ANÁLISIS DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE TECNOLOGÍA BIM EN EL DISEÑO, ANÁLISIS Y MODELAMIENTO ESTRUCTURAL

LAURA MARCELA CAICEDO CASTELLANOS
CHRISTIAN FERNANDO GÓMEZ AGUILAR

UNIVERSIDAD INDUSTRIA DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2014

ANÁLISIS DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE TECNOLOGÍA BIM EN EL DISEÑO, ANÁLISIS Y MODELAMIENTO ESTRUCTURAL

LAURA MARCELA CAICEDO CASTELLANOS
CHRISTIAN FERNANDO GÓMEZ AGUILAR

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Civil

Director:
GUSTAVO CHIO CHO
Ingeniero Civil, M.Sc., PhD.

Co-Director:
OMAR GIOVANNI SÁNCHEZ RIVERA
Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD INDUSTRIA DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2014

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 13

1. MARCO TEÓRICO 14

1.1. BUILDING INFORMATION MODELING 14

1.2. ¿POR QUÉ IMPLEMENTAR BIM? 17

1.3. IMPLICACIONES DE COSTO EN EL USO DEL BIM 21

1.4. EL BIM; ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL 23

1.4.1. Información estructural 24

1.4.2. Análisis estructural 24

1.4.3. Proceso de diseño estructural 25

1.4.4. Detección de Interferencias 26

1.4.5. Flujo de trabajo 26

1.4.6. Cantidades y estimación de costos 27

2. ESTUDIO DE CASO 28

2.1. PLANOS O MODELO ARQUITECTÓNICO DE LA EDIFICACIÓN. 28

3. RESULTADOS 30

3.1. PLANTEAMIENTO DE LA ESTRUCTURA 30

3.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL 31

3.3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA EN CONCRETO REFORZADO 34

3.3.1. Vinculación y actualización del modelo BIM 36

3.4. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA APORTICADA METÁLICA. 37

3.4.1. Vinculación y actualización del modelo BIM 40

3.5. PRESUPUESTOS; CANTIDADES Y ESTIMACIÓN DE COSTOS CON BIM 40

4. DISCUSIÓN 43

4.1. ANÁLISIS, DISEÑO Y MODELADO. 43

4.2. EDICIÓN, ACTUALIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN. 44

4.3. PRODUCTIVIDAD 45

4.4. COORDINACIÓN E INTEROPERABILIDAD. 46

4.5. GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN. 47

5. CONCLUSIONES 48

CITAS 50

BIBLIOGRAFÍA.....54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dibujo manual, CAD, BIM – Evolución. 15

Figura 2. El BIM y algunos de sus contenidos. 16

Figura 3. El flujo de la información, BIM vs Manejo Tradicional. 17

Figura 4. Nivel de la Implementación del BIM en el área de la infraestructura a través del tiempo. 18

Figura 5. Grado de entrenamiento en ingenieros y arquitectos que Implementan el BIM. 18

Figura 6. El BIM alrededor del mundo. 20

Figura 7. Estructura tradicional de colaboración en la fase de diseño estructural. 27

Figura 8. Modelo Arquitectónico BLOQUE A MEGACOLEGIO EL CARMEN de Floridablanca 28

Figura 9. Representaciones físicas (Izquierda) y analíticas (Derecha) de la estructura Revit. 30

Figura 10. Modelo Estructural Robot Structural Analysis Professional. 31

Figura 11. Cargas aplicadas en el modelo por piso. 32

Figura 12. Espectro elástico de aceleraciones; hoja de cálculo (izquierda), importada en el software (derecha.) 33

Figura 13. Representación gráfica de la respuesta dinámica de la edificación 33

Figura 14. Interfaz del software para la visualización del refuerzo generado. Fuente: 35

Figura 15. Interfaz para la visualización de resultados, diagrama de interacciones. 35

Figura 16. Interfaz para la visualización de resultados, envolventes de diseño. 36

Figura 17. Detalle del diseño de elementos de concreto reforzado en Revit, actualizado desde RSA. 36

Figura 18. Visualización de interferencia detectada Revit. 37

Figura 19. Interfaz de resultados para la verificación de las barras. 38

Figura 20. Interfaz de resultados para la optimización de grupos de barras. 38

Figura 21. Visualización de la conexión generada con RSA. 39

Figura 22. Interfaz para la creación de una conexión metálica. 39

Figura 23. Detalle del diseño de elementos metálicos en Revit, actualizado desde RSA. Visualización realista (izquierda) y renderizada (derecha). 40

RESUMEN

TÍTULO:

ANÁLISIS DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE TECNOLOGÍA BIM EN EL DISEÑO, ANÁLISIS Y MODELAMIENTO ESTRUCTURAL*

AUTORES:

Laura Marcela Caicedo Castellanos
Christian Fernando Gómez Aguilar**

PALABRAS CLAVE: Building Information Modeling, análisis estructural, diseño estructural, ventajas, desventajas.

DESCRIPCIÓN:

El uso de tecnologías BIM ofrece modelos geométricos en tres dimensiones, incorpora información no grafica para un proyecto de edificación además de optimizar los procesos de diseño y construcción de edificaciones. Las tecnologías BIM integran diseño, construcción y operación del proceso constructivo, facilitando la interacción entre las diferentes disciplinas asociadas en dicho proceso como lo son la proyección, el análisis y la ejecución, o bien, arquitectura, ingeniería y construcción, respectivamente. En Colombia esta es una metodología emergente, aunque cada vez más conocida y aplicada por los profesionales y empresas del sector de la construcción.

En este artículo, se discuten las ventajas y los posibles riesgos del uso del "Building Information Modeling" (BIM), en la industria de la construcción, específicamente en el campo del análisis y el diseño estructural. Primero se hace una revisión bibliográfica acerca de la implementación del BIM y sus aplicaciones en la construcción. Luego, se realiza la aplicación de este método en un caso de estudio; el Bloque A del Megacolegio El Carmen de Floridablanca, para finalmente analizar las ventajas y desventajas de la implementación del software BIM en el diseño y análisis estructural de un proyecto mediante los programas Autodesk Robot Structural Analysis Professional y Revit 2014. Los resultados de esta investigación proveen información útil para todos aquellos que estén interesados en la implementación del BIM en la ingeniería estructural.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: GUSTAVO CHIO CHO. Codirector : OMAR SANCHEZ RIVERA

ABSTRACT

TITLE:

ANALYSIS OF THE ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF USING BIM TECHNOLOGY IN DESIGN, ANALYSIS AND STRUCTURAL MODELING[*]

AUTHORS:

Laura Marcela Caicedo Castellanos
Christian Fernando Gómez Aguilar[**]

KEYWORDS: Building Information Modeling, structural analysis, structural design, advantages, disadvantages

DESCRIPTION:

The use of "Building Information Modeling" (BIM) technology provides three-dimensional geometric models, incorporating non-visual information for a building project and optimizes the processes of design and construction of buildings. BIM technologies integrate design, construction and operation of the construction process, facilitating interaction between different disciplines associated in this process such as projection, analysis and execution or architecture, engineering and construction, respectively. In Colombia this is an emerging, but increasingly known and applied by professionals and companies in the construction sector.

In this article, the advantages and potential risks of the use of BIM methodology in the construction industry, specifically in the field of structural analysis and design are discussed. First, a literature review on the implementation of BIM and its applications in building blocks. Then, the application of this method is performed in a case study; Bloque A of Megacolegio El Carmen de Floridablanca, to finally analyze the advantages and disadvantages of the implementation of BIM software in structural analysis and structural design of a project using Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014 and Autodesk Revit software. The results of this research provide useful information to all those who are interested in the implementation of BIM methodology in structural engineering.

[*] Work Degree

[**] Faculty of Engineering Physics and Mechanics. School of Civil Engineering. Director: GUSTAVO CHIO CHO. Co-Director: OMAR SANCHEZ RIVERA

INTRODUCCIÓN

Para ayudar a mantener una ventaja competitiva y mantener la rentabilidad de las empresas en este clima de negocios desafiante, en la ingeniería estructural, empresas desde grandes multinacionales a una escala más pequeña, están adoptando nuevos flujos de trabajo, herramientas y tecnologías. Uno de los más destacados de estos es el Building Information Modeling o BIM [1].

El Building Information Modeling (BIM) es una metodología de diseño emergente utilizada en la arquitectura, ingeniería y construcción, la cual ofrece importantes soluciones para las necesidades de coordinación, productividad y solución de problemas, a través de modelos geométricos inteligentes en tres dimensiones, donde todos los objetos que hacen parte de él, poseen por sí mismos bases de datos que contienen toda la información funcional para el desarrollo del proyecto. El BIM permite que toda la información de un proyecto esté disponible en un solo modelo y esta se encuentre disponible para todas las partes involucradas en el desarrollo del mismo, visualizando sus fases e incluso involucrando variables de tiempo y costos (modelos 4D y 5D).

Las tecnologías BIM integran diseño, construcción y operación del proceso constructivo, facilitando la interacción entre las diferentes disciplinas asociadas en dicho proceso como lo son la proyección, el análisis y la ejecución, o bien, arquitectura, ingeniería y construcción, respectivamente.

Como resultado del desarrollo del método BIM, actualmente se encuentran útiles herramientas informáticas para el modelado de la información de la construcción enfocadas en el análisis y diseño estructural. En el presente documento se pretende exponer las propiedades del BIM y su aplicabilidad en el campo de la ingeniería estructural, así como las facilidades y/o dificultades que dicha herramienta ofrece en las áreas de productividad, coordinación y visualización, con el objeto de obtener una idea clara del impacto el BIM en la ingeniera estructural.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. BUILDING INFORMATION MODELING

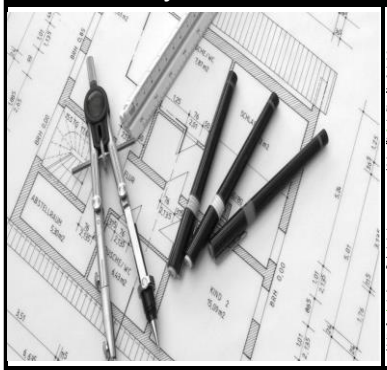
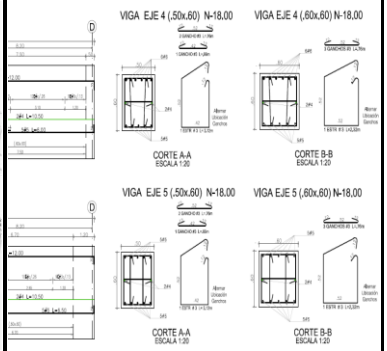
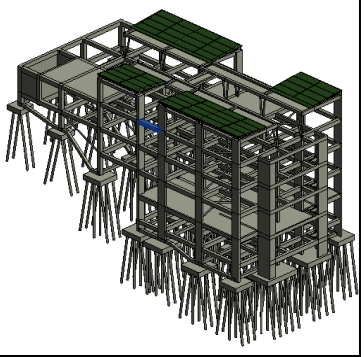
¿Qué es BIM? Existen diferentes definiciones del Building Information Modeling, The American National Institute of Building Sciences lo define como una representación computable de características físicas y funcionales de un proyecto relacionadas con su ciclo de información usando estándares abiertos para informar decisiones logrando un producto de mayor valor, The American Institute of Architects dice que es el uso, reúso e intercambio de la información con modelos integrados en 3D y 2D, de los cuales documentos electrónicos son tan solo un componente. Por otra parte desarrolladores de software como Autodesk lo describen como una metodología en el diseño y documentación caracterizada por la creación y uso de información computable coordinada y consistente sobre un proyecto de construcción [2]. En otras palabras, es un conjunto de software, modelos 3D, procesos y bases de datos.

Como se puede observar en la figura 1, donde se ilustran los métodos de trabajo que han sido utilizados en el desarrollo de diseños de construcción, el BIM salta del diseño en 2D que ofrece el CAD (Diseño asistido por computador) a uno en 3D enfocado en cada uno de los componentes del modelo por separado, no como un dibujo, sino como elementos que por sí mismos contienen información, tan detallada como se requiera de las características necesarias para la planeación, ejecución y control de cada proyecto [3].

BIM es un una metodología de diseño utilizada en la construcción que se basa en un modelo 3D que es mucho más que una simple representación visual de la geometría y texturas, este es el equivalente virtual de cada uno de los componentes necesarios para la construcción real de un proyecto como se muestra en la figura 2, y sirve como prototipo para la simulación y análisis del comportamiento de la construcción antes del inicio real de la misma. Un modelo BIM está conformado por elementos, que además de ser representaciones

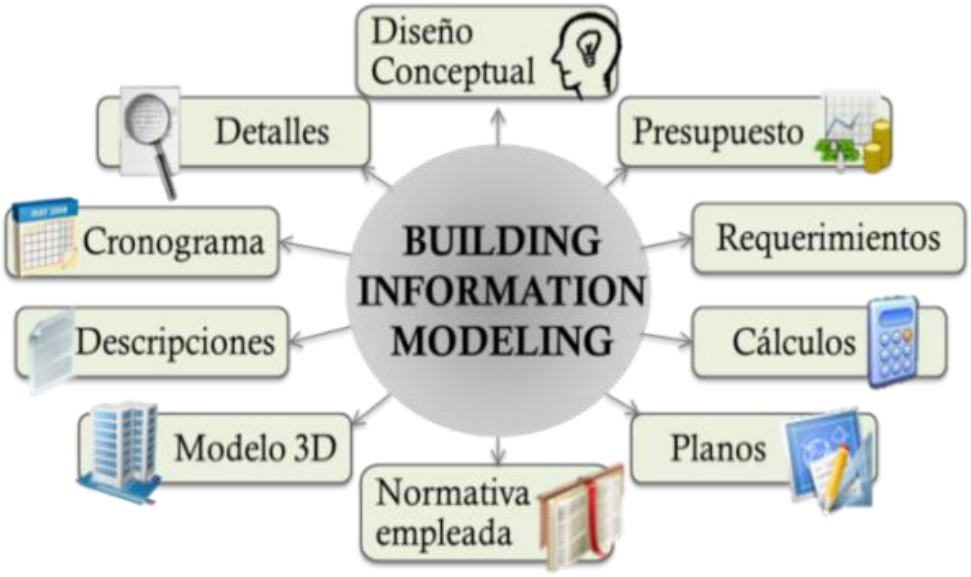
visuales del diseño, por sí mismos contienen información usada en la arquitectura, ingeniería y construcción.

Figura 1. Dibujo manual, CAD, BIM – Evolución.

Dibujo Manual	CAD	BIM
		
Antes de 1982	1982 - Actualidad	Post. 2000
Papel, lápiz, triángulo y cuadrado	AutoCAD® Software	REVIT® Software y ROBOT® Software
Dibujo a mano técnico	Dibujo digital técnico	Base de datos de objetos constructivos
Líneas, arcos, círculos, sombreado y texto	Polilíneas, arcos, círculos, achurado y texto	Paredes, vigas, columnas, ventanas, puertas, etc.
2D y vistas isométricas	2D, 3D, y objetos sólidos	2D, 3D, 4D (Tiempo), 5D (Dinero), Dn (Energía, Materiales, etc.)
No hay datos calculables en el dibujo técnico descrito	No hay datos calculables en el dibujo técnico descrito	Base de datos en la estructura de forma digital, y puede interactuar con otros modelos y aplicaciones de BIM
Profesionales altamente capacitados y calificados deben interpretar y utilizar la información manualmente.	Profesionales altamente capacitados y calificados deben interpretar y utilizar la información manualmente.	Profesionales altamente capacitados y calificados en utilizar la información en un formato automatizado con BIM

Fuente: Autodesk 2013

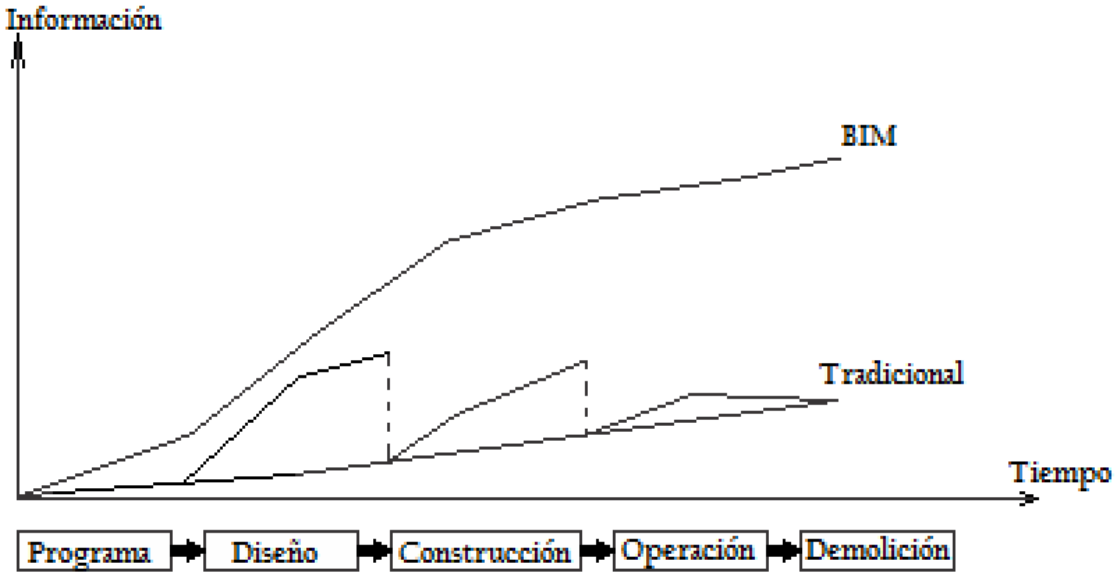
Figura 2. El BIM y algunos de sus contenidos.



El hecho de que un solo modelo contenga toda la información requiere de un trabajo colaborativo de los involucrados en el proceso de la construcción tales como arquitectos, ingenieros, dibujantes y contratistas ente otros, e implica un cambio en el flujo de la información comparado con los métodos tradicionales de diseño; la implementación BIM permite que no exista perdidas de información a través de cada una de las fases del proceso de la construcción [4], como se ilustra en la figura 3.

La naturaleza de los componentes que conforman un modelo BIM (modelos 3D e información de proyectos) se desarrollan a lo largo del avance de un proyecto, resultando en un cambio importante en la naturaleza tanto de los modelos 3D y la información vinculada. Esta observación particular sirve para reforzar la importancia del proceso, en lugar del modelo en sí; el modelado de información es un proceso dinámico [5].

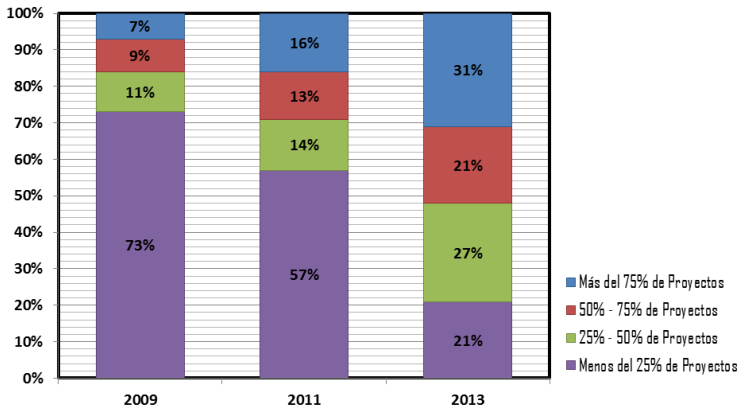
Figura 3. El flujo de la información, BIM vs Manejo Tradicional.



1.2. ¿POR QUÉ IMPLEMENTAR BIM?

El uso del BIM puede cambiar completamente la forma como se desarrollan los proyectos de construcción, y tiene el potencial de cambiar la forma en la que se trabaja en esta rama como lo hizo la implementación del CAD 30 años atrás. La adopción de este método ha transcurrido de manera similar a como lo hizo el CAD y ha tenido un impacto considerable en los proyectos de diseño y construcción en los últimos años, una evidencia de esta tendencia se puede ver en la figura 4, resultados de un estudio realizado por McGraw Hill Construction en 466 profesionales de la industria de la construcción, pertenecientes a las cinco asociaciones más activas en las bases de datos de MHC (McGraw Hill Construction), acerca del grado de implementación del BIM en obras de infraestructura, muestra como el uso de esta tecnología ha ido en crecimiento [6].

Figura 4. Nivel de la Implementación del BIM en el área de la infraestructura a través del tiempo.



Fuente: McGraw Hill 2012

En esta encuesta, ingenieros y arquitectos que implementan el BIM también fueron indagados acerca del grado de entrenamiento que poseen en el manejo de esta tecnología, para lo que se obtuvo un resultado de conocimiento mayormente intermedio y avanzado del tema., pero también se observa un alto porcentaje en nivel principiante, lo que demuestra que aunque un importante número de empresas ya están aplicando este método, el camino hacia la adopción total de este tema todavía es largo. Lo anterior se ilustra en la figura 5.

Figura 5. Grado de entrenamiento en ingenieros y arquitectos que Implementan el BIM.

Fuente: McGraw Hill 2012

Como se ha observado el número de empresas que utilizan herramientas BIM incrementa cada año, y el potencial transformador de esta tecnología solo es alcanzable si se logra un intercambio abierto de información entre los participantes a través de diferentes plataformas de software, lo que requiere una definición e implementación de estándares y protocolos [7]. Esta tarea obligada para los retos que plantea esta tecnología ya está siendo adelantada por algunos países alrededor del mundo (figura 6). En el Reino Unido, para el 2016, toda la contratación en construcción que lleve a cabo el gobierno requerirá modelos 3D BIM totalmente colaborativos, de acuerdo con The Government Construction Strategy del 2011. Incluso ya existe para este país una librería nacional de BIM (National BIM library) que contiene miles de objetos BIM autorizados y regulados. Entre estos, los Estados Unidos desde el 2007 los proyectos gestionados por el General Services Administration (GSA) requieren la definición de los proyectos de construcción en formato BIM, también la Guardia Costera y el Cuerpo de Ingenieros de la Armada (USADE). Por otra parte, en Noruega el BIM es imprescindible para contrataciones públicas, y el BIM ya está siendo enseñado en las universidades; Suecia también exige el BIM para el diseño de importantes obras de infraestructura, como ha sido aplicado en obras como el Stockholm Bypass y la nueva City Line in Stockholm. Finlandia es el país del mundo donde la adopción del BIM está más avanzada, con varios años de experiencia en este campo, y China se encuentra en el proceso de implementación de este método de modelado [8].

Figura 6. El BIM alrededor del mundo.

Por otra parte, La implementación de códigos de diseño en el BIM ilustra la importancia de este método en la ingeniería estructural. El International Code Council (ICC) entidad encargada del desarrollo de códigos de construcción adoptados principalmente por los Estados Unidos ha desarrollado la iniciativa SMART codes, para hacer posible una revisión automática del modelo según estos códigos de diseño a través de la compilación electrónica de toda la documentación necesaria para el diseño y que puede ser implementada por modelos BIM. Los SMART codes hacen parte de la visión del ICC para el futuro en los tramites de permisos de construcción por parte del gobierno, donde los modelos pueden ser procesados electrónicamente para el chequeo del cumplimiento de la normativa, permitiendo una revisión más precisa, con mayor información y en menos tiempo [9].

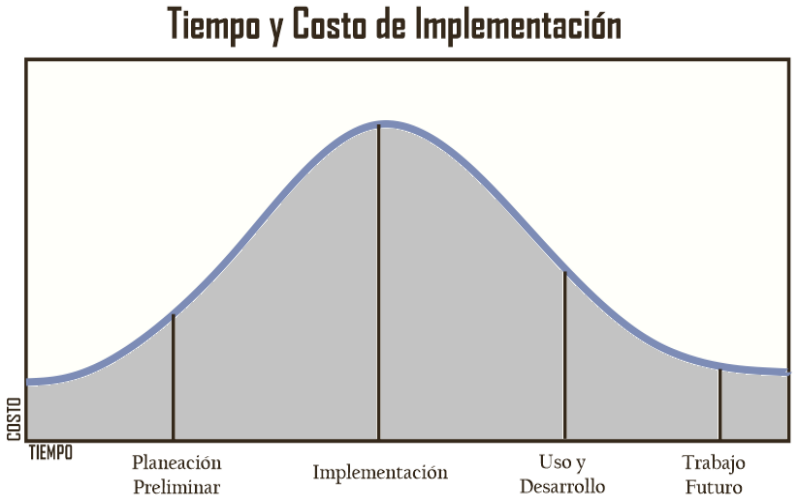
De acuerdo con The Structure Magazine el BIM cambiará la forma en la que los diseñadores estructurales se relacionan con sus clientes y con las entidades regulatorias del sector de la construcción [10].

1.3. IMPLICACIONES DE COSTO EN EL USO DEL BIM

De acuerdo a director de HOCHTIEF ViCon, proveedor de servicios y consultor del BIM, la implementación de este método, incluyendo la capacitación, incrementa el costo inicial de un proyecto en un 1.5 al 2%. Sin embargo, el BIM puede llegar a reducir del 6 al 8% del costo final del mismo, por la reducción o eliminación de cambios de los diseños en etapas avanzadas del proyecto. Este beneficio es variable, según el software implementado, y la correcta implementación del mismo [11].

La implementación del BIM, como se ilustra en la figura 6, genera distribución de inversión en costo y tiempo que varía en relación con el tiempo. El incremento de costos inicia cuando se planea la adopción de este método y tiene su pico más alto en el inicio de la implementación del mismo, así mismo decrece y vuelve al punto inicial con su total afianzamiento.

Figura 7. Distribución, Costo vs Tiempo Implementación del BIM

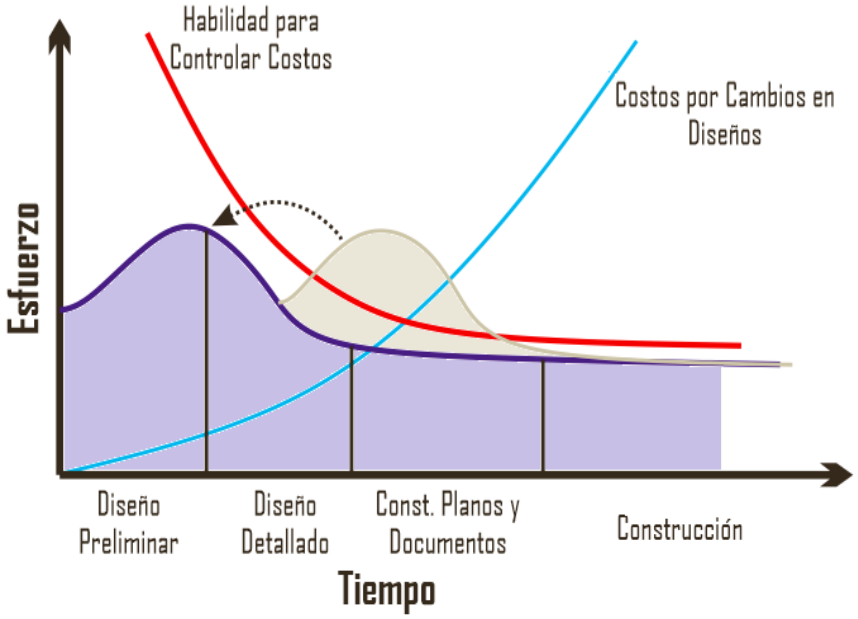


Fuente: Lopes 2013.

Además de la variación en los costos finales del proyecto, el uso del BIM cambia la distribución del esfuerzo empleado en cada una de las etapas del proyecto. Como se observa en la figura 7, donde se representan estas distribuciones con y

sin el uso del BIM, el mayor esfuerzo sin la implementación del método se presenta en la fase de la construcción, por otra parte, con el BIM este pico se traslada a la fase del diseño. Este cambio en el esfuerzo es traducido en la habilidad de suprimir los costos generados por cambios necesarios durante etapas avanzadas del proyecto, cuando se le permite al equipo de diseño, mediante la simulación virtual de la construcción a través del BIM, descubrir y corregir errores en las etapas tempranas del proceso, lo que implica un menor costo como se ilustra en la figura. También el BIM logra optimizar el proceso de la construcción y el desarrollo del cronograma de la obra, brindando un modelo más detallado, no solo en información, sino visualmente.

Figura 8. El efecto del BIM en el esfuerzo del desarrollo de un proyecto.



Fuente: Lopes 2013.

En relación con la ingeniería estructural, el costo que implica la capacitación en BIM para esta rama de la ingeniería es alto, una encuesta realizada en ingenieros estructurales de la asociación de ingenieros estructurales de Texas (SEAoT) en el 2008 revela que el tiempo estimado necesario para la introducción del BIM en el primer año de aplicación según gerentes de las empresas encuestadas costaría

alrededor de 5 semanas de trabajo por persona, la introducción de este método requiere una gran inversión además de un gran compromiso por parte de los dueños y gerentes de las empresas consultoras [10]; pero el aspecto más costoso de la implementación del BIM puede ser la tendencia de algunos de los empleados con habilidades en BIM adquiridas a cambiar de empresa, lo que implica aún más inversión en entrenamiento.

1.4. EL BIM; ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

Acontecimientos como la producción económica de acero y máquinas eléctricas de soldadura comerciales, las computadoras personales e internet han generado un cambio profundo en la profesión de la ingeniería estructural en diversas áreas como lo son los códigos de diseño, los procesos de trabajo y las posibilidades de construcción. El BIM está evolucionando, en principio estaba completamente enfocado hacia las soluciones arquitectónicas, ahora está adaptándose a las necesidades de los ingenieros estructurales, ofreciendo mejores herramientas para incrementar su uso en este campo, por ello tiene el potencial para tener un impacto aún más fuerte en la ingeniería estructural [10].

Los ingenieros estructurales pueden obtener ventajas del BIM de distintas formas, ya que el modelo puede estar constantemente actualizado con cualquier cambio en el diseño o en las especificaciones generales, manteniendo toda la información tan precisa como sea posible [12].

La arquitectura hace parte del modelo BIM, y aunque el contenido de un modelo arquitectónico y uno estructural puede ser muy diferente, la arquitectura es la base de un modelo estructural. [13]; de este modo, un modelo BIM puede contener toda la información necesaria para los ingenieros estructurales. Así, el proceso para preparar un proyecto para ingresarlo en el software de análisis es más eficiente ya que todos los datos pueden ser directamente transferidos desde el modelo del edificio [14]. Los resultados del diseño son creados y guardados en la información del modelo, facilitando su disponibilidad para el proceso de detallado.

1.4.1. Información estructural

Los diferentes tipos de información estructural que pueden relacionarse con un BIM van desde el tipo de elemento (como viga, columna, etc.) hasta las propiedades de los elementos (como el área transversal, momento de inercia, etc.). Usando toda esta información, un modelo de análisis estructural puede estar listo, con cargas, combinaciones de carga, geometría; condiciones de contorno, propiedades de los materiales, propiedades de las secciones y más, que pueden importarse al software de análisis estructural, para posteriormente realizar el análisis. De acuerdo a los resultados obtenidos, el ingeniero estructural puede aceptarlos o modificarlos en caso de que el software haya obviado algún paso o parámetro de diseño, entonces los documentos de diseño y construcción pueden ser actualizados con la nueva información.

1.4.2. Análisis estructural

Sin BIM, se deben producir modelos individuales para afrontar cada tipo de análisis. Una queja común de las empresas es que su personal con educación superior demandan demasiado tiempo transcribiendo información de un software a otro, configurando varios modelos analíticos que son necesarios para tener en cuenta cada aspecto relevante de un proyecto, y luego manualmente coordinando los resultados del análisis y el diseño en los planos y documentos [15].

Con BIM, las representaciones analíticas y físicas se crean simultáneamente, y son solo diferentes vistas de un solo modelo, que contiene toda la información estructural necesaria para el análisis. Es importante resaltar que el BIM no sustituye las aplicaciones de análisis; él proporciona una interfaz común para ellas y un modelo común para documentar los resultados.

El comportamiento de una estructura durante su construcción difiere de su comportamiento durante su periodo de servicio, por esto las estructuras que varían con el tiempo requieren de un método preciso para llevar a cabo su análisis

estructural durante el proceso de construcción. Usando BIM, es posible implementar las acciones que dependen del tiempo en el modelo, teniendo un modelo estructural en 4D [16], dando la posibilidad de chequear y evitar los conflictos que eventualmente puedan ocurrir.

1.4.3. Proceso de diseño estructural

El primer paso en el proceso del diseño estructural de un proyecto, siguiendo la forma tradicional, es interpretar los planos arquitectónicos, los cuales brindan una idea del diseño y la forma en la que el ingeniero estructural creara el modelo analítico que se utilizará en el software de ingeniería estructural para analizar el proyecto de acuerdo a los requerimientos, ya sea la gravedad, la sísmica, la dinámica o las condiciones de exposición al viento. Usualmente los dibujantes comienzan la parte de dibujo, al mismo tiempo, creando una representación del edificio e iniciando los documentos de construcción. Generalmente esto causa la creación de muchos dibujos que contienen la misma información.

El hecho de que existan diferentes modelos para el mismo proyecto aumenta el esfuerzo que se necesita para coordinarlos, y abre la posibilidad de que existan errores. Por ejemplo, si el ingeniero estructural concibe el cambio de un elemento estructural en el diseño, y este cambio no es actualizado por el dibujante en los documentos, esta inconsistencia afectaría la veracidad en el diseño.

Por otro lado, usando el BIM, los datos usados en el análisis estructural y la información analítica de un proyecto, se encuentran vinculados todo el tiempo en un solo modelo, permitiendo a los ingenieros usarlos tanto en el análisis estructural, como también en los documentos de construcción.

Después de terminado el proceso de análisis, se puede exportar el modelo con los resultados, actualizando automáticamente toda la información y la documentación dependiente de él. Análisis de resultados tales como la fuerza interna de un

miembro estructural y el área de acero corrugado se pueden almacenar en el modelo para uso futuro.

Esto definitivamente reduce el tiempo que demandan los detalles y la preparación de los planos que se generan, ya que estos son generados automáticamente con toda la información que el diseñador considere necesaria.

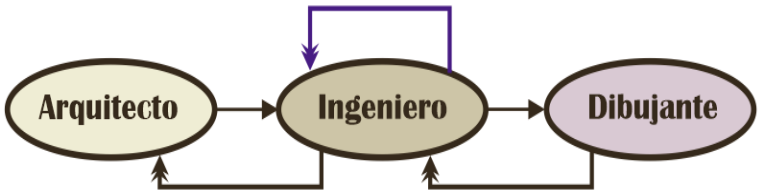
1.4.4. Detección de Interferencias

Una de las aplicaciones del BIM que realmente sobresale e incentiva la adopción de este método es la herramienta de detección de interferencias entre elementos [2]. A través de la integración de modelos en un solo archivo, el software tiene la capacidad de ejecutar un análisis y genera reportes de interferencias entre diferentes conjuntos de elementos.

1.4.5. Flujo de trabajo

Cuando lo comparamos con la manera tradicional, los beneficios del BIM en el diseño estructural son obvios, especialmente cuando analizamos el flujo de trabajo. Generalmente en la fase del diseño estructural; ingenieros, arquitectos y dibujantes son los principales participantes de este proceso, estos participan en fases separadas comenzando con el arquitecto y terminando con el dibujante, con una estructura de colaboración ilustrada en la figura 8. Y generalmente el tener una fecha límite en la entrega de un proyecto genera que los diseños estructurales y los documentos de construcción comiencen casi simultáneamente, lo que traduce que los ingenieros estructurales comiencen sus análisis, al mismo tiempo en que los dibujantes generan sus documentos casi sin información.

Figura 7. Estructura tradicional de colaboración en la fase de diseño estructural



1.4.6. Cantidades y estimación de costos

Dada su capacidad de extracción de unidades, áreas, volúmenes y materiales del modelo, el BIM permite una más rápida extracción de las cantidades de los diferentes componentes del modelo, y estimaciones de costos.

2. ESTUDIO DE CASO

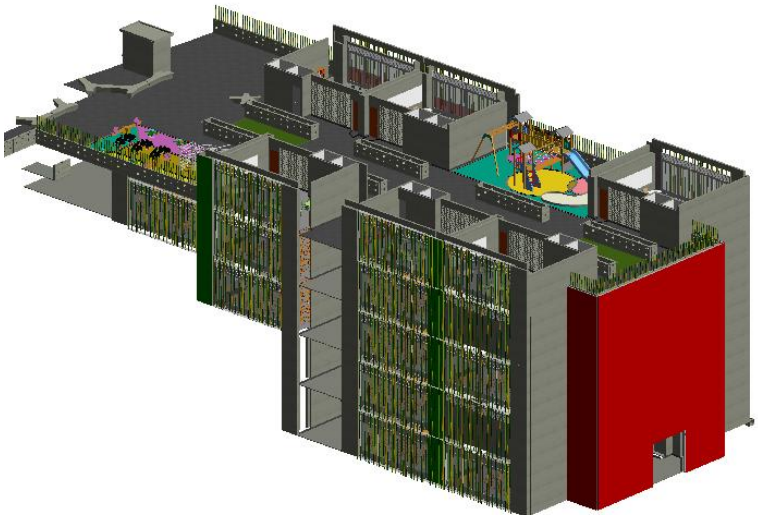
Con el objeto de realizar un análisis detallado de las ventajas y desventajas de la implementación de software BIM en el modelado, análisis y diseño estructural; desarrollamos un caso de estudio, implementando el diseño sismo-resistente de acuerdo con la norma colombiana (NSR-10). Se evaluaron dos diferentes soluciones estructurales (Estructura combinada en concreto reforzado y estructura aporticada metálica).

2.1. PLANOS O MODELO ARQUITECTÓNICO DE LA EDIFICACIÓN.

El espacio es un recurso importante de cada proyecto en la construcción [17].

Todo proyecto en ingeniería civil, aplicado al diseño estructural de edificaciones, debe contar con un diseño arquitectónico previo, que definirá, una distribución tentativa de los elementos estructurales del mismo.

Figura 8. Modelo Arquitectónico BLOQUE A MEGACOLEGIO EL CARMEN de Floridablanca



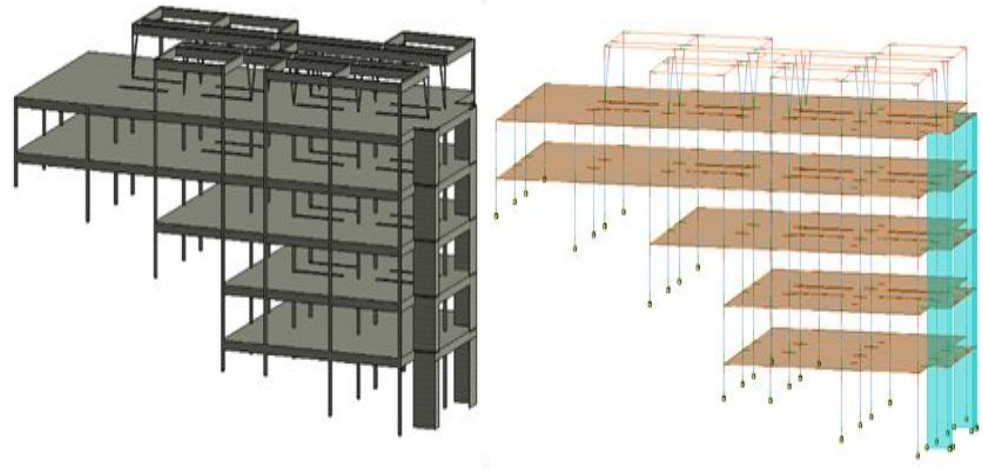
El caso de estudio Bloque A Megacolegio el Carmen de Floridablanca, cuenta con un diseño arquitectónico definido, que previamente fue modelado mediante Autodesk Revit (figura 8); compatible con el software a implementar para el

análisis y diseño estructural (Autodesk Robot Structural Analysis Professional). Para la elaboración del modelo BIM 3D del proyecto en el software, es necesario contar con los planos de diseño en formato CAD 2D, un modelo 3D o cualquier fuente de información de los parámetros y las características de diseño del proyecto [18].

3. RESULTADOS

Para entender cómo trabaja la conectividad del software BIM y el software de análisis estructural, es importante introducir en concepto de representación física y representación analítica (figura 9) de una estructura [19]. Los modelos BIM generan representaciones físicas y analíticas simultáneamente con características independientemente modificables, el modelo físico es un modelo visual de la estructura de un proyecto, mientras que el modelo analítico transfiere toda la información que solicita el ingeniero estructural, y contiene información necesaria para el análisis y diseño estructural. Independientemente Revit sólo proporciona un modelo común para dichas representaciones [4].

Figura 9. Representaciones físicas (Izquierda) y analíticas (Derecha) de la estructura Revit.

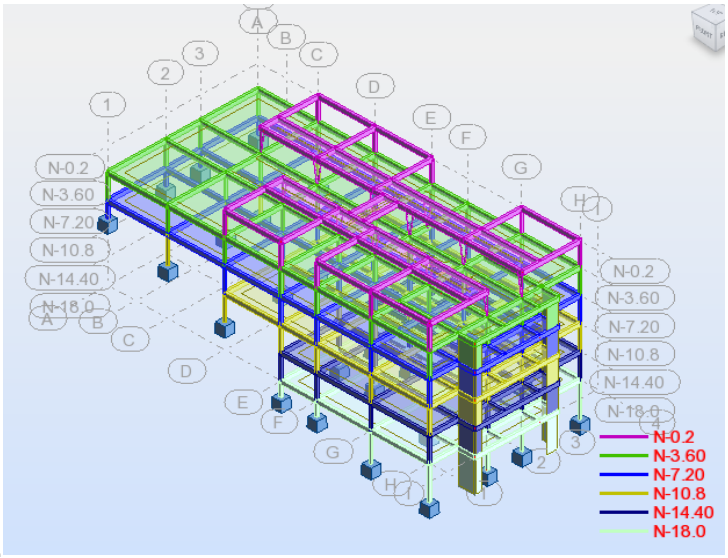


3.1. PLANTEAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

Partiendo del modelo arquitectónico y de una distribución de columnas y muros recomendados por la arquitectura se realiza un modelo estructural tanto en concreto reforzado, como en estructura metálica, basándose inicialmente en el dimensionamiento recomendado y optando dimensiones para vigas y placa aligerada según la norma sismo resistente colombiana vigente.

El modelo analítico, creado simultáneamente con el modelado de la estructura fue enviado mediante un link bidireccional a Robot Structural Analysis Professional. Una vez el modelo ha sido enviado (figura 10) iniciamos el proceso del análisis y diseño estructural.

Figura 10. Modelo Estructural Robot Structural Analysis Professional.



3.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

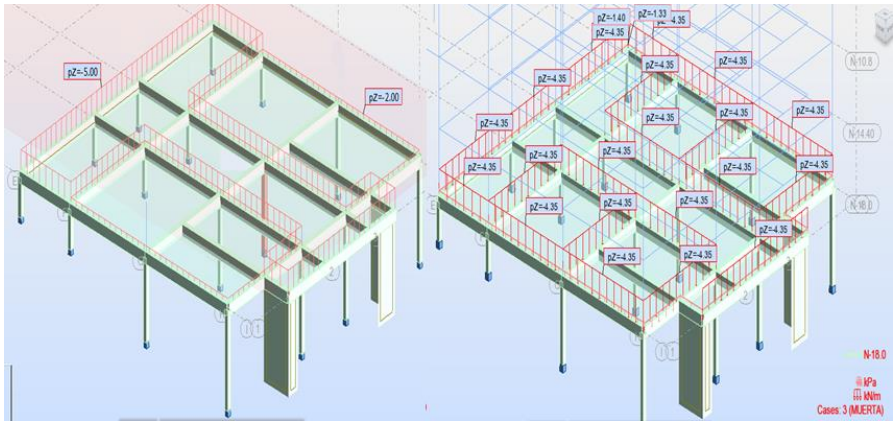
El análisis sísmico que se enmarca dentro del campo del análisis estructural tiene como objetivo la apreciación de la respuesta de la edificación a la ocurrencia de un evento sísmico; este análisis se llevó a cabo con el fin de verificar las derivas máximas permitidas por la NSR-10 en el cual estas se expresan como una fracción del 1% de la altura de entrepiso [20].

Teniendo en cuenta los métodos de análisis que se deben emplear según la NSR-10 [20]**,** donde de acuerdo a las condiciones y restricciones que presenta cada uno de ellos se concluye que el método para el análisis sísmico más utilizado comercialmente, el de Fuerza Horizontal Equivalente no es aplicable, por las condiciones y las características del suelo así como la irregularidad de la estructura que presenta este proyecto. Se realizó entonces por el método

Dinámico Elástico Espectral el cual no presenta ninguna restricción para ser aplicado.

Las cargas muertas y vivas requeridas para el diseño de la edificación son asignadas según los requerimientos de la norma, a los elementos pertinentes (figura 11). [20]

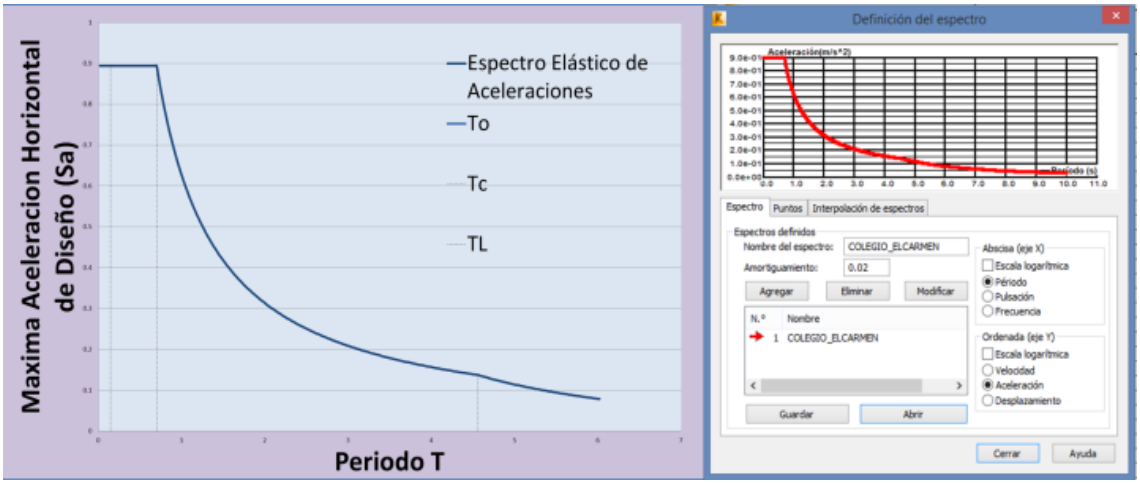
Figura 11. Cargas aplicadas en el modelo por piso.



La generación de las combinaciones de carga puede ser automáticamente generada según las normativas que presenta el software [21], agilizando de esta manera significativamente el proceso de diseño. Ya que el código de diseño colombiano no se encuentra dentro de las bases de datos incluidas en él, las combinaciones fueron generadas manualmente.

El método modal espectral implica el cálculo de los valores máximos de los desplazamientos y las aceleraciones en cada modo usando un espectro de diseño, el cual es construido en una hoja de cálculo a partir de las consideraciones determinadas en la norma, teniendo en cuenta las características del proyecto; ubicación, tipo de suelo y uso [20]. Dicho espectro es fácilmente importado al software de análisis y diseño, RSA, como se muestra en la figura 12, el cual como una de funciones permite transformar las fuerzas debidas al peso de la estructura en masas y aplicarlas a cada entrepiso, procedimiento necesario para llevar a cabo este tipo de análisis [21].

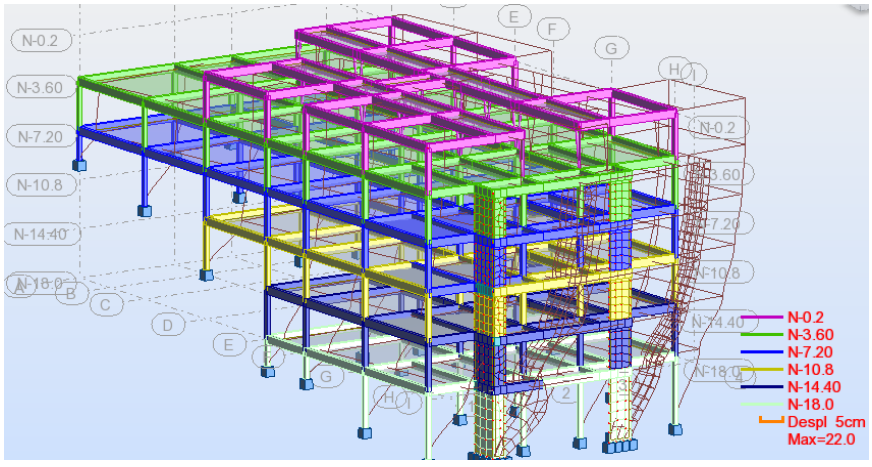
Figura 12. Espectro elástico de aceleraciones; hoja de cálculo (izquierda), importada en el software (derecha.)



Como resultado del análisis dinámico, se obtienen los desplazamientos, gráficamente (figura 13) y tabulados, los cuales son procesados por medio de una hoja de cálculo para el respectivo cálculo de derivas.

Para garantizar el cumplimiento de las derivas se requirió de un redimensionamiento de los elementos estructurales para el caso de elementos en concreto reforzado.

Figura 13. Representación gráfica de la respuesta dinámica de la edificación



3.3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA EN CONCRETO REFORZADO

Después de ejecutar el análisis completo de la estructura, el diseño del refuerzo del hormigón armado puede ser generado automáticamente por el software, basándose en las áreas teóricas de acero requeridas por los elementos [22]. Los criterios con los que se desarrolla el diseño dependen del código seleccionado para este fin, sin embargo, las opciones del refuerzo son modificables, permitiendo la definición de tamaños de barras a utilizar, así como los recubrimientos, tipos de ganchos, etc. Se tomó como base la l norma ACI 318.

Como resultado del diseño inicial algunas columnas y vigas no cumplían con las solicitaciones a los que la estructura se somete, por lo que otro redimensionamiento fue necesario.

Con los criterios de diseño ya definidos se llevan a cabo los cálculos. El software proporciona una visualización del refuerzo generado (figura 14), así como una tabla con especificaciones completas de las barras, diagrama de interacción para el caso de las columnas y muros (figura 15), y envolventes de momento y cortante para el caso de las vigas (figura 16).

Además de las los resultados de diseño el software genera memorias de cálculo generales y específicas para cada elemento, así como ofrece la posibilidad de la creación de planos y posibilita la vinculación de estos con software CAD.

Figura 14. Interfaz del software para la visualización del refuerzo generado.

Fuente:

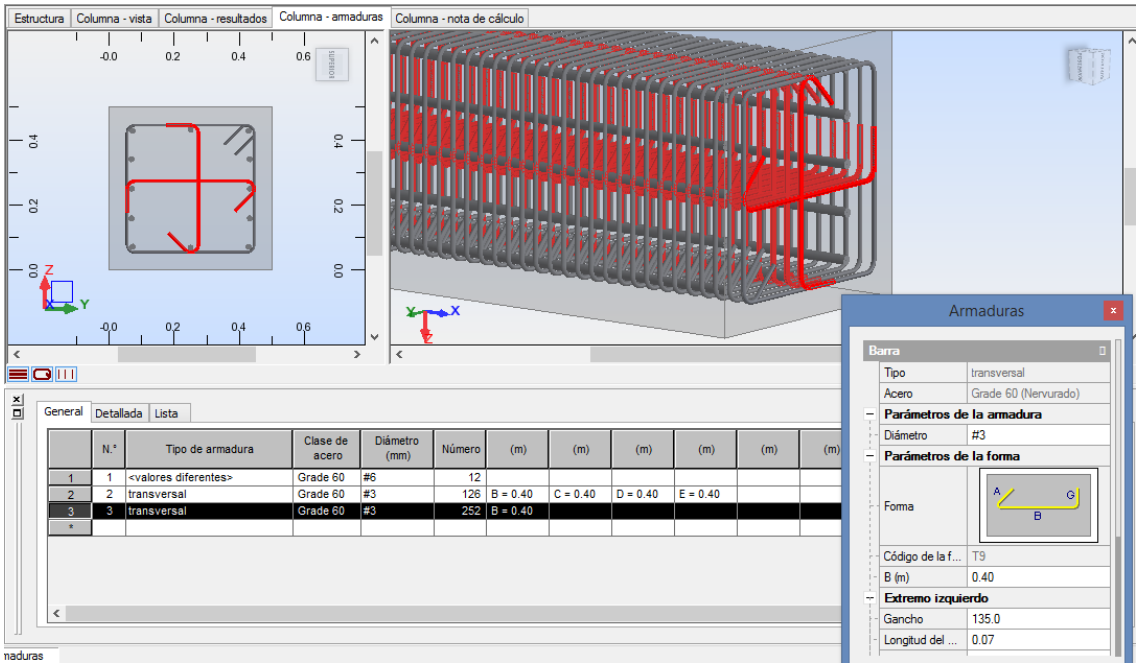


Figura 15. Interfaz para la visualización de resultados, diagrama de interacciones.

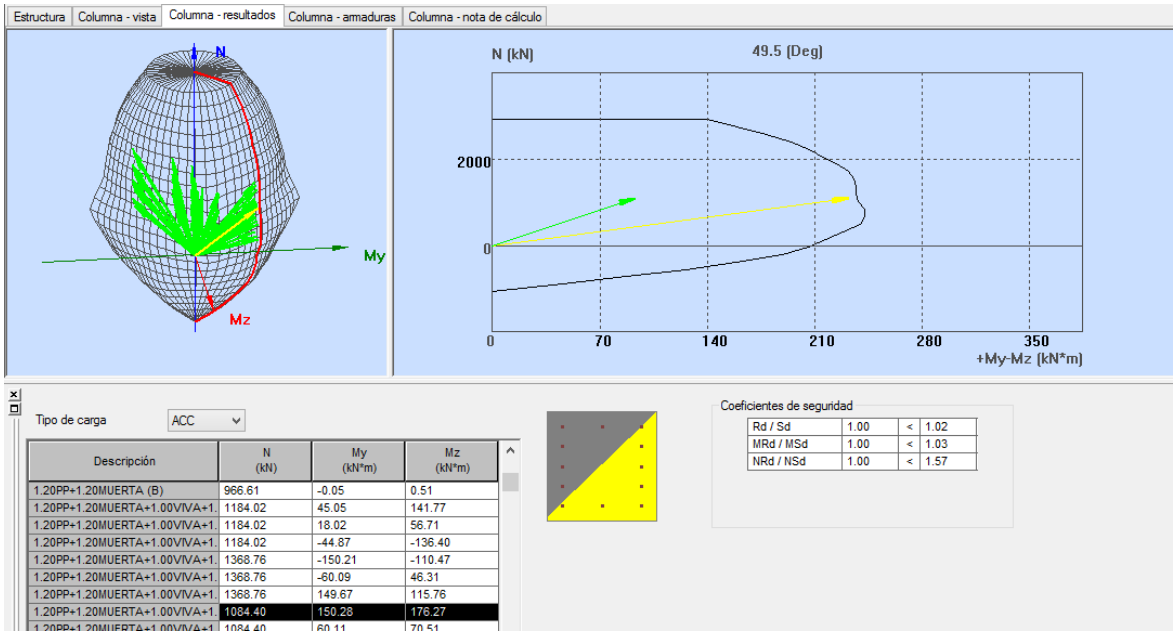
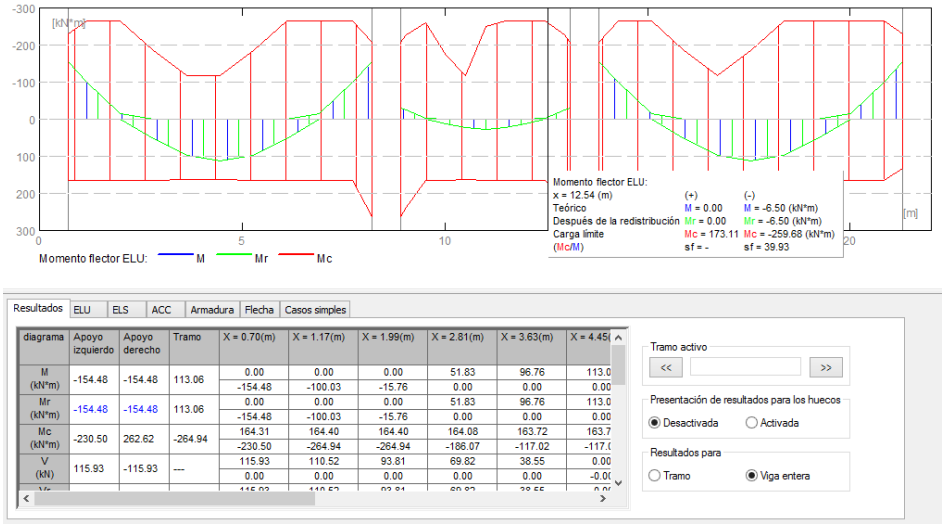


Figura 16. Interfaz para la visualización de resultados, envolventes de diseño.



3.3.1. Vinculación y actualización del modelo BIM

Finalizado el proceso del diseño de los elementos estructurales, el modelo de RSA se vincula nuevamente con el modelo inicial de Revit, de esta forma, las secciones de los elementos son actualizados y los refuerzos son generados (figura 17).

Debido al redimensionamiento de las columnas, la herramienta para la detección de interferencias y conflictos de Revit, advirtió acerca de inconsistencias del modelo arquitectónico inicial con el estructural actual (figura 18), por lo que se realizaron las modificaciones pertinentes, principalmente en la longitud de muros de mampostería.

Figura 17. Detalle del diseño de elementos de concreto reforzado en Revit, actualizado desde RSA.

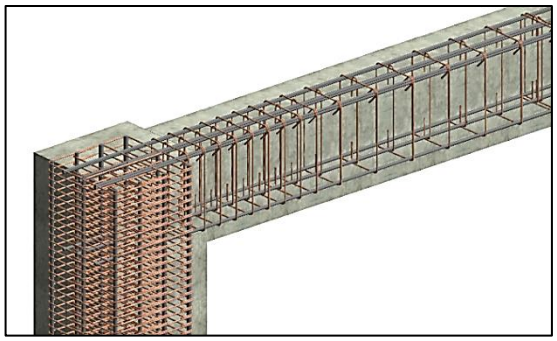
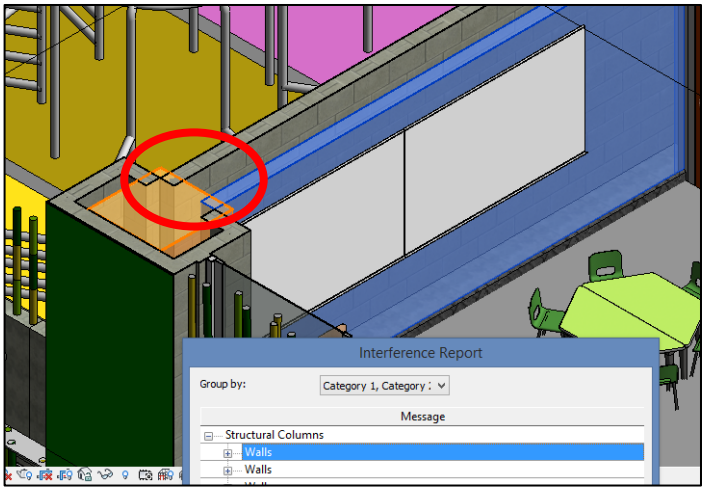


Figura 18. Visualización de interferencia detectada Revit.



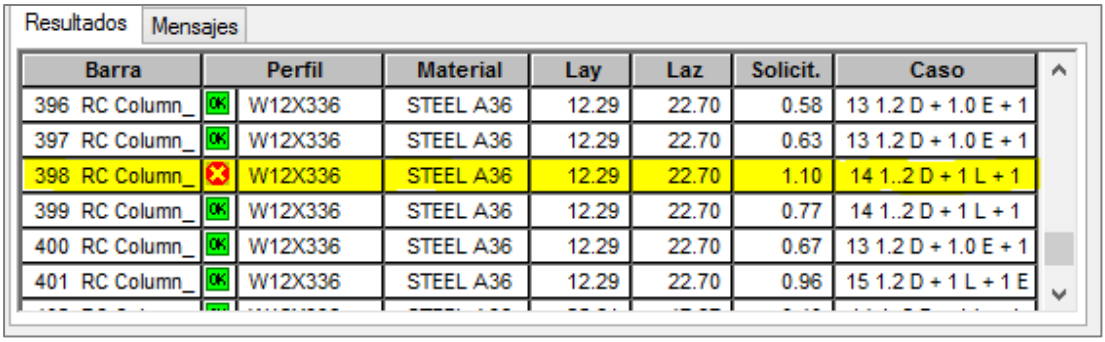
3.4. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA APORTICADA METÁLICA.

Teniendo los resultados del análisis estructural, a cada elemento, sean vigas o columnas, se le asignan los diferentes criterios diseño, como lo son los parámetros de pandeo para columnas y los desplazamientos limites en vigas y nudos.

El software realiza una verificación para el cumplimiento de los requisitos de cada elemento según el código de diseño seleccionado. Se trabajó con la norma AISC 360, código de diseño en el que basa el título F, referente a las estructuras metálicas, de la actual normativa colombiana.

Según los cálculos que se llevan a cabo, el programa determina que perfiles se encontraron sub-diseñados o sobre-diseñados según su solicitación. En la figura 19 se observan los resultados de las verificaciones que lleva a cabo el software. Gracias a esto mediante un proceso iterativo, se decide que perfiles utilizar.

Figura 19. Interfaz de resultados para la verificación de las barras.

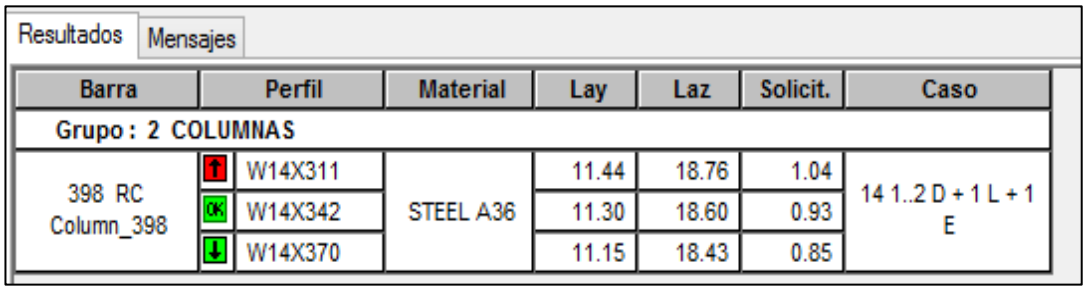


Resultados | Mensajes

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
396 RC Column_	W12X336	STEEL A36	12.29	22.70	0.58	13 1.2 D + 1.0 E + 1
397 RC Column_	W12X336	STEEL A36	12.29	22.70	0.63	13 1.2 D + 1.0 E + 1
398 RC Column_	W12X336	STEEL A36	12.29	22.70	1.10	14 1..2 D + 1 L + 1
399 RC Column_	W12X336	STEEL A36	12.29	22.70	0.77	14 1..2 D + 1 L + 1
400 RC Column_	W12X336	STEEL A36	12.29	22.70	0.67	13 1.2 D + 1.0 E + 1
401 RC Column_	W12X336	STEEL A36	12.29	22.70	0.96	15 1.2 D + 1 L + 1 E

El programa también permite la optimización grupos de barras proponiendo nuevos perfiles, teniendo como criterio de selección el caso más crítico. En la figura 20 se observa el perfil recomendado para la mayor optimización, así como el siguiente a él que cumple con las solicitaciones.

Figura 20. Interfaz de resultados para la optimización de grupos de barras.



Resultados | Mensajes

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
Grupo : 2 COLUMNAS						
398 RC Column_398	W14X311	STEEL A36	11.44	18.76	1.04	14 1..2 D + 1 L + 1 E
	W14X342		11.30	18.60	0.93	
	W14X370		11.15	18.43	0.85	

En adición al diseño de elementos de acero, el software también puede diseñar varios tipos de conexiones entre los miembros de estructura.

Actualmente, Robot Structural Analysis Professional puede diseñar conexiones de acero con el Eurocódigo (ENV 1993-1-1:1992 y EN 1993-1-8:2005), el código siderúrgica francesa CM66, y el código de la siderurgia polaca PN-90 / B -03.200. Códigos AISC no están disponibles, por esto, las conexiones fueron diseñadas bajo el código europeo.

Para las conexiones de los miembros del modelo se seleccionan los miembros apropiados, típicamente una columna y una viga, y se genera una nueva conexión

según la recomendación del software (figura 21). A continuación se especifican los parámetros de la conexión (figura 22), una vez hecho esto, se ejecutan los cálculos de diseño de conexión, entonces se revisan los resultados para verificar la capacidad o notificar la falla de la conexión.

Los dibujos de detalles y memorias de cálculos de los diseños de las conexiones, son generados automáticamente por el software a medida que estos se van actualizando, y pueden ser exportados a documentos Office y CAD.

Figura 21. Visualización de la conexión generada con RSA.

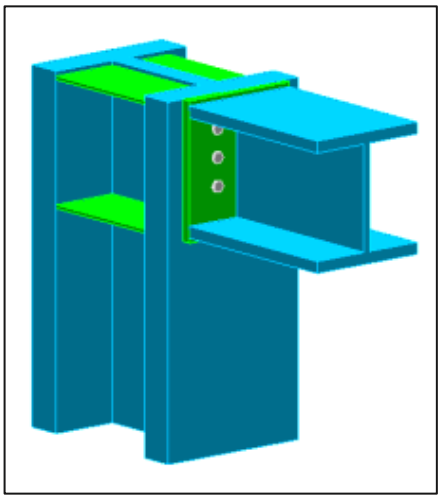
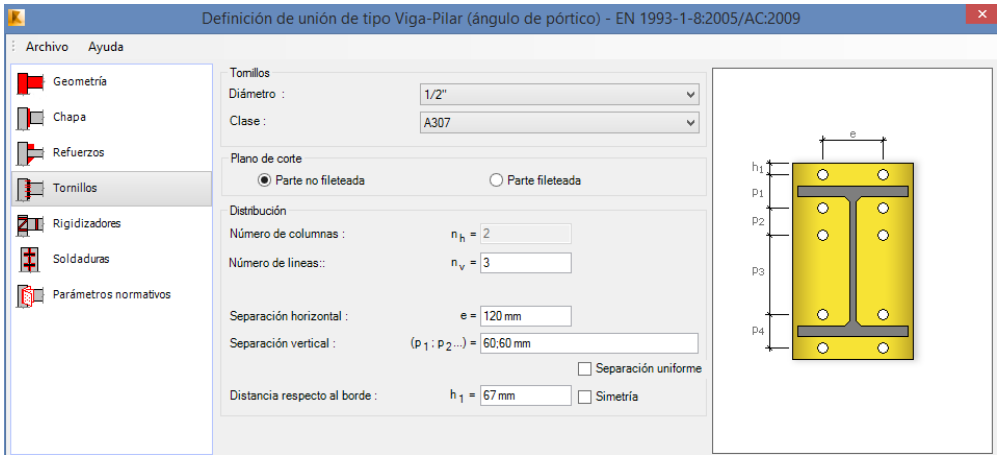


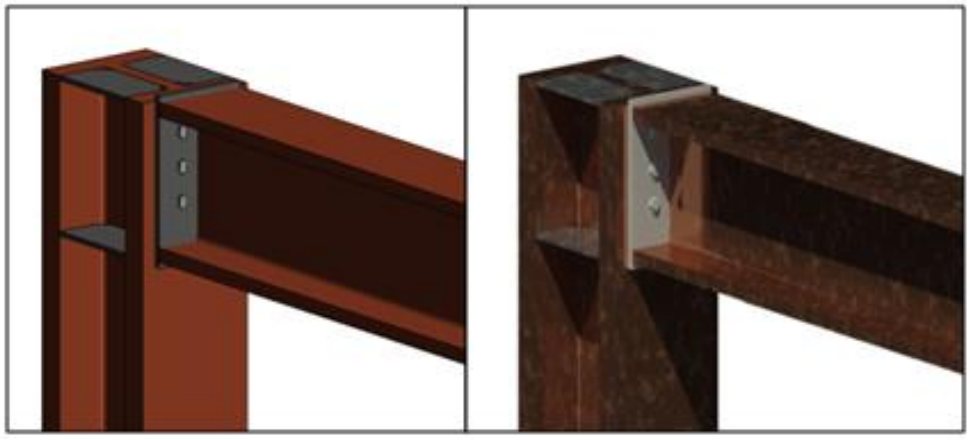
Figura 22. Interfaz para la creación de una conexión metálica.



3.4.1. Vinculación y actualización del modelo BIM

La vinculación de los resultados del diseño de la estructura metálica con el modelo inicial en Revit, es llevada a cabo de la misma forma que en el modelo en concreto reforzado. Las secciones de los elementos son actualizadas y las conexiones generadas (figura 23).

Figura 23. Detalle del diseño de elementos metálicos en Revit, actualizado desde RSA. Visualización realista (izquierda) y renderizada (derecha).



Con la vinculación al modelo arquitectónico la detección de interferencias es llevada a cabo y las correcciones pertinentes son realizadas.

3.5. PRESUPUESTOS; CANTIDADES Y ESTIMACIÓN DE COSTOS CON BIM

El modelo BIM permite determinar cantidades de materiales y vincularlas con herramientas de estimación de costos, de tal forma que se pueden realizar estas estimaciones al mismo tiempo en que se va diseñando un proyecto [23].

Dichas estimaciones se pueden desarrollar de dos formas: con ayuda de una hoja de cálculo, exportando la información desde el software BIM o vincular directamente las cantidades de los materiales extraídas del modelo con herramientas de estimación de costos que el mismo software nos provee.

Para nuestro caso de estudio, se optó por utilizar la herramienta que el mismo software nos ofrece, para ello es necesario introducir el valor unitario de los elementos estructurales que se utilizaron, por ejemplo, el valor del metro cubico de concreto o el valor del kilo de acero estructural. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 1 Presupuesto de elementos estructurales diseñados. Precios unitarios basados en Generador de Precios de la Construcción CYPE ingenieros.

ESTRUCTURA CONCRETO REFORZADO				
CONCRETO 3000 PSI				
REFERENCIA	UM	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
Basic Wall: ESP20	M3	30.26	$ 580,202.96	$ 17,556,941.57
Floor: TH14.5	M3	521.85	$ 125,411.76	$ 65,446,126.96
Floor: ESP15	M3	68.36	$ 142,596.01	$ 9,747,863.24
Rectangular(Concrete)-Beam: B R50x70	M3	455.54	$ 723,729.44	$ 329,687,709.10
Rectangular(Concrete)-Column: S R50x50	M3	75.6	$ 900,057.92	$ 68,044,378.75
Rectangular(Concrete)-Column: S R70x70	M3	49.4	$ 779,211.82	$ 38,493,063.91
TOTAL				$ 528,976,083.53

ACERO DE REFUERZO				
REFERENCIA	UM	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
10-Grade 420	KG	33870.15	$ 5,043.00	$ 170,807,166.45
16-Grade 420	KG	12477.46	$ 5,043.00	$ 62,923,830.78
19-Grade 420	KG	22735.14	$ 5,043.00	$ 114,653,311.02
22-Grade 420	KG	10355.22	$ 5,043.00	$ 52,221,374.46
25-Grade 420	KG	12608.19	$ 5,043.00	$ 63,583,102.17
TOTAL				$ 464,188,784.88

GRAN TOTAL ESTRUCTURA	$ 993,164,868.41

ESTRUCTURA METÁLICA				
CONCRETO 3000 PSI				
REFERENCIA	UM	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
Basic Wall: ESP20	M3	30.26	$ 580,202.96	$ 17,556,941.57
Floor: TH14.5	M3	521.85	$ 125,411.76	$ 65,446,126.96
Floor: ESP15	M3	68.36	$ 142,596.01	$ 9,747,863.24
TOTAL				$ 92,750,931.77

ACERO ESTRUCTURAL A-36				
REFERENCIA	UM	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL

HSRO-Round tubes-Column: HSS5X0.250	KG	1177.5	$ 3,191.09	$ 3,757,508.48
W-I-sections-Beam: W12X136	KG	317375.5	$ 3,191.09	$ 1,012,773,784.30
W-I-sections-Column: W14X730	KG	450197.5	$ 3,191.09	$ 1,436,620,740.28
TOTAL				$ 2,453,152,033.05

GRAN TOTAL ESTRUCTURA	$ 2,545,902,964.81

Según los resultados mostrados en la tabla anterior, el valor de la obra en estructura metálica es casi el triple que la opción en concreto reforzado. Por lo tanto la segunda alternativa se considera más viable.

4. DISCUSIÓN

BIM permite a los ingenieros estructurales diseñar, visualizar, simular, analizar, documentar y construir proyectos con mayor eficacia, exactitud y competitividad [15]. Por ello entre las ventajas más importantes de esta herramienta están la productividad, la coordinación y consistencia de información, así como la visualización y simulación de los diferentes problemas y situaciones que se presentan en los proyectos. El beneficio clave del BIM es su exacta representación geométrica de las partes de una construcción en un entorno integrado de datos [24].

Por otro lado, al momento de implementar el BIM, los ingenieros tienen retos que superar y riesgos que correr, ya que el estudio de una nueva tecnología conlleva a errores por desconocimiento de la herramienta con la que se trabaja.

4.1. ANÁLISIS, DISEÑO Y MODELADO.

El proceso del análisis puede ser altamente beneficiado con el uso de herramientas BIM, ya que el modelo implementado para este fin está basado directamente en la arquitectura más actualizada de la edificación, haciéndolo geométricamente más exacto. Sin embargo, la integración del BIM con herramientas de análisis y diseño externas no es completamente confiable. Distorsiones entre los modelos son un problema que retarda el proceso, estas pueden ser corregidas manualmente, pero como es bien sabido cualquier error que pueda pasar desapercibido supone un riesgo en la confiabilidad del diseño y en la estabilidad de la estructura [25]. Además de esto, El modelador tiene que ser consiente del tipo de información que se intercambia a través de los diferentes software, es claro que un modelo BIM posee numerosas entidades que no deben ser consideradas en el momento de un diseño estructural, partiendo de algo tan sencillo como los muros de mampostería.

El software Autodesk Robot incluye múltiples códigos, normas, e incluso formas, secciones y materiales de todo el mundo, 60 bases de datos de materiales y secciones, 70 códigos de diseño de múltiples países, 40 códigos internacionales del acero y 30 códigos de hormigón armado, además de ser multilingüe con 14 idiomas diferentes incluidos para reportes y plataformas de trabajo [26]. Esto permite a los diseñadores estructurales trabajar en las unidades e incluso códigos de construcción propios de cada país. Infortunadamente, la normativa colombiana no se encuentra incluida dentro de las bases de datos por lo que el proceso que se llevaría a cabo para la implementación del software en el diseño estructural demandaría de una adaptación de los criterios de diseño definidos por una base de datos existente.

La producción de planos de detalles en 2D es la labor más intensiva de la ingeniería estructural [14]. Este proceso es realizado automáticamente utilizando BIM. Detalles importantes como lo son el detalle del refuerzo, la numeración de las barras o las tablas de refuerzo son automáticamente generados, demandando mucho menos esfuerzo y tiempo. Por otra parte, el hecho de que el producto es un modelo tridimensional permite una mayor claridad sobre los refuerzos y detalles, e incluso interferencias que se pueden generar entre ellos.

Aunque los beneficios de la detección de problemas en el proceso de diseño son evidentes, el BIM requiere de mucho más esfuerzo en esta fase del proyecto, por lo que se requiere de más tiempo y podría llegar a retrasarse la construcción sin siquiera haber comenzado su materialización.

4.2. EDICIÓN, ACTUALIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN.

La completa visualización de los resultados de diseños, secciones y refuerzos requeridos permite determinar rápidamente elementos que fallan y aquellos que están sobredimensionados, brindando al diseñador criterios para la optimización de un diseño estructural. Teniendo en cuenta esto, cualquier modificación que sea requerida por interferencias o por optimización puede ser llevada a cabo mediante

procesos iterativos sin comprometer esfuerzo adicional en la actualización de modelos, generación de memorias de cálculos y detalles estructurales.

Una de las aplicaciones del BIM que realmente sobresale e incentiva la adopción de este método es la herramienta de detección de interferencias entre elementos [2]. A través de la integración de modelos en un solo archivo, el software tiene la capacidad de ejecutar un análisis y genera reportes de interferencias entre diferentes conjuntos de elementos. Esto implica un gran beneficio en la detección de problemas en la fase del diseño, muchos de los cuales mediante procedimientos tradicionales pasarían por desapercibidos.

Sin embargo, la actualización de los modelos entre las diferentes plataformas BIM no es tan precisa como se quisiera, algunos elementos vinculados presentan discrepancias entre sí, esto demanda la corrección manual de las inconsistencias para una mejor veracidad de los modelos.

4.3. PRODUCTIVIDAD

En las empresas de construcción, generalmente los integrantes de un equipo de trabajo no se encuentran en un solo sitio, o posiblemente se encuentren trabajando en más de un solo proyecto, esto traduce en mucha información que no está siendo recopilada en un solo lugar o no está siendo actualizada constantemente. Por ello, desde un punto de vista ingenieril, la contribución más notable de BIM es el poder incrementar la productividad [14]. Las nuevas tecnologías que el BIM nos provee, como lo son los servidores artificiales, facilitan estos procesos, haciendo posible tener toda la información en un solo disco duro virtual, desde el cual cada uno de los miembros del equipo que trabajen en un proyecto, puede ver, modificar e interactuar ilimitadamente con toda la información en tiempo real. Sin embargo, este constante intercambio abierto de la información hace que esta sea vulnerable, se requiere de una perfecta comunicación entre las partes, así como alta confiabilidad en los involucrados en el diseño.

4.4. COORDINACIÓN E INTEROPERABILIDAD.

La poca interacción entre los distintos ingenieros que pueden estar trabajando en un proyecto, genera inconsistencias que en ocasiones son absurdas, por ejemplo, tuberías de aguas sanitarias traspasando por los pisos de un edificio, o vigas descolgadas en un paso a desnivel. Dichos defectos, provocan que los ingenieros pierdan más tiempo y esfuerzo coordinando un proyecto, tiempo que podrían aprovechar en análisis o diseño de otro proyecto. El BIM contribuye a una mejor coordinación entre los resultados estructurales y el resto del diseño, incrementando la consistencia a lo largo del proyecto [27].

El BIM ofrece herramientas que permiten la interoperabilidad ente los arquitectos, estructurales e ingenieros MEP, manejando un proyecto de una manera más eficiente. Por ejemplo, trabajando con un solo modelo como base, los ingenieros MEP pueden dibujar sus sistemas alrededor del modelo estructural, mejorando la interacción. De este modo, y con ayuda de la herramienta de detección de conflictos, se reducen los errores verificando automáticamente colisiones o interferencias entre el diseño estructural y sistemas de tuberías o ductos de ventilación.

Utilizando BIM el tiempo que toma la coordinación del proyecto es drásticamente reducido, permitiendo a los ingenieros estructurales concentrarse totalmente en resolver los problemas meramente ingenieriles [28]. Sin embargo, ya que el BIM conlleva a un intercambio abierto de una gran cantidad de información a través de todas las partes involucradas en un proyecto, se requiere de un alto entrenamiento para todos y cada uno de los involucrados en este proceso, además de la generación de productos que sean confiables ya que cualquier error en estos generaría problemas a la totalidad del proyecto

Usando BIM no solo se permite que un equipo de trabajo coordine mejor, también permite tomar mejores decisiones de diseño basados en el modelo [29].

4.5. GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN.

Con BIM los inversores no se tendrán que resignar al mismo nivel que usando métodos tradicionales, a problemas en el desarrollo del proyecto, tales como sobrecostos, retrasos en el cronograma y problemas de calidad. Este método permite un flujo más rápido y completo de información al inversor para una mejor comprensión de lo que se requiere y el trabajo que desarrollan los diseñadores, reduciendo de esta manera posteriores requerimientos de cambios que impactarían la calidad del diseño, costo y tiempo [30].

La extracción automática de cantidades exacta que pueden ser usados para estimaciones del costo de construcción, hace posible mantener a todos los participantes consientes de las implicaciones de costo asociadas con un diseño dado antes de que progrese al nivel de detalle requerido para generar los documentos de construcción. Usando BIM es posible hacer decisiones de diseño más informadas relacionadas con el costo que con un sistema basado dibujos 2D [23]. Sin embargo, problemas en esta estimación pueden surgir y ser muy problemáticos cuando las definiciones de los componentes no fueron definidos correctamente, pero esto depende de la estrategia de trabajo adoptada por el modelador y la herramienta BIM utilizada. También hay que tener en cuenta que estos reportes precisos sobre las cantidades no son un sustituto de las estimaciones, ya que para lograr una estimación acertada de costos es necesaria una evaluación más allá de las cantidades, dadas las condiciones inusuales que puedan presentarse en cada proyecto [2]

5. CONCLUSIONES

La ventajas que pueden suponer el uso del BIM no son inmediatas, el cambio de metodología de diseño puede conllevar mucho tiempo y dificultad.

La constante evolución de la industria de la construcción demanda trabajos de mayor calidad, mayor rapidez, y a un menor costo. Teniendo en cuenta esto y los resultados que arrojan la investigación, se concluye que el BIM como método de modelado ofrece importantes beneficios, que pueden llegar a mejorar la eficiencia del proceso de diseño estructural de edificaciones.

Se concluye que los beneficios que presenta la implementación del BIM en el modelamiento, análisis y diseño estructural se resumen en: ahorro de tiempo, mejora de la calidad, coordinación e interoperabilidad.

Si bien algunas propiedades del software aun presentan errores de precisión al momento de las vinculaciones, es importante reconocer que con el rápido desarrollo de la tecnología, estos problemas serán seguramente corregidos en un futuro cercano.

La aplicación del BIM en la rama de la ingeniería estructural, si bien esta es una tarea que consume tiempo y conlleva muchas dificultades y obstáculos en el camino, es un cambio que al final va a ser gratificante.

En cuanto a una dificultad importante que se espera en la implementación del BIM en una empresa, es la necesidad de estar continuamente actualizando y adaptando la ejecución de procesos de diseño con la evolución continua del software.

Debido a que en el software trabajado, no se contaba con las normas de diseño locales, se hizo indispensable el arduo seguimiento de las recomendaciones de diseño que brinda el software.

Cuando se tienen grandes proyectos, con mucha información, es recomendable que la maquina física o hardware con el cual se trabaja sea el más óptimo, por ello es preciso que las empresas o entidades que estén dispuestas a abordar la metodología BIM, estén preparadas a invertir en materias primas de mejor calidad.

Ciertamente el uso del BIM en la ingeniería estructural, brinda múltiples beneficios y es por esto que esta nueva tecnología está llamada a reemplazar la ya rezagada tecnología CAD. Teniendo esto en mente, es posible que en un futuro se vea necesario emprender programas académicos en los que se trabaje con el uso del BIM.

Aunque se cuente con una herramienta poderosa que podría llegar a desconocer el papel del diseñador estructural, hay que tener en cuenta el ingeniero tiene que seguir haciendo parte de cada uno de los procesos de diseño, pues se necesitan de sus criterios y conocimientos en la verificación de resultados y toma de decisiones.

CITAS

[1] The power of BIM for structural engineering. Disponible: http://www.sicad-sa.com/acad2014 /structural_engineering_fy13_brochure_en.pdf [citado 24 de Abril de 2014]

[2] R. Lopes, “Advantages and Disadvantages of BIM Platforms on Construction Site”, [M.Sc. Thesis], Portugal, Universidad de Oporto, 2013.

[3] Autodesk Currículo Estructural 2013, Unidad 1: Introducción del BIM Estructural. Disponible: http://studentsdownload.autodesk.com/ef/27288/cdcoll/downloads/SESpanishCurriculum/Unit1/Unit1_WorkbookFigures/SE_Unit1_Spanish_Student.pdf [citado 24 de Abril de 2014]

[4] C. Robinson, “Structural BIM: discussion, case studies and latest developments: The Structural Design of Tall and Special Buildings”, Wiley Tal Journal, 2007.

[5] W. Kymmell, “Building information modeling: planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations”, McGraw Hill Professional, 2008, p. 270.

[6] McGraw Hill Construction, (2012) “The business value of BIM for infrastructure”. SmartMarket Report, pp. 1-60.

[7] Architect magazine. “Setting a standard.” Disponible en: www.architectmagazine.com/bim/setting-a-standard-in-building-information-modeling_o.aspx?dfpzone=home [citado el 18 de Junio del 2014].

[8] NBS. Is BIM becoming the norm for design teams? Disponible en: www.thenbs.com/topics/BIM/articles/is-bim-becoming-the-norm-for-design-teams.asp [citado 18 de Junio del 2014].

[9] R. See. SMART codes: Enabling BIM based Automated Code Compliance Checking, conferencia AEC-ST mayo de 2008.

[10] W.F. Ikerd, “The Importance of BIM in Structural Engineering”, Structure Magazine: Technology – Discussions and information in technology and its impact on structural engineering, October 2008, pp. 37–40.

[11] Salwa Al-Mannai. Challenges of Building Information Modeling In a Construction Company in Qatar [M.Sc. Thesis] Qatar, Universidad Carnegie Mellon, 2010.

[12] S. Azhar, “Building information modeling (BIM): trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry”, Leadership and Management in Engineering, vol. 11, No. 3, July 2011, pp. 241–252.

[13] A. K. Nielsen and S. Madsen, “Structural modelling and analysis using BIM tools”, [M.Sc. Thesis], Denmark, Aalborg University, 2010.

[14] R. Sacks and R. Barak, “Impact of three dimensional parametric modeling of buildings on productivity in structural engineering practice”, Automation in Construction, vol. 17, No. 4, May 2008, pp. 439–449.

[15] BIM for Infrastructure: A vehicle for business transformation. Disponible: http://images.autodesk.com/adsk/files/valueofBIM_wp__en_FINAL.pdf [citado 24 de Abril de 2014]

[16] C.S. Shim, N.R. Yun and H.H. Song, “Application of 3D bridge information modesk.com/ef/2eling to design and construction of bridges”, Procedia Engineering, vol. 14, 2011, pp. 95–99.

[17] Lucko, G. Said, H. Bouferguene, A. Construction spatial modeling and scheduling with three dimensional singularity functions. Automation in Construction 2014, p. 132 – 143.

[18] O. Sanchez, H. Porras, y J Galvis. “Metodología para la elaboración de modelos del proceso constructivo 5d con tecnologías Building Information Modeling”, p.15.

[19] Autodesk. “Maintaining BIM integrity in the structural engineering office” Autodesk 2007, p. 1-8.

[20] Comité AIS 100, NSR-10: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010.

[21] Autodesk. “Autodesk Robot Structural Analysis. Metric getting started guide” Autodesk 2010, p. 188.

[22] B. Johnson. “Structural Design Using Autodesk Structural Analysis”. Autodesk University 2009, p. 12.

[23] R. Saldias. “Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM”. [tesis de grado]. Chile, Universidad de Chile, 2010.

[24] CRC Construction Innovation, 2007. Adopting BIM for Facilities Management: Solutions for Managing the Sydney Opera House, Cooperative Research Center for Construction Innovation, Brisbane, Australia.

[25] AECbytes. “Integration of BIM with Structural Analysis Software: Some Cautionary Notes”. Disponible en: www.aecbytes.com/tipsandtricks/2007/issue24-structural-analysis.html [citado el 10 de junio del 2014]

[26] ITC Instituto Tecnológico del Cantábrico: Formación y Gestión de Proyectos. “6 razones por las que Autodesk Robot es el mejor programa de cálculo, diseño y simulación de estructuras.” Disponible en:

itcformacionyconsultoria.com/2013/12/23/ventajas-autodesk-robot/ [citado el 1 de julio del 2014]

[27] B. Becerik-Gerber. “Building Information Modeling in Architecture, Engineering and Construction: Emerging Research Directions and Trends”. Journal of Professional issues in engineering education and practice. Julio 2010, pp. 139-147.

[28] B. Hardin. “BIM and construction management: proven tools, methods, and workflows”. Sybex, Mayo 2009 p. 360.

[29] Schinler and E. Nelson, “BIM and the structural engineering community”, Structure Magazine, December 2008, p. 10-12.

[30] C&S Companies. “BIM Training”. Disponible en http://www.cscos.com/technologies/bim/bim_training [Citado 12 de Junio de 2014]

BIBLIOGRAFÍA

- AZHAR S., “Building information modeling (BIM): trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry”, Leadership and Management in Engineering, vol. 11, No. 3, July 2011, pp. 241–252.

- BECERIK-GERBER B., “Building Information Modeling in Architecture, Engineering and Construction: Emerging Research Directions and Trends”. Journal of Professional issues in engineering education and practice. Julio 2010, pp. 139-147

- JOHNSON B., “Structural Design Using Autodesk Structural Analysis”. Autodesk University 2009, p. 12.

- KYMMELL W., “Building information modeling: planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations”, McGraw Hill Professional, 2008, p. 270.

- LOPES R., “Advantages and Disadvantages of BIM Platforms on Construction Site”, [M.Sc. Thesis], Portugal, Universidad de Oporto, 2013.

- IKERD W. F., “The Importance of BIM in Structural Engineering”, Structure Magazine: Technology – Discussions and information in technology and its impact on structural engineering, October 2008, pp. 37–40.

- ROBINSON C., “Structural BIM: discussion, case studies and latest developments: The Structural Design of Tall and Special Buildings”, Wiley Tal Journal, 2007.