el proceso de seguimiento en obra la compañía se encuentra valorando el software HD Field para realizar la captura de datos en obra.

Para este proceso se estableció la siguiente ruta de trabajo:

1. Crear planes para el día en HD Field
2. Ejecución de los planes por parte del capataz
3. Capturar de cantidades actuales en HD Field
4. Capturar hojas de tiempo en HD Field
5. Aprobaciones de planes en HD Field por el superintendente

El ciclo se repitió durante 3 semanas. A diferencia del método tradicional, este sistema requiere controlar menos actividades que lo que se emplea habitualmente, una de las razones por las cuales se encontró esta dificultad es por lo que actualmente lo que controlamos se encuentra a un mayor nivel de detalle en las obras, esto puede ser una buena práctica a evaluar ¿quizás en método actual debería resumirse a menos nivel para poder controlar con mayor precisión?

Para esta captura de datos se hizo uso de un iPad para desplegar el programa HD Field. Este se alimenta de una programación de actividades que debe sincronizarse diariamente, dicha programación es generada por el manager del sistema desde el área técnica y es él quien define las metas que deben alcanzarse día a día. El software cuenta con una interfaz de tablas que deben llenarse con los datos de las actividades realizadas, pero estas son en función de horas/hombre, una medida que aún no se maneja en Colombia para la construcción de proyectos de edificación pero que sí se emplea para la construcción de infraestructura. Actualmente el sistema de trabajo en obra de proyecto de construcción de edificaciones se controla por medio de rendimientos y unidades productivas diarias, este sistema controla el trabajo que realiza una cuadrilla, la cual se le asigna actividades diariamente y que están amarradas a la unidad productiva diaria asignada a la actividad.

Por otra parte, las actividades controladas propuestas están enmarcadas en un contexto más globales y se controlan en unidades muy grandes, lo que no permite controlar y medir sub actividades de manera independiente, que este siendo asignadas al proceso de la construcción de una actividad principal, por ejemplo: vaciado, encofrado, desencofrado,

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

limpieza de encofrado, armado de encofrado. Una de las razones por la que se evidencia esto también está enmarcado en la comparación que se pudo evidenciar con el sistema de construcción americano y es el uso de mayor maquinaria vs mano de obra, en la actualidad en otras partes del mundo la mano de obra es más costosa por lo que la mayoría de las actividades asignadas en obras están adjudicadas a maquinas (torre grúa), en Colombia es el caso contrario mayor mano de obra, menor maquinaria.

No solo el vs mano de obra – maquinaria sino también el impacto en el pago por incentivos que se da en muchas obras para aumentar la productividad en las cuadrillas de trabajo, esto requiere que se ajusten procesos actuales para garantizar una captura de datos más precisa y que puedan construir históricos.

El HD Field es un sistema de manejo de información numérica del registro de datos para la visualización y asignación de característica a elementos se requiere emplear una herramienta complementaria que es INFINYD Móvil o BIM360 Field

La alimentación del HD Field se realiza ingresando el personal, recursos utilizados en las actividades y cantidades usadas, y esto debe hacerse cuadrilla a cuadrilla, siguiendo los datos que arroja el sistema tradicional. A continuación, se modifica la cantidad real ejecutada y se compara con el plan programado desde la oficina técnica, aquí se comparan rendimientos y se hacen reportes y observaciones acerca de los mismos. Al final del día se sincroniza toda la información para que desde oficina técnica se calculen los rendimientos y se genere el plan del día siguiente, teniendo este que ser ajustado cada vez que el rendimiento real ejecutado de un día no alcance el esperado.

El software de INFINYD permite la visualización de los elementos que son valorados por HD Field, por medio de la sincronización y actualización de datos, esta herramienta permite validar los estados de cada elemento del proyecto, ejemplo instalado, en proceso, terminado, pendiente, además de hacer seguimiento y gestión de cambios en obra.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Observando el proceso de aplicación de este tipo de software para controles en obra se puede concluir que en parte los procesos actuales que se emplean en obra no están preparados para una automatización a nivel tecnológico, ya que actualmente no se tienen procesos estandarizados y se personaliza cada obra por los imprevistos y riesgos que aún no se saben anticipar y gestionar, es por esto que conocer flujos de trabajo colaborativos e integrados como BIM e implementar este tipo de metodologías acompañadas de sistemas de gestión como PMI pueden preparar y convertir los procesos actuales en procesos adaptables, eficientes y productivos, de manera que se puedan utilizar herramientas BIM de manera completa y acceder a todos los beneficios que estas metodologías pueden ofrecer.

Estos procesos requieren un cambio de chip, adicionalmente un trabajo integral con gestión humana para capacitar y culturizar al personal para que interiorice la necesidad de entender la importancia de trabajar en equipo y comprometerse a los flujos de trabajo que la metodología BIM propone.

Se proponen métodos diferentes para la medición de materiales en obra como el sistema RFID sistema de monitoreo electrónico, que permite a nivel logístico conocer el estado y la cantidad de elementos que están siendo monitoreados. Con sistemas con este integrados a BIM y a los dispositivos móviles, será posible conocer entiendo real el estado de los insumos necesarios para la construcción.

Se evidencia que la implementación de este tipo de tecnologías en dispositivos móviles no puede realizarse en una tarea aislada sin una preparación previa que viene desde la metodología de diseño. Debe replantearse la metodología de trabajo desde la concepción o propuesta de un proyecto, hasta que este se culmina. Para esto es necesario comprender, interiorizar y seguir el flujo de trabajo propuesto, en donde todos los integrantes e interesados deberán tener claras sus funciones y responsabilidades para que el proyecto progrese de manera satisfactoria, desde la planeación hasta que se ejecute.

Seguir el flujo de trabajo aquí establecido y hacer buenos entregables, garantizará que en el momento de ejecutar el proyecto los contratiempos cambios e incertidumbres sean mínimos, logrando mejorar el rendimiento de la obra. Asimismo, con buenos procesos de planeación y gestión previa a la construcción y la integración de las diferentes disciplinas, se asegurará la obtención de un modelo más preciso y que presente menor cantidad de dificultades en su ejecución.

La planeación y programación de rendimientos, actividades y recursos, debe ser viable y bien estudiada. Con esto se evitará que en la ejecución haya una cantidad diferente a la necesaria de recursos, maquinaria o mano de obra, evitando retrasos que provengan de la

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

dependencia de un recurso en específico, o por el contrario sobre costos por recursos inutilizados. La planeación logística y layout de la obra debe evaluar las diferentes etapas de la misma, asegurando que a lo largo del avance se genere la menor cantidad de reprocesos o pérdidas debido a la reubicación o traslado de equipos. Para esto deben aprovecharse las herramientas BIM y sus funciones, como la integración de los modelos de las diferentes disciplinas, el *clash detection*, la posibilidad de visualizar el modelo 3D previo a la ejecución, la revisión y simulación del avance de obra según su programación usando BIM 4D, logrando con estas adelantarse a cualquier tipo de imprevisto que pudiese resultar en el momento de la ejecución

Es obligatorio tener en cuenta los criterios del constructor desde el momento de la concepción y planeación del proyecto, siguiendo los procesos, rendimientos, y demás consideraciones que este plantee. Con esto se busca conseguir que se diseñe de la forma en que se construye, para reducir o eliminar los contratiempos que vienen con el cambio o inconsistencias presentadas entre lo que se debe ejecutar y lo diseñado. El input del constructor es clave para el desarrollo del proyecto siguiendo el flujo de trabajo planteado, de este dependerá en gran parte que las herramientas BIM usadas puedan arrojar datos confiables sobre los modelos, inconsistencias, tiempos, cantidades, presupuestos, y demás controles realizados bajo esta metodología.

En conclusión, la Constructora Concreto como una de las empresas líderes en la industria, y que se destaca por sus procesos de innovación, debe enfrentar los retos y realizar los cambios necesarios para integrarse a la metodología BIM, la cual se encuentra en gran auge a nivel Global y no presenta grandes competidores a nivel nacional hasta el momento. Hacer frente a los retos y cambios organizacionales que plantea el proceso de adaptación a esta metodología es necesario para la empresa, teniendo que destinar recursos a la capacitación del personal, adquisición de la tecnología y la conformación de un equipo de trabajo, que siguiendo el diagrama de flujo pautado, logra finalmente obtener los beneficios tanto de la metodología BIM como del PMI dentro y para la empresa. Al lograr integrar su esquema y forma de operación a la metodología BIM, lo cual está dentro de sus capacidades como gran empresa, además de obtener beneficios en su imagen frente al público y destacarse sobre la competencia, tendrá una gran cantidad de beneficios a nivel interno que resultarán en procesos de mejor calidad, menores tiempos y mayor precisión, lo que en el futuro se verá reflejado en menores costos de operación y mejora constante a raíz de la integración de estas nuevas tecnologías.

REFERENCIAS

- Aladag, H., Demirdögen, G., & Isık, Z. (2016). Building Information Modeling (BIM) Use in Turkish Construction Industry. *Procedia Engineering*, 161, 174–179. doi:10.1016/j.proeng.2016.08.520
- Azhar, S. (2011). .D., a.M.Asce. *Leadership and Management in Engineering*, 11(Bazjanac 2006), 241–252.
- Bargstädt, H. (2015). Challenges of BIM for Construction Site Operations. *Procedia Engineering*, 117(0), 52–59. doi:10.1016/j.proeng.2015.08.123
- BIM 360 Field. (2016). *Autodesk*. Obtenido de <http://www.autodesk.com/products/bim-360-field/overview>
- BIManywhere. (2016). *Zimfly Inc*. Obtenido de <http://bimanywhere.com/>
- Cao, D., Li, H., Wang, G., & Huang, T. (2015). Identifying and contextualising the motivations for BIM implementation in construction projects: An empirical study in China. *International Journal of Project Management*, 35, 658–669. doi:10.1016/j.ijproman.2016.02.002
- Chen, L., & Luo, H. (2014). Automation in Construction A BIM-based construction quality management model and its applications. *Automation in Construction*, 46, 64–73. doi:10.1016/j.autcon.2014.05.009
- Ciribini, A. L. C., Mastrolembro Ventura, S., & Paneroni, M. (2016). Implementation of an interoperable process to optimise design and construction phases of a residential building: A BIM Pilot Project. *Automation in Construction*, 71, 62–73. doi:10.1016/j.autcon.2016.03.005
- Constructora Conconcreto. (2014). *Constructora Conconcreto*. Recuperado el 12 de Abril de 2016, de <http://www.conconcreto.com/Media/Default/documents/Presentacio%CC%81n%20Corporativa%202016%20ok.pdf>
- Constructora Conconcreto. (2017). *Vivienda Conconcreto*. Obtenido de <http://www.viviendaconconcreto.com/mantia-apartamentos/>
- Czmoch, I., & Pełkala, A. (2014). Traditional design versus BIM based design. *Procedia Engineering*, 91(TFoCE), 210–215. doi:10.1016/j.proeng.2014.12.048
- Graphisoft. (2016). Obtenido de <http://www.graphisoft.com/bimx/>

- Grayson, W. (17 de Agosto de 2012). *Equipment World*. Obtenido de <http://www.equipmentworld.com/finding-the-best-mobile-bim-apps-to-put-to-work-on-your-jobsite/>
- Iafrancesco, G. (2003). *La investigación es educación y pedagogía*. Bogotá: Magisterio.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2000). *Citas y notas de pie de página NTC 147*. Bogotá: ICONTEC.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2000). *Documentación. Referencias bibliográficas para libros, folletos e informes. NTC 1160 segunda actualización*. Bogotá: ICONTEC.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2000). *Documentación. Referencias bibliográficas para publicaciones seriadas. NTC 1308 segunda actualización*. Bogotá: ICOTEC.
- Jiménez, S. Comunicación personal. (5 de Mayo de 2017). (D. Sosa, Entrevistador)
- Matthews, J., Love, P. E. D., Heinemann, S., Chandler, R., Rumsey, C., & Olatunj, O. (2015). Automation in Construction Real time progress management : Re-engineering processes for cloud-based BIM in construction. *Automation in Construction*, 58, 38–47. doi:10.1016/j.autcon.2015.07.004
- Mcarthur, J. J. (2015). A building information management (BIM) framework and supporting case study for existing building operations , maintenance and sustainability, *I18*, 1104–1111. doi:10.1016/j.proeng.2015.08.450
- Navigator Mobile. (2016). *Bentley Systems Inc*. Obtenido de <https://www.bentley.com/en/products/product-line/project-delivery-software/navigator-mobile>
- Sanz, R. (2017). *Master Dirección de Proyectos*. Obtenido de Universidad de Alcalá: <http://www.uv-mdap.com/blog/creacion-de-un-edt/>
- Sattineni, A., & Schmidt, T. (2015). Implementation of mobile devices on jobsites in the construction industry. *Procedia Engineering*, 123, 488–495. doi:10.1016/j.proeng.2015.10.100
- Tamayo, M. T. (1999). *Serie: Aprender a investigar módulo 5: el proyecto de investigación*. Bogotá: ICFES.
- Tekla BIMsight. (2016). *Trimble Solutions Corporation*. Obtenido de <http://www.teklabimsight.com/>

- Tulenheimo, R. (2015). Challenges of implementing new technologies in the world of BIM – Case study from construction engineering industry in Finland. *Procedia Economics and Finance*, 21(Henttinen 2012), 469–477. doi:10.1016/S2212-5671(15)00201-4
- Universidad iberoamericana. (s.f.). *Biblioteca Francisco Javier Clavijero*. Recuperado el 4 de Febrero de 2008, de ¿Cómo cito la información que encontré en internet?: http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/biblioteca/articulos/pdf/refer_internet.pdf
- Vysotskiy, A., Makarov, S., Zolotova, J., & Tuchkevich, E. (2015). Features of BIM Implementation Using Autodesk Software Short □ term benefits of BIM Long □ term benefits of BIM. *Procedia Engineering*, 117, 1143–1152. doi:10.1016/j.proeng.2015.08.248