

**GUÍA PARA EL DESARROLLO DE MODELOS BIM A PARTIR DE DISEÑOS
BIDIMENSIONALES**

JOSÉ DANIEL LEÓN BECERRA

JUAN DIEGO MANTILLA JONES

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS**

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2016

**GUÍA PARA EL DESARROLLO DE MODELOS BIM A PARTIR DE DISEÑOS
BIDIMENSIONALES**

JOSÉ DANIEL LEÓN BECERRA

JUAN DIEGO MANTILLA JONES

**Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Civil**

**Director
Hernán Porras Díaz
Ingeniero Civil M.Sc. Ph.D.
Universidad Industrial de Santander**

**Subdirector
Omar Giovanni Sánchez Rivera
Ingeniero Civil.
Universidad Industrial de Santander**

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

2016

DEDICATORIA

El proyecto realizado va dedicado a quienes siempre estuvieron para nosotros en todo momento a lo largo de nuestra vida universitaria, en especial nuestras familias pues el trabajo realizado y quienes somos es el resultado de sus esfuerzos, también a cada uno de nuestros amigos con quienes a lo largo de los años aprendimos tanto. A todos ellos les estaremos muy agradecidos siempre.

José Daniel León Becerra

Juan Diego Mantilla Jones

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales al grupo de investigación “Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas” de la Universidad Industrial de Santander por permitirnos trabajar en sus instalaciones, sin esta ayuda hubiera sido imposible la realización de este proyecto y por proporcionarnos el material necesario para la realización del modelo del proyecto “Centro de Farmacodependientes de Barrancabermeja”

José Daniel León Becerra

Juan Diego Mantilla Jones

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	16
1. BUILDING INFORMATION MODELING.....	19
2. PROPIEDADES DEL SOFTWARE.....	21
3. METODOLOGÍA	22
3.1 PROCESO CONSTRUCTIVO DIGITAL.....	22
3.1.1 Modelado	22
3.2 PROPUESTA METODOLÓGICA.....	26
4. DESARROLLO.....	31
4.1 PROYECTO DE APLICACIÓN	31
4.1.1 Modelado del proyecto de aplicación.....	31
4.1.2 Recopilación diseños finales.....	32
4.1.3 Modelado inicial.....	32
4.1.4 Creación de familias	34
4.1.5 Modelamiento estructural.....	36
4.1.5.1 Refuerzo estructural.....	38
4.1.6 Modelamiento Arquitectónico.....	39

4.1.7 Modelamiento MEP	42
4.1.8 Renders, planos y exportación.....	43
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES	45
5.1 USO DE LA GUÍA	45
5.2 USO DE AUTODESK REVIT	48
5.3 ERRORES DE DISEÑO E INTERFERENCIAS CONSTRUCTIVAS	51
CITAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
BIBLIOGRAFÍA.....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Porcentajes de años de implementación de BIM.....	20
Figura 2. Diagrama del orden lógico de modelado estructural	25
Figura 3. Diagrama de segunda etapa de proceso de modelado.	26
Figura 4. Diagrama de flujo de la guía.....	27
Figura 5. Plano estructural final edificio administración.....	33
Figura 6. Creación de familias.....	35
Figura 7. Familia de puerta doble hoja.	36
Figura 8. Ajuste de altura de muro estructural	37
Figura 9. Acero expuesto al medio ambiente	38
Figura 10. Refuerzo estructural de elementos estructurales.	39
Figura 11. Trazado de muro arquitectónico.	40
Figura 12. Incongruencia en diseño arquitectónico	41
Figura 13. Interferencia entre diseño estructural y sistema de desagüe.	42
Figura 14. Modelo de diseño hidrosanitarios.....	43

Figura 15. Render CRF-Barrancabermeja	43
Figura 16. Cantidades de concreto de columnas estructurales.	44
Figura 17. Modelo tridimensional final	46
Figura 18. Errores en el diseño estructural	51

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro comparativo	47
Tabla 2. Cantidades de los elementos estructurales.....	49
Tabla 3. Tabla de errores de diseño	53

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Manual aprendizaje Revit

NOTA: LOS ANEXOS CORRESPONDIENTES A ESTE PROYECTO PUEDEN CONSULTARSE EN SALA BASE DE DATOS DE LA BIBLIOTECA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

RESUMEN

TÍTULO:

GUÍA PARA EL DESARROLLO DE MODELOS BIM A PARTIR DE DISEÑOS BIDIMENSIONALES*

AUTORES:

JOSÉ DANIEL LEÓN BECERRA

JUAN DIEGO MANTILLA JONES**

PALABRAS CLAVES:

Tecnología BIM, modelado, guía, implementación, optimización.

DESCRIPCIÓN:

Actualmente las herramientas BIM están revolucionando el modo en que se abordan las construcciones civiles y están posicionándose cada vez más a nivel mundial. El trabajo consistió en el modelado mediante el uso de la herramienta AutoDesk Revit del proyecto “Centro de Rehabilitación de Fármaco Dependientes de Barrancabermeja” tomando como base los diseños y planos bidimensionales los cuales fueron suministrados por el grupo de investigación “Modelado y Gestión de la Construcción” de la Universidad Industrial de Santander. El proceso de elaboración de este modelo fue utilizado como ejemplo para la creación de una guía que facilitará la implementación de dicha herramienta a proyectos de mediana escala de edificaciones en altura, donde no solo se mostrarán las herramientas pertinentes para el modelado de cada fase constructiva (arquitectónica, estructural, entre otras), sino que se dará un procedimiento a seguir, el cual permitirá abordar de mejor manera proyectos de escala similar a la del proyecto tomado como referencia, así como se darán a conocer y se explicarán los distintos beneficios que se encuentran dentro de la herramienta utilizada, como lo es la facilidad en los cálculos de cantidades de obra y la identificación de errores en los diseños o interferencias constructivas, lo cual permite la optimización del tiempo y recursos en el proceso constructivo.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Hernán Porras Díaz, Ingeniero Civil M.Sc. Ph.D. Codirector: Omar Giovanni Sánchez Rivera, Ingeniero Civil.

ABSTRACT

TITLE:

GUIDE FOR DEVELOPMENT OF BIM MODELS FROM BIDIMENSIONAL DESIGNS*

AUTHORS:

JOSÉ DANIEL LEÓN BECERRA

JUAN DIEGO MANTILLA JONES**

KEYWORDS:

BIM technology, modeling, guide, implementation, optimization.

DESCRIPTION:

Currently BIM (Building Information Modeling) tools are revolutionizing the way civil constructions are addressed and are increasingly positioning itself globally. The assignment consisted of modeling the project "Rehabilitation Center of Drug Dependents of Barrancabermeja" using AutoDesk® Revit® 2016, tool based on two-dimensional designs and drawings provided by the investigation group "Modelado y Gestión de la Construcción" in collaboration with the area of "Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas" of the Civil Engineering school of the Industrial University of Santander. The process of elaboration of this model was used as an example for the creation of a guide to facilitate the implementation of BIM modelling to medium-scale projects of high-rise buildings, where the relevant tools for modeling each construction phase like architectural, structural, MEP, etc. will be shown, with a procedure to follow, which will allow to address projects with similar scale to the project "Rehabilitation Center of Drug Dependents of Barrancabermeja" taken as reference. In the project will be announce and explain various benefits found within the tool used, as is the ease to calculate construction amounts and indentificate design mistakes or constructive interference, which allows optimization of time and economic resources in the construction process, helping engineering's and constructors making better projects.

* Bachelor thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Hernán Porras Díaz, Ingeniero Civil M.Sc. Ph.D. Codirector: Omar Giovanni Sánchez Rivera, Ingeniero Civil.

INTRODUCCIÓN

Los procesos constructivos de obras civiles tienen distintos tipos de complicaciones en su desarrollo, como lo son: situaciones donde hay trabajadores sin labores para realizar, desperdicio en los materiales de obra, diseños erróneos encontrados durante el proceso, corrupción o actuar de manera fraudulenta por parte de personas relacionadas con la obra; dichas complicaciones se ven traducidas en pérdidas de tipo económico para la constructora, afectando el tiempo en que se lleva a cabo el proceso constructivo. Los motivos por los cuales se generan los atrasos en el proceso constructivo son diversos, pero los más comunes que se presentan en el medio son: la imprecisión en los cálculos de materiales de obra junto con la mala planeación por parte del personal que está a cargo del funcionamiento y la planeación del proceso constructivo, que por lo general se encuentra liderado por el director de obra [1], lo que produce una incorrecta administración del tiempo en cada fase del proceso. Si se contara con una correcta planeación y unos cálculos con mínimo margen de error es probable que se reduzcan los casos de corrupción pues al tener detalladamente presupuestados las actividades y materiales, no habría justificación de generar gastos adicionales de manera extraordinaria.

En la actualidad, las empresas dedicadas a la construcción de obras civiles a nivel mundial están usando los diferentes beneficios que la tecnología les brinda, para facilitar cada vez más su tarea, y es allí donde se encuentra la tecnología BIM, la cual les proporciona diferentes herramientas para el modelado, diseño y planeación de proyectos de ingeniería. Esta tecnología, que obtiene su nombre por sus siglas en inglés, Building Information Modeling, se ha posicionado como número uno en el medio de las empresas y firmas constructoras de obras civiles alrededor del mundo y está siendo demandada como requisito por parte los clientes de las constructoras

en países como Canadá, Finlandia, Nueva Zelanda y Estados Unidos [2]. BIM actualmente proporciona instrumentos mediante los cuales se pueden obtener modelos virtuales de los proyectos, lo cual es útil para realizar una planeación y cálculos de obra más precisos, generando proyectos más sostenibles que los que no usan tecnologías BIM [3], debido a que produce un mejor aprovechamiento del tiempo de obra y de los recursos que se tengan para la ejecución de esta.

A nivel mundial el uso de la tecnología BIM lleva años de implementación en proyectos de ingeniería en países como Estados Unidos, China y Reino Unido, donde más del 50% de sus contratistas llevan entre 3-11 años implementándolas [4], lo cual los posiciona como los líderes y pioneros en la implementación de BIM a nivel internacional. La realidad de BIM en nuestro continente, y sobre todo en Colombia, es muy desfavorable debido a la poca aplicación, esto se debe a la cultura predominante que no permite cambiar el paradigma de hacer diseños y desarrollo de los proyectos de manera distinta a como se hace tradicionalmente y a la falta de compromiso, innovación e investigación por parte de los contratistas [5,6]; el único país en América Latina que tiene una considerable aplicación de tecnologías BIM es Brasil, el cual se ubica en el listado de países que llevan un tiempo considerado implementando el uso de softwares BIM.

Debido a la problemática del bajo nivel de implementación de BIM en Colombia y América Latina, este proyecto busca la creación de una guía mediante la cual se pueda facilitar el desarrollo de proyectos en altura mediante dichas tecnologías, enfocada hacia usuarios con cualquier nivel de experiencia en el uso de tecnologías BIM, a través de la aplicación del software AutoDesk Revit, con el cual se realizará el modelo del proyecto “Centro de Fármaco Dependientes de Barrancabermeja”, que será el caso de estudio para realizar dicha guía, donde también se mostrarán los distintos beneficios que tiene el uso de la tecnología mencionada. Mediante esta

guía se busca dar un aporte a la implementación de la tecnología BIM en proyectos de obra civiles, pues es la dirección en que se encuentra enfocada la construcción en el futuro.

1. BUILDING INFORMATION MODELING

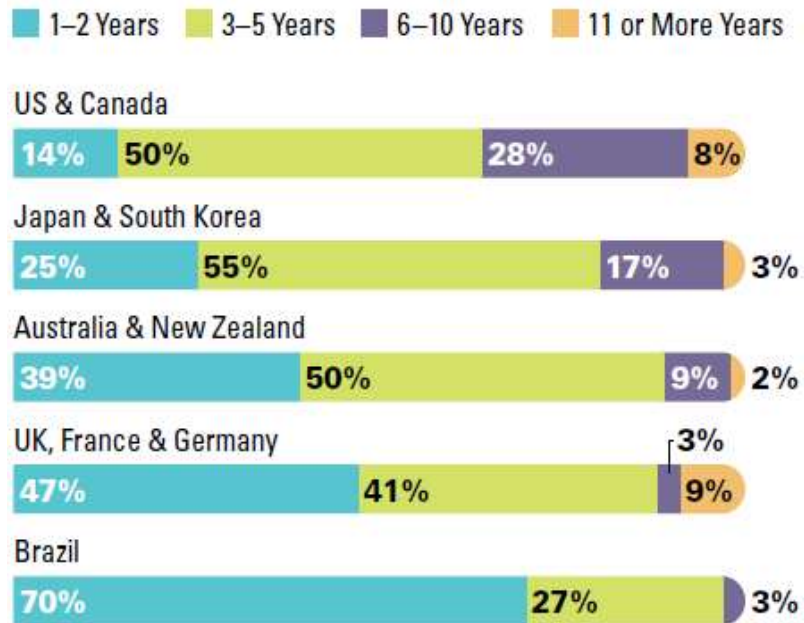
Más conocido como BIM, por ser el acrónimo de Building Information Modeling, es la tecnología que las empresas constructoras actualmente usan en el diseño y modelado de proyectos ingenieriles [7, 8], se encuentra como número uno a nivel internacional, utilizada por las grandes firmas constructoras y la de mayor acogida en las nuevas y pequeñas empresas [4, 7, 8], esto se debe a que BIM proporciona modelos virtuales de las edificaciones, lo que permite la optimización en el tiempo de obra mediante la identificación de errores tanto en el diseño, como constructivos, directamente desde el software a partir de los modelos, y brinda facilidades para la elaboración de presupuestos más minuciosos y verídicos [1, 5, 6, 8, 9, 10].

En los modelos elaborados mediante la tecnología BIM, cada uno de sus elementos tiene información necesaria para conocer las especificaciones del material y permite facilitar el cálculo de cantidades de obra, al igual que facilita una vista previa global del proyecto, ya que en dichos modelos todos los planos (estructural, arquitectónico, redes hidráulica, eléctricas, entre otros) están en un mismo lugar, facilitando la identificación de errores en los diseños, al ver por ejemplo la intersección de una tubería con una viga. Por lo anterior, se convierte en una herramienta eficiente en la etapa de planificación de un proyecto.

Actualmente hay una gran inversión por parte de los contratistas, la cual está enfocada en los procesos colaborativos internos, en lo que respecta a entrenamiento del personal en BIM y software de este tipo. Según estudios, la inversión tiene una respuesta positiva en $\frac{3}{4}$ de las empresas contratistas que

realizan este tipo de gastos, en donde influye qué tan implementando ha estado BIM en cada empresa [4].

Figura 1. Porcentajes de años de implementación de BIM en los países donde su uso es más notable



Fuente: McGraw Hill Construction. (2014). “The Business Value of BIM for construction in major global markets”

BIM es una de las tecnologías más influyentes en los proyectos de ingeniería civil desde hace más de 10 años, la creciente implementación de BIM en las regiones, en donde ésta sólo era usada y desarrollada por una baja porción de empresas, indica la importancia del uso de estas herramientas para el futuro, a tal punto de convertirse como elemento indispensable en obras de construcción. [4]

2. PROPIEDADES DEL SOFTWARE

2.1 AUTODESK REVIT 2016

Autodesk Revit es la herramienta BIM líder a nivel mundial, principalmente debido a sus distintas aplicaciones especialmente creadas para el modelado arquitectónico, estructural y de redes de tipos eléctricas, hidráulicas y mecánicas. Revit fue adquirido por Autodesk en el año 2002 a una empresa que estaba iniciando y cuyo objetivo era relacionar todas las vistas en un solo modelo, lo que la hace una plataforma separada de lo que es en concepto AutoCAD, además de diferir en su código y tipo de archivo. Los elementos que componen un modelo en este software tienen sus respectivas propiedades como el tipo de material, su color específico y uso, entre otros, que pueden ser modelados desde un plano bidimensional.

3. METODOLOGÍA

La metodología para la elaboración de modelos BIM a partir de planos bidimensionales, consta de dos secciones: en una primera etapa se encuentra el proceso de modelado digital que es donde se realiza el modelo 3D en Revit del proyecto y en la segunda etapa de formulación de metodología para modelado que es donde a partir de la experiencia de modelado se redacta el manual y se estructura la mejor manera de realizar un modelo 3D, de tal manera que se aprovechen todos los beneficios del software, obteniendo finalmente un método para modelado en Revit y el manual.

3.1 PROCESO CONSTRUCTIVO DIGITAL

3.1.1 Modelado. Este es un proceso que a lo largo de los años ha venido cambiando y evolucionando para proyectos de ingeniería, es una técnica que cada vez se vuelve mucho más eficiente y automatizada debido a las nuevas tecnologías.

En primera instancia el diseño y modelado era limitado a papel o papiros realizados a mano; sin embargo, con la llegada de la segunda mitad del siglo 20, arquitectos e ingenieros dejaron a un lado los métodos clásicos de dibujo y cálculo, abriendo paso a los sistemas de diseño CAD (“Computer-aided design”, en español “Diseño asistido por computadora”). Lo que no cambió con el pasar del tiempo fue que cada plano se tomara de manera separada de los demás, catalogándose por su rama de diseño, de tal manera que, si se debe revisar la compatibilidad y viabilidad de los planos, y se encuentra que se debe hacer alguna modificación, implica el cambio de todos los planos de las ramas, es decir, es inevitable una colisión interdisciplinaria en la consecución del modelo final de un proyecto.

En la actualidad se está presentando la transición del CAD al BIM, en cuanto a que se toma como base la tecnología CAD 2D para posteriormente pasar a modelar en 3D mediante BIM, de tal manera que el inconveniente de la colisión interdisciplinaria se pueda reducir, y con estos modelos aumentar el grado de detalle de cada elemento del plano agregándole características físicas y funcionales a cada uno de ellos, lo cual hace más eficiente la elaboración y construcción de un proyecto de ingeniería.

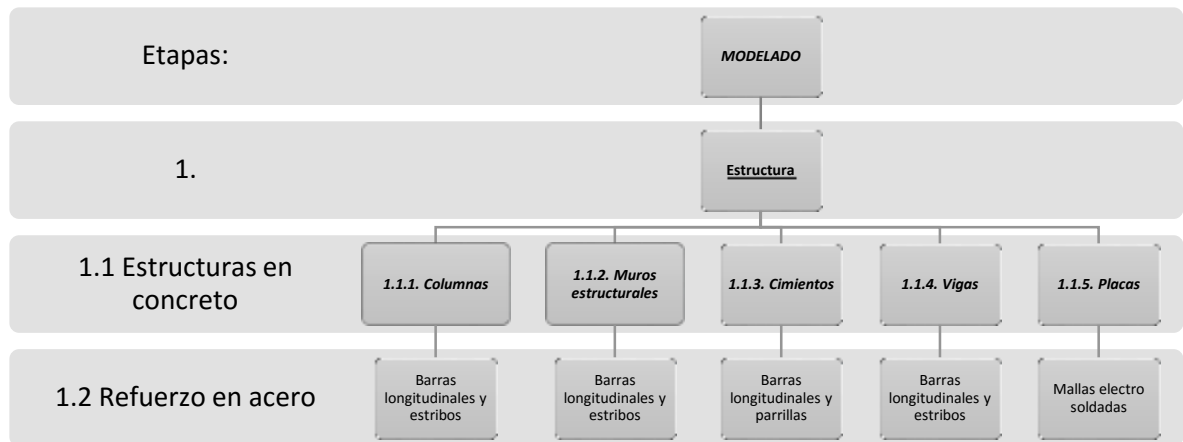
Los modelos 3D generados mediante la herramienta BIM Autodesk Revit están compuestos por diferentes elementos, a diferencia de los modelos tradicionales, los cuales están compuestos por líneas y figuras geométricas, cada uno de estos elementos pueden ser parametrizados según sea solicitado, y pueden ser asignados diferentes tipos de propiedades dentro de los que se destacan:

- Medidas: El usuario tiene una ventana de propiedades mediante la cual puede modificar las dimensiones necesarias para modelar cada uno de estos según sea solicitado.
 - Medidas con fórmulas: Es una de las maneras de parametrizar programando medidas que dependen de otras, generalmente son usadas en la creación de familias de elementos para optimizar el dimensionamiento.
- Tipo de material: En la ventana de propiedades hay una opción para tipo de material en donde se despliega un menú con los distintos materiales que hay por tipo, es decir, se encuentran organizados según el elemento a modelar, por ejemplo, al modelarse una puerta, se desplegaron distintos tipos de madera y otros materiales que generalmente componen una puerta.

Según lo anterior, cada elemento que compone un modelo puede ser modificado según la necesidad del usuario, cabe añadir que también puede ser agregada información que se considere pertinente a los elementos, como su costo o quien lo suministra, ya que mediante esta información es posible llegar a calcular distintas cantidades de los materiales que son requeridas para la ejecución de una obra civil, así como medidas de volúmenes o áreas que sean necesarias determinar.

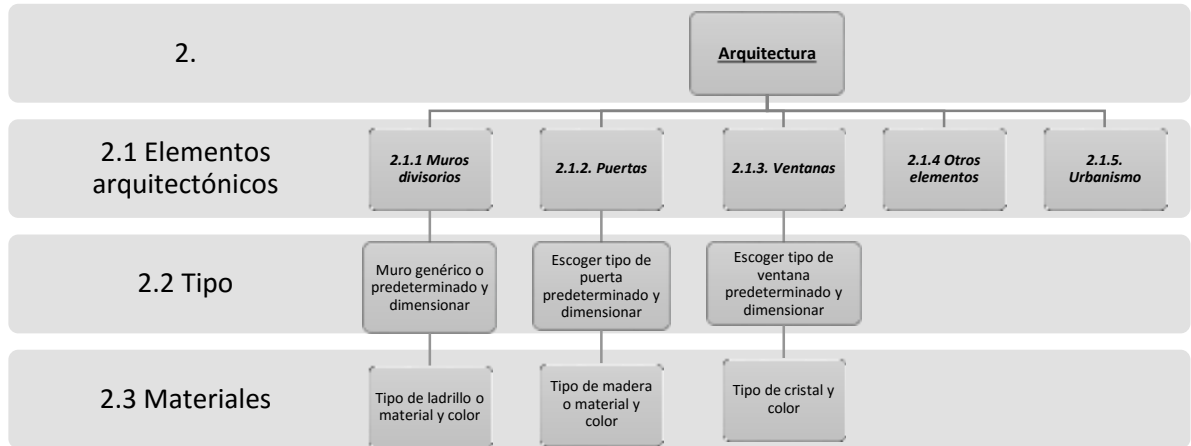
Para la realización de un modelo mediante el software Autodesk Revit se puede deducir un orden lógico, mediante el cual se puede tener una guía de la manera de abordar un proyecto de una edificación. En primera instancia como especifica la Figura 2, se debe abordar la parte estructural pues teniendo toda la estructura, poseemos la forma básica de la edificación. Para modelar esta etapa estructural lo más aconsejable es empezar por las estructuras que van a variar de altura, es decir, que están a lo largo de la edificación como las columnas y muros estructurales, y posterior a esto seguir con el orden indicado en el diagrama de la Figura 2.

Figura 2. Diagrama del orden lógico sugerido para proceso de modelado estructural de una edificación.



Cuando se concluye la primera etapa de la parte estructural, se aborda la segunda etapa la cual corresponde a la parte arquitectónica, que para su realización también tiene un orden lógico como se puede ver en la Figura 3. En el recuadro de “Elementos arquitectónicos” donde se menciona “Otros elementos”, se refiere a aquellos detalles y acabados que tienen los planos arquitectónicos, como camas, mesas, sillas, etc. En la parte que corresponde a “Urbanismo” se refiere a lo que es el entorno del proyecto, ya sean árboles, vías, andenes, entre otros.

Figura 3. Diagrama de segunda etapa de proceso de modelado.



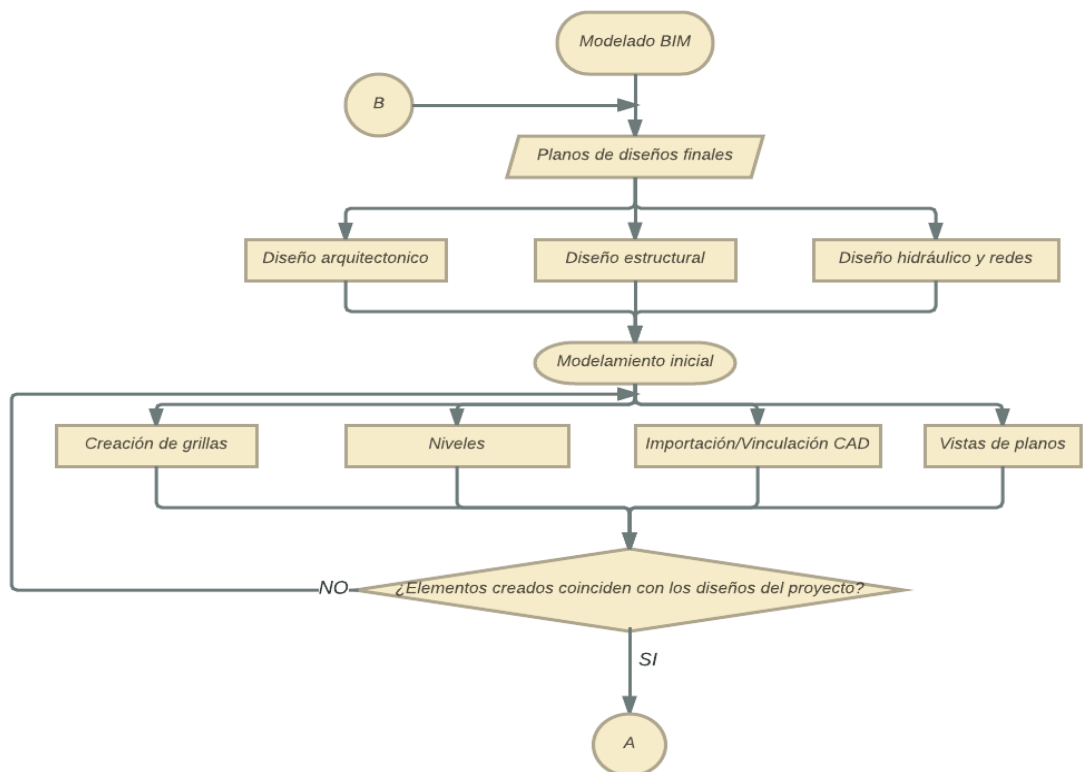
Como última etapa está el modelado de redes, más conocido como MEP, que por sus siglas en inglés es un acrónimo de “soporte mecánico, eléctrico y plomería”, y es donde Autodesk Revit brinda distintas herramientas de diseño y modelado de este tipo de elementos, ya sean luces, tuberías, entre otros, y para cada uno de este tipo de elementos también se encuentran opciones para agregar información del tipo de función que realizan y su respectivo material.

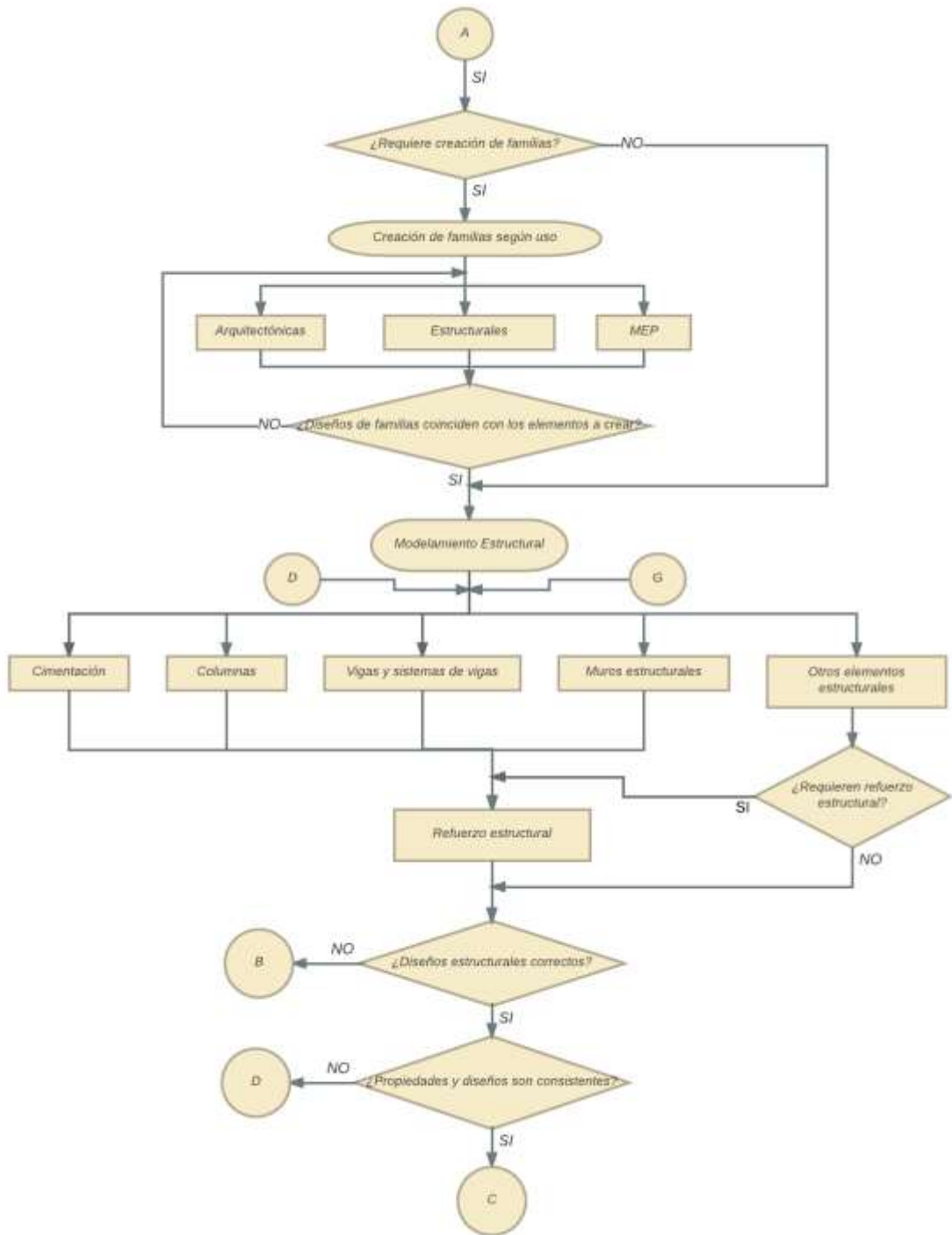
3.2 PROPUESTA METODOLÓGICA

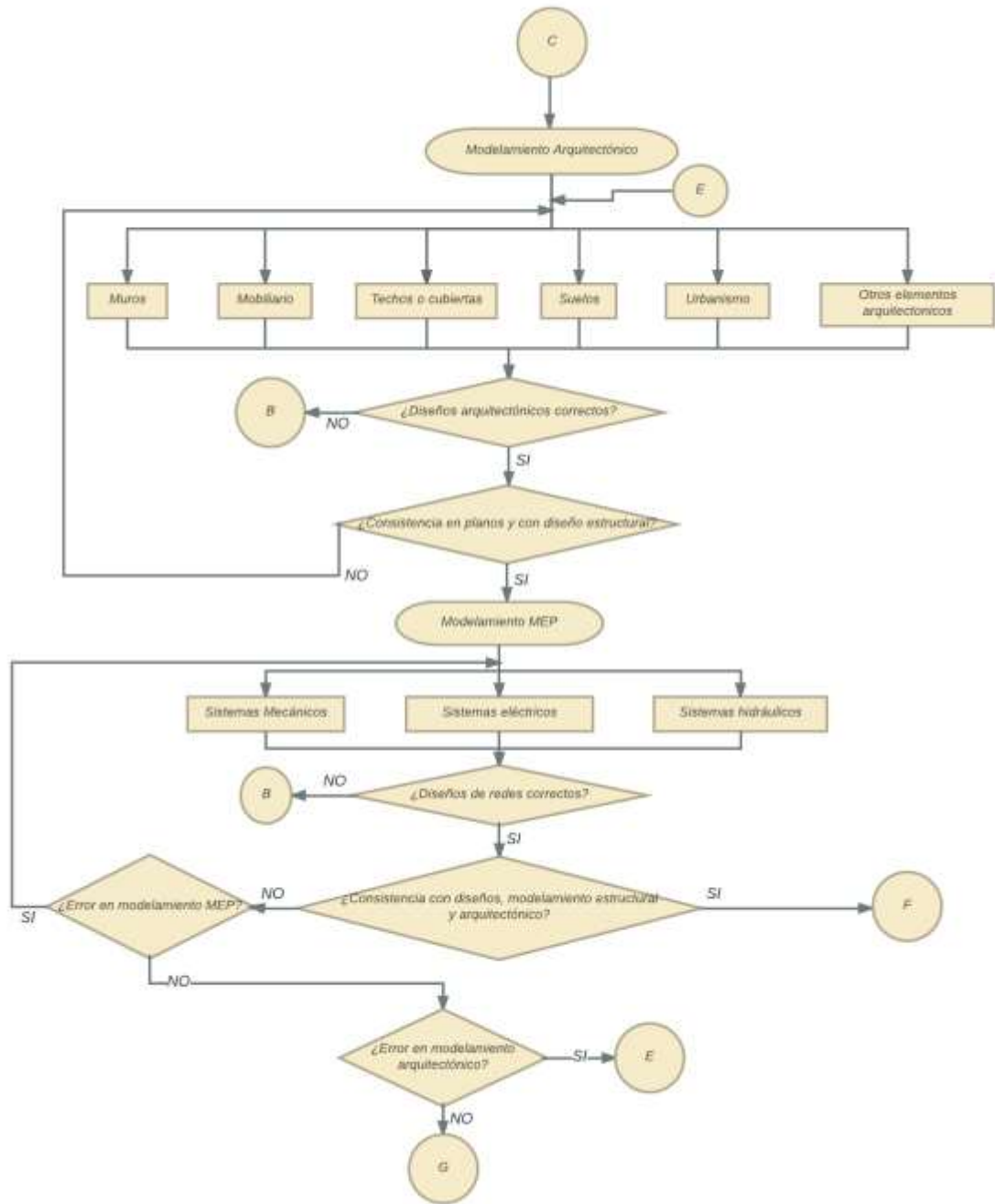
La redacción de la guía fue realizada de manera simultánea que el modelado del proyecto, progresando de manera paralela tanto en la composición de la guía como en la creación de los elementos o secciones, con el fin de que cada detalle y procedimiento durante el modelado quedara registrado, ayudando al futuro usuario en la realización de procedimientos similares, teniendo una base para el desarrollo de sus propios proyectos, habiendo la certeza de que el procedimiento utilizado es el correcto.

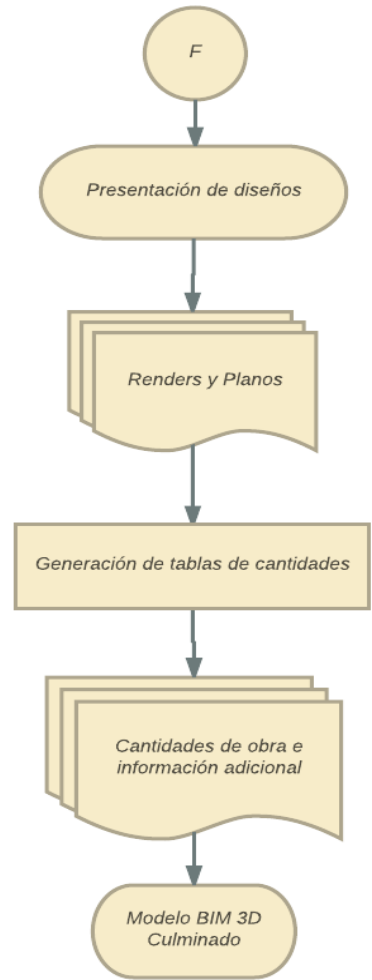
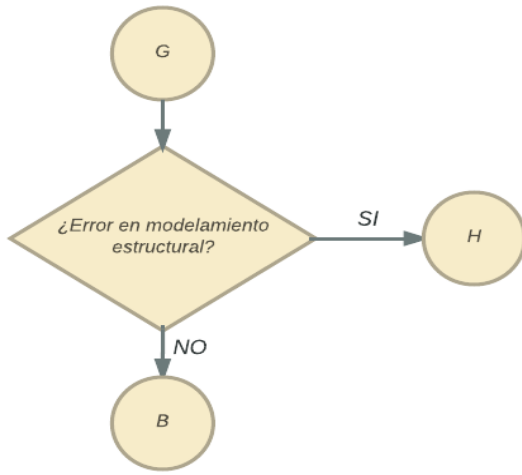
Una vez acabado el proceso de modelado, fue necesario hallar la estructura correcta para implementación de las herramientas BIM en proyectos de edificación de mediana escala como la del “Centro de Farmacodependientes de Barrancabermeja” y que a partir de esta estructura realizada se produzca una metodología mediante la cual se obtengan resultados precisos y satisfactorios. En la Figura 4 se puede observar un diagrama de flujo donde se encuentra la manera en que se abordó el desarrollo y estructuración de la guía para llevar a cabo el proceso de modelamiento de una edificación, en el cual se encuentran a grandes rasgos cada uno de los procesos que se tienen que llevar a cabo para lograr un modelo culminado.

Figura 4. Diagrama de flujo de la guía para la implementación de Autodesk Revit en el modelamiento de edificaciones de mediana escala.









4. DESARROLLO

4.1 PROYECTO DE APLICACIÓN

El proyecto de aplicación “Centro de Farmacodependientes” situado en el municipio de Barrancabermeja, cuenta con un área aproximada de 8.580 m² y un total de 8 estructuras en concreto.

Los estudios y diseños topográficos, estructurales, de suelos, arquitectónicos y de redes hidrosanitarias fueron realizados por profesionales independientes, junto con personal docente vinculado a la escuela de Ingeniería Civil y con apoyo del grupo de investigación “Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas” de la Universidad Industrial de Santander, el cual proporcionó los planos para la elaboración de este proyecto investigativo.

4.1.1 Modelado del proyecto de aplicación. Para la elaboración del modelo se utilizó el software Autodesk Revit que como anteriormente se mencionó es la herramienta BIM más importante en la actualidad para generar modelos en 3D de proyectos de ingeniería. Con la finalidad de obtener un modelo que garantice que cada una de sus medidas y diseños estén correctos, se siguió el diagrama de implementación de la Figura 4. Cabe aclarar que todos los módulos fueron modelados en concreto, y los módulos de Tratamientos y Talleres fueron modelados en su totalidad el diseño estructural, arquitectónico y la parte de redes hidráulicas y contra red incendios; estos dos módulos se encuentran en 4 distintas ubicaciones en el “Centro de Farmacodependientes”, de tal manera que entre estos módulos hay 8 edificaciones, sobre las cuales se enfatizará el proyecto, como es el caso de las cantidades de obra.

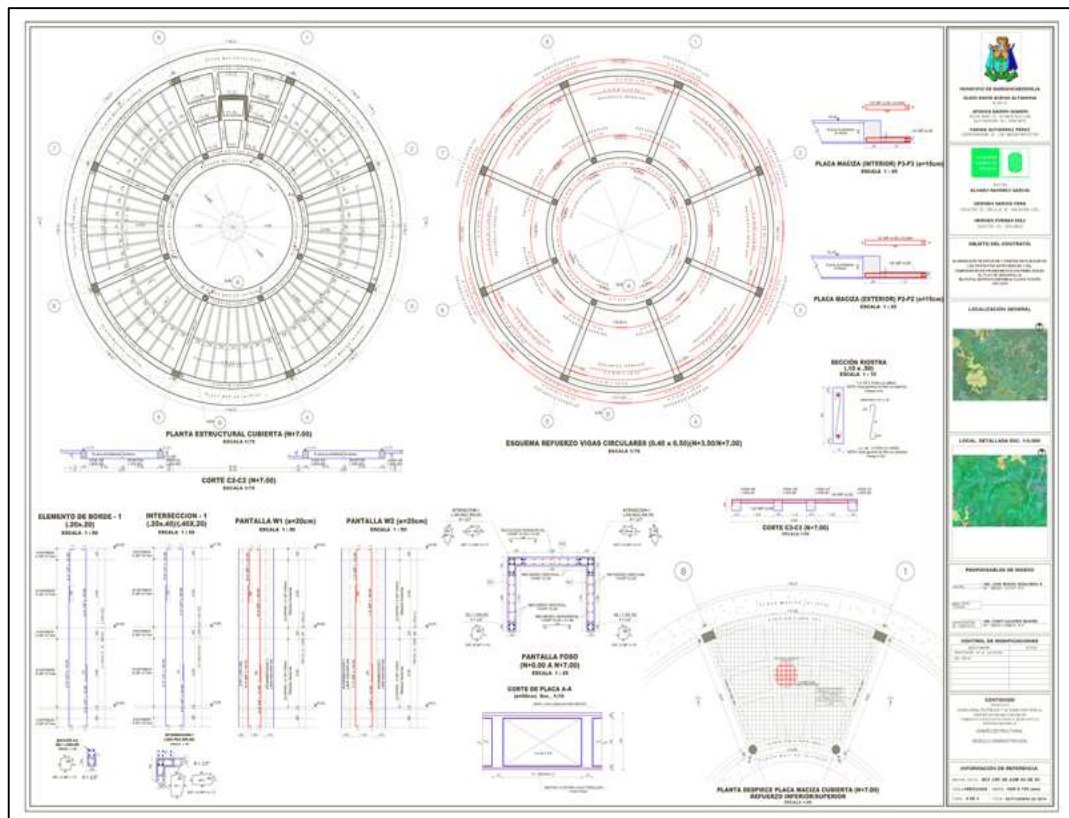
4.1.2 Recopilación diseños finales. Partiendo del diagrama de la Figura 4, la primera etapa de recopilación de diseños finales, debe estar compuesta por la información de diseños y estudios arquitectónicos, que lo componen los acabados, muros divisorios, exteriores, fachadas, urbanismo, entre otros; estructurales, que cuenta con los diseños de las vigas, viguetas, columnas, placas, cimientos, con sus respectivos refuerzos y por último los diseños de redes que incluyen los planos hidrosanitarios, eléctricos y mecánicos. Una vez se garantizó que la recopilación de los planos estaba completa, se dio comienzo a la siguiente etapa donde se realizó el modelado inicial.

4.1.3 Modelado inicial. Para iniciar la etapa de modelado, es necesario en primera instancia abrir una plantilla nueva para la creación del modelo, en el menú Proyectos donde se encuentra la opción Nuevo, cabe aclarar que en este proceso es donde se elige el sistema de medición a utilizar que en este caso debido a las medidas de los planos, corresponde el Sistema Métrico con la opción Metric. Una vez con la plantilla debidamente escogida, se inició el dibujo de las guías para poder modelar en las medidas correspondientes, empezando por la creación de los niveles, que van a ser las referencias para cada uno de los pisos del proyecto que se está modelando, el plano que proporciona información sobre los diferentes niveles es el de diseño estructural, pues estos también corresponden a donde están ubicados los cimientos, es decir, hay niveles hacia arriba y abajo del nivel de referencia, que en el caso de una edificación corresponde al primer piso.

El siguiente paso a seguir es el de la importación o vinculación CAD, este paso puede ser omitido realmente, pues las medidas de la estructura pueden ser tomadas “manualmente” desde el plano, pero cuando una edificación tiene una forma compleja, lo más recomendado es importar el plano desde un formato CAD a Autodesk Revit, dicha importación en algunas ocasiones se vuelve tediosa debido

a los distintos cambios de escalas que hay desde el formato anterior al nuevo y que en el plano a importar solo deben encontrarse los elementos necesarios a referenciar en el trazado de las grillas. Una vez importado el plano se dibujan los ejes de referencia para el modelado de la estructura, es necesario que las grillas coincidan con el eje de la estructura, pues a la hora de realizar el modelado de los diferentes elementos estructurales, se tendrá como referencia el eje de estas. De esta manera, se asegura que las medidas del modelo sean las mismas que las del diseño, a diferencia del proceso sin importación CAD donde la verificación tendrá que hacerse del plano al modelo de manera manual.

Figura 5. Plano estructural final edificio administración.

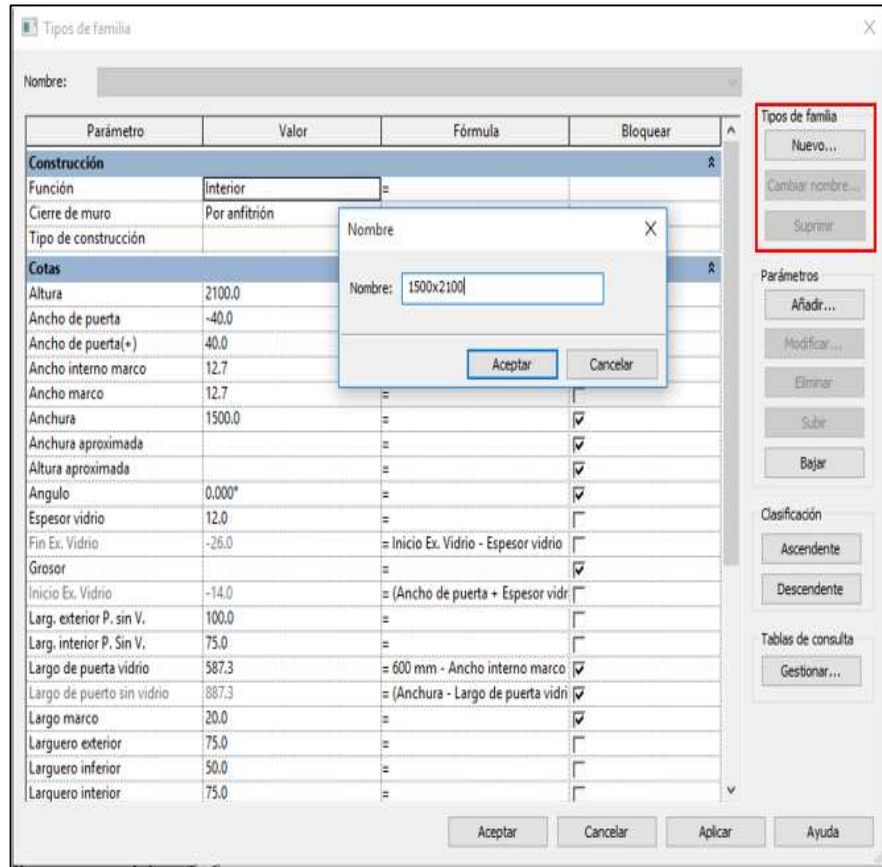


Fuente. Grupo de investigación "Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas" de la Universidad Industrial de Santander.

4.1.4 Creación de familias. Una familia, es un grupo de elementos con un conjunto de propiedades comunes (llamadas parámetros) y una representación gráfica relacionada. Utilizando familias predefinidas y creando otras en Revit, puede ser añadido tanto elementos estándar como personalizados a los modelos de construcción. Las familias también proporcionan un nivel de control sobre los elementos similares en uso y comportamiento, lo que permite modificar diseños fácilmente y administrar proyectos con mayor eficiencia. [11]

La creación de familias se da cuando en alguno de los diseños se tienen elementos poco convencionales. El proceso de creación de una familia puede ser para cualquier tipo de elemento, ya sea un acabado, un elemento estructural como un perno o un conector, o alguna columna con forma irregular, etc... Los elementos que requieren ser creados deben realizarse desde la herramienta exclusiva de Autodesk Revit para creación de familias, ya que existen plantillas predeterminadas para la creación elementos, y a partir de estas plantillas realizar la familia deseada. En algunos casos se tiene un elemento que es repetitivo pero con distintas medidas, en este caso es ideal el uso de la parametrización de la familia, como en el ejemplo de una puerta doble hoja con cristal, que era un tipo de puerta que no se encontraba en el catálogo predeterminado de puertas de Revit, por lo cual fue necesario la creación de esta familia y parametrizarla para crear de manera óptima las distintas medidas que solicitaba el diseño arquitectónico.

Figura 6. Creación de familias a partir de un modelo parametrizado.



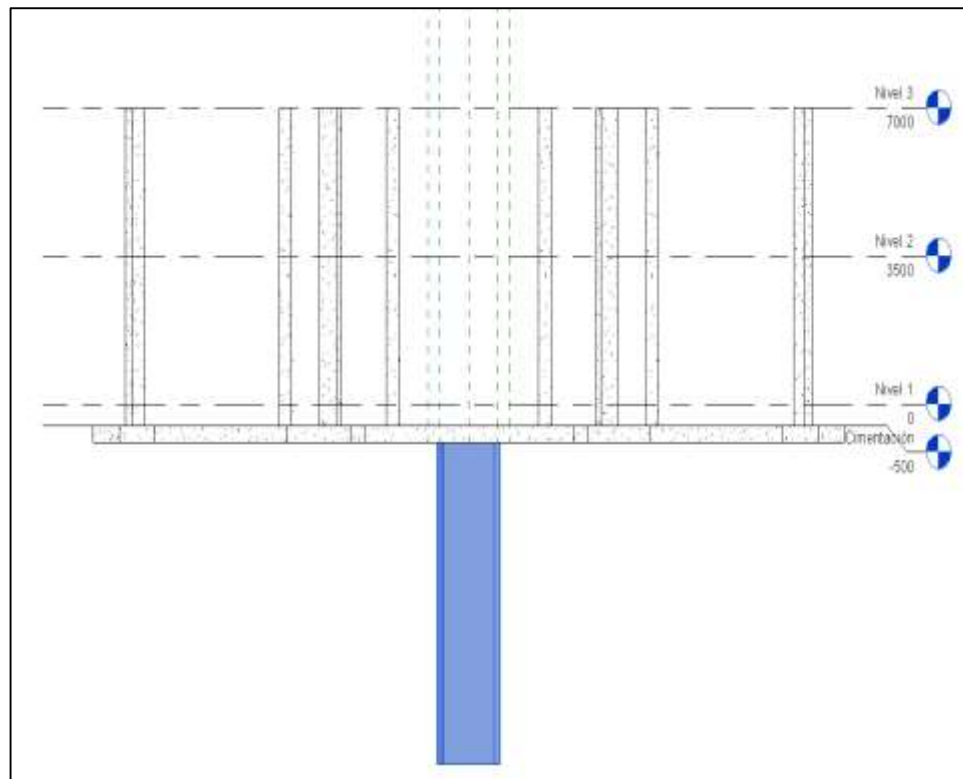
Se recomienda que la creación de familias se haga en una ventana de Revit diferente, para no confundir y entorpecer el proceso de modelado con la creación de familias.

Figura 7. Familia de puerta doble hoja con cristal creada para el edificio de Tratamientos del CRF.



4.1.5 Modelamiento estructural. Para la realización del modelado estructural teniendo ya los niveles y las grillas de referencia, se inicia en el nivel del subsuelo donde se encuentran ubicados los cimientos, modelando en primer lugar las zapatas y vigas de amarre, muros estructurales que bajan hasta la cimentación y columnas, las cuales van ubicadas en los ejes de referencia creados anteriormente. Es necesario comprobar la altura de los elementos creados, comprobando que los niveles base y tope de los elementos correspondan a los diseños entregados. Una vez estos elementos se hayan modelado, se prosigue a corroborar con los planos de diseño estructural que cada elemento se encuentra modelado correctamente.

Figura 8. Ajuste de altura de muro estructural del foso de ascensor desde Nivel de Cimentación a Nivel 3.

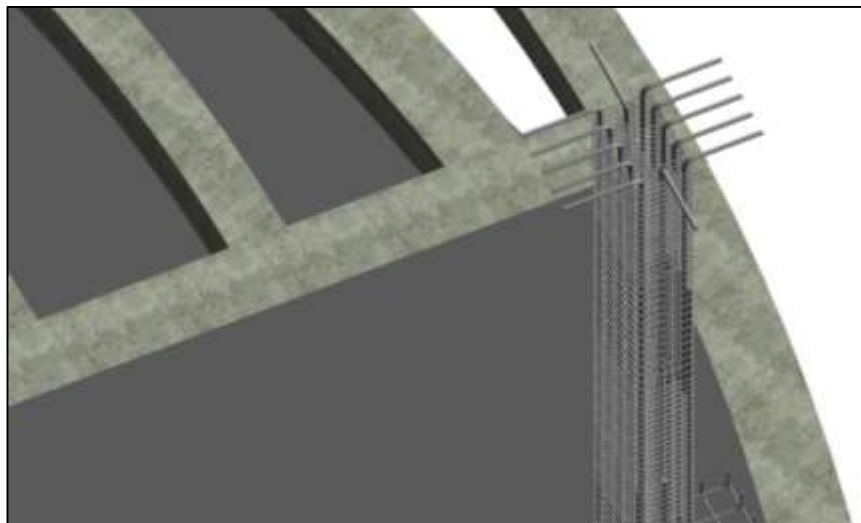


Posteriormente se procede a modelar los diferentes elementos en los niveles de la edificación, teniendo como referencia las grillas, columnas y muros estructurales creados. Para los sistemas de vigas es necesario realizar un ajuste de altura y de posición, debido a que parte de las viguetas estará en la torta superior e inferior de la placa y esto producirá que en el cálculo de cantidades de obra haya volumen de concreto de más, por contar la parte perteneciente a la placa como de la vigueta. Por último, se realiza el modelamiento de la placa aligerada incluyendo la torta superior e inferior al sistema de viguetas y la escalera de hormigón in-situ para proceder a reforzarlas.

4.1.5.1 Refuerzo estructural. La realización del refuerzo estructural es una de las partes más tediosas del proceso de modelado debido a que no se puede tener la garantía de que los diseños estructurales están totalmente precisos, esto se presenta en edificaciones que tienen formas irregulares como lo es el caso de la mayoría de las estructuras del proyecto “Centro de Farmacodependientes”, pues las herramientas para el modelado de acero de refuerzo son bastante limitadas.

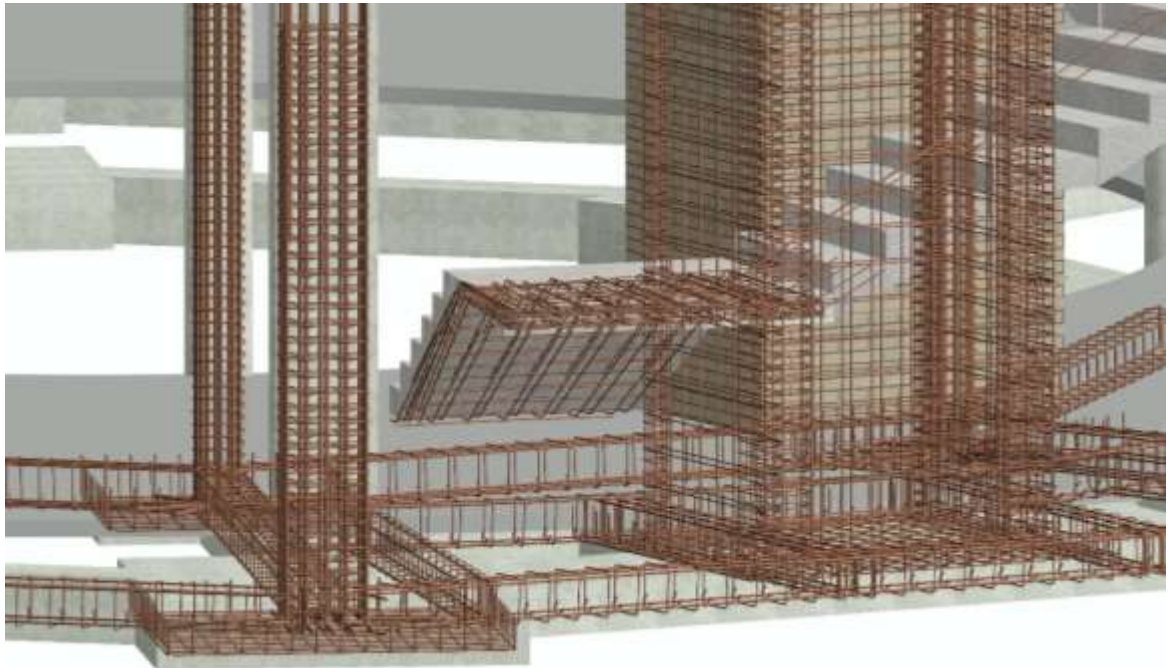
En el modelado de esta sección se encontraron inconsistencias en los diseños, pues los espaciamientos o longitudes de ganchos no cumplían en algunos casos, encontrándose acero expuesto fuera del elemento. La identificación temprana de este tipo de errores de diseño son una de las grandes ventajas de realizar previamente a la construcción un modelo 3D del proyecto, pues si esta fuera identificada durante la ejecución de la obra en primera instancia habría un retraso en el tiempo realizando el replanteamiento de los diseños, además del costo que implica rediseñar.

Figura 9. Acero expuesto al medio ambiente, se encuentra mal diseñado y traspasa el elemento de concreto.



En la realización del refuerzo estructural se modelaron aceros longitudinales, estribos, mallas electro-soldadas, y diferentes tipos de armaduras en elementos como foso del ascensor, vigas circulares y lo correspondiente al refuerzo de las escaleras.

Figura 10. Refuerzo estructural de elementos estructurales.

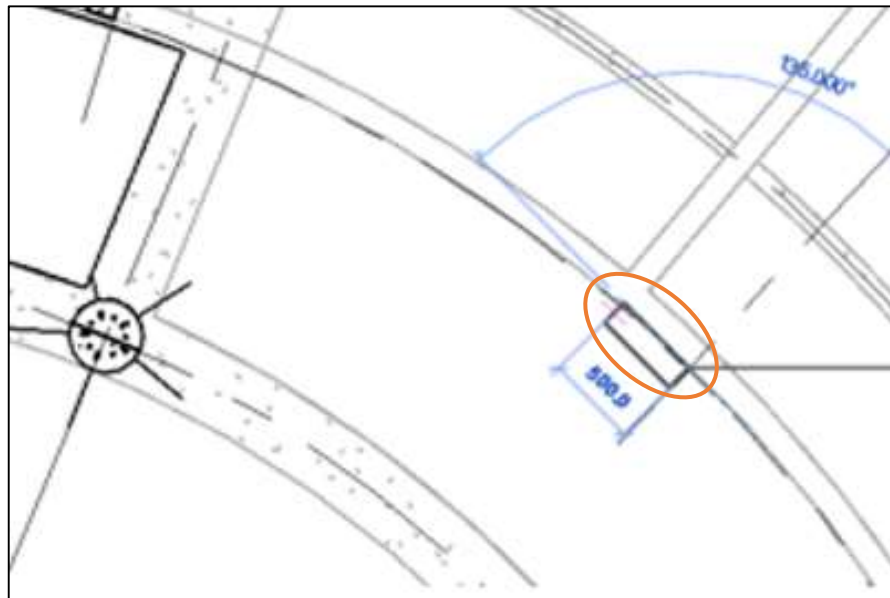


4.1.6 Modelamiento Arquitectónico. El inicio de la etapa de modelado arquitectónico es una de las últimas etapas, en la cual ya se podrá empezar a visualizar el resultado final del diseño como se plasma en los Renders del diseño arquitectónico y es donde generalmente se pueden encontrar interferencias constructivas entre algún elemento arquitectónico y estructural. En el caso del edificio de Tratamientos, el proceso más adecuado es el de modelar en primera instancia los muros divisorios y exteriores, incluyendo las partes de los muros que estén interrumpidas por puertas

o ventanas, pues estos elementos arquitectónicos deben ser creados sobre los muros.

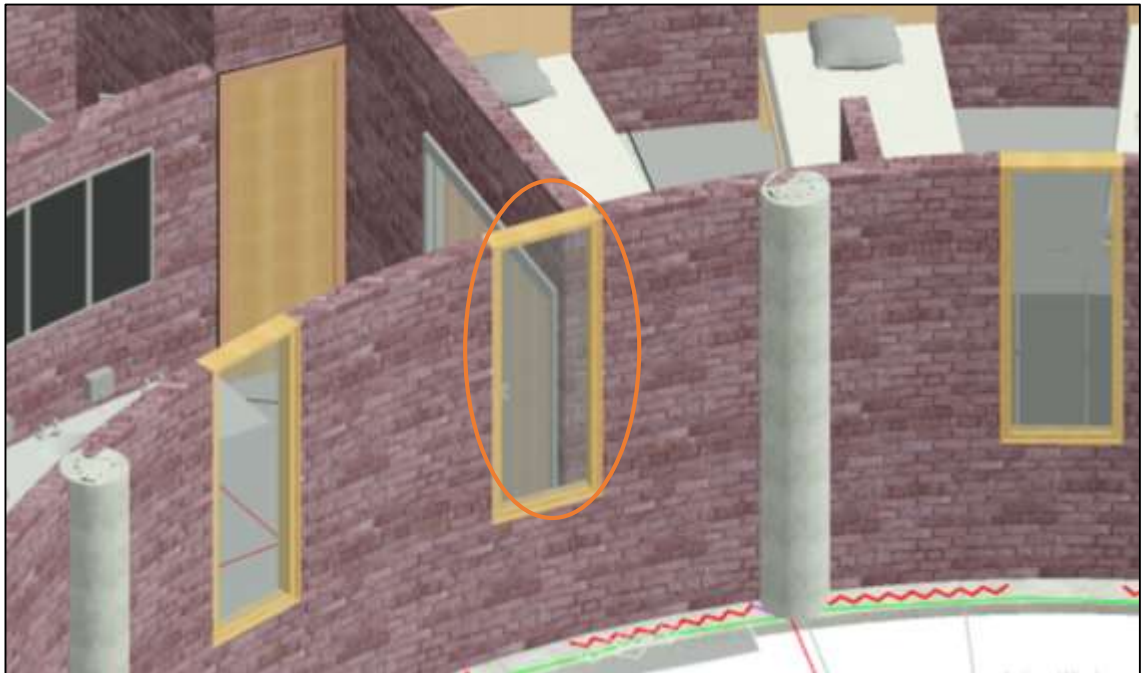
Debido a la irregularidad de la forma de los muros circulares que componen la gran mayoría de edificios que hacen parte del “Centro de Farmacodependientes” fue muy conveniente el uso de la importación CAD del diseño arquitectónico como plantilla, de manera tal que se pudiera trazar una nueva grillas como referencia, en este no se recomienda que sean trazadas en el eje de los muros, sino en alguno de sus extremos debido a que el trazado de muros en el menú Arquitectura de Revit se encuentra configurado para tomar como referencia del muro uno de sus extremos y no el eje, aunque esta opción puede cambiarse al momento de crear un muro.

Figura 11. Trazado de muro arquitectónico con eje de referencia en un extremo.



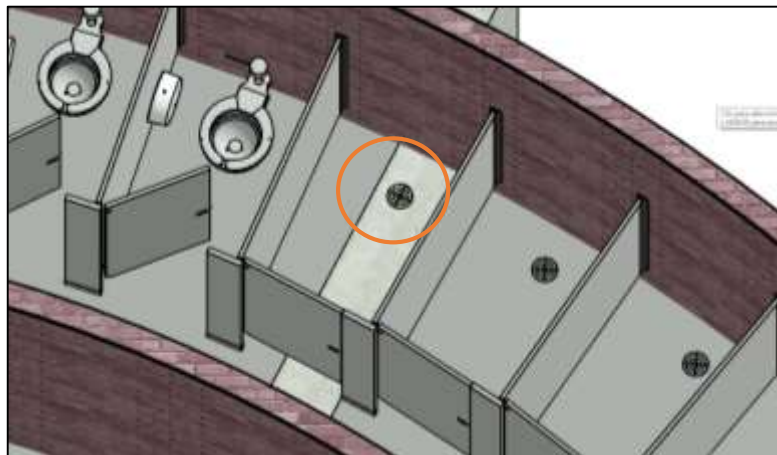
Al finalizar el trazado de los muros divisorios se prosigue a agregar los elementos arquitectónicos de los acabados, como las puertas, ventanas y los elementos que componen la fachada del edificio. Durante el modelado algunos elementos arquitectónicos se encontraron interferencias de tipo constructivo entre detalles de fachada que se encontraban en superposición con elementos estructurales, lo cual generó una revisión de los diseños estructurales y arquitectónicos para poder ajustar dicho error. En el caso de aplicación se encontró una incongruencia en el diseño arquitectónico, pues uno de los bordes de un muro divisorio se encuentra conectado a una de las ventanas que dan al interior del edificio, y dicho error representa una interferencia constructiva.

Figura 12. Incongruencia en diseño arquitectónico causado por la interferencia entre el muro divisorio y la ventana.



4.1.7 Modelamiento MEP. En el modelado de estas es donde más puede haber interferencias, en el caso de trabajo del edificio de Tratamientos uno de las interferencias encontradas fueron casos en que los grifos interferían con vigas que estaban debajo de ellas, lo cual no es constructivamente viable y esto debe ser replanteado en el diseño hidráulico o estructural, pues siguiendo la metodología del diagrama el hecho de que este modelado la parte estructural correctamente no representa que en sus diseños previos no hayan errores, así que en esta parte del proceso es necesario volver a revisión de planos e identificar la procedencia de dicha interferencia que una vez más se identificó anticipadamente a lo que respecta a la construcción de la edificación.

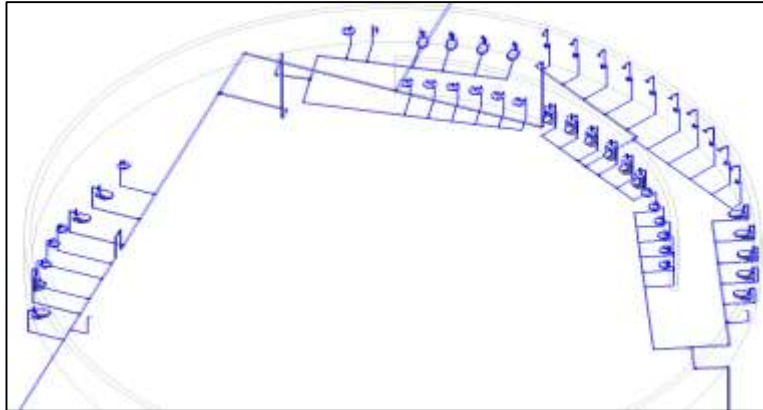
Figura 13. Interferencia entre diseño estructural y sistema de desagüe.



A medida que se va modelando cada segmento de las redes se logran identificar distintos tipos de interferencias y dudas con los diseños estructurales y arquitectónicos que deben ser analizadas para identificar el origen de los errores de diseño. Con el final de esta etapa el proceso de modelado se da por terminado parcialmente en cuanto a lo que respecta a la intervención del modelo con nuevos

elementos, las etapas siguientes son más acerca de sacar los resultados finales de todo el proceso de modelado.

Figura 14. Modelo de diseño hidrosanitarios elaborados por Ing. Silvia Milena Parra Diettes.



4.1.8 Renders, planos y exportación. Una vez terminado el proceso de modelado estructural, arquitectónico y de redes, es posible la exportación del modelo en diferentes maneras, gráficamente mediante la utilización de renders y planos, o virtualmente, creando recorridos dentro del proyecto.

Figura 15. Render CRF-Barrancabermeja, detalle de los módulos de tratamientos.



Mediante el programa Revit, se tiene una gran variedad de herramienta para exportar nuestros modelos y vincularlos a otros programas como AutoCad, Navishworks y exportación de información correspondiente al modelado como cantidades de obra y demás.

Figura 16. Cantidades de concreto de columnas estructurales.

<Tabla de planificación de Columnas>		
A	B	C
Tipo	Longitud	Volumen
Columnas circulares d=400m	7500	0.936 m ³
Columnas circulares d=400m	7500	0.936 m ³
Columnas circulares d=400m	7500	0.936 m ³
Columnas circulares d=400m	7500	0.936 m ³
Columnas circulares d=400m	7500	0.936 m ³
Columnas circulares d=400m	7500	0.936 m ³
Columnas circulares d=400m	7500	0.936 m ³
Columnas circulares d=400m	7500	0.936 m ³
Columna 400 x 600	7500	1.776 m ³
Columna 400 x 600	7500	1.776 m ³
Columna 400 x 600	7500	1.776 m ³
Columna 400 x 600	7500	1.776 m ³
Columna 400 x 600	7500	1.776 m ³
Columna 400 x 600	7500	1.776 m ³
Columna 400 x 600	7500	1.776 m ³
Columna 400 x 600	7500	1.776 m ³
Columna 400 x 600	7500	1.776 m ³
Total general: 16		21.695 m³

La facilidad de exportación de tabla de cantidades, permite al usuario llevar un control preciso sobre los elementos de obra a utilizar, detallándolos uno a uno según las propiedades que este necesite. Dependiendo de su clasificación o fase de construcción, ya sea arquitectónica, estructural o redes, se contarán con diferentes categorías de clasificación, por ejemplo, su volumen, área, sección o diámetro, cantidad de elementos, etc.

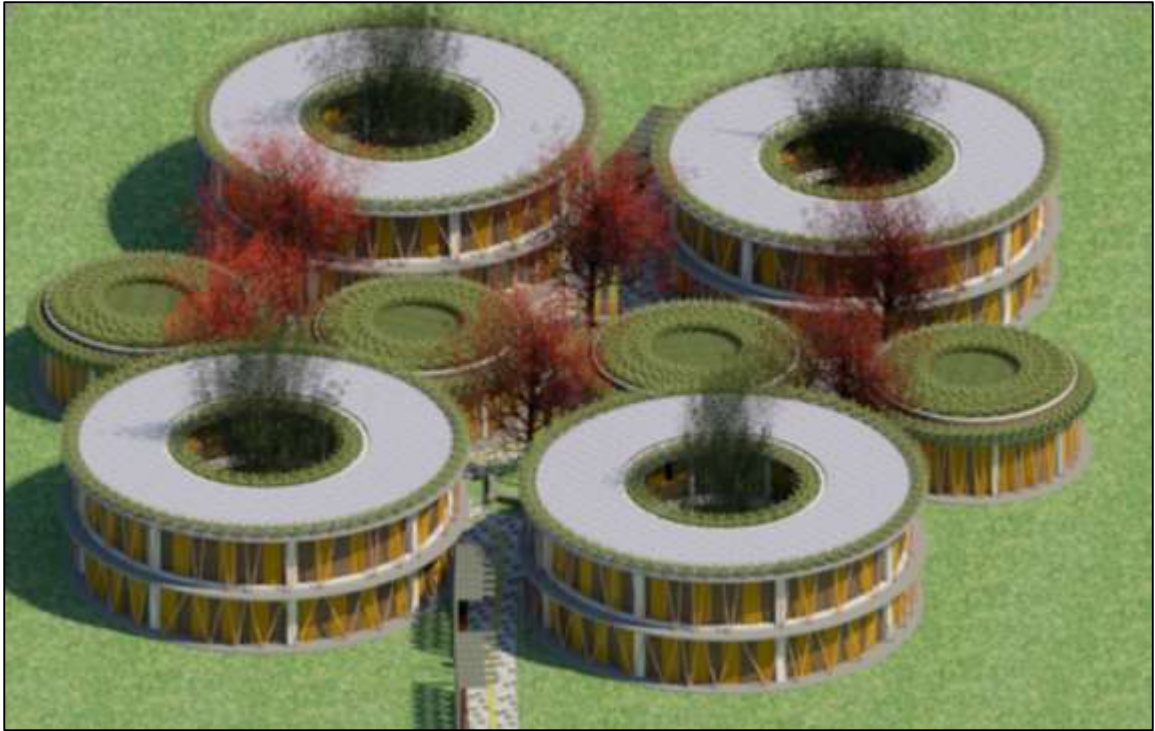
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

5.1 USO DE LA GUÍA.

En la modelación del caso de estudio, fue posible observar que se presentan interferencias e inconsistencias entre las disciplinas de diseño, por lo tanto al iniciar el modelado BIM es adecuado establecer medidas para la detección y ajuste de los elementos de construcción involucrados, con esto se garantiza que el modelo BIM se convierta en una herramienta para el aumento de la calidad de los documentos de diseño de un proyecto de construcción, por ello mediante el uso de la guía proporcionada se pueden lograr diseños más acertados y ahorros de tiempos considerables.

Durante la elaboración de la guía se pudo considerar que lo más relevante de su uso, es el aprovechamiento de la metodología creada en el diagrama de flujo (Figura 3), que imparte un orden de ideas para abordar la implementación de Revit a un proyecto de una obra civil con precisión y sin omitir ningún detalle, pues generalmente eso es lo que más se dificulta, tanto como para alguien con experiencia como para alguien que realizará un modelamiento por primera vez, lo que marca la diferencia en el uso de la guía entre estos dos tipos de usuario es: que aquel usuario que ya ha hecho modelo 3D no realizará de igual manera la cimentación con determinada herramienta que presente el manual, pues sabe realizar dicha tarea de diferentes formas, contrario al caso de la persona que no conoce el software y lo más probable es que tome el manual al pie de la letra. Lo que quiere decir que la manera en que se realizan los procesos de cada etapa de la guía no es la única forma de hacerla, existen muchas maneras de llevarlas a cabo, y a medida que se tiene más conocimiento de las herramientas y experiencia con el software, el usuario irá encontrando nuevos y más prácticos métodos para modelar.

Figura 17. Producto obtenido del modelo tridimensional final realizado con el software Autodesk Revit



La esencia de la guía se deriva de la metodología creada, la guía en sí misma es una ayuda para poder seguir el diagrama presentado en la Figura 3 en caso de no tener los conocimientos necesarios para poder llevar a cabo alguna etapa, y lo que se busca es que cuando el usuario utilice toda la metodología y la guía pueda tener el mayor aprovechamiento del software mediante la realización del modelo 3D, encontrando distintos tipos de errores como las interferencias encontradas entre la parte estructural y arquitectónica que se lograron encontrar en el edificio de Tratamientos, de tal manera que el resultado final del proceso sea un modelo en el cual se tenga la seguridad de que no hay errores de diseño ni de medidas, y que a partir de este se pueda obtener la información necesaria que sirva de base para realizar el proceso constructivo, como lo son los planos y las tablas de cantidades de obra.

Tabla 1. Cuadro comparativo entre la Guía elaborada en el proyecto y el manual Autodesk Revit Help ®

Guía creada	Autodesk Revit Help ®
Se logra un modelo 3D acorde con las medidas y propiedades de los diseños previstos	No tiene como objetivo que el usuario llegue a ejecutar el modelado de un proyecto, solo informar sobre sus herramientas.
Sistematización de la identificación de errores de diseño y constructivos, lo cual permite no pasar por alto ningún error o detalle en el modelo.	No advierte acerca de los posibles errores de diseño o constructivos que pueden presentarse durante el desarrollo del modelo de una edificación.
Logra organizar un proceso extenso como lo es el modelamiento en diferentes etapas, lo cual brinda agilidad en el tiempo de este proceso al tener todas las actividades debidamente especificadas.	El proceso de modelado es dejado al juicio del usuario, no brinda una ruta mediante la cual se pueda abordar un proyecto y lograr su modelado satisfactoriamente.
Brinda indicaciones y recomendaciones precisas de cómo realizar cada uno de los procesos que componen las etapas del modelamiento 3D, como en el caso de la creación de familias.	Las indicaciones que proporciona el manual para cada actividad no tienen el detalle necesario para facilitar el entendimiento del usuario ni las recomendaciones necesarias en caso de errores comunes en el modelado.
Las herramientas que dispone el software son explicadas a partir del uso dado en el proceso de modelamiento específico del proyecto tomado como ejemplo y no son	Se encuentra más encaminado a dar una breve descripción de la función de cada una de las herramientas que incluye el software y los componentes de la interfaz de usuario, más no

usadas en su totalidad las herramientas disponibles.	especifican la manera de darle uso a lo anterior.
Las herramientas que dispone el software son explicadas a partir del uso dado en el proceso de modelamiento específico del proyecto tomado como ejemplo y no son usadas en su totalidad las herramientas disponibles.	Se encuentra más encaminado a dar una breve descripción de la función de cada una de las herramientas que incluye el software y los componentes de la interfaz de usuario, más no especifican la manera de darle uso a lo anterior.

5.2 USO DE AUTODESK REVIT.

Acerca del uso del software Autodesk Revit se puede afirmar que es una herramienta de diseño que permite que los procesos constructivos sean optimizados al máximo. En primera instancia, se puede extraer cualquier plano deseado con la calidad de detalle que sea requerido, que comparándolo con los planos bidimensionales que proporciona AutoCad estos no siempre tienen toda la información necesaria ni detalles precisos para su debida interpretación, lo cual es una mejora en la comprensión de los diseños en obra.

De estos modelos es posible obtener las cantidades de obra necesarias de cualquier elemento del proyecto de manera inmediata, pues durante el proceso de modelado cada uno de estos se van identificando de manera automática por el software, lo cual al final facilita la labor de obtener las cantidades según los elementos solicitados. Esto se evidenció en el caso de la Figura 15 donde uno de los elementos fue denominado "Columna 400 x 600" y cada elemento de estos en el modelo fue cuantificado por el software, información la cual comparada con los datos proporcionados por un método tradicional a partir de planos bidimensionales puede

estar más cercana a la realidad. En la Tabla 2 se pueden observar las cantidades del diseño estructural en su mayoría junto con unas cantidades arquitectónicas correspondiente a las 8 edificaciones de los módulos de Tratamientos y Talleres, las cuales se generaron mediante Autodesk Revit, y se asegura que estas cantidades sean precisas, pues los modelos finales en Revit elaborados mediante la guía tienen la garantía de que no presentan errores correspondientes al diseño, mientras que con los modelos 2D no se tiene certeza de lo anterior hasta que se hace un análisis exhaustivo del conjunto de todos los planos y diseños que componen la edificación.

Tabla 2. Cuadro de cantidades de los elementos estructurales más relevantes y algunos elementos arquitectónicos correspondientes a las 8 edificaciones modeladas en su totalidad mediante Autodesk Revit.

ÍTEM	CANTIDAD
Concreto para zapatas (3000 psi)	150.08 m ³
Concreto columnas (3000 psi)	109.84 m ³
Concreto para suelos (3000 psi)	631.72 m ³
Concreto para vigas (3000 psi)	541.48 m ³
Concreto para muros (3000 psi)	36.12 m ³
Acero de 60000 psi	344,851 kg
Mampostería en ladrillo H10	2,955.0 m ²
Pisos interiores	2,543.3 m ²

Durante el proceso de modelado es donde mayor provecho se puede sacar a la implementación de esta herramienta BIM en proyectos de ingeniería civil, pues a lo largo de este extenso procedimiento en cada una de las fases descritas en la guía, se pueden ir verificando los diseños a medida que estos se van modelando, teniendo que encajar perfectamente sin que se presenten inconsistencias o errores de tipo constructivos, lo que permite que al final de todas las fases se obtenga como resultado un modelo sin errores de diseño de ningún tipo.

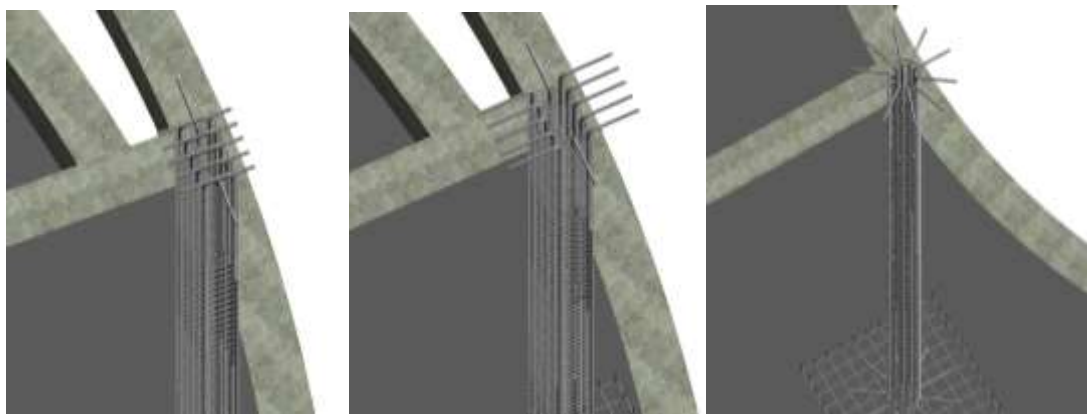
Habiendo analizado las ventajas y aplicaciones que puede tener tanto la elaboración del modelo tridimensional en Revit como su resultado final, se puede concluir que el uso de esta herramienta en comparación a los métodos tradicionales puede llegar a generar un gran ahorro a las firmas constructoras en las obras, pues al identificar los errores de diseños, constructivos y las inconsistencias previas a la ejecución de la obra, hace que el replanteo de los planos no atrase los tiempos de obra estipulados y a su vez no genere pérdidas monetarias en el caso de que el diseño cambie de manera considerable y ya se haya construido alguna parte del diseño anterior.

Los ahorros de tipo económico que se presentan debido a la optimización del tiempo pueden llegar a ser significativos, dependiendo de la cantidad de interferencias identificadas, pues el tener personal y maquinaria sin utilizar debido a diseños erróneos y a la espera de su replanteamiento, resulta en sobrecostos. Igualmente, la disminución de los desperdicios o sobrantes se ve plasmada en el bajo margen de error del cálculo de materiales de obra, pues mediante el método tradicional pueden existir errores producto de la dificultad de los cálculos, atrasando la obra y entorpeciendo el calendario de ejecución.

5.3 ERRORES DE DISEÑO E INTERFERENCIAS CONSTRUCTIVAS

A lo largo del proceso de modelado, siguiendo la metodología expresada en el diagrama correspondiente a la Figura 4, se logró identificar una significativa cantidad de errores de diseño durante el proceso de modelado a medida que se desarrollaba el modelo de cada uno de los planos, uno de los errores más comunes fue en la parte estructural donde el diseño del acero de refuerzo queda expuesto, pues tiene mayor longitud que las columnas que los contiene como podemos apreciar en la siguiente figura donde se puede ver tres claro ejemplos del caso anterior en el edificio de Tratamientos.

Figura 18. Errores en el diseño estructural del edificio de Tratamientos presentes en las columnas internas y externas.



A medida que se culminaba el modelado de cada uno de los planos, se fueron encontrando las interferencias de tipo constructivo, que son casos en los que en caso de tener que hacer la construcción presentarían dificultades e implicaría cometer errores y con ello vienen las pérdidas económicas y de tiempo, generando atrasos en las fechas de entrega. Dos claros ejemplos de este tipo de interferencias

fueron los identificados en el edificio de Tratamientos, el primero se encuentra en la Figura 12 donde uno de los extremos de un muro divisorio se encuentra limitado por una ventana y esto presentaría dificultades en el proceso constructivo, además que no es estéticamente agradable y coherente; el segundo en la Figura 13, donde se identificó que un sistema de desagüe se encontraba encima de una viga, lo cual representa una dificultad técnica y constructiva, pues no sería posible que se instale debidamente el sistema que compone el desagüe en el interior de la viga.

Errores de diseño e interferencias constructivas como las mencionadas anteriormente que se presentaron en el caso específico del edificio de Tratamientos, se presentaron en otros de los distintos edificios que componen el proyecto “Centro de fármaco dependientes de Barrancabermeja” como en el módulo de Kiosco que se encontró que en el plano arquitectónico se tenían columnas de sección rectangular, y en el plano estructural se diseñaron columnas de sección circular, y de manera general se identificaron los siguientes errores en el diseño del refuerzo estructural que se presentaron de manera constante:

- Incongruencias en separación de varillas en parilla de cimentación y estribos.
- Ganchos en columnas y vigas con longitud incorrecta (expuestos fuera del concreto).
- Faltan varios despieces de elementos.
- Algunas vigas no fueron diseñadas.

Se pudo identificar también errores no sólo en los edificios sino en la composición urbanística del proyecto. Debido a la cantidad de errores identificados a lo largo del proceso se elaboró una tabla donde se cuantifican según su tipo con el objetivo de demostrar la importancia que puede tener realizar un modelo previo a un proceso constructivo y cómo esta cantidad de errores identificados se ven traducidos en la optimización del tiempo de obra y de los recursos económicos.

Tabla 3. Tabla del total de errores de diseño (incongruencias) e interferencias constructivas en el proyecto “Centro de fármaco dependientes de Barrancabermeja”

	Incongruencias	Interferencias	Σ
Arquitectónicos	13	15	28
Estructurales	29	12	41
MEP	9	6	15
Urbanismo	7	0	7
Σ	58	33	91

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] REYES, Antonio; Spanish Journal of BIM No. 15

- [2] MALLESON, Adrian; HUBER, Rolf; HEIRSKANEN, Aarni; FINNE, Christer and WATSON, David (2014). “NBS International BIM Report 2013”. The NBS.

- [3] KHOSROWSHAHI, Farzad and ARAYICI, Yusuf. (2012). “Roadmap for implementation of BIM in the UK construction industry”. Emerald Group Publishing Limited

- [4] McGraw Hill Construction. (2014). “The Business Value of BIM for construction in major global markets”

- [5] DEUTSCH, Randy (2011). BIM and Integrated Design, Strategies for architectural practice. AIA, LEED AP, John Wiley & Sons, Inc.

- [6] JURADO, Carlos. Los beneficios del BIM en el diseño de proyectos.

- [7] LEVY, Francois (2011). BIM in Small-Scale Sustainable Design. ED. John Wiley & Sons, Inc.

- [8] BARNES, Peter; DAVIES, Nigel. (2014). BIM in Principle and in Practice. ICE Publishing
- [9] MORGAN SINDALL, BIM Bulletin. March 2015
- [10] PORRAS D, Hernán; SÁNCHEZ R, Omar; GALVIS G, José (2014). Metodología para la elaboración de modelos del proceso constructivo 5D con las tecnologías “Building information modeling”
- [11] AUTODESK® REVIT® 2016 HELP, Knowledge Network

BIBLIOGRAFÍA

ASHRAE Technical Committee. HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics. 2 ed. [Atlanta, USA] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.: s.n., 2013

AZHAR, Salman. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. Leadership and Management in Engineering. American Society of Civil Engineers: s.n., 2011

CZMOCH, Ireneusz; PEKALA, Adam. Traditional design versus BIM based design. ELSEVIER Ltd.: s.n., 2014

LORCH, Richard. BIM and the public interest. Building Research & Information editorial. Volume 40.: s.n., 2012

SUCCAR, Bilal; SHER, Willy and WILLIAMS, Anthony. Measuring BIM performance: five metrics. Architectural Engineering and Design Management.: s.n., 2012

ZHANG, Miao; TAN, Dan & ZHANG, Yang. Analysis of BIM application relationship with integration degree of construction environment. Chinese Journal of Population Resources and Environment.: s.n., 2013

ANEXOS

NOTA: LOS ANEXOS CORRESPONDIENTES A ESTE PROYECTO PUEDEN CONSULTARSE EN SALA BASE DE DATOS DE LA BIBLIOTECA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER