

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Miguel Artavia Alvarado, Ing. Mauricio Araya Rodríguez, Ing. Manuel Alán Zúñiga, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

GUSTAVO
ADOLFO
ROJAS
MOYA
(FIRMA)

Firmado digitalmente por
GUSTAVO
ADOLFO ROJAS
MOYA (FIRMA)
Fecha: 2021.03.17
04:30:55 -06'00'

Ing. Gustavo Rojas Moya.
Director

MIGUEL
FRANCISCO
ARTAVIA
ALVARADO (FIRMA)

Firmado digitalmente por
MIGUEL FRANCISCO
ARTAVIA ALVARADO
(FIRMA)
Fecha: 2021.06.05
11:55:54 -06'00'

Ing. Miguel Artavia Alvarado.
Profesor Guía

MAURICIO
ESTEBAN
ARAYA
RODRIGUEZ
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por MAURICIO
ESTEBAN ARAYA
RODRIGUEZ (FIRMA)
Fecha: 2021.03.16
21:40:46 -06'00'

Ing. Mauricio Araya Rodríguez.
Profesor Lector

MANUEL
ANTONIO
ALLAN ZUÑIGA
(FIRMA)

Digitally signed by
MANUEL
ANTONIO ALLAN
ZUÑIGA (FIRMA)
Date: 2021.06.05
12:10:16 -06'00'

Ing. Ing. Manuel Alán Zúñiga
Profesor Observador

Gestión de costos y tiempo en proyectos constructivos con apoyo de metodología BIM

Abstract

In this project, time and cost management plans are proposed for the company Constructora La Colina S.A, supported by the BIM methodology.

To create these management plans, first a qualitative research is carried out to determine the current situation of the company in the field of project management.

Next, the theory about project management in terms of costs and time was investigated, to take it as a reference and thus reduce the deficiencies identified in the company.

Then, the existing management models, the supporting tools and software, and the ideal soft skills for the person working in a company in the area were investigated.

In addition, an investigation is carried out to apply the BIM methodology in cost and time management, determining which uses can be developed in the company, the required software, and the team's skills to implement it.

Subsequently, the management plan proposals were developed to close the gap between the theory and the current situation of the company. In addition, BIM was incorporated into this management plan, establishing processes, tools and personnel required for its application.

Finally, it was proposed a guide of implementation for this plan in the company, ensuring clarity in its use.

Keywords: management, BIM, time, cost, La Colina, PMI

Resumen

En este proyecto se propone un plan de gestión de tiempo y costos para la empresa Constructora La Colina S.A, apoyados en la metodología BIM.

Para crear este plan de gestión primeramente se realizó una evaluación cualitativa para determinar la situación actual de la empresa en el ámbito de gestión de proyectos.

Seguidamente, se investigó la teoría acerca de la gestión de proyectos en cuanto a costos y tiempo, para tomarla como referencia y así permita reducir las deficiencias identificadas en la empresa.

Después se indagó tanto en los modelos existentes de gestión, las herramientas y software de apoyo, como en las habilidades blandas ideales para la persona que se desempeñe en una empresa del área.

Además, se lleva a cabo una investigación para aplicar la metodología BIM en la gestión de costos y tiempo, determinando cuales usos se pueden desarrollar en la empresa, el software requerido y las habilidades del equipo para implementarla.

Posteriormente se creó la propuesta del plan de gestión para cerrar la brecha entre la teoría y la situación actual de la empresa, asimismo, se incorporó BIM en este plan de gestión, estableciendo procesos, herramientas y personal requerido para su aplicación.

Finalmente, se propuso una guía para la implementación de este plan en la empresa asegurando claridad en su uso.

Palabras clave: gestión, BIM, tiempo, costo, La Colina, PMI.

Gestión de costos y tiempo en proyecto constructivo con apoyo de metodologías BIM

DANNY QUESADA ARROYO

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Enero 2021

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio	1
Resumen ejecutivo	2
Introducción	3
Marco Teórico.....	4
Metodología.....	31
Resultados	38
Análisis de los resultados	53
Plan de gestión de costo y tiempo con apoyo BIM.....	61
Guía de aplicación del plan de gestión desarrollado ..	65
Conclusiones	67
Recomendaciones.....	68
Apéndices.....	69
Referencias	82

Prefacio

El área de la gestión de proyectos es la rama de mayor interés para mi persona, por lo que desarrollar este proyecto surge de la necesidad personal de investigar y conocer más la teoría actual sobre la administración de proyectos, y buscar una empresa donde se requiera mejorar los procesos de gestión para aplicar estos conocimientos.

En la empresa Constructora La Colina S.A, se hizo la propuesta de este proyecto, mismo que fue aceptado, debido a que actualmente no se han definido procesos formales en la misma, y consecuentemente se han presentado problemas, por ejemplo, no se cuenta con información del estado actual de los proyectos, tanto en tiempo como en costo.

Por otro lado, en el país se está desarrollando el Plan Nacional BIM como una iniciativa por parte del gobierno central y sus instituciones que pretende incorporar, en los próximos años, la metodología BIM como requisito en licitaciones de instituciones públicas, por lo que, en este proyecto se busca mostrar la importancia y la utilidad que brinda esta metodología, principalmente en el área de la gestión del tiempo y el costo.

Por lo que en este proyecto se busca crear planes de gestión de costos y tiempo de proyectos en la empresa Constructora La Colina S.A, con apoyo de la metodología BIM.

Por último y no menos importante, agradezco a mis padres, por el apoyo incondicional brindado durante toda mi vida y que, sin duda, son las personas que más han aportado a la realización de este proyecto, al Tecnológico de Costa Rica, por los conocimientos que me ha brindado, al profesor Miguel Artavia por guiarme durante la ejecución de este proyecto de manera incondicional, y a Constructora La Colina por permitir la realización de este proyecto en su empresa.

Resumen ejecutivo

Este proyecto de graduación responde a una necesidad personal de investigar el área de gestión de proyectos y nuevas tecnologías, junto con la necesidad de una empresa nacional de mejorar sus procesos de gestión de tiempo y costo, apoyándose para esto en la metodología BIM (Building Information Modeling), la cual se puede relacionar con los planes de gestión y las disciplinas involucradas en un proyecto de construcción.

La empresa La Colina S.A., generó la oportunidad de aprovechar esta investigación con el objetivo de darle un fin práctico, al proponer la confección de planes de gestión del tiempo y costos que mejoren los procesos de la empresa e incluya la metodología BIM como apoyo a la gestión.

También hay que indicar que en esta última década se ha ido incorporando a nivel mundial esta nueva tecnología llamada "metodología BIM", la cual consiste en el uso de una serie de software que almacenan la información de un proyecto en un solo modelo tridimensional.

Además, en Costa Rica, se están dando esfuerzos en instituciones públicas para incorporar BIM dentro de los requisitos de licitación, y se ha estado creando los últimos años una infraestructura operativa que muestra que en poco tiempo se estará a niveles de otros países que ya manejan consecuentemente BIM.

En La Colina S.A. se identificaron determinados problemas, siendo el de los presupuestos de los proyectos el primero identificado, al afirmar que hay errores de cálculo importantes, además que cuando ocurre algún cambio en el proyecto, no se actualiza el presupuesto.

También se presenta problema con el cronograma, ya que el mismo no es utilizado para dar seguimiento y control al proyecto.

Además, otro problema expresado por la empresa es que no tienen un panorama claro del avance y costo de un proyecto en determinado

momento, lo cual no les permite tomar decisiones cuando aún están a tiempo para resolver el proyecto dentro del costo y tiempo establecidos.

Ahora bien, estos problemas se pueden corregir mejorando los procesos de gestión de tiempo y costos, apoyándose en los usos que brinda la metodología BIM para lograr resultados más eficientes

Siendo el principal objetivo de este trabajo el desarrollar una propuesta de un plan de gestión del tiempo y costos con apoyo de la metodología BIM para proyectos constructivos adecuado a las necesidades de la empresa en estudio.

Por su parte los cuatro objetivos específicos consisten en analizar la situación actual de la empresa en cuanto a métodos de gestión de tiempo y costo de los proyectos. Investigar modelos de gestión y estrategias BIM que mejor se adapten a las necesidades de la empresa. Proponer un plan de gestión del proyecto, incorporando metodología BIM y, elaborar una guía para la futura implementación del plan de gestión.

Esta investigación se basa en criterios académicos, en entrevistas a personal de la empresa, en una encuesta que mide la experiencia de profesionales a nivel nacional, así como en una serie de referencias documentales.

Cabe destacar que al término del trabajo el objetivo principal fue cumplido a cabalidad, al proponer el plan de gestión de tiempo y costos a la empresa La Colina, basado en el análisis de su situación actual.

La investigación realizada expone que la metodología BIM es de relevancia, y determina que difícilmente una organización del sector construcción podrá ser competitiva a nivel local o global, si no evoluciona su forma tradicional de trabajo, en los próximos años.

Este plan de gestión propuesto, apoyándose en BIM son considerados oportunos, ya que el país se encuentra a las puertas de este cambio de CAD a BIM, y poseen información teórico-práctica suficiente para que La Colina S.A. los ponga en práctica de forma segura, y con un panorama claro de todo lo que involucra.

Introducción

La gestión de proyectos es una rama de la ingeniería y de la administración en la que se aplican conocimientos, procesos, habilidades y técnicas que pueden generar un efecto positivo considerable en el éxito de un proyecto (Project Management Institute, 2013).

Su aplicación es variable, y según el PMI (2013), la gestión de proyectos comprende 10 áreas de conocimiento, dentro de las que se pueden mencionar la gestión del alcance, del tiempo, del costo, de la calidad, de los recursos humanos, entre otras.

De igual manera, en esta última década se ha ido incorporando a nivel mundial una nueva tecnología llamada “metodología BIM” (Building Information Modeling), la cual consiste en el uso de una serie de software que almacenan la información de un proyecto en un solo modelo tridimensional. (Salazar, 2018). En Costa Rica, instituciones públicas incorporaran BIM dentro de los requisitos de licitación. (Jiménez Maroto, 2018).

Además, las aplicaciones que brinda la metodología BIM son amplias, y actualmente se resumen dentro de los 20 usos que se pueden dar al BIM (Computer Integrated Construction Research Program, 2010).

Parte de lo que busca este trabajo es mostrar la importancia que tiene la gestión de proyectos, centrándose en dos áreas de conocimiento principalmente, la gestión del tiempo y la gestión del costo, además, se busca mostrar cómo la metodología BIM puede ser un apoyo en estas dos áreas de conocimiento, todo esto enfocándolo en la aplicación a proyectos constructivos.

Para esto se contó con la colaboración de Constructora La Colina S.A. en la cual se llevó a cabo un análisis previo y se encontraron una serie de problemas a los que se enfrenta actualmente en temas relacionados a la gestión de proyectos, y los cuales pueden resolverse mediante la creación de un plan de gestión adecuado.

Uno de los problemas encontrados es que los presupuestos de los proyectos contienen errores de cálculo importantes, y cuando se da algún cambio en el proyecto, no se actualiza el presupuesto.

Otro problema está relacionado al cronograma, ya que no es utilizado para dar seguimiento y controlar el proyecto. Cabe mencionar que la elaboración del cronograma es llevada a cabo como requisito de algunas instituciones.

El principal problema expresado por la empresa es que no tienen un panorama claro del avance y costo de un proyecto en determinado momento, lo cual no les permite tomar decisiones cuando aún están a tiempo para resolver el proyecto dentro del costo y tiempo establecidos.

Estos tres problemas presentes en los proyectos constructivos se pueden corregir mejorando los procesos de gestión de tiempo y costos y en mayor medida, apoyándose en los usos que brinda la metodología BIM.

Es por lo anterior que el principal objetivo de este proyecto es desarrollar propuestas de planes de gestión del tiempo y costos con apoyo de tecnologías BIM para proyectos constructivos adecuado a las necesidades de la empresa.

Inicialmente se busca analizar la situación actual de la empresa en cuanto a métodos de gestión de tiempo y costo de los proyectos.

En segunda instancia, se busca investigar modelos de gestión y estrategias BIM que mejor se adapten a las necesidades de la empresa.

En tercera instancia, desarrollar el plan de gestión del proyecto, así como los documentos requeridos para su ejecución incorporando metodologías BIM.

Y finalmente, realizar para la empresa una guía de implementación del plan de gestión desarrollado.

Marco Teórico

En el presente capítulo se muestran los conceptos necesarios para una mejor comprensión de los temas que se desarrollan y que conforman el marco de referencia para llevar a cabo este trabajo.

Conceptos Generales

Antes de mostrar la teoría y conceptos correspondientes a los temas principales de este proyecto, es importante mostrar algunos conceptos más generales.

Dentro de ellos se encuentra el concepto de proyecto, construcción, proyectos constructivos, software y bases de datos.

Proyecto

Dado que se pretende crear un plan de gestión de costos y tiempo para la aplicación en proyectos constructivos, es importante explicar el concepto de proyecto en sí

Según Gido & Clements (2003) un proyecto es un intento por lograr un objetivo específico mediante un juego único de tareas interrelacionadas y el uso efectivo de los recursos.

Según estos mismos autores, los siguientes atributos ayudan a definir un proyecto:

- Un proyecto tiene un objetivo bien definido, un producto esperado
- Un proyecto se lleva a cabo mediante una serie de tareas interdependientes que se ejecutan en cierto orden para lograr el objetivo del proyecto.
- Un proyecto utiliza varios recursos para realizar las tareas.
- Un proyecto tiene un marco de tiempo específico, o tiempo limitado.
- Un proyecto tiene un cliente.

- Un proyecto incluye un grado de incertidumbre.

Un proyecto se puede definir también como un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. (Project Management Institute, 2013)

Construcción

La construcción es el arte, la acción o el efecto de construir una obra u edificación, entendiéndose por construir como *“hacer de nueva planta una obra de arquitectura o ingeniería, un monumento o en general cualquier obra pública”* (Real Academia Española, 2014).

La importancia de definir este concepto radica en que la construcción tiene un alcance muy amplio, como bien se menciona, desde una obra de arquitectura, hasta un monumento, o cualquier obra pública, es esta la razón por la que a continuación se explica que es un proyecto constructivo y los tipos más comunes.

Proyectos constructivos

Teniendo presente las definiciones anteriores de proyecto y construcción, se puede deducir que un proyecto constructivo se da cuando el producto final es una obra de ingeniería o arquitectura.

Además, al hablar de proyecto constructivo no solo se debe visualizar la obra terminada, sino, todos los procesos de inicio, planeación, ejecución, control y cierre que son necesarios para obtener como producto final una obra de ingeniería.

En la actualidad dentro los tipos de productos que se pueden obtener de proyectos constructivos se pueden mencionar: puentes, carreteras, vías ferroviarias, aeropuertos, puertos,

túneles, naves industriales, edificios, hogares, muros de contención, entre otros.

Para efectos de este trabajo, se delimitará a la aplicación en proyectos de estructura metálica, esto debido a que Constructora La Colina S.A, da prioridad a este tipo de obras.

Software

La ingeniería del software es la encargada de utilizar la ciencia de la computación, el conocimiento de las matemáticas, la experiencia y la práctica de los ingenieros para crear programas que dicten órdenes a las computadoras en la búsqueda de soluciones a problemas complejos. (Bjorner, 2006).

De lo anterior se puede decir entonces, que el software es el resultado del trabajo realizado por los ingenieros, en un programa computacional que ayuda a resolver un problema.

Este concepto es importante tenerlo presente debido a que en este trabajo se propondrá el uso de algún software como herramienta de apoyo para resolver problemas relacionados con la gestión del tiempo y del costo.

Tecnologías de la Información para el sector Construcción

El avance de la tecnología y sus innovaciones también se aplican al sector construcción, donde se puede aplicar en la administración de la empresa, logística de los procesos, al departamento de contabilidad, al diseño y ejecución de proyectos, siendo ejemplo de ello los sistemas ERP (Enterprise Resource Planning), los sistemas de abastecimiento para la construcción, la tecnología BIM (Building information modeling), entre otros.

Al respecto, Almonacid, Navarro y Rodas (2015) señalan que estas tecnologías están estrechamente relacionadas con tres elementos principales:

- Las Personas: ya que el equipo de trabajo y la cultura organizacional de una empresa deberán estar alineados a la flexibilización de los nuevos procesos de trabajo.
- Herramientas: definitivamente el uso de software mejora la fluidez de los procesos de negocio.

- Procesos: donde se incluyen nuevos procesos de trabajo y la reingeniería de métodos de trabajo.

Entonces, se puede afirmar que las TICs (Tecnologías de la Información) son más que el uso de un software, ya que estos tres elementos se integran de manera que las organizaciones tengan éxito tanto por su personal calificado con habilidades duras y blandas, por su infraestructura de software y su procesos adecuados.

Bases de datos

Una base de datos es un *“conjunto de datos organizado de tal modo que permita obtener con rapidez diversos tipos de información”* (Real Academia Española, 2014).

Y una base de datos histórica de costos y rendimientos es necesaria para lograr obtener la ventaja competitiva para sobrevivir en el ambiente de los negocios (Levy, 2007)

Para efectos de este proyecto, como se verá más adelante, cuando se requiera estimar la duración o los costos unitarios, es fundamental contar con bases de datos históricas de proyectos anteriores, o de documentos que sustenten estas estimaciones.

Gestión y administración

Uno de los grandes temas a desarrollar es la gestión, que usualmente se suele confundir con la administración, y aunque están estrechamente relacionados no son sinónimos, sino complementos, por lo que a continuación se explica cada concepto y su relación.

La administración se puede entender como el hecho de diseñar y mantener un entorno en el que, trabajando en grupos, los individuos logren los objetivos de manera eficiente. (Koontz, Wehrich y Cannice, 2008).

Y la gestión se puede considerar como el *“arte de hacer posible un rumbo y alcanzar una meta en medio de las dificultades y de la imprevisibilidad de los acontecimientos”* (Huerco, s.f., p.5).

De las definiciones anteriores se entiende que la administración se enfoca en organizar y dirigir los recursos de la empresa, mientras que la

gestión implica llevar a cabo las actividades que conforman un proceso.

De manera análoga, un administrador se encarga de ejercer las funciones administrativas de planeación, organización, integración de personal, dirección y control (Koontz, Wehrich y Cannice, 2008). Mientras el gestor *“es quién poniendo en juego su observación y su sensibilidad, va reconociendo el territorio a través de pequeñas señas, de indicios que indican las sendas a seguir”* (Huergo, s.f., p.5).

Según Huergo (s.f), es posible establecer muy buenos pronósticos basados en un profundo conocimiento del entorno y la realidad, y hacer un gran esfuerzo para dirigir el futuro del proyecto en una u otra dirección, pero nunca se tendrá certeza total de los acontecimientos futuros durante la ejecución del proyecto, *“la interacción con esa novedad es exclusiva de la gestión”* (Huergo, s.f., p.5).

En este sentido, con este trabajo se pretende crear un plan de gestión, el cual se entiende como una guía para el gestor en la ejecución de la obra, con el fin de que éste obtenga información del proyecto y le permita interactuar con la realidad eficientemente. De esta forma, el gestor, podrá tomar decisiones fundamentadas cuando deba elegir la ruta más conveniente para lograr los objetivos del proyecto.

Para efectos de este trabajo la administración de proyectos comprende las fases globales del proyecto las cuales se mencionan en el siguiente subtema, y la gestión se refleja en los procesos para lograr objetivos específicos, conocidos también, según el PMI (2013), como *“áreas de conocimiento”*, las cuales se explican más adelante

Fases administrativas de un proyecto

Este trabajo se desarrolla para ser aplicado en las fases de planeación, ejecución y control de los proyectos constructivos de la empresa. Por lo que es necesario explicar la totalidad de las fases de un proyecto, y comprender mejor los límites del alcance de este trabajo.

Es así que todo proyecto tiene un inicio y un fin determinados, y los proyectos deben pasar por 5 procesos: inicio, planeación, ejecución,

control y cierre. A continuación, se explican los procesos según Chamoun (2002):

Inicio: Establecer la visión del proyecto, *el qué*, la misión por cumplir y sus objetivos, la justificación del mismo, las restricciones y supuestos.

Planeación: Desarrollar un plan que ayude a prever *el cómo* se cumplirán los objetivos, tomando en cuenta una serie de factores que afectan todo proyecto. Aquí se establecen las estrategias, con énfasis en la prevención en vez de la improvisación.

Ejecución: Implementar el plan, contratar, administrar los contratos, integrar al equipo, distribuir la información y ejecutar las acciones requeridas de acuerdo a lo establecido.

Control: Comparar lo ejecutado o real contra lo previsto o planeado (control). De no identificar desviaciones, se continua con la ejecución. Si se encuentran desviaciones, en equipo se acuerda la acción correctiva (planeación adicional), y luego se continua con la ejecución, manteniendo informado al equipo.

Cierre: Concluir y cerrar relaciones contractuales profesionalmente para facilitar referencias posteriores al proyecto así como para el desarrollo de futuros proyectos. Por último, se elaboran los documentos con los resultados finales, archivos, cambios, directorios, evaluaciones, y lecciones aprendidas, entre otros.

Modelos de gestión

Modelo se puede definir como el *“arquetipo o punto de referencia para imitarlo o reproducirlo”* (Real Academia Española, 2014). La RAE también lo define como *“esquema teórico”*. Aplicando este concepto y el de gestión, se puede decir que el *modelo de gestión* es una referencia teórica de las buenas prácticas para guiar la ejecución de los proyectos por la ruta que mejor logre los objetivos de este proyecto, además, este modelo de gestión se puede imitar o reproducir, es decir, que puede ser aplicado de manera similar en diferentes proyectos mientras sea posible.

Actualmente es posible encontrar gran cantidad de información respecto a los modelos de gestión, dentro de los cuales se puede mencionar,

la quinta edición de la Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (PMBOK, Project Management Body of Knowledge) del PMI (Project Management Institute), y autores de libros que hacen referencia a la administración de temas específicos como por ejemplo Sidney M. Levy (2007) quien escribió Project Management in Construction, López de Ortigosa Casares (2012) escribió Ingeniería de costos en la construcción, entre otros autores mencionados en este trabajo.

Entonces, para este proyecto se decidió imitar los modelos de gestión propuestos por el PMI complementándolo con la teoría propuesta en variedad de libros.

Para comprender mejor la información que sucede, podría ser útil mencionar que el PMI propone 10 áreas de conocimiento, dentro de las cuales se encuentran la gestión del tiempo y del costo, por tanto, se explicará primero que es un área de conocimiento y cuales son de interés para este proyecto, segundo, se explicará el concepto de gestión de costo y tiempo propuesto por el PMI, y tercero se mostrará la teoría consultada en libros que complementa o refuerza la información de herramientas y técnicas de la guía PMBOK en las áreas de conocimiento de interés para el proyecto.

Áreas de conocimiento

Es importante explicar que es un área de conocimiento, dado que este proyecto se desarrolla en dos de estas. Su definición puede estar dada por un conjunto completo de conceptos términos y actividades que conforman un ámbito profesional, un ámbito de la dirección de proyectos o un área de especialización (Project Management Institute, 2013).

Como lo menciona el PMI, el área de conocimiento organiza las actividades según su ámbito o área de especialización, agrupando los términos y las herramientas que tienen un mismo objetivo en común, por ejemplo, un área de especialización podría ser la calidad del proyecto, o los riesgos del proyecto, de tal manera que todas las actividades referentes a la gestión de la calidad o de riesgos esté separada y definida, sin que esto signifique, que no puedan compartir información.

Según Project Management Institute (2013), las áreas de conocimiento que establece el PMBOK son diez, y están comprendidas por:

- Gestión de la Integración.
- Gestión del alcance.
- **Gestión del tiempo**
- **Gestión de los costos.**
- Gestión de la calidad.
- Gestión de los recursos.
- Gestión de las comunicaciones.
- Gestión de los riesgos.
- Gestión de las adquisiciones.
- Gestión de los interesados.

De las anteriores, para este trabajo, las áreas de conocimiento de interés son la gestión del tiempo y la gestión de los costos. A continuación, se explican con más detalle estos conceptos.

Teoría de gestión del costo y tiempo

En el segundo objetivo de este trabajo, se pretende investigar modelos de gestión y métodos BIM para posteriormente identificar lo que mejor se adaptan a la empresa. En este caso se mencionarán los modelos de gestión encontrados, y más adelante se mencionarán los temas relacionados con la metodología BIM.

Seguidamente se muestra el modelo de gestión propuesto por el Project Management Institute como guía para la gestión del tiempo y costo, así como teoría de diversos autores que apoyan o complementan este modelo.

Posteriormente, se evalúan las herramientas de software existentes que apoyan la gestión del costo y del tiempo.

Gestión del tiempo según la guía PMBOK

A continuación, se muestran las buenas prácticas de administración del tiempo en proyectos dispuestos por el Project Management Institute (2013)

La gestión del tiempo se divide en 7 procesos, los cuales giran en torno a la creación y control del cronograma del proyecto. Estos 7 procesos son:

- Planificar la gestión del cronograma

- Definir las actividades
- Secuenciar las actividades
- Estimar los recursos de las actividades
- Estimar la duración de las actividades
- Desarrollar el cronograma
- Controlar el cronograma

Para cada proceso el PMI establece entradas, herramientas, técnicas y salidas que lo conforman. En el siguiente cuadro se resumen estas variables para cada proceso

CUADRO 1: PROCESOS DE LA GESTIÓN DEL TIEMPO SEGÚN EL PMI			
PROCESO	ENTRADAS	HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS	SALIDAS
Planificar la gestión del cronograma	-Plan para la dirección del proyecto -Acta de constitución del proyecto -Factores ambientales de la empresa. -Activos de los procesos de la organización	-Juicio de expertos -Técnicas analíticas -Reuniones	-Plan de gestión del cronograma
Definir las actividades	-Plan de gestión del cronograma -Línea base del alcance -Factores ambientales de la empresa -Activos de los procesos de la organización.	-Descomposición -Planificación gradual. -Juicio de expertos.	-Lista de actividades. -Atributos de las actividades- -Lista de hitos
Secuenciar las actividades	-Plan de gestión del cronograma -Lista de actividades. -Atributos de las actividades. -Lista de hitos. -Enunciado del alcance del proyecto. -Factores ambientales de la empresa. -Activos de los procesos de la organización.	-Método de diagramación por precedencia. -Determinación de las dependencias. -Adelantos y retrasos	-Diagramas de red del cronograma del proyecto. -Actualización a los documentos del proyecto.
Estimar los recursos de las actividades	-Plan de gestión del cronograma. -Lista de actividades. -Atributos de las actividades. -Calendario de recursos.	-Juicio de expertos -Análisis de alternativas -Datos publicados de estimaciones. -Estimación ascendente.	-Recursos requeridos para las actividades. -Estructura de desglose de recursos.

	<ul style="list-style-type: none"> -Registro de riesgos. -Estimación de costos de las actividades. -Factores ambientales de la empresa. -Activos de los procesos de la organización. 	<ul style="list-style-type: none"> - Software de gestión de proyectos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Actualizaciones a los documentos del proyecto.
Estimar la duración de las actividades	<ul style="list-style-type: none"> -Plan de gestión del cronograma. -Lista de actividades. -Atributos de las actividades. -Recursos requeridos para las actividades. -Calendario de recursos. -Enunciado del alcance del proyecto. -Registro de riesgos. -Estructura de desglose de recursos. -Factores ambientales de la empresa. -Activos de los procesos de la organización. 	<ul style="list-style-type: none"> -Juicio de expertos. -Estimación análoga. -Estimación paramétrica. -Estimación por tres valores. -Técnicas grupales de toma de decisiones. -Análisis de reservas. 	<ul style="list-style-type: none"> -Estimación de la duración de las actividades. -Actualizaciones a los documentos del proyecto.
Desarrollar el cronograma	<ul style="list-style-type: none"> -Plan de gestión del cronograma. -Lista de actividades. -Atributos de las actividades. -Diagramas de red del cronograma del proyecto. -Recursos requeridos para las actividades. -Calendarios de recursos. -Estimación de la duración de actividades. -Enunciado del alcance del proyecto. -Registro de riesgos. -Asignaciones de personal del proyecto. -Estructura de desglose de recursos. -Factores ambientales de la empresa. -Activos de los procesos de la organización. 	<ul style="list-style-type: none"> -Análisis de la red del cronograma. -Método de la ruta crítica. -Método de la cadena crítica. -Técnicas de optimización de recursos. -Técnicas de modelado. -Adelantos y retrasos. -Comprensión del cronograma. -Herramienta de programación. 	<ul style="list-style-type: none"> -Línea base del cronograma. -Cronograma del proyecto. -Datos del cronograma. -Calendarios del proyecto. -Actualizaciones al plan para la dirección del proyecto. -Actualizaciones a los documentos del proyecto.
Controlar el cronograma	<ul style="list-style-type: none"> -Plan para la dirección del proyecto. -Cronograma del proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> -Revisiones del desempeño. -Software de gestión de proyectos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Información de desempeño del trabajo. -Pronóstico del cronograma.

	-Datos de desempeño del trabajo. -Calendarios del proyecto. -Datos del cronograma. -Activos de los procesos de la organización.	Técnicas de optimización de recursos. -Técnicas de modelado. -Adelantos y retrasos. -Comprensión del cronograma. -Herramienta de programación.	-Solicitudes de cambio. -Actualizaciones a los documentos del proyecto. Actualizaciones a los activos de los procesos de la organización.
--	--	--	---

Fuente: Elaboración propia.

Gestión del costo según la guía PMBOK

De igual manera, se muestran las buenas prácticas de administración del costo en proyectos dispuestos por el Project Management Institute (2013)

La gestión del costo se divide en 4 procesos, los cuales giran en torno a la creación y control del presupuesto del proyecto. Estos 4 procesos son:

- Planificar la gestión de los costos
- Estimar los costos
- Determinar el presupuesto
- Controlar los costos

Para cada proceso el PMI establece entradas, herramientas, técnicas y salidas que lo conforman. En el siguiente cuadro se resumen estas variables para cada proceso

CUADRO 2: PROCESOS DE LA GESTIÓN DEL COSTO SEGÚN EL PMI			
PROCESO	ENTRADAS	HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS	SALIDAS
Planificar la gestión de los costos	-Plan para la dirección del proyecto -Acta de constitución del proyecto -Factores ambientales de la empresa. -Activos de los procesos de la organización	-Juicio de expertos -Técnicas analíticas -Reuniones	-Plan de gestión de los costos
Estimar los costos	-Plan de gestión de los costos -Plan de gestión de los recursos humanos. -Línea base del alcance -Cronograma del proyecto. -Registro de riesgos Factores ambientales de la empresa. Activos de los procesos de la organización.	-Juicio de expertos. -Estimación análoga -Estimación paramétrica -Estimación ascendente -Estimación por tres valores. -Análisis de reservas -Costos de calidad -Software de gestión de proyectos. -Análisis de ofertas de proveedores. Técnicas grupales de toma de decisiones.	-Estimación de costos de las actividades -Base de las estimaciones -Actualizaciones a los documentos del proyecto.

Determinar el presupuesto	<ul style="list-style-type: none"> -Plan de gestión de los costos -Línea base del alcance -Estimaciones de costos de las actividades. -Base de las estimaciones -Cronograma del proyecto -Calendario de recursos -Registro de riesgos -Acuerdos -Activos de los procesos de la organización. 	<ul style="list-style-type: none"> -Agregación de costos -Análisis de reservas -Juicio de expertos -Relaciones históricas -Conciliación del límite de financiamiento 	<ul style="list-style-type: none"> -Línea base de costos -Requisitos de financiamiento del proyecto -Actualizaciones a los documentos del proyecto.
Controlar los costos	<ul style="list-style-type: none"> -Plan para la dirección del proyecto. -Requisitos de financiamiento del proyecto -Datos de desempeño del trabajo -Activos de los procesos de la organización 	<ul style="list-style-type: none"> -Gestión del valor ganado -Pronósticos -Índice de desempeño del trabajo por completar (TCPI) -Revisiones de desempeño -Software de gestión de proyectos. -Análisis de reservas 	<ul style="list-style-type: none"> -Información de desempeño del trabajo -Pronósticos de costos -Solicitudes de cambio -Actualizaciones al plan para la dirección del proyecto. -Actualizaciones a los activos de los procesos de la organización.

Fuente: *Elaboración propia.*

Gestión del tiempo por López de Ortigosa Casares

En su libro, López de Ortigosa Casares (2012) incluye una sección donde habla sobre la herramienta PERT-CPM. Aunque el libro es acerca de la gestión de costos, este capítulo del libro demuestra que para una buena gestión del costo es necesario controlar el tiempo del proyecto.

El autor propone un proceso más simple que el PMI, el cual se muestra en la siguiente figura.

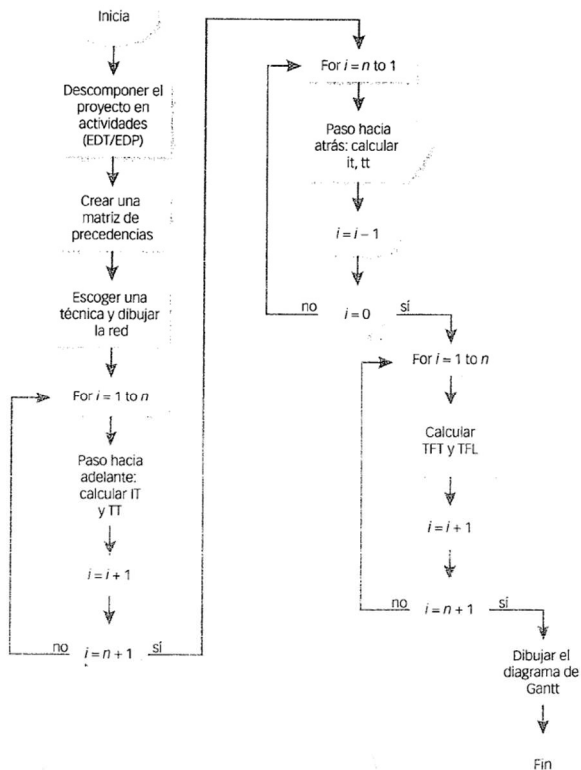


Figura 1: Proceso de desarrollo de CPM-PERT. Fuente: (López de Ortigosa Casares, 2012, p.29)

Gestión del costo por López de Ortigosa Casares

En cuanto a costos, López de Ortigosa Casares (2012) menciona que el precio unitario de las actividades se compone de tres tipos de costo: el costo directo, el costo indirecto y otros conceptos.

El costo directo consiste en considerar los materiales, la mano de obra y la maquinaria, herramientas y equipos necesarios.

Los costos indirectos son los que se requieren para mantener el progreso del proyecto pero que no intervienen en el avance de la obra.

Y en otros conceptos se encuentran los imprevistos, gastos de financiamiento y utilidad.

En este trabajo únicamente se aplicará para la gestión de los costos directos de los proyectos, lo que se explicará en la sección de análisis, por ahora, es importante hacer esta aclaración para mostrar el proceso que propone el autor en el análisis del costo directo.

Materiales: Los pasos para determinar los materiales son: 1) Determinación de procesos elementales, 2) Obtención de los materiales necesarios en los procesos elementales, 3) Determinación de los volúmenes de materiales de los procesos elementales que intervienen en la actividad y 4) Valuación del costo de los materiales requeridos en la actividad.

Mano de obra: Los pasos para determinar la mano de obra son: 1) Obtención del salario real de todo el personal que intervendrá en la obra, 2) Determinación del personal necesario para la actividad, 3) Estimación de la productividad específica del personal para la actividad y 4) Obtención del costo que por este concepto tiene la actividad.

Maquinaria, herramienta y equipo: En el caso de la maquinaria se pueden presentar dos situaciones, que se alquile o que sea una inversión de la empresa. En el primer caso se ingresa el gasto de alquiler como costo, en el segundo caso "la empresa ha realizado una inversión de capital que debe recuperar debido al uso, demérito y obsolescencia de la maquinaria y equipo. Esto último lo realiza a través de lo que se conoce como depreciación en contabilidad" (López de Ortigosa Casares, 2012, p.86).

Para el equipo y las herramientas, se puede aplicar el método de porcentaje al costo de la mano de obra con el cual se considera este rubro, o bien se hace un análisis mediante el método de la vida útil.

Como herramientas para controlar el costo en la construcción el autor propone el flujo de caja y las cartas de control.

Gestión del costo por Suárez Salazar

A continuación, se muestra un proceso para analizar los costos directos de una obra, considerando los costos directos como *“La suma de materiales, mano de obra y equipo necesarios para la realización de un proceso productivo”* (Suárez Salazar, 2002, p.95).

En este caso, el autor, establece tres temas principales antes de iniciar el análisis de costos: la fórmula general, las especificaciones y la cuantificación.

La fórmula general del costo directo está dada por la ecuación 12, donde a , b , c , Y son variables, y x , y , z , δ son variables condicionadas. El autor define una variable como *“el valor de los materiales, el valor de la mano de obra y el valor del equipo”*. Como variables condicionadas se consideran *“las cantidades consumidas de cada uno de estos integrantes”* (Suárez Salazar, 2002, p.96).

$$[ax + by + cz \dots Y\delta] = C.D \quad \text{Ecuación 12}$$

Las especificaciones son descripciones detalladas de características y condiciones mínimas de calidad que debe reunir un producto, las cuales pueden ser específicas o detalladas.

Las especificaciones generales son aquellas normas que aplican para todos los proyectos, ya sea de tipo nacional, como lo es el Código Sísmico de Costa Rica, o bien internacionales como la ASTM o la AASHO.

Las especificaciones detalladas describen las peculiaridades de cada obra, establecen las normas generales de calidad. *“Cuanto más exactas y detalladas sean las especificaciones, mayor aproximación con la realidad tendrá el costo en cuestión”*. (Suárez Salazar, 2002, p.98).

Las especificaciones pueden ser documentos escritos, documentos en dos dimensiones, o bien en algunos proyectos, un modelo tridimensional puede ser útil en las especificaciones.

Como tercer tema está las cuantificaciones, que consta de tres pasos, calcular, resumir y revisar. Es un proceso clave para determinar cuántas son las partes que integran un producto. El autor menciona que *“el mínimo divisor de cualquier número entero es la unidad”* (Suárez Salazar, 2002, p.99) por lo que,

cada producto o subproducto deberá reducirse a sus componentes unitarios, utilizando el sistema internacional de medidas.

Luego de obtener cantidades, se procede a resumirlas por partidas congruentes. Este resumen es importante porque ayuda a detectar posibles errores numéricos o de concepto.

Finalmente, se revisan las cantidades resumidas tomando como referencia parámetros lógicos, por ejemplo, peso de acero por metro cuadrado, o la suma de repellos con relación a la doble área de muros, etc.

En otra sección, el autor menciona acerca de contar con costos base de materiales, mano de obra y equipo.

El costo base de los materiales no incluirá el costo del transporte, y es una base de datos con la información del costo de adquisición de los materiales, a los cuales se le deberá agregar posteriormente el costo del transporte y demás costos para considerarlo como *“puesto en obra”*.

El costo base de la mano de obra, según Suárez Salazar (2002), es un problema dinámico y bastante complejo y además menciona que son muchas las variables que afectan el costo de la mano de obra. Dentro de éstos se pueden mencionar, el costo de la vida, los procedimientos utilizados para construir, dificultad o facilidad de realización, las condiciones climáticas, costumbres locales, etc.

La mano de obra se puede considerar de tres maneras distintas, la primera de ellas es *“lista de raya”* o jornadas de trabajo por un precio acordado, es tener el personal con un salario.

La segunda es el *“destajo”*, lo que se conoce nacionalmente como *“subcontrato de mano de obra”*, donde se acuerda un monto por la obra a realizar.

El tercero es el costo unitario del trabajo, con el cual se puede obtener costos unitarios del trabajo a realizar a partir de rendimientos, dividiendo el costo diario de mano de obra entre el rendimiento diario. El autor señala que se deben considerar las prestaciones. Para el caso de Costa Rica, se deben considerar las vacaciones, el aguinaldo, días feriados y el seguro social según lo dispuesto en el Código de Trabajo de Costa Rica (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 1943).

En cuanto a costos de equipo, el autor señala que es necesario un arduo análisis en empresas dedicadas el movimiento de tierras pero

cuando se trata de edificaciones propone simplificar utilizando el costo horario promedio.

Gestión por Sánchez Henao

Según Sánchez Henao (1997), “*administrar un proyecto, es planear, organizar y manejar las actividades y recursos, para un objetivo definido, generalmente con restricciones de tiempo y costos*” (p.176). Más específicamente, el autor propone los siguientes pasos en la gestión de proyectos:

1. Determinar el proyecto
2. Definir las actividades
3. Determinar la secuencia de las actividades
4. Dibujar la red
5. Determinar los tiempos de las actividades y resaltar la ruta crítica
6. Distribución y nivelación de recursos
7. Presupuesto y costos
8. Programar el proyecto con el mínimo costo
9. Realizar la programación definitiva
10. Ejecución del proyecto
11. Control

Gestión del tiempo

Sánchez Henao (1997) aporta más métodos en el proceso de secuenciar actividades. Anteriormente se mencionó el método PERT y CPM, y éstos son propuestos por el autor, así como el método LPU, Fondhal y KMPA aunque antes, es importante mostrar dos técnicas de diagramación.

La primera es el diagrama de flechas, que utiliza dos elementos importantes: actividades y eventos. Una actividad es todo aquello que hay que hacer, es una operación, una actividad o trabajo y se representa con una flecha. Un evento es un nodo, indicando el inicio o fin de una actividad, y se representan mediante un círculo, cuadro o rectángulo. Los eventos están separados por actividades (Sánchez Henao, 1997).

El segundo es el Diagrama de Precedencias. En este diagrama las actividades se encuentran en los nodos y se relacionan entre sí mediante líneas de unión. En este tipo de diagrama no se requieren actividades ficticias. Este diagrama se puede utilizar en los métodos de ordenamiento LPU, Fondhal y KMPA. (Sánchez

Henao, 1997). En la siguiente figura se muestra cómo sería la representación de actividades en los nodos al utilizar este método.

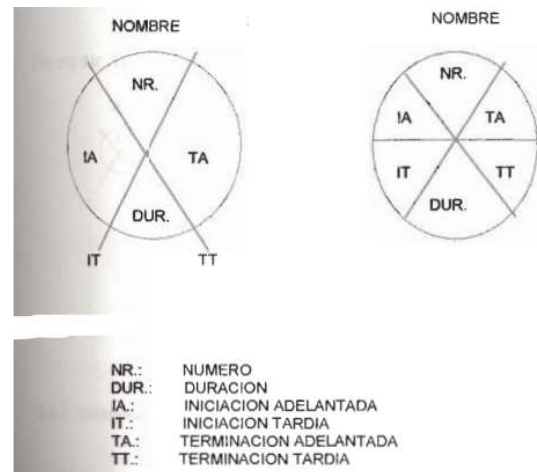


Figura 2: Representación de actividades en diagrama de precedencias. Fuente: (Sánchez Henao, 1997, p.25).

La principal limitación que tiene el método CPM-PERT y el método LPU, es que únicamente incorporan un enlace entre las actividades: “*Fin-Comienzo*”. Para representar los demás enlaces existen los métodos Fondhal y KMPA. Los cuales utilizan diagramas de precedencia permitiendo representar otros tipos de enlace.

En el método Fondhal es posible representar los enlaces Fin-Comienzo, Comienzo-Comienzo y Fin-Fin. Adicionalmente al utilizar el método KMPA es posible representar el enlace Comienzo-Fin.

El inconveniente que tiene la relación Fin-Comienzo es que en ocasiones no es estrictamente necesario que para iniciar una actividad la anterior esté terminada completamente, aparece entonces el traslape como alternativa, de tal forma que se indique que una actividad puede iniciar tiempo después de iniciar la actividad anterior y no necesariamente hasta que se concluya.

Otra posibilidad que brindan el método LPU es la asignación de traslapes a las actividades. Como se muestra en la figura 3, esto se realiza asignando a la flecha el traslape asignado. Para calcular la iniciación adelantada de la actividad B se resta el traslape a la terminación adelantada de la actividad A. Es importante que el traslape sea menor a la menor duración de las dos actividades. (Sánchez Henao, 1997),-



Figura 3: Traslape de actividades en el diagrama de precedencias. Fuente: (Sánchez Henao, 1997, p.75).

Control de proyectos

Sánchez Henao (1997), señala que no tiene sentido elaborar un programa si no se le implementa un sistema de control, ya que de esta manera se verifica el comportamiento en el tiempo de los proyectos.

El control es una técnica para medir y monitorear el progreso hacia los objetivos del proyecto, y tomar, de ser necesario, las acciones para lograr estos objetivos. (Sánchez Henao, 1997).

Existen dos clases de controles, los técnicos y los administrativos y en los controles técnicos se pueden encontrar:

- Materiales
- Equipos
- Mano de obra
- Calidad
- Presupuestos
- Costos y programación.

Dentro de los controles administrativos se puede mencionar:

- La supervisión de cotizaciones
- Compras y suministros
- Existencias en almacén
- Procedimientos administrativos
- Vigilancia del proyecto
- Control de gastos administrativos
- Controles jurídicos
- Controles financieros, etc.

El autor dedica el manual a controles de programación, sin menospreciar los demás controles, ya que como lo menciona, todos son de suma importancia.

El proceso se puede establecer en cuatro pasos: 1) La toma de datos, 2) El proceso de información, 3) Análisis de resultados y presentación de propuestas y 4) Toma de decisiones.

En la toma de datos e información los controles se pueden realizar de manera porcentual, utilizando cuadros de resultados que muestran numéricamente la toma realizada, estableciendo comparativos con el modelo de referencia. Además, el controlador es quien debe diseñar sus propios cuadros de control (Sánchez Henao, 1997) lo que significa que a estos cuadros se les puede modificar agregando columnas o filas a conveniencia del controlador. A continuación, se muestra un modelo de cuadro propuesto por el autor.

Nr.	ACTIVIDAD	Nr. unidad.	UNIDADES				PORCENTAJE				
			Prog. Per.	Prog. Acum.	Ejec. Per.	Ejec. Acum.	Prog. Acum.	Ejec. Acum.	Cump. Per.	Cump. Acum.	
1	A										
2	B										
3	C										
4	D										
5	E										
6	F										
7	G										
8	H										
9	I										
10	J										
		X	a	b	c	d	e	f	g	h	

Figura 4: Cuadro de resultados modelo. Fuente (Sánchez Henao, 1997, p.201).

Este cuadro puede ser útil en un plan de gestión ya que muestra el avance actual para cada actividad, lo cual permite el control del trabajo desarrollado, útil cuando se requiere realizar pagos a subcontratistas.

Herramientas y técnicas para la gestión del tiempo y el costo

A continuación, se explican las herramientas descritas tanto en la guía del PMBOK como en los libros consultados, y que, durante el desarrollo de este proyecto se mencionarán y serán de utilidad en los procesos de gestión del tiempo y el costo de proyectos constructivos.

Estimación del tiempo

Con respecto al proceso de la estimación del tiempo, es posible apoyarse en la teoría de Moder, Phillips y Davis (1983) quienes plantean 4 consideraciones principales: las suposiciones convencionales, actividades de tiempo fijo, el clima y las actividades de días libres.

En las suposiciones convencionales, se debe establecer la unidad de medida de tiempo, y ser consistente en utilizarla en toda la gestión. La duración de las actividades no debe considerar contingencias incontrolables como incendios, inundaciones, huelgas, o demoras legales.

En las actividades de tiempo fijo se deben considerar aquellas actividades que cuentan con una duración determinada independiente del control de la administración, por ejemplo, el tiempo mínimo de curado del concreto o el transporte e importación de equipos, y se considera que estas actividades pueden ser factores importantes de la ruta crítica.

En los proyectos constructivos, el clima es una de las principales fuentes de incertidumbre en la programación y Moder, Phillips y Davis (1983) proponen dos enfoques posibles. El primero es omitir la consideración del clima en cada actividad, y asignarlo a la duración total del proyecto. En el segundo enfoque se considera el efecto del clima en cada actividad.

Finalmente, se deben considerar las actividades que consumen días no hábiles, ya que de no tomarlo en cuenta se puede sobreestimar la duración del proyecto, por ejemplo, la duración del curado del concreto, el cual se ejecuta en días no laborales (Moder, Phillips y Davis, 1983).

Estructura de Desglose de Trabajos (EDT)

La Estructura de Desglose de Trabajo (EDT) o WBS (por sus siglas en inglés, Work Breakdown Structure), es una técnica que permite definir el alcance de un proyecto. Esta herramienta subdivide el proyecto en productos, y éstos en paquetes de trabajo. No es lo que se debe hacer, sino lo que se debe entregar, y responde a la pregunta ¿qué se debe entregar?, sin responder a cómo lograr este producto. (Buchtik, 2013)

Ahora bien, la EDT establece el marco general para el plan de gestión de los costos y

permite que haya coherencia con las estimaciones, los presupuestos y el control de los costos. El componente del EDT que se utiliza para llevar el control de costos del proyecto se le denomina cuenta de control, y cada cuenta de control tendrá un único código o un número o números de cuenta relacionados de forma directa con el sistema de contabilidad de la organización ejecutora y será asignada a cada paquete de trabajo (Project Management Institute, 2013).

Diagrama PERT

En el proceso de la gestión de tiempo, se deben secuenciar actividades, y existe una variedad de métodos para llevar a cabo esta tarea, sin embargo, en esta sección se refuerza el uso del diagrama PERT propuesto por el PMI y por el autor Rincón Abril (2001), siendo éste un autor que muestra en su libro distintos modelos de redes, útiles en los procesos de gestión del tiempo, dentro de los cuales están:

- De la ruta más corta
- Del árbol de mínima expansión
- Del flujo máximo
- Del flujo de costo mínimo
- De planeación y control de proyectos con PERT (Program Evaluation and Review technique) y CPM (Critical Path Method)

El autor plantea que son técnicas que responden a preguntas distintas, por ejemplo, ¿cuál es la ruta más corta, menos costosa, de menor tiempo? El autor describe las redes como un conjunto de puntos unidos por líneas. “Los puntos se llaman nodos, y las líneas se llaman arcos, los arcos se definen con los nodos terminales” (Rincón Abril, 2001, p.121).

Además, menciona que, se tiene una errada consideración de los diagramas de Gantt como la “mejor herramienta de planeación”, ya que solo muestra los tiempos de inicio y fin de las actividades, y tiene la desventaja de no controlar la interdependencia entre actividades. Por tanto, surgen los métodos PERT y CPM que actualmente comprenden una sola técnica. (Rincón Abril, 2001).

Algunos conceptos básicos de este diagrama son:

- **Nodo:** Se representa con un círculo y representa el inicio o fin de una actividad, todos los nodos deben tener un predecesor y un sucesor, a excepción de los nodos "Inicio" y "Fin". Los nodos se unen entre sí con una flecha. A cada nodo se le asigna un consecutivo.
- **Flecha:** Este elemento representa la actividad o entregable. Sobre la flecha se indica la letra que corresponde al entregable y entre paréntesis la duración. Cada actividad quedará representada únicamente por una flecha.
- **Actividad ficticia:** No es permitido que dos actividades tengan el mismo nodo inicial y final, por lo que, en estos casos se debe crear un nodo nuevo en medio de alguna de las dos, esto genera una "actividad ficticia", como se muestra en la siguiente figura.

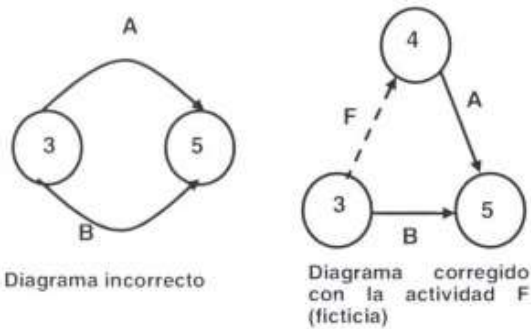


Figura 5: Solución a dos actividades con nodos iguales mediante actividad ficticia. Fuente (Rincón Abril, 2001, p.151).

Otro uso que se le da a las actividades ficticias es cuando por ejemplo C es sucesora de A y B, pero D es sucesora únicamente de B, por lo que se crea una actividad ficticia para unir A y B como predecesoras.

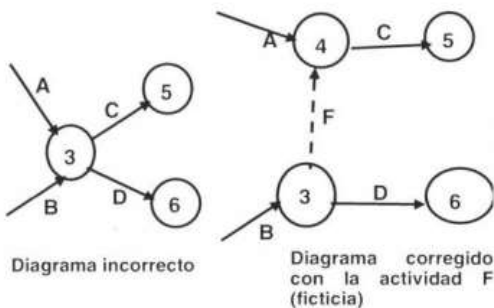


Figura 6: Solución a la separación de predecesoras. Fuente (Rincón Abril, 2001, p.152).

Ruta crítica (CPM)

El análisis de la ruta crítica es una técnica que se lleva a cabo una vez concluido el diagrama PERT. Mediante un procedimiento se identifican las actividades que son críticas y no críticas, además, para las actividades no críticas se puede obtener la holgura correspondiente. (Rincón Abril, 2001)

Según Rincón Abril una actividad crítica es aquella que cuando su inicio se demora genera un atraso en la terminación de todo el proyecto. Y una actividad no crítica es la que su tiempo de ejecución real es menor que el tiempo entre su comienzo más próximo y su terminación más tardía permitida en el proyecto, con lo cual la actividad cuenta con holgura.

Según la RAE, holgura es el "espacio suficiente para que pase, quepa o se mueva dentro algo" para este caso, la holgura corresponde al espacio suficiente para que la actividad mueva su inicio o su fin sin afectar el tiempo en que terminará el proyecto.

El análisis de la ruta crítica consta de dos pasos, en el primero se realizan los "cálculos hacia adelante" que consiste en calcular el tiempo de inicio próximo (TPi), en el segundo paso se dan los "cálculos hacia atrás" se calcula el tiempo de ocurrencia más tardío (TTi).

De manera convencional se toma como TPi = 0 para el inicio del proyecto, para los demás nodos se calcula con la siguiente ecuación:

$$TPj = \text{Max}(TPi + Dij) \quad \text{Ecuación 1}$$

TP: Tiempo de inicio temprano.

Dij: Duración de la actividad entre el nodo i y el nodo j

Fuente: (Rincón Abril, 2001)

Para calcular el TTj se utiliza la siguiente ecuación:

$$TTi = \text{Mín}(TTj - Dij) \quad \text{Ecuación 2}$$

TP: Tiempo de ocurrencia tardío.

Dij: Duración de la actividad entre el nodo i y el nodo j

Fuente: (Rincón Abril, 2001)

Se dice que una actividad es crítica cuando se cumplen los siguientes 2 criterios: 1) para cada nodo el TT y el TP son iguales. 2) La diferencia absoluta entre el TT y TP de los 2 nodos es igual a la duración de la actividad.

$$TTi = TPi$$

$$TT_j = TP_j$$

$$TT_j - TT_i = TP_j - TP_i = D_{ij}$$

Diagrama de Gantt

Los diagramas de Gantt son una herramienta que permite representar mediante barras la relación entre actividades, la duración de éstas y sus fechas de inicio y finalización, todo esto de muy fácil comprensión (Project Management Institute, 2013).

Métodos estimación costo y tiempo

Según Suárez Salazar (2002), al estimar los costos de un proyecto éstos se pueden clasificar en dos grupos principales, costos directos e indirectos, indicando que los costos indirectos son la suma de gastos técnico-administrativos necesarios para la correcta realización de cualquier proceso productivo, y los directos la suma de material, mano de obra y equipo necesarios para la realización de un proceso productivo.

Lo planteado anteriormente por Suárez Salazar (2002), es de suma importancia para este trabajo, ya que por temas de interés de la empresa La Colina, únicamente se creará el plan de gestión con enfoque en los costos directos de los proyectos, dejando de lado los costos indirectos.

En este mismo orden de ideas, en el PMBOK, se proponen 4 métodos de estimación, descritos a continuación

Estimación análoga: En este método se utilizan proyectos de referencia con alcances similares, para determinar el costo de un proyecto actual. Es un método utilizado cuando la cantidad de información del proyecto es limitada. Este tipo de estimación es menos costosa y requiere menos tiempo, pero es menos exacta. Se requiere experiencia para aplicar este método.

Estimación Paramétrica: Se utiliza una relación estadística entre los datos históricos, se puede obtener resultados más exactos en función de la sofisticación de la información.

Estimación Ascendente: Se descompone el proyecto en variables tan detalladas como se requiera y se estima el valor de cada variable con el mayor nivel posible de detalle. Estos costos se van acumulando en niveles superiores, lo que conlleva más trabajo realizar esta estimación, pero brinda mayor exactitud.

Estimación por tres valores: Es una técnica probabilística, donde se toman tres escenarios, el más probable, el optimista y el pesimista. Y la estimación es el promedio de estos tres resultados.

Cartas de control

López de Ortigosa (2012), propone el uso de cartas de control en la ingeniería de costos desarrolladas por Walter Shewhart, que son útiles para llevar un control individualizado de las actividades del proyecto, comparando el costo real contra el presupuestado.

En este proyecto estas cartas pueden ser de utilidad, ya que muestran de manera gráfica la diferencia entre el costo real y presupuestado, de tal forma que indica cuales actividades se deben analizar en busca de los factores que propiciaron dicha diferencia, y con esto, se logra una actualización a la base de datos en cuanto a estimaciones para obtener mejores resultados en proyectos futuros.

Valor Ganado

El valor ganado es otra técnica de control que integra el alcance, cronograma y recursos con el fin de medir el estado actual y el progreso del proyecto previendo el futuro del proyecto (Project Management Institute, 2011).

Con esta herramienta de análisis para la fase de control del tiempo y el costo la empresa mejorará al conocer el estado actual de los proyectos en cuanto a costo y tiempo, resolviendo uno de los problemas detectados en la empresa: el no contar con datos que muestren en qué estado de avance y gastos incurridos se encuentran los proyectos.

Aunque el autor de referencia para esta herramientas es el PMI, no se utiliza la guía del PMBOK, sino que se hace uso del libro Practice

Standard for Earned Value Management (2011) y allí se indica que es una técnica de administración que integra el alcance, cronograma y recursos con el fin de medir el estado actual y el progreso del proyecto previendo el futuro del proyecto (Project Management Institute, 2011).

Algunos conceptos básicos son:

Costo Actual (AC, Actual Cost): Es el costo en el que se ha incurrido al momento de la medición por los trabajos realizados.

Valor Ganado (EV, Earned Value): Es la medida del trabajo completado al momento de la medición con el precio establecido para ese trabajo en el presupuesto.

Valor Planificado (PV, Planned Value): Es el costo planificado, y se obtiene de calcular el trabajo planificado al momento de la medición al precio establecido para ese trabajo en el presupuesto.

Presupuesto hasta la conclusión (BAC, Budget at Completion): Es la suma del costo presupuestado de todos los trabajos hasta la conclusión del proyecto, no incluye reservas de gestión.

Presupuesto base del proyecto (PBB, Project Budget Base): Es el presupuesto inicial con el que se desarrollan los presupuestos, sin embargo, en este presupuesto no se ha definido presupuesto oficial del proyecto.

Reserva de gestión (MR, Management Reserve): Es una fracción de la base del presupuesto del proyecto (PBB), se dispone como respaldo de trabajo imprevisto y que está dentro del alcance del proyecto.

Línea Base de Medición de desempeño (PMB, Performance Measurement Baseline): Es el costo presupuestado y el tiempo contra el que se mide el desempeño del proyecto.

Variación del cronograma (SV, Schedule Variance): Es una medida de desempeño del cronograma, y mediante una ecuación se determina si el proyecto se encuentra adelantado o atrasado con respecto a la fecha de entrega. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$SV = EV - PV \quad \text{Ecuación 1}$$

Si SV es positivo el proyecto se encuentra adelantado, por otro lado, si es negativo el proyecto se encuentra atrasado.

Variación en el costo (CV, Cost Variance): Es una medida de desempeño del

costo, mediante una ecuación se determina el monto del déficit o superávit presupuestario al momento de la medición. Se calcula como se muestra a continuación:

$$CV = EV - AC \quad \text{Ecuación 2}$$

Si el valor de CV es positivo los costos han sido menores a lo presupuestado, por el contrario, si CV es negativo los costos han sido mayores que los presupuestados.

Varianza del cronograma (SV%): El SV% a diferencia del SV, muestra en que porcentaje el proyecto se encuentra adelantado o atrasado. Un valor menor que 1 indica que el proyecto está atrasado. El SV% se calcula de la siguiente forma:

$$SV = SV/PV \quad \text{Ecuación 3}$$

Índice de desempeño del cronograma (SPI, Schedule Performance Index): Muestra cuanto del trabajo planeado se ha completado. Su cálculo se obtiene de:

$$SPI = EV/PV \quad \text{Ecuación 4}$$

Varianza en el presupuesto (CV%): Muestra en que porcentaje el proyecto se encuentra en déficit o superávit con respecto a lo planeado. Un valor menor que 1 indica que el proyecto está utilizando más recursos de los planeados.

$$CV\% = CV/EV \quad \text{Ecuación 5}$$

Índice de desempeño del presupuesto (CPI, Cost Performance Index): Muestra la eficiencia del costo para los trabajos completados, un valor menor que 1 indica que el costo es superior al planeado. Se calcula de la siguiente manera.

$$CPI = EV/AC \quad \text{Ecuación 6}$$

Estimación para completar (ETC, Estimate to Complete): Es el costo previsto para terminar todo el trabajo restante del proyecto. Se calcula según la siguiente ecuación cuando el trabajo se está realizando de acuerdo con lo planeado:

$$ETC = (BAC - EV)/CPI \quad \text{Ecuación 7}$$

Estimación a la conclusión (EAC, Estimate at Completion): Es la estimación del costo total del proyecto por lo que suma el costo actual (AC) y el costo previsto para completar (ETC)

$$EAC = AC + ETC \quad \text{Ecuación 8}$$

Varianza hasta la conclusión (VAC, Variance at Completion): Es el diferencial entre el presupuesto hasta la conclusión y la estimación a la conclusión, un resultado negativo indica un sobrecosto en el proyecto.

$$VAC = BAC - EAC \quad \text{Ecuación 9}$$

Índice del desempeño del trabajo por completar (TCPI, To-Complete Performance Index): Muestra el desempeño del costo que se debe alcanzar con los recursos restantes a fin de cumplir ya sea con el tiempo o con el presupuesto.

$$TCPI = (BAC - EV)/(BAC - AC) \quad \text{Ecuación 10}$$

$$TCPI = (BAC - EV)/(EAC - AC) \quad \text{Ecuación 11}$$

TPCI > 1: Difícil de cumplir
 TPCI < 1: Fácil de cumplir

Con la ecuación 10 se obtiene el índice de la eficiencia necesaria para cumplir con el plan. Con la ecuación 11 se obtiene el índice de la eficiencia necesaria para cumplir con el valor de la estimación a la conclusión.

En la figura siguiente se muestran los conceptos básicos de forma gráfica.

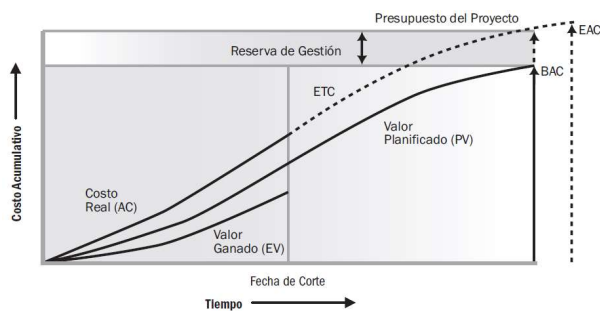


Figura 7: Conceptos básicos del Valor Ganado. Fuente: (Project Management Institute, 2013, p.264)

Habilidades blandas

Todas las herramientas mencionadas anteriormente requieren que una persona estudiada las conozca, es decir, que sea apto en su conocimiento técnico y tecnológico para lograr aplicarlas, a esta aptitud de una persona para realizar un trabajo se le conocen como habilidades o competencias duras.

Las competencias duras “comprenden las destrezas técnicas adquiridas para desempeñar determinadas tareas o funciones. Se obtiene a través de la educación, capacitación, entrenamiento o son aprendidas en el trabajo” (Corporación Centro Internacional de Marketing Territorial para la Educación y el Desarrollo de Colombia CIMTED, 2017, p.243). Algunos ejemplos mostrados por los autores son: programar computadoras, dominio de idiomas, título o certificado, velocidad de escritura, manejo de información, etc.

Por otra parte, se encuentran las habilidades blandas, correspondientes a “los atributos o características de una persona que le permiten interactuar con otras de manera efectiva. Está relacionado con inteligencia emocional” (Corporación Centro Internacional de Marketing Territorial para la Educación y el Desarrollo de Colombia CIMTED, 2017, p.242).

Entonces, el conocer y considerar las habilidades blandas para la contratación de personal cada vez adquiere mayor importancia en el mercado laboral (Corporación Centro Internacional de Marketing Territorial para la Educación y el Desarrollo de Colombia CIMTED, 2017).

Por ejemplo, en la empresa Google, luego de mejorar las habilidades blandas, los key account manager empezaron a cerrar más de 60% extra (De Tal, 2017).

Si bien es cierto que las habilidades duras son importantes y pueden mejorar los procesos de la empresa, también es necesario que el personal cuente con habilidades blandas para complementarlas amplificando los beneficios.

Es por lo anterior que en este trabajo se lleva a cabo una investigación de las distintas habilidades blandas con las que puede contar el personal, incluyéndolo en la propuesta de gestión, como requisitos de la persona a cargo de la gestión del proyecto.

Las habilidades blandas se clasifican en tres grupos (como se cita en Corporación Centro Internacional de Marketing Territorial para la Educación y el Desarrollo de Colombia CIMTED, 2017), las genéricas, las básicas o esenciales, y las técnicas o funcionales.

Las habilidades blandas clasificadas como genéricas corresponden a aquellas requeridas en cualquier tipo de trabajo, como por ejemplo integridad, proactividad, iniciativa, confiabilidad, predisposición a aprender. (Corporación Centro Internacional de Marketing Territorial para la Educación y el Desarrollo de Colombia CIMTED, 2017).

En segunda instancia, las habilidades blandas básicas o esenciales, son aquellas que se adaptan según el cargo o tipo de industria, por ejemplo, comunicación asertiva, trabajo en equipo, adaptabilidad, flexibilidad, orientación al servicio, creatividad, etc.

Finalmente, las habilidades blandas técnicas o funcionales son específicas según la descripción del puesto a desempeñar, por ejemplo, manejo de conflictos, conformación de equipos, motivación a subordinados, emprendimientos, etc.

Para determinar cuáles habilidades blandas pueden ser funcionales en este trabajo, primero es necesario conocer la teoría, por tanto, como lo cita Pillaca (2017, p.20) *“Chomsky (1985) menciona en su publicación las siguientes competencias blandas”*:

Adaptabilidad: es la capacidad de cambiar la conducta antes cambios como, nuevas dificultades, nuevos datos, o cambios en el entorno. Hace referencia principalmente al cambio en el comportamiento.

Ambición profesional: Es la conducta de la persona a promover su profesión, así como a desarrollar su potencial de carrera al máximo, desarrollando nuevas competencias personales y profesionales.

Análisis de problemas: Es la capacidad de una persona para llevar a cabo un análisis lógico, sistemático y estructurado de una situación determinada, hasta encontrar las posibles causas y soluciones a un problema.

Análisis numérico: Es una habilidad para analizar, organizar y presentar datos numéricos.

Apoyo de colaboradores: Es la habilidad propia de un directivo, brinda su apoyo al equipo de trabajo.

Aprendizaje: Es el hecho de comprender nueva información para su aplicación eficaz, especialmente a nivel de conducta, aplicar nuevos esquemas o modelos cognitivos, nuevas formas de interpretar la realidad.

Atención al cliente: Es la capacidad de reconocer las necesidades del cliente frente a los servicios que brinda la organización.

Atención al detalle: Se relaciona con la minuciosidad de análisis y manejo eficaz de conjuntos complejos de información de cualquier tipo con la que la persona ha de trabajar, procurando eliminar el error, así como las duplicidades.

Auto organización: Es organizar de manera eficaz las actividades propias, estableciendo actividades de mayor prioridad y utilizando el tiempo personal de la manera más eficiente posible. La persona se caracteriza además por ser ordenado, puntual y metódico en el uso del tiempo.

Capacidad de negociación: Hace referencia a cuando una persona es capaz de efectuar intercambios con terceras personas, buscando siempre el beneficio mutuo.

Comunicación escrita: Es la capacidad de comunicarse por medio de la escritura de manera clara, precisa, concisa, económica, comprensible y expresiva. Adaptar la forma de redacción al lector, así como a los objetivos del mensaje.

Comunicación oral: Es la capacidad de expresar opiniones de manera comprensible.

Conocimiento del entorno: Es mantenerse informado de los sucesos importantes que ocurren en el entorno de trabajo, los cuales afectan la actividad.

Control directivo: Es la capacidad de identificar cuando un proyecto se desvía o avanza correctamente según los objetivos iniciales.

Creatividad: Hace referencia a la capacidad de crear soluciones imaginativas a los problemas. Además, la persona es capaz de generar ideas, desarrollarlas, enriquecerlas y criticarlas.

Decisión: Es elegir una opción entre varias, comprometiéndose con opiniones concretas, así como las consecuencias que esta implica, y aceptando la responsabilidad.

Delegación: Es transferir las funciones o tareas a otra persona de manera adecuada y aceptable, brindando, además, la información

necesaria para llevarla a cabo, en ocasiones, se delega la toma de decisiones.

Disciplina: Es la capacidad de respetar la decisión de la dirección, subordinando las propias opiniones, aun cuando se está en desacuerdo.

Dominio de la Comunicación no Verbal: Es el control y uso adecuado del lenguaje corporal en situaciones de comunicación con otras personas.

Energía: Es un impulso, la capacidad de mantenerse apropiadamente activo para trabajar de manera eficiente y continua.

Escucha Activa: Es la capacidad de mantener la atención hacia el locutor, tomando notas y realizando preguntas hasta que el mensaje esté claro. Además de observar las reacciones y analizarlas.

Espíritu Emprendedor: Es la búsqueda y generación activa de ideas y oportunidades sacándole el máximo provecho a estas. Es ser proactivo, y que las ideas generen actividades rentables.

Evaluación de los Colaboradores: Es comprender a los colaboradores, sus necesidades de formación y adquisición de competencias, así como su satisfacción o insatisfacción profesional, que al mejorarlas pueden servir de impulso en el desarrollo de las actividades de la empresa.

Facilitar Reuniones: Es poder llevar a cabo de manera adecuada la elaboración de la agenda de una reunión, convocar a los interesados y dirigir una participación ordenada de estos.

Gama de Intereses Amplia: Hace referencia a la motivación de involucrarse y conocer variedad de aspectos de la vida, no solo en lo profesional, sino, además, en el ámbito social, científico, artístico, técnico, etc.

Impacto: Relacionado con la buena presentación, pero además en su conducta y cómo se comporta en los ambientes.

Independencia: Es mantener pensamientos y posiciones personales bajo criterios propios, mientras esto no perjudique los intereses de la empresa.

Integridad: Es el actuar bajo principios éticos, aun cuando se presenten oportunidades para no hacerlo.

Juicio: Es el pensar lógico, el sentido común, sin que intervengan emociones, es analizar las situaciones para llegar a conclusiones justas y viables.

Liderazgo de Grupos: Se trata de una competencia para ejercer el liderazgo, así como la orientación de la acción de grandes grupos de personas en una dirección determinada, inspirando valores, anticipando los posibles escenarios de desarrollo, aunque no sea posible la interacción personal continua entre el directivo y el grupo que dirige.

Liderazgo de Personas: es la capacidad para anticipar problemas de los colaboradores en el desempeño de sus funciones, dotándolos de recursos, así como de medios tecnológicos, facultándolos y desarrollando seguimiento de sus trabajos, además de ofrecerles retroalimentación, ayudándolos a encontrar vías de resolución de dificultades y arbitrando en los conflictos interpersonales, analizando resultados, entre otros aspectos.

Organización: Es reunir y ordenar eficazmente las actividades de un conjunto de personas, de tal forma que se aproveche de la mejor manera el esfuerzo y se alcancen los objetivos.

Persuasión: Es el efecto de convencer o atraer a otras personas acerca de los propios planteamientos o pensamientos, sin ejercer autoridad, violencia o la fuerza.

Planificación: Es cuando se logra fijar objetivos medibles, con los cuales se controlará la consecución de las metas de la empresa.

Presentación: Es la capacidad de transmitir un mensaje de manera adecuada por lo que implica analizar la audiencia, seleccionar el contenido a transmitir, diseñar los medios de apoyo audiovisuales correctos, desarrollar la comunicación adecuada con el grupo utilizando el lenguaje verbal y no verbal, mantener la atención constante y responder eficazmente las dudas del grupo.

Resolución: Es dar solución a una situación que requiere una acción rápida. Es tomar una decisión y tomar acción de manera proactiva, ante dificultades sin perder el tiempo.

Sentido de la Urgencia: Reconocer cuando una tarea requiere atención especial para realizarla en tiempos cortos.

Sociabilidad: Es relacionarse sin necesidad de muchos apoyos externos, de manera adecuada.

Trabajo en Equipo: Es compartir responsabilidades, confiando el trabajo en otras personas para lograr un objetivo en común, poniendo por encima los intereses comunes ante

los personales. Es aportar en la consecución de los objetivos y ser comprender las consecuencias de las propias acciones en el éxito del equipo.

Tenacidad: Es mantener el objetivo de lograr las tareas sin importar las dificultades o los obstáculos.

Tolerancia al Estrés: Es mantenerse trabajando con normalidad, enfrentando las situaciones de presión por tiempo. Es continuar en la adversidad sin mostrar los efectos del cansancio, sin perder el control de la conducta y manteniendo la capacidad de análisis.

Visión: Previsualizar situaciones futuras de la realidad, en todos los aspectos que influyan en la actividad, como lo es la tecnología el campo político, económico, monetario, etc.

Todas las habilidades blandas mencionadas anteriormente serán analizadas más adelante para determinar cuáles aportan en la gestión de proyectos.

Metodología BIM

Se entiende por metodología como al “conjunto de métodos que se siguen en una exposición doctrinal” (Real Academia Española, 2014), para este caso, se entiende como el conjunto de métodos que implementan las tecnologías de Building Information Modeling (BIM)

“BIM es un modelo detallado compuesto por múltiples fuentes de información, cuyos elementos pueden ser compartidos por todas las partes interesadas y mantenerse a lo largo de todo el ciclo de vida desde el comienzo hasta el reciclado” (NBS citado por Ascue, 2017, p.23).

En Building Information Modeling (BIM), entiéndase por Building su traducción al español: “Edificio”, Information por “Información”, y Modeling por “modelado” o “crear un modelo”. Por tanto, en español, se puede entender como el modelado de información de los edificios. Y generalmente con BIM se quiere principalmente crear un modelo 3D,

Existen muchos programas computacionales que implementan esta tecnología, dentro de los cuales se puede mencionar Autodesk Architecture, Autodesk Revit, Graphisoft ArchiCAD, Nemetscheck Allplan y Bentley Architecture, donde algunos cumplen mejor ciertas funciones que otros como la gestión del proyecto, el modelado literal, entre otros.

¿Ventajas de BIM?

Según Monfort (2015), dentro de las ventajas que se obtiene con BIM se pueden mencionar:

Coherencia de la información, dado que toda la información se encuentra en un único modelo, además, los programas computacionales implementan vistas que se actualizan automáticamente con los cambios que se realicen en el modelo general, lo cual no solo disminuye el tiempo requerido para la elaboración del modelo, sino que disminuye a gran escala los posibles errores que se pueden cometer en comparación con realizar modificaciones en todas las vistas una a una.

Colaboración, debido a que los programas que implementan BIM, facilitan el trabajo conjunto de distintos profesionales en el mismo modelo, y de esta forma se ahorra tiempo de espera.

Mejor entendimiento en el diseño, ya que al diseñarse las obras mediante programas que implementa la metodología BIM, se obtiene un modelo tridimensional automáticamente conforme se trazan los elementos en vistas en planta. Lo cual para muchas personas es una gran ventaja ya que ayuda a visualizar el producto final.

¿Desventajas de BIM?

De igual forma Monfort (2015) plantea algunas desventajas que sufre BIM actualmente:

Resistencia al cambio por parte de los usuarios, más que una desventaja es una limitación que se tiene en la implementación al mercado de este método, que con el paso del tiempo irá teniendo menor impacto.

Formación necesaria, debido a que la metodología implica utilizar programas especializados, y por tanto, invertir dinero y tiempo en el aprendizaje, por lo que muchas personas prefieren seguir trabajando como están acostumbradas.

Falta de perfeccionamiento, al ser una metodología reciente los programas se encuentran aún en desarrollo y tienen errores que se irán mejorando con el tiempo.

El costo de los programas que se requiere para la implementación del BIM puede llegar a ser bastante alto, y además demandan una capacidad muy alta en los ordenadores.

BIM vs CAD, comparación de metodologías

Morales (2018) indica que las TICs se han ido transformando y complementando al proceso clásico de diseño en construcción, es así que el CAD (Computer Aided-Design) sustituyó al papel de las maquetas de cartón y trazado de planos a mano que se realizaba por años 70s, llegando a ser la herramienta profesional más difundida en el sector de la ingeniería, debido al alcance que se tiene con respecto a su adquisición y a la compra de computadoras personales cada vez más económicas y más potentes.

El CAD se puede complementar con otras tecnologías para hacer un desarrollo integral de un proyecto desde su fase de diseño hasta su producción en línea, con lo que consigue un ahorro en el tiempo de desarrollo del proyecto. CAD y CAM (Computer-Aided Manufacturing) son utilizados tanto como para el diseño de un producto, como para el control de su fabricación (Aguilar, 2017)

Ahora bien, así como el CAD reemplazó a las maquetas de cartón y los trazos a mano, ahora con BIM se busca optimizar procesos a objeto de convertir al sector de construcción en una industria, con procesos repetitivos controlados, aunque es posible que aún luego de la implementación de BIM, existan proyectos en los que solo se haga uso de CAD, ya que son procesos de cambios y adaptaciones que toman su tiempo.

Poco a poco el BIM se está expandiendo y en algunos unos años se verá que esta forma de trabajar entre los equipos de un proyecto cambiará de forma importante, sobre todo por la cantidad de información que se puede capturar y usar desde el primer día, para de esta manera facilitar una visión integral del proyecto desde el primer momento. (Díaz, 2009).

Además, al igual que cuando se adoptó el CAD, cuando se comenzó a usar el BIM se requirió y se requiere cambiar formas de pensar y de asumir los proyectos, siendo lo más complejo acostumbrarse a diseñar con una herramienta que no es capaz de expresar ningún elemento sin haberlo definido previamente, aunque sea en otro proyecto. Olvidarse o dejar de lado ese mundo de la representación física a digital para desarrollar el proyecto arquitectónico fue un cambio cultural importante e igualmente sucede con la aparición

del BIM, donde no tiene mucho sentido trabajar el proyecto si sólo se ocupará como una plataforma visual para describirlo, en que la parametrización marca una importante diferencia (Valdés, 2014).

En este mismo orden de ideas León, Crispancho y Gómez (2019) afirman que

Dentro del proceso constructivo tradicional, o como algunos autores lo denominan “clásico”, se cuentan con diferentes metodologías para el diseño de los proyectos de construcción, sin embargo, la metodología CAD es la más conocida y también la más usada por los diseñadores de proyectos de construcción, es por ello que en este numeral se plantea un comparativo de esta metodologías con el fin de determinar las necesidades de información y transferencia de información en la fase de ejecución de obra. (p. 45-46)

Conceptos básicos de BIM

En esta sección se muestran los conceptos relacionados a BIM, y que serán de utilidad para el desarrollo de este proyecto.

BIM durante la etapa de diseño

BIM tiene como objetivo reunir la información de un proyecto en una sola base de datos, completamente integrada e interoperable, que pueda ser utilizada por todos los miembros del equipo de diseño y construcción, y al final por los propietarios y operadores a lo largo de su ciclo de vida (Martínez, 2019). Y durante la etapa de diseño se toman en cuenta:

Visualización: los sistemas BIM ofrecen la posibilidad de hacer los modelos con cierto grado de realismo pudiendo exportar vistas en 2D (plantas, cortes, elevaciones, detalles, etc.), en 3D (isométricas, perspectivas), en 4D (simulaciones de construcción) y 5D (estimaciones de costo), lo que permite que el diseño de un edificio sea más comprensible por parte de todos los involucrados en el proyecto, inclusive si no cuentan con conocimiento técnico sobre en el tema (Ruiz, 2015).

Participación temprana de los involucrados del proyecto: lo que genera algunos beneficios, tal como que los contratistas pueden contribuir a diseñar el proyecto al ofrecer información específica de la construcción durante esta etapa de diseño, y así se puede realizar un análisis de la constructibilidad durante esta etapa (Martínez, 2019).

Mantenimiento de la información y la integridad del diseño: los programas BIM están basados en elementos y parámetros que permiten almacenar la información, y al modificarse una de las características de algún elemento, se actualiza automáticamente en las diferentes vistas en las que se encuentra (elevaciones, cortes, en planta y en 3D), y de esta forma las incompatibilidades que se presentan usualmente entre las vistas en planta y corte en una disciplina son desestimadas (Ruiz, 2015).

Detección de incompatibilidades: el análisis de interferencias es el principal uso de los modelos BIM, el cual reduce las incompatibilidades, lo que aumenta la productividad y reduce costos durante la etapa de construcción, en especial en proyectos que involucran una infraestructura compleja (Saldias, 2010).

Estimación de costos: en su concepción, un modelo BIM debidamente desarrollado posee la información geométrica y las propiedades de los elementos en estudio, por lo cual puede ser utilizado como una base de datos para extraer cantidades de materiales y reemplazar a los cálculos manuales realizados en el proceso del proyecto, tanto para obtener el presupuesto, como también para pedir los volúmenes de materiales que serán utilizados en una determinada fecha. (Ruiz, 2015).

Simulación y análisis del producto: BIM ofrece la posibilidad de simular el modelo del diseño tomando en cuenta los criterios de rendimiento de las etapas tempranas (comportamiento estructural, desempeño térmico, iluminación, acústica, desempeño energético y sostenibilidad), por lo que el valor de BIM durante esta etapa de diseño o ingeniería se verifica a través de los proyectos en los cuales se percibe que se incrementan la calidad del diseño (a través de ciclos de análisis efectivos) y la innovación (a

través del uso de aplicaciones digitales de diseño) (Farfán y Chavil, 2016).

Algunos de los beneficios de aplicar BIM en la etapa de diseño en una empresa que haya realizado un buen proceso de implementación son (Farfán y Chavil, 2016):

- Permite el diseño colaborativo y técnicas
- Incrementa la comunicación entre clientes, especialidades, constructores y proveedores
- Mejora la información compartida entre los stakeholders
- Facilita la toma de decisiones en el diseño de las especialidades
- Reduce cantidad de RFI's y órdenes de cambio
- Agiliza la evaluación de escenarios "What if"
- Agiliza la reacción a los cambios de diseño
- Agiliza la generación más exacta y consistente de planos 2D
- Obtención de costos estimados
- Permite la fijación de precios de las modificaciones en tiempo real
- Agiliza la productividad de staff debido a la facilidad de obtención de información
- Analiza el sistema de la edificación (flujo de aire, edificación sostenible, modelamiento de energía, etc.)
- Mejora la visualización de la edificación para diseñadores, constructores y clientes/propietarios
- Permite trasladar la "Revisión de Plano/Permiso" desde los planos a un medio electrónico (p. 34-35)

BIM durante la etapa de construcción

Estimación de la cantidad de materiales: la estimación de la cantidad de materiales con BIM, genera una nueva forma de trabajar, ya que los mismos pueden ser obtenidos directamente de un modelo BIM al terminar la etapa de modelado 3D (Martínez, 2019).

Detección de conflictos: construir es materializar los diseños estructurales, arquitectónicos y de instalaciones, aunque en obra, los enfrentamientos entre estas especialidades

pueden significar retrasos, generando pérdidas en términos de tiempo y costos, por lo que BIM puede ser usada para detectar estos conflictos o interferencias, ayudando a evitar los riesgos que puedan derivar de la no identificación de los mismos (Bances y Falla, 2015).

Simulación 4D: las tecnologías BIM-4D combinan los modelos BIM-3D con la cuarta dimensión (duraciones de las tareas de construcción programadas en un calendario de obra con algún software, p.e. Primavera o MS Project), entonces al combinar las actividades de un programa de ejecución de la construcción con elementos de un modelo BIM-3D se obtiene una simulación visual de la secuencia constructiva (modelo 4D), el cual visualiza simultáneamente las tres dimensiones geométricas del proyecto, más la cuarta dimensión del tiempo proveniente de las duraciones de las actividades de los procesos de construcción (Alcántara, 2013).

Algunos de los beneficios de aplicar BIM en la etapa de construcción en una empresa que haya realizado un efectivo proceso de implementación según Farfán y Chavil (2016) son:

- Permite tener la visualización virtual y completa de la edificación
- Permite buscar técnicas y secuencias constructivas
- Clarifica el riesgo del proyecto (permite reducir riesgos)
- Reduce conflictos y errores en documentos contractuales
- Agiliza detección de conflictos y evita retrabajos
- Permite trabajar con condiciones térmicas y acústicas
- Reduce cantidad de RFI's y órdenes de cambio
- Reduce costos de construcción
- Agiliza la productividad de staff debido a la facilidad de obtención de información
- Mejora la comprensión del personal obrero respecto de las labores diarias (p. 35-36)

Niveles de desarrollo BIM (LOD)

Debido a la gran cantidad de información que se puede ingresar en el diseño de un modelo BIM, se hace necesario establecer límites en cuanto al nivel de desarrollo, en inglés, Level of Development (LOD). Esto se hace con el fin de

obtener una referencia que facilite a las empresas que utilizan BIM a especificar el nivel deseado en sus proyectos (BIMFORUM, 2015).

Es importante resaltar que nivel de detalle y nivel de desarrollo no corresponden al mismo concepto, ya que el nivel de detalle es la cantidad de detalles que se le incluyen a un elemento, mientras que el nivel de desarrollo es el nivel en que la geometría de los elementos y la información han sido pensadas. (BIMFORUM, 2015).

BIMFORUM en conjunto con National Institute of Steel Detailing y BIM, establecieron 6 niveles de desarrollo, y cada nivel incluye las características del nivel anterior:

LOD 100: Es un nivel básico y meramente gráfico, aunque los elementos se muestran para demostrar su existencia, no se detallan dimensiones ni localización de estos, ninguna información de un modelo LOD 100 debe considerarse aproximada.

LOD 200: Los elementos se acotan con medidas aproximadas de dimensiones, ubicación, orientación. Cualquier información, no necesariamente gráfica, se puede incluir en el modelo.

LOD 300: A diferencia del nivel anterior, en estos modelos la información correspondiente a elementos tal como medidas, ubicación u orientación es exacta.

LOD 350: Incluye además la relación que existe del modelo con otros edificios o estructuras cercanas, por ejemplo, se establece la distancia entre las estructuras, orientación entre otros.

LOD 400: Se detallan los elementos, con datos de fabricación, ensamblaje e información de instalación.

LOD 500: Es un modelo que se obtiene con la obra construida, dado que incluye a detalle la verificación en campo acerca de los tamaños, formas, ubicación, cantidades y orientación reales. Aunque el modelo LOD 500 no contribuya en la construcción, es fundamental para brindar un buen trabajo de mantenimiento, y reconstrucción.

Roles y perfiles en la metodología BIM

León, Cristancho y Gómez (2019) señalan que aunque no hay un consenso general, el avance del uso de BIM en el sector de la construcción implica trascender a la organización tradicional, y los roles y perfiles son basados en las responsabilidades

BIM, las cuales se dividen en: Estrategia, Gestión, Usuarios BIM, Producción y Apoyo, cada una de ellas configuradas con los siguientes roles:

- **BIM MANAGER:** sería el encargado de establecer los objetivos de implementación a corto, mediano y largo plazo, teniendo deseablemente un conocimiento holístico de BIM, además sería el encargado de la coordinación de los equipos BIM y la coordinación de sus trabajos entre sí, incluyendo el establecimiento de los procedimientos y estándares BIM necesarios para garantizar la calidad en la ejecución, por lo que su rol es la estrategia.

- **COORDINADOR BIM:** sería el encargado de coordinar los trabajos con el objeto de cumplir con las estrategias designadas por el BIM MANAGER, además del encargado de establecer los alcances del trabajo que desarrolla el modelador BIM y auditar o evaluar la calidad de los entregables, por lo que su rol es la gestión de los modelos BIM.

- **ESPECIALISTA BIM:** sería el encargado de la modelación y análisis de modelos, para la programación, proyección y fabricación y como revisor debe verificar y certificar toda información entregada en modelos BIM, sin importar la etapa dentro del ciclo de vida del proyecto, por lo que su rol dentro del proceso es de usuarios BIM.

- **MODELADOR BIM:** sería el responsable de dar uso a las herramientas BIM necesarias para desarrollar las actividades configuradas y asignadas, además del encargado de seguir las instrucciones y lineamientos garantizando la coordinación efectiva interdisciplinaria, por lo que su rol es el de producción y apoyo.

Dimensiones BIM

Según Fernández (2018) BIM es una evolución de los sistemas tradicionales de diseño, aunque incorpora nuevas dimensiones que hasta el momento se llevaban a cabo de forma independiente, donde una dimensión BIM se refiere, a la profundidad del modelo realizado pasando por todas las etapas de vida de la estructura o solo una fracción. Estas dimensiones están asociadas a niveles de implementación BIM, y se considera que a mayor nivel de implementación mayor cantidad de dimensiones se abarca.

Modelo 3D BIM: Representación Tridimensional

Anteriormente se describió el significado, de modelo como un arquetipo a imitar. Por 3D se entiende que es tridimensional, es decir, en tres dimensiones. Por tanto, entiéndase al modelo 3D como una representación en tres dimensiones de un objeto que se quiere imitar o reproducir, además, cuando se le agrega la palabra BIM, indica que el modelo es el resultado de la modelación de la información de un edificio.

Existe variedad de software de modelación 3d BIM, dentro de los cuales se puede mencionar Revit, ArchiCAD y AllPlan.

Martínez (2019) lo explica como el modelamiento geométrico de la infraestructura en formato 3D mediante el uso de animaciones, renders y recorrido.

Este uso de herramientas para la realización de un modelo digital de una obra de construcción permite enfocar la atención al detalle gráfico del diseño del proyecto, lo que garantiza una representación realista de la parte estética y una óptima conexión geométrica con los elementos modelados.

Aquí también surge la necesidad de gestionar la actividad conocida como “model checking” (control de modelo) que está formalizada operativamente en dos actividades diferentes (Martínez, 2019):

- El code checking, que es la evaluación de la conexión del modelo con las peticiones de diseño y las normativas.

- La clash detection, que es el análisis preventivo de los conflictos geométricos (y no) del modelo.

Entonces, el objetivo de esta dimensión o modelo es la elaboración de un diseño detallado, documentación y eventual fabricación de los elementos que componen la estructura (Pérez, 2019).

Modelo 4D BIM: Programación

La simulación 4D consiste en vincular las actividades del modelo 3D BIM al cronograma del proyecto con el fin de obtener la simulación del proceso de construcción a lo largo del tiempo. Esta herramienta permite visualizar mejor la planeación y monitoreo del proyecto (Boton, Kubicki y Halin, 2015)

Con un modelo BIM 4D, se puede analizar con un recurso visual la secuencia relacional entre actividades, registrar en obra las actividades terminadas y comparar contra lo planeado, de tal manera que se obtenga una referencia del estado actual del proyecto, de manera gráfica.

Algunos softwares para crear el modelo 4D BIM son Navisworks y Synchro PRO.

Martínez (2019) señala que este modelo es el que caracteriza y diferencia a BIM de otras metodologías y/o software de trabajo tradicionales, ya que se refiere al dinamismo y de esta manera es posible la realización de una planificación temporal exhaustiva de todas y cada una de las fases del proyecto, que puede ir cambiando a medida que vayan cambiando las características y condiciones del proyecto en sus diferentes fases de ejecución.

Entonces, este modelo es el referente al tiempo, ya que al modelo 3D se le anexa toda la información paramétrica referente a programación y tiempos de ejecución de cada etapa, siendo el objetivo de esta fase elaborar la logística de la construcción, así como su planificación (Pérez, 2019).

Modelo 5D BIM: Análisis de costos

Este modelo comprende el análisis y estimación de los costos del proyecto, incluyendo el control a medida que se avance o se vaya modificando, permitiendo, de una manera sencilla, generar informes presupuestarios en cualquier momento de la vida de la infraestructura (Martínez, 2019).

En este mismo orden de ideas, Pérez (2019) expone que cada elemento está asociado a una geometría y a un material, y el software BIM puede proporcionar cantidades, volúmenes de material, y si a cada uno de ellos se le asigna un costo unitario se tendrá una estimación de costos muy objetiva, por lo que la finalidad de esta dimensión es obtener un estimado del flujo de caja en cada etapa.

Modelo 6D BIM: Sostenibilidad

Esta dimensión o modelo se refiere al planteamiento y simulación de las alternativas contingentes y su análisis con el objeto de determinar cuál de ellas es más adecuada para

ejecutarse, es decir, se transforma en una elección de la alternativa óptima teniendo en cuenta todas las dimensiones del proyecto (Martínez, 2019). Además, según Pérez (2019), su finalidad es realizar un análisis energético de la estructura.

Modelo 7D BIM: La gestión del ciclo de vida

Martínez (2019) señala que BIM representa un entorno de gestión en el que se localiza y organiza información referente a una infraestructura a lo largo de toda su vida útil, por lo que el software BIM usado almacena todas las características de los elementos dispuestos en el proyecto, tales como dimensiones, costos, planes de mantenimiento, etc., para que de esta manera exista un proceso de modificación y retroalimentación continua en todos los cambios entre el proyecto inicial y la realidad de ejecución. El objetivo de este modelo es planificar las operaciones de mantenimiento, renovación y finalmente demolición (Pérez, 2019).

Tablas de cuantificación

Los softwares de modelación 3D brindan la posibilidad de crear tablas con las cantidades materiales correspondientes al edificio, por ejemplo, se puede obtener una tabla que cuantifique la cantidad de metros cuadrados de ventanearía, otro ejemplo, sería una tabla que cuantifique los metros cúbicos de concreto. De esta manera es posible agilizar la cuantificación de materiales, y principalmente hacer más eficiente la actualización de las cantidades debido a que se hacen de manera automática cuando se modifica el modelo 3D BIM, con esto se resuelve un problema presente en la empresa ya que invierten mucho tiempo en la gestión de costos y la actualización de presupuestos.

Estas tablas no se pueden considerar para reemplazar el presupuesto, por el contrario, la información de las tablas debe ser exportada y analizada en un software presupuestario o similar. En este proyecto se muestran dos opciones de software para utilizar esta información en la creación de un presupuesto.

El primero es PRESTO, un programa de presupuestación que implementa BIM. Mediante un plug-in para REVIT llamado Cost-it, se puede

importar la información de las tablas de manera automática y relativamente sencilla.

La segunda opción es Access con Excel, con los cuales se exportan las tablas de cuantificación en formato ODBC, que es un tipo de base de datos que se explicará más adelante, y esta base de datos se puede leer con Access, y desde Excel es posible extraer la información de Access para crear el presupuesto (Bermeo, 2017).

Open DataBase Connectivity (ODBC) es una especificación estándar de software API, independiente del lenguaje de programación. La ODBC es una biblioteca de funciones ODBC que permite que las aplicaciones habilitadas para ODBC se conecten a cualquier base de datos para la que esté disponible un controlador ODBC.

Usos del BIM

Un uso es una tarea o procedimiento único en un proyecto que puede beneficiarse de la integración de BIM en ese proceso (The Computer Integrated Construction Research Program, 2010).

Según la guía para planes de ejecución BIM, existen 20 usos (ver Figura), los cuales pertenecen a cada una de las fases del ciclo de vida del proyecto.

Es importante tener presente los usos de la metodología BIM, ya que como se observa el alcance de la aplicación BIM es amplio, desde la planificación y el diseño del proyecto constructivo hasta la construcción y operación de éste.

Para efectos de este trabajo se elegirán los usos que aporten a la gestión del tiempo y del costo y dentro de los usos de interés para este proyecto resaltan, la estimación del costo, la planeación de fases, la programación y el control y planeación 3D.

Plan de Ejecución BIM (PEB)

Dado que el BIM es un trabajo en equipo, es importante que los involucrados cuenten con un plan de ejecución BIM para tener éxito en la ejecución de los procesos.

Un buen PEB asegurará que todas las partes estén claras de las oportunidades y responsabilidades asociadas a la incorporación de BIM en el flujo de trabajo del proyecto. Un PEB completo definirá los usos apropiados del BIM en el proyecto.

Para desarrollar el PEB, se establecen cuatro pasos, los cuales consisten en 1) Identificar los objetivos y usos apropiados BIM aplicables al proyecto, 2) Diseñar el proceso de ejecución BIM para los usos seleccionados, 3) Definir los entregables, el nivel LOD y los responsables y 4) Identificar la infraestructura de apoyo, es decir el software necesario y las habilidades del equipo de trabajo para una implementación exitosa. (The Computer Integrated Construction Research Program, 2010)

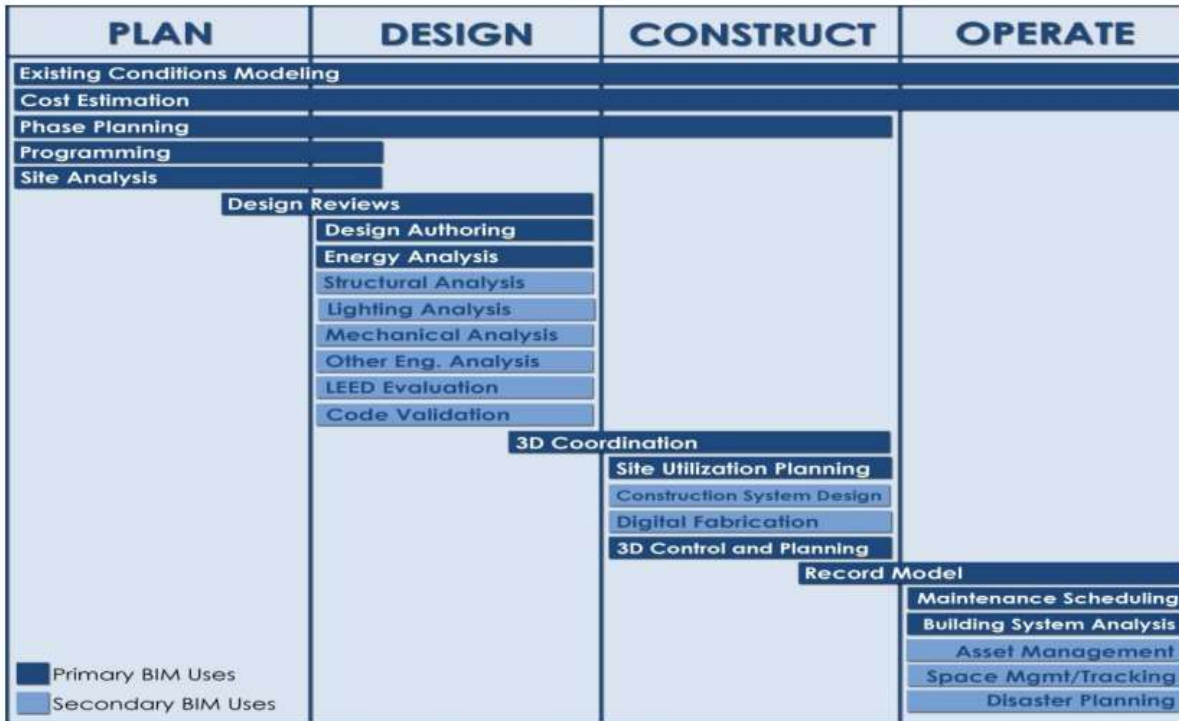


Figura 8: Usos Bim a lo largo del ciclo de vida de un proyecto. Fuente (Computer Integrated Construction Research Program, 2010).

Metodología

En este capítulo se muestra la metodología que se desarrollará para crear el plan de gestión de costos y tiempo en proyectos constructivos con apoyo de metodologías BIM. Se explica además el tipo de investigación, las fuentes y sujetos de información, las técnicas de investigación utilizadas, así como el procesamiento y análisis de datos.

Tipo de investigación

A continuación, se explican los tipos de investigación que se aplicarán en este proyecto:

Investigación Cualitativa

Es inductiva ya que parte de datos para desarrollar comprensión, conceptos y teoría. Es naturalista cuando la interacción con informantes se da de modo natural y no intrusiva, no intercambio formal de preguntas y respuestas. Y es descriptiva ya que el análisis se centra en la descripción, en la observación de fenómenos.

La investigación cualitativa parte del supuesto que los actores sociales no son meros objetos de estudio como si fuesen cosas, sino que también significan, habla, son reflexivos. También pueden ser observados como subjetividades que toman decisiones y tienen capacidad de reflexionar sobre su situación.

Este tipo de investigación se interesa por captar la realidad a través de los ojos de la gente que está siendo estudiada. (Monje Álvarez, 2011)

Este trabajo se relaciona con este tipo de investigación debido a que se utiliza la capacidad de los observados de reflexionar sobre su situación actual, indagando mediante conversación y de manera no intrusiva, con el fin de interpretar los puntos de vista de los trabajadores, comprendiendo sus necesidades en el puesto que desarrollan. Además se sigue el

procedimiento propuesto por Monje Álvarez (2011) para el desarrollo de la investigación cualitativa, compuesto por cuatro fases.

Investigación estratégica

“Tiene como objetivo entender los procesos relevantes para los sectores productivos, de modo que su comportamiento pueda ser predicho bajo una variedad de condiciones y subsecuentemente manipulados para crear o mejorar las tecnologías” (Tam Málaga, Vera y Olivero Ramos, 2008, p.147)

Este proyecto utiliza la investigación estratégica ya que, como lo mencionan los autores, se estudiarán los procesos actuales en la empresa constructora, y se mejorarán las necesidades mediante la manipulación de los procesos incorporando nuevas tecnologías y métodos de trabajo.

Investigación descriptiva

“Observacional, exploratoria, no experimental, formulativa. Exhibe el conocimiento de la realidad tal como se presenta en una situación de espacio y de tiempo dado. Aquí se observa y se registra, o se pregunta y se registra. Describe el fenómeno sin introducir modificaciones” (Rojas Cairampoma, 2015, p.5).

La relación de la investigación descriptiva con el presente trabajo se da porque se analizará la situación actual de la empresa, observando y cuestionando la forma de operación actual, registrando estos datos para ser utilizados posteriormente.

Fuentes de información

Las fuentes de información son aquellas que proporcionan los datos que corroboran una cita, que da crédito al autor de ella. (Cázares et al., 1999)

Fuentes directas (primarias)

Según Cázares et al. (1999), las fuentes de información directas o primarias conducen a la fuente original, ya sea escrita u oral.

En este proyecto se obtendrá mediante entrevistas y encuestas información de una fuente directa, en este caso de la experiencia de cada uno de los implicados en la gestión del costo y tiempo de los proyectos de la constructora.

Fuentes indirectas (secundarias)

“Estas notas nos remiten a una fuente que no se ha consultado directamente, sino a través de otras obras que la citan” (Cázares et al., 1999)

En este proyecto se hace consulta a fuentes indirectas, dentro de las cuales se puede mencionar el PMBOK.

Características de la población participante

Las personas elegidas como fuentes de información fueron todo el personal relacionado a la gestión de costos y tiempo de los proyectos constructivos dentro de Constructora La Colina S.A.

En oficinas, se encontró al gerente general y dueño de la empresa, al gerente de proyectos y al ingeniero electromecánico. Además, se analiza al bodeguero de la bodega principal y a la persona encargada de procesar la solicitud de materiales en proveeduría.

En el siguiente cuadro se muestra la información de la población participante.

PUESTO	CANT	GRADO ACADÉMICO	PROFESIÓN
Gerente general	1	Licenciado	Enfermería
Gerente de proyectos	1	Licenciado	Ingeniería Civil
Ingeniero electromecánico	1	Licenciado	Ingeniería Eléctrica
Proveedor	1	Bachillerato	
Bodeguero principal	1	Bachillerato	

Fuente: Elaboración propia.

Este tipo de muestreo es no probabilístico, en donde la selección de no es aleatoria, ya que se busca cierta característica en los involucrados, además es intensivo, dado que los sujetos seleccionados son los más experimentados en la empresa (Monje Álvarez, 2011).

Para analizar a nivel nacional la situación de cómo las empresas nacionales implementaron BIM se seleccionaron dos de éstas con las características mostradas a continuación.

EMPRESA	DISCIPLINA
Empresa 1	Construcción
Empresa 2	Diseño-construcción

Fuente: Elaboración propia.

Fases de la Investigación cualitativa

Según Monje Álvarez (2011) no existe un único método con el que se pueda obtener la gran variedad de experiencias y puntos de vista de los humanos, esto genera innumerables métodos capaces de llegar a comprender la experiencia del objeto de estudio.

Sin embargo, el autor propone cuatro fases en la investigación cualitativa, en donde reúne lo que existe en común en los distintos enfoques, esto es, el continuo proceso de toma de decisiones que se ve sometido el investigador. Estas etapas son: preparatoria, trabajo de campo, analítica e informativa. Cada fase está compuesta por etapas como se muestra en la Figura.

En la fase preparatoria se establecen dos etapas en la primera, la etapa reflexiva, el

investigador toma como base su propia formación, conocimientos, experiencias para establecer el marco teórico conceptual desde el que parte la investigación. En una segunda etapa, se establece la planificación de las actividades que se ejecutarán en las siguientes fases. (Monje Álvarez, 2011)

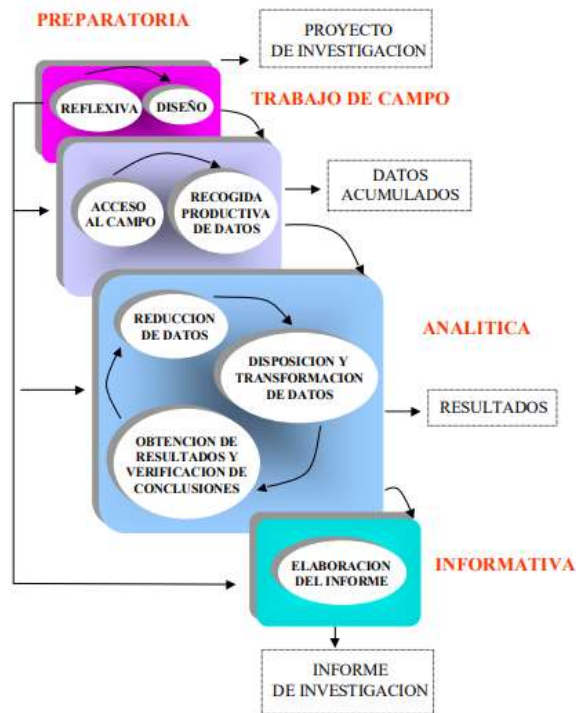


Figura 9: Fases y etapas de la investigación cualitativa. Fuente: (Monje Álvarez, 2011, p.35)

En la segunda fase: trabajo de campo, se presentan dos etapas, el acceso al campo y la recogida productiva de datos. En la primera etapa se da un acercamiento a la información fundamental, es el hecho de entrar por primera vez sabiendo lo que se debe hacer en ese momento. (Monje Álvarez, 2011).

Esta primer etapa es importante porque permite conocer la forma de trabajar en la empresa constructora, los trabajadores, las funciones que desempeñan y de esta forma identificar a los informantes más adecuados.

En una segunda etapa se da la recogida productiva de datos, en la cual se accede al campo con las técnicas e instrumentos para la recolección de datos, con la duración de la entrevistas,

cuestiones a realizar, entre otros. (Monje Álvarez, 2011).

Es importante esta etapa ya que es donde se aplican las entrevistas para luego proceder a analizar y entender la situación actual de la empresa en cuanto a los temas de interés.

En la tercer fase: fase analítica, se procede a a) hacer una reducción de datos, b) disposición y transformación de datos, y c) obtención de resultados y verificación de conclusiones.

Por último, en la fase informativa, se realiza la presentación y difusión de resultados. En esta fase el investigador no sólo llega a alcanzar la mayor comprensión del fenómeno objeto de estudio, sino que comparte esta comprensión con los demás. (Monje Álvarez, 2011).

Al finalizar la fase analítica se procede a presentar los resultados y conclusiones a la empresa constructora, además, mediante una presentación formal se explicarán los detalles de la investigación y la propuesta desarrollada.

Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Se pueden encontrar variados métodos de recolección de datos cualitativos, a continuación, se muestran las utilizadas en este proyecto.

Análisis documental

“Depende fundamentalmente de la información que se recoge o consulta en documentos, entendiéndose este término, en sentido amplio, como todo material de índole permanente”. (Cázares et al., 1999)

Este proyecto implementa la investigación documental ya que para su desarrollo se consultaron libros, revistas y videos en temas variados tanto físicos como digitales con el fin de analizar las distintas herramientas y técnicas existentes, además, como guía para la aplicación del análisis documental se utilizará la Lista de Verificación que se aprecia en el Apéndice 2.

Entrevista semiestructurada

Este tipo de entrevista presenta un grado mayor de flexibilidad que las entrevistas estructuradas. Se plantean algunas preguntas que pueden ajustarse a los entrevistados. La ventaja es que se pueden adaptar a los sujetos de tal manera que se pueden aclarar términos, identificar ambigüedades y reducir formalismos (Díaz Bravo, 2013). Para la aplicación de las entrevistas se utiliza la guía del Apéndice 1

Análisis FODA

El análisis FODA es una herramienta de estudio que permite distinguir la situación actual de una empresa u organización en el ámbito interno al estudiar las fortalezas y debilidades, y a lo externo considerando las oportunidades y amenazas, con el fin de obtener una perspectiva general de la situación estratégica de la empresa y su efecto para lograr un equilibrio entre las capacidades internas y la situación externa. (Talancón, 2007)

Fortalezas: Las fortalezas corresponden a: funciones que se realizan de manera correcta, cantidad de recursos con la que se cuenta, experiencia e imagen en el mercado.

Oportunidades: Corresponde a los factores externos no controlables por la empresa pero que son elementos importantes para el desarrollo.

Debilidades: Las debilidades son cualidades que carece la empresa y que la coloca en desventaja con la competencia como falta de procesos.

Amenazas: Son aspectos ambientales no controlables por la empresa y que representan problemas potenciales que afectan la empresa. (Talancón, 2007)

Categorías de la investigación

A continuación, se muestran las categorías en las cuales se estructuró la investigación. En las investigaciones cualitativas, a veces, las variables no se conocen a priori y suelen ser el

resultado de la investigación, ya que los fenómenos no son estructurados y las explicaciones no surgen hasta que los procesos de investigación concluyen. Por ello se suele recomendar la palabra categorías de análisis en el caso de investigaciones cualitativas (Rivas, 2015).

CUADRO 5: CATEGORÍAS DE ANÁLISIS					
Categorías de análisis	Subcategorías de análisis	Definición	Interrogantes	Fuentes y sujetos de información	Herramientas y Técnicas
Situación actual de la empresa	Recursos de la empresa	Conjunto de elementos disponibles para resolver una necesidad en la empresa, estos elementos pueden ser personal, maquinaria o equipo.	¿Cuál es el personal con el que cuenta la empresa y cuáles son sus funciones?	-Gerente general	Entrevistas y Encuestas.
			¿Con qué maquinaria, equipo y herramientas cuenta la empresa?	-Gerente de proyectos	
			¿Cuál es el proceso de asignación de recursos para los distintos proyectos?	-Ingeniero Electromecánico	
	Gestión del tiempo	Son procesos requeridos para gestionar la terminación en plazo del proyecto	¿Se entiende claramente el concepto de gestión del tiempo y su importancia?	-Proveedor de la empresa	
			¿Se recopila información del proyecto útil antes de desarrollar el plan de gestión de tiempo?	-Bodeguero	
			¿Se analiza la interdependencia de cada actividad de manera individual antes de desarrollar el cronograma?		
			¿Qué fuentes de información se utiliza para analizar rendimientos y recursos necesarios en las actividades?		
			¿Se da un análisis de optimización del cronograma una vez que se realiza?		
			¿Cómo visualizan en los proyectos cuando la obra no proyecta cumplir con lo planeado en cuanto a tiempo?		
			¿Se da seguimiento al cronograma?		

			¿Qué problemas se presentan en la gestión del tiempo?		
	Gestión del costo	Corresponde a los procesos necesarios para completar el proyecto dentro del presupuesto establecido	¿Se entiende claramente el concepto de gestión del costo y su importancia?		
			¿Qué información previa se recopila antes de iniciar los procesos de gestión de costos?		
			¿Qué método se utiliza para estimar la cantidad de materiales?		
			¿Qué fuentes de información de precios se utiliza?		
			¿Se puede prevenir en los proyectos cuando la obra no proyecta cumplir con el costo planeado?		
			¿Se utilizan métodos de análisis de desempeño del proyecto?		
			¿Qué problemas se presentan en la gestión del costo?		
	Herramientas y técnicas de gestión de costos y tiempo	Conjunto de elementos y habilidades utilizado para desempeñar un trabajo.	¿Qué herramientas de gestión de tiempo y costo existen?	Bibliográfica	Lista de verificación de herramientas
			¿Qué técnicas y métodos existen en el campo de gestión del costo y tiempo?		Documentación de la empresa
			¿Cuáles de las herramientas y técnicas anteriores son aplicadas en la empresa?	Gerente de proyectos Ingeniero Electromecánico Proveedor de la empresa Bodeguero	Libros Artículos

	Entorno de la empresa	Factores externos a la empresa que influyen de manera positiva o negativa.	¿Qué situaciones se presentan en el ambiente en el que se desarrolla la empresa, incluyendo temas BIM?	Bibliográfica	Artículos de noticias
Teoría de la gestión del tiempo y costo	Procesos de la gestión del tiempo y costo	Conjunto de fases sucesivas de un hecho complejo de gestión del tiempo y costo.	¿Cuáles procesos proponen los autores?	Bibliográfica	Libros Artículos
			¿Qué fases de los procesos son importantes para este caso?		
	Herramientas y Técnicas	Conjunto de procedimientos o recursos que se usan en una actividad determinada	¿De las herramientas y técnicas, cuales son útiles para este proyecto y por qué?	Bibliográfica	
	Software	Conjunto de programas y rutinas que permiten a la computadora realizar determinadas tareas	¿Cuáles programas de software tienen el mejor costo-beneficio para aplicarlos en este proyecto?	Bibliográfica	
BIM en la gestión del tiempo y costo de proyectos	Recursos BIM	Conjunto de elementos requeridos para aplicar la metodología BIM	¿Cuáles son los programas BIM presentes en el mercado y cuál es su utilidad?	Bibliográfica	Empresas nacionales Libros Artículos
			¿Qué ventajas y desventajas tienen estos programas con respecto a otros que tienen la misma utilidad?		
			¿Qué personal se requiere y cuáles serían sus funciones?		
			¿Qué habilidades requiere el personal para implementar BIM?		
	Métodos BIM	Modo ordenado y sistemático de proceder para llegar a un resultado o fin determinado	¿Qué conoce la empresa por Building Information Modeling y qué interés tiene por los usos BIM?	Gerente de proyectos Ingeniero Electromecánico	Empresas nacionales Libros Artículos
¿Qué procesos BIM se puede aplicar relacionados a gestión del tiempo y el costo?			Bibliográfica	Entrevistas	

Resultados

En el presente capítulo se muestran los resultados para cada objetivo según corresponda.

Situación actual de la empresa

En el primer objetivo de este trabajo se planteó analizar la situación actual de La Colina S.A. en temas de gestión del tiempo y costo, sin embargo, también es importante analizar su historia dado que aclara el entorno en el que se ha desarrollado a lo largo de los años. Por lo que primeramente se hace un resumen de sus inicios hasta la actualidad. Cabe destacar que esta información se recopiló en una primera visita cuando se planteaba la propuesta de este trabajo.

En una segunda instancia, y para obtener una mejor imagen de la empresa, se analizan los recursos con los que cuenta actualmente. Y en una tercera instancia se estudian los procesos y métodos actuales de la empresa.

Para lograr lo anterior, se realizaron entrevistas al Gerente General, el Ingeniero Civil y al Ingeniero Electromecánico, con el fin de conocer internamente los procesos y herramientas de trabajo actuales.

Las entrevistas se aplicaron mediante dos documentos, el primero es la guía para la aplicación de la entrevista del Apéndice 1 y el segundo la lista de verificación del análisis documental del Apéndice 2.

El primero consiste en una serie de preguntas de desarrollo con el fin de conocer los métodos actuales de gestión y procedimientos que sigue el personal entrevistado para realizar su trabajo.

El segundo es una lista de herramientas y software que facilita la gestión del tiempo y el costo, con lo que se pretende conocer si la

empresa actualmente cuenta con herramientas de apoyo.

Reseña histórica de La Colina S.A.

Constructora La Colina fue fundada en 1989 por el señor Daniel Araya Arias quien hasta ese momento ejercía la carrera de enfermería. Luego, en 2007 su hijo Andrés Araya Arce ingresaría a la empresa como Ingeniero Civil, fortaleciendo los conocimientos teóricos e incorporando el uso de herramientas como Excel y AutoCAD.

Esta constructora se ha especializado en edificios de estructura metálica y en la actualidad cuenta con el personal mostrado en el Cuadro 7 y los recursos del Gráfico 1.

En cuanto a proyectos que están en curso, para inicios del año 2021 se pretende iniciar la construcción de un segundo edificio de 6 niveles en un proyecto de desarrollo urbanístico el cual consta de dos torres de apartamentos y una torre de parqueos.

Al momento de la visita se observó que La Colina cuenta con una bodega de aproximadamente 5000 m², 500 m² de área en oficinas administrativas, y más de 10 000 m² de zona para guardar maquinaria y equipos.

Recursos de la empresa

Mediante la aplicación de la guía para la entrevista que se encuentra en el Apéndice 1, se evidenció que la empresa está compuesta por 5 departamentos: Gerencia General, Gerencia de Proyectos, Contabilidad, Proveeduría y Bodega. En el Cuadro 7 se resume el personal que se encuentra en cada departamento al momento de la investigación, así como sus funciones.

El Gerente General y dueño de la empresa es quien supervisa y toma decisiones finales en todos los proyectos, los ingenieros y administradores coordinan los proyectos y dan cuentas al Gerente General.

Es importante conocer los recursos de maquinaria, equipos y herramientas dado que esto influye en la planeación de los proyectos, tanto en el cronograma como en el presupuesto, y da una mejor imagen de la empresa, la cual al momento de la presente investigación contaba con la maquinaria y vehículos que se muestran en el cuadro 6.

CUADRO 6: MAQUINARIA DE LA EMPRESA	
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Vehículos	4
Busetas	2
Tráiler	2
Camión	2
Traileta	1
Excavadora	1
Vagonetas	1
Minicargadores	2
Manitú	4
Grúas	4

Fuente: *Elaboración propia.*

CUADRO 7: RECURSOS HUMANOS DE LA EMPRESA			
DEPARTAMENTO	PUESTO	CANTIDAD	GRADO ACADÉMICO
Gerencia General	Gerente General	1	Enfermería
Gerencia de proyectos	Ingeniero Civil	2	Ingeniería Civil Ingeniería Eléctrica
	Ingeniero Electromecánico		
	Administradores	2	Administración de Empresas
Contabilidad	Contadores	3	Contaduría
Proveeduría	Proveedor de la empresa	1	Bachillerato
Bodega	Bodeguero	1	Bachillerato
Maestros de obras	Maestro de obra	1	N/A
Mano de obra	Varios	20	N/A

Fuente: *Elaboración propia.*

Según lo obtenido mediante las entrevistas, los recursos de la empresa son asignados a los proyectos el día anterior, además que se hace un análisis de los proyectos que están en ejecución y se coordina tanto el personal de mano de obra como maquinaria y equipo que se utilizará en cada proyecto.

Gestión del tiempo en la empresa

Se cuestionó acerca de los procesos de la empresa para gestionar el tiempo en los proyectos constructivos, los resultados se muestran en el Apéndice 3.

De manera general, en los departamentos de gerencia sí se conoce el concepto y la importancia de gestión del tiempo.

Aparte de los planos del proyecto, no se recopila más información previa a la creación del plan de gestión de tiempo. La gerencia procede a crear actividades en MS Project, asignándoles duración y precedencias en el proceso y la información de duración de actividades es colocada por experiencia únicamente.

No se analiza la interdependencia de cada actividad previamente, esto se hace durante la creación del cronograma.

No se utilizan fuentes de información para determinar rendimientos ni recursos necesarios, estos datos se aproximan según la experiencia de los ingenieros, además, la asignación de recursos se hace posterior al desarrollo del cronograma.

El cronograma es realizado por una persona, y revisado por esta misma, por lo que no se da un análisis de corrección de errores adecuado al no contar con el criterio de personas distintas.

Normalmente en los proyectos no se tiene claro si el proyecto se encuentra atrasado o no, debido a que no se da seguimiento en el cronograma. La principal razón de no darle seguimiento es por falta de tiempo por parte del equipo de gestión de proyectos. En la empresa no hacen medición de desempeño de la obra.

Según los entrevistados, los principales problemas de la gestión del tiempo son que no se tiene claro el estado de avance de los proyectos, que algunas actividades interfieren y no se puede ejecutar a la vez.

Gestión del costo en la empresa

De igual manera se indagó en la situación actual de los procesos de gestión del costo de los proyectos constructivos. La gerencia tiene claro el concepto de gestión del costo

Previo a planificar la gestión del costo en la empresa, la información que se obtiene son los planos del proyecto, y datos de precios de ferreterías en línea como Constru Plaza o El Lagar.

Para estimar la cantidad de materiales, los profesionales a cargo miden directamente desde los planos de Autocad o planos físicos y calculan las cantidades manualmente.

A pesar de contar con un presupuesto base en los proyectos, no tienen un plan de gestión para llevar un control de los gastos ejecutados, debido a que no se lleva un registro adecuado de la cantidad estos. En síntesis, no se puede prever cuando un proyecto tiende a sobrepasar el costo planeado.

Como principal problema, la empresa nota que toman mucho tiempo en la realización del presupuesto, en ocasiones omiten entregables del proyecto en los presupuestos, no tienen un panorama de los gastos incurridos y al finalizar el proyecto no cuentan con información de costos reales (A. Araya, comunicación personal, 20 de agosto de 2019).

Otro problema presente de manera indirecta es que el dinero de un proyecto se utiliza para financiar otros, y luego se encuentran problemas con las entidades financieras que cuestionan esta práctica (A. Araya, comunicación personal, 20 de agosto de 2019)

Herramientas y técnicas de gestión de costo y tiempo

Parte de la situación actual es conocer cuales herramientas, técnicas y métodos existen actualmente en la empresa para esto se utilizó la lista de verificación del Apéndice 2. Los resultados se muestran en el Cuadro 8.

CUADRO 8: DOCUMENTOS PARA GESTION DEL TIEMPO Y EL COSTO					
DESCRIPCIÓN DEL DOCUMENTO ANALIZADO PARA LA GESTIÓN DEL TIEMPO	RESPUESTA		USO DE SOFTWARE		COMENTARIOS
	SI	NO	SI	NO	
Base de datos de rendimientos		x			
Base de datos de duración de actividades		x			
Estructura de desglose del trabajo (EDT)		x			
Diagramas PERT		x			
Asignación de recursos	x		x		MS Project
Calendario de recursos		x			
Ruta crítica		x			
Diagrama Gantt	x		x		MS Project
Tablas de avance de obra		x			
Reuniones de cronograma		x			
Medición en campo del avance de obra	x			x	Visualmente
DESCRIPCIÓN DEL DOCUMENTO ANALIZADO PARA LA GESTIÓN DEL COSTO	RESPUESTA		USO DE SOFTWARE		COMENTARIOS
	SI	NO	SI	NO	
Base de datos de precios de materiales	x			x	Páginas web ferreterías
Inventarios en bodega	x		x		Excel
Centro de costos por proyecto	x			x	
Creación de planos	x		x		AutoCad 2D
Modelaje en 3D	x		x		SketchUp
Elaboración de presupuestos	x		x		Excel
Machote de presupuesto		x			
Tabla de flujo de caja		x			
Tabla de control de compra de materiales		x			
Seguimiento del presupuesto		x			
Reuniones de presupuesto		x			
Análisis de valor ganado		x			
Tablas de análisis de ofertas		x			

Fuente: *Elaboración propia.*

Del cuadro 8 se puede observar que la empresa carece de bases de datos que contengan información de rendimientos, duración de actividades o precios de materiales. Se puede observar también que carece del procedimiento para definir el EDT, como consecuencia, tampoco se realizan diagramas PERT ni análisis de ruta crítica.

La empresa realiza una asignación de recursos más no se elabora un cronograma de estos, de hecho, la forma de asignarlos a los proyectos es coordinándolo el día anterior.

Se observa que las herramientas de control como las tablas de avance de obra, reuniones programadas, flujo de caja y análisis de valor ganado no están presentes en la empresa.

Finalmente, se observa que el software actual utilizado por la empresa se resume en Ms Project para la elaboración del diagrama de Gantt y asignación de recursos, Excel para tener inventarios de bodega y elaborar presupuestos, AutoCad para elaborar planos y SketchUp cuando se requiere de un modelo tridimensional.

Entorno de la empresa

Por último, para cerrar el desarrollo del primer objetivo, un factor de la situación actual de la empresa es el ambiente en el que se desarrolla, ya que éste influye directamente en las decisiones

que la empresa deba tomar, a continuación, se mencionan las más importantes:

En Costa Rica, la Ley de Fortalecimiento de las Finanzas Públicas trae consigo el Impuesto del Valor Agregado (IVA), que es un impuesto del 13% de manera gradual durante los próximos 4 años, es decir, que para el primer año será exento, con incrementos del 4% hasta el año 2022 donde se aplicará en su totalidad (Coghi, 2019).

“En Costa Rica es una realidad que instituciones públicas ya están incorporando BIM entre los requisitos de las licitaciones” (Jiménez Maroto, 2018). Lo anterior indica a que BIM será requisito en las licitaciones públicas de los próximos años, o al menos, así lo visualiza el gobierno, quien por su parte plantea el plan nacional BIM que pretende incorporar esta metodología como requisito en las licitaciones públicas de construcción (Briceño, 2019)

En Costa Rica existe un comité técnico que promueve la implementación de los procesos BIM. El nombre de este comité es BIM Forum, y sesiona bajo la coordinación de la Cámara Costarricense de la Construcción como entidad ejecutiva, donde normalmente se están impartiendo cursos y capacitaciones en temas relacionados al BIM (BIM Forum Costa Rica, s.f.).

Además, en el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA) existe la comisión BIM (Briceño, 2019). Esta comisión BIM desarrolló una encuesta para conocer el uso que se le da a BIM a nivel nacional. Esta encuesta se facilitó con fines educativos en esta investigación, sin embargo, es información que no está disponible actualmente. Los resultados obtenidos de la encuesta se muestran más adelante como resultado de la investigación realizada entorno a BIM.

En cuanto a la competencia, empresas extranjeras dedicadas específicamente a la fabricación de estructuras metálicas están ingresando al país, por ejemplo, la empresa brasileña Medabil.

Modelos de gestión y estrategias BIM

A continuación, se muestran los resultados tras desarrollar el segundo objetivo de este proyecto. Este objetivo se divide en *dos partes* principalmente, primero se llevó a cabo una investigación teórica acerca de los modelos de gestión del costo y tiempo, y posteriormente se desarrolló una investigación teórica y práctica de las estrategias BIM.

Modelos de gestión de costo y tiempo

En la primera parte de la investigación se hizo referencia a autores como el Project Management Institute, López de Ortigosa Casares, Suárez Salazar, Sánchez Henao, Buchtik, Rincón Abril, entre otros; los aportes de estos autores se encuentran en el marco teórico.

Se encontró que algunos procesos de esta gestión se pueden apoyar en softwares, por lo que se hizo un análisis del software disponible en el mercado para la gestión del tiempo y el costo, esta información se muestra en el cuadro 9.

Además, como se mencionó en el marco teórico, estos softwares son parte de las tecnologías de información, las cuales también están conformadas por las personas y los procesos de la empresa, es por esto, que un punto clave en este proyecto fue investigar acerca de las habilidades blandas del personal como parte de la mejora que se pretende buscar en la empresa, esta información se encuentra en el marco teórico.

Se indagó en las herramientas de software disponibles en el mercado, útiles para la gestión del tiempo y costo de los proyectos, el resultado se resume en el siguiente cuadro.

CUADRO 9: SOFTWARE PARA LA GESTIÓN DEL TIEMPO Y COSTO			
LICENCIA	APLICACIÓN	COMENTARIOS	PRECIO
Libre	Open Workbench	<p>Tiempo. Permite programar tareas de manera manual y automática, editar calendarios, reprogramación automática de tareas, diagramas de Gantt, crear interdependencias FC, CC, etc. Estimación a través del método PERT y cálculo de rutas críticas.</p> <p>Costo. Es posible programar el costo presupuestado del trabajo programado (CPTP) lo cual permite dar seguimiento y control en fases posteriores del proyecto.</p>	Gratuito
	TaskJuggler	<p>Tiempo. Permite programación manual y automática de tareas, edición de calendarios, diagrama de Gantt, horas de trabajo flexibles, vacaciones, entre otros.</p> <p>Costo. Las actividades pueden tener un costo inicial y final, el programa soporta un análisis de costo beneficio.</p>	Gratuito
	GanttProject	<p>Tiempo. Permite crear jerarquía de tareas y dependencias, diagramas de Gantt y Pert</p> <p>Costo.</p>	Gratuito
	WBS tool	Es una herramienta online que permite elaborar la estructura de desglose de trabajo (EDT)	Gratuito
Comerciales	MS Project	<p>Tiempo. Permite crear tareas, asignarle duración, interdependencias, jerarquía, se puede programar el calendario, realiza análisis de ruta crítica y permite insertar la duración real de las actividades.</p> <p>Costo. Permite asignar costo por hora a las actividades, costos fijos, horas extra, permite el análisis de valor ganado, reportes de flujo de caja entre otras utilidades para el seguimiento de costos.</p>	\$ 10-55 por usuario al mes.
	Gantter	<p>Tiempo. Permite agregar tareas, interdependencias, duración, jerarquía de tareas, es posible</p>	\$ 10 por usuario al mes.

		comparar el avance actual contra la línea base del proyecto. Costo. Permite asignar costo a cada actividad. Es posible crear la estructura de desglose de trabajo.	
	WBS Chart PRO	Tiempo. Una herramienta útil para elaborar cronogramas, su principal característica es la facilidad de crear la estructura de desglose de trabajo, pero además genera diagramas de Gantt y PERT	\$ 349 por usuario de un solo pago.

Fuente: Elaboración propia.

Estrategias BIM en la gestión del tiempo y costo

En esta segunda parte del segundo objetivo se investigó acerca de la metodología BIM, tanto en el ámbito teórico como el práctico. En lo teórico se obtuvo las ventajas y desventajas de esta metodología, se hizo una comparación entre CAD y BIM, se investigó sobre BIM en la etapa de diseño y en la etapa de construcción, entre otros conceptos que son necesarios para comprender la metodología, esta información se encuentra en el marco teórico.

En el aspecto práctico de la investigación sobre BIM, se llevó a cabo una búsqueda sobre los recursos necesarios para su aplicación y cuáles son los métodos correspondientes a los usos que dará la empresa, además, se llevó a cabo un sondeo de 10 empresas nacionales que implementan BIM en busca de buenas prácticas y finalmente se estudió una referencia internacional, la cual desarrolló una investigación en 9 empresas internacionales que implementan BIM.

Recursos BIM

Se desarrolló una investigación sobre los recursos BIM, esto implica tanto softwares como las habilidades duras del personal, y dado que estas habilidades dependen del uso que se le dará a BIM, primero fue necesario identificar los usos que eventualmente se aplicaran en la empresa.

Los resultados de los softwares disponibles se muestran en el Cuadro 10. En este cuadro se muestra el tipo de licencia disponible, el nombre de la aplicación, cual es la función que cumple, una pequeña descripción y el precio en el mercado (a la fecha del estudio).

CUADRO 10: SOFTWARE BIM DISPONIBLE EN EL MERCADO				
LICENCIA	APLICACIÓN	UTILIDAD	COMENTARIOS	PRECIO
Comercial	Archicad	Modelado, cuantificación.	Segunda solución más usada. Creado especialmente para arquitectos. Fue el primer software en sustituir su plataforma por un sistema BIM (Calle, 2014).	4550 USD de un solo pago.
	Revit	Modelado, cuantificación.	Es el software de modelado más utilizado. Con gran cantidad de usuarios y por tanto de material didáctico en	2310 USD por año

			redes sociales. De la casa de Autodesk (Zigurat Global Institute of Technology, 2018). Incluye MEP (Mecánica, Electricidad y Plomería).	
Advance steel	Detallado, diseño, fabricación y construcción		Este es un software de modelado especializado para estructuras de acero. El apoyo que brinda es principalmente a las fases de diseño y construcción, ya que brinda información útil de fabricación detallada.	2095 USD por año
Allplan	Modelado, cuantificación.		No cuenta con gran cantidad de usuarios. Existe menor cantidad de información en comparación con las dos opciones anteriores (Zigurat Global Institute of Technology, 2018).	6800 USD
Presto + Cost it	Control de costo		Presto es un programa de presupuestación compatible con MS Project y Revit. Permite crear una base de datos de precios. Es posible utilizar la EDT para organizar las actividades y asignarles sus costos. Elaboración de informes. Flujo de caja. Comparación de ofertas. Cost-it es un plug-in de Revit para Presto con el cual se generan mediciones y permite interacción con el modelo BIM (RibSpain, 2020).	90 euros por mes.
Excel y Access	Presupuestación		Es posible exportar desde Revit las tablas de cuantificación en formato ODBC, este formato es accesible a través de Access desde donde se puede exportar información a Excel, de esta forma Excel y Access son herramientas útiles para crear presupuestos vinculados al modelo BIM, y que por lo tanto cualquier cambio en las cantidades es actualizado de manera automática (Moreno, 2019).	49000 CRC anuales
Navisworks	Control de avance de obra. Modelo 4D		Navisworks es una herramienta que integra el modelo tridimensional con el	880 USD anuales

			cronograma para generar un modelo 4D. Este modelo es útil para visualizar el avance de la obra en 3 dimensiones a través del tiempo. Además, permite marcar las obras terminadas y conocer el nivel de avance de la obra, tanto en cantidades como de manera visual (Ángel, 2019).	
	Synchro Pro	Control de avance de obra. Modelo 4D	Con las mismas funciones que Navisworks, sin embargo, es posible planificar mediante el método de la ruta crítica (Chacón y Cuervo, 2017).	2995 USD anuales
	MS Project	Control de tiempo	Esta herramienta es utilizada en BIM, ya que su formato se puede importar en Navisworks, para integrar el cronograma con el modelo BIM (Moreno, 2019).	10-55 USD por usuario al mes.
	BIM A360	Colaboración	Es una plataforma para conectar los equipos de un proyecto en tiempo real, desde el diseño hasta en la construcción (Chacón y Cuervo, 2017).	
	Exactal Costx	Presupuestación	Es un software de presupuestación a partir de documentos en PDF. Además, brinda la posibilidad de importar modelos BIM de los cuales se obtienen mediciones (Woodland, 2017).	
	Rhino-Grasshopper	Diseño	En Rhino es posible crear, editar, analizar, documentar, renderizar, animar y traducir curvas, superficies y sólidos, nubes de puntos y mallas poligonales (Pazmiño, 2018).	995 USD
	Revizto	Colaboración	Es una herramienta de colaboración en tiempo real. Es posible ver el modelo en dispositivos móviles. Permite seguir el progreso y dar soluciones a problemas en tiempo real (Rodríguez, 2019).	500 USD por usuario al año.
	Solibri	Modelo 4D	Es una herramienta líder en control de calidad BIM. Es una herramienta útil para detectar posibles fallos entre disciplinas	

			a partir del modelo BIM (Rodríguez, 2019).	
	Tekla	Diseño estructural	Ofrece 6 productos para distintas soluciones. El principal enfoque de este software es al diseño estructural de los proyectos, tanto en concreto como en acero. Además, es posible obtener otras soluciones como la optimización de la fabricación de elementos de acero con Tekla PowerFab (Rodríguez, 2019).	
	Trimble-Vico	Modelo 4D	Trimble es un desarrollador de software con múltiples productos y soluciones. Dentro de estos se encuentra Vico: Una herramienta de para reproducir modelos 4D, para planificación del cronograma y controlar la construcción (Rodríguez, 2019).	
	Trimble-GCEstimator	Modelo 4D	Esta otra herramienta brinda soluciones como la cuantificación a partir de documentos 2D o modelos 3D, con la posibilidad de integrar ambos métodos. Facilita la asignación de costos para elaborar presupuestos (Rodríguez, 2019).	
	Dynamo		Es una herramienta de programación intuitiva que amplía las capacidades paramétricas de Revit. Permite crear formas que de otra manera sería tedioso o inalcanzable (Loyola, 2018).	Gratuito

Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó en el marco teórico, existen 20 usos distintos que se pueden obtener de la metodología BIM (The Computer Integrated Construction Research Program, 2010).

Fue importante identificar los usos que son de interés para la empresa y que se relacionan directamente con el tema de gestión del tiempo y costo, y para esto se desarrolló el cuadro 11, con tres variables, y con el fin de definir si el uso es necesario o no.

Las variables son: 1) ¿es útil para la gestión del tiempo?, 2) ¿Es útil para la gestión del costo? y 3) ¿es de interés en la empresa para mejorar otro proceso? En caso de que alguna de las tres opciones fuera positiva se incluiría en este proyecto y se explicaría el método. Pero, únicamente las que son de interés para gestionar el tiempo y el costo se desarrollarán en el plan de gestión.

CUADRO 11: PREGUNTAS CLAVES PARA IDENTIFICAR LOS USOS DE INTERÉS			
USO BIM	Tiempo	Costo	Interés particular
Modelado de condiciones existentes		X	
Estimación del costo		X	
Planeación de fases 4D	X		
Programación espacial			
Análisis de sitio			
Revisión de diseños			
Diseño autoría			
Análisis energético			
Análisis estructural			
Análisis iluminación			
Análisis mecánico			
Otros análisis			
Evaluación LEED			
Validación de códigos técnicos			
Coordinación 3D			
Planeación de área de obra			X
Diseño sistemas de construcción			
Fabricación digital			
Control 3D y planos			X
Modelo As-Built			
Mantenimiento			
Sistemas de edificio			
Gestión de activos			
Gestión de espacios			
Plan de emergencias			

Es importante contar con recursos para la aplicación de estos usos, por lo que se investigó acerca de los programas requeridos y las competencias con las que debe contar el equipo de trabajo para los potenciales usos que se aplicarán en la empresa según el cuadro anterior. A continuación, se resumen los resultados de la investigación según The Computer Integrated Construction Research Program (2010).

CUADRO 12: RECURSOS BIM PARA IMPLEMENTAR USOS IDENTIFICADOS		
USO BIM	Software requerido	Competencias Requeridas
Modelado de condiciones existentes	Software de modelación 3D.	-Manipular, navegar y revisar el modelo 3D. -Habilidad para importar datos de topografía.
Estimación del costo	Software de estimación basado en el modelo. Datos de costos.	-Modelar de manera precisa para generar cantidades confiables. -Capacidad de analizar las cantidades por adelantado, para evitar cálculos erróneos.
Planeación de fases 4D	Software de modelación Software de cronograma.	Conocimiento en programación de construcción, y procesos generales de la construcción. -Manipular, navegar y revisar el modelo 3D. -Conocimiento en software 4D. Importar geometría, vincular el cronograma, producir y controlar animaciones.

Fuente: Elaboración propia.

Métodos BIM

Para cada uno de los usos seleccionados The Computer Integrated Construction Research Program (2010) expone un método para ejecutar el uso. A continuación, se muestran los métodos a utilizar para cada uso.

Modelado de condiciones existentes: Se requiere el estudio geotécnico de suelos, información histórica de las instalaciones actuales y el sistema de información geográfica del lugar.

Con esta información se procede a inspeccionar las instalaciones, las condiciones actuales del sitio, recolectar fotografías y hacer un levantamiento topográfico del lugar.

Seguidamente, se procede a modelar la topografía del terreno en el software de modelo 3D, incluyendo las instalaciones actuales.

Finalmente se obtiene un archivo con las condiciones iniciales del proyecto.

Estimación del costo: Lo más importante cuando se quiere utilizar la metodología BIM para estimar costos es que el modelo 3D sea lo más realista posible, con la menor cantidad de errores posible.

Normalmente se estará revisando y modificando el modelo para obtener cantidades más precisas.

Lo primero es contar con referencias de costos, para establecer parámetros de comparación que permitan verificar los resultados.

Se modelará el proyecto hasta que esté listo para extraer información de cantidades de materiales.

Se obtienen las cantidades de las tablas del software de modelado en 3D, y esta información se puede exportar a otro software de presupuestación. Se realiza una revisión de las cantidades, y en caso de no obtener resultados aceptables se debe volver a ajustar el modelo.

Si se obtienen cantidades aceptables, se procede a estimar los costos para las cantidades, asignándoles un valor. Se revisan los resultados y se incorpora un valor de contingencia.

Se evalúa si el resultado es acorde con los parámetros establecidos al inicio, de no serlo, se vuelve a ajustar el modelo, en caso positivo, finaliza el proceso.

Finalmente se obtiene un archivo con los costos de materiales del proyecto.

Planeación de fases: Para esta fase se requiere contar con el cronograma y modelo 3D definido.

En el software de modelado en 4D se crean actividades iguales a las del cronograma y a cada actividad se le asignan los elementos del modelo 3D correspondientes.

Finalmente se lleva a cabo una revisión de optimización, con lo que se obtiene el modelo 4D ideal para mostrar gráficamente la proyección del proyecto en el tiempo.

Planeación del sitio: Es necesario contar con información sobre el sitio. Se analizan las fases del proyecto. Se identifican las estructuras temporales necesarias por los contratistas y por la empresa. Se definen rutas de paso para maquinaria. Una vez contemplado lo anterior se verifica que todas las fases hayan sido analizadas.

Como resultado se obtienen planos con la distribución del sitio, esta información se comparte con el resto de las partes.

Replanteo digital: Para replantear situaciones de campo, y aclararlas utilizando BIM se requiere conocer las especificaciones de diseño, los parámetros de cronograma y costo.

Se determina el objetivo de trabajo que se quiere analizar. Se identifican métodos alternativos para lograr el objetivo de trabajo. Se modelan los métodos alternativos. Se lleva un análisis entre varios modelos.

Una vez actualizado el nuevo método de trabajo se coordina la secuencia de construcción y se generan planos de taller.

Nivel de desarrollo (LOD)

Lo anterior se puede utilizar aplicando niveles de detalle variados en BIM, como ya se mencionó anteriormente, y a esto se le llama Level of Development (LOD). Existen 6 niveles de LOD y se determinaron las variables que identifican en cada nivel.

Esto ayudará en un futuro a determinar el nivel de desarrollo de los elementos a crear. En el Apéndice 4 se encuentra una plantilla con una lista de verificación para determinar el LOD de un elemento. A continuación, se resumen las variables que determinan un LOD (Morales, 2019).

BIM a nivel nacional

Para obtener referencias sobre procesos y herramientas BIM en la práctica, se consultó a 10 empresas y se revisó los resultados obtenidos por la comisión BIM del CFIA en la encuesta que realizaron para conocer el uso que se le da a BIM a nivel nacional.

Entonces, se llevó a cabo un sondeo a nivel nacional en las empresas que están implementando la metodología BIM y fueron dos de diez empresas consultadas las que aceptaron compartir su experiencia con la implementación, llevándose a cabo una entrevista con apoyo de la guía de preguntas del Apéndice 5.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la consulta realizada a las dos empresas nacionales.

Empresa nacional 1

Una empresa con 60 años de experiencia, muy reconocida por su participación en los proyectos más grandes de Costa Rica en infraestructura pública, obras industriales, hoteles, etc.

Es una empresa certificada con la Norma de Calidad ISO 9001:2015, la certificación OHSAS 18001:2009 en salud y seguridad ocupacional y en materia de manejo y disposición de residuos certificados con la norma INTE 14001:2015.

CUADRO 13: DATOS GENERALES EN1	
Nombre	Empresa nacional 1 (EN1)
Año de fundación	1957
Disciplina	Construcción
Tipologías	Infraestructura aeroportuaria, obras industriales, centros comerciales, hoteles, oficinas, viviendas, plantas de tratamiento, acueductos, líneas de transmisión y distribución eléctrica, puentes.
Etapas en las que usa BIM	Planificación y Control
Software BIM principal	Revit, Navisworks.

Fuente: Elaboración propia.

Esta empresa implementó métodos BIM en junio de 2019 y el uso que le dan a la metodología BIM es para la cuantificación de materiales, el control de obra 4D, y revisión en obra de detalles.

La empresa no se encarga del diseño de las obras, tampoco desarrollan el modelo BIM de los proyectos. La metodología BIM no la utilizan en todos los proyectos, sino, únicamente en los que es requisito o bien si ya existe un modelo BIM previo.

Para llevar a cabo la cuantificación, utilizan el modelo BIM de un tercero y obtienen las cantidades, las cuales son registradas en un archivo de Excel. La obra es separada en dos etapas: obra gris y acabados.

Para llevar un control del tiempo 4D, desarrollan el cronograma del proyecto en MS Project y lo vinculan al modelo BIM por medio de la aplicación Navisworks. Los modelos BIM los reciben comúnmente en Revit.

Dentro del personal de la empresa relacionado a BIM, se encuentra el departamento de presupuesto, e ingenieros residentes en los proyectos. No se ha medido el retorno de inversión de la implementación BIM.

Empresa nacional 2

Una empresa con 35 años de experiencia como contratista general y administradora de proyectos hoteleros, industriales, comerciales y residenciales.

Es una empresa certificada con la Norma de Calidad ISO 9001:2015 y en la ISO 45001:2013 en salud y seguridad ocupacional.

CUADRO 14: DATOS GENERALES EN2	
Nombre	Empresa nacional 2 (EN2)
Año de fundación	1984
Disciplina	Diseño, construcción.
Tipologías	Hoteles, proyectos industriales, comerciales y residenciales.
Etapas en las que usa BIM	Planificación y Control
Software BIM principal	Revit, BIM 360, Ricap, Tekla

Fuente: Elaboración propia.

Desde el año 2015 la empresa ha implementado metodologías BIM, lo que se ha llevado a cabo en dos etapas. En una primera etapa comprendida desde el 2015 hasta el primer semestre de 2017 la metodología BIM se hacía tercerizado. A partir del segundo semestre de 2017 se inició el proceso de implementación en la empresa.

La implementación de BIM en la empresa se dio por medio de la capacitación del equipo de la empresa.

Dentro de los primeros usos que se implementó en la empresa están: Coordinación 3D, modelos As-Built, modelos 4D, diseño de sistema constructivo.

En el software utilizado por la empresa se encuentra Revit para modelación, BIM 360 para la coordinación entre profesionales, Recap para realizar levantamientos de obras existentes y Teklla para el diseño estructural. Además, la empresa se apoya en medios de almacenamiento como Drive para documentos privados y Procore para compartir información tanto con los clientes como con los contratistas.

El equipo de trabajo relacionado a BIM está compuesto por un equipo de modeladores, coordinadores, ingenieros residentes y el gerente de departamento.

Al consultar sobre los procesos relacionados a costos, la empresa expresó que implementar la cuantificación en los procesos de presupuestación implica desarrollar modelos BIM con un nivel de desarrollo (LOD) muy alto, por lo que, consideran contraproducente iniciar con este uso, debido a que tiene un nivel de dificultad elevado en comparación con otros usos.

De igual forma, la empresa mencionó que, en la gestión del tiempo, el desarrollo de modelos 4D eficientes es una tarea que requiere de experiencia, por lo que actualmente si los utilizan, pero no es el uso más utilizado ni mejor implementado actualmente.

Se mencionó que los usos más sencillos para iniciar con BIM está la coordinación 3D para detectar interferencias entre las distintas disciplinas; le generación de modelos As-Built, y para ellos principalmente el uso de BIM en el diseño estructural.

La empresa mencionó que no llevan una medición específica en cuanto al beneficio económico de la implementación BIM, pero si lo han visto reflejado en un incremento del retorno de inversión de los proyectos donde lo utilizan.

Resultados de encuesta BIM

De la encuesta por parte de la comisión BIM, se tomó ciertos resultados relevantes relacionados con la metodología BIM. Como primer dato importante es que en total participaron 872 personas, de las cuales el 80% está agremiadas al Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA).

Se observa en los resultados una participación mayor de personas jóvenes que comprenden una edad entre los 25 y 34 años. A su vez, el área de mayor participación fue la consultoría con un 31%, seguida de la construcción con un 16%, y la administración de proyectos con un 14%. El sector privado tubo una participación del 47%, y el sector público de 29%.

De todas las personas que se entrevistaron el 75% ha escuchado el concepto BIM, y de estas, el 70% acertó al definir BIM como una metodología.

Se hace importante notar que el 43% de los encuestados utiliza la metodología BIM en su ejercicio profesional. Las dos principales razones por las que el 57% atribuye no utilizar BIM son debido a la falta de personal capacitado (50%) y costos de implementación (32%).

El software más utilizado es Autodesk Revit (78%) seguido de Navisworks (73%). ArchiCAD se encuentra con un 27% uso dentro de los encuestados.

Referencias internacionales que implementan BIM

Se hizo necesario estudiar referencias con mayor experiencia en la implementación BIM por lo que se recurrió a la iniciativa PlanBIM de Chile, que, junto con la Universidad de Chile, COPEVAL, CORFO, Comité de Transformación Digital y el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo; en enero de 2019 llevaron a cabo un estudio relacionado con la implementación de metodologías BIM, en el cual se analiza la experiencia de empresas en varios países.

En la investigación mencionada anteriormente, se estudiaron 12 empresas, 3 de cada país: Estados Unidos, Reino Unido, Australia y Brasil. A continuación, se resumen los datos relevantes a la gestión del tiempo y el costo de la experiencia de estas doce empresas.

Como lo muestra el Gráfico 1, en el estudio realizado en PlanBIM (2019), el software más utilizado por las empresas internacionales es Revit para un total de 10 en 12 casos. En una segunda instancia se encuentran programas como Solibri con 7, Tekla con 6, y ArchiCAD con 5 de 12 casos.

Otros softwares menos utilizados, pero que son de apoyo en la gestión del tiempo y costo se encuentra Navisworks, Exactal Costx, Synchro y Trimble.

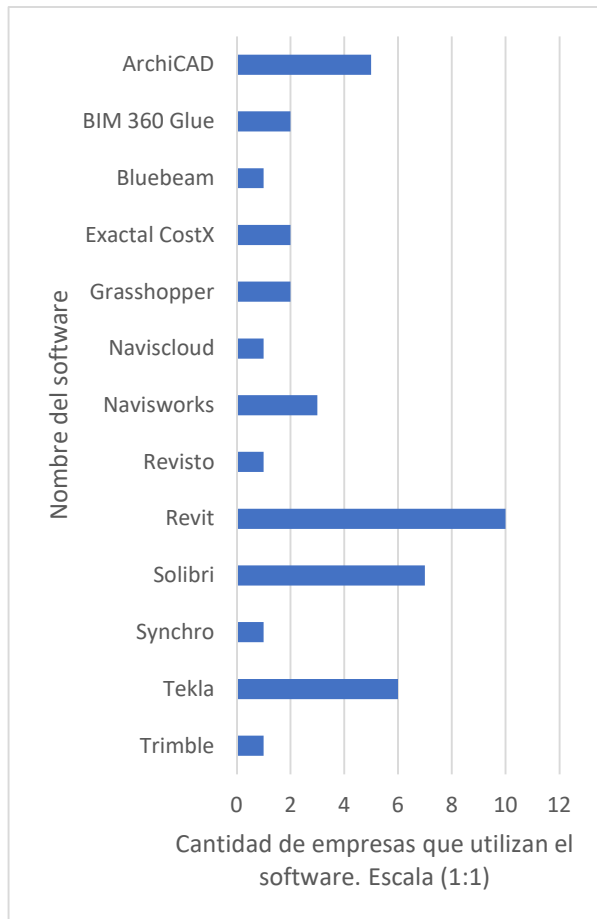


Gráfico 1: Software BIM más utilizado internacionalmente según la información de PLANBIM (2019). Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los procesos, es importante destacar el punto de vista de algunas empresas, en el cual expresan que primero se deben definir los procesos de la empresa, y luego utilizar BIM como un apoyo. En este estudio se menciona que

en la empresa E14 *“La tecnología, en este contexto, no conduce, sino que asiste, procesos de trabajo existentes”*, *“La pregunta primero es, ¿Cómo puedo mejorar ese proceso? Y luego ¿Cómo me puede ayudar la tecnología? La tecnología no puede dirigir ese proceso de trabajo, sólo es un apoyo.”* (PlanBIM, 2019, p.30).

BIM es conocido por el trabajo colaborativo, donde es posible que varias disciplinas trabajen en un proyecto de manera simultánea, sin embargo, esta experiencia no ha sido del todo exitosa entre las empresas, ya que consideran que aún requieren mejorar las herramientas para notificar cambios.

Trabajar en la nube para la empresa E11 *“afectó la identificación de que elementos son estables y cuáles no, aumentando considerablemente las controversias dentro del equipo de proyecto”* (PlanBIM, 2019, p.35).

La empresa E12 expresó que mantienen una relación cíclica con el resto de las empresas externas, a pesar de contar con la nube, la cual no utilizan *“debido a su carácter demasiado instantáneo”* (PlanBIM, 2019, p.41).

Otro aspecto para considerar en los procesos es la definición del nivel de desarrollo BIM (LOD) para un proyecto. La empresa E13 mencionó que este tipo de estándar favorece a los arquitectos ya que pueden ofrecer un modelo con mayor LOD a mayor costo, sin embargo, los constructores no requieren un LOD tan alto. E13 lo expresa al decir *“estamos muy lejos de que un diseñador nos entregue el modelo que necesitamos para construir”*. (PlanBIM, 2019, p.43).

Igualmente, en la empresa E18, buscan obtener de los diseñadores modelos *“buenos”*, los cuales posteriormente los utilizan para estimar de alguna forma. Es decir, que cuando el modelo lo realiza un tercero, no es necesario un LOD alto, ya sea para construir o para utilizarlo en la gestión del costo o tiempo, debido a que la empresa se encarga de darle el nivel de desarrollo requerido.

En cuanto a BIM en la gestión del tiempo, Revit junto con Navisworks ha alcanzado el liderazgo indiscutible a nivel mundial (PlanBIM, 2019). Navisworks, como la herramienta más utilizada para la generación de modelos 4D, se controla el tiempo del proyecto.

Análisis de los resultados

En el presente capítulo se lleva a cabo el análisis de los resultados obtenidos, se explicará la relación de estos con el trabajo y con otras publicaciones.

Análisis FODA

En el primer objetivo de este trabajo se planteó analizar la situación actual de la empresa en temas de gestión del tiempo y costo. Por lo que a continuación se desarrolla un análisis de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas desde la fundación de la empresa hasta la actualidad.

Debilidades

De su historia, se observa que, en sus inicios, el fundador fue una persona sin estudios en la ingeniería civil, esto es una debilidad dado que esta falta estudios limitaba la aplicación de métodos de gestión, implementándolos de manera parcial o sin aplicarlos por completo.

El hecho de ser una empresa familiar fomenta la relación entre las partes de manera poco formal, esto se hizo notar al momento de realizar el trabajo de campo de este proyecto.

En cuanto a las técnicas o métodos de gestión de la empresa, esta crea el cronograma como primer paso, sin antes planificarlo, esto es una debilidad porque al planificar se definen políticas, procedimientos y la documentación necesaria y útil en todos los procesos de gestión de costos, como la definición de hitos, fechas de entrega importantes, tiempos de producción de materiales, herramientas digitales a utilizar, establecimiento de días de reuniones, fechas de medición en campo, métodos constructivos, etcétera.

Actualmente, la empresa no identifica los entregables del proyecto antes de iniciar el

cronograma. La importancia de este proceso es que proporciona una visión estructurada de lo que se debe entregar y al no contar con esta visión clara de los entregables del proyecto, se puede incurrir en el error de omitir algún objeto de entrega.

Además, no existe un control coordinado entre el costo y el tiempo, es decir, que el presupuesto coincida con el cronograma para lograr una mejor comparación y análisis en el proceso de control.

En cuanto a secuenciar las actividades, la empresa lleva a cabo este proceso durante la creación del diagrama de Gantt, sin embargo, esto no es una buena práctica por dos razones, la primera es que los diagramas de Gantt no controlan la interdependencia entre las diferentes actividades y la segunda es que existen técnicas de planeación más sistemáticas y efectivas para optimizar la eficiencia en la ejecución del proyecto. (Rincón Abril, 2001)

La empresa realiza la estimación de recursos de las actividades después de realizar el cronograma, lo cual se considera como debilidad porque no se aprovecha el hecho de conocer los recursos para estimar la duración y el costo de una actividad de manera más precisa.

Actualmente, la empresa no cuenta con un método para controlar la asignación de recursos a los proyectos, sino que éstos son asignados con un día de anticipación. Para esto, se requiere llevar a cabo en la empresa un plan de gestión de recursos, que como ya se mencionó, queda fuera del alcance de este proyecto.

Cabe destacar como debilidad, que una persona es la encargada de realizar el cronograma, mas no hay alguien encargado de revisar y dar su punto de vista, lo anterior puede provocar que en el cronograma se omitan entregables o cualquier otra información de importancia y por tanto se afecte la veracidad de este.

Actualmente la empresa no practica el control del cronograma, incluso se encontró que

los avances a contratistas se hacen de manera aproximada, mediante una visita al proyecto y análisis visual de lo que se realizó, sin utilizar ninguna herramienta de apoyo, lo cual es evidencia de un control deficiente.

En cuanto a la gestión del costo, el proceso de planificación no existe, sino que, se inician los presupuestos de los proyectos directamente en una nueva hoja de Excel, la cual carece de formato previo o establecido, esto es una debilidad ya que el presupuestista debe invertir tiempo para crear el formato del presupuesto cada vez que inicia un proyecto, además, a diferencia de lo que se propone en el en este plan como información de planificación, en la empresa únicamente se recopilan los planos del proyecto antes de iniciar el presupuesto.

Lo anterior conlleva a que la gestión del costo no se fundamente en información precisa, que el presupuesto no sea estructurado y acorde al cronograma, con lo que se dificulta el análisis del costo a través del tiempo, y que no exista una retroalimentación de los proyectos anteriores que permita aprender de los errores y sobre todo, que no se cuente con una guía para que el gestor no se vea en la necesidad de improvisar en las distintas etapas de la gestión.

La falta de planeación es una razón importante de que la empresa no cuente con herramientas, documentos, y procedimientos definidos para todos los procesos de la gestión de costos.

La falta de información de proyectos similares y de documentos de apoyo como rendimientos, es una razón que da lugar a que la empresa no cuente con las herramientas para optar por métodos de estimación más rápidos, por tanto, se percibe que les toma mucho tiempo elaborar presupuestos.

En la empresa se practica la estimación ascendente en todos los proyectos, esto es una debilidad ya que existen otros métodos que pueden acortar el tiempo y que no se requiera precisamente de la estimación ascendente.

Con respecto a la creación del presupuesto, actualmente en la empresa, lo realiza de manera simultánea con la estimación de costos. Según el Project Management Institute (2013) cuando el alcance de los proyectos es reducido, estos dos procesos pueden considerarse uno solo y ser realizado por una persona en un período corto. Sin embargo, en proyectos de gran alcance, como es el caso de

esta empresa, es una buena práctica considerar dos procesos separados debido a que las herramientas y técnicas para cada uno son diferentes.

La empresa no proyecta los gastos del proyecto a través del tiempo, la ausencia de esta práctica genera uno de los problemas más importantes, que, según la entrevista realizada a Andrés Araya Arce, consiste en que se utiliza el dinero de un proyecto para financiar otro, y esto ante los ojos de las entidades financieras no es bien visto y lo cuestionan.

Sobre el control de costos, se encontró gran deficiencia en la empresa, ya que no cuenta con todas las herramientas de control ideales, no registran los gastos de los proyectos, no se hacen mediciones de desempeño, siendo estas las razones principales de que se pierda la visión del estado actual de los proyectos en cuanto a los gastos incurridos y por lo tanto no se da la oportunidad de tomar acciones correctivas con tiempo.

Aunado a lo anterior, la empresa no da seguimiento al presupuesto, esto afecta los procesos de gestión dado que al dar un seguimiento se puede analizar la precisión de la estimación inicial y a su vez retroalimentar las bases de datos con información actualizada. De un buen seguimiento, se pueden detectar errores en el presupuesto para discutir lecciones aprendidas y aplicarlas a proyectos posteriores. Por tanto, este puede ser uno de los factores que afecte a dos problemas actuales de la empresa, el primero que perciben que tardan más de lo esperado creando presupuestos, y el segundo, que se siguen presentando errores en los presupuestos.

En cuanto a las herramientas y softwares utilizados actualmente en la empresa relacionados a la gestión del costo y del tiempo se encontraron las siguientes debilidades.

No se cuenta con un registro de rendimientos y duración de actividades, los proyectos que inician carecen de referencias para analizar el costo y el tiempo de manera más eficiente.

No se realizan reuniones constantemente en los proyectos, no se mantiene una comunicación formal entre las partes, limitando la posibilidad de discutir ideas periódicamente. Las reuniones son una herramienta para mostrar el avance del proyecto y a la vez discutir medidas a tomar. Para los procesos de gestión de costo y tiempo es importante, porque en las reuniones se

generan cambios que se deben actualizar tanto en el cronograma como el presupuesto.

Fortalezas

En 2005, ingresó el primer ingeniero civil Andrés Araya Arce, quién implementó el uso de nuevas herramientas como fueron AutoCAD y Excel, esto es una fortaleza de la empresa ya que se incorporan nuevos conocimientos y técnicas a la empresa.

En cuanto a los recursos, es importante acotar que la cantidad de personal con el que cuenta la empresa es de 10 personas en oficinas y 21 personas que conforman la mano de obra en los proyectos. Esto junto con que es una empresa con un registro de activos por un valor aproximado de ¢ 4 000 000 000 de colones e ingresos netos de ¢ 300 000 000 anuales, hace que clasifique como una empresa mediana (Rodríguez, 2019). Esto es una fortaleza ya que un cambio en los procesos de una empresa mediana es relativamente más fácil que para otras de mayor tamaño.

La empresa ha tenido éxito a través de los años, esto se refleja en que ha logrado adquirir sus propias instalaciones y maquinaria. En el cuadro n° 7 se observa que la empresa cuenta con poco equipo de movimiento de tierras como lo son vagonetas y la excavadora, sin embargo, cuenta con una importante cantidad de equipo de manipulación de objetos pesados como lo es el manitú y las grúas, esto es debido a que la mayoría de los proyectos de construcción son de estructura metálica donde se requiere movilizar elementos que pueden pesar hasta cuatro toneladas, esta empresa no realiza movimientos significativos de tierra.

En cuanto a la gestión del tiempo y el costo, la empresa cuenta con experiencia suficiente para estimar la duración de las actividades con exactitud, utilizando el juicio de expertos, lo cual es una ventaja dado a que disminuye la variación del cronograma en el tiempo.

Además, en la compañía que se estudia, se lleva a cabo la asignación de recursos en las actividades, lo cual es beneficioso porque aporta información para estimar el costo y tiempo.

La empresa elabora diagramas Gantt para los proyectos, esto es positivo pues permite

visualizar la duración y el proceso constructivo que se desarrollará en el proyecto.

Además, los ingenieros de La Colina están familiarizados con el software Microsoft Project, el cual es utilizado para realizar cronogramas, facilitando los procesos de gestión del tiempo.

Es una ventaja contar con una base de datos de precios de materiales, ya que agilizan el proceso de estimación de costos al disminuir o evitar que el presupuestista deba buscar en fuentes externas los precios.

Contar con centro de costos es una ventaja para la empresa ya que cuenta con un método para asignar los gastos a los proyectos de manera ordenada.

La elaboración de planos y modelos 3D dentro de la empresa es una fortaleza dado a que demuestra que tienen la capacidad de adaptarse a softwares de dibujo o modelado que incluyan metodología BIM, lo que puede facilitar su implementación.

Amenazas

El efecto que tiene el Impuesto de Valor Agregado (IVA) en los proyectos es de suma importancia, debido a que incrementa el costo de estos, provocando que el mercado de la construcción tienda a una disminución de la inversión a nivel nacional.

En otro aspecto de análisis está el hecho de que la metodología BIM se esté convirtiendo en requisito en licitaciones de algunas instituciones públicas nacionales. Esto es una amenaza ya que la empresa puede no cumplir los requisitos para participar en licitaciones que incorporen BIM.

A nivel nacional, empresas extranjeras como Medabil dedicadas exclusivamente a la fabricación y montaje de estructuras metálicas ha estado desarrollando proyectos apertados que se concluyen en un tiempo menor en relación con proyectos soldados en sitio.

Oportunidades

En cuanto a la gestión del tiempo y costo se encontró las siguientes oportunidades para los procesos.

Para la estimación del costo directo, López de Ortigosa (2012) propone un modelo de procesos determinado para los materiales y otro

para la mano de obra, los cuales se podrían incorporar junto al modelo del PMBOK, debido a que permite más orden y claridad en el proceso a seguir de la estimación del costo. Existe además un subproceso final, el cual consiste en revisar los resultados, esto es una buena práctica para detectar errores (Suárez Salazar, 2002).

Sánchez Henao (1997) en su modelo, propone dos procesos separados para secuenciar las actividades: 1) determinar la secuencia de actividades y 2) dibujar la red, esto es un aspecto que se puede aprovechar en la empresa porque se lleva a cabo de manera más ordenada el proceso de secuenciar las actividades, concentrando inicialmente la atención del gestor en analizar la secuencia, y posteriormente en dibujar la red.

Respecto a las mediciones de desempeño, los cuatro procesos propuestos por Sánchez Henao (1997) son: la toma de datos, procesar la información, el análisis de resultados, y la toma de decisiones, esto facilitaría una estructura ordenada al control de proyectos.

En cuanto a los documentos para la gestión del tiempo y costo, se encontró como oportunidad incorporar una base de datos de rendimientos y duración de actividades, con esto se mejora el proceso de estimación de duración de actividades, ya que se cuenta con más información para ser más eficientes y exactos.

Una técnica oportuna encontrada es la estructura de desglose de trabajo (EDT), es una mejora ya que se obtiene una estructura definida que se utilizaría tanto en el presupuesto como en el cronograma, con lo cual estos dos documentos se podrían integrar más fácilmente para obtener otras herramientas útiles que dependen tanto del presupuesto como del cronograma.

Los diagramas de flujo de actividades es una oportunidad para incorporar a los procesos de la empresa, es importante ya que de esta forma el ingeniero únicamente se concentra en secuenciar las actividades y así, obtendrá un cronograma más coherente.

La ruta crítica es una de las técnicas más útiles para visualizar las actividades de prioridad en obra, de no practicarse esta técnica en la empresa, es como avanzar sin un rumbo definido, con esto la empresa visualizará en qué estado de avance se encuentra el proyecto en determinado momento, antes de pretender conocer el estado actual es conveniente prever el futuro de un proyecto.

Las tablas de avance de obra, tanto para brindar avances al cliente como para solicitarlos a los contratistas es una herramienta oportuna para mantener controlado adecuadamente el avance en los proyectos.

Una técnica oportuna son las reuniones semanales de cronograma y costos, al hacer esto de manera formal, se podrá analizar las acciones necesarias para mitigar cualquier atraso o sobre costo de manera continua.

Las tablas para análisis de valor ganado brindan información valiosa acerca del estado actual del proyecto con respecto al tiempo y al costo, y de esta forma, la empresa tendrá un panorama más claro del estado actual de los proyectos.

En Costa Rica existen muchos medios para implementar BIM en la empresa, mediante introducción de un grupo especializado, como lo son empresas nacionales especializadas en BIM, o formar el equipo de trabajo con la oferta de cursos nacionales, o bien estudios internacionales, bien sea presenciales o virtuales, para el caso de La Colina. Se debe considerar en un futuro plan de implementación BIM cuál es la mejor opción para la empresa, pero siempre se considera la oportunidad de aprovechar estos medios para adaptar el personal de la empresa a la metodología BIM.

Dado que la empresa actualmente trabaja únicamente en proyectos del sector privado, una oportunidad es participar en proyectos del sector público para ampliar la cantidad de proyectos.

Finalmente, la metodología BIM, se muestra en este proyecto como la principal oportunidad para fortalecer los procesos de gestión del tiempo y costo del proyecto, principalmente porque facilita la estimación de materiales y permite visualizar tridimensionalmente el avance de los proyectos constructivos.

Estrategias BIM

En adelante, se pretende explicar los resultados obtenidos en el desarrollo del segundo objetivo, se continúa analizando los temas sobre los softwares y las estrategias BIM relacionadas a la gestión del tiempo y el costo.

Softwares BIM

En primera instancia, se analizarán los softwares que se muestran en los resultados y que implementan la metodología BIM, comparándolos entre sí, posteriormente, se explica el razonamiento llevado a cabo para la selección de los posibles usos BIM que la empresa podría aplicar y cómo estos usos afectan la selección del software.

Como se observa en el Cuadro 10, las opciones de software que conforman la metodología BIM es variada, en donde algunos comparten funciones, mientras que otros cumplen objetivos diferentes. BIM no es equivalente a un solo software, sino a un conjunto de éstos que comparten la información de un mismo proyecto. Para la modelación de los proyectos es indispensable contar con un software de modelado 3D como puede ser Revit, Allplan, ArchiCad o Advance Steel. Un punto importante es el precio, con este rubro se puede descartar el uso de Allplan debido al elevado costo, lo cual deja dos opciones disponibles.

Primeramente, ArchiCad con un costo de \$ 4550, este precio no incluye actualizaciones anuales, las cuales cuestan \$ 500 por año aproximadamente. Por otro lado, Revit tiene un costo de inversión inicial menor (\$ 2310), sin embargo, después de 3 años se iguala la inversión con ArchiCad.

Lo anterior puede ser una ventaja ya que la empresa puede identificar los beneficios en el primer año y determinar si continuar con la aplicación o no, sin incurrir en una inversión mayor. Cabe destacar, que ambas opciones cuentan con una versión de prueba y versiones para estudiantes que pueden utilizarse para probar y aprender a utilizar el software.

Una alternativa de la casa de Autodesk es Advance Steel, un software BIM de una inversión menor que Revit (\$ 2095) pero que ofrece más detalle en la información BIM de proyectos de acero. Su desventaja es que únicamente se puede modelar estructura metálica.

Finalmente, se debe tomar en cuenta que Revit es una opción más utilizada a nivel mundial por los profesionales del BIM (Zigurat Global Institute of Technology, 2018), y es el software más conocido a nivel nacional según los resultados obtenidos en este proyecto cuando se realizó la encuesta del CFIA, es decir, cuenta con una comunidad de usuarios mayor y por tanto es

más sencillo encontrar información y tutoriales en internet, lo cual facilita la etapa de aprendizaje.

Como software para gestionar el costo, se muestran dos opciones en el Cuadro 10, la primera consta de dos softwares de la misma casa, y que trabajan unidos, Presto más Cost it.

Presto por si solo es un software de presupuestación y gestión de costo, que no requiere de un modelo BIM para utilizarlo. La segunda opción consiste en utilizar Excel y Access conjuntamente para elaborar presupuestos.

De igual forma, lo primero que se analiza es el precio, con la primera opción se hará una inversión de 1080 euros al año, mientras que con la segunda esta inversión es por \$ 550 al año, un 50% más económico, con la ventaja de que Excel es una herramienta más versátil, y es posible que sea utilizada para elaborar otras herramientas diferentes al presupuesto, por lo que, en cuanto a precio Excel es indiscutiblemente la mejor opción.

Por otro lado, debido a que Presto está diseñado para este trabajo en específico resulta más confiable que utilizar hojas de Excel, ya que en estas últimas existe una alta probabilidad de cometer errores en fórmulas, y que conlleve más trabajo de parte de los profesionales debido a las tediosas revisiones que se deben hacer para mitigar los errores. Es ahí donde Presto recupera su valor, debido a que brinda facilidad y eficiencia en la confección de presupuestos.

Otro punto a favor de Presto es que cuenta con la herramienta Cost-it, la cual es un plug.in de Revit con la que se generan mediciones y permite la interacción entre Presto y el modelo BIM de manera sencilla.

En el otro extremo, como complemento para Excel se encuentra Access, un software que permite procesar bases de datos, de tal forma que es posible exportar las tablas de cantidades de cualquier software de modelado en 3D y procesarlo a través de Access para importarlo en Excel, de tal forma que el presupuesto también se alimenta de la información actualizada del modelo BIM.

Este método con Excel y Access tiene el inconveniente de que es más complejo, se requiere más trabajo y es más propenso a que se cometan errores, sin embargo, es más económico.

Por último, es posible contar con herramientas BIM que ayuden a controlar el tiempo del proyecto mediante la integración del modelo 3D con el cronograma del proyecto, dentro de ellas Navisworks y Synchro.

En cuanto a precio Navisworks tiene la ventaja ya que cuesta cuatro veces menos que Synchro. Al igual que Revit, Navisworks es elaborado por Autodesk, por lo que si se opta por Revit es una ventaja ya que existe una mejor comunicación entre los softwares.

Un punto a favor de Synchro es la posibilidad de planificar mediante el método de la ruta crítica, sin embargo, esto es especialmente útil en megaproyectos. Para el alcance de las obras de la empresa el método de la ruta crítica se puede realizar por medio de herramientas más económicas.

Bim 360 y Revizto en primera instancia como software de comunicación entre profesionales podría llegar a ser útil, sin embargo, no es indispensable en una implementación inicial. Incluso, la experiencia de empresas extranjeras indica que la comunicación instantánea que ofrece BIM puede ser contraproducente y difícil de aplicar (PlanBIM, 2019, p.30)

Solibri en principio no es una necesario para la gestión del costo y tiempo, pero indirectamente ayuda a obtener estimaciones más precisas ya que permite identificar fallos entre disciplinas. No sería necesaria su implementación inicial, pero debe considerarse integrarlo en la empresa en un plan de gestión de calidad BIM.

Tekla es un software BIM muy utilizado en el proceso de diseño, ya que permiten realizar análisis estructurales tanto en estructuras de concreto como de acero, sin embargo, esta utilidad está excluida del plan de gestión de costo y tiempo, pero podría ser interesante para la empresa implementarla cuando diseñen estructuralmente sus proyectos.

Personal BIM

Dado que el plan actual únicamente utiliza BIM como un apoyo a los procesos de gestión, y a que se recurrirá a un tercero para la elaboración de los modelos tridimensionales, no se considera necesario establecer puestos específicos para el personal en temas BIM, sin embargo, el gerente de proyectos en conjunto con el ingeniero de proyectos deberá asumir responsabilidades que competen a un manager y coordinador BIM, principalmente, principalmente, establecer los objetivos de implementar BIM en un proyecto específico, así como de establecer el alcance del

trabajo que desarrolla el modelador BIM y evaluar la calidad de los entregables.

Por su parte los puestos de especialista y modelador BIM son responsabilidad del tercero que desarrolle el modelado.

Usos del BIM

De los 20 usos propuestos por Computer Integrated Construction Research Program (2010), es indispensable seleccionar los de mayor valor para este proyecto, considerando su aportación y apoyo con relación a la gestión del tiempo y el costo.

A continuación, se explican las razones por las que se eligieron ciertos usos para aplicarlos en este proyecto, y que se muestran en el cuadro 11.

El modelado de las condiciones existentes es de gran importancia, ya que ofrece a la persona encargada del presupuesto y el cronograma, un panorama claro de la situación inicial en la que se encuentran los proyectos, permitiendo analizar la maquinaria necesaria, y logística de la construcción.

La estimación de costos es un uso indispensable, esto porque las herramientas de software de modelado 3D ofrecen la posibilidad de cuantificar los materiales de la obra de manera rápida y dinámica, de tal forma que, si se presenta algún cambio en el diseño, la tarea de recalcular se hace de manera automática.

La planeación de fases es un uso que fortalece la gestión del tiempo, esto se logra a partir de la creación de elementos contenidos en fases establecidas en el software, de esta forma se observa el avance de la construcción a través de las fases, lo que brinda una visión más clara del proceso constructivo general.

BIM a nivel nacional

De la información recolectada de empresas nacionales se puede observar que el tiempo que tienen estas empresas de implementar BIM es relativamente corto con respecto a empresas internacionales que tienen más de 5 años, a nivel nacional el promedio es menor a 3 años, esto sin mencionar que se consultó a más de 10 empresas sobre el uso de BIM y únicamente dos de las consultadas lo utilizan actualmente.

En una inicial implementación, practicar el modelado directo de los proyectos puede conllevar a posibles errores e ineficiencia por falta de experiencia, según lo consultado a las empresas nacionales, las cuales optaron por el apoyo de un tercero para realizar el modelado BIM de los proyectos.

Actualmente en las empresas, la metodología BIM no es utilizada en todos los proyectos de la empresa, este punto es importantes, ya que se debe considerar al inicio de la implementación una curva de aprendizaje, y puede ser contraproducente aplicar BIM a varios proyectos sin tener la experiencia de la metodología.

Una de las empresas enfatizó en que la aplicación de BIM para la cuantificación implica modelos BIM con un nivel de desarrollo alto, lo que conlleva a que este uso BIM tenga un nivel de dificultad mayor a otros usos, y por tanto la empresa no recomienda iniciar directamente con la cuantificación.

En cuanto a la encuesta realizada por la comisión BIM del CFIA, se analizará los resultados consultados

Se puede encontrar personas que no pertenezcan al área de ingeniería o bien, que continúan estudiando y, por tanto, es probable que el 20% de las respuestas se vean afectadas por un criterio sin experiencia.

Lo anterior coincide con que la mayoría de las personas encuestadas son jóvenes, en un rango de edad entre los 25 a 34 años y con que 7% son estudiantes y 15% se dedican a otras actividades.

Se muestra una fuerte actividad de parte de las carreras de ingeniería en construcción, civil, topografía y arquitectura, mientras que ingeniería industrial, eléctrica y mecánica tiene poca participación en la encuesta, esto puede reflejar que a nivel nacional no se está fomentando el uso de BIM en las áreas de estas carreras con baja actividad.

El 75% de los entrevistados ha escuchado del término BIM, lo que significa que, en Costa Rica, la mayoría de las personas ya conocen este término.

El 69% de las personas que escucharon el término BIM, reconocen acertadamente que es una metodología y no únicamente un software de dibujo o proceso de ingeniería, como ya se ha mencionado en este trabajo, esto demuestra un

alto entendimiento del concepto de esta metodología.

Un resultado importante se encuentra en que el 43% de las personas que escucharon de esta metodología la ponen en práctica. Esto puede parecer un mal resultado, sin embargo, se debe considerar el tiempo que lleva BIM en el país, y la experiencia en otros países para determinar si realmente es un mal resultado.

Se observa que un 50% de las respuestas perciben que el factor principal de no aplicar BIM es la falta de personal capacitado, esto refleja dificultad para encontrar personal capacitado, por lo que puede ser conveniente considerar capacitar el equipo de ingeniería de La Colina en vez de buscar incorporarlo.

Se muestra que el principal uso que se le da en Costa Rica es al modelado en 3D con un 78% y 73% a la elaboración de planos, lo que refleja que estos usos pueden ser los menos complejos, no se encuentra dentro de las opciones el uso de BIM para obtener cantidades o para dar seguimiento en un modelo 4D, lo cual se puede deber al alto grado de complejidad que se ha encontrado en estos usos.

Finalmente, se muestra Revit y Navisworks como principal software BIM lo cual demuestra que estas, a nivel nacional, son las mejores opciones que hay en el mercado.

Referencias internacionales que implementaron BIM

A continuación, se analizará los resultados de investigar el estudio llevado por la empresa PlanBIM, con el fin de adoptar o refutar sus prácticas en este plan.

Del gráfico 2 se puede reconfirmar el hecho de que Revit es el software de mayor uso para modelado BIM, esto conlleva a una comunidad mayor que aporta información sobre el uso de la herramienta, y por lo tanto, su implementación y aprendizaje se ve reforzado.

Se resalta la idea de que primero debe definirse los procesos de gestión y luego apoyarse en la metodología BIM para mejorarlos, se está de acuerdo con las empresas, dado que los procesos de gestión son la base del funcionamiento una organización y es imprescindible contar con un plan de gestión, por su parte, aunque se puede

prescindir de BIM, su implementación agiliza estos procesos bases de la empresa.

En cuanto al trabajo colaborativo esto es algo que corresponde al área de conocimiento de la gestión de las comunicaciones, sin embargo, se debe tener en cuenta cómo se compartirá la información entre profesionales, tomando en consideración que la experiencia de las empresas internacionales en este tema indica que el trabajo colaborativo BIM debe ser mejorado, ya que es demasiado instantáneo.

Al igual que las empresas nacionales, en algunas empresas internacionales el modelo 3D es realizado por un tercero, donde es importante resaltar que no se solicita un nivel de detalle muy elevado, esto se debe a que los parámetros de medición son relativos entre empresas, y puede ser más conveniente recibir un modelo base sobre el cual se agregan los detalles que correspondan para luego cuantificar, etc.

Implementación parcial de prueba

En la empresa se ha realizado una implementación parcial a modo de prueba de la planificación de un proyecto, aplicando este plan de gestión. No se logró probar en las fases de ejecución y control debido a que el proyecto aún no se había iniciado. Los formularios y documentos desarrollados se pueden observar en el apéndice 5.

Tras aplicar a modo de prueba este plan de gestión en el proyecto se logró:

1. Analizar la información actual que se cuenta del proyecto, identificando que aún no se había realizado una visita al sitio ni se cuenta con el contrato del proyecto.
2. Definir entregables que conforman las líneas base del presupuesto y el cronograma, esto facilita analizar un solo entregable tanto en tiempo como en costo.
3. Secuenciar las actividades del proyecto, obteniendo un panorama de la ruta a seguir para concluir el proyecto.
4. Obtener un presupuesto ligado a un modelo BIM 3D, del cual, se obtienen las cantidades de algunos materiales de manera automática.

En este cuarto punto se logró obtener la cantidad de los materiales que se pueden modelar en el software, y que se exporta a través de la base de datos ODBC, por ejemplo: Los perfiles W, los tubos 2x6, la cantidad de pernos de anclaje y el área pintable de los elementos. Otros consumibles que forman parte del resumen de costo de materiales se deben de analizar de manualmente.

De los problemas iniciales que se detectaron en la empresa, tras la implementación parcial de prueba, se logró mejorar el conocimiento actual del proyecto a través del análisis inicial, detectando que aún falta información sobre el proyecto, sin embargo, se debe continuar con la aplicación del plan de gestión en las fases de ejecución y control para comprobar que se puede mantener información de la situación actual del proyecto de manera actualizada.


El segundo problema que se mejoró está relacionado a la creación del presupuesto, ya que el análisis de los materiales se desarrolló de manera ordenada y con plantillas de referencia lo cual facilitó su desarrollo. Por otra parte, al vincularlo con un modelo BIM, la cantidad de materiales es calculada automáticamente y los cambios en el modelo se reflejan en el presupuesto de forma sincronizada.

Plan de gestión de costo y tiempo con apoyo BIM

Este es un documento que se le entrega a la empresa Constructora La Colina donde se muestran los procesos de la gestión de costo y tiempo en las tres fases de construcción principales: planeación, ejecución y control y con apoyo de métodos BIM para la cuantificación de materiales y planeación de fases de los proyectos.

Cabe destacar que este plan, es un documento dirigido de manera exclusiva para la empresa, por lo tanto, su formato y redacción son independientes a este documento.

A continuación, se muestra la portada y el índice de este plan de gestión. El documento completo se muestra en el apéndice 5



*Propuesta de un plan de gestión de costos y
tiempo en proyectos constructivos con apoyo de
la metodología BIM para la empresa
Constructora La Colina*

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Construcción

Proyecto de Graduación
Danny Quesada Arroyo

Enero 2021

Figura 10: Portada del plan de gestión. Fuente: elaboración propia

Contenidos

Introducción	4
Alcance de este plan de gestión	5
Metodología BIM	6
<i>Usos BIM por aplicar al Plan de gestión</i>	6
<i>Modelado y cuantificación de materiales BIM</i>	7
Recurso de personal	8
<i>Responsabilidades</i>	8
Simbología de diagrama	9
Planeación	10
<i>Diagrama de procesos</i>	11
<i>Planificar la gestión de costos y tiempo</i>	12
Acta de reunión.....	14
<i>Tabla de control de costos</i>	15
<i>Definir actividades</i>	16
<i>Secuenciar actividades</i>	17
<i>Actividades predecesoras y tipo de relación</i>	17
<i>Dibujar la red</i>	18
<i>Estimación del costo de materiales</i>	19
Lista de Materiales.....	20
Estimación de materiales mediante BIM.....	21
Resumen de costo de materiales	26
<i>Estimación del costo de recursos</i>	27
Análisis de recursos a partir de modelo BIM.....	28
Identificar las tareas de cada actividad	29
Resumen de costos de mano de obra, maquinaria, equipo y herramientas.....	30
Resumen de costo de actividades	31
<i>Estimación de duración de actividades</i>	32
<i>Identificar la ruta crítica</i>	33
Crear el presupuesto.....	34
<i>Crear el cronograma</i>	35
<i>Crear el modelo BIM 4D</i>	36
<i>Crear el flujo de caja</i>	37
Ejecución	38

Figura 11: Índice del plan de gestión página 1. Fuente: elaboración propia

<i>Diagrama de procesos</i>	39
<i>Adquisición de materiales en el proyecto</i>	40
Solicitud de materiales.....	41
Solicitud de cotización	42
Tabla comparación de cotizaciones	43
<i>Ordenes de cambio</i>	44
Órdenes de cambio con BIM.....	45
Orden de cambio	46
Control	47
<i>Diagrama de procesos</i>	48
Medición de avance con modelo 4D	49
<i>Tabla de pagos</i>	50
<i>Tabla de estado de Adelantos</i>	51
<i>Tabla de estado de multas</i>	52
<i>Tabla de estado de retenciones</i>	53
<i>Cuadro de control de ordenes de cambio</i>	54
<i>Tabla para análisis de valor ganado</i>	55

Figura 12: Índice del plan de gestión página 2. Fuente: elaboración propia

Guía de aplicación del plan de gestión desarrollado

Finalmente, se pretende concluir con el cuarto objetivo de este trabajo que consiste en elaborar una guía al plan de gestión para su posterior implementación en la empresa.

Para esto se plantea el proceso de implementación mediante charlas de capacitación, y un posterior seguimiento en uno de los proyectos constructivos.

Personal meta

El plan de gestión de los proyectos constructivos está hecho para ser aplicado por los ingenieros y al dueño de la empresa, por lo que, esta guía se dirigirá al personal:

- Gerente general y dueño de la empresa Daniel Araya Arias.
- Ingeniero civil Andrés Araya Arce.
- Ingeniero electromecánico Gustavo Castro Arce.

Lugar

Dada la disponibilidad y la aprobación por parte de la empresa, se podrá hacer uso de la sala de reuniones de la empresa La Colina S.A en San Ramón de Alajuela. Esta sala de reuniones cuenta con:

- 1 mesa de 1.5 m x 6 m
- 10 sillas
- 1 televisor
- Servicios sanitarios

Expositor y evaluador

La persona responsable de exponer, capacitar y evaluar al personal de la empresa es el autor de este trabajo, Danny Quesada Arroyo.

Estructuración de charlas de capacitación

La capacitación se impartirá en tres sesiones cada una, y se tratarán los siguientes temas.

Sesión 1 (90 minutos)

- *Introducción*
- *Alcance de este plan*
- *Definición de conceptos*
- *Metodología BIM*
 - *Explicar el concepto, la importancia y los usos por aplicar.*
 - *Mostrar ejemplo de un modelo BIM*
- *Personal: Habilidades duras, blandas y responsabilidades.*
- *Planeación:*
 - *Explicación del diagrama de procesos*
 - *¿Cómo dirigir y documentar una reunión de planificación?*
 - *¿Qué es y cómo utilizar la tabla de control de costos?*
 - *¿Cómo definir actividades?*
 - *Secuenciar actividades mediante el método PERT mediante ejemplo.*
 - *¿Cómo calcular materiales a partir del modelo BIM 3d?*
 - *Resumen del costo de los materiales.*

Sesión 2 (60 minutos)

- *Planeación*
 - *BIM- Para analizar los recursos necesarios en el proyecto.*
 - *¿Cómo utilizar las tablas para la estimación de recursos?*
 - *Estimar la duración de las actividades*
 - *¿Cómo identificar la ruta crítica?*
 - *Cómo elaborar el cronograma*
 - *Elaboración y uso del modelo BIM 4D.*
 - *Elaboración y uso de flujo de caja.*

Sesión 3 (60 minutos)

- **Ejecución**
 - Explicación del diagrama de procesos
 - Procesos de adquisición de materiales en proyecto.
 - Órdenes de cambio y actualización de documentos.
- **Control**
 - Explicación del diagrama de procesos
 - ¿Cómo visualizar el avance del proyecto mediante el modelo 4D?
 - Uso de tablas de control
 - ¿Cómo desarrollar un análisis de valor ganado?

Evaluación

Con el fin de evaluar la comprensión del personal posterior a las charlas, se aplicará un formulario con:

- 5 preguntas de desarrollo (10 puntos cada pregunta)
- 10 preguntas de selección múltiple. (5 puntos cada pregunta)

El personal contará con 120 minutos para contestar cada pregunta y se considerará que la persona comprende satisfactoriamente los temas, si obtiene 70 puntos o más. En caso de reprobación la prueba, se recurrirá a una cuarta charla para reforzar los temas que se requiera.

Seguimiento

Posterior al proceso de capacitación se dará seguimiento en uno de los proyectos de la empresa durante 4 meses, con 2 visitas por mes, con el fin de evaluar y apoyar en el buen uso del plan de gestión.

Resultados del seguimiento

Finalmente, se expondrá ante la empresa un resumen del seguimiento, en donde se mostrarán los resultados obtenidos en el proyecto con la implementación del plan de gestión, y la validación de la resolución de los problemas que presentaba la empresa antes y después de la implementación de este plan.

Cronograma de actividades

A continuación, se muestran las fechas en que se realizará la capacitación y seguimiento a la empresa.

ACTIVIDAD	FECHA
Capacitación: Sesión 1	08 abril 2021
Capacitación: Sesión 2	10 abril 2021
Capacitación: Sesión 3	12 abril 2021
Capacitación: Evaluación	15 abril 2021
Capacitación: Sesión 4	17 abril 2021
Proyecto: Seguimiento 1	Semana 1 del proyecto
Proyecto: Seguimiento 2	Semana 3 del proyecto
Proyecto: Seguimiento 3	Semana 5 del proyecto
Proyecto: Seguimiento 4	Semana 7 del proyecto
Proyecto: Seguimiento 5	Semana 9 del proyecto
Proyecto: Seguimiento 6	Semana 11 del proyecto
Proyecto: Seguimiento 7	Semana 13 del proyecto
Proyecto: Seguimiento 8	Semana 15 del proyecto
Resultados de seguimiento	Semana 16 del proyecto

Conclusiones

Del estudio de la situación actual de la empresa se encuentra que no posee procesos definidos de gestión de costo y tiempo en proyectos constructivos, aunque desarrollan herramientas relacionadas, es importante reforzarlas.

Dada la larga experiencia de la empresa orientada mayormente en construcción de estructuras metálicas, el presente trabajo se enfocó a mejorar los procesos relacionados a la planeación, ejecución y control de elementos de acero para proyectos constructivos.

Las tecnologías de información, tal como la metodología BIM no consiste en el uso exclusivo de softwares, por el contrario, se conforman por tres factores igual de importantes: procesos de la empresa, infraestructura de software y de las habilidades humanas, tanto habilidades duras como blandas.

La metodología BIM se compone de más de 20 usos, de los cuales la cuantificación de materiales y la planeación de fases 4D son los que más aportan a la gestión de costos y tiempo.

Se encontró que estos dos usos BIM tienen un alto grado de complejidad en su aplicación práctica, debido al alto nivel de detalle que demanda en la modelación, sin embargo, este factor se ve reducido al implementarlo exclusivamente en la construcción de la estructura metálica de los proyectos.

El plan de gestión propuesto en este proyecto para Constructora La Colina S.A está hecho especialmente para esta empresa, ya que se fundamenta en un análisis de la situación actual de la empresa, en información teórica y en la experiencia práctica de empresas nacionales e internacionales que implementaron BIM.

Con este plan se solventan los tres principales problemas de la empresa de gestión, disminuyendo la posibilidad de omitir entregables en el presupuesto, proponiendo un proceso ordenado para la creación y seguimiento del cronograma, y estableciendo herramientas que permitan un control apto para conocer el estado actual del proyecto.

El costo mínimo de implementación BIM, respecto a software corresponde a 4285 USD el primer año, y posteriormente 3930 USD por año.

No todos los materiales que conforman un presupuesto se obtendrán del modelo BIM, algunos consumibles se continuarán estimando manualmente.

Como se demostró en el plan piloto, es posible obtener cantidades de un modelo tridimensional de manera automática al realizar cambios en este.

Recomendaciones

Se recomienda llevar a cabo en la empresa un análisis de los costos indirectos, para considerarlos en los presupuestos de los proyectos, se debe incluir dentro de estos, los gastos incurridos en las licencias de los softwares a utilizar en los proyectos.

La empresa deberá implementar un método de almacenamiento digital de la información que se genera de los proyectos, que esté al alcance de las personas encargadas de gestionar el proyecto.

Se recomienda desarrollar bien sea un libro de Excel o un sistema computacional que incluya los formularios del plan de gestión y permita crear, modificar y o eliminarlo cuando se desee.

La empresa deberá crear y utilizar en presupuestos una base de datos de precios de materiales en el mercado nacional.

Por su parte, se recomienda realizar en los proyectos medición de rendimientos del trabajo realizado y documentarlo, a fin de tener estas referencias en futuros proyectos.

Dada la actual evolución del BIM se recomienda a la empresa, mantenerse informada sobre nuevas herramientas que fortalezcan el presente plan.

Dado que empresas extranjeras han experimentado dificultad para utilizar sistemas de colaboración entre disciplinas BIM, no se recomienda su uso en este proyecto.

Llevar a cabo investigaciones en otros usos de la metodología BIM, que aporten valor a los procesos de la empresa y que no posean un nivel alto de aplicación.

Iniciar la implementación BIM aprovechando las herramientas que ofrecen licencias de prueba o de estudiante, esto disminuirá la inversión inicial de BIM en los proyectos.

La gestión implica más que los costos y el tiempo, por lo que se recomienda analizar la empresa en otras áreas de conocimiento y proponer planes de gestión para estas.

Apéndices

En este apartado se muestran cinco (5) apéndices que son necesarios para la comprensión y desarrollo del trabajo de investigación.

Siendo adjuntados como apéndices lo siguiente:

Apéndice 1: Guía para la aplicación de entrevistas.

Apéndice 2: Lista de verificación del análisis documental.

Apéndice 3: Respuestas de las entrevistas.

Apéndice 4: Preguntas sobre BIM a las empresas nacionales.

Apéndice 5: Formularios de la prueba parcial del plan

Apéndice 1

Guía para la aplicación de entrevistas

A continuación, se muestra la guía de preguntas con la cual se llevó a cabo las entrevistas.

Número de entrevista	
Fecha	
Nombre del entrevistado	
Puesto en la empresa	
Años de experiencia	
Años de trabajar en la empresa	

Preguntas sobre Gestión de Costos y Tiempo en proyectos constructivos
¿Para usted, qué es la gestión de costos y tiempo, qué importancia tiene para su empresa?
¿Quiénes trabajan en la empresa relacionados a la gestión de proyectos en cuanto a costos y tiempo?
¿Para cada proyecto se realiza la estructura de desglose de trabajos?
¿Se han establecido documentos con un formato estándar para la elaboración de presupuestos y cronogramas?
¿De qué manera se asigna mano de obra, transportes y equipos a los distintos proyectos?
¿Se tiene alguna herramienta que facilite el control sobre los saldos de materiales que se deben comprar, y fecha en que se deben gestionar?

¿En un proyecto cómo establecen cuándo realizar mediciones o análisis de desempeño del trabajo en cuanto a costos y tiempo?
¿Cuál es el mayor problema que enfrenta la empresa en cuanto a la gestión de costos y tiempo?
¿Cómo se podría mejorar su trabajo para fortalecer la gestión de costos y tiempo de la empresa?
¿Con qué equipo cuenta la empresa?
¿Quién se encarga de controlar los costos de los proyectos?
¿Actualmente se cuenta con un catálogo de cuentas para la distinción de los diferentes proyectos y actividades dentro de un proyecto?
¿Se cuenta con una tabla de flujo de caja para los proyectos?
¿Qué posibilidades tiene la empresa de invertir en herramientas para la gestión de costos?
¿La empresa coordina reuniones para proyectar las necesidades del proyecto?
¿Qué parámetros de tiempo se utiliza en la creación de cronogramas?
¿Se identifican las actividades que conforman la ruta crítica de los proyectos?
¿Qué análisis previos se hacen a la realización del cronograma?
¿Se da seguimiento al cronograma?

Fuente: *Elaboración propia.*

Esta pregunta se realizó únicamente a Andrés Araya Arce

¿Qué procedimientos, herramientas y técnicas utiliza la empresa actualmente para la planificación, estimación, cotización, compra y control de: materiales, mano de obra, equipos, herramientas y transportes?

Insumos	Planificar	Estimar	Cotizar	Comprar	Controlar
Materiales	¿Con cuánto tiempo de anticipación se gestiona la compra de materiales? ¿Se cuenta con días específicos para la solicitud de materiales en los proyectos?	¿Cómo se obtiene las cantidades de materiales que se deben comprar? ¿Cómo se hace la solicitud de materiales?	¿Quién se encarga de realizar cotizaciones? ¿Cómo se efectúa el análisis de ofertas para un proyecto? ¿Se cuenta con tablas de análisis de ofertas?	¿Cuándo debe comprar materiales cual es el procedimiento? ¿Quién puede autorizar la compra de materiales?	¿Después de comprar los materiales, cómo se procede a registrar la factura para controlar el costo real? ¿Qué control se tiene en bodega de la empresa y en la bodega del proyecto en cuanto a materiales? ¿Se tiene alguna herramienta que facilite el control sobre los saldos de materiales que se deben comprar, y fecha en que se deben gestionar? ¿Se cuenta con inventario en bodega?
Mano de obra	¿Cómo se planifica el personal de mano de obra para los distintos proyectos? ¿En caso de subcontratos, como se planifica su ingreso al proyecto?	¿Cómo se determina la cantidad de personas requeridas en un determinado proyecto?	¿Qué proceso de cotización se da para la búsqueda de mano de obra o subcontratistas?	¿Cómo se realiza el pago a mano de obra directa? ¿En el caso de subcontratistas cual es el método de pago utilizado?	¿Se tiene alguna tabla de pagos para los subcontratistas?
Equipos y herramientas	¿Con que equipo y maquinaria cuenta la empresa? ¿Con cuánto tiempo se asignan				¿Qué control se tiene en bodega de la empresa y en la bodega del proyecto en cuanto a equipo y herramientas? No se tiene control de las horas que se utiliza

	estos recursos en los proyectos?				el equipo en cada proyecto.
Transportes	<p>¿Con que medios de transporte cuenta la empresa?</p> <p>¿Con cuánto tiempo de anticipación se coordinan los transportes?</p> <p>¿En ocasiones deben recurrir a servicios de transporte en caso de no disponer de los medios propios?</p>		¿Cómo cotizan el transporte?		¿Se registra este gasto en los proyectos?

Fuente: *Elaboración propia.*

Apéndice 2

Lista de verificación del análisis documental

DESCRIPCIÓN DEL DOCUMENTO ANALIZADO PARA LA GESTIÓN DEL TIEMPO	RESPUESTA		USO DE SOFTWARE		COMENTARIOS
	SI	NO	SI	NO	
Base de datos de rendimientos					
Base de datos de duración de actividades					
Estructura de desglose del trabajo (EDT)					
Diagramas PERT					
Asignación de recursos					
Calendario de recursos					
Ruta crítica					
Diagrama Gantt					
Tablas de avance de obra					
Reuniones de cronograma					
Medición en campo del avance de obra					
DESCRIPCIÓN DEL DOCUMENTO ANALIZADO PARA LA GESTIÓN DEL COSTO	RESPUESTA		USO DE SOFTWARE		COMENTARIOS
	SI	NO	SI	NO	
Base de datos de precios de materiales					
Inventarios en bodega					
Centro de costos por proyecto					
Creación de planos					
Modelaje en 3D					
Elaboración de presupuestos					
Machote de presupuesto					
Tabla de flujo de caja					
Tabla de control de compra de materiales					
Seguimiento del presupuesto					
Reuniones de presupuesto					
Análisis de valor ganado					
Tablas de análisis de ofertas					

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 3

Respuestas de las entrevistas

Número de entrevista	1
Fecha	20 de agosto 2020
Nombre del entrevistado	Andrés Araya Arce
Puesto en la empresa	Gerente de proyectos.
Años de experiencia	15 años
Años de trabajar en la empresa	15 años

Preguntas sobre Gestión de Costos y Tiempo en proyectos constructivos
<p>¿Para usted, qué es la gestión de costos y tiempo, qué importancia tiene para su empresa? <i>La gestión del tiempo y de costo es planificar la obra en cuanto a la duración de las actividades y la coordinación entre ellas de tal manera que sea posible ejecutarlas en el tiempo establecido sin que interfieran unas con otras, y sobre esto llevar el control que permita tomar decisiones en el proyecto en caso de que este se encuentre atrasado. En cuanto al costo es poder estimar cantidades, asignarle el valor de mercado, pero además poder entregarlos en el proyecto en el tiempo adecuado, es importante también poder controlar el gasto real como retroalimentación. Para la empresa es fundamental gestionar adecuadamente los proyectos para tener una visión a futuro del proyecto tanto en tiempo como en costo y tomar decisiones para mantenerlo dentro de los parámetros establecidos inicialmente.</i></p>
<p>¿Quiénes trabajan en la empresa relacionados a la gestión de proyectos en cuanto a costos y tiempo? <i>En la empresa Daniel Araya es el dueño y la persona que más influye en la gestión de todos los proyectos de la empresa, yo, Andrés Araya Arce también me encargo de gestionar algunos proyectos, para esto me apoyo en el ingeniero electromecánico Gustavo Castro Arce, en la persona encargada de compras Jorge ** y en mi hermana administradora Laura.</i></p>
<p>¿Para cada proyecto se realiza la estructura de desglose de trabajos? <i>No se realiza.</i></p>
<p>¿Se han establecido documentos con un formato estándar para la elaboración de presupuestos y cronogramas? <i>No se han establecido formatos.</i></p>
<p>¿En un proyecto cómo establecen cuándo realizar mediciones o análisis de desempeño del trabajo en cuanto a costos y tiempo? <i>No se hacen mediciones, los avances de obra se realizan cuando es necesario.</i></p>
<p>¿Cuál es el mayor problema que enfrenta la empresa en cuanto a la gestión de costos y tiempo?</p>

<p><i>El mayor problema es que en ocasiones por no tener control se toma dinero de otros proyectos o de la empresa para financiar otros proyectos, al final siempre tenemos un retorno de inversión positivo, sin embargo, esto genera cierta incertidumbre en los entes financieros que nos cuestionan porqué se utilizó el dinero en otro proyecto. Esto se debe quizá a no tener suficientemente claro el flujo de caja para cada proyecto.</i></p>
<p>¿Cómo se podría mejorar su trabajo para fortalecer la gestión de costos y tiempo de la empresa?</p>
<p>¿Quién se encarga de controlar los costos de los proyectos? <i>Del departamento de contabilidad se solicita el total de gastos del proyecto según el centro de costos para obtener un estimado y esto se compara con los ingresos obtenidos.</i></p>
<p>¿Actualmente se cuenta con un catálogo de cuentas para la distinción de los diferentes proyectos y actividades dentro de un proyecto? <i>Sí, en contabilidad se lleva un catálogo de cuentas para cada proyecto, cuando se realiza un gasto se le indica al departamento de manera verbal a que proyecto corresponde el gasto.</i></p>
<p>¿Se cuenta con una tabla de flujo de caja para los proyectos? <i>Daniel Araya es quien se encarga de analizar el flujo de caja para cada proyecto, sin embargo, esto lo hace estimado según su experiencia.</i></p>
<p>¿Qué posibilidades tiene la empresa de invertir en herramientas para la gestión de costos? <i>La empresa está muy interesada en crecer, adaptarse y actualizarse. Sabemos que la gestión de proyectos no estamos muy bien reforzados y si estamos en la disposición y capacidad de adquirir software para reforzar y optimizar todas las etapas de la gestión de costos y tiempo.</i></p>
<p>¿La empresa coordina reuniones para proyectar las necesidades del proyecto? <i>No las coordina</i></p>
<p>¿Qué parámetros de tiempo se utiliza en la creación de cronogramas? <i>Experiencia por parte de Daniel Araya, Andrés Araya y Gustavo Castro Arce.</i></p>
<p>¿Se identifican las actividades que conforman la ruta crítica de los proyectos? <i>Sé que se puede obtener ese dato, sin embargo, no lo utilizamos.</i></p>
<p>¿Qué análisis previos se hacen a la realización del cronograma? <i>En Project se establecen las actividades y se desarrollan las dependencias y duraciones. No hay análisis previo.</i></p>
<p>¿Se da seguimiento al cronograma? <i>Se hace el esfuerzo por dar seguimiento, sin embargo, por falta tiempo en ocasiones no se le da seguimiento.</i></p>

Fuente: Elaboración propia.

¿Qué procedimientos, herramientas y técnicas utiliza la empresa actualmente para la planificación, estimación, cotización, compra y control de: materiales, ¿mano de obra, equipos, herramientas y transportes?

Insumos	Planificar	Estimar	Cotizar	Comprar	Controlar
Materiales	<p>Se planifican lo que lleva más tiempo de fabricación por ejemplo la estructura metálica o los ascensores. Materiales como el cemento se mantienen 100 sacos en proyecto. Si contamos con espacio para el block se compra el 80 % requerido. No se establece nada formal para la planificación de los materiales. Algunos materiales no se planifican.</p> <p>- Para un proyecto se hace un pedido para lo mecánico, lo eléctrico, lo potable y lo sanitario haciendo cada rubro en una sola compra con el fin de buscar los mejores precios. El sistema de incendios y de aire acondicionado se trabaja como subcontrato. Normalmente se hace la solicitud de materiales cuando el proyecto está en un 30% de avance aproximadamente. Para la estimación se mide desde los archivos de AutoCAD y se crea el presupuesto en Excel. No se tiene control de la cantidad de materiales comprados ni por comprar ya que se hace una sola vez.</p>	<p>-Se toman medidas de planos de CAD para calcular cantidades.</p> <p>-En Excel se crean presupuestos, sin embargo, antes de comprar se calcula nuevamente.</p> <p>- Cuando el maestro de obra requiere materiales lo hace mediante llamada a Jorge.</p>	<p>-Algunos materiales más importantes los cotiza Daniel o Andrés, lo electromecánico lo cotiza Gustavo, y otros materiales son cotizados por Jorge.</p> <p>- A Jorge se le solicita cotizar de manera verbal o por mensaje de Whatsapp.</p> <p>-Se elige la cotización más cómoda económicamente.</p>	<p>-Los materiales más importantes como el acero, la varilla y el block se compra con tiempo. Otros materiales como el repello se compran con 2 días conforme se requieran en obra.</p> <p>- En ocasiones se realiza una Orden de Compra cuando se requiere.</p> <p>-Solamente Daniel, Andrés y Laura tienen potestad para autorizar una Orden de Compra.</p>	<p>-No se lleva control sobre los materiales que se han o deban comprarse para determinado proyecto.</p> <p>-En el departamento de contabilidad se entregan las facturas y se les indican a que proyecto pertenecen, ahí se le asigna el código de centro de costos.</p> <p>-A Jorge se le indica la cantidad de materiales a comprar, sin embargo, en ocasiones se le indica comprar un porcentaje del total, y posteriormente se le indica comprar el resto, Jorge guarda la información en una agenda.</p> <p>-Se tiene un inventario de bodega para materiales muy importantes.</p>
Mano de obra	<p>Dentro de la empresa se tienen cuadrillas definidas para cada proyecto, en caso de requerirse más personal es el maestro de obras quien lo solicita durante la construcción. Algunas actividades se subcontratan por lo que en la etapa de presupuesto se eligen las empresas subcontratadas y cuando deberían ingresar.</p>	<p>Previamente se hace una estimación del personal requerido, pero es en sitio donde el maestro de obras establece la cantidad de mano de obra.</p>	<p>Las cotizaciones realizadas son la de subcontratistas y se elige la persona más cómoda, con más experiencia o la que más conozcamos.</p>	<p>A algunos subcontratistas, a otros se les paga por avance de obra o en tratos de 50%.</p>	<p>No se cuenta con alguna tabla de pagos, se lleva el control con las facturas de los contratistas.</p>

Equipos y herramientas	<p>La empresa cuenta con maquinaria y equipo. Normalmente se planifica con 1 semana de anticipación. ¿Qué equipo tiene la empresa?</p>				<p>No se tiene control de las horas que se utiliza el equipo en cada proyecto.</p>
Transportes	<p>El día anterior se planifica el transporte del personal y de la maquinaria a proyectos. La empresa cuenta con medios de transporte. ¿Qué pasa si no cuentan con lo necesario para transportar a un lugar cercano y a un lugar lejano? Maquinaria con 1 semana antes, equipos y mano de obra se coordina desde el día anterior.</p>		<p>¿Cómo cotizan el transporte?</p>		<p>¿Se registra este gasto en los proyectos?</p>

Fuente: Elaboración propia.

Número de entrevista	2
Fecha	20 de agosto 2020
Nombre del entrevistado	Gustavo Castro Arce
Puesto en la empresa	Ingeniero Electromecánico
Años de experiencia	10 años
Años de trabajar en la empresa	10 años

Preguntas sobre Gestión de Costos y Tiempo en proyectos constructivos

¿Para usted, qué es la gestión de costos y tiempo, qué importancia tiene para su empresa?

Son procesos mediante los cuales se puede planificar el control en los gastos y el tiempo que tiene la empresa en determinados proyectos.

¿Para cada proyecto se realiza la estructura de desglose de trabajos?

No se realiza.

¿Se han establecido documentos con un formato estándar para la elaboración de presupuestos y cronogramas?

No se han establecido formatos.

¿En un proyecto cómo establecen cuándo realizar mediciones o análisis de desempeño del trabajo en cuanto a costos y tiempo?

No se hacen mediciones, con mayor razón que las instalaciones electromecánicas las realiza la empresa, por lo que no nos vemos en la necesidad de hacer avances o mediciones.

¿Cuál es el mayor problema que enfrenta la empresa en cuanto a la gestión de costos y tiempo?

El mayor problema se da en la planificación ya que no se realizan estimaciones de materiales confiables, lo que produce que en la ejecución de la obra se invierta mucho tiempo en analizar las cantidades para comprar, etc.

¿Cómo se podría mejorar su trabajo para fortalecer la gestión de costos y tiempo de la empresa?

Implementando herramientas que faciliten el diseño, el dibujo y la estimación de lo electromecánico.

¿La empresa coordina reuniones para proyectar las necesidades del proyecto?

No las coordina

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 4

Preguntas sobre BIM a las empresas nacionales

¿Hace cuánto tiempo se implementó BIM en la empresa?

¿Cuál es el objetivo a largo plazo en cuanto a la implementación de usos BIM?

¿Actualmente, se apoyan en la metodología BIM para los procesos de gestión de costo y tiempo?

¿Cuál software BIM es utilizado?

¿Cómo se apoyan en BIM en los procesos de gestión de costos y tiempo?

¿Cuál es el personal capacitado en BIM de la empresa, puestos y funciones?

¿Tienen forma de medir el retorno de inversión que ha generado la implementación de BIM?

Apéndice 5

Plan Piloto

 Constructora La Colina S.A.	N° Formulario		0010001
	N° Plan		01
	Página		1 / 2
FORMULARIO DE PLANIFICACIÓN: Edificio Guápiles	Día	Mes	Año
	20	ene	2021

a. ¿Se cuenta con una visita previa al sitio del proyecto?

- SI (Adjuntar el informe de visita al sitio)
 NO (Programar visita al sitio)

Fecha y hora: 15-feb-21

Personas que acompañan:

1. Andrés Araya Arce
2. Danny Quesada Arroyo
3. _____
4. _____
5. _____

b. Reunir los documentos del proyecto.

- Planos constructivos Especificaciones técnicas
 Contrato Presupuesto de la oferta

c. Tipo de moneda del proyecto: colones

d. Horario laboral del proyecto: sin restricciones

e. Establecer fechas importantes:

- i Llegada del material: Perfiles de acero 22-feb
- ii Inicio de trabajos en sitio: Pedestales de pernos 22-feb
- iii Fin de trabajo en sitio: 30-abr
- iv _____
- v _____

f. Establecer tiempos de producción importantes:

- i 28 días del endurecimiento del concreto
- ii La soldadura es suministrada por el propietario
- iii _____

g. Establecer reuniones en proyecto (se recomienda 1 reunión semanal mínimo):

- i Reuniones de presupuesto: Todas las semanas martes 8 am
- ii Reuniones de cronograma: Todas las semanas martes 9 am

 Constructora La Colina S.A.	N° Formulario		0010001
	N° Plan		01
	Página		2 / 2
FORMULARIO DE PLANIFICACIÓN	Día	Mes	Año
	20	ene	2021

h. Analizar cuáles proyectos anteriores se pueden utilizar como referencia

Este proyecto cuenta con las uniones apernadas, y no se tiene registro de proyectos con esta característica.

No se cuenta con registro de proyecto con dimensiones similares.

i. Reunir bases de datos de precios, pesos de material de acero, rendimiento de mano de obra, duración de actividades, así como los documentos correspondientes a los proyectos

- Base de datos: peso de materiales de acero
- Base de datos precio de materiales
- Base de datos rendimiento de mano de obra
- Base de datos duración de actividades
- Documentos de proyectos de referencia

j. Establecer los recursos disponibles de la empresa para este proyecto

Mano de obra disponible	<input checked="" type="checkbox"/>	SI	<input type="checkbox"/>	NO	Cantidad:	<u>5 personas</u>
Transporte disponible	<input checked="" type="checkbox"/>	SI	<input type="checkbox"/>	NO	Cantidad:	<u>1 buseta</u>
Grúas	<input checked="" type="checkbox"/>	SI	<input type="checkbox"/>	NO	Cantidad:	<u>1 grúa</u>
Montacargas	<input type="checkbox"/>	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	Cantidad:	<u> </u>
Manitú	<input type="checkbox"/>	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	Cantidad:	<u> </u>

k. Definir los roles para este proyecto específico

NOMBRE	PUESTO	FUNCIÓN	TEL-CEL	CORREO ELECTRÓNICO
Daniel Araya Arias	Gerente general	Comunicación con el cliente	****_****	*****
Andrés Araya Arce	Gerente de proyectos	Dirigir el proyecto. Supervisar los trabajos	****_****	*****
Gustavo Castro Arce	Ingeniero de proyectos	Coordinar y recopilar información del proyecto.	****_****	*****
*****	Cliente	Recibir a satisfacción el proyecto	****_****	*****

Nota: Especificar en este cuadro el ente encargado de desarrollar la EDT del proyecto y el modelo 3D BIM.

l. Para cada una de las reuniones se debe llenar la minuta adjunta en la página siguiente.

 Constructora La Colina S.A.	N° Formulario		0010002
	N° Acta		01
	Página		1 / 1
ACTA DE REUNIÓN: Edificio Guápiles	Día	Mes	Año
	20	ene	2021

Elaborado por: Danny Quesada Arroyo
 Hora inicio: 6:00 PM Hora de fin: 7:30 PM
 Lugar: Sala de reuniones de la empresa La Colina S.A

Agenda

- Desarrollar el formulario de planificación del proyecto

Equipo de trabajo

CONVOCADOS	PUESTO	PRESENTE
Andrés Araya Arce	Gerente de proyectos	si
Gustavo Castro Arce	Ingeniero de proyectos	si
Danny Quesada Arroyo	Desarrollador del plan de gestión	si

Temas tratados

ASUNTO	COMENTARIOS	ACUERDOS
Planificación	No se ha realizado visita al proyecto	El 15 de feb se realizará la visita por parte de Andrés Araya y Danny Quesada
	No se cuenta con el contrato, ni con las especificaciones técnicas del proyecto	Andrés Araya coordinará para desarrollar un contrato con el cliente
	Se requieren reuniones en el proyecto	Por acuerdo unánime se establecen reuniones los martes de 8 am a 10 am para tratar temas de presupuesto y cronograma
	Ver formulario de referencia 0010001 sobre la planificación del proyecto	

Asuntos pendientes

TAREA	RESPONSABLE	FECHA ENTREGA
Informe de visita sitio	Danny Quesada Arroyo	17-feb-21
Contrato del proyecto	Andrés Araya Arce	22-feb-21

Revisado por: _____

 Constructora La Colina S.A.	N° Formulario		0010003
	N° Tabla		01
	Página		1 / 1
TABLA DE IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE LOS ENTREGABLES	Día	Mes	Año
	20	ene	2021

Elaborado por: Danny Quesada Arroyo
 Proyecto: Edificio Guápiles

ENTREGABLE	ACTIVIDAD	LETRA DE IDENTIFICACIÓN	
PERNOS ANCLAJE	COLOCACIÓN	A	
COLUMNAS 18X40 Y 10 X 22	CONFECCIONAR PLACAS	B	
	CONFECCIONAR ATIZADORES	C	
	ENSAMBLAJE DE COLUMNA	D	
	2 CAPAS PINTURA BASE	E	
	INSTALACIÓN	F	
	2 CAPAS DE PINTURA ACABADO	G	
	VIGAS A 3 METROS Y 6 METROS	CONFECCIONAR PLACAS	H
CONFECCIONAR ATIZADORES		I	
ENSAMBLAJE DE VIGAS		J	
2 CAPAS PINTURA BASE		K	
INSTALACIÓN		L	
2 CAPAS DE PINTURA ACABADO		M	
VIGAS DE TECHO 10 X 22		2 CAPAS DE PINTURA	N
	EMPATES Y HUECOS	O	
	INSTALACIÓN	P	
	2 CAPAS PINTURA ACABADO	Q	
	CLAVADORES	EMPATES	R
		2 CAPAS PINTURA BASE	S
2 CAPAS PINTURA ACABADO		T	
INSTALACIÓN		U	

Revisado por: _____



Constructora La Colina S.A.

N° Formulario 0010004

N° Tabla 01

Página 1 / 1

ACTIVIDADES PREDEESORAS Y TIPO DE RELACIÓN

Día Mes Año

20 ene 2021

Elaborado por: Danny Quesada Arroyo
Proyecto: Edificio Guápiles

Table with 4 columns: ACTIVIDAD, LETRA, PREDEESORA, RELACIÓN. It lists construction activities from INICIO to FIN with their corresponding letters and relationship types (CC, FC, FF).

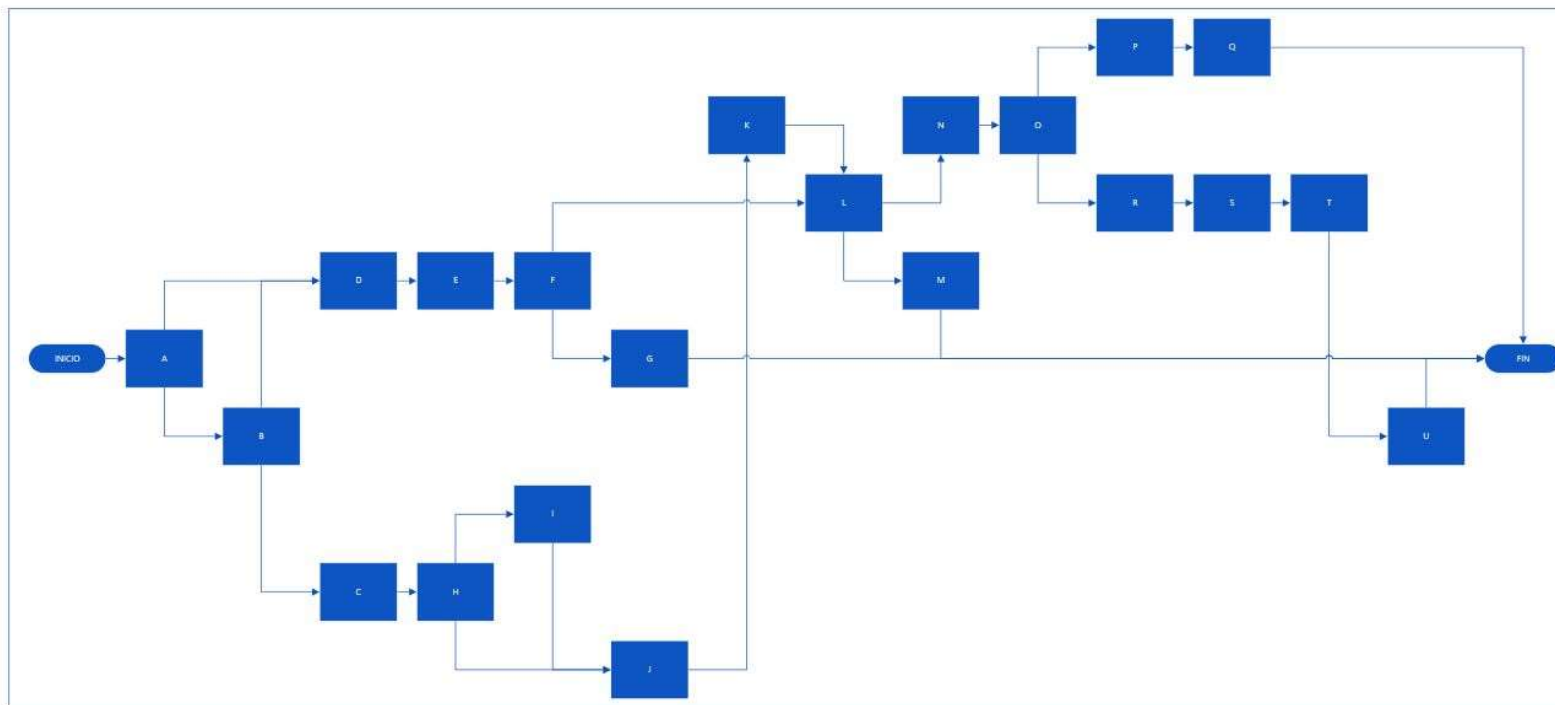
Revisado por: _____

N° formulario		0010005
N° Presupuesto		01
Página		1 / 1
Día	Mes	Año
20	ene	2021

Diagrama de precedencias

Proyecto: [Edificio Guápiles](#)

Elaborado por: [Danny Quesada Arroyo](#)



Fuente: *Elaboración propia mediante Microsoft Visio*



Constructora La Colina S.A.

N° Formulario 10006

N° Tabla 01

Página 1 / 3

Resumen de materiales y costo de materiales

Día Mes Año

20 ene 2021

Elaborado por: Danny Quesada Arroyo

Proyecto: Edificio Guápiles

ACTIVIDAD	MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Pernos_ Colocación	Barra roçadas #8 0,90 m	144	und	¢8.500,00	¢1.224.000,00
	Tuerca A325 #8	504	und	¢765,00	¢385.560,00
	Arandela #8	144	und	¢160,00	¢23.040,00
	Platina 3"x3"x1/8"	144	und	¢200,00	¢28.800,00
Columnas_Placas	Lámina acero 6/8"	2	und	¢290.000,00	¢580.000,00
Columnas_Atizadores	Lámina acero 1/2"	2	und	¢190.000,00	¢380.000,00
Columnas_Ensamblaje	Disco desbaste	3	und	¢5.000,00	¢15.000,00
	W 18 x 40 x 40'	9	und	¢475.000,00	¢4.275.000,00
	W 10 x22 x 40'	1,5	und	¢260.000,00	¢390.000,00
Columnas_Pintura base	Pintura cromato zinc	1,5	cubetas	¢135.000,00	¢202.500,00
	Diluyente para pintura	7,5	galones	¢4.200,00	¢31.500,00
	Rodillos y felpas de 4"	2	und	¢1.500,00	¢3.000,00
Columnas_Instalación	Eslinga izaje	1	und	¢49.500,00	¢49.500,00
Columnas_Pintura acabado	Pintura	1,5	cubetas	¢135.000,00	¢202.500,00
	Diluyente para pintura	7,5	galones	¢4.200,00	¢31.500,00
	Rodillos y felpas de 4"	2	und	¢1.500,00	¢3.000,00
Vigas_Placas	Lámina acero 1/2"	3	und	¢190.000,00	¢570.000,00
	Tornillo 3/4", tuerca y arandela	1000	und	¢2.540,00	¢2.540.000,00



Constructora La Colina S.A.

N° Formulario 10006

N° Tabla 01

Página 2 / 3

Resumen de materiales y costo de materiales

Día Mes Año

20 ene 2021

ACTIVIDAD	MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Vigas_Atizadores	Lámina acero 3/8"	3	und	¢145.000,00	¢435.000,00
Vigas_Ensamblaje	Disco desbaste	3	und	¢5.000,00	¢15.000,00
	W 18 x 40 x 40'	23,5	und	¢475.000,00	¢11.162.500,00
	W 10 x22 x 40'	1,5	und	¢260.000,00	¢390.000,00
Vigas_Pintura base	Pintura	4	und	¢135.000,00	¢540.000,00
	Diluyente para pintura	20	und	¢4.200,00	¢84.000,00
	Rodillos y felpas de 4"	3	und	¢1.500,00	¢4.500,00
Vigas_Instalación	Fajas	0	und	¢49.500,00	¢0,00
Vigas_Pintura acabado	Pintura	4	und	¢135.000,00	¢540.000,00
	Diluyente para pintura	20	und	¢4.200,00	¢84.000,00
	Rodillos y felpas de 4"	2	und	¢1.500,00	¢3.000,00
Viga Techo_Pintura base	Pintura	1	und	¢135.000,00	¢135.000,00
	Diluyente para pintura	5	und	¢4.200,00	¢21.000,00
Viga Techo_Empates y huecos	Disco desbaste	1	und	¢5.000,00	¢5.000,00
	W 10 x22 x 40'	15	und	¢260.000,00	¢3.900.000,00
Viga Techo_Instalación	-		und		¢0,00
Viga Techo_Pintura de acabado	Pintura	1	und	¢135.000,00	¢135.000,00
	Diluyente para pintura	5	und	¢4.200,00	¢21.000,00
	Rodillos y felpas de 4"	0	und	¢1.500,00	¢0,00
Clavadores_Empates	Tubo 2"x6" x 6 m	111	und	¢27.500,00	¢3.052.500,00
Clavadores_Pintura base	Pintura	2	und	¢135.000,00	¢270.000,00



Constructora La Colina S.A.

N° Formulario 10006

N° Tabla 01

Página 3 / 3

Resumen de materiales y costo de materiales

Día Mes Año

20 ene 2021

ACTIVIDAD	MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
	Diluyente para pintura	10	und	¢4.200,00	¢42.000,00
	Rodillos y felpas de 4"	2	und	¢1.500,00	¢3.000,00
Clavadores_ Pintura acabado	Pintura	2	und	¢135.000,00	¢270.000,00
	Diluyente para pintura	10	und	¢4.200,00	¢42.000,00
	Rodillos y felpas de 4"	0	und	¢1.500,00	¢0,00
Clavadores_ Instalación	-		und		¢0,00

COSTO TOTAL ¢32.089.400,00

Revisado y aprobado por: _____

Referencias

- Aguilar, A. (2017). *Diseño de Infraestructura de Nueva Planta para la Línea de Producción de los Modelos Buller y Linner 12 en Dina Camiones* (Tesis de Maestría). Centro de Investigación y Asistencia Técnica del Estado de Querétaro (CIATEQ), Ciudad Sahagún, Hidalgo, México. Obtenido de: <https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/93/1/AguilarJaenAntonio%20MMANAV%202017.pdf>.
- Alcántara, P. (2013). *Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construcción virtual usando tecnologías BIM* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Obtenido de: https://www.academia.edu/6750988/Tesis_BIM_-_Vladimir_Alcantara
- Alfaro, O. (2008). *Sistemas de Aseguramiento de la Calidad en la Construcción* (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Obtenido de: http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/185/ALAFO_OMAR_SISTEMAS_ASEGURAMIENTO_CALIDAD_CONSTRUCCION.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Almonacid, K., Navarro, J. y Rodas, I. (2015). *Propuesta de Metodología para la Implementación de la Tecnología BIM en la empresa Constructora e Inmobiliaria "IJ Projecta"* (Tesis de Maestría). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú. Obtenido de: https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/617477/Proyecto%20Tesis_MDC.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Ángel, Y. (2019). *Coordinación de un Proyecto de Edificación mediante Metodologías BIM – Caso de Estudio Edificio Tequendama II – Permoda* (Tesis de Pregrado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia. Obtenido de: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23896/1/TRABAJO%20DE%20GRADO-BIM%204D%20Y%205D-YEISON%20ANGEL-505745.pdf>
- Arvizu, Y. (2013). *IGUDES, MTD (Manipulación y Transferencia de Datos)* (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional, México D.F., México. Obtenido de: <http://148.204.210.201/tesis/1377540654694TESISIGUDESMT.pdf>
- Ascue, V. (2017). *Relación entre la Aplicación del Software BIM y la Producción de Proyectos en la Empresa Havym Arquitek -San Juan de Lurigancho –2017* (Tesis de

- Maestría). Universidad César Vallejo, Lima, Perú. Obtenido de: http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/14925/Ascue_TV.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bances, P. y Falla, S. (2015). *La tecnología BIM para el mejoramiento de la eficiencia del proyecto multifamiliar "Los Claveles" en Trujillo-Perú* (Tesis de Pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú. Obtenido de: <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upao/2041>
- Bermeo, H. [Holger Bermeo]. (8 de Junio de 2017). *Presupuesto en Excel desde Revit-Base de datos ODBC* [Archivo de video]. Obtenido de: <https://www.youtube.com/watch?v=EreAqoZqMjU&t=274s>
- BIMFORUM. (2015). *Level of Development Specification*. Obtenido de: <https://bimforum.org/lod/>
- BIM Forum Costa Rica. (s.f.). Costa Rica. Obtenido de: <https://www.construccion.co.cr/BimForum>
- Bjørner, D. (2006). *Software Engineering 3: Domains, Requirements, and Software Design*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Boton, C., Kubicki, S. y Halin, G. (Junio de 2015). *4D/BIM simulation for pre-construction and construction scheduling. Multiple levels of development within a single case study*. Creative Construction Conference 2015. 21 al 24 de junio de 2015, Cracovia, Polonia. Pág. 500-505. Obtenido de: https://www.researchgate.net/profile/Sylvain_Kubicki/publication/279953595_4DBIM_simulation_for_pre-construction_and_construction_scheduling_Multiple_levels_of_development_within_a_single_case_study/links/559f8daf08ae8a0fbedc98e9/4D-BIM-simulation-for-pre-construction-and-construction-scheduling-Multiple-levels-of-development-within-a-single-case-study.pdf
- Briceño, C. (2019). *Metodología Bim convoca segunda cita*. Pág. 36-39. Cámara Costarricense de la Construcción. Revista Construcción Año 26/229, mayo 2019. Obtenido de: <https://www.construccion.co.cr/Multimedia/Archivo/7183>
- Briceño, C. (2019). *BIM para obras públicas*. Pág. 12. Cámara Costarricense de la Construcción. Revista Construcción Año 26/231, julio 2019. Obtenido de: <https://www.construccion.co.cr/Multimedia/Archivo/7781>
- Buchtik, L. (2013). *Secrets to mastering the WBS in real-world projects*. Newton Square, Pennsylvania: Institute Project Management.
- Buendía, L., Colás, P. y Hernández, F. (1998). *Métodos de Investigación en Psicopedagogía*. Madrid: McGraw-Hill. Obtenido de: <http://cetmar02.edu.mx/neoarts/documentos/libros/M%C3%A9todos%20de%20investigaci%C3%B3n%20en%20psicopedagog%C3%ADa>

- stigaci%C3%B3n%20en%20psicopedagog%C3%ADa%20-%20Leonor%20Buend%C3%ADa%20Eisman.pdf
- Calle, D. (2014). *Valoración de Procesos Digitales, para la Optimización del Diseño Arquitectónico* (Tesis de Pregrado). Universidad de Cuenca, Ecuador. Obtenido de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20818/1/TESIS.pdf>
- Cázares, L., Christen, M., Jaramillo, E., Villaseñor, L. y Zamudio, L. (1999). *Técnicas actuales de investigación documental*. México D.F.: Editorial Trillas, S.A de C.V. Obtenido de: https://www.academia.edu/30356880/T%C3%A9cnicas_actuales_de_investigaci%C3%B3n_documental_Cazares_Laura
- Chacón, D. y Cuervo, G. (2017). *Implementación de la Metodología BIM para elaborar Proyectos mediante el Software Revit* (Tesis de Pregrado). Universidad de Carabobo, Bárbula, Carabobo, Venezuela. Obtenido de: <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/6952/dchacon.pdf?sequence=3>
- Chamoun, Y. (2002). *Administración Profesional de Proyectos, La Guía*. México D.F.: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V. Obtenido de: <https://estadiapractica.files.wordpress.com/2015/02/admon-profe-proyecos-la-guia.pdf>
- Coghi, C. (23 de Febrero de 2019). *Implicaciones del IVA para el sector construcción*. El Financiero (On Line), Economía y Política. Obtenido de: <https://www.elfinancierocr.com/economia-y-politica/implicaciones-del-iva-para-el-sector-construccion/RLRWXD7AIRC4REJNMJ3GARFBAE/story/>
- Corporación Centro Internacional de Marketing Territorial para la Educación y el Desarrollo de Colombia CIMTED (2017). *Las Competencias y la Gestión del Conocimiento*. Primera Edición <http://memoriascimted.com/wp-content/uploads/2017/01/Las-Competencias-y-la-Gesti%C3%B3n-del-Conocimiento.pdf>. Medellín, Colombia. Obtenido de: <http://memoriascimted.com/wp-content/uploads/2017/01/Las-Competencias-y-la-Gesti%C3%B3n-del-Conocimiento.pdf>
- De Tal, M. J. [PlatziLab]. (7 de julio de 2017). *El poder de las habilidades blandas* [Archivo de video]. Obtenido de: <https://www.youtube.com/watch?v=uXxQIYPgOfo>
- Díaz, E. (24 de marzo de 2009). *Del CAD al BIM II: la profundidad del cambio*. DECONSTRUMÁTICA online, nro. 5, marzo, 1-3. Obtenido de: <https://issuu.com/ladrillosybits/docs/deconstrumatica-revista-online-marzo-2009>

- Díaz Bravo, L. (2013). *La entrevista, recurso flexible y dinámico*. Investigación en Educación Médica, pag. 162-167. Obtenido de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/iem/v2n7/v2n7a9.pdf>
- Farfán, E. y Chavil, J. (2016). *Análisis y evaluación de la implementación de la metodología BIM en empresas peruanas* (Tesis de Pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú. Obtenido de: https://repositorioacademico.upc.edu/bitstream/handle/10757/621662/CHAVIL_PJ.pdf;jsessionid=D42421ED7E294E9D0042B1421255A6C1?sequence=1
- Fernández, F. (2018). *Planteamiento de cómo mejorar con maquetas modeladas BIM (Building Information Modelling), el proceso constructivo en obras mineras subterráneas* (Tesis de Pregrado). Universidad de Aconcagua, Calama, Chile. Obtenido de: http://www.bimforum.cl/wp-content/uploads/2019/05/TESIS_FFV_2018.pdf
- Gido, J. y Clements, J. (2003) *Administración Exitosa de Proyectos*. (Traductor: Julio Coro Pando). Segunda edición. International Thomson Editores, S.A. de C.V.. México. (1999). Obtenido de: https://www.academia.edu/11573126/Administracion_Exitosa_de_Proyectos_Guido_Clements-ED-THOMSON
- Huergo, J. (s.f.). *Los procesos de gestión*. Obtenido de: <http://servicios.abc.gov.ar/lainstitucion/univpedagogica/especializaciones/seminario/materialesparadesargar/seminario4/huergo3.pdf>
- Jiménez Maroto, G. (17 de Julio de 2018). *BIM es sinónimo de competitividad*. Cámara Costarricense de la Construcción. Obtenido de: <https://www.construccion.co.cr/Post/Detalle/22755/bim-es-sinonimo-de-competitividad>
- Koontz, H., Wehrich, H. y Cannice, M. (2008). *Administración una perspectiva global y empresarial*. México D.F: McGraw-Hill Companies Inc. Obtenido de: https://www.academia.edu/38916947/Administracion_Una_perspectiva_global_y_empresarial_Koontz
- León, J. Cristancho, J. y Gómez, I. (2019). *Manual para la ejecución de obra de construcción de edificaciones bajo el enfoque del Building Information Modeling -BIM-* (Tesis de Pregrado). Universidad Piloto de Colombia, Bogotá, Colombia. Obtenido de: http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5508/TESIS%20BIM%20_190505.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Levy, S. (2007). *Project Management in Construction*. 5th ed. New York: McGraw-Hill Companies Inc. Obtenido de: <http://site.iugaza.edu.ps/kshaath/files/201>

- 0/10/Project-Management-in-Construction.pdf
- López de Ortigosa Casares, D. A. (2012). *Ingeniería de costos en la construcción*. Trillas, México: Editorial Trillas, S.A. Obtenido de: https://kupdf.net/download/ingenieria-de-costos-en-la-construccion-diego-arturo-lopez-de-ortigosapdf_5c833a5ee2b6f5a25270fcc3_pdf
- Loyola, L. (2018). *Desarrollo de Aplicación en Software BIM para la interoperabilidad entre el Análisis y la Representación 3D del Refuerzo Estructural en Muros de Edificios de Hormigón Armado* (Tesis de Pregrado). Universidad de Chile, Santiago, Chile. Obtenido de: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/168503/Desarrollo-de-aplicaci%3%b3n-en-software-BIM-para-la-interoperabilidad-entre-el-an%3%a1lisis-y-la-representaci%3%b3n-3D-del-refuerzo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martínez, S. (2019). *Propuesta de una metodología para implementar las tecnologías VDC/BIM en la etapa de diseño de los proyectos de edificación* (Tesis de Pregrado). UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA, Piura, Perú. Obtenido de: <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1935>
- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (1943). *Código de Trabajo de Costa Rica*. Ley N° 2. 26 de agosto, San José, Costa Rica: Editorial Investigaciones Jurídicas.
- Mintzberg, H. (1979). *The Structuring of Organizations*. México: Prentice-Hall. Obtenido de: <https://www.nrc.gov/docs/ML0907/ML090710600.pdf>
- Moder, J., Phillips, C. y Davis, E. (1983). *Project Management with CPM, PERT and Precedence Diagramming*. 3rd edition, New York: Van Nostranú Reinhold Company Inc.
- Monfort, C. (2015). *Impacto del BIM en la gestión del proyecto y la obra de arquitectura* (Tesis de Pregrado). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. Obtenido de: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/55201/MEMORIA_TFG_MONFORT_PITARCH%2CCARLA_14411406249496792971937922144995.pdf?sequence=3
- Monje Álvarez, C. A. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa, Guía didáctica*. Neiva, Colombia: Universidad Surcolombiana. Obtenido de: <https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>
- Morales, S. (2018). *Evaluación de la rentabilidad del uso de gestión BIM en la construcción de un bloque de viviendas de 10 pisos del Distrito de San Martín de Porres-Lima* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional

- Federico Villarreal, Lima, Perú. Obtenido de:
<http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/2555>
- Moreno, C. (2019). *Análisis Comparativo entre el Modelo Virtual de Proyectos de Construcción Building Information Modeling y el Modelo Convencional de Gestión de Proyectos, para Obras de Concreto Armado, en Empresas Constructoras, Huaraz-2017* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz – Ancash, Perú. Obtenido de:
[repositorio.unasam.edu.pe › bitstream › handle › UNASAM](http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM)
- Pazmiño, S. (2018). *Análisis Comparativo de la Estimación de Presupuestos en Edificaciones entre el Sistema Construplan y el Sistema Archicad* (Tesis de Pregrado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia. Obtenido de:
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16383/1/ANALISIS%20COMPARATIVO.pdf>
- Pérez, L. (2019). *Posibilidades de la Metodología BIM en la Ingeniería Civil* (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Madrid, España. Obtenido de:
<http://oa.upm.es/54370/>
- Pillaca, F. (2017). *Diagnóstico de las Capacidades Blandas del Gerente de la Institución Financiera Banbif Oficina Makro Chiclayo, 2015* (Tesis de Pregrado). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú. Obtenido de:
http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1278/1/TL_PillacaLarreaFernando.pdf
- PlanBIM. (2019). *Estudio de Costos Relacionados con la Implementación de Metodologías BIM. Informe Final. Enero 2019*. En cooperación con Universidad de Chile, COPEVAL DESARROLLA, CORFO, el Comité de Transformación Digital y el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo del Gobierno de Chile. Obtenido de:
https://www.academia.edu/41660129/ESTUDIO_DE_COSTOS_RELACIONADOS_CON_LA_IMPLEMENTACION_DE_METODOLOGIAS_BIM_INFORME_FINAL
- Project Management Institute. (2011). *Practice Standard for Earned Value Management*. Second edition. Pennsylvania: Newtown Square. Obtenido de: [files.transtutors.com › cdn › uploadassignments](http://files.transtutors.com/cdn/uploadassignments)
- Project Management Institute. (2013). *Guía para los fundamentos de la dirección de proyectos PMBOK*. Pensilvania: Newtown Square. Obtenido de: [https://www.ucursos.cl/usuario/9ab2176940ab9954ced859e56499d050/mi_blog/r/Project_Management_Institute-Guia_de_los_fundamentos_para_la_direccion_de_proyectos_\(Guia_del_PMBOK\)-Project_Management_Institute__Inc_\(2017\).pdf](https://www.ucursos.cl/usuario/9ab2176940ab9954ced859e56499d050/mi_blog/r/Project_Management_Institute-Guia_de_los_fundamentos_para_la_direccion_de_proyectos_(Guia_del_PMBOK)-Project_Management_Institute__Inc_(2017).pdf)

- Real Academia Española (2014). *Diccionario de la lengua española*, 23.^a ed., [versión 23.3 en línea]. Consultado en: <https://dle.rae.es>
- RibSpain. (6 de febrero de 2020). *Manual de Presto 2020*. Madrid, España. Obtenido de: <https://www.rib-software.es/pdf/Usar-Presto/Manual-de-Presto.pdf>
- Rincón Abril, L. A. (2001). *Investigación de Operaciones para Ingenierías y Administración de Empresas*. Palmira: Impresora Feriva S.A. Obtenido de: [http://www.uneditorial.net/uflip/Investigacion-de-operaciones-para-ingenierias-y-administracion-de-empresas-OA.PDF](http://www.uneditorial.net/uflip/Investigacion-de-operaciones-para-ingenierias-y-administracion-de-empresas/pubData/source/Investigacion-de-operaciones-para-ingenierias-y-administracion-de-empresas-OA.PDF)
- Rivas, L. (2015). *¿Cómo Hacer una Tesis?* México: IPN. Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/283243103_Capitulo_3_Modelos_para_la_elaboracion_de_una_tesis
- Rodríguez, C. (2019). *Plan de Acción para la Implementación de la Metodología BIM en las Operaciones de Constructora Costarricense S.A.* (Tesis de Pregrado). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Obtenido de: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10988/plan_accion_implementacion_metodologia_bim.pdf?sequence=1
- Rojas Cairampoma, M. (2015). *Tipos de investigación científica: Una simplificación de la complicada incoherente nomenclatura y clasificación*. REDVET Revista Electrónica de Veterinaria, 1-14. Buenos Aires, Argentina. Obtenido de: https://www.vetcomunicaciones.com.ar/uploadsarchivos/tipos_de_investigacion_00f3n_2015_pdf.pdf
- Ruiz, P. (2015). *Propuesta de técnicas y herramientas para optimizar la gestión visual y de las comunicaciones durante la etapa de diseño de un proyecto de construcción* (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Obtenido de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6432>
- Salazar, F. (2018). *Análisis de la Metodología BIM en el desarrollo de obras de construcción en el marco de la Ingeniería Geomática* (Tesis de Pregrado). Universidad de Concepción, Los Ángeles, Bío Bío, Chile. Obtenido de: <http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/3083/4/Salazar%20Montalba.pdf>
- Saldias, R. (2010). *Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM* (Tesis de Pregrado). Universidad de Chile, Santiago, Chile. Obtenido de: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103904>
- Sánchez Henao, J. C. (1997). *Manual de programación y control de programa de obras*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de: <https://civiliestph.files.wordpress.com/2016/08/manual-de-programacion-3b3n-y->

control-de-programa-de-obras-julio-
sanchez.pdf

Structuralia. (09 de Abril de 2019). *Como hacer un BIM Implementation Plan paso a paso*.

Obtenido de:
<https://blog.structuralia.com/como-hacer-un-bim-implementation-plan-paso-a-paso>

Soriano, R. (2016). *Project 2016. Curso práctico paso a paso*. Primera Edición. Alfaomega Grupo Editor. México. Obtenido:
<https://eybooks.com/topic/3520-project-2016-curso-pr%C3%A1ctico-paso-a-paso/>

Suárez Salazar, C. (2002). *Costo y tiempo en edificación*. México D.F: Editorial Limusa S.A. Obtenido de:
https://www.academia.edu/24643880/Suarez_Salazar_Carlos_-_Costo_Y_Tiempo_En_Edificacion.PDF

Tam Málaga, J., Vera, G. y Olivero Ramos, R. (2008). *Tipos, métodos y estrategias de investigación científica*. Revista de Escuela de Posgrado Pensamiento y Acción, Pag 145-154. Obtenido de:
<http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/arti>

culos/imarpe/oceanografia/adj_modela_p
a-5-145-tam-2008-investig.pdf

The Computer Integrated Construction Research Program. (2010). *BIM Project Execution Planning Guide-Versión 2.0 Draft April 16, 2010*. The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA. Obtenido de:
https://vdcscorecard.stanford.edu/sites/g/files/sbiybj8856/f/bim_project_execution_planning_guide-v2.0.pdf

Valdés, A. (2014). *Estudio de Viabilidad del uso de la Tecnología BIM en un Proyecto Habitacional en Altura* (Tesis de Maestría). Universidad de Chile, Santiago, Chile. Obtenido de:
<http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/130352>

Woodland, T. (4 de julio de 2017). *Exactal*. CitA (Construction IT Alliance). Obtenido de:
<https://www.cita.ie/membersarea/exactal/>

Zigurat Global Institute of Technology. (17 de Julio de 2018). *¿Qué software BIM debo utilizar?* Obtenido de: <https://www.ezigurat.com/blog/es/que-software-bim-debo-utilizar/>