

Generación de Ventajas Competitivas en las Organizaciones de Diseño Estructural de Edificaciones en Concreto Reforzado Mediante la Implementación de BIM

Ricardo Otoniel Avendaño Brito, Edinson Fabián Prada Jaimes

Trabajo de Grado para Optar por el Título en Ingeniería Civil

Director

Omar Giovanni Sánchez Rivera

Ingeniero Civil, Magister en Ingeniería Civil, Magister en Pensamiento Estratégico y Prospectiva

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2018

Agradecimientos

A nuestra familia, gracias a su sacrificio, dedicación, apoyo y comprensión constante nos ayudaron a cumplir esta meta, sin ellos jamás habríamos llegado hasta aquí.

A todos los profesores a lo largo de la carrera, que nos cultivaron conocimiento, otorgando dedicación y tiempo, en especial al Ing. Omar G. Sánchez, quien nos apoyó de manera incondicional en la elaboración del presente proyecto.

Tabla de Contenido

1. Introducción	17
1. Objetivos	20
1.1. Objetivo General	20
1.2. Objetivos Específicos	20
2. Revisión Literaria	21
2.1. ¿Qué es el Building Information Modeling (BIM)?	21
2.2. Implementación de BIM	21
2.3. Ventaja competitiva	22
2.3.1. El liderazgo en costos	23
2.3.2. La diferenciación	24
2.3.3. El enfoque	24
3. Metodología	25
3.1. Metodologías utilizadas en el diseño estructural y manejo de software	25
3.2. Metodologías utilizadas para las variables que no puedan analizarse mediante el diseño estructural	27
4. Variables comparadas	28
4.1. Características de una organización de diseño estructural de edificaciones en concreto reforzado	28
4.2. Procesos de organización de diseño estructural de edificaciones en concreto reforzado	30
4.3. Productos de organización de diseño estructural de edificaciones en concreto reforzado	32
4.4. Coeficiente de importancia para cada parámetro	36

4.4.1. Coeficiente de importancia para cada variable obtenida de acuerdo con las características analizadas.	36
4.4.2. Coeficiente de importancia para cada variable obtenida de acuerdo con los procesos analizados	39
4.4.3. Coeficiente de importancia para cada variable obtenida de acuerdo con los productos analizados	41
5. Evaluación de las Variables	42
5.1. Planteamiento del caso de estudio	42
5.2. Evaluación de las variables obtenidas de acuerdo con las características analizadas	47
5.2.1. Tiempo de diseño	47
5.2.2. Trabajo colaborativo	50
5.2.3. Integración e interoperabilidad	51
5.2.4. Interfaz de usuario y formación del recurso humano	53
5.2.5. Presupuesto en equipamiento necesario y software	57
5.2.6. Alcance de los proyectos de la empresa y aceptación en la industria	59
5.3. Evaluación de las variables obtenidas de acuerdo con los procesos analizados	60
5.3.1. Detección de interferencias	60
5.3.2. Certificación LEED y Supervisión (HSE)	61
5.3.3. Variables implicadas en el proceso de modelamiento de la estructura	63
5.4. Evaluación de las variables obtenidas de acuerdo con los productos analizados	64
5.4.1. Interacción 3D	64
5.4.2. Cantidades y costos de obra	65
5.4.3. Programa de obra	66

VENTAJAS COMPETITIVAS MEDIANTE IMPLEMENTO DE BIM	7
5.4.4. Planos de despiece, planta y detalles	67
5.4.5. Informes de diseño	70
5.5. Resultados	71
6. Generación de Ventajas Competitivas por Diferenciación	76
6.1. Determinar el comprador real	82
6.2. Identificar la cadena de valor del comprador y el impacto de la empresa en ella	83
6.3. Determinar el criterio de compra del comprador gradado	84
6.4. Asentar las fuentes existentes y potenciales de exclusividad en la cadena de valor de una empresa	86
6.5. Identificar el costo de las fuentes existentes y potenciales de diferenciación	87
6.6. Elegir la configuración de las actividades de valor que crearon la configuración más valiosa para el comprador en relación con el costo de diferenciar	88
7. Conclusiones	89
Referencias Bibliográficas	92

Lista de Tablas

Tabla 1. Variables consideradas de acuerdo con las características de una organización de diseño estructural de edificaciones en concreto reforzado.....	32
Tabla 2. Variables consideradas de acuerdo con los procesos de una organización de diseño estructural de edificaciones en concreto reforzado.....	34
Tabla 3. Variables consideradas de acuerdo con los productos de una organización de diseño estructural de edificaciones en concreto reforzado.....	35
Tabla 4. Coeficiente de importancia para cada variable obtenida de acuerdo con las características analizadas.....	38
Tabla 5. Coeficiente de importancia para cada variable obtenida de acuerdo con los procesos analizados.....	40
Tabla 6. Coeficiente de importancia para cada variable obtenida de acuerdo con los productos analizados.....	42
Tabla 7. Tiempos tomados para cada proceso del modelamiento.	47
Tabla 8. Puntajes obtenidos en cada alternativa para la variable “Ahorro en el tiempo de diseño”, a menor porcentaje, menor tiempo y, por ende, mayor ahorro en el tiempo de diseño.	49
Tabla 9. Resultados de los tiempos de ejecución del postproceso.....	50
Tabla 10. Puntajes obtenidos en cada alternativa para la variable “Trabajo colaborativo”.....	51
Tabla 11. Puntajes obtenidos en cada alternativa para las variables “Integración” e “Interoperabilidad”.	52
Tabla 12. Análisis de la complejidad para el modelo realizado en las tres alternativas.	54

Tabla 13. Puntajes de complejidad para cada proceso realizado en el modelo empleado.....	56
Tabla 14. Puntajes de complejidad y facilidad en cada alternativa. Los puntajes de facilidad son los puntajes para las variables “Interfaz de usuario” y “Formación del recurso humano”.....	57
Tabla 15. Puntajes obtenidos en cada alternativa para la variable “Presupuesto en equipamiento necesario”.....	58
Tabla 16. Puntajes obtenidos en cada alternativa para la variable “Presupuesto en Software”....	59
Tabla 17. Puntajes obtenidos en cada alternativa para las variables “Alcance de los proyectos de la empresa” y “Aceptación en la industria”.	60
Tabla 18. Puntajes obtenidos en cada alternativa para las variables “Certificación LEED” y “Supervisión HSE”.	63
Tabla 19. Puntajes obtenidos en cada alternativa para las variables implicadas en el proceso de modelamiento de la estructura.	64
Tabla 20. Puntajes obtenidos en cada alternativa para la variable “Interacción 3D”.	65
Tabla 21. Puntajes obtenidos en cada alternativa para la variable “cantidades y costos de obra”.	65
Tabla 22. Puntajes obtenidos en cada alternativa para la variable “programa de obra”.....	66
Tabla 23. Puntajes obtenidos en cada alternativa para la variable “planos de despiece, planta y detalles”.....	70
Tabla 24. Puntajes obtenidos en cada alternativa para la variable “informes de diseño”.....	71
Tabla 25. Puntajes de las variables obtenidas de acuerdo con las características analizadas.	71
Tabla 26. Puntajes de las variables obtenidas de acuerdo con los procesos analizados	72
Tabla 27. Puntajes de las variables obtenidas de acuerdo con los productos analizados	73
Tabla 28. Puntajes totales	73

Tabla 29. Impacto sobre la cadena de valor de empresa constructora..... 83

Tabla 30. Ventajas competitivas en empresa de diseño estructural de concreto reforzado mediante la utilización de BIM. 89

Lista de Figuras

Figura 1. Plantas arquitectónicas del modelo realizado.....	43
Figura 2. Modelo realizado en Revit Structural®.....	45
Figura 3. Modelo realizado en Robot Structural Analysis Professional®.....	45
Figura 4. Modelo realizado en ETABS®.	46
Figura 5. Modelo realizado en SAP2000®.....	46
Figura 6. Tiempo en realizar cada proceso del modelamiento.	48
Figura 7. Imágenes de un modelo MEP realizado en la familia de softwares Revit®. Adaptado de Autodesk Inc. (2018).	52
Figura 8. Imágenes de un modelo MEP realizado en la familia de softwares Revit®. Adaptado de Autodesk Inc. (2018).	53
Figura 9. Diferentes niveles de detalle de captura de pantalla en BIM para obtener información de posibles interferencias. Adaptado de Chong et al. (2016).	61
Figura 10. El software BIM puede ayudar a los diseñadores a analizar elementos de diseño sostenibles, como la iluminación natural (izquierda), la radiación solar (centro) y la visualización general del proyecto (derecha). Adaptado de E R Hoffer (2009).	62
Figura 11. Entorno gráfico de Navisworks®, software especialización en la gestión de proyectos. Fuente. Autodesk Inc. (2018).....	67
Figura 12. Despiece de una Viga, realizado en Robot Structure®.	68
Figura 13. Sección y despiece de una sección de columna, realizado netamente en Robot Structure®.....	69

Figura 14. Puntajes de las variables obtenidas de acuerdo con las características analizadas.....	74
Figura 15. Puntajes de las variables obtenidas de acuerdo con los procesos analizados.....	74
Figura 16. Puntajes de las variables obtenidas de acuerdo con los productos analizados.....	75
Figura 17. Puntajes totales.....	75
Figura 18. Cadena de valor de una empresa de diseño estructural.....	80
Figura 19. Cadena de valor empresa constructora.....	80
Figura 20. Criterio de compra del comprador de un diseño estructural.....	86
Figura 21. Fuentes de diferenciación existentes en la cadena de valor de la empresa de diseño estructural.....	87

Glosario

Building Information Modeling: Conjunto de herramientas utilizadas para el apoyo de grandes proyectos en el proceso de creación y administración durante el desarrollo de este. BIM se centra en visualización, intercambio de información y productividad mejorada gracias a la optimización de la coordinación de la documentación de los proyectos.

Competitividad: Definida como la capacidad de poder generar la mayor satisfacción de los consumidores ofreciendo un producto o un servicio específico, es decir, es la capacidad de una persona u organización para desarrollar ventajas competitivas con respecto a sus competidores y obtener así, una posición destacada en su entorno.

Construcción: Es el arte o técnica de fabricar edificios e infraestructuras. En un sentido más amplio, se denomina construcción a todo aquello que exige, antes de hacerse, disponer de un proyecto y una planificación predeterminada.

Ventaja competitiva: Es cualquier característica de una empresa, país o persona que la diferencia de otras colocándole en una posición relativa superior para competir. Es decir, cualquier atributo que la haga más competitiva que las demás.

Estrategia competitiva: Las estrategias genéricas de Porter describen como una compañía puede lograr ventaja competitiva frente a sus competidores obteniendo un rendimiento superior al de ellos.

Diferenciación: Estrategia competitiva que tiene como objetivo que el consumidor perciba de forma diferente el producto o servicio ofrecido por una empresa, con respecto a los de la competencia.

Diseño: Se define como el proceso previo de configuración mental, "prefiguración", en la búsqueda de una solución en cualquier campo. Utilizado habitualmente en el contexto de la industria, ingeniería, arquitectura, comunicación y otras disciplinas creativas.

Estructura: Es la disposición y orden de las partes dentro de un todo. También puede entenderse como un sistema de conceptos coherentes enlazados, cuyo objetivo es precisar la esencia del objeto de estudio.

Diseño estructural: Es una de las áreas donde se desarrolla la Ingeniería Civil y se realiza a partir de las potencialidades que un material puede ofrecer, así como sus características naturales que lo hacen específico, su bajo costo y las propiedades mecánicas que posee.

RESUMEN

TÍTULO: GENERACIÓN DE VENTAJAS COMPETITIVAS EN LAS ORGANIZACIONES DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES EN CONCRETO REFORZADO MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE BIM*

AUTORES: RICARDO OTONIEL AVENDAÑO BRITO**
EDINSON FABIÁN PRADA JAIMES**

PALABRAS CLAVE: BIM (BUILDING INFORMATION MODELING), COMPETITIVIDAD EN CONSTRUCCIÓN, VENTAJA COMPETITIVA, DIFERENCIACIÓN, DISEÑO ESTRUCTURAL.

DESCRIPCIÓN:

La posibilidad de lograr ventajas competitivas con la implementación de BIM (Building Information Modeling) dentro de Latinoamérica presenta rezago en comparación con gran parte del mundo, esto se debe a que muchos profesionales son reacios al cambio de sus metodologías tradicionales de trabajo y su poca creencia en las ventajas que puede traer esto para la empresa. En esta investigación se presenta un análisis detallado de parámetros de comparación respecto a la metodología tradicional, a partir de esto se plantearon varias actividades que pueden generar ventajas competitivas sostenibles dentro de una empresa de diseño estructural si implementa la metodología BIM. A partir de la investigación de diversas fuentes de información y de la generación de dos diseños de una edificación (uno utilizando la metodología tradicional y el otro la metodología BIM), se obtuvieron diferentes características, procesos y productos importantes que fueron analizados para finalmente obtener un coeficiente de comparación, que sirvieron de criterio al momento de seleccionar las actividades que generan valor y una ventaja competitiva sostenible (de acuerdo con Michael Porter, a través de la diferenciación). Finalmente, se pudo observar que la implementación de BIM puede generar productos adicionales que añaden valor al producto en cuestión del costo y de igual manera se enfocan en facilitar ciertas labores directas de la empresa constructora, pero sin un enfoque en actividades adicionales de señalamiento no es posible llegar a una diferenciación en el mercado.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela Ingeniería Civil. Director: Omar Giovanni Sánchez Rivera, Ingeniero Civil, Magister en Ingeniería Civil, Magister en Pensamiento Estratégico y Prospectiva.

ABSTRACT

TITLE: GENERATION OF COMPETITIVE ADVANTAGES IN ORGANIZATIONS OF STRUCTURAL DESIGN OF BUILDINGS IN CONCRETE REINFORCED BY THE IMPLEMENTATION OF BIM*

AUTHORS: RICARDO OTONIEL AVENDAÑO BRITO**
EDINSON FABIÁN PRADA JAIMES**

KEYWORDS: BIM (BUILDING INFORMATION MODELING), COMPETITIVENESS IN CONSTRUCTION, COMPETITIVE ADVANTAGE, DIFFERENTIATION, STRUCTURAL DESIGN.

DESCRIPTION:

The possibility of achieving competitive advantages with the implementation of BIM (Building Information Modeling) within Latin America presents a lag compared to a large part of the world, this is because many professionals are reluctant to change their traditional methodologies of work and their low belief in the advantages that this can bring for the company. This research presents a detailed analysis of comparison parameters with respect to the traditional methodology, based on this, several activities that can generate sustainable competitive advantages within a structural design company were proposed if the BIM methodology is implemented. From the investigation of diverse sources of information and the generation of two designs of a building (one using the traditional methodology and the other the BIM methodology), different characteristics, processes and important products were obtained that were analyzed to finally obtain a coefficient of comparison, which served as criteria when selecting the activities that generate value and a sustainable competitive advantage (according to Michael Porter, through differentiation). Finally, it was observed that the implementation of BIM can generate additional products that add value to the product in question of the cost and likewise focus on facilitating certain direct tasks of the construction company, but without a focus on additional activities of signaling it is not possible reach a differentiation in the market.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela Ingeniería Civil. Director: Omar Giovanni Sánchez Rivera, Ingeniero Civil, Magister en Ingeniería Civil, Magister en Pensamiento Estratégico y Prospectiva.

1. Introducción

Como se ha venido experimentando a lo largo del tiempo, el avance tecnológico se realiza de una manera exponencial, mejorando cada uno de los aspectos de la sociedad. Los proyectos en la industria de la construcción se han vuelto más complejos, en donde participan un número significativo de personas que lo diversifican de acuerdo a conocimientos más específicos (Ahn, Kwak, & Suk, 2016), aquí es donde se vuelve de vital importancia la implementación de nuevas tecnologías que facilitan, optimizan y mejoran el proceso de planeación, construcción y mantenimiento de una obra, ahorrando material, mano de obra, tiempo y a su vez mejorando la calidad (Ahn et al., 2016).

Colombia y la mayoría de los países latinoamericanos presentan un rezago en términos de innovación e implementación de nuevas prácticas que mejoran los procesos que se realizan en una empresa en comparación con las empresas de los países desarrollados. Muchos profesionales de la construcción y académicos han estado apoyando la implementación de BIM como una herramienta esencial en el desarrollo y la eficiencia de un proyecto de construcción (Ahn et al., 2016) sin recibir la atención que se debería presentar; esto se debe a que las empresas no son abiertas al cambio que pueda contribuir con el desarrollo de esta, debido a los riesgos que se pueden generar en su implementación.

Una empresa de construcción puede adquirir ventaja competitiva teniendo en cuenta tres maneras o concentraciones diferentes: dirección general de los costos, diferenciación, o el enfoque (Hansen & Tatum, 1989), (Porter, 2010). La diferenciación es la “madre” de todas las ventajas competitivas, en este caso, la empresa se basa en la innovación para obtener ventaja competitiva

respecto a las demás, es decir, se basa en un bien o servicio el cual los clientes puedan reconocer como “único” o muy poco visto, y que ayude a resaltar a dicha empresa por sobre las demás, un ejemplo, puede ser la tecnología utilizada por una empresa de diseño estructural para llevar a cabo su proceso de diseño en diferentes edificaciones. La industria de la construcción se puede considerar como una industria madura, pero ¿Son las tecnologías utilizadas en esta industria maduras?, ¿Cómo puede una empresa constructora utilizar tecnologías específicas e innovadoras para diferenciarse de sus competidores? (Hansen & Tatum, 1989), (Jaafari, 2000), (Orozco, Serpell, Molenaar, & Forcael, 2014), (E.a Pellicer, Yepes, Correa, & Alarcón, 2014), (Eugenio Pellicer, Yepes, & Rojas, 2010), (Yates, 1994).

Se recomienda la investigación sobre la competitividad en la construcción para lograr su sostenibilidad, mediante la adopción de las nuevas técnicas o herramientas que estén disponibles (Flanagan, Lu, Shen, & Jewell, 2007). Muchos profesionales han optado por utilizar nuevas tecnologías que facilitarían el trabajo en la industria, una de estas tecnologías es Building Information Modeling (BIM), que según expertos se caracteriza por reducir la complejidad, y, en tener un mayor apoyo en la eficiencia de la construcción y el éxito del proyecto (Ahn et al., 2016), (Aibinu & Venkatesh, 2014), (Chong, Lopez, Wang, Wang, & Zhao, 2016), (Jardim-Goncalves & Grilo, 2010), (Lee, Yu, & Jeong, 2015). Una ventaja de BIM es que facilita el trabajo simultáneo de múltiples disciplinas de diseño, facilita la colaboración y la integración en el proceso de entrega de los proyectos (Aibinu & Venkatesh, 2014). BIM es considerado como el comienzo de una nueva era de la planificación previa a la construcción y a la coordinación, empezando por el modelado y construcción un entorno virtual (Fruchter, Schrottenboer, & Luth, 2009). La adopción de BIM en todo el mundo aún está lejos de su potencial por muchas razones, entre estas cuestiones técnicas, como la inversión, la formación, la organización, etc. Aun así, muchos ingenieros, arquitectos y

contratistas han optado a utilizar BIM en países en desarrollo para entrar en la competencia a nivel mundial (Ghafar, Ibrahim, & Shari, 2014), (Won, Lee, Dossick, & Messner, 2013). Pero, la utilización de BIM podría implicar un aumento de costos, por lo tanto, puede limitar su utilización (Zhang & Gao, 2013).

A partir de los anteriores planteamientos surge la siguiente pregunta: ¿Cuál es el impacto de la implementación de Building Information Modeling en la generación de ventajas competitivas en organizaciones de diseño estructural de edificaciones en concreto reforzado?, para responder a la pregunta se realizarán dos modelos de una misma edificación, uno con tecnologías CAD 2D y otro con tecnologías BIM 3D, comparando la eficiencia, calidad, facilidad y resultados del proceso de realización de estos dos modelos, y a través de la ventaja competitiva de Porter seleccionar varias actividades que creen una diferenciación sobre la empresa de diseño estructural.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Estudiar el impacto de la implementación de Building Information Modeling en la generación de ventajas competitivas por diferenciación en las organizaciones de diseño estructural de edificaciones en concreto reforzado.

1.2. Objetivos Específicos

- Identificar las características, procesos y productos de las organizaciones de diseño estructural de edificaciones en concreto reforzado que utilizan tecnologías CAD 2D y BIM 3D.
- Elaborar dos modelos estructurales de un caso de estudio, uno con tecnologías CAD 2D y el otro con BIM 3D.
- Proponer un conjunto de ventajas competitivas por diferenciación que pueden lograrse en una organización de diseño estructural de edificaciones en concreto reforzado a partir de la implementación de BIM 3D.

2. Revisión Literaria

2.1. ¿Qué es el Building Information Modeling (BIM)?

Se puede considerar al BIM como un conjunto de procesos o una tecnología encargada de analizar, producir o comunicar modelos de la construcción. Por ejemplo, el uso de BIM en proyectos de infraestructura vial o ferroviaria para el diseño, la construcción y el mantenimiento servirá para crear, gestionar y mantener toda la información crítica relacionada con un activo, como información geoespacial, representación gráfica de las redes de transporte, recursos requeridos en el proyecto, etc. La utilización adecuada de los datos BIM ayudará a lograr una solución de diseño generalmente rentable y mejorará la eficiencia en la comunicación entre los interesados del proyecto. (Chong et al., 2016).

2.2. Implementación de BIM

La adopción e implementación de BIM en toda la industria de la construcción aumentó del 28% en 2007 al 71% en 2017 (contratista: 74%, arquitecto: 70% e ingeniero: 67%) (Ahn et al., 2016).

La adopción e implementación exitosa de BIM en el área de la construcción se está convirtiendo en un factor de éxito crítico para garantizar la ejecución del proyecto de construcción y proporcionar beneficios a todas las partes interesadas (Ahn et al., 2016).

Los beneficios inherentes a cualquier implementación de BIM son vitales. también son desafíos para los contratistas adoptar e implementar BIM de una manera correcta (Ahn et al., 2016).

2.3. Ventaja competitiva

Es una actividad que implementa una empresa en la búsqueda de una posición competitiva favorable en un sector industrial (Porter, 2010).

De acuerdo con el modelo de la Ventaja Competitiva de Porter (Porter, 2010), la estrategia competitiva toma acciones ofensivas o defensivas para crear una posición defendible en una industria, con la finalidad de hacer frente, con éxito, a las fuerzas competitivas y generar un retorno sobre la inversión.

La ventaja competitiva introducida por Porter guarda una relación estricta con el concepto de valor, que en muchos casos se puede sustituir al concepto tradicional de costo en términos de planificación empresarial. Las dos preguntas fundamentales en que se enfoca la ventaja competitiva son:

- ¿cuál es el valor rentable a largo o mediano plazo para un dado tipo de empresa?
- ¿cómo puede cada género de empresa asegurarse de producir y perpetuar este valor?

Para que una empresa logre una capacidad real de generar valor a largo plazo, su estrategia empresarial debe enfocarse en trazar un plan de ventaja competitiva sostenible en el tiempo. Según Porter dos son los tipos de ventajas competitivas que se pueden observar en el mercado:

- el liderazgo en costos, es decir, la capacidad de realizar un producto a un precio inferior a nuestros competidores;
- la diferenciación del producto, es decir, la capacidad de ofrecer un producto distinto y más atractivo para los consumidores frente a los productos ofrecidos por nuestros competidores.

Como consecuencia directa de estos dos tipos de ventajas competitivas Porter habla de tres estrategias competitivas genéricas que se pueden aplicar a cualquier rubro empresarial y que se pueden poner en acto, generalmente por separado, pero en algunas circunstancias también en conjunto según los casos para asegurar el crecimiento del valor de la empresa son las siguientes:

2.3.1. El liderazgo en costos. Es la estrategia más intuitiva y representa una oportunidad si la empresa está capacitada para ofrecer en el mercado un producto a un precio inferior comparado a la oferta de las empresas oponentes. Este tipo de estrategia requiere una atención prioritaria dirigida a reducir los costos de producción, lo que se puede lograr con distintos medios, por ejemplo: acceso privilegiado a las materias primas, oferta de un número mayor de productos en el mercado (ya que a mayor producción corresponde un menor costo per cápita), mayor eficiencia en las faenas que conlleva la producción (como puede ser un sistema de piezas obtenidas con máquinas en comparación con la producción manual), un diseño del producto capacitado para facilitar su producción.

2.3.2. La diferenciación. Constituye una opción atractiva para empresas que quieren construirse su propio nicho en el mercado y no apuestan necesariamente a un elevado porcentaje de consensos en términos generales, sino en compradores que buscan características peculiares del producto distintas a las que ofrecen las empresas oponentes. Algunas buenas actuaciones de la estrategia competitiva de la diferenciación pueden ser: materias primas de mayor valor frente a los productos en el mercado, un servicio al cliente más específico y capacitado para proporcionar más seguridad a los compradores en el tiempo; ofrecer un diseño del producto exclusivo que sea un atractivo muy fuerte para los clientes. Es importante destacar que la diferenciación es una estrategia de alto costo y que siempre puede surgir otra empresa que se diferencie de la misma forma, en el caso se recae en una estrategia de liderazgo en costos. Sin embargo, mientras el liderazgo en costos no permite a dos empresas oponentes de afirmarse con igual fuerza en el mercado, con la diferenciación dos empresas del mismo rubro que apuestan en características distintas para sus productos podrían lograr ambas un buen resultado en el mercado.

2.3.3. El enfoque. Consiste en especializarse en un dado segmento del mercado y en ofrecer el mejor producto pensado expresamente para los requerimientos reales de nuestro segmento. Ejemplos concretos de enfoque pueden ser: una categoría especial de potenciales compradores, un área geográfica específica o un segmento particular de la línea de productos.

3. Metodología

De acuerdo con el propósito de la presente investigación, se establecieron una serie de parámetros principales a comparar en los dos tipos de organizaciones analizadas. Hay que tener en cuenta que básicamente la diferencia más notoria que se ve reflejada en las dos organizaciones es el software empleado por cada una, por lo cual se analizaron las posibles ventajas y desventajas que puedan surgir con el cambio de software.

Se realizó un análisis tanto cuantitativo como cualitativo de varias variables obtenidas a partir de características, procesos y productos en una organización de diseño estructural de concreto reforzado, utilizando las dos metodologías a comparar, para tales propósitos se tuvo en cuenta el análisis tomado de varios artículos investigados, el análisis de dos ingenieros civiles que han trabajado anteriormente con la metodología BIM (R. O. Avendaño & E.F. Prada), y la realización de dos modelos estructurales, uno para cada metodología.

3.1. Metodologías utilizadas en el diseño estructural y manejo de software

Normalmente (teniendo en cuenta la opinión de diversos expertos en el área), para realizar el análisis y diseño de una edificación, se tienen primero los trabajos realizados entre un Arquitecto y un Ingeniero Calculista. Estos trabajos dan como primer paso los planos arquitectónicos del proyecto, para su posterior análisis y diseño estructural mediante la normativa legal vigente (en este caso basándose en el título A, B y C de la NSR – 10) (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

Se observó que los planos arquitectónicos, por motivo de estética, se manejan de manera impresa o utilizando diversos programas de modelamiento, el preferido por muchos Arquitectos es el software AutoCAD® de Autodesk y ArchiCAD® de Graphisoft. Los planos estructurales (planos de diseño y despieces) fueron mostrados en el software AutoCAD® de Autodesk, pero anteriormente tuvo que realizarse un análisis y diseño estructural, procesos que son realizados en softwares especializados, tales como SAP2000® y ETABS®, de la empresa CSI.

Por lo tanto, para el presente caso de estudio, mediante la metodología CAD se utilizaron dos procesos diferentes:

- CAD Alternativa 1: Análisis y diseño estructural en SAP2000® y modelado 2D en AutoCAD®.
- CAD Alternativa 2: Análisis y diseño estructural en ETABS® y modelado 2D en AutoCAD®.

En el caso de la tecnología BIM, se puede trabajar de varias maneras, ya que en este aspecto hay muchas alternativas prometedoras, en el presente caso de estudio se utilizó el software Revit Structure® y Robot Structural Analysis Professional® de la casa de Autodesk, realizando el proceso de la siguiente manera:

- BIM Alternativa 1: Análisis y diseño estructural en Robot Structural Analysis Professional® y modelado 2D y 3D en Revit Structure®.

Finalizado el diseño estructural y el modelamiento, se procedió a calificar del 1 al 5 los resultados obtenidos para cada parámetro, teniendo como 5 la mayor satisfacción en cuanto al parámetro se refiere, y como 1 la menor satisfacción, asumiendo este análisis como cualitativo. A

la vez, a cada parámetro se le otorgó un nivel de importancia, del 1 al 5, siendo 1 un parámetro poco importante, y 5 un parámetro sumamente importante.

3.2. Metodologías utilizadas para las variables que no puedan analizarse mediante el diseño estructural

Para las variables que no pudieron analizarse mediante el diseño estructural de los dos modelos realizados (que se observarán más adelante), se tuvieron en cuenta las opiniones de diversos autores, esto con el fin de tener el mayor respaldo posible a la hora de la obtención de resultados, observando que la mayoría de las variables aquí presentados son parámetros de carácter cualitativo, de acuerdo con la bibliografía consultada, se escogieron la mayor cantidad de variables posibles para obtener un análisis objetivo. Finalmente, se otorgó una calificación general del 1 al 5, tomando el 1 como la baja o nula implementación y/o satisfacción de esta variable, y 5 como la total implementación y/o satisfacción de la metodología a la hora de implementarlo. Además, como se explicó anteriormente, a cada variable se le otorgó un nivel de importancia, del 1 al 5, siendo 1 una variable poco importante, y 5 una variable sumamente importante.

4. Variables comparadas

Para la obtención de las variables comparadas, se realizó una investigación de las características, procesos y productos en una empresa encargada de la prestación de servicios, a continuación, se presentan los parámetros obtenidos.

4.1. Características de una organización de diseño estructural de edificaciones en concreto reforzado

De acuerdo con du Toit & N.S. Vermaak (2015), estas son algunas características de una empresa (aplican para una empresa de diseño estructural):

- Transacciones contables: Corresponde a la interpretación de las transacciones comerciales suscritas en una empresa, para la toma de decisiones gerenciales.
- Auditores: Es la persona capacitada por una autoridad competente para hacer la revisión, análisis y evaluación de los resultados de la gestión administrativa y financiera de una empresa.
- Flujo de caja: Es la acumulación neta de activos líquidos en un periodo determinado, es decir, los flujos de entradas y salidas de caja o efectivo, en un tiempo dado. Esto constituye un indicador importante de la liquidez de una empresa.
- Control: Se describe como la verificación a posteriori de los resultados conseguidos en el seguimiento de los objetivos planteados de la empresa, y en el control de gastos invertido en el proceso.

- Deuda: Es la suma de la deuda bancaria y de las emisiones de títulos, a largo y corto plazo, que tenga una empresa. Es la principal medida de apalancamiento de las empresas.
- Directores: Es la máxima autoridad encargada de la gestión y dirección administrativa en una organización o institución.
- Industria: Es el campo de acción de la empresa, es decir, hacia qué sectores de la industria se enfoca.
- Liquidez: Es la agilidad de los activos para ser convertidos en dinero en efectivo de manera inmediata sin que pierdan su valor. Mientras más fácil es convertir un activo en dinero, significa que hay mayor liquidez.
- Gestión: Incluye la disposición de los recursos y estructuras necesarias para que tengan lugar, y la coordinación de actividades de la empresa.
- Personal: Incluye a los trabajadores de una empresa, su contratación y tipo de remuneración (por proyectos a realizar o por tiempo definido, por ejemplo).
- Modo de Trabajo: Corresponde a las diferentes formas en las cuales los trabajadores realizan su labor en la empresa.

Las características enunciadas anteriormente son difíciles de analizar mediante un análisis cuantitativo, pero hay aspectos que se tuvieron en cuenta, en este caso, una organización de diseño estructural de edificaciones en concreto reforzado se encarga del diseño de este tipo de estructuras, por lo cual es muy dependiente del software utilizado para la elaboración de proyectos.

Esto significa que un cambio en el software utilizado puede afectar en el tiempo, el hardware necesario, la interfaz de trabajo del software nuevo, la utilidad y optimización de este software respecto al análisis estructural realizado (esto incluye desde el tiempo de ejecución del software,

hasta la capacidad de realización de planos, costos y memorias de cálculo), el conocimiento y uso del software nuevo en la actual industria, entre otros. Para más detalles:

El tiempo de diseño, el trabajo colaborativo, la integración e interoperabilidad del software son bases fundamentales para la *gestión* y el *control*, ya que son aspectos fundamentales en una empresa de diseño estructural. A su vez, el trabajo colaborativo y la interfaz de usuario del software ayudan al manejo del software con mayor facilidad, lo que conduce a una mejor formación del recurso humano, aspectos fundamentales en el *modo de trabajo* de la empresa. El presupuesto en equipamiento necesario y software también se tiene que tener en cuenta, ya que hacen parte de las *Transacciones contables* de la empresa.

Finalmente, de modo que la metodología BIM está incursionando en el mercado latinoamericano, es necesario contar con la aceptación y el alcance (en cuanto a proyectos constructivos se refiere) que puede tener esta metodología en la *industria*. Gracias a este análisis, se obtuvieron diferentes variables a partir de algunas características planteadas que pueden plantear una o varias ventajas competitivas en las metodologías analizadas, estas variables se observan en la tabla 1.

4.2. Procesos de una organización de diseño estructural de edificaciones en concreto reforzado

Para una empresa de diseño estructural, los procesos que se tuvieron en cuenta fueron los siguientes:

- Análisis de viabilidad: Corresponde al estudio que dispone del éxito o fracaso de un proyecto, en el caso de una empresa de diseño estructural puede orientarse a la rentabilidad de un proyecto estructura futuro.
- Análisis de regulaciones implicadas en el proyecto: En el caso de una empresa de diseño estructural, corresponde al estudio de la norma sismo-resistente para la elaboración de proyectos estructurales, se pueden hacer estudios adicionales como por ejemplo para la certificación LEED (Leadership in Energy & Environmental Design), supervisión HSE (seguridad, salud ocupacional y medio ambiente) entre otros.
- Proceso de modelado: En el caso de una empresa de diseño estructural, corresponde al predimensionamiento, análisis dinámico y diseño final de la estructura.
- Inconvenientes presentados: Corresponde a problemas presentados en el modelamiento, como por ejemplo interferencias en el modelo.
- Resultados: Para una empresa de diseño estructural, corresponde con los productos entregables (cantidades de obra, los costos, el programa de obra, planos estructurales, despieces, memorias de cálculo, etc.)

De acuerdo con los procesos presentados, se obtuvieron varias variables que pueden plantear una o varias ventajas competitivas en las metodologías analizadas, estas se muestran en la tabla 2.

4.3. Productos de una organización de diseño estructural de edificaciones en concreto reforzado

Para una empresa de diseño estructural, tal como se explica en 4.2., los resultados obtenidos se traducen como productos entregables, tales como las cantidades de obra, los costos, el programa de obra, planos estructurales, despieces, memorias de cálculo, etc. Además, en el caso de la metodología BIM uno de los atractivos importantes es el de la interacción 3D con la estructura del proyecto en cuestión, por lo tanto, esta se considera como un producto más. De acuerdo con los productos presentados, se obtuvieron varias variables que pueden plantear una o varias ventajas competitivas en las metodologías analizadas, estas se muestran en la tabla 3.

Tabla 1.

Variables consideradas de acuerdo con las características de una organización de diseño estructural de edificaciones en concreto reforzado.

Variables consideradas	
Variables	Definición
Tiempo de diseño	Tiempo requerido para realizar el diseño estructural en un proyecto determinado.
Trabajo colaborativo	Capacidad de diferentes personas para poder trabajar de manera simultánea en un proyecto determinado.
Integración	Capacidad de varias personas especializadas en distintas áreas para poder trabajar en una misma interfaz de usuario.

Interoperabilidad	Capacidad de realizar transferencia de información a través de diferentes interfaces de usuario de manera fácil y eficaz.
Interfaz de usuario	Medio por el cual un usuario puede comunicarse con una máquina, equipo, software o dispositivo.
Formación del recurso humano	Capacidad de enseñar el manejo de diferentes metodologías para cada proceso determinado en una empresa.
Presupuesto en equipamiento necesario	Costo requerido en equipamiento necesario para la ejecución de una metodología específica en una empresa determinada (hardware y red).
Presupuesto en software	Presupuesto requerido para la obtención e implementación del software necesario para cada metodología en una empresa determinada.
Alcance de proyectos de la empresa	Suma de todos los productos, sus requisitos o características de los proyectos, dependiendo de la metodología a utilizar.
Aceptación en la industria	Nivel de aceptación de acuerdo con el conocimiento y sugestión de los clientes y personas involucradas en la industria.

Tabla 2.

Variables consideradas de acuerdo con los procesos de una organización de diseño estructural de edificaciones en concreto reforzado.

Variables consideradas	
Variabes	Definición
Detección de interferencias	Comprobación de que los elementos de la estructura se ensamblen correctamente antes de que se llegue a la fase de construcción.
Certificación LEED	Sistema que proporciona verificación por parte de un tercero de que un edificio fue diseñado y construido tomando en cuenta estrategias encaminadas a mejorar su desempeño ambiental.
Supervisión HSE	Se realiza el seguimiento de las actividades para verificar el cumplimiento y requisitos legales ambientales, de seguridad industrial y salud ocupacional que exige la Ley.
Dibujo de la estructura	Bosquejo de la estructura a diseñar, realizado en un software especializado para el análisis estructural.
Asignación de cargas	Proceso de asignación de fuerzas externas de acuerdo con la normativa sismo-resistente en una edificación mediante software con el objetivo de realizar el diseño estructural para el soporte de dichas cargas.
Análisis Sísmico	Proceso donde se realiza el análisis de la estructura de acuerdo con el método de fuerza horizontal equivalente o el análisis dinámico, teniendo en cuenta las derivas de la estructura.

Diseño, despiece y sección de elementos estructurales	Proceso de diseño y la elaboración de planos de despiece y secciones de los elementos estructurales.
Análisis de resultados	Comprende en la elaboración de memorias de cálculo, cantidades, costo y programa de obra.

Tabla 3.

Variables consideradas de acuerdo con los productos de una organización de diseño estructural de edificaciones en concreto reforzado.

Variables consideradas	
Variables	Definición
Interacción 3D	Capacidad para la visualización en tres dimensiones de la estructura, facilitando el proceso constructivo de esta.
Cantidades y costos de obra	Corresponde a la cantidad de los materiales a utilizar durante el proceso constructivo de la obra, al igual que el costo de estos.
Programa de obra	Es el conjunto de construcciones e instalaciones que, en un tiempo determinado, se ejecutarán con el fin de realizar la obra.
Planos de despiece, planta y detalles	Corresponde a la visualización de las especificaciones de los elementos constructivos, con el fin de ser utilizados por los trabajadores en la obra.
Informes de diseño	Documentos que muestran los procedimientos de diseño de los elementos estructurales de acuerdo con la normativa sismo-resistente.

4.4. Coeficiente de importancia para cada parámetro

A cada parámetro se le asignó un nivel de importancia del 1 al 5, siendo 1 un nivel de importancia menor y 5 el nivel de importancia mayor, esto con el objetivo de, hacer una “sumatoria” de puntos, de acuerdo con la calificación dada del 1 al 5 para cada metodología utilizada, en cada parámetro, lo que consiste en una adaptación de la Escala de Likert (Maurer & Pierce, 1998), (Gliem & Gliem, 2003).

En una empresa de diseño estructural, así como en una empresa especializada en la elaboración de proyectos de cualquier tipo, el tiempo de planeación y ejecución de estos es muy importante, dado que es directamente proporcional al presupuesto o dinero invertido en la obra, entre más tiempo, mayor dinero se invierte, por lo tanto, los diversos factores que pueden afectar de manera directa el tiempo de planeación o ejecución de una obra son muy importantes.

De acuerdo con las tablas realizadas, se tiene en cuenta que, en torno a los parámetros de la empresa de diseño, el ahorro en tiempo y el costo de diseño es muy importante, por lo tanto, a los valores que puedan estar afectados por estas dos variables se le asignaron un coeficiente alto de importancia. Se puede observar de manera más específica en los siguientes numerales.

4.4.1. Coeficiente de importancia para cada variable obtenida de acuerdo con las características analizadas.

- Tiempo de diseño: Se le dio la máxima importancia en el ahorro en tiempo, ya que influye al momento de cumplir con la entrega de los proyectos generando una buena imagen de la compañía, evitando retrasos que pueden ser causantes de multas y sobrecostos que afectan la economía de la compañía.

- Trabajo Colaborativo: El trabajo colaborativo permite mejorar la eficiencia en el trabajo y desempeño del equipo de trabajo facilitando la interoperabilidad al trabajar simultáneamente el mismo modelo.
- Integración: La integración permite mejorar la eficiencia en el trabajo y desempeño del equipo de trabajo facilitando la implicación de distintas áreas en un mismo proyecto, por lo cual es un aspecto que puede ahorrar tiempo y dinero, se puede considerar un proceso importante.
- Interoperabilidad: La compatibilidad permite el manejo de un mismo proyecto desde varios softwares diferentes, por lo tanto, es un recurso importante.
- Interfaz de usuario: No se le otorga un nivel de importancia aceptable ya que de una u otra manera subjetivamente habrá alguna persona que pueda realizar la labor de manera eficiente, sin importar que tan complejo sea su manejo.
- Formación del recurso humano: Es un factor importante, ya que, si se pretende que todo el recurso humano tenga un rendimiento adecuado, se debe tener en cuenta que tanto se demorara alguien en aprender dicho software.
- Presupuesto en equipamiento necesario: Como todas las empresas buscan optimizar los costos, este se convierte en un factor importante a la hora de tomar una decisión, ya que impacta sobre la economía de la compañía.
- Presupuesto en software: Igualmente pasa con el presupuesto en equipamiento necesario, las empresas buscan reducir costos, por lo cual este parámetro es importante también.
- Alcance de los proyectos de la empresa: Las compañías de diseño estructural no se van a esforzar por añadir un plus e ir más a fondo para obtener la mayor eficiencia del alcance del proyecto, simplemente se llegará al valor esperado.

- *Aceptación en la Industria:* Es importante, ya que las compañías con características, procesos y productos sistematizados y consolidados son muy reacias al cambio que se podría generar, por lo que se convierte en un factor crítico al momento de generar una ventaja competitiva en la organización.

Gracias a estos datos, se obtuvo un coeficiente de importancia para cada variable, estos coeficientes se muestran en la tabla 4.

Tabla 4.

Coficiente de importancia para cada variable obtenida de acuerdo con las características analizadas.

Coficiente de importancia para cada variable	
Variabes	Importancia
Tiempo de diseño	5
Trabajo colaborativo	5
Integración	4
Interoperabilidad	4
Interfaz de usuario	2
Formación del recurso humano	5
Presupuesto en equipamiento necesario	4
Presupuesto en software	4
Alcance de los proyectos de la empresa	3
Aceptación en la industria	4

4.4.2. Coeficiente de importancia para cada variable obtenida de acuerdo con los procesos analizados

- DetECCIÓN DE INTERFERENCIAS: Un gran apoyo y ahorro para el equipo ejecutor del proyecto, ya que, al permitir encontrar las interferencias del proyecto antes de que se esté ejecutando la obra, ayuda y facilita a los constructores ahorrando dinero y tiempo en ejecución.
- CERTIFICACIÓN LEED: Las compañías en Colombia no tienen muy en cuenta este tipo de análisis en sus proyectos, ya que las leyes y orientaciones en el sector y la sociedad no van encaminados aun a la eficiencia energética.
- SUPERVISIÓN HSE: Este proceso solo toma importancia en grandes compañías en las cuales cualquier incidente que se presente, genera temas de discusión que pueden afectar la reputación de tal.
- DIBUJO DE LA ESTRUCTURA: No toma tanta importancia, ya que si se tiene el personal idóneo puede realizar la tarea en el tiempo requerido sin impactar factores de la compañía.
- ASIGNACIÓN DE CARGAS: No toma tanta importancia, ya que si se tiene el personal idóneo puede realizar la tarea en el tiempo requerido sin impactar factores de la compañía.
- ANÁLISIS SÍSMICO: Genera seguridad el saber que se usa un software ideal y exacto para realizar el diseño de las estructuras de manera adecuada y óptima, sin tantos cambios ni complicaciones al momento de realizar el análisis y cambios en el modelo, permitiendo que el personal sea capacitado en su uso de manera eficiente.
- DISEÑO, DESPIECE Y SECCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES: Aquí es donde se concentra gran parte de las horas de trabajo en una compañía de diseño, el diseño y la creación de los despieces detallados depende del programa que se utilice, siendo notable su ahorro en tiempo para la compañía.

- *Análisis de resultados*: La interpretación de los datos obtenidos a partir del modelo creado facilita su diseño final al mostrar de manera sencilla los cálculos realizados y verificaciones respectivas.

Gracias a estos datos, se obtuvo un coeficiente de importancia para cada variable, estos coeficientes se muestran en la tabla 5.

Tabla 5.

Coeficiente de importancia para cada variable obtenida de acuerdo con los procesos analizados.

Coeficiente de importancia para cada variable	
Variables	Importancia
Detección de interferencias	5
Certificación LEED	2
Supervisión HSE	3
Dibujo de la estructura	3
Asignación de cargas	3
Análisis sísmico	5
Diseño, despiece y sección de elementos estructurales	5
Análisis de resultados	5

4.4.3. Coeficiente de importancia para cada variable obtenida de acuerdo con los productos analizados

- Interacción 3D: Ayuda a comprender la geometría de la estructura, pero no representa un factor de impacto al momento de generar una ventaja competitiva para la compañía. En otro tipo de empresas de construcción si lograría tener gran importancia como una constructora.
- Cantidades y costos de obra: De manera implícita al realizar el modelo, estamos generando las cantidades de obra en un programa BIM y no tradicionalmente que se obtenían a partir de los planos, generando imprecisiones al momento de obtener el costo del proyecto.
- Programa de obra: Es uno de los documentos más importantes al momento de ejecutar una obra, por lo cual resulta de gran importancia una buena planeación de este.
- Planos de despiece, planta y detalles: Resulta ser la carta de navegación para los constructores, con lo cual se especifica detalladamente la estructura. Su tiempo de realización consume recursos que impactan el desarrollo de la compañía.
- Informes de diseño: La memoria de cálculo resulta ser el archivo de soporte más importante que da constancia de que la estructura fue diseñada de la manera correcta y que a partir de esta se puede volver a simular el modelo para su análisis.

Gracias a estos datos, se obtuvo un coeficiente de importancia para cada variable, estos coeficientes se muestran en la tabla 6.

Tabla 6.

Coficiente de importancia para cada variable obtenida de acuerdo con los productos analizados.

Coficiente de importancia para cada variable	
VARIABLES	Importancia
Visualización 3D	3
Cantidades y costos de obra	5
Programa de obra	5
Planos de despiece, planta y detalles	5
Informes de diseño	5

5. Evaluación de las Variables

5.1. Planteamiento del caso de estudio

Para el caso de estudio se decidió plantear el análisis y posterior diseño estructural de un edificio que cumpla con las características propuestas por el presente proyecto, se tuvo como base el proceso realizado por Flórez Castellanos & Gil Montaña (2017).

En el caso de algunas variables, no es posible realizar un análisis de estas de acuerdo con los resultados obtenidos en el modelo, por tal motivo se tuvieron en cuenta numerosas referencias bibliográficas.

Una vez definidos todos los parámetros descritos se prosiguió a realizar el modelo de estudio. Primero se seleccionó un edificio en concreto de seis niveles, el cual se tiene un concepto

arquitectónico (sólo se utilizará el modelo para fines de este proyecto), el bosquejo arquitectónico de la edificación se puede observar en la figura 1, se realizaron los detalles suficientes para su modelamiento como las distancias entre ejes de columnas y elevaciones correspondientes, asumiendo que la estructura es aporticada y de tipo residencial. Se asumió su ubicación en la ciudad de Bucaramanga y un tipo de perfil de suelo C para obtener los coeficientes sísmicos del lugar a partir de la Norma Sismo Resistente (NSR-10 Título A.2) (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

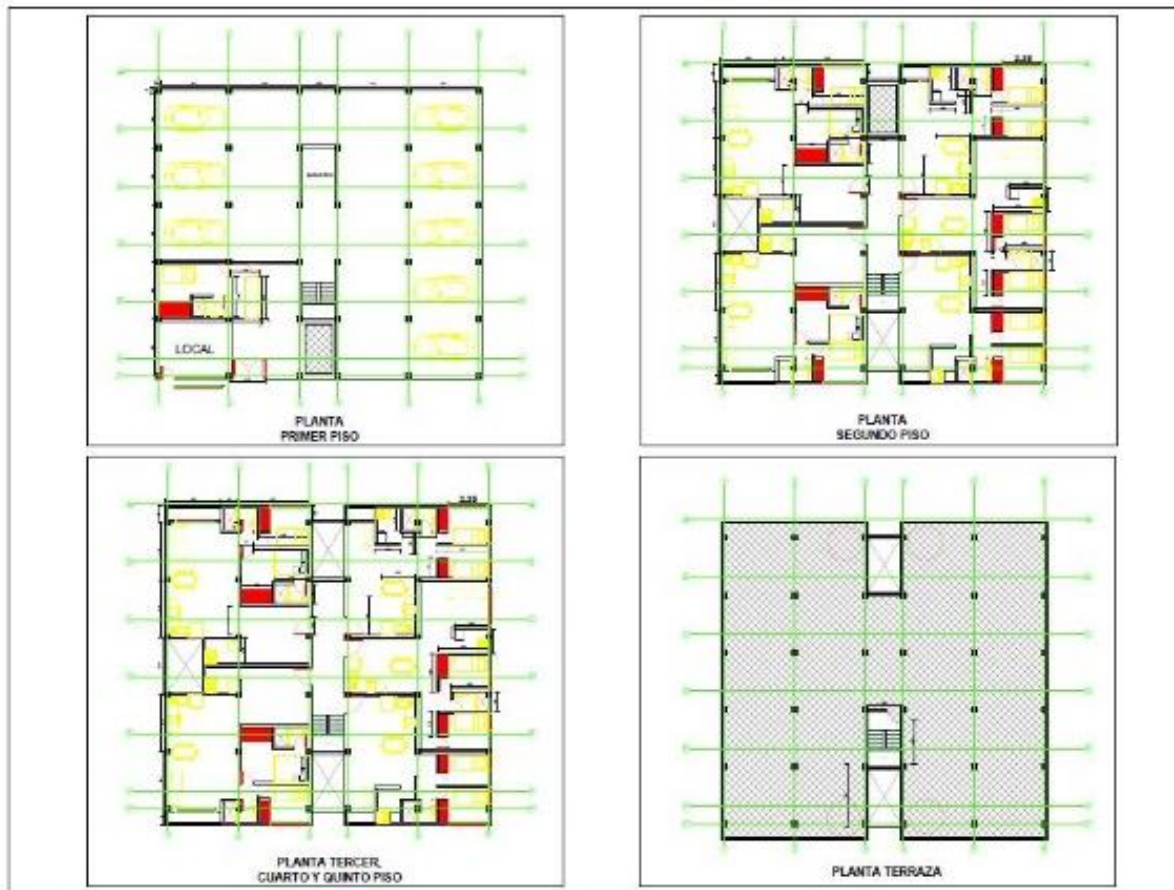


Figura 1. Plantas arquitectónicas del modelo realizado.

Se utilizó un concreto de 28 MPa y un acero de 420 MPa de resistencia, las dimensiones iniciales para las columnas fueron de 30x30 y vigas 30x40, las losas aligeradas usadas de placa de entrepiso de un espesor de 40 cm. Las cargas usadas en las combinaciones de carga y diseño fueron el peso propio de la estructura, la carga muerta sobreimpuesta de 4.6 kN/m^2 para las placas y la escalera, la carga viva sobreimpuesta de 5 kN/m^2 para las placas y 3 kN/m^2 para las escaleras, obtenidas de la Norma Sismo Resistente (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010, Tabla B.3.4.3-1 y Tabla B.4.2.1-1). Con todos los parámetros definidos se modeló el edificio para cada metodología, iniciando con el dibujo de los ejes y niveles, se ubicaron las columnas y vigas, se dispusieron las placas respectivas para cada uno de los niveles y finalmente se cargó la edificación con las solicitaciones indicadas. Los modelos realizados se observan de las figuras 2 al 5.

Para el análisis sísmico estático se empleó el Método De Fuerza Horizontal Equivalente descrito en el Título A.4 de la Norma Sismo Resistente (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010). Se tuvieron que modificar los parámetros en Robot Structural debido a que este utiliza otras ecuaciones obtenidas a partir del US CODE ASCE 7-10 / IBC 2012 y de esta manera se ajustaron los parámetros para las fuerzas horizontales aplicadas a cada entrepiso y que correspondieran a las fuerzas obtenidas a partir de la NSR-10.

Obtenidas todas las cargas actuantes sobre la estructura, se generaron automáticamente por el programa las combinaciones de carga descritas en el Título B.2 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010) y se realizó el análisis del modelo. Se verificaron las derivas de cada entrepiso y se cambiaron las secciones de columnas y vigas hasta que cumplieron las derivas máximas no mayores al 1% de cada entrepiso para su predimensionamiento. Se procedió al diseño de vigas y columnas verificando que el dimensionamiento realizado cumpla con todos los

requisitos de la normativa sismo-resistente, y ubicando la cantidad de acero de refuerzo necesaria para que cumpla con estos mismos requisitos.

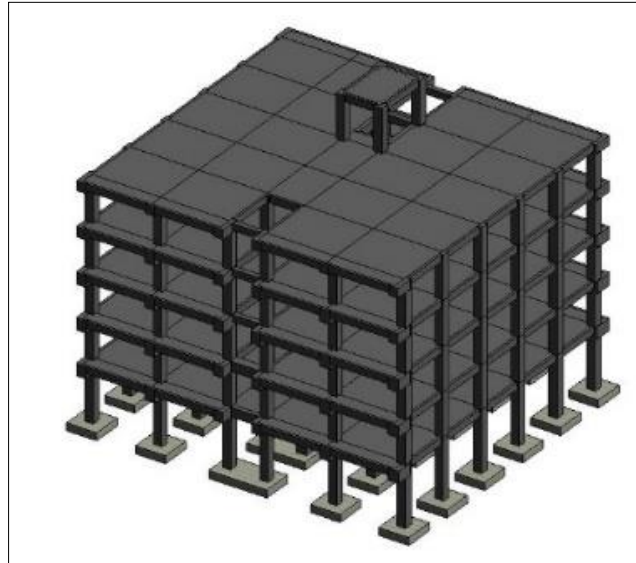


Figura 2. Modelo realizado en Revit Structural®.

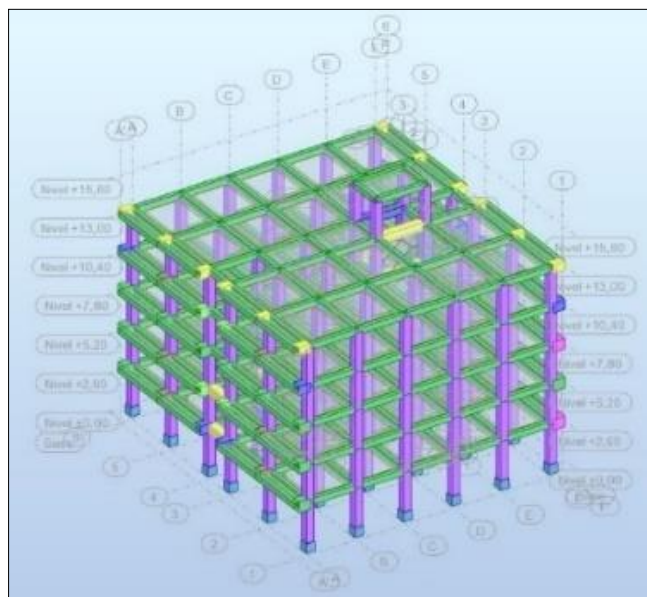


Figura 3. Modelo realizado en Robot Structural Analysis Professional®.

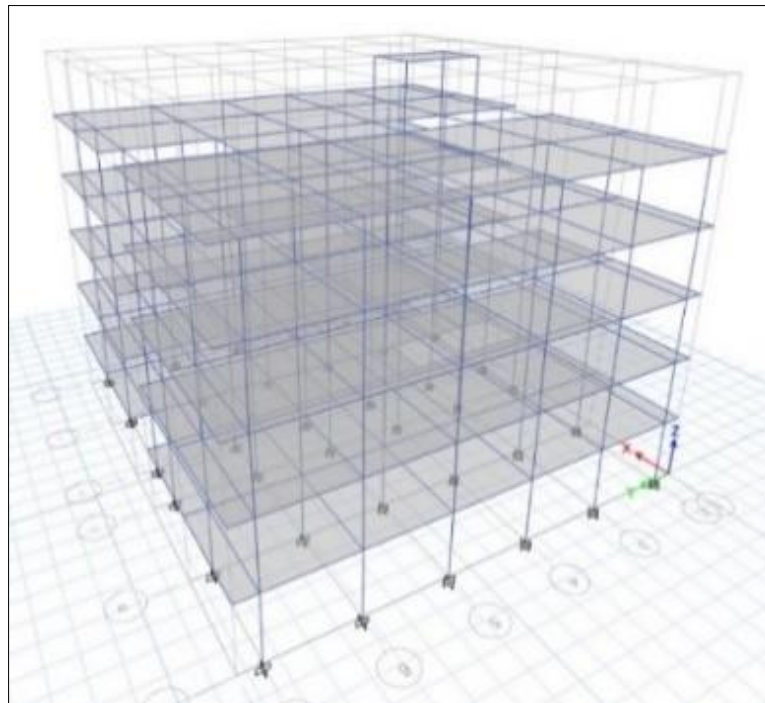


Figura 4. Modelo realizado en ETABS®.

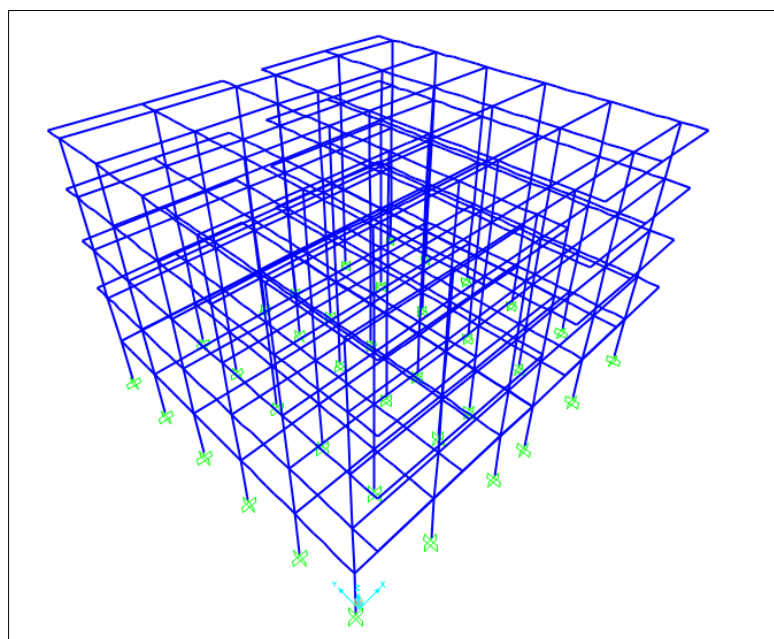


Figura 5. Modelo realizado en SAP2000®.

Culminado el proceso de diseño, se realiza el proceso de despiece y corte de los elementos estructurales, en la metodología CAD se utilizó el software AutoCAD® para este proceso, mientras que utilizando la metodología BIM se utilizó el software Robot Structural Analysis Professional®, para su posterior arreglo en el software Revit Structural®.

5.2. Evaluación de las variables obtenidas de acuerdo con las características analizadas

5.2.1. Tiempo de diseño. De acuerdo con el análisis realizado, se hizo el modelamiento de la estructura para cada una de las metodologías a comparar, por lo que se tomó el tiempo de modelamiento, teniendo en cuenta que se realizaron diversos ensayos para comprender el proceso de la mejor manera posible y así no cometer errores (por lo tanto, el tiempo medido puede ser el tiempo que le tomaría a una persona experta en el manejo del software en la realización de algunas tareas que se llevaron a cabo en el proceso). En la tabla 7 se pueden observar los tiempos tomados para cada proceso en el modelamiento, en la figura 6 se observa la gráfica de los tiempos totales.

Tabla 7.

Tiempos tomados para cada proceso del modelamiento.

Tiempo en realizar cada proceso (medido en minutos)			
Proceso realizado	CAD 2D [SAP]	CAD 2D [ETABS]	BIM 3D
Geometría del modelo	5	5	5
Materiales utilizados	1	1	1
Secciones columnas y vigas	12	12	3

Ubicación de columnas y vigas	10	10	11
Apoyos	4	4	1
Diseño de placa	10	1	6
Ubicación de placa	4	4	8
Creación y aplicación de cargas	4	4	5
Análisis dinámico (fhe)	16	16	8
Procesamiento de datos	1	1	1
Verificación de derivas (dimensionamiento)	45	10	7
Combinaciones de carga	15	15	1
Diseño de barras de refuerzo	60	60	30
Total	187	143	87

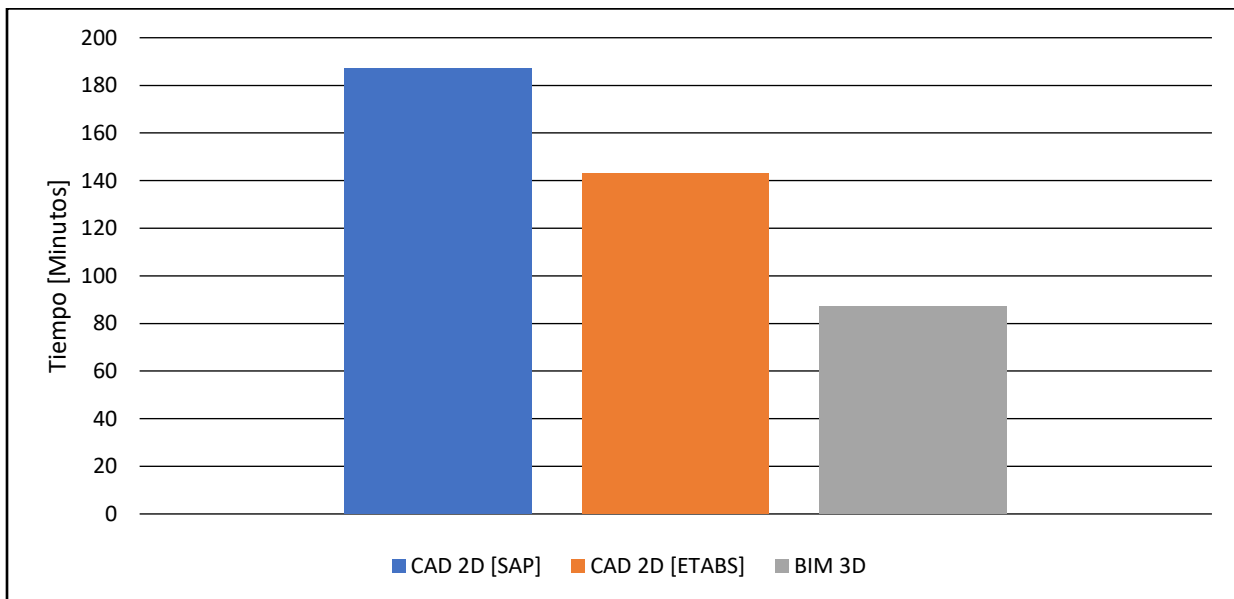


Figura 6. Tiempo en realizar cada proceso del modelamiento.

Como se puede observar, en la tabla anterior hay procesos que se tienen que realizar de manera semi-manual, como es el caso del análisis dinámico en la metodología CAD, o la verificación de derivas para la metodología CAD utilizando la alternativa 1 (software SAP2000®), por lo tanto, son procesos que duran más tiempo en realizarse y son más complejos (ver 5.2.2).

Se realiza un análisis porcentual, en donde se toma como valor base el tiempo requerido en la metodología CAD 2D utilizando la alternativa 1 (software SAP2000®), este valor base se toma, del 1 al 5, como 3, teniendo en cuenta que el software SAP2000® es el que tiene mayor utilización actualmente en el país, así, entre menor sea el tiempo de modelado entre las otras alternativas, mayor será el puntaje para estas (del 1 al 5), el proceso puede observarse en la tabla 8.

Tabla 8.

Puntajes obtenidos en cada alternativa para la variable “Ahorro en el tiempo de diseño”, a menor porcentaje, menor tiempo y, por ende, mayor ahorro en el tiempo de diseño.

Puntajes obtenidos para cada alternativa			
	CAD 2D	CAD 2D	BIM 3D
	[SAP]	[ETABS]	
Tiempo [mins]	187	143	87
Porcentaje [%]	100%	76%	47%
Puntaje	3	3.7	4.6

Estos resultados son semejantes a los obtenidos por Flórez Castellanos & Gil Montaña (2017), donde se observa una diferencia de tiempo notable en el postproceso del caso de estudio realizado por ellos.

Tabla 9.
Resultados de los tiempos de ejecución del postproceso.

Tiempos empleados en la obtención de respuestas en la solución (medido en minutos)			
Factor	CAD 2D [SAP]	CAD 2D [ETABS]	BIM 3D
Primer control de derivas	85	5	5
Pre-dimensionamiento final	60	50	25
Total, acumulado con procesos anteriores	951	556	422

Nota. Adaptado de Tabla 21, Flórez Castellanos & Gil Montaña, 2017.

5.2.2. Trabajo colaborativo. Puede definirse a la capacidad de trabajo colaborativo como la “Facilidad de que los profesionales de distintas especialidades intervengan en un diseño en tiempo real y puedan aportar al proceso eficientemente” (Flórez Castellanos & Gil Montaña, 2017).

Hay que tener en cuenta que en la metodología CAD esto es técnicamente imposible, ya que los softwares utilizaron no pueden realizar dicho procedimiento. En el caso de BIM, puede realizar este proceso con total facilidad, se puede realizar un adecuado trabajo colaborativo entre varios profesionales en un mismo proyecto, y trabajar a tiempo real en el mismo (Lee et al., 2015).

Por lo tanto, como lo muestra la tabla 10, la calificación para la metodología BIM es cinco, y para las otras alternativas, uno.

Tabla 10.

Puntajes obtenidos en cada alternativa para la variable “Trabajo colaborativo”.

Puntajes obtenidos en cada alternativa			
Variable	CAD 2D [SAP]	CAD 2D [ETABS]	BIM 3D
Trabajo colaborativo	1	1	5

5.2.3. Integración e interoperabilidad. Se puede definir como integración a la “facilidad de que los profesionales de distintas especialidades intervengan en un diseño en tiempo real y puedan aportar al proceso eficientemente” (Flórez Castellanos & Gil Montaña, 2017). También se puede definir a la interoperabilidad como la “Facilidad que tienen los programas de una casa para pasar información y modelos entre ellos sin pérdida alguna de los datos” (Flórez Castellanos & Gil Montaña, 2017).

En el caso de la tecnología CAD, muy difícilmente se puede realizar un pase de la información obtenida en los softwares SAP2000® y ETABS® a otro software dedicado al análisis de estructuras, Pero, de acuerdo con la experiencia adquirida en este proyecto, es posible pasar información hacia programas de modelado, como AutoCAD® o Revit Structure®, además hay suites que pueden facilitar esta interoperabilidad entre los diferentes softwares, como CSIxRevit, una extensión para exportar datos de cualquier software de la casa de Computers and Structures a Revit Structure® (Computers and Structures Inc., 2018), por tal razón, en cuestiones de interoperabilidad actualmente se puede solucionar cualquier problema de este tipo, por lo que la calificación hacia las tres metodologías será de tres.

En el caso de la integración, se puede obtener mediante la metodología BIM una visualización del proceso (Estructural, Arquitectónico y MEP) como se observa por ejemplo en las figuras 7 y

8, se pueden integrar todos estos modelos en un solo sistema, y así poder observar posibles interferencias (Lee et al., 2015). Esto no es posible mediante la tecnología CAD, por lo tanto, en cuanto al puntaje obtenido en interoperabilidad, CAD recibe un uno, y debido a que BIM tiene una implementación total de esta variable, tiene un puntaje de cinco.

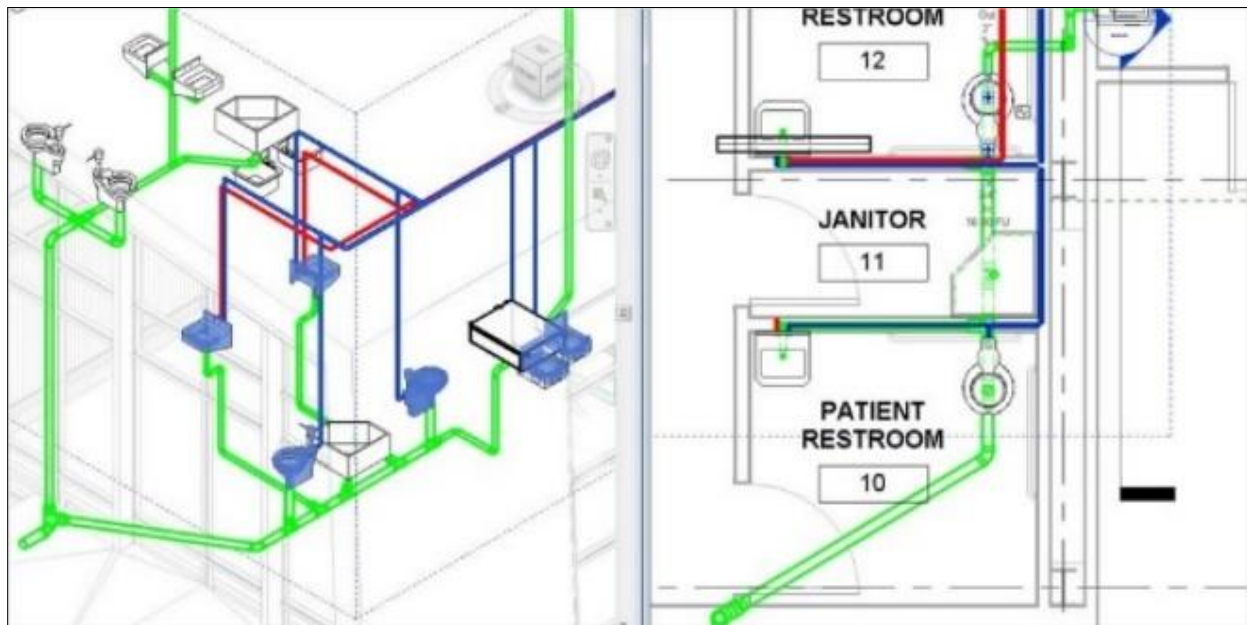


Figura 7. Imágenes de un modelo MEP realizado en la familia de softwares Revit®. Adaptado de Autodesk Inc. (2018).

Tabla 11.
Puntajes obtenidos en cada alternativa para las variables “Integración” e “Interoperabilidad”.

Puntajes obtenidos en cada alternativa			
variables	CAD 2D [SAP]	CAD 2D [ETABS]	BIM 3D
Integración	3	3	3
Interoperabilidad	1	1	5

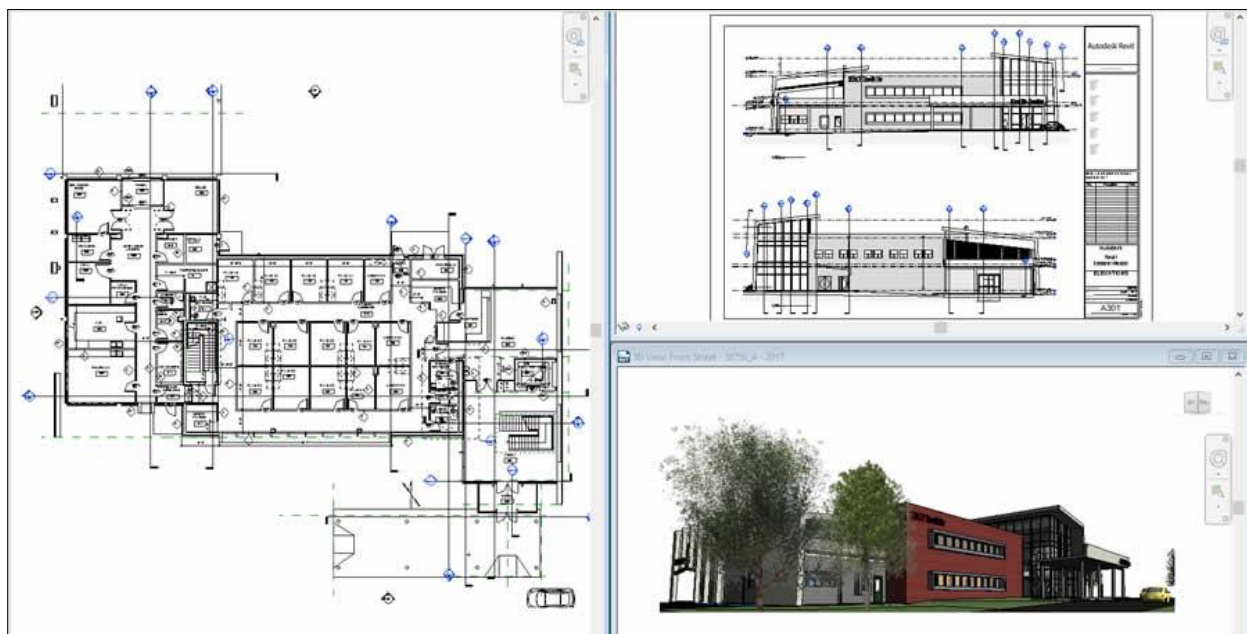


Figura 8. Imágenes de un modelo MEP realizado en la familia de softwares Revit®. Adaptado de Autodesk Inc. (2018).

5.2.4. Interfaz de usuario y formación del recurso humano. Así como se midió el tiempo de modelamiento, también se realizó un análisis en cada proceso para observar la complejidad de la interfaz de usuario para cada uno de estos, con el fin de otorgarle un puntaje del 1 al 5 a la complejidad, estos puntajes al final se promedian para un valor final de complejidad (Maurer & Pierce, 1998), (Gliem & Gliem, 2003), y así obtener el puntaje de facilidad, el cual es el mismo para la variable “interfaz de usuario” en cada una de las alternativas.

El mismo puntaje otorgado a la variable “interfaz de usuario” en cada alternativa es el mismo puntaje otorgado a la variable “formación del recurso humano”, ya que, entre más complejo sea el proceso, mayor dificultad habrá al formar a las personas de realizarlo. Gracias a la tabla 10 se procede a asumir los diferentes puntajes del 1 al 5 para cada proceso, donde 1 representa el menor

grado de complejidad y 5 representa el mayor grado. Luego de esto, se procede a realizar el promedio de los datos.

Estos procesos utilizados hacen parte del paso a paso del modelo, por lo que todos comprometen en su conjunto al análisis de complejidad, las variables que se encuentran en la tabla 5 pertenecen a variables cruciales para obtener las diferentes ventajas competitivas, y su análisis se realiza de manera diferente, por lo tanto, no se utilizan los coeficientes de importancia de la tabla 5 aunque haya variables de esta tabla que se encuentren en la tabla 12.

En la tabla 13, se pueden observar los puntajes de la complejidad y su promedio, el cual es el puntaje final de complejidad para cada una de las alternativas. En la tabla 14, se observan los puntajes de complejidad y los de facilidad, que serían los puntajes inversos (tener en cuenta que los puntajes van del 1 al 5), estos puntajes de facilidad finales son los que se lea asignan a las variables “interfaz de usuario” y formación del recurso humano”.

Tabla 12.

Análisis de la complejidad para el modelo realizado en las tres alternativas.

Análisis de complejidad			
Proceso realizado	Observaciones		
	CAD 2D [SAP]	CAD 2D [ETABS]	BIM 3D
Geometría del modelo	Sin posibilidad de realizarse de manera gráfica	Sin posibilidad de realizarse de manera gráfica	Con posibilidad de realizarse de manera gráfica
Materiales utilizados	Puede haber confusión con las unidades de medida	No tiene complejidad	No tiene complejidad
Secciones columnas y vigas	No tiene complejidad, Puede	No tiene complejidad	Tediosa tanto la asignación de la

	haber confusión con las unidades		geometría como la ubicación de columnas y vigas
Ubicación de columnas y vigas	No tiene complejidad	No tiene complejidad	Tediosa tanto la asignación de la geometría como la ubicación de columnas y vigas
Apoyos	No tiene complejidad	No tiene complejidad	Tiene más opciones para la restricción de apoyos, pero no aumenta de manera considerable la complejidad
Diseño de placa	Es necesario convertir la placa a una carga distribuida en un shell sin peso	Tiene opción de crear placa aligerada	Tiene opción de crear placa aligerada
Ubicación de placa	No tiene complejidad (Varias opciones)	No tiene complejidad (Varias opciones)	Ubicación manual del panel
Creación y aplicación de cargas	No tiene complejidad	No tiene complejidad	No tiene complejidad
Análisis dinámico (FHE)	Es necesario realizar de manera manual las combinaciones de carga	Es necesario realizar de manera manual las combinaciones de carga	Es necesario adaptar la norma colombiana a una de las normas presentes en el software

Procesamiento de datos	No tiene complejidad	No tiene complejidad	No tiene complejidad
Verificación de derivas (Dimensionamiento)	Exportar tablas a Excel y hacer el análisis de manera manual	Los resultados se entregan de manera poco amigable	Los resultados se entregan de manera amigable
Combinaciones de carga	Cargas semi-automáticas (dependiendo del caso se asignan de manera manual)}	Cargas semi-automáticas	Cargas automáticas
Diseño de barras de refuerzo	El diseño es un poco complejo ya que el manejo del software es un poco abstracto en esta parte, pero no tiene mucha complejidad	El diseño es un poco complejo ya que el manejo del software es un poco abstracto en esta parte, pero no tiene mucha complejidad	El programa es amigable con el usuario y muestra posibles inconvenientes en el diseño

Tabla 13.
Puntajes de complejidad para cada proceso realizado en el modelo empleado.

Puntajes de complejidad para cada proceso			
Proceso realizado	CAD 2D [SAP]	CAD 2D [ETABS]	BIM 3D
Geometría del modelo	3	2	1
Materiales utilizados	2	1	1
Secciones columnas y vigas	2	1	2
Ubicación de columnas y vigas	1	1	2

Apoyos	1	1	2
Diseño de placa	3	2	2
Ubicación de placa	1	1	2
Creación y aplicación de cargas	1	1	1
Análisis dinámico (FHE)	5	5	3
Procesamiento de datos	1	1	1
Verificación de derivas (Dimensionamiento)	5	3	1
Combinaciones de carga	4	3	1
Diseño de barras de refuerzo	3	3	2
Promedio	2.5	1.9	1.6

Tabla 14.

Puntajes de complejidad y facilidad en cada alternativa. Los puntajes de facilidad son los puntajes para las variables “Interfaz de usuario” y “Formación del recurso humano”.

Puntajes de complejidad y facilidad en cada alternativa			
Variabes	CAD 2D [SAP]	CAD 2D [ETABS]	BIM 3D
Complejidad	2.5	1.9	1.6
Facilidad	2.5	3.1	3.4

5.2.5. Presupuesto en equipamiento necesario y software. Para el equipamiento necesario es indispensable tener en cuenta los requisitos de cada uno de los softwares a utilizar, de acuerdo con los requisitos de la empresa Computers And Structures para sus productos y los requisitos de

la casa de Autodesk para el uso normal de AutoCAD®, puede utilizarse una máquina de cómputo con 4 Gb de RAM y con tarjeta gráfica convencional (Autodesk Inc., 2018a), (Computers and Structures Inc., 2018). La cual se consigue fácilmente con \$1'000.000 COP, mientras que para los productos de Robot Structural Analysis Professional® y Revit Structure® de la casa de Autodesk es necesario 8 Gb de RAM como mínimo y una tarjeta gráfica dedicada (Autodesk Inc., 2018b), la cual se puede conseguir con un valor mínimo de \$2'000.000 COP.

Se puede evidenciar un aumento en el precio del 100%, por lo tanto, respecto al puntaje otorgado para el presupuesto en equipamiento necesario, básicamente sería un 2 en parte de BIM y un 4 en parte de la metodología tradicional CAD, esto se evidencia en la tabla 15.

Tabla 15.

Puntajes obtenidos en cada alternativa para la variable “Presupuesto en equipamiento necesario”.

Puntajes obtenidos en cada alternativa			
	CAD 2D [SAP]	CAD 2D [ETABS]	BIM 3D
Costo Hardware [COP]	\$1'000.000	\$1'000.000	\$2'000.000
Puntaje	4	4	2

Respecto al costo de software, se tuvieron en cuenta los mostrados en Flórez Castellanos & Gil Montaña (2017), ya que realizaron una consulta de precios. Tener en cuenta que el precio de la metodología CAD 2D utilizando el Software SAP2000® es el equivalente a la combinación de SAP2000® y AutoCAD® y la metodología CAD 2D utilizando el Software ETABS® es el equivalente a la combinación de ETABS® y AutoCAD®. Según Flórez Castellanos & Gil

Montaña (2017) encontraron una suite de Autodesk que incluía una suite con todos los software utilizados en la metodología BIM.

Se realiza una comparación de estos precios para obtener el puntaje para la característica “presupuesto en software”, tomando como base la alternativa 1 (CAD 2D utilizando el Software SAP2000®), los valores se observan en la tabla 16. Se puede observar que ente mayor sea el puntaje, menor es el precio.

Tabla 16.

Puntajes obtenidos en cada alternativa para la variable “Presupuesto en Software”.

Puntajes obtenidos en cada alternativa			
	CAD 2D [SAP]	CAD 2D [ETABS]	BIM 3D
Costo Software [COP]	\$11'066.540	\$21'278.465	\$7'792.930
Puntaje	3	1	5

5.2.6. Alcance de los proyectos de la empresa y aceptación en la industria. En este aspecto, tecnología BIM puede adaptarse de manera excepcional a diversos proyectos constructivos en la industria, no solo en proyectos de diseño de edificaciones si no también, como muestra Borrmann et al. (2014), en túneles y usando información satelital (GIS). BIM puede ofrecer de manera rápida los diferentes parámetros de diseño de una estructura, es una completa metodología pensada para poder facilitar las cosas.

El manejo de BIM no es difícil, como se puede observar incluso en 5.2.1. y 5.2.2. el proceso puede terminar siendo, incluso, mucho más automatizado, por lo cual el nivel de aceptación es muy alto, un ingeniero puede adaptarse a BIM de manera rápida y sencilla.

El puntaje base (tres) siempre se le otorga a la metodología tradicional (usando SAP2000® y ETABS®), pero en el caso de BIM, se puede otorgar un valor de dos, debido a lo mencionado anteriormente, ya que, en este sentido, todo lleva tiempo. Los valores se observan en la tabla 17.

Tabla 17.

Puntajes obtenidos en cada alternativa para las variables “Alcance de los proyectos de la empresa” y “Aceptación en la industria”.

Puntaje obtenido en cada alternativa			
Variabales	CAD 2D [SAP]	CAD 2D [ETABS]	BIM 3D
Alcance de los proyectos de la empresa	3	3	2
Aceptación en la industria	3	3	2

5.3. Evaluación de las variables obtenidas de acuerdo con los procesos analizados

5.3.1. Detección de interferencias. De acuerdo con 5.2.3.: “En el caso de la integración, se puede obtener mediante la metodología BIM una visualización del proceso (Estructural, Arquitectónico y MEP) (...) se pueden integrar todos estos modelos en un solo sistema, y así poder observar posibles interferencias (...)”. Esto no es posible en la metodología CAD, y esto es una gran ventaja para la detección de interferencias, ya que muchas veces en distintos proyectos se puede observar retrasos debido a problemas de interferencia ocasionados por la falta de comunicación entre los profesionales de distintas ramas en la elaboración de un proyecto determinado. Además, la interacción del diseño en 3D permite una visualización clara del proyecto

que se está haciendo para las distintas categorías ya mencionadas (Estructural, Arquitectónico y MEP), tal y como se observa en la figura 9. Por lo tanto, en esta variable, BIM tiene una clara ventaja respecto a la metodología tradicional CAD.

5.3.2. Certificación LEED y Supervisión (HSE). El análisis de certificación LEED mediante software estudia la capacidad del sistema para alertar posibles impactos ambientales que pueda producir el proyecto, y el análisis de supervisión HSE mediante software es la capacidad del sistema para analizar el proyecto en su futura construcción y verificar el cumplimiento y requisitos legales ambientales, de seguridad industrial y salud ocupacional que exige la Ley.

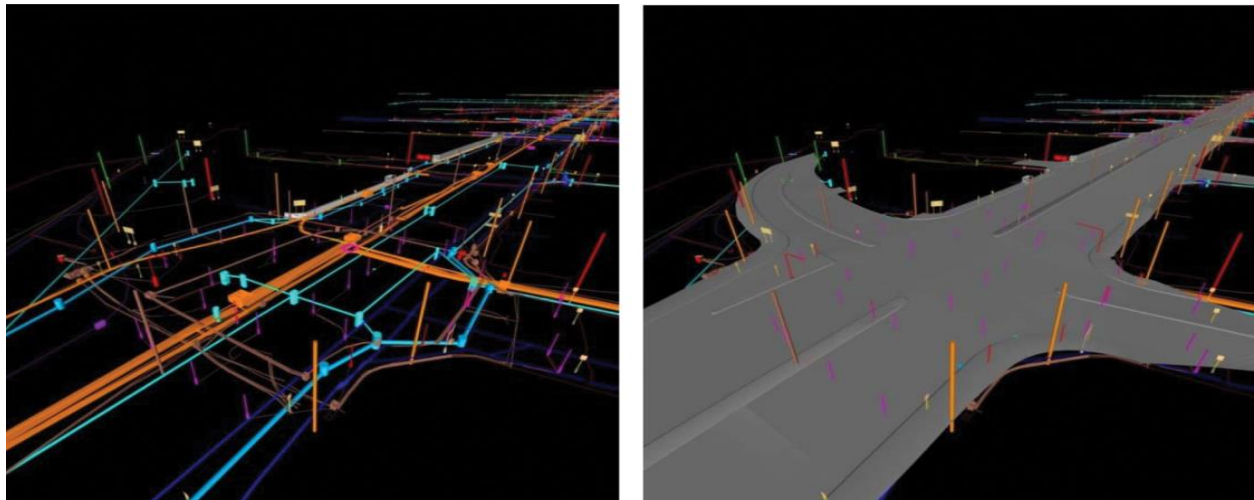


Figura 9. Diferentes niveles de detalle de captura de pantalla en BIM para obtener información de posibles interferencias. Adaptado de Chong et al. (2016).

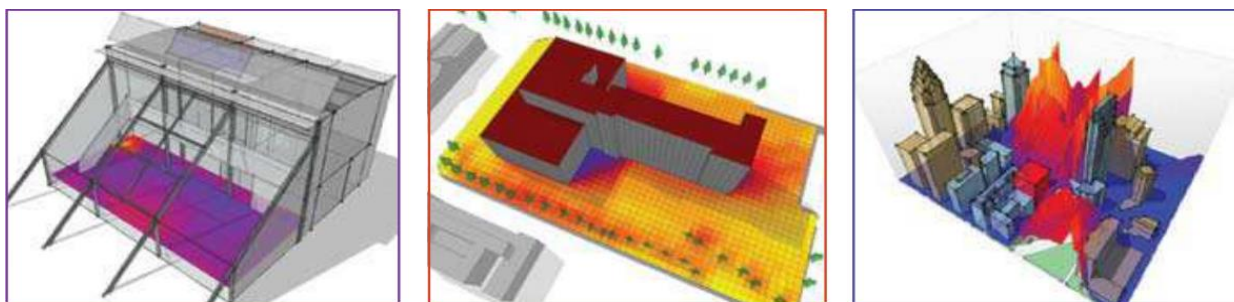


Figura 10. El software BIM puede ayudar a los diseñadores a analizar elementos de diseño sostenibles, como la iluminación natural (izquierda), la radiación solar (centro) y la visualización general del proyecto (derecha). Adaptado de E R Hoffer (2009).

Es normal que la tecnología CAD no tenga la capacidad de adoptar estos análisis dado que son modernos, y han tomado una gran importancia últimamente, pero BIM tiene una integración total con estos análisis (Lee et al., 2015). En cuanto a la certificación LEED, BIM ofrece un “Análisis energético y de sostenibilidad basado en modelos, en lo cual se traduce a un cumplimiento de requisitos de eficiencia energética y sostenibilidad, y finalmente se puede ahorrar tiempo dedicado al diseño y ahorro en costes comparativos de energía” (Erin Rae Hoffer, 2014), un ejemplo se encuentra en la figura 10, donde se observa que el software BIM puede ayudar a los diseñadores a analizar elementos de diseño sostenibles.

En el caso con la supervisión HSE, cuando los diseñadores y contratistas necesitan mitigar o erradicar los riesgos antes de que el trabajo llegue al sitio, compartir modelos geométricos en 3D puede facilitar la identificación y comprensión de los riesgos, en comparación con los dibujos 2D tradicionales. Cuando los riesgos se anotan tradicionalmente en los dibujos y se agregan a un registro de riesgos, resultando en un conjunto difícil de documentos en papel que son difíciles de

interrogar, BIM puede simplificar la captura de riesgos una vez, digitalmente, y luego administrarlos a lo largo del ciclo de vida de un proyecto (E R Hoffer, 2009).

Ya dados los argumentos, el puntaje otorgando en las dos variables analizadas es de cinco para la metodología BIM, y uno para la metodología CAD, los puntajes se pueden observar en la tabla 18.

Tabla 18.

Puntajes obtenidos en cada alternativa para las variables “Certificación LEED” y “Supervisión HSE”.

Puntajes obtenidos en cada alternativa			
Variables	CAD 2D [SAP]	CAD 2D [ETABS]	BIM 3D
Certificación LEED	1	1	5
Supervisión HSE	1	1	5

5.3.3. Variables implicadas en el proceso de modelamiento de la estructura. Las variables como dibujo de la estructura, asignación de cargas, análisis dinámico, despiece y diseño automatizado y análisis de resultados ya fueron analizadas mediante el análisis de complejidad del modelo, cuyos resultados se muestran en la tabla 13. Gracias a que es un análisis de complejidad, básicamente el puntaje obtenido aquí (que se basa en la facilidad de realización de cada una de las variables implicadas) es el puntaje inverso (teniendo en cuenta que la calificación es del 1 al 5), los resultados se pueden observar en la tabla 19.

Tabla 19.

Puntajes obtenidos en cada alternativa para las variables implicadas en el proceso de modelamiento de la estructura.

Puntajes obtenidos en cada alternativa			
Variables	CAD 2D [SAP]	CAD 2D [ETABS]	BIM 3D
Dibujo de la Estructura	2	3	4
Asignación de cargas	4	4	4
Análisis sísmico	1	1	3
Diseño, despiece y sección de elementos estructurales	3	3	4
Análisis de resultados	4	4	4

5.4. Evaluación de las variables obtenidas de acuerdo con los productos analizados

5.4.1. Interacción 3D. La interacción 3D es algo novedoso que otorga la metodología BIM, esto permite observar el modelo de manera amigable para así entender de manera más fácil detalles arquitectónicos, estructurales y como se desea el producto final, además, se puede tener a la mano en cualquier momento, debido a que el software utilizado por BIM es compatible con la mayoría de los dispositivos actuales.

Dado que en la metodología CAD esto no se puede realizar de manera idónea, merece un puntaje de dos, para BIM, dado que es una de sus principales ventajas, merece un puntaje de cinco. Los resultados se observan en la tabla 20.

Tabla 20.

Puntajes obtenidos en cada alternativa para la variable “Interacción 3D”.

Puntaje obtenido en cada alternativa			
Puntajes	CAD 2D [SAP]	CAD 2D [ETABS]	BIM 3D
Interacción	2	2	5

5.4.2. Cantidades y costos de obra. Para la metodología tradicional CAD, el proceso es netamente manual, ya que los softwares utilizados no ofrecen este producto. Para la metodología BIM, se puede realizar fácilmente este proceso, incluyendo el presupuesto, ya que en el Software Revit Structure lo realiza de una manera muy sencilla, es excelente calculando cantidades de obra y materiales de cualquier tipo, esto aumenta la eficacia de gestión, explotación y renovación, puede realizar incluso informes de las cantidades de obra calculadas en el software (Lee et al., 2015), (Erin Rae Hoffer, 2014).

Mostrados los argumentos, los puntajes en esta variable son de cinco para BIM, y de uno para CAD, los resultados se observan en la tabla 21.

Tabla 21.

Puntajes obtenidos en cada alternativa para la variable “cantidades y costos de obra”.

Puntaje obtenido en cada alternativa			
Puntajes	CAD 2D [SAP]	CAD 2D [ETABS]	BIM 3D
Cantidades y costos de obra	1	1	5

5.4.3. Programa de obra. Para la metodología tradicional CAD, el proceso no se puede realizar de manera automática. Para la metodología BIM es importante destacar que una de las finalidades importantes de esta tecnología es la gestión de proyectos, por lo cual es sumamente importante este aspecto.

De acuerdo con lo realizado en este proyecto, el análisis 3D de la edificación permite una visión sumamente amplia de este proceso, observando de manera mucho más detallada como sería el proceso constructivo de la obra, esto significa un mayor control de este proceso, y por ende un mejoramiento en la gestión.

Con la tecnología CAD no hay una manera de hacer este proceso de manera rápida, pero en el caso de BIM si es posible, se puede realizar una gestión del cronograma para el proceso constructivo de la edificación, incluyendo estructuras temporales que se encuentren en esta (Lee et al., 2015). Diversos softwares BIM ofrecen este servicio, como Navisworks® de la casa de Autodesk (Figura 11), que puede integrarse con Revit Structure® y tiene total compatibilidad con Microsoft Project® (programa especializado en la realización de programación de obra). Finalmente, el puntaje otorgado para este producto es de cinco para BIM, y de uno para CAD, los resultados se observan en la tabla 22.

Tabla 22.

Puntajes obtenidos en cada alternativa para la variable “programa de obra”

Puntaje obtenido en cada alternativa			
Variable	CAD 2D [SAP]	CAD 2D [ETABS]	BIM 3D
Programa de obra	1	1	5

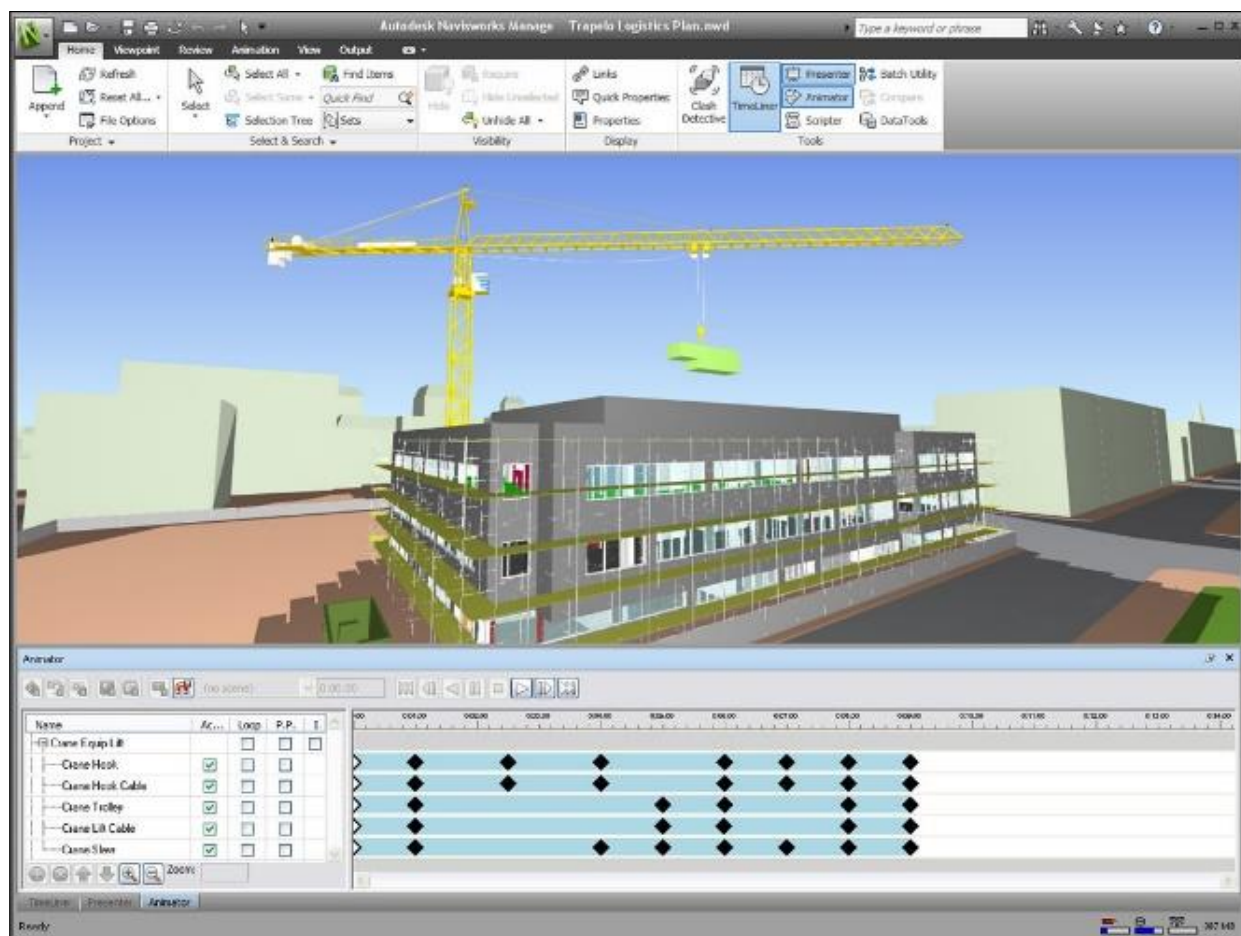


Figura 11. Entorno gráfico de Navisworks®, software especialización en la gestión de proyectos.

Fuente. Autodesk Inc. (2018).

5.4.4. Planos de despiece, planta y detalles. Esta variable fue analizada de acuerdo con la facilidad para la realización de planos de despiece, planos en planta y detalles en los softwares utilizados para cada metodología. De acuerdo con la metodología CAD, es un poco complicado este proceso, debido a que el software SAP2000® no tiene la capacidad de realizar despieces automatizados, algo que si tienen ETABS® y Robot®.

Además, el software Robot® tiene la capacidad de exportar a Revit Structure®, gracias a la utilidad CSIXRevit (Computers and Structures Inc., n.d.).

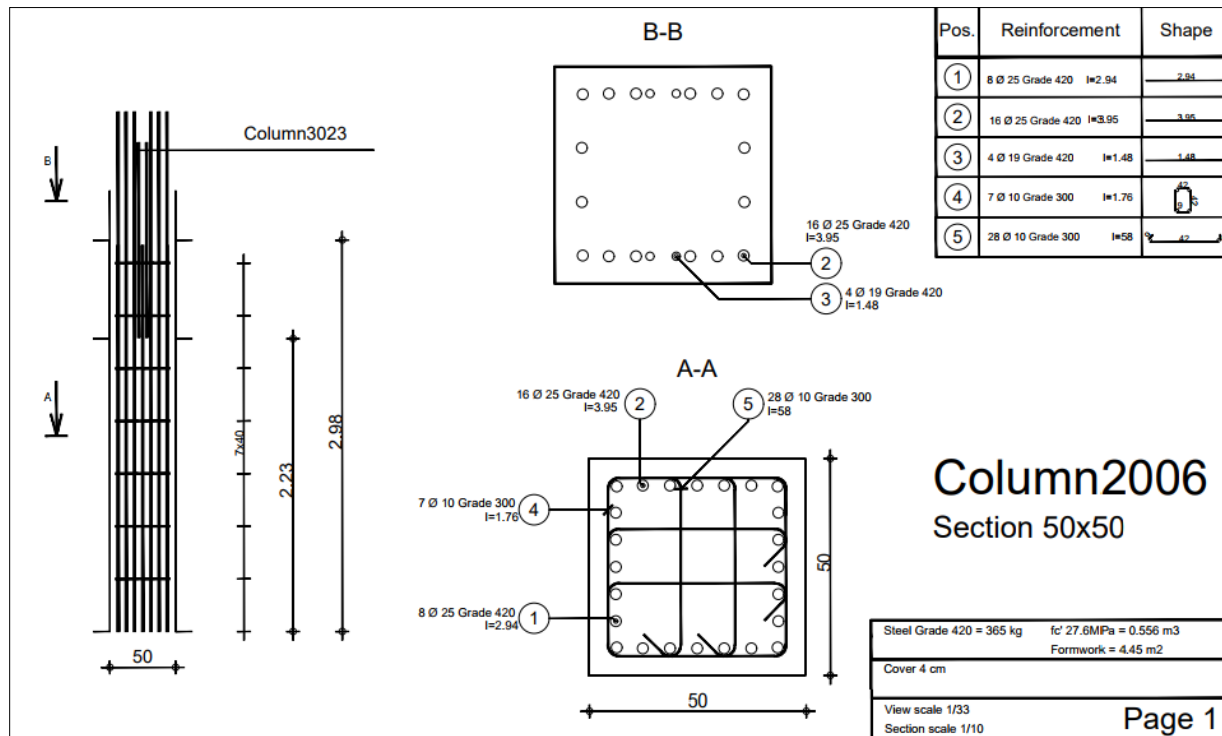


Figura 13. Sección y despiece de una sección de columna, realizado netamente en Robot Structure®.

Finalmente, se le dará un puntaje de uno a la metodología CAD utilizando SAP2000®, un puntaje de tres a la metodología CAD utilizando ETABS® y un puntaje de cinco a la metodología BIM, debido a que en BIM el proceso es totalmente automatizado, los resultados se muestran en la tabla 23.

Tabla 23.

Puntajes obtenidos en cada alternativa para la variable “planos de despiece, planta y detalles”

Puntaje obtenido en cada alternativa			
Puntajes	CAD 2D [SAP]	CAD 2D [ETABS]	BIM 3D
planos de despiece, planta y detalles	1	3	5

5.4.5. Informes de diseño. Esta variable fue analizada de acuerdo facilidad para la realización de informes de diseño de acuerdo con cada metodología. De acuerdo con la metodología CAD, el software SAP2000® no tiene la capacidad de realizar estos informes, algo que si tienen ETABS® y Robot®.

Como tal este proceso obviamente se debe analizar con cuidado debido a que un ingeniero debe mostrar el proceso de diseño de un proyecto. Obviamente la facilidad de los softwares de realizar este proceso es muy importante. En sí, ETABS® y Robot® tienen la misma capacidad de realizar estos documentos, simplemente otorgan de manera amigable los pasos de cálculo, ya es cuestión del ingeniero mejorar el documento. En este aspecto ninguno de los dos softwares nombrados tiene ventaja, ya que no tienen aún la normativa colombiana para este proceso.

Se le dará un puntaje de uno a la metodología CAD utilizando SAP2000, un puntaje de tres a la metodología CAD utilizando ETABS® y un puntaje de tres a la metodología BIM, debido a que en BIM el proceso es totalmente automatizado, los resultados se muestran en la tabla 24.

Tabla 24.

Puntajes obtenidos en cada alternativa para la variable “informes de diseño”

Puntaje obtenido en cada alternativa			
Puntajes	CAD 2D [SAP]	CAD 2D [ETABS]	BIM 3D
Informes de diseño	1	3	5

5.5. Resultados

Las tablas y gráficas con los resultados para las variables se encuentran a continuación (tablas 25 a 28 y figuras 14 a 17).

Tabla 25.

Puntajes de las variables obtenidas de acuerdo con las características analizadas.

Puntajes para las variables obtenidas de acuerdo con las características analizadas				
Variabes	Imp.	CAD 2D [SAP]	CAD 2D [ETABS]	BIM 3D
Tiempo de diseño	5	3	3.7	4.6
Trabajo colaborativo	5	1	1	5
Integración	4	3	3	3
Interoperabilidad	4	1	1	5
Interfaz de usuario	2	2.5	3.1	3.4
Presupuesto en equipamiento necesario	4	4	4	2
Presupuesto en software	4	3	1	5

Formación del recurso humano	5	2.5	3.1	3.4
Alcance de los proyectos de la empresa	3	3	3	2
Aceptación en la industria	4	3	3	2
Total		102.5	102.2	145.8

Tabla 26.

Puntajes de las variables obtenidas de acuerdo con los procesos analizados

Puntajes para las variables obtenidas de acuerdo con los procesos analizados				
Variables	Imp.	CAD 2D [SAP]	CAD 2D [ETABS]	BIM 3D
Detección de interferencias	5	1	1	5
Análisis LEED (de eficiencia de energía)	2	1	1	3
Análisis de riesgo (HSE)	3	1	1	5
Dibujo de la estructura	3	2	3	4
Asignación de cargas	3	4	4	4
Análisis dinámico	5	1	1	3
Despiece y diseño automatizado	5	3	3	4
Análisis de resultados	5	4	4	4
Total		68	71	125

Tabla 27.

Puntajes de las variables obtenidas de acuerdo con los productos analizados

Puntajes para las variables obtenidas de acuerdo con los productos analizados				
Variables	Imp.	CAD 2D [SAP]	CAD 2D [ETABS]	BIM 3D
Interacción 3D	3	2	2	5
Cantidades y costos de obra	5	1	1	5
Programa de obra	5	1	1	5
Planos de despiece, planta y detalles	5	1	3	5
Informes de diseño	5	1	3	5
Total		26	46	115

Tabla 28.

Puntajes totales

Puntajes totales			
Variables	CAD 2D [SAP]	CAD 2D [ETABS]	BIM 3D
Características	102.5	102.2	145.8
Procesos	68	71	125
Productos	26	46	115
Total	196.5	219.2	385.8

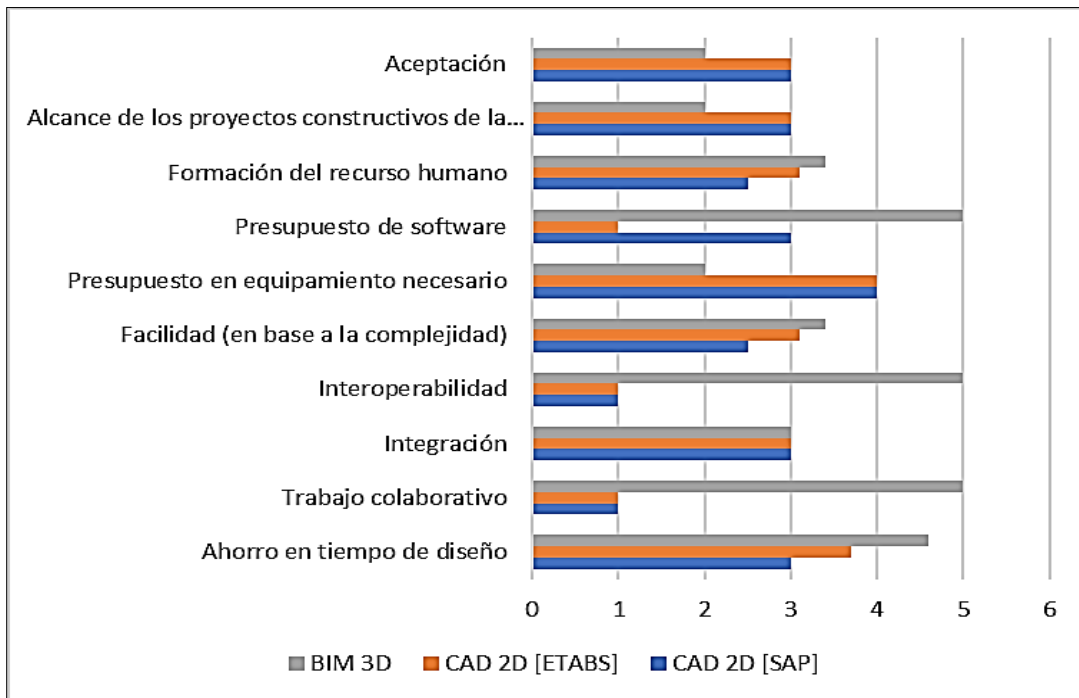


Figura 14. Puntajes de las variables obtenidas de acuerdo con las características analizadas.

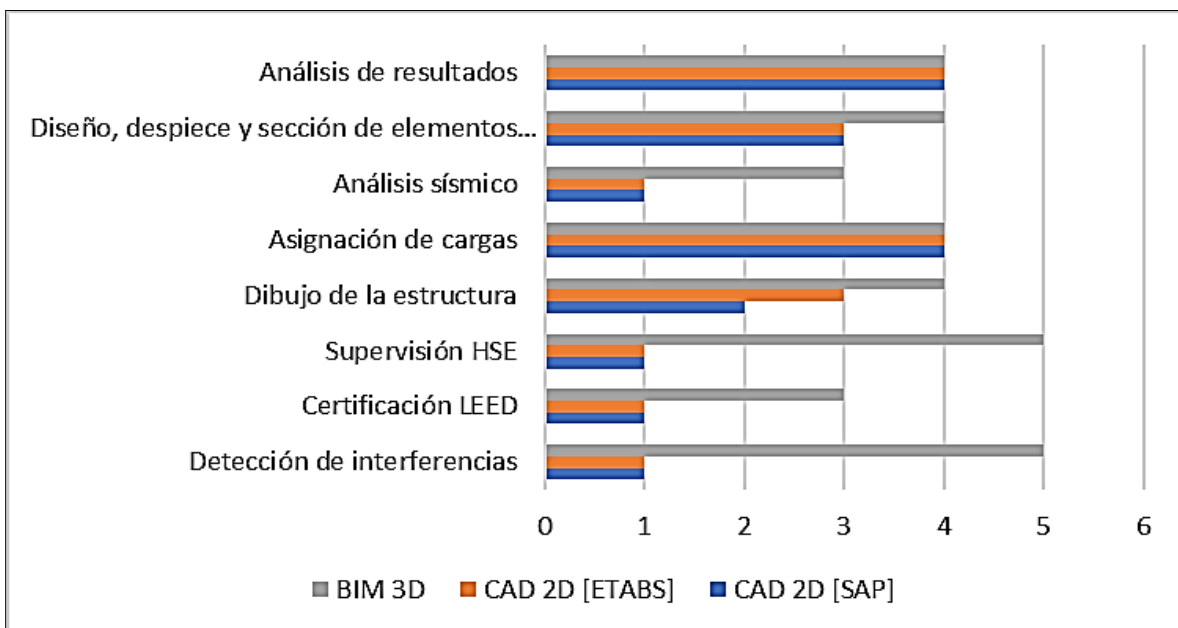


Figura 15. Puntajes de las variables obtenidas de acuerdo con los procesos analizados.

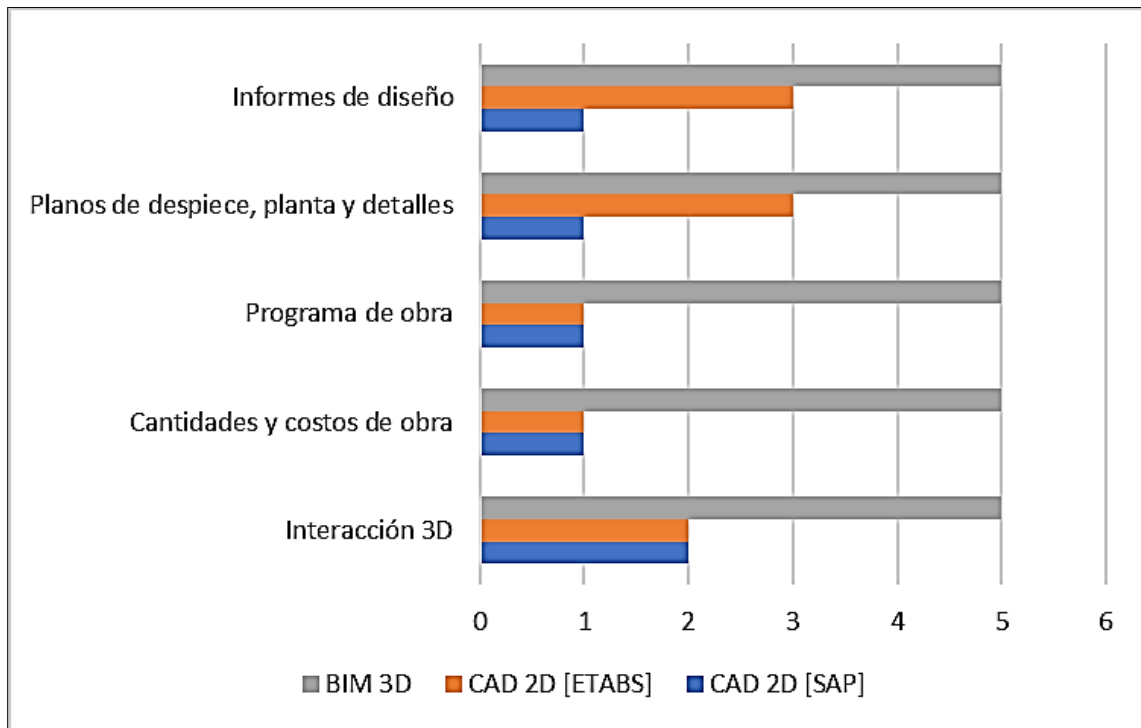


Figura 16. Puntajes de las variables obtenidas de acuerdo con los productos analizados.

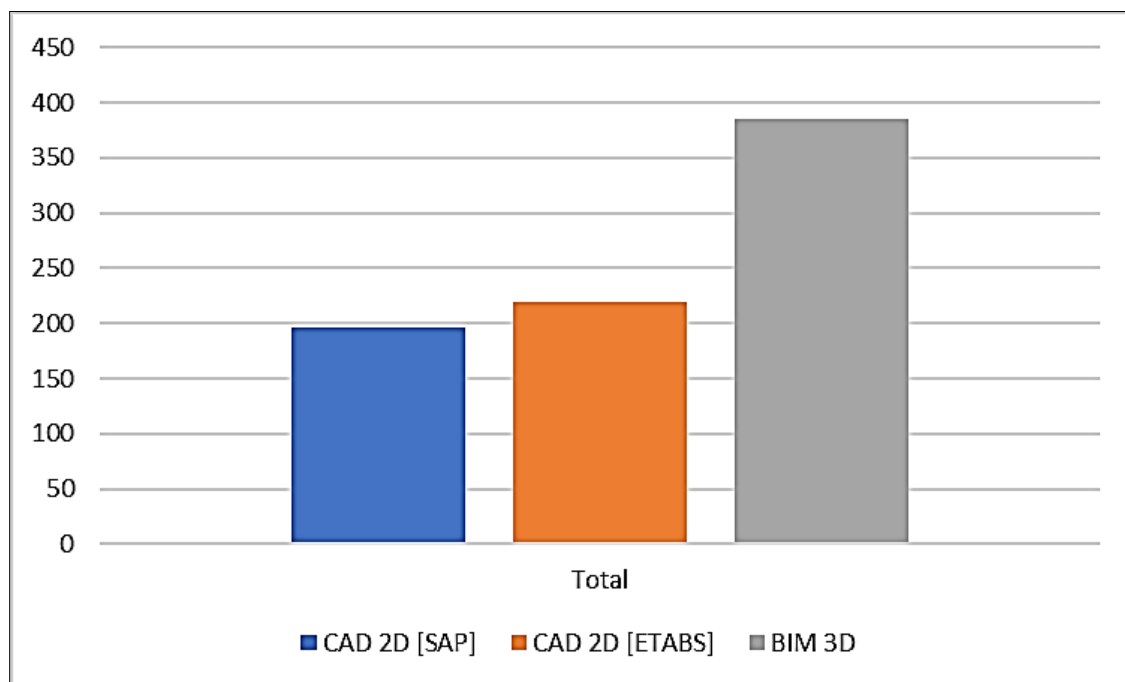


Figura 17. Puntajes totales.

De acuerdo con los datos obtenidos, los valores que más llaman la atención son los obtenidos de los procesos y los productos, los cuales, son muy importantes a la hora del proceso de diseño en una empresa de diseño estructural. variables como el análisis de riesgo y de eficiencia de energía son sumamente importantes en el ámbito profesional, ya que estos pueden ayudar a la eficiencia de un proyecto determinado.

Además, como se puede observar, variables como la detección de interferencias son sumamente importantes, ya que en una obra normalmente se retrasa el tiempo de entrega debido a estos parámetros, además de la interoperabilidad, que hace que el proceso de diseño y gestión tome mucho menos tiempo.

En el caso de las variables ligadas a los productos se observa que BIM arrasa frente a las otras alternativas, ya que los productos están ligados respecto al software utilizado, y esto es de gran ayuda puesto que esa es la gran ventaja del BIM: el software como tal.

6. Generación de Ventajas Competitivas por Diferenciación

En el proceso de establecer una ventaja competitiva en una compañía de diseño estructural se debe analizar en primera instancia el tamaño del mercado, ya que, si el tamaño de éste supera la capacidad de oferta del sector, posiblemente todas las empresas podrán operar de manera rentable, pero sí por el contrario, la oferta supera la demanda, algunas empresas no serán rentables y tendrán que contar con una ventaja competitiva para no cerrar (Rodríguez Carracedo, n.d.). En nuestro

sector de estudio es fácil apreciar que la oferta supera la demanda, y es aquí donde se hace imperativo crear una ventaja competitiva que permita mantener la empresa.

Para Porter, la ventaja competitiva se basa en el valor que una empresa es capaz de generar. Así, “una empresa se considera rentable si el valor que es capaz de generar es más elevado que los costos ocasionados por la creación del producto”. Se establecen de esta manera estrategias competitivas genéricas, que se fundamentan en que la ventaja competitiva está en el centro de cualquier estrategia, y el logro de las ventajas competitivas requiere que una empresa haga una elección –si una empresa quiere lograr una ventaja competitiva, debe hacer la elección sobre el tipo de ventaja competitiva que busca lograr y el panorama dentro del cual la logrará–. Ser “todo para todos” es una receta para la mediocridad estratégica y para el desempeño por debajo del promedio, porque con frecuencia significa que una empresa no tiene ninguna ventaja competitiva en lo absoluto (pág. 30, Porter, 2010). Una empresa que se embarca en cada estrategia genérica pero que no logra ninguna esta “atrapada en la mitad”. No posee ventaja competitiva. Esta posición estratégica es frecuentemente una receta para el desempeño por debajo del promedio (pág. 34, Porter, 2010).

Para el tipo de empresa analizado en el proyecto, se optó por generar ventajas competitivas sostenibles por diferenciación, en la cual una empresa se diferencia de sus competidores si puede ser única en algo que sea valioso para los compradores. El grado al que los competidores en un sector industrial puedan diferenciarse de los otros es un elemento importante en la estructura del sector industrial (pág. 137, Porter, 2010). A pesar de su potencial e importancia, las empresas tienen un punto de vista muy estrecho sobre las fuentes potenciales de diferenciación. Lo consideran en términos del producto físico o en las prácticas de mercadotecnia, en lugar de surgir de cualquier parte de la cadena de valor (pág. 137, Porter, 2010). En este caso, introducir una

innovación tecnológica importante puede permitir a una empresa bajar el costo y aumentar la diferenciación al mismo tiempo, y tal vez lograr ambas estrategias. Sin embargo, la capacidad de tener tanto precios bajos como estar diferenciado es una función de ser la única empresa con la nueva innovación. Una vez que los competidores han introducido la innovación, la empresa estará de nuevo en posición de tener que tomar una decisión en su estrategia para generar una ventaja competitiva (pág. 37, Porter, 2010). Por esto, el desarrollo a generar la ventaja viene dado suponiendo que ya varias empresas poseen la innovación y de esta manera generar una ventaja competitiva sostenible y blindada desde el inicio.

Para empezar a echar un vistazo en la manera en que se crea una ventaja competitiva, se analizan las actividades que desempeña la empresa y se crea la cadena de valor para una empresa de diseño estructural. La cadena de valor disgrega a la empresa en sus actividades estratégicas relevantes para comprender el comportamiento de los costos y las fuentes de diferenciación existentes y potenciales. Una empresa obtiene la ventaja competitiva, desempeñando estas actividades estratégicamente importantes más barato o mejor que sus competidores.

Parar realizar la cadena de valor es necesario tener en cuenta los siguientes conceptos fundamentales que la componen (pág. 54, Porter, 2010):

- Actividades de valor: Son las actividades distintas física y tecnológicamente que desempeña una empresa.
- Margen: Es la diferencia entre el valor total y el costo colectivo de desempeñar las actividades de valor.
- Actividades primarias: Son las actividades implicadas en la creación física del producto y su venta y transferencia al comprador, así como asistencia posterior a la venta.

- Actividades de apoyo: Sustentan a las actividades primarias y se apoyan entre sí, proporcionando insumos comprados, tecnología, recursos humanos y varias funciones de toda la empresa.

Teniendo claro dichos conceptos enunciados por Michael Porter se crea la cadena de valor para una empresa de diseño estructural (Figura 18) y de igual manera se crea la cadena de valor para una empresa constructora con características generales y comunes con respecto a las demás. (Figura 19).

En las actividades primarias definidas anteriormente se pueden identificar cinco categorías genéricas relacionadas con la competencia en cualquier industria, su importancia depende del sector en particular (pág. 57, Porter, 2010).

- Logística Interna: Actividades relacionadas con el recibo, almacenamiento y diseminación de insumos del servicio.
- Operaciones: Actividades asociadas con la transformación de insumos en la forma final del servicio.
- Logística Externa: Actividades asociadas con la recopilación, almacenamiento y distribución física del servicio a los compradores.
- Mercadotecnia y Ventas: Actividades asociadas con proporcionar un medio por el cual los compradores puedan adquirir el servicio e inducirlos a hacerlo.
- Servicio: Actividades asociadas con la prestación de servicios para realizar o mantener el valor del producto.

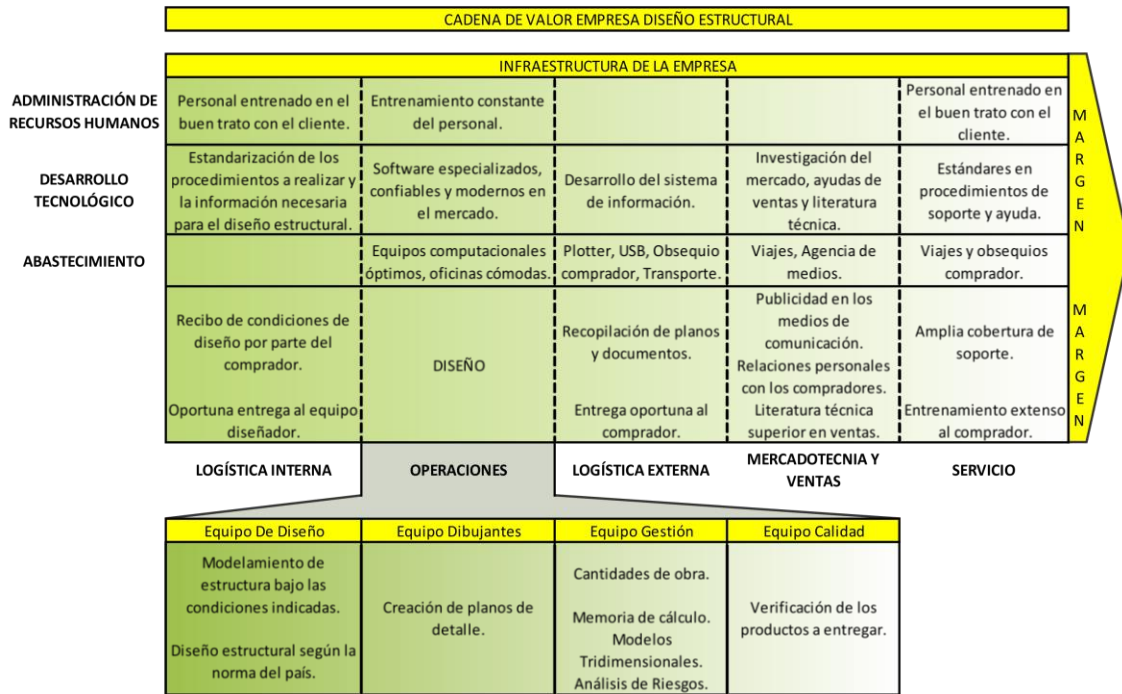


Figura 18. Cadena de valor de una empresa de diseño estructural.

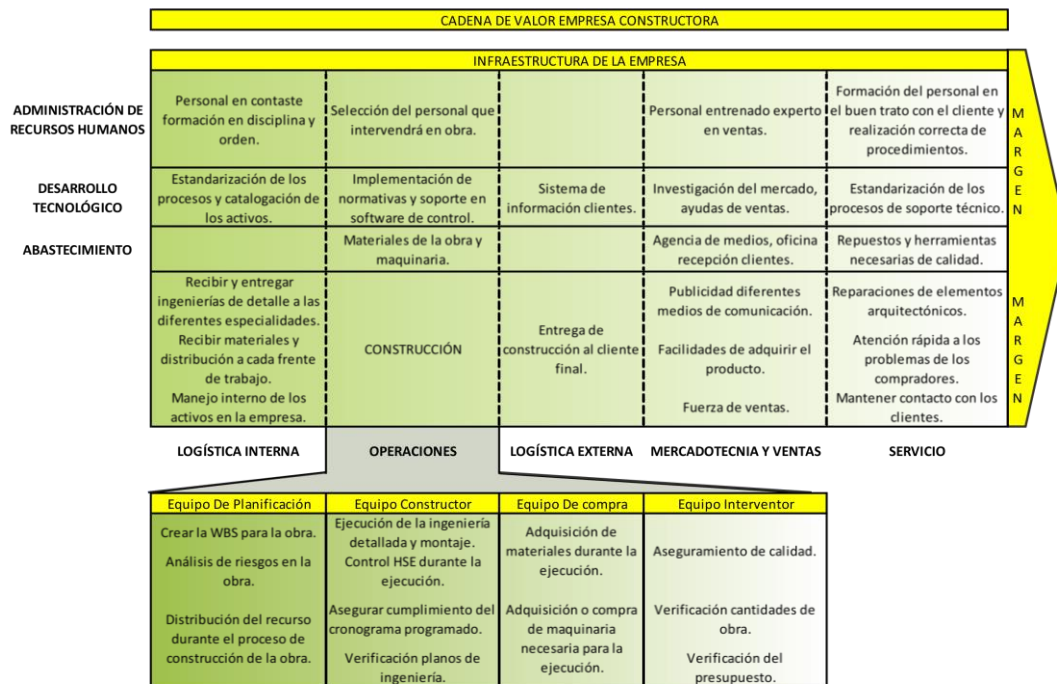


Figura 19. Cadena de valor empresa constructora.

Las actividades de valor de apoyo implicadas en el sector industrial pueden dividirse en cuatro categorías genéricas (pág. 58, Porter, 2010).

- Directas: Implicadas en la creación del valor para el comprador.
- Indirectas: Hacen posible el desempeñar las actividades directas en una base continua.
- Seguro de Calidad: Aseguran la calidad de otras actividades.

Los eslabones son las relaciones entre la manera en que se desempeña una actividad y el costo o desempeño de otra. La ventaja competitiva generalmente viene de los eslabones entre las actividades, igual que lo hace de las actividades individuales mismas (pág. 66, Porter, 2010). Las líneas punteadas en la cadena de valor representan los eslabones.

Una ventaja competitiva por diferenciación puede surgir de cualquier parte de la cadena de valor, a pesar de que las empresas lo consideran solamente en términos del producto físico o de las prácticas de mercadotecnia. De igual manera se debe tener claro que hay muchas empresas diferentes pero no diferenciadas, ya que siguen formas de exclusividad que los compradores no valoran (pág. 137, Porter, 2010).

La diferenciación es costosa con frecuencia porque requiere que desempeñe actividades de valor mejor que sus competidores. Si una empresa es capaz de aumentar el desempeño de su comprador, aumentará su nivel de satisfacción y el cumplir sus necesidades, el comprador estará dispuesto a pagar un precio superior (pág. 148, Porter, 2010).

Los criterios que el comprador usa al momento de adquirir un producto se dividen en dos tipos:

- Criterio de uso: Proviene de la manera en la que el proveedor afecta en el valor del comprador real a través de la disminución del aumento de su desempeño en factores como

calidad, características, tiempo de entrega y aplicaciones de la ingeniería de apoyo (pág. 159, Porter, 2010).

- Criterio de señalamiento: Surge de las señales de valor, o los medios usados por el comprador para inferir lo que es el valor real del proveedor como publicidad, lo atractivo de las instalaciones y la reputación (pág. 159, Porter, 2010).

Un error común es enfocarse al criterio de uso sin cumplir con el criterio de señalamiento o viceversa, no tendrá éxito debido a que los compradores eventuales se dan cuenta que sus necesidades no se han cumplido (pág. 159, Porter, 2010). Para alcanzar una estrategia de diferenciación mediante la implementación de BIM se llevaron a cabo los siguientes pasos:

6.1. Determinar el comprador real

Dentro de las empresas constructoras, el o los encargados de decidir la adquisición de los productos de gran costo vienen dados por una mesa directiva compuesta principalmente por personas inversionistas que pueden no ser expertos en temas técnicos, personas expertas en negocios y economía, y como de ingenieros expertos en el sector de desarrollo. Por esto, se debe desarrollar los dos criterios, de uso y señalamiento al momento de abordar al comprador en el sector de la construcción.

6.2. Identificar la cadena de valor del comprador y el impacto de la empresa en ella

Como se muestra anteriormente se describió la cadena de valor de la empresa de diseño estructural que requiere obtener la ventaja competitiva como de la empresa constructora a la cual se quiere llegar captar mediante la innovación en la implementación de BIM. Al enfocarse en implementar BIM dentro de una empresa de diseño estructural se impacta directamente sobre la cadena de valor de una empresa constructora en sus actividades primarias de construcción (operación) en donde se usará el producto realizado por la empresa de diseño estructural. Las actividades sobre las cuales tendrá un impacto se muestran a continuación:

Tabla 29.
Impacto sobre la cadena de valor de empresa constructora.

Productos de la implementación BIM	Actividades	Impacto
Visualización 3D	Mercadotecnia y ventas	Ayuda a vender la construcción a través de su visualización en un modelo 3D
Cantidades y Costos de Obra	Construcción (Equipo de compra e Interventoría)	Brinda un preliminar del cual se establecen las adquisiciones y se verifica las cantidades en la interventoría
Programa de Obra	Construcción (Equipo de Planificación)	Brinda un esquema inicial del cual se realizará la WBS detallada

Planos de Despiece, Planta y Detalles	Construcción (Equipo Constructor)	Mejora la planificación del suministro de materiales como en acero figurado en un taller externo a la obra.
Planeación de Estructuras Temporales y Procesos Constructivos	Construcción (Equipo de Planificación y Constructor)	Facilita el análisis de riesgos en obra y evaluación de múltiples alternativas mediante simulación 5D.
Informes de Diseño	Construcción (Equipo Constructor)	Fácil acceso a la información detallada del diseño, explicándolo con claridad.

En las actividades primarias que se logra impactar en la empresa de construcción se incluye Construcción y mercadotecnia y ventas. En cada una de ellas se logra apreciar una disminución en el tiempo de creación de cada uno de estos paquetes necesarios para la ejecución de la construcción disminuyendo el tiempo en el que se pueda realizar el proyecto completo.

6.3. Determinar el criterio de compra del comprador gradado

El tomador de las decisiones será el presidente de la compañía constructora a final de cuentas, orientado por un grupo experto de ingenieros y de personas expertas en negocios y finanzas internas de la compañía. Teniendo definido el comprador, el criterio de uso para el comprador de una empresa de diseño estructural enfocando en diferenciación se refleja en los productos

adicionales que se pueden generar a partir del diseño estructural, que para nuestro caso se muestran en la tabla 28. Impacto sobre la cadena de valor de empresa constructora, estos productos aumentan el desempeño de la empresa constructora disminuyendo sus tiempos de realización en cada una de las actividades primarias afectadas, convirtiéndose en ahorros en costo para el comprador. Sin embargo, este tipo de productos es fácil imitarlos por parte de las empresas que se encuentran en el mercado, por lo que la calidad y detalle en la realización y entrega del producto final debe ser visible sin necesidad de expresarlo por parte de la empresa de diseño estructural. El entrenamiento del personal se convierte indispensable para alcanzar tal calidad que se convierte en factor diferenciador.

En este análisis, el criterio de señalamiento representa una mayor oportunidad de generar ventaja, ya que, es un tipo de producto que se compra con poca frecuencia por parte de las diferentes empresas y el producto se hace a las especificaciones del comprador. Debido a esto la empresa de diseño estructural busca su diferenciación en sintonía con los siguientes factores que no se encuentran en su cadena de valor:

- Reputación: Presentada a lo largo del tiempo que lleva dicha empresa de diseño estructural, por lo que se debe supervisar cuidadosamente las actividades realizadas por las personas implicadas en dicha empresa y los productos que se entregan siempre, procurando la excelencia para generar una reputación que con el tiempo se convierta en una ventaja sobre las demás empresas.
- Instalaciones: Las empresas que tienen adecuadas instalaciones en las cuales laboran sus empleados dentro de un ambiente limpio, sano y seguro, genera un parte de tranquilidad y confiabilidad en que cada persona se podrá desempeñar sin ningún impedimento o distracción que disminuya la calidad del producto que se realiza, y de igual manera, muestra

una sensación de orden y responsabilidad sin tener en cuenta la reputación de dicha empresa de diseño estructural.

- Apariencia del producto: La entrega personal, la atención prestada en su entrega, la presentación en la cual se entrega y hasta su empaque imprimen la calidad con la que se realiza dicho producto por lo que innovar en este aspecto nos genera una ventaja, que en cierta manera es fácil de alcanzar.

	Criterio de uso	Criterio de señalamiento
Usuario final	Tiempos de creación productos de obra. Ahorro Costos. Calidad. Productos adicionales.	Reputación empresa. Entrenamiento personal. Apariencia.
Canales	Tiempo de entrega del diseño.	Apoyo al cliente en cualquier etapa de desarrollo del producto.

Figura 20. Criterio de compra del comprador de un diseño estructural.

6.4. Asentar las fuentes existentes y potenciales de exclusividad en la cadena de valor de una empresa

Partiendo de que la implementación por si sola de BIM representa un ahorro en software y hardware de entre un 25% - 60% (Flórez Castellanos & Gil Montaña, 2017), pero no en tiempo, ya que, su duración es similar al proceso tradicional, si se genera implícitamente una ventaja competitiva al implementar dicha tecnología agregando valor a la compañía, pero que, aunque sea

fácil adquirir dicha ventaja, es de fácil imitación por los competidores por lo que a largo plazo no representa sostenibilidad para la empresa. Por esto, analizando la cadena de valor de la empresa de diseño estructural en cada una de las actividades primarias se pueden plantear mejoras para aumentar la diferenciación como se muestra en la figura 21.

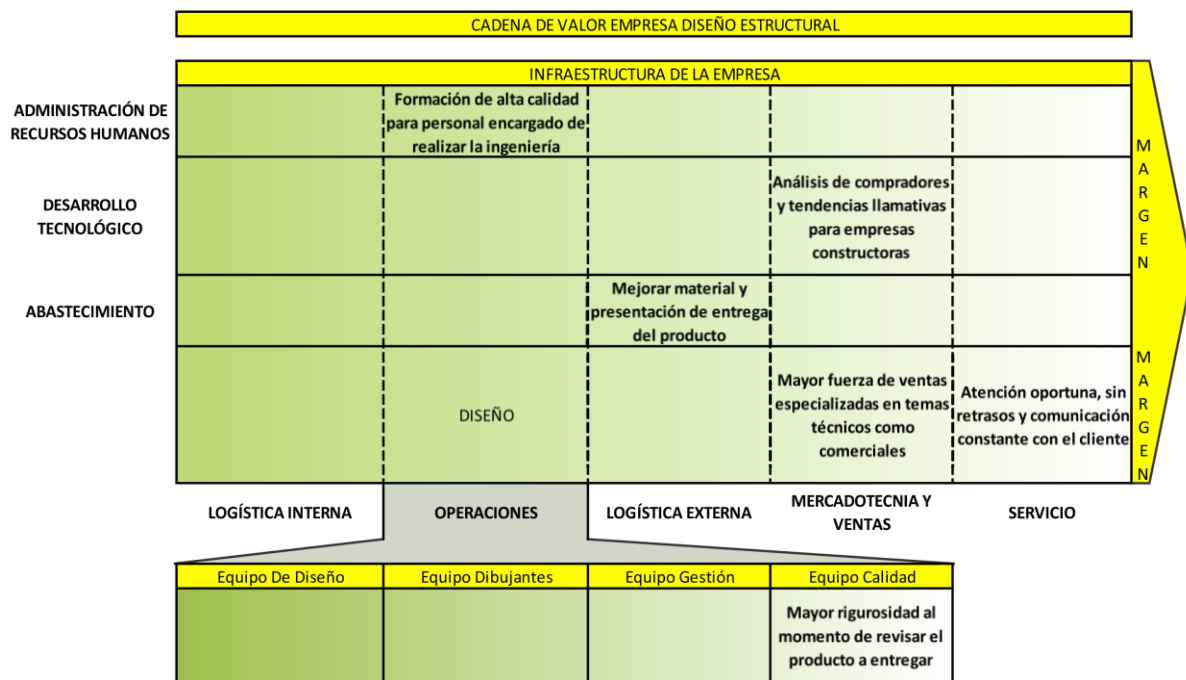


Figura 21. Fuentes de diferenciación existentes en la cadena de valor de la empresa de diseño estructural.

6.5. Identificar el costo de las fuentes existentes y potenciales de diferenciación

Este análisis se debe realizar para cada empresa específica de la cual se quiera generar una ventaja competitiva, nos presenta una pista de la cual debemos o no proseguir para elegir una configuración de actividades adecuada y que se acople a dicha empresa para generar el mayor margen de ventaja

y de igual manera de ganancia. A partir del caso de estudio realizado se pueden identificar relaciones de costos que ayudan a generalizar una configuración de actividades para generar ventaja competitiva.

6.6. Elegir la configuración de las actividades de valor que crearon la configuración más valiosa para el comprador en relación con el costo de diferenciar

Las actividades que pueden ser realizables por diferentes tipos de empresas sin importar su tamaño y sin representar un alto impacto en su realización se presentan en la tabla 29.

7. Conclusiones

De acuerdo con la pregunta principal de esta investigación, ¿Cuál es el impacto de la implementación de Building Information Modeling en la generación de ventajas competitivas en organizaciones de diseño estructural de edificaciones en concreto reforzado? De acuerdo con la tabla 29, se tienen diferentes actividades que se traducen en la generación de ventajas competitivas.

Tabla 30.

Ventajas competitivas en empresa de diseño estructural de concreto reforzado mediante la utilización de BIM.

Actividad	Ventaja generada
Productos adicionales en el diseño	A partir de la implementación de BIM se generan productos adicionales que añaden valor al producto en cuestión de su costo y de igual manera se enfocan en facilitar ciertas labores directas de la empresa constructora ahorrando tiempos de planeación, ejecución, control y costos
Rigurosidad en la revisión	La reputación de la empresa es muy valiosa para generar a futuro confiabilidad, por lo que el producto debe ser de los más altos estándares de calidad.
Apariencia del producto	Una mejor e innovadora imagen del producto deja que decir al respecto del comprador que lo está adquiriendo, por lo que su presentación es parte fundamental.

<p>Mayor fuerza de ventas capacitada</p>	<p>Las personas que conocen y son expertas en el aspecto técnico y al mismo tiempo desempeñan una excelente labor de vendedor, transmiten de una mejor manera como se incrementará el desempeño de la empresa de construcción al comprar el producto.</p>
<p>Atención oportuna y sin retrasos</p>	<p>Constante comunicación y apoyo antes durante y después de realizado y entregado el producto, siempre pendiente de su desarrollo para que el cliente logre sacar el mayor provecho a este, aumentando la confiabilidad en la empresa y su reputación de igual manera.</p>

- Productos adicionales de diseño: la metodología BIM requiere un menor trabajo en el diseño, debido a que ofrece una serie de productos adicionales, lo cual simplifica el proceso y se traduce en una mejor planeación, control y costo del proyecto, por ejemplo, e puede realizar el programa de obra de una manera más sencilla (BIM 4D), evitando posibles inconvenientes, además de la realización rápida de la cantidad y costo de obra (BIM 5D).
- Rigurosidad en la revisión: Dado que la metodología BIM tiene un mayor número de procesos y comprobaciones a realizar, se reducen las probabilidades de errores e inconvenientes en el diseño y gestión del proyecto, por ejemplo, es más fácil observar interferencias en un modelo tridimensional, y es mejor si este modelo es manejado de manera interactiva, además, el trabajo colaborativo de varios profesionales en tiempo real permite un mayor control de diseño.

- *Apariencia del Producto:* La interacción 3D permite observar los detalles constructivos e interpretarlos de una mejor manera, esto se traduce en un mejor trabajo constructivo. Se puede observar el producto en cualquier dispositivo a la mano de manera amigable, ya que el software utilizado por BIM es compatible con la mayoría de los dispositivos actuales.
- *Mayor fuerza de ventas capacitada:* Debido al atractivo que ofrece la metodología BIM en cuanto a la apariencia del producto, transmite una imagen de confianza, esto, por ende, atrae clientes.
- *Atención oportuna y sin retrasos:* Debido a que la mayoría del proceso se encuentra realizado mediante software, hay una mayor automatización, por lo que la atención a posibles inconvenientes es rápida, el cliente siempre estará pendiente del desarrollo del proyecto, ya que la capacidad de la metodología de trabajar colaborativamente hace que el cliente esté al tanto del proceso de planeación, y por ende, aumenta la confiabilidad hacia la empresa.

Para finalizar, la implementación de BIM mejora la eficiencia y la calidad de la construcción, aumenta el uso de la prefabricación; disminuye la incertidumbre, y permite desarrollar documentos de proyecto más completos. Aporta un entorno más colaborativo entre todas las partes interesadas, promoviendo el éxito del proyecto al reducir el número de problemas que normalmente afectan a los proyectos de construcción, como la falta de cooperación, la falta de confianza y la comunicación ineficaz, entre otros.

Referencias Bibliográficas

- Ahn, Y. H., Kwak, Y. H., & Suk, S. J. (2016). Contractors' Transformation Strategies for Adopting Building Information Modeling. *Journal of Management in Engineering*, 32(1), 1–13. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000390](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000390)
- Aibinu, A., & Venkatesh, S. (2014). Status of BIM Adoption and the BIM Experience of Cost Consultants in Australia. *Journal of Professional Issues in Engineering Education Practice*, 140(3), 1–10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000193](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000193).
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010a). TÍTULO A — REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE. In Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes (Ed.), *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10* (2010th ed.). Bogotá.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010b). TÍTULO B — CARGAS. In Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes (Ed.), *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10* (2010th ed.). Bogotá.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010c). TÍTULO C — CONCRETO ESTRUCTURAL. In Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes (Ed.), *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10* (2010th ed.). Bogotá.
- Autodesk Inc. (n.d.-a). Navisworks. Retrieved from

<https://www.autodesk.com/products/navisworks/overview>

Autodesk Inc. (n.d.-b). REVIT. Retrieved from <https://www.autodesk.es/products/revit-family/overview>

Autodesk Inc. (2018a). Requisitos del sistema de AutoCAD 2017. Retrieved from <https://knowledge.autodesk.com/es/support/autocad/learn-explore/caas/sfdarticles/sfdarticles/ESP/System-requirements-for-AutoCAD-2017.html>

Autodesk Inc. (2018b). Requisitos del sistema de Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018. Retrieved from <https://knowledge.autodesk.com/es/support/robot-structural-analysis-products/learn-explore/caas/sfdarticles/sfdarticles/ESP/System-requirements-for-Autodesk-Robot-Structural-Analysis-Professional-2018.html>

Borrmann, A., Kolbe, T. H., Donaubauer, A., Steuer, H., Jubierre, J. R., & Flurl, M. (2014). Multi-scale geometric-semantic modeling of shield tunnels for GIS and BIM applications. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 1–26. <https://doi.org/10.1111/mice.12090>

Chong, H. Y., Lopez, R., Wang, J., Wang, X., & Zhao, Z. (2016). Comparative Analysis on the Adoption and Use of BIM in Road Infrastructure Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 1–13. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000460](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000460).

Computers and Structures Inc. (n.d.). CSiXRevit. Retrieved from <https://www.csiamerica.com/products/csixrevit>

Computers and Structures Inc. (2018). ETABS SYSTEM REQUIREMENTS. Retrieved from <https://www.csiamerica.com/products/etabs/system-requirements>

du Toit, E., & N.S. Vermaak, F. (2015). Characteristics of companies with a higher risk of financial

- statement fraud: A survey of the literature. *South African Journal of Accounting Research*, 5(1), 77–87. <https://doi.org/DOI 10.22495/rgcv5i1c1art1>
- Flanagan, R., Lu, W., Shen, L., & Jewell, C. a. (2007). Competitiveness in construction: a critical review of research. *Construction Management and Economics*, (25), 989–1000. <https://doi.org/10.1080/01446190701258039>
- Flórez Castellanos, J. S., & Gil Montaña, M. L. (2017). *Ventajas y Desventajas de la Implementación de BIM en el Análisis Pseudoestático de Carga Lateral Equivalente en Edificaciones de Hasta 20 Metros de Altura*. Universidad Industrial de Santander.
- Fruchter, R., Schrottenboer, T., & Luth, G. P. (2009). From Building Information Model to Building Knowledge Model. *Journal of Construction Engineering and Management*, 380–389.
- Ghafar, M. A., Ibrahim, R., & Shari, Z. (2014). Embedding Cultural Knowledge in Building Information Modeling (BIM) for Fabrication Efficiency to Reduce Industrialized Construction Waste. *The Sixth Annual International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, 195–202. <https://doi.org/10.1061/9780784413616.053>
- Gliem, J. a, & Gliem, R. R. (2003). Calculating, interpreting, and reporting Cronbach's alpha reliability coefficient for Likert-type scales. *Midwest Research to Practice Conference in Adult, Continuing, and Community Education*, 82–88. <https://doi.org/10.1109/PROC.1975.9792>
- Hansen, K. L., & Tatum, C. B. (1989). Technology and strategic management in construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 5(1), 67–83.
- Hoffer, E. R. (2009). BIM for LEED. *Military Engineer*, 101(659), 71–72. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0->

67649649695&partnerID=40&md5=86690aac899dfc0760f2282000ec8226

Hoffer, E. R. (2014). *Medir el valor de BIM: Lograr un ROI estratégico*.

Jaafari, A. (2000). Construction Business Competitiveness And Global Benchmarking. *Journal of Management in Engineering*, 16(6), 43–53.

Jardim-Goncalves, R., & Grilo, A. (2010). SOA4BIM: Putting the building and construction industry in the Single European Information Space. *Automation in Construction*, 19, 388–397. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.009>

Lee, S., Yu, J., & Jeong, D. (2015). BIM Acceptance Model in Construction Organizations. *Journal of Management in Engineering*, 31(3), 1–13. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000252](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000252)

Maurer, T. J., & Pierce, H. R. (1998). A comparison of Likert scale and traditional measures of self-efficacy. *Journal of Applied Psychology*, 83(2), 324–329. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.83.2.324>

Orozco, A., Serpell, A. F., Molenaar, K. R., & Forcael, E. (2014). Modeling Competitiveness Factors and Indexes for Construction Companies: Findings of Chile. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(4), 1–13. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO)

Pellicer, E. ., Yepes, V. ., Correa, C. L. ., & Alarcón, L. F. . (2014). Model for systematic innovation in construction companies [Modelo para la Innovación Sistemática en Empresas Constructoras]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(4), 1–8. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000700](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000700)

Pellicer, E., Yepes, V., & Rojas, R. J. (2010). Innovation and Competitiveness in Construction Companies. *Journal of Management Research (09725814)*, 10(2), 103–115. Retrieved from <http://ezproxy.unal.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true%7>

B&%7Ddb=bth%7B&%7DAN=52545252%7B&%7Dlang=es%7B&%7Dsite=eds-live

Porter, M. E. (2010). *Ventaja Competitiva - Creación y sostenibilidad de un rendimiento superior*.

(A. EDITORES, Ed.).

Rodríguez Carracedo, A. T. (n.d.). Cómo crear una ventaja competitiva para tu empresa.

Won, J., Lee, G., Dossick, C., & Messner, J. (2013). Where to Focus for Successful Adoption of

Building Information Modeling within Organization. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(11), 1–10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862)

Yates, J. K. (1994). Construction Competition and Competitive Strategies. *Journal of Construction*

Engineering and Management, 10(1), 58–69.

Zhang, D., & Gao, Z. (2013). Project Time and Cost Control Using Building Information

Modeling. *Journal of Construction Engineering and Management*, 545–554.

<https://doi.org/10.1061/9780784413135.052>