

**Estudio y Análisis de la Implementación de la Metodología BIM (Building
Information Modeling) en un Proyecto de Vivienda Multifamiliar**

Gabriela Stephanía Antolínez Carvajal

Id. 000244164

Jorge Alonso Rincón Pita

Id. 000255445

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingeniería

Bucaramanga

2018

Estudio y Análisis de la Implementación de la Metodología BIM (Building Information Modeling) en un Proyecto de Vivienda Multifamiliar

Gabriela Stephanía Antolínez Carvajal

Id. 000244164

Jorge Alonso Rincón Pita

Id. 000255445

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:

INGENIERO/A CIVIL

Director del Proyecto

Jorge Mauricio Ramírez Velázquez

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingeniería

Bucaramanga

2018

Dedicatoria

A mi madre por su esfuerzo y apoyo durante toda mi vida, a mi padre que está en el cielo por todas sus enseñanzas y por su formación para ser la persona que soy hoy día, a mi hermana por ser mi complemento, apoyo y motivación en cada paso de mi vida, a su esposo por su respaldo y presencia incondicional. Finalmente, a mi compañero de proyecto por nuestro gran trabajo en equipo para lograr con éxito nuestro proyecto de grado.

Gabriela Stephanía Antolínez Carvajal

Principalmente a mi madre ya que ella fue el motor para que esto fuera posible, a mi padre por su confianza y apoyo, a mi novia por su apoyo y motivación, a mi compañera de proyecto de grado por unir fuerzas para vivir esta experiencia juntos.

Jorge Alonso Rincón Pita

Agradecimientos

Damos gracias a Dios por siempre guiar nuestras vidas y camino, también nuestras metas y sueños como el que estamos cumpliendo y haciendo realidad. A Él, infinitas gracias siempre.

Al ingeniero Jorge Mauricio Ramírez Velázquez por confiar en nosotros y nuestra propuesta, por dirigirnos y asesorarnos en todo el desarrollo de este proyecto.

Al ingeniero Carlos Mauricio Llanos Pastrana por su entera disposición y ayuda en cada momento y por brindarnos la información necesaria para la realización de este proyecto de grado.

A nuestra familia, por su constante apoyo y motivación para poder llegar con éxito a la culminación de este proyecto.

A los docentes de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, por formarnos como profesionales y personas íntegras y a quienes participaron de forma directa e indirecta en el desarrollo de este proyecto.

Tabla de Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVOS	3
2.1.	OBJETIVO GENERAL	3
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3.	JUSTIFICACIÓN	4
3.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	5
3.2.	ANTECEDENTES	7
3.3.	ALCANCE.....	10
4.	MARCO TEÓRICO.....	11
4.1.	BUILDING INFORMATION MODELING - BIM.....	11
4.2.	AUTODESK REVIT®	14
4.3.	AUTODESK NAVISWORKS®	14
4.4.	MICROSOFT PROJECT®.....	15
4.4.1.	Ruta crítica	16
4.4.2.	Diagrama de Gantt	16
4.4.3.	Resumen de Proyecto.....	16
4.5.	PROGRAMACIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO	16
5.	METODOLOGÍA.....	18
6.	DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA	20

6.1.	SELECCIÓN DEL PROYECTO DE VIVIENDA MULTIFAMILIAR.....	20
6.2.	IMPLEMENTACIÓN DE AUTODESK AUTOCAD®.....	21
6.3.	IMPLEMENTACIÓN DE AUTODESK REVIT®	23
6.4.	IMPLEMENTACIÓN DE AUTODESK NAVISWORKS®	23
6.5.	IMPLEMENTACIÓN DE MICROSOFT PROJECT®	24
6.6.	IMPLEMENTACIÓN DE ADOBE PHOTOSHOP CC®	24
6.7.	CREACIÓN DEL MODELO 3D DEL PROYECTO	25
6.8.	PROBLEMAS E INCONVENIENTES ENCONTRADOS EN LA MODELACIÓN 3D 50	
6.9.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO	52
6.9.1.	Definición del cronograma propuesto o de simulación	52
6.9.1.1.	Primer escenario.....	53
6.9.1.2.	Segundo escenario	59
6.9.2.	Definición del cronograma real del proyecto.....	62
6.9.3.	Comparación entre los cronogramas.....	68
6.9.4.	Comparación entre el personal en obra.....	74
6.10.	CREACIÓN DEL MODELO 4D DEL PROYECTO	75
6.11.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL MODELADO DE INFORMACIÓN (BIM) EN UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN.....	88
7.	CONCLUSIONES	93
8.	RECOMENDACIONES.....	94
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97

Lista de Tablas

Tabla 1. Consumos estándar en actividades de construcción.	53
Tabla 2. Composición del personal.....	53
Tabla 3. Datos de áreas y volúmenes por nivel de la torre.	54
Tabla 4. Cálculo de rendimientos y personal en obra primer escenario de simulación.....	55
Tabla 5. Cronograma de simulación del proyecto.	59
Tabla 6. Cálculo de rendimiento y personal en obra segundo escenario de simulación.....	61
Tabla 7. Composición del personal en la ejecución real.....	65
Tabla 8. Cronograma real del proyecto.....	68
Tabla 9. Informe de comparación de la duración de las actividades de los cronogramas.	71
Tabla 10. Informe de comparación del comienzo de las actividades de los cronogramas.	72
Tabla 11. Informe de comparación del fin de las actividades de los cronogramas.	73

Lista de Imágenes

Imagen 1. Representación del CAD al BIM (2D a 3D).	6
Imagen 2. Ciclo de vida de un proyecto de construcción con BIM.	12
Imagen 3. Estructura del modelo BIM.	13
Imagen 4. Representación BIM de la estructura y redes de una edificación.	19
Imagen 5. Vista en planta de la composición por piso de la torre.	20
Imagen 6. Vista frontal de fachada del proyecto de vivienda multifamiliar Caracolí.	21
Imagen 7. Planos en planta estructurales.	22
Imagen 8. Planos en planta de la red hidráulica.	22
Imagen 9. Planos en planta de la red sanitaria.	23
Imagen 10. Plantilla del plano en 2D de la torre tipo A del proyecto en Autodesk Revit®.	26
Imagen 11. Rejilla realizada a partir de la plantilla del plano en 2D del proyecto.	27
Imagen 12. Creación de niveles de alzado del proyecto.	28
Imagen 13. Creación de la placa de cimentación (placa piso 1) del proyecto.	29
Imagen 14. Elaboración de los muros de la torre del proyecto.	30
Imagen 15. Placa de cimentación y muros piso 1 de la torre del proyecto.	31
Imagen 16. Elaboración de la placa del piso 1 de la torre del proyecto.	32
Imagen 17. Elaboración de los muros del piso 2 de la torre del proyecto.	33
Imagen 18. Modelación estructural completa de la torre del proyecto.	34
Imagen 19. Modelación en planta de la red hidráulica.	35
Imagen 20. Modelación de la red hidráulica vista en planta sección baños.	36

Imagen 21. Modelación de la red hidráulica vista en planta sección cocina y patio.	37
Imagen 22. Modelación del alzado de la red hidráulica sección baños.	38
Imagen 23. Modelación del alzado de la red hidráulica sección cocina y patio.	39
Imagen 24. Modelación de la red hidráulica de la torre del proyecto.	40
Imagen 25. Modelación de la red sanitaria vista en planta de la torre del proyecto.	41
Imagen 26. Modelación de la red sanitaria vista en planta sección baños.	42
Imagen 27. Modelación de la red sanitaria vista en planta sección cocina y patio.	43
Imagen 28. Modelación de la red sanitaria sección baños.	44
Imagen 29. Modelación de la red sanitaria sección cocina y patio.	45
Imagen 30. Modelación de bajantes la red sanitaria del proyecto.	46
Imagen 31. Modelación de las cajas de inspección de la red sanitaria del proyecto.	47
Imagen 32. Vista inferior de la red hidráulica y sanitaria junto a los muros del proyecto.	48
Imagen 33. Localización de la red hidráulica y sanitaria junto a los muros del proyecto.	49
Imagen 34. Modelación de la red hidráulica y sanitaria de la torre del proyecto.	50
Imagen 35. Distribución de los obreros en el piso a ejecutar para el primer escenario.	56
Imagen 36. Cronograma de simulación del proyecto parte 1.	57
Imagen 37. Cronograma de simulación del proyecto parte 2.	58
Imagen 38. Distribución de los obreros en el piso a ejecutar para el segundo escenario.	62
Imagen 39. Registro fotográfico del personal en obra.	63
Imagen 40. Registro fotográfico del método de vaciado de concreto con tolva.	64
Imagen 41. Registro fotográfico del sistema Forsa en obra.	64
Imagen 42. Cronograma real del proyecto parte 1.	66
Imagen 43. Cronograma real del proyecto parte 2.	67

Imagen 44. Informe de comparación de los cronogramas.	69
Imagen 45. Informe de comparación de los cronogramas una vez guardado parte 1.	70
Imagen 46. Informe de comparación de los cronogramas una vez guardado parte 2.	70
Imagen 47. Interfaz de la plataforma Autodesk Naviswors® con el modelo 4D terminado.	75
Imagen 48. Simulación de ejecución de actividades de obra día 1 semana 1.	77
Imagen 49. Simulación de ejecución de actividades de obra día 10 semana 2.	78
Imagen 50. Simulación de ejecución de actividades de obra día 11 semana 3.	79
Imagen 51. Simulación de ejecución de actividades de obra día 12 semana 3.	80
Imagen 52. Simulación de ejecución de actividades de obra día 13 semana 3.	81
Imagen 53. Simulación de ejecución de actividades de obra día 14 semana 3.	82
Imagen 54. Simulación de ejecución de actividades de obra día 15 semana 3.	83
Imagen 55. Simulación de ejecución de actividades de obra día 16 semana 3.	84
Imagen 56. Simulación de ejecución de actividades de obra día 18 semana 4.	85
Imagen 57. Simulación de ejecución de actividades de obra día 20 semana 4.	86
Imagen 58. Simulación de ejecución de actividades de obra día 22 semana 4.	87

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: Estudio y Análisis de la Implementación de la Metodología BIM (Building Information Modeling) en un Proyecto de Vivienda Multifamiliar

AUTOR(ES): Gabriela Stephanía Antolínez Carvajal
Jorge Alonso Rincón Pita

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Jorge Mauricio Ramírez Velázquez

RESUMEN

En la ejecución de proyectos de construcción se debe tener presente como factor de gran importancia el cumplimiento del cronograma de los mismos, ya que se deben cumplir con fechas estipuladas para las actividades que los comprenden. Todo esto junto con los diseños y su interpretación son elementos indispensables a tener presentes y claros a la hora de planificar y ejecutar una obra de construcción. Debido a lo anterior, el uso de plataformas y herramientas de modelación de información (BIM) permite una realización de manera óptima y conjunta de esos diseños mediante simulaciones, para posteriormente en la ejecución de obra permitirles a los ingenieros una excelente interpretación de los mismos y con esto evitar problemas o inconvenientes que se puedan presentar. Se escogió un proyecto de vivienda multifamiliar en la parte estructural y de redes hidráulica y sanitaria, se realizó inicialmente un modelo 3D y posteriormente junto con el cronograma de actividades de esa obra se creó un modelo 4D que muestra una simulación de la ejecución de las mismas. Con lo anterior se busca estudiar y analizar la implementación del modelado de información (BIM) y también determinar causas de posibles diferencias y establecer ventajas y desventajas del uso del mismo.

PALABRAS CLAVE:

Planeación, Ejecución, Diseños, Modelación de Información (BIM), Modelo 3D/4D.

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: Study and Analysis of the Implementation of the BIM Methodology (Building Information Modeling) in a Multifamily Housing Project

AUTHOR(S): Gabriela Stephanía Antolínez Carvajal
Jorge Alonso Rincón Pita

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Jorge Mauricio Ramírez Velázquez

ABSTRACT

In the implementation of construction projects should be present as a factor of great importance the fulfillment of the timetable for them, since they must meet the stipulated dates for the activities that comprise them. All this along with the designs and their interpretation are indispensable elements to be present and clear when it comes to planning and executing a construction site. Because of this, the use of platforms and modeling of information (BIM) tools allows a realization optimal and joint of those designs through simulations, to later in the execution of work allowed engineers a excellent interpretation of them and this avoid issues or problems that may occur. Was chosen a multifamily in the structural part and hydraulic and sanitary networks project, was initially a 3D model and then together with the schedule of activities of this work created a 4 d model that shows a simulation of the execution of the same. This seeks to study and analyze the implementation of modeling (BIM) information and also to determine causes of possible differences and establish advantages and disadvantages of the use of the same.

KEYWORDS:

Planning, Execution, Designs, Building Information Modeling (BIM), 3D/4D Model.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCIÓN

Los proyectos de construcción a día de hoy representan un papel importante en la sociedad, sobre todo la etapa de planeación y ejecución del mismo, debido a que por múltiples factores la mayoría de veces se presentan retrasos en esas etapas. Es de suma importancia en esta industria y a nuestros días cumplir con los tiempos especificados para que las personas confíen en el trabajo de las empresas constructoras y los ingenieros y así poder posicionarse como un sector con auge en la industria. El problema de esos retrasos principalmente radica en los diseños y la interpretación de los mismos, ya que pueden estar incompletos o no estar relacionados los unos con los otros al momento de realizarlos, por incomunicación entre los diseñadores lo que también hace que no haya una relación entre los diseños.

Los diseños estructurales y de las redes hidráulica y sanitaria son actividades constructivas que generalmente presentan inconvenientes a la hora de su interpretación y posterior ejecución de obra. A causa de esto la implementación del modelado de información (BIM) es de suma importancia y es la razón por la que actualmente está comenzando a tomar fuerza en la industria de los proyectos de construcción.

Entonces, mediante el uso de esta herramienta de simulación de información se realiza un estudio y análisis de su implementación en un proyecto de vivienda multifamiliar escogido, específicamente en cuanto a la parte estructural y de redes hidráulica y sanitaria, que permita mostrar comparaciones entre los datos reales del mismo y los obtenidos por la modelación, causas de las posibles diferencias que se lleguen a presentar y por último ventajas y/o desventajas de su uso en proyectos de construcción.

Todo lo anterior es posible mediante la realización de un modelo 4D que permita visualizar la secuencia de las actividades ejecutadas, es decir, un modelo 3D de la parte estructural y de redes hidráulica y sanitaria junto con el cronograma de actividades de un proyecto de vivienda multifamiliar.

El presente trabajo contiene en el desarrollo del mismo principalmente un apartado de creación del modelo 3D, posteriormente el cronograma de actividades, seguido a esto la creación del modelo 4D y finalmente las debidas comparaciones, causas de diferencias y el análisis de lo real ejecutado en obra con todo lo obtenido mediante la realización de este proyecto.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar el modelo BIM (Building Information Modeling) en el componente estructural, a partir de los datos reales de diseño y programación de un proyecto de vivienda multifamiliar, para realizar el análisis y la comparación de los resultados obtenidos por medio del modelo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un modelo BIM 4D a nivel estructural de acuerdo a las actividades de obra planteadas en la programación, que permita visualizar la secuencia de las actividades ejecutadas.
- Analizar la información obtenida del modelo para su respectiva comparación con la base de datos obtenida de la ejecución real del proyecto.
- Determinar causas a las posibles diferencias entre el cronograma de actividades generado por la herramienta y real (ejecutado en obra).
- Establecer ventajas y/o desventajas del uso del modelado de información (BIM) en un proyecto de construcción.

3. JUSTIFICACIÓN

Nos encontramos en la era de la globalización, era en la cual la tecnología es necesaria en nuestro diario vivir siendo un complemento más que nos facilita y suple ciertas necesidades. Sin embargo y a pesar de los avances que da la tecnología en diferentes campos de la ciencia seguimos temiendo a los cambios que esta nos presenta en lo relacionado a procesos que conocemos desde antaño, ya sea por su costo o la aparente complejidad de manejo que supone horas de estudio de las herramientas computacionales.

El modelo BIM es una herramienta capaz de mostrarnos una visión mucho más amplia de los procesos que realizamos incluso antes de ejecutarlos siendo de gran ayuda no solo en un sector en específico sino en los diferentes campos en los que podríamos llegar a necesitarle, lo cual es una característica que lo hace uno de los sistemas de modelado más completos en el mercado actual; utilizado en diferentes proyectos de construcción con excelentes resultados en los procesos integrando todas y cada una de las actividades a realizar, el modelo BIM ha demostrado ser una herramienta más que aceptable para cualquier obra si se sabe aprovechar.

A medida que la tecnología avanza en el campo de la información, el diseño en 2D ha evolucionado hacia el modelado de información BIM en cuanto a los proyectos de construcción. Mediante su implementación se obtiene una amplia documentación sobre dichos proyectos y los productos que lo comprenden haciendo que se pueda trabajar y operar quedando a disposición para su utilización en otros proyectos para así mejorar los resultados que se obtienen en la construcción, ya que se tiene una amplia base de datos de los recursos y así mismo poder tener soluciones en la ejecución y construcción de las obras.

Además de que supone una gran ventaja en la optimización de la obra, también es una herramienta que permitirá en un futuro cercano tener un nivel de competitividad más alto en las diferentes industrias a aquellas personas que lo utilicen y manejen a disposición, lo que se traduce en una amplia oportunidad laboral en cualquier sector de la economía.

Toda mejora empieza por lo que estemos dispuestos a generar. Así como lo afirma Juan Gabriel Hurtado (2015): “La importancia de tomar la iniciativa regional en la implementación de BIM implica el conocimiento del estado del arte sobre como son los sistemas de trabajo en el sector de la construcción en cada región. Ello abre un nicho de investigación para las universidades ya que ellas tienen la responsabilidad de apoyar el desarrollo regional”.

3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

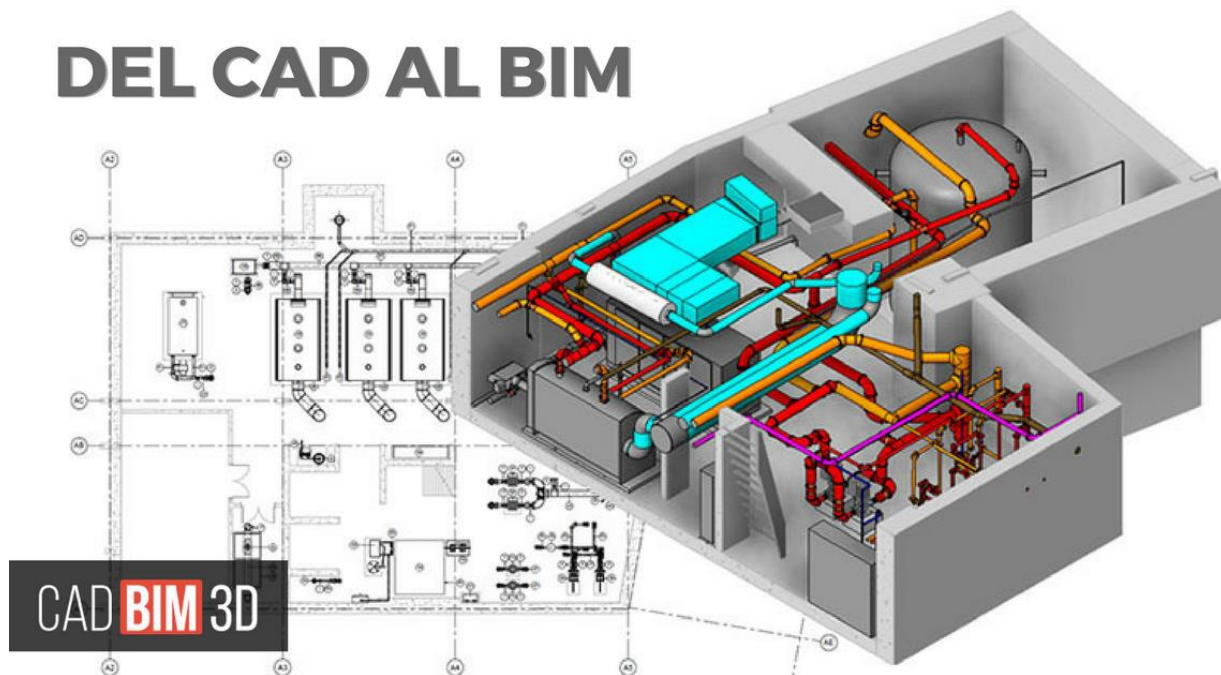
En el transcurso de cualquier proyecto de construcción ya sea de una obra pública o privada, se contempla que aspectos como la calidad y optimización de recursos se encuentren presentes en el desarrollo de las actividades previstas para que el resultado final sea el esperado.

Teniendo en cuenta esto, hoy en día en el mundo aparecen cada vez más aquellos que buscan la innovación y desarrollo de herramientas que permitan desde los cimientos de la obra generar actividades y procesos más óptimos para que desde la práctica general de entrega de planos de diseño de proyectos en 2D, se den los cambios pertinentes y los datos que se generen no sean de conocimiento de solo unos pocos.

La modelación en tercera dimensión (3D) es una de las herramientas que ha sido principalmente analizada debido a que nos permite la visualización de los elementos que comprenden cada una de las actividades de la obra, sin embargo un nuevo concepto se ha

establecido como una alternativa mucho más completa: la tecnología de modelación BIM (Building Information Modeling) debido a que realiza una representación digital en tres o cuatro dimensiones aspectos relevantes del proyecto a tratar como lo son los costos, materiales, especificaciones y duración.

Imagen 1. Representación del CAD al BIM (2D a 3D).



Fuente: <http://www.cadbim3d.com/2017/11/del-cad-al-bim.html>

La modelación de información BIM se define como una herramienta de desarrollo y obtención de información del proyecto en todas sus etapas mediante el uso de un programa informático de modelación en tres o más dimensiones en tiempo real, ofrece inmensas posibilidades para la visualización que bien aprovechadas ayudan a evitar sobrecostos y retrasos en la ejecución de obra.

No obstante, a pesar de las ventajas que este sistema brinda y la implementación del mismo en varias empresas, se presentan aun en el medio de la construcción prejuicios sobre el modelo por parte de algunos círculos quienes no lo consideran fiable debido a que no conciben un cambio de las técnicas consolidadas de cada proceso y su desconocimiento de las herramientas no les permite habituarse al cambio.

Si bien esta herramienta no se encuentra ampliamente difundida en el medio para la optimización de procesos y su implementación lleva poco tiempo, la tecnología avanza y brinda oportunidades para optimizar la dinámica visual de proyectos.

Con el uso de las metodologías BIM se puede llevar un control de los procesos constructivos en un mismo software y de esta manera tener de forma completa todo lo relacionado con el proyecto, realizando gestión del mismo para solucionar las situaciones e inconvenientes que se presenten.

3.2. ANTECEDENTES

La metodología BIM desde su comienzo no se ha centrado en un único país. Se origina en los Estados Unidos donde la administración federal de los Estados Unidos (GSA), desde el 2007 requiere sus proyectos en BIM como así mismo el cuerpo de ingenieros del ejército. Algunas entidades gubernamentales de los Estados Unidos exigen los modelos BIM como entregables. En Australia hasta ahora se encuentra iniciando, un ejemplo del uso de BIM en la gestión de edificaciones es el Sydney Opera House.

Los principios de los estándares de la metodología BIM se encuentran en Noruega y Finlandia de forma pareja. Finlandia en cuando a tecnología es un país avanzado y su campo de

construcción es veloz y reducido lo cual hace que sea un panorama óptimo para BIM, ya que frecuentemente se usa en pequeños proyectos de construcción. Por otro lado, el uso de la metodología BIM en Noruega en proyectos de construcción es necesario para su aprobación en general. Incluso se enseña en las escuelas técnicas.

En diferentes países los gobiernos de los mismos y la industria han implementado esta herramienta en diferentes de sus procesos, consolidándose como grandes referentes del uso del BIM:

Las guías y estándares del modelado de información BIM las divulgan Australia y Nueva Zelanda, así mismo Singapur difunde sus propios estándares y plantillas dando la oportunidad de entregar los proyectos en BIM en modelos electrónicos. Inglaterra crea una estrategia llamada “Building Information Modeling (BIM) Working Party Strategy”, en la cual el gobierno da a conocer su interés en solicitar el modelado de información BIM en cada uno de los proyectos que se realicen desde el 2016. Con esta estrategia buscan activar la industria en la aceptación de estándares y procedimientos trabajados con esta tecnología. (Bernal, 2016)

Esto ha dado una amplia documentación para el uso de la metodología BIM a diferentes campos como la arquitectura, la ingeniería, las empresas proveedoras de servicios y fabricantes.

La alianza BuildingSMART se está convirtiendo en algo importante en cuanto a la aceptación e implementación de BIM en todo el mundo debido a que incentiva el uso de “OPEN BIM: estándares y mejores prácticas en BIM” entre los diversos profesionales de la industria.

A pesar del hecho de que la tecnología BIM en los últimos años ha tenido una gran acogida en el mundo gracias a que permite una gestión sistematizada de un proyecto logrando disminuir la incertidumbre en las diferentes fases del mismo, su aparición es poca en Colombia

exceptuando determinados casos en se empieza a presentar su uso ya que su gran competitividad hace que se conserve una resistencia a la misma de forma general debido muchas veces a la falta de información sobre el beneficio del modelado de información BIM a comparación de las herramientas de diseño en 2D que evidencian mejoras importantes en los proyectos en cuanto a la inversión.

Los grandes empeños por utilizar la metodología BIM en Colombia son pocos, han habido unos intentos con gran acogida sobre otros puesto que se presenta poco conocimiento e información, también debido a que toma mucho tiempo en los proyectos de construcción y esa industria poder obtener cambios significativos en cuanto al procedimiento ya que se asumen riesgos. Por estas razones esta metodología en Colombia se ha usado en gran parte para creaciones en el campo de la arquitectura.

Diversas empresas por utilizar estas herramientas en la creación de los proyectos pudieron hacer control de los avances en la obra mediante las simulaciones que se pueden realizar con el uso de esta metodología BIM. También estas simulaciones dieron la oportunidad de producir un estudio de lo que sucedía en cuanto a la ejecución de esos proyectos y de esta manera poder crear un programa de supervisión que impidiera interrumpir las actividades en el proceso constructivo de los mismos.

A pesar de que la metodología BIM no se encuentra afianzada en Colombia y que las escasas empresas que la han implementado han sido en fases piloto o de prueba, se han creado de forma novedosa en la industria empresas consultoras que hacen uso de esta tecnología para tener una mejor oferta de sus servicios en un mercado tan competitivo como lo es la construcción.

En cuanto a lo académico, las metodologías BIM han podido establecer y llevar a cabo

numerosos proyectos de investigación como trabajos de grado e investigaciones propias de semilleros en muchos campos. Sobre el contenido que se ha trabajado en dichas investigaciones se pueden identificar dos planteamientos principales. Uno de esos planteamientos es el que se centra en la selección de información teórica y el otro se fundamenta en la práctica del uso de cierta metodología BIM que permita crear modelos en distintas dimensiones.

3.3. ALCANCE

Se proyecta hacer una modelación en 4D (3D + tiempo) para evidenciar el diseño y programación de la fase estructural y de redes hidráulica y sanitaria de una obra ejecutada en el tiempo que abarca el 2014 al 2016, generando el análisis de los resultados arrojados por la herramienta para optimización de recursos. El proyecto aquí presentado analizará entre otras cosas, la repercusión de los conflictos en el proceso de realizar la construcción (espacio 3D) frente a lo que se puede extraer de los planos (espacio 2D), y su incidencia en el cronograma de obra de un proyecto de construcción de vivienda multifamiliar, realizando una comparación con los datos iniciales (antes de la modelación) y finales (después de la modelación).

4. MARCO TEÓRICO

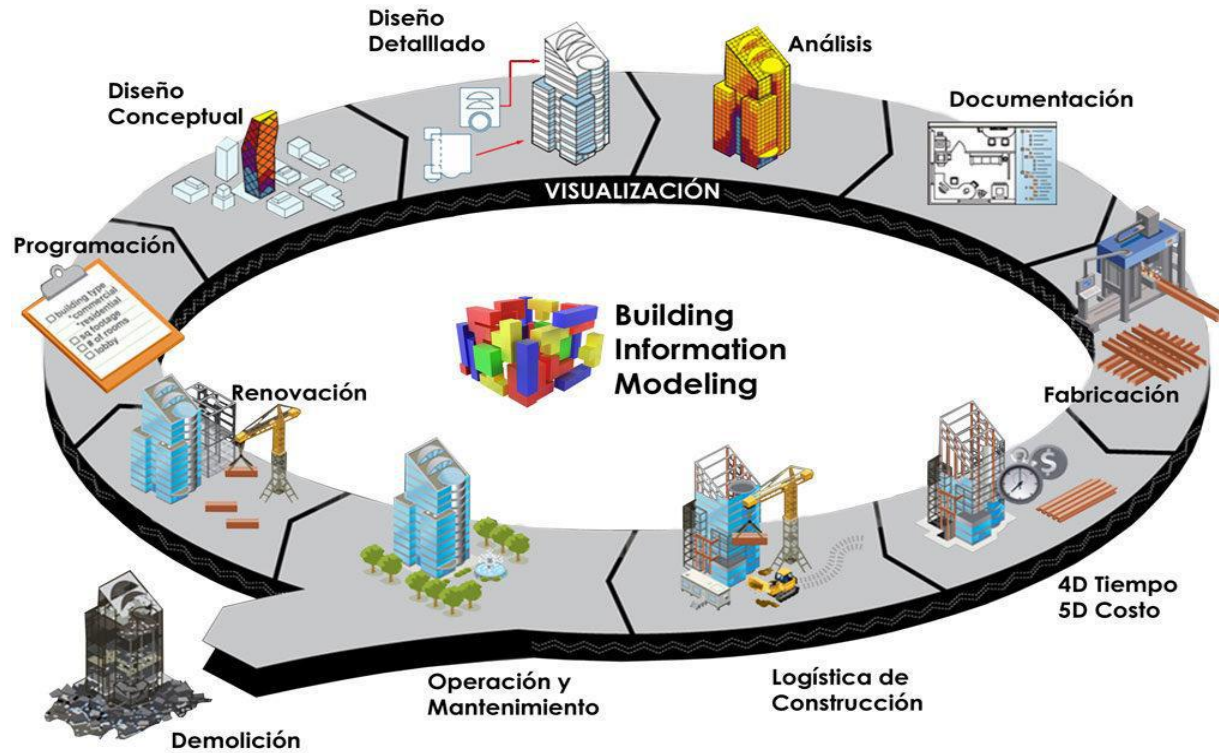
Este capítulo comprende el resultado de la investigación sobre el sistema de trabajo BIM y aquellos elementos ligados al mismo, la temática esencial relacionada a los conceptos que corresponden de forma inmediata con el modelo BIM y con la metodología que se planteó para llevar a cabo y realizar el presente trabajo de grado

4.1. BUILDING INFORMATION MODELING - BIM

La modelación de información en la construcción tal y como lo conocemos en estos momentos ha pasado por una gran serie de cambios desde su concepción como modelo hasta nuestros días, desde el desarrollo del primer sistema CAD en 1963 hasta la incidencia del Revit y su cambio de interface. Pero primero es importante saber que el modelo BIM es una simulación de proyecto que consiste en los modelos 3D de los componentes del proyecto con enlaces a toda la información requerida relacionada con la planeación del proyecto, la construcción u operación, y desmantelamiento (Kymell, 2008), es decir, es un proceso para crear y administrar información sobre un proyecto de construcción a lo largo de la ejecución del proyecto.

Imagen 2. Ciclo de vida de un proyecto de construcción con BIM.

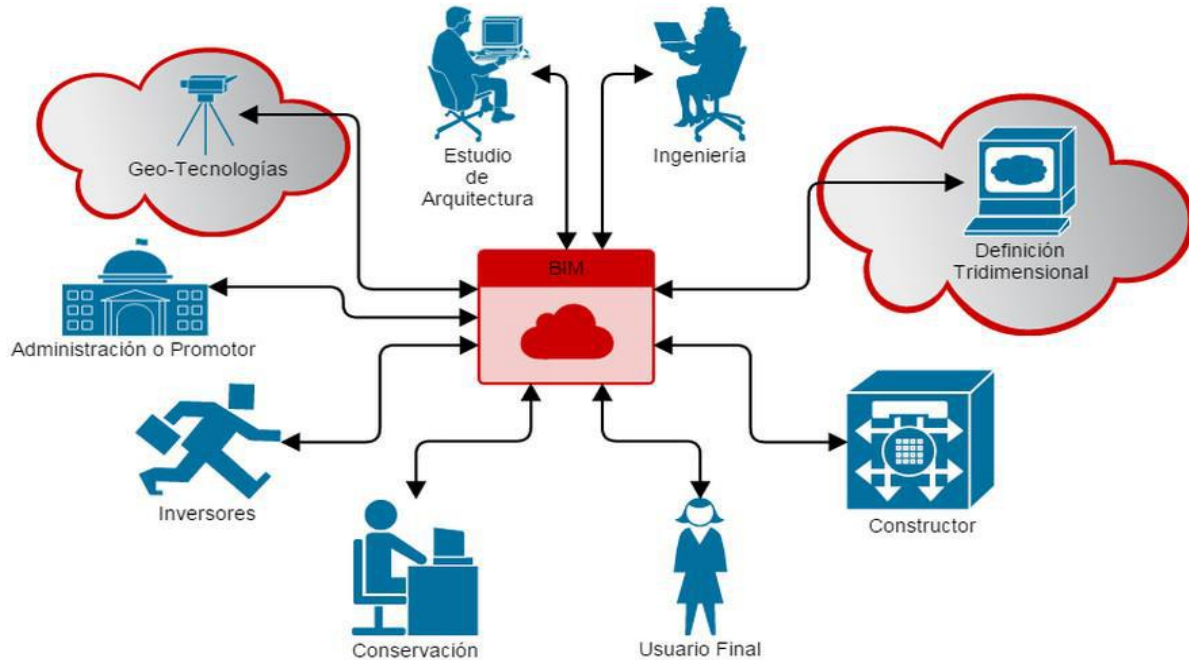
CICLO DE VIDA DE LA EDIFICACIÓN.



Fuente: <http://alterevoingenieros.blogspot.com.co/> <http://ingcivileng.com/2017/12/03/bim-hacia-la-alineacion-de-intereses-en-la-construccion/>.

Se puede decir que uno de los resultados clave de este proceso de modelaje, es la descripción digital de cada aspecto del activo construido. Este modelo se basa en la información reunida de forma colaborativa y actualizada en las etapas clave de un proyecto. La creación de un Modelo de Información de Construcción digital permite a aquellos que interactúan con el edificio optimizar sus acciones, resultando en un mayor valor de vida útil para el activo. (NBS, 2016)

Imagen 3. Estructura del modelo BIM.



BIM Survey (2015). BIM Survey, servicios BIM para proyectos de Obra Civil.

Fuente: http://www.bimsurvey.es/blog/wp-content/uploads/2015/06/diagrama_de_comunicaci%C3%B3n.jpeg

Por eso es importante reconocer que, parte de lo que hace al modelo de BIM tan exitosa acogida en los últimos años es por el hecho de ha innovado en cuanto a lo que puede utilizar la persona que diseña ya que lo hace con herramientas para la construcción en tres dimensiones de forma dinámica, también son parametrizables e intuitivos porque modifican su representación al momento de cambiar la escala de visión con propiedades adicionales en la forma y el volumen, peso, precio y/o fabricante, las cuales se pueden unir a los elementos para luego de todo tener documentación de ello. (Panama, 2013)

Ahora bien, el modelo BIM a pesar de ser una de las herramientas computacionales que se encuentra en auge por su gran incidencia en las fases de diseño y construcción de proyectos

como se afirma en párrafos anteriores, no podría concebirse como tal de no ser por los elementos que lo componen de los cuales por concepto de importancia solo será nombrado Revit, al cual principalmente se le debe la implementación de este modelo.

4.2. AUTODESK REVIT®

Es un programa informático que permite pasar de la modelos de planos 2D a una modelación en 3D, su fabricante es Autodesk lo que permite que tanto Revit® como AutoCAD® tengan una interacción favorable, ya que en su interfaz dispone de una herramienta para crear importaciones y exportaciones mutuamente, lo que permite mayor facilidad la elaboración de modelos 3D en Revit® usando como base planos en 2D.

Revit® dispone de varios componentes para la modelación en 3D en el campo de la ingeniería civil como lo son: diseños estructurales, redes hidrosanitarias, redes eléctricas, redes de gas y componentes arquitectónicos. Esto hace que Revit® sea una de las opciones fuertes en el mercado como opción para la elaboración de modelos BIM en proyectos de construcción.

4.3. AUTODESK NAVISWORKS®

Es un programa informático diseñado por Autodesk que permite la creación de modelos simulaciones a partir de modelos 3D, emplea como base modelos 3D producidos en Revit®.

Navisworks® es una herramienta computacional fuerte en el diseño de modelos en más de tres dimensiones (3D) en proyectos de construcción, ya que en su interface encontramos opciones como anexar valores monetarios a cada elemento del modelo, creando así un

presupuesto y también permite recrear simulaciones a través del tiempo, estableciendo así un cronograma de actividades.

En el campo de la construcción tanto como presupuesto y programación de obra, son dos pilares para el desarrollo de cada proyecto, siendo así Navisworks una herramienta fuerte para recrear modelos en más de tres dimensiones (3D) en el campo de proyectos construcción.

4.4. MICROSOFT PROJECT®

Microsoft Project® es un software que permite realizar la programación de un proyecto organizando las actividades mediante la definición de tiempos por fechas y jornadas de trabajo buscando que se obedezca con los plazos establecidos sin incurrir en sobrecostos.

Es una herramienta óptima para controlar y gestionar diversos tipos de proyectos, facilita la programación y poder tener un control de las actividades que comprenden la ejecución del proyecto y de esta forma el progreso del mismo.

El uso de este software trae grandes beneficios puesto que da la oportunidad de realizar un proyecto con un orden y de manera sencilla para poder hacer actualizaciones del mismo mediante se ejecuta el proyecto. Adicionalmente con su uso se busca evitar retrasos y sobrecostos.

Una de las acciones internas que se pueden utilizar es que lo trabajado en el software se complementa con elementos de Microsoft Excel®.

Existen muchos tipos de herramientas dentro de este software, de forma que el análisis de los datos es mucho más sencillo. Sin embargo, aquí nombraremos las principales: (Vázquez, 2012)

4.4.1. Ruta crítica

Se obtiene cuando ya se tiene toda la información en el software arrojando datos importantes como las fechas de comienzo y fin más próximos y más tardíos de cada actividad de obra.

4.4.2. Diagrama de Gantt

Es en donde se trabaja en el software y da una visión del cronograma de actividades realizado a manera de calendario.

4.4.3. Resumen de Proyecto

Da diversa información como fechas, duración, horas de trabajo, estado de las actividades programadas entre otros.

4.5. PROGRAMACIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

La programación es un proceso que, aunque pueda parecer simple no lo es y en definitiva es uno de los pilares para que la ejecución de un proyecto de cualquier clase pueda tener los resultados esperados en el tiempo en el que fue pensado realizarlo.

Es un plan de la realización futura de una obra de forma secuencial de las actividades necesarias y pertenecientes a la ejecución de la misma, las cuales tienen una dependencia entre ellas. (Forenza, 2013)

La programación da la oportunidad de definir la forma en la que se va a llevar a cabo la

obra y los recursos para cada actividad, la duración, fechas y el tiempo total. El factor relacionado a la calidad no sólo se evidencia en el producto final de la obra sino en el proceso de su construcción y por esta razón es importante planear y programar para obtener calidad. Si esto no se hace se incurrirá en aumento en los tiempos y sobre costos. (Valencia, 2012)

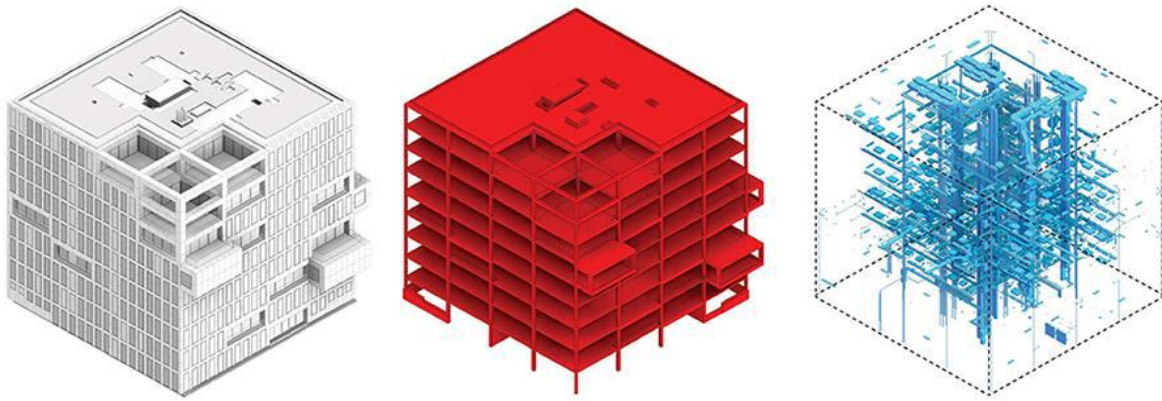
5. METODOLOGÍA

La investigación planteada en este documento, comprendió diferentes fases planteadas, como acción primera, fue indispensable obtener la información necesaria para la herramienta computacional a utilizar en el desarrollo del modelado los cuales son planos estructurales, sanitarios, hidráulicos y cronograma de obra. Ya que se planteó realizar la modelación estructural, hidráulica y sanitaria para analizar el cronograma que se presentó en la duración de este proyecto de obra, se adquirieron los diseños iniciales del proyecto y la programación diseñada para cada actividad. Se organizó lo obtenido en un formato que posibilitó la visualización de la información. Teniendo esto, se realizó un cronograma que permitió visualizar de forma ordenada las actividades y sus respectivos apartados según se presentó cada capítulo para ejecución de la obra y se hizo el cronograma propuesto que es el de la simulación.

Luego, se establecieron las actividades a modelar y aquellas que eran necesarias calcular considerando los datos adquiridos. Para la modelación en la Autodesk Revit® se tuvo presente que los parámetros de creación para los materiales y elementos fueran nombrados de forma estándar para evitar confusiones; la modelación se ejecutó de la misma forma como se construyó.

Por último, se analizaron los resultados obtenidos una vez terminada la modelación en Revit® con los cronogramas, identificando elementos que permitieron realizar una comparación con el tiempo real de la ejecución del proyecto.

Imagen 4. Representación BIM de la estructura y redes de una edificación.



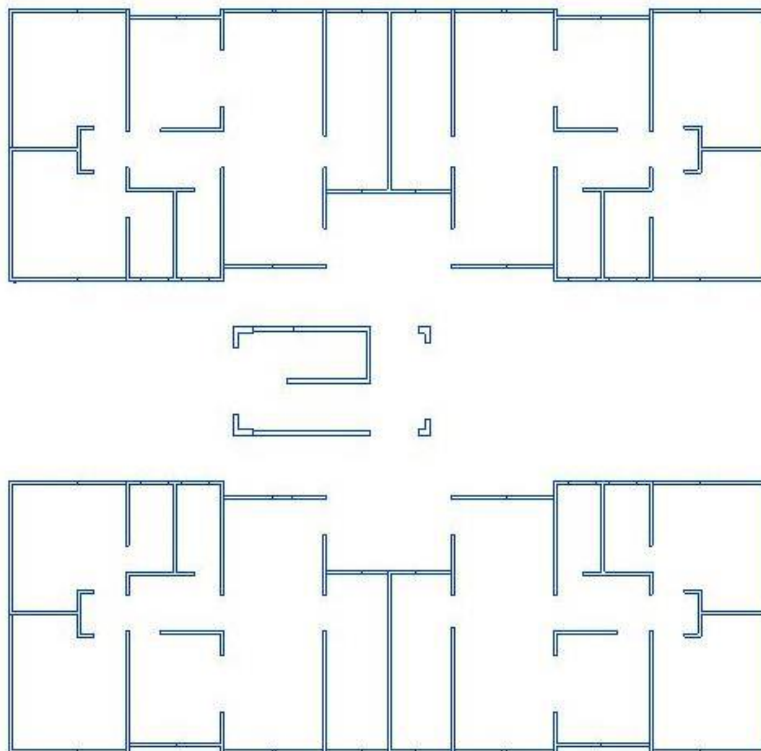
Fuente: <http://www.alliesandmorrison.com/expertise/bim/>

6. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

6.1. SELECCIÓN DEL PROYECTO DE VIVIENDA MULTIFAMILIAR

El proyecto de vivienda multifamiliar seleccionado para la realización del modelo 3D es un conjunto residencial comprendido por 12 edificios cada uno de 5 pisos y 4 apartamentos por nivel. Cada apartamento está compuesto de tres alcobas, un espacio destinado para la sala y el comedor, un hall, una cocina y dos baños. (Ver imagen 5).

Imagen 5. Vista en planta de la composición por piso de la torre.



Fuente: Archivo digital empresa constructora.

Este conjunto dispone de 68 parqueaderos, 48 para uso de residentes y 20 para visitantes, piscina descubierta, edificación comunal, portería, zonas verdes y recreativas.

A momento del presente de estudio, el proyecto ya está construido de manera completa y debido a esto los análisis realizados en el trabajo fueron con las actividades ya finalizadas y los datos obtenidos.

Imagen 6. Vista frontal de fachada del proyecto de vivienda multifamiliar Caracolí.



Fuente: Archivo digital empresa constructora.

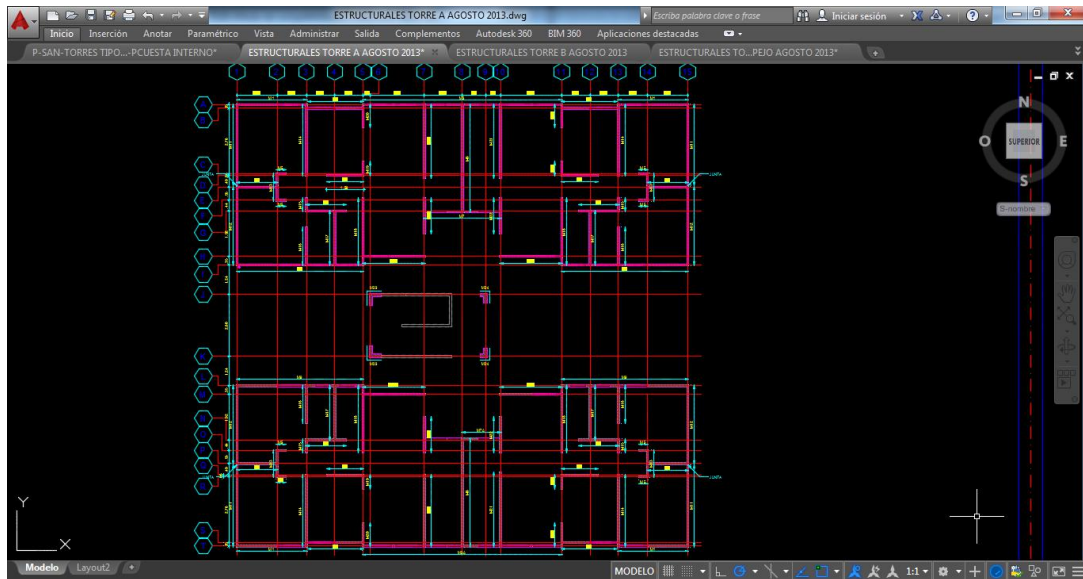
6.2. IMPLEMENTACIÓN DE AUTODESK AUTOCAD®

Fue necesario utilizar el programa Autodesk AutoCAD® en la realización del proyecto debido a que los planos facilitados por la empresa se encontraban en este formato.

En ella se apreciaron los planos estructurales, de la red sanitaria e hidráulica para posterior realización del modelo de la torre de viviendas en 3D, ya que era de gran importancia tomar nota de los detalles de cada ítem a modelar en 3D como las medidas y dimensiones de la

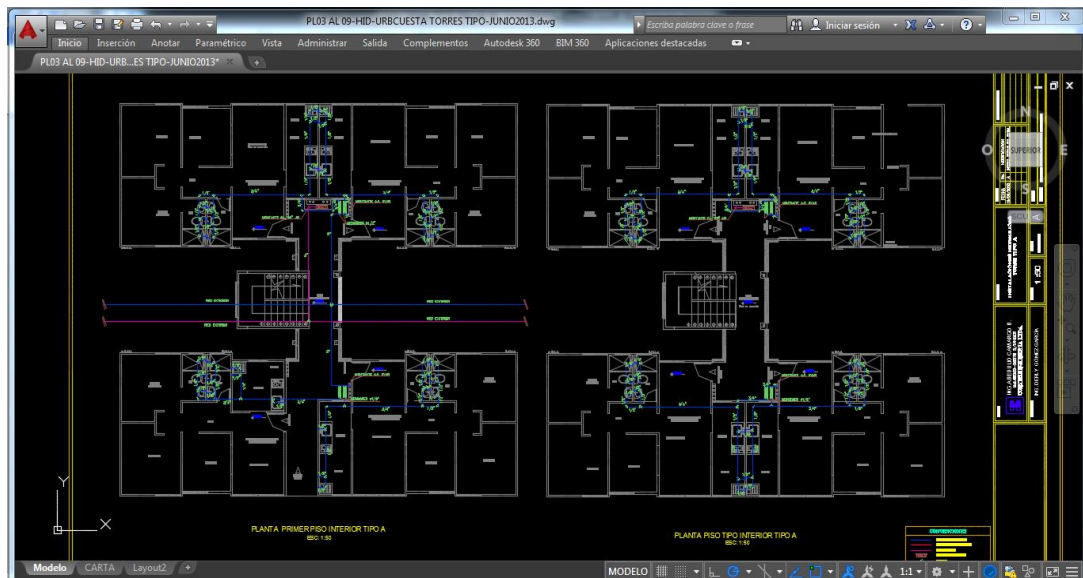
torre, adicional a esto la disposición de las redes y tuberías utilizadas así como su longitud y ubicación en la misma.

Imagen 7. Planos en planta estructurales.



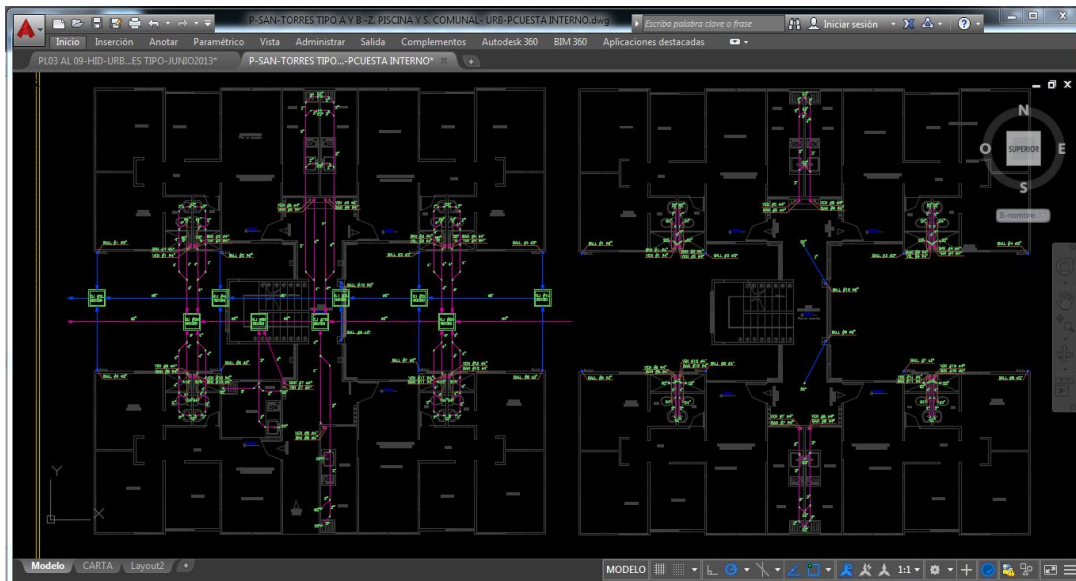
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 8. Planos en planta de la red hidráulica.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 9. Planos en planta de la red sanitaria.



Fuente: Elaboración propia.

6.3. IMPLEMENTACIÓN DE AUTODESK REVIT®

Para desarrollo de este proyecto se usó la herramienta Autodesk Revit® ya que es muy completa en los trabajos BIM (Building Information Modeling).

A partir de esto, se dispuso a realizar una capacitación en la utilización de dicho programa con el fin de conocer toda su interfaz, herramientas y parámetros necesarios para la elaboración del modelo 3D. (Ver título 6.7).

6.4. IMPLEMENTACIÓN DE AUTODESK NAVISWORKS®

En la realización del modelo 4D se empleó adicionalmente la plataforma Autodesk Navisworks® debido a que permite importar en ella el modelo 3D e ingresar las fechas del

cronograma de actividades de la obra para poder crear una simulación de la ejecución de la obra y de esta manera poder cumplir con los objetivos de este trabajo. Es un complemento de la modelación 3D y junto con ella se crea un modelo 4D, es decir, modelación 3D con la programación.

Al igual que con Revit®, se realizó una capacitación por cuenta propia en dicho programa con el fin de conocer toda su interfaz, herramientas e información necesaria para la elaboración del modelo 4D. (Ver título 6.10).

6.5. IMPLEMENTACIÓN DE MICROSOFT PROJECT®

Como herramienta fundamental para la realización del modelo 4D se empleó Microsoft Project® en el cual se organizaron de manera separada el cronograma de actividades obtenido mediante la simulación, el cual es el planeado y el cronograma de actividades real, el cual es el ejecutado en la obra. Todo lo anterior para tener los tiempos y fechas de cada actividad trabajada en obra de una manera más explícita y específica. (Ver título 6.9).

6.6. IMPLEMENTACIÓN DE ADOBE PHOTOSHOP CC®

Se utilizó el programa Adobe Photoshop CC® para unir las imágenes y realizar un collage con ellas, con esto realizar la comparación de los datos e información obtenida en la simulación del modelo 4D en el programa Autodesk Navisworks®, de esta manera buscando una mejor comprensión de las imágenes y mostrando una correlación entre las mismas. Adicional a esto, para poder realizar su respectivo análisis de una mejor forma.

Se empleó para unir la imagen del cronograma de actividades de la simulación con el cronograma de actividades de lo real, también para escribirle la fecha, día y semana de cada una de las simulaciones. (Ver título 6.9.3).

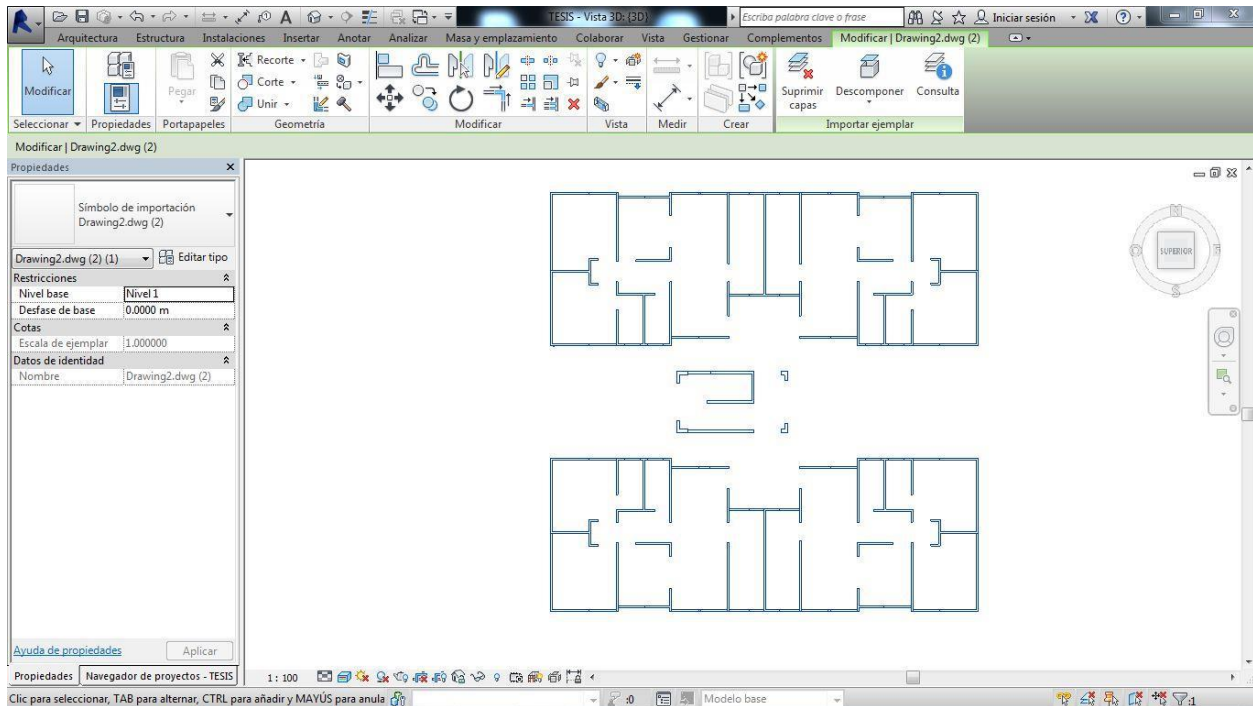
6.7. CREACIÓN DEL MODELO 3D DEL PROYECTO

Luego de disponer de todos los datos necesarios del proyecto como fueron las dimensiones de los muros (alto, ancho y espesor), altura total de la edificación, cantidad de pisos y datos de las redes sanitarias e hidráulicas, entre otros, se llevó a cabo su modelación 3D en la plataforma Autodesk Revit®.

Se dispuso a realizar la modelación de la torre 3 tipo A de manera estructural con todas las características correspondientes a la misma.

Como primer paso se procede a importar del programa Autodesk AutoCAD® el plano en 2D del proyecto, el cual fue proporcionado por la empresa constructora del mismo, a la plataforma Autodesk Revit®, como ayuda a la realización del modelo y una guía en cuanto a las dimensiones, posicionamiento de muros y placas, distribución de los espacios, así como otros diferentes aspectos necesarios para su realización. De la misma manera se trabajan con las dimensiones del diseño realizado previamente en 2D. (Ver imagen 10).

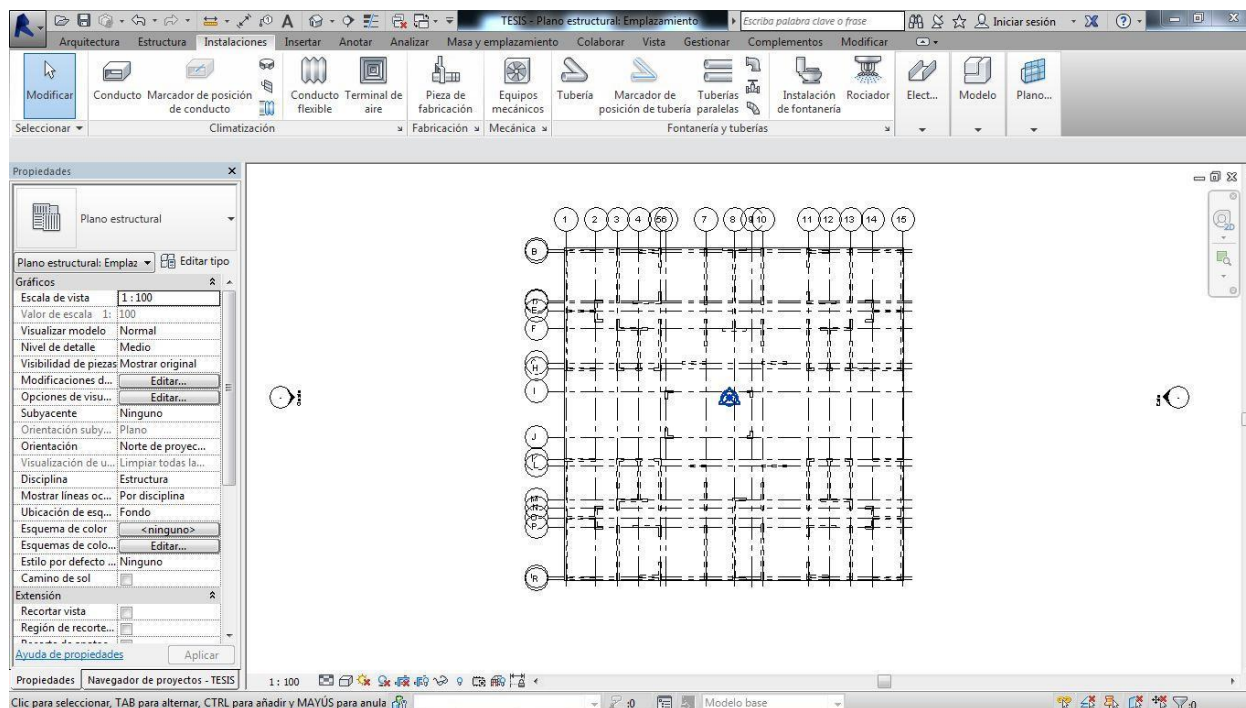
Imagen 10. Plantilla del plano en 2D de la torre tipo A del proyecto en Autodesk Revit®.



Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta como guía la plantilla antes importada se elabora la rejilla, la cual sirve para ubicar los ejes de trabajo de la modelación, define los espacios del diseño de la torre y las dimensiones de cada uno de ellos. También con su creación permite establecer los puntos de encuentro, límite y ubicación de los muros, con ella se puede dar comienzo a la modelación. (Ver imagen 11).

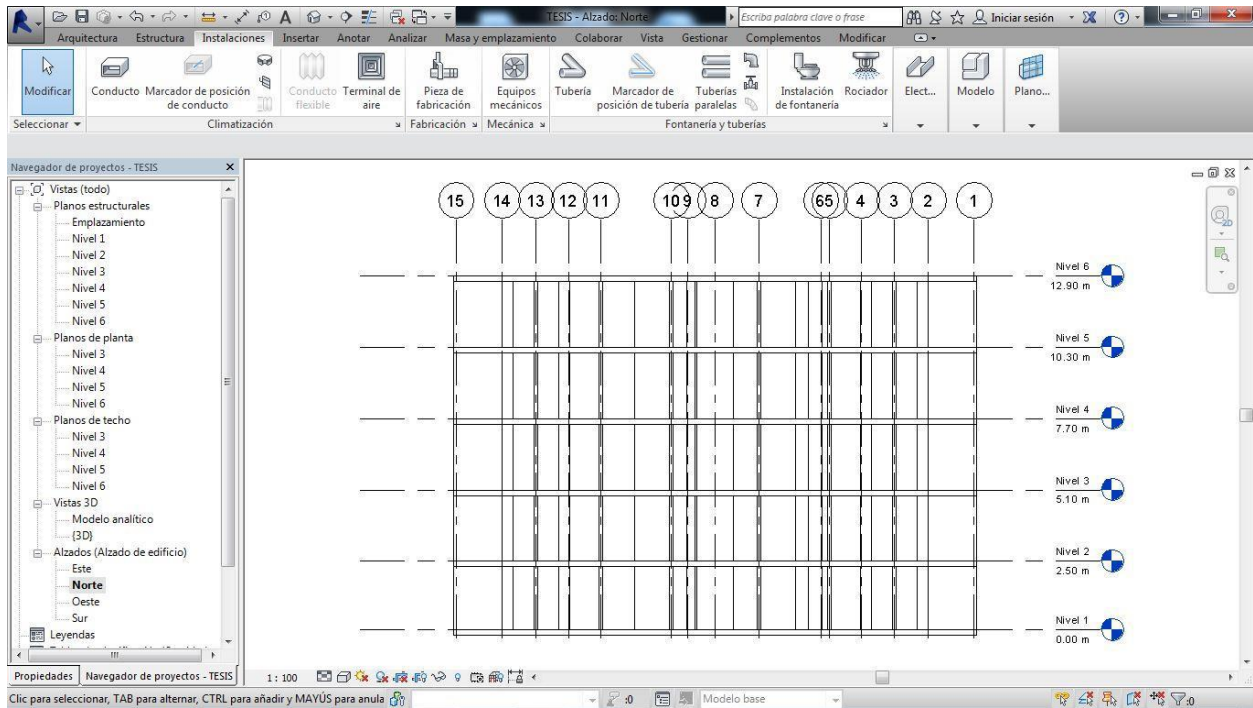
Imagen 11. Rejilla realizada a partir de la plantilla del plano en 2D del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

Como siguiente paso se crearon los niveles de alzado del proyecto, los cuales definen la cantidad de placas base que tiene la torre, es decir, la cantidad de pisos de la misma. Como se puede observar en la imagen se encuentran 6 niveles de alzado, es decir, la cimentación (placa piso 1), placa piso 2, placa piso 3, placa piso 4, placa piso 5 y la cubierta respectivamente en orden ascendente del suelo a la parte superior de la torre. (Ver imagen 12).

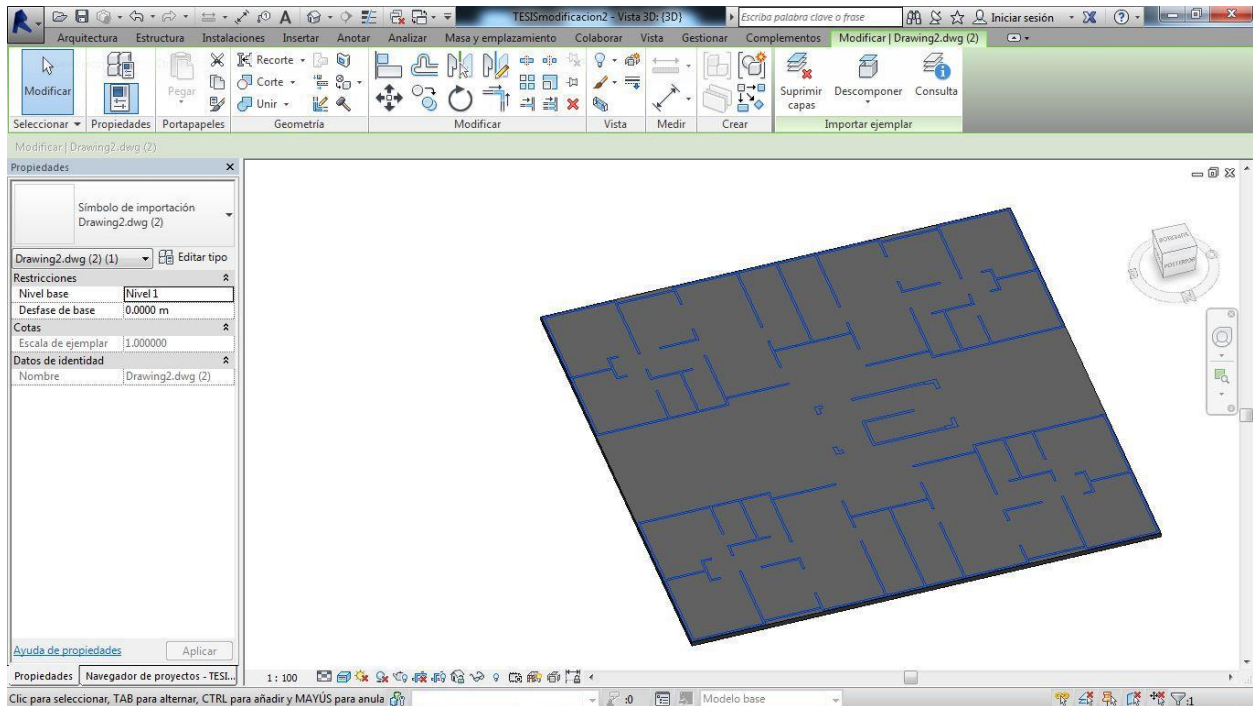
Imagen 12. Creación de niveles de alzado del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

Se procede a realizar la creación de la cimentación, la cual es tipo placa ya que actúa de esta manera para el primer piso de la torre, de espesor 0.35 metros, necesaria para la creación posterior de los muros del primer piso y los siguientes elementos de la torre. Debido a que es una placa de cimentación su aspecto en el programa Autodesk Revit® es similar al de una placa de entrepiso. (Ver imagen 13).

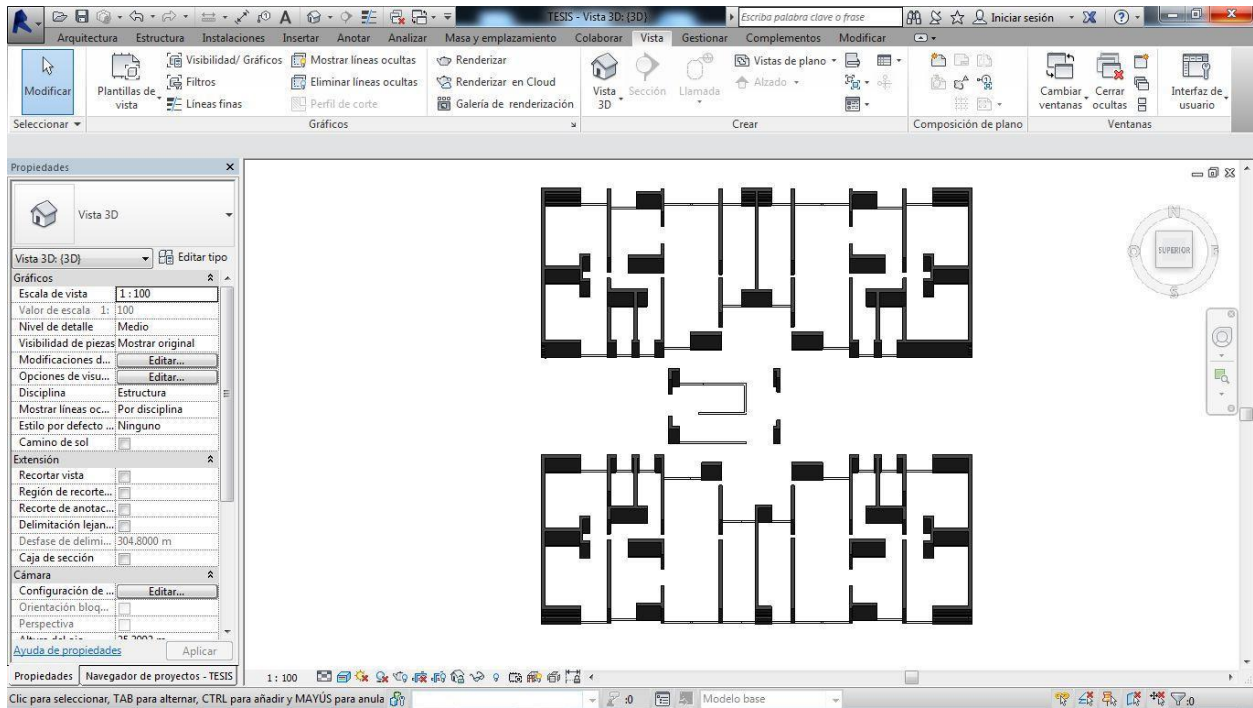
Imagen 13. Creación de la placa de cimentación (placa piso 1) del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

Como paso siguiente se elaboran los muros teniendo como guía la plantilla importada y la rejilla creada anteriormente, para su realización se toma el valor de la altura de los mismos la cual es de 2.40 metros y se alzan de acuerdo a los niveles existentes y previamente elaborados, también se tiene en cuenta el espesor de 0.080 metros. En la imagen se perciben los muros ya creados, la placa de cimentación se ocultó para poder observar de una mejor manera los muros. Este proceso se realizó de la misma manera para cada uno de los cinco pisos de la torre debido a que los muros de cada uno de ellos tienen la misma altura ya mencionada. (Ver imagen 14).

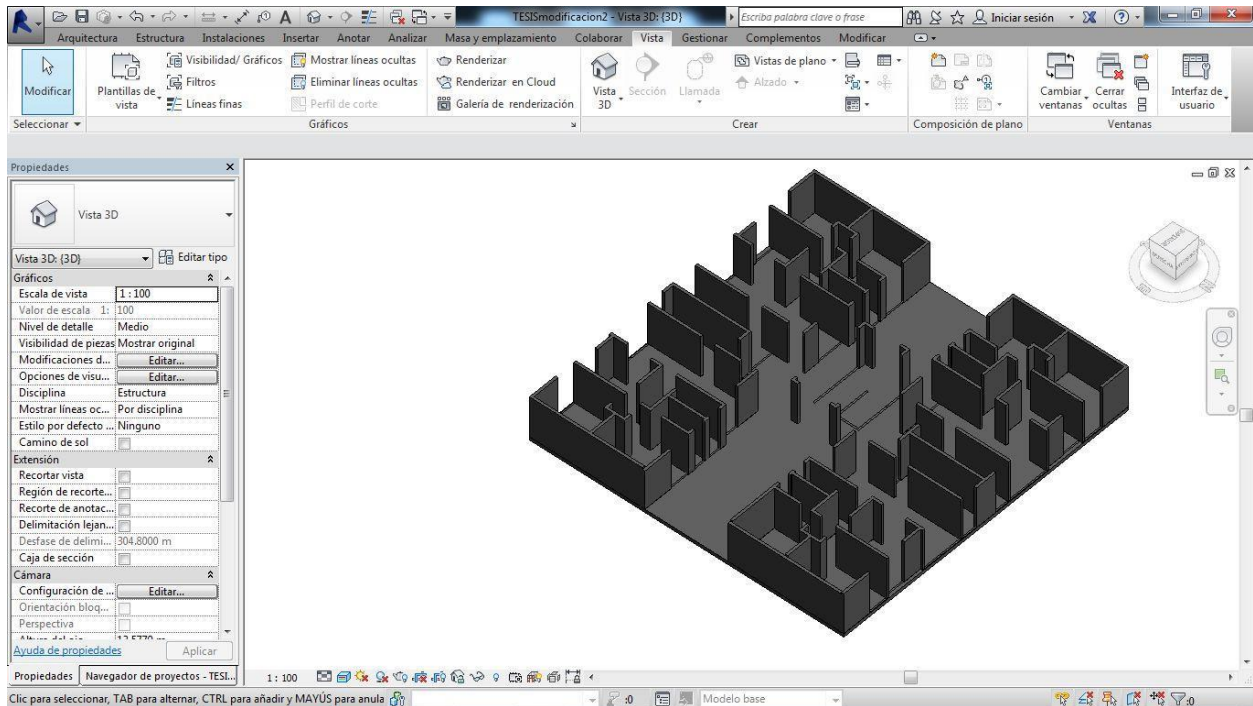
Imagen 14. Elaboración de los muros de la torre del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar en la siguiente imagen la placa de cimentación junto con los muros del primer piso previamente creados, su aspecto es similar para cada uno de los cinco pisos restantes de la torre. (Ver imagen 15).

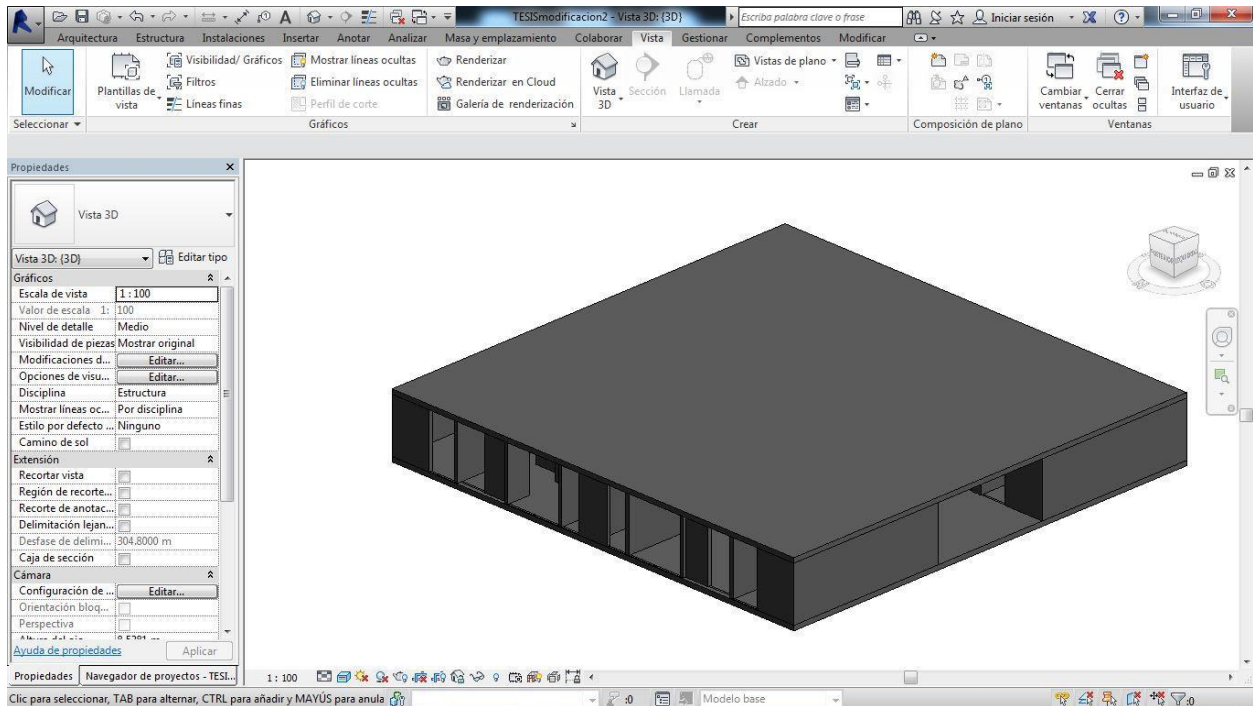
Imagen 15. Placa de cimentación y muros piso 1 de la torre del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

Se crea la placa del piso 2 ya que se encuentran elaborados previamente los muros del piso 1, su creación es similar a la placa de cimentación, el espesor de la placa es de 0.10 metros. Las placas del piso 3, 4, 5 se elaboran de la misma manera y con el mismo espesor ya que así fueron diseñados. (Ver imagen 16).

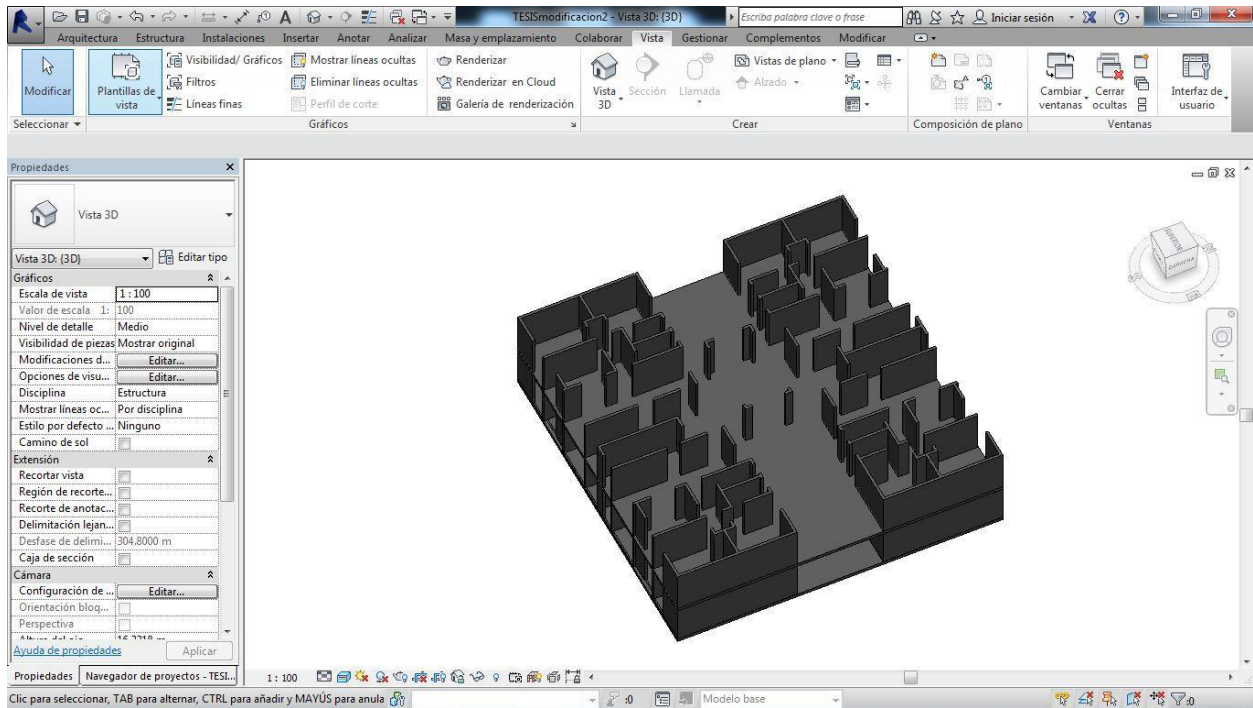
Imagen 16. Elaboración de la placa del piso 1 de la torre del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

La elaboración de los muros del piso 2 se realizó de la misma manera que los muros del piso 1 debido a que tiene la misma altura mencionada de 2.40 metros y el espesor de 0.080 metros ya que se tiene elaborada la placa previamente. Como se observa en la imagen su aspecto es similar a los muros del piso 1 ya que sus dimensiones, material y demás datos son los mismos para cada uno de los cinco pisos de la torre. (Ver imagen 17).

Imagen 17. Elaboración de los muros del piso 2 de la torre del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

De forma consecutiva realizando el mismo procedimiento de elaboración de muros y placas y teniendo en mente las dimensiones de ellos se realizaron los pisos restantes hasta completar la creación en 3D del modelo del proyecto trabajado.

A continuación se puede apreciar la estructura completamente modelada de la torre del proyecto en la plataforma Autodesk Revit®. (Ver imagen 18).

Imagen 18. Modelación estructural completa de la torre del proyecto.

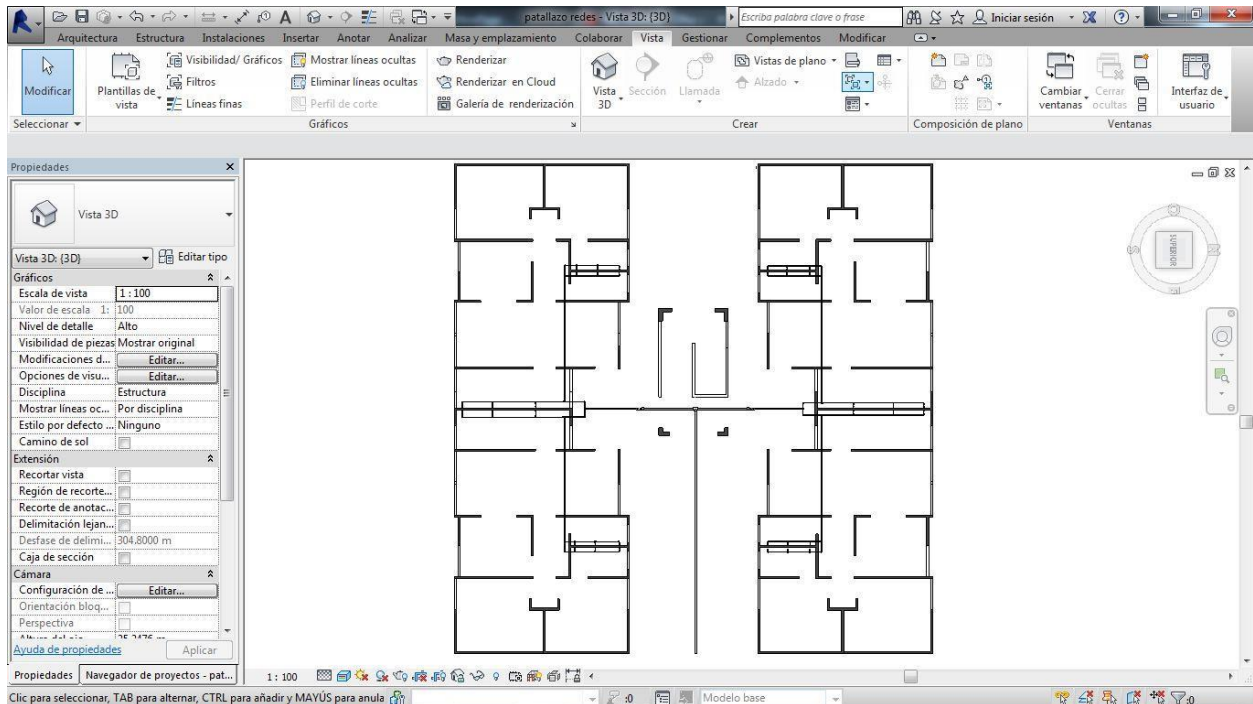


Fuente: Elaboración propia.

Una vez terminada la modelación estructural del proyecto se dispuso a realizar la modelación de la red hidráulica y posteriormente la red sanitaria. Se empleó para ello el plano en planta de la red debido a que fue el único plano disponible de la misma, el cual como anteriormente se mostró solo contenía las tuberías y accesorios conectores ubicados en los espacios de cada apartamento en cada piso, junto con sus dimensiones como el diámetro de la tubería y el tipo de accesorio. La ubicación exacta con medidas de ubicación en el espacio o distanciamiento de los muros no se encontraba presente en los planos por lo que fue asumida por los autores.

En la siguiente imagen se puede observar la red hidráulica ya modelada en una vista en planta, la misma vista del plano que facilitó la empresa constructora del proyecto. (Ver imagen 19).

Imagen 19. Modelación en planta de la red hidráulica.

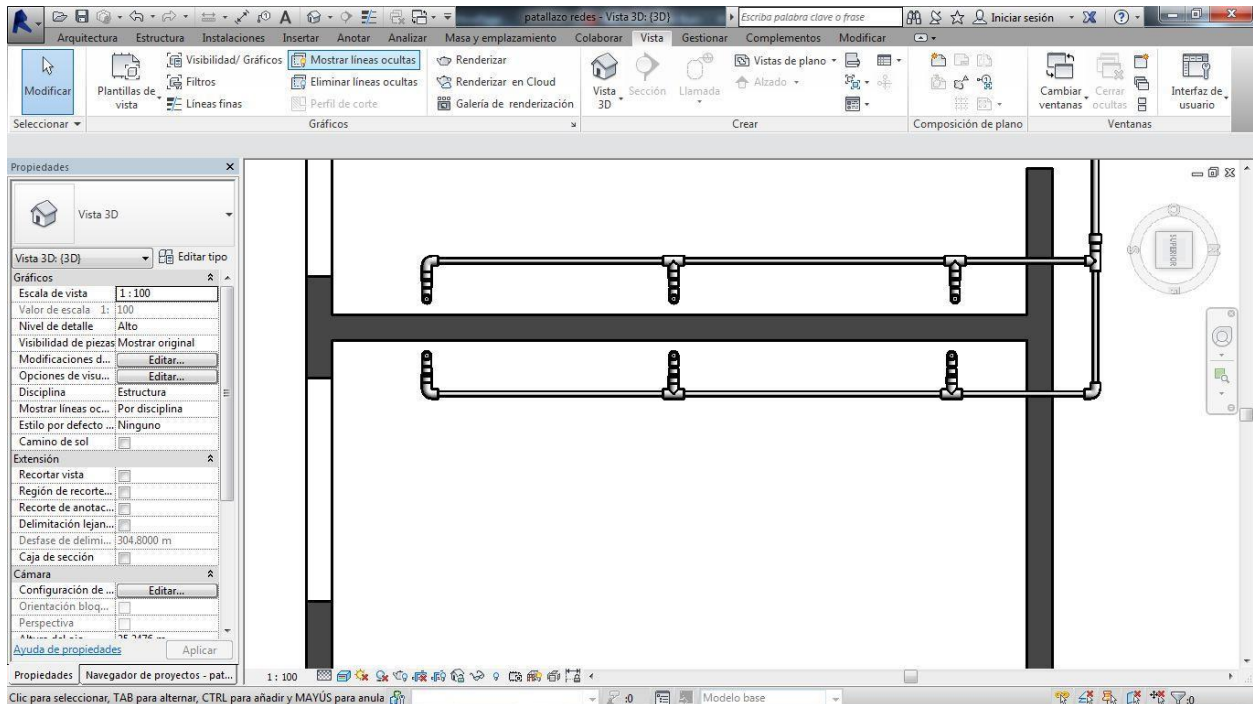


Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia a continuación la modelación de las tuberías y conexiones hidráulicas de la sección de los baños de dos apartamentos, separados por el muro estructural. La tubería y accesorios de la red hidráulica de los baños es de ½ pulgada.

Adicionalmente, se puede ver que la tubería se cruza con un muro estructural, aspecto que no se podía evidenciar en el plano del diseño debido a que no se especifican en él las medidas de la ubicación de la red. (Ver imagen 20).

Imagen 20. Modelación de la red hidráulica vista en planta sección baños.



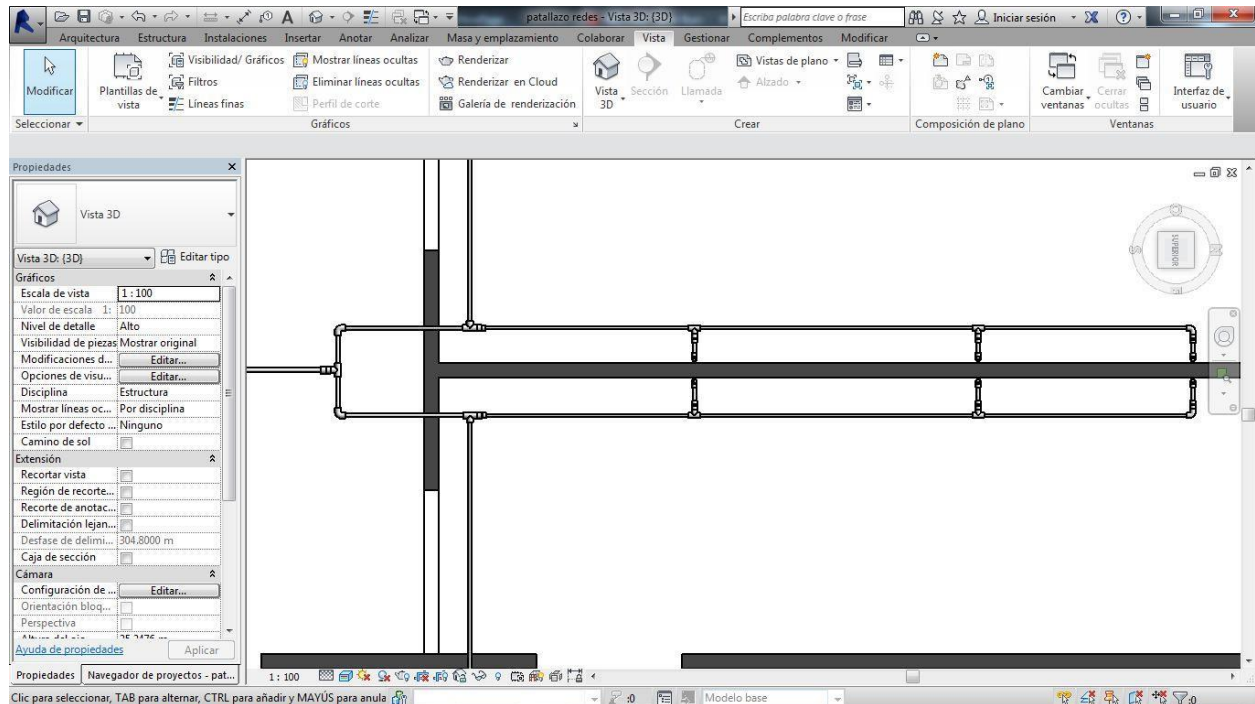
Fuente: Elaboración propia.

Del mismo modo que la red hidráulica de la sección de los baños, podemos observar la modelación de la red hidráulica de la sección de la cocina y el patio también en una vista en planta de dos apartamentos separados por el muro estructural.

La tubería y accesorios de esta sección de la red hidráulica es de $\frac{1}{2}$ pulgada de la misma manera que la de la red hidráulica de la sección de los baños.

Igualmente, como en la red hidráulica de la sección de los baños la tubería se cruza con un muro estructural, aspecto que no se evidencia en el plano del diseño debido a que no se especifican en él las medidas de la ubicación de la red. (Ver imagen 21).

Imagen 21. Modelación de la red hidráulica vista en planta sección cocina y patio.



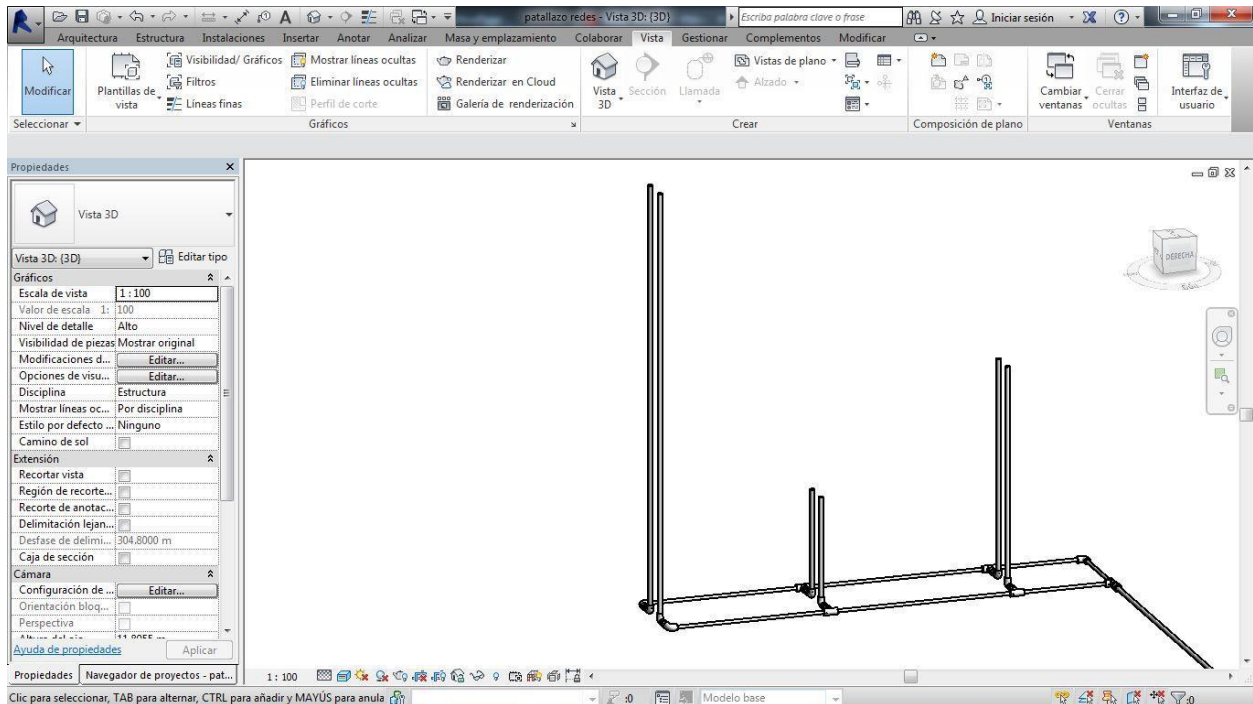
Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al alzado de las tuberías de la red hidráulica de la sección de los baños se realizó con las medidas y dimensiones especificadas en la Norma Técnica Colombiana NTC – 1500 Código de Fontanería, dado que no se encontraba a disposición un plano en perfil de la red que pudiera identificar esos datos esenciales para su correcta modelación.

El aspecto antes indicado tiene una gran influencia en la agilidad y facilidad en la modelación así mismo en la ejecución de la obra.

En la imagen se puede ver el alzado de la tubería de la ducha, del lavamanos y del sanitario respectivamente de izquierda a derecha, de la sección de los baños de dos apartamentos de la torre del proyecto. (Ver imagen 22).

Imagen 22. Modelación del alzado de la red hidráulica sección baños.

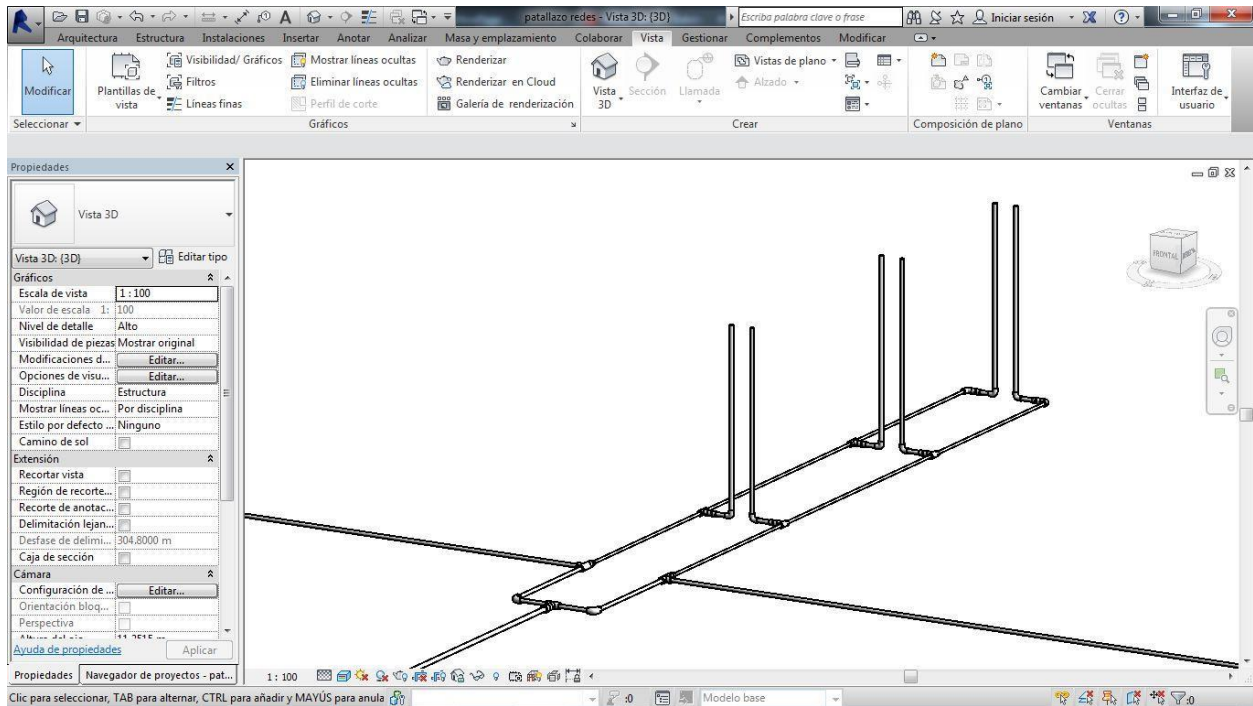


Fuente: Elaboración propia.

Referente al alzado de las tuberías de la red hidráulica de la sección de la cocina y el patio se modeló de manera análoga a las de la red hidráulica de la sección del baño con las medidas y dimensiones tomadas del Código de Fontanería.

Enseguida se puede apreciar el alzado de la tubería del lavaplatos, del lavadero y de la lavadora respectivamente de izquierda a derecha, de la sección de la cocina y del patio de dos apartamentos de la torre del proyecto. (Ver imagen 23).

Imagen 23. Modelación del alzado de la red hidráulica sección cocina y patio.

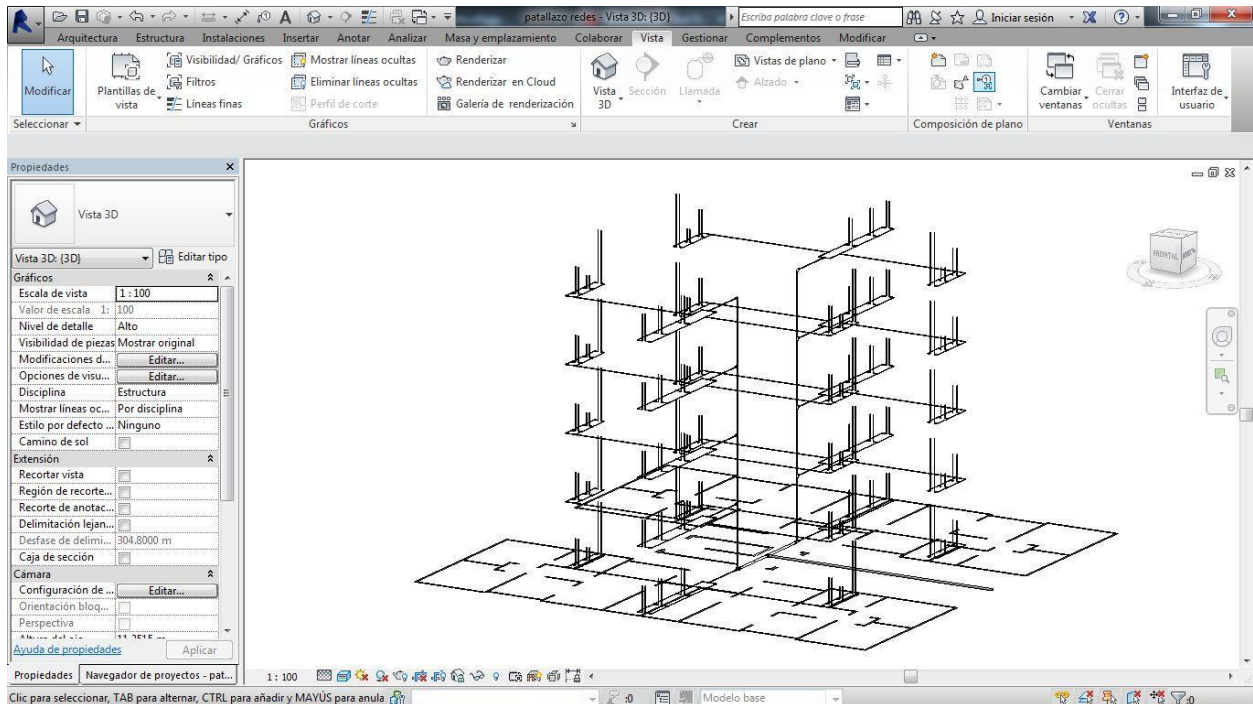


Fuente: Elaboración propia.

Los procedimientos anteriores se realizan de la misma forma para cada uno de los pisos debido a que las dimensiones son iguales para cada uno de ellos.

Posteriormente, se observa la imagen de la modelación completa de la red hidráulica para los cinco pisos y los cuatro apartamentos de cada uno de ellos, en la parte inferior del modelo se ve la plantilla que se usó como guía para definir las ubicaciones de la red en el área de la torre del proyecto. (Ver imagen 24).

Imagen 24. Modelación de la red hidráulica de la torre del proyecto.

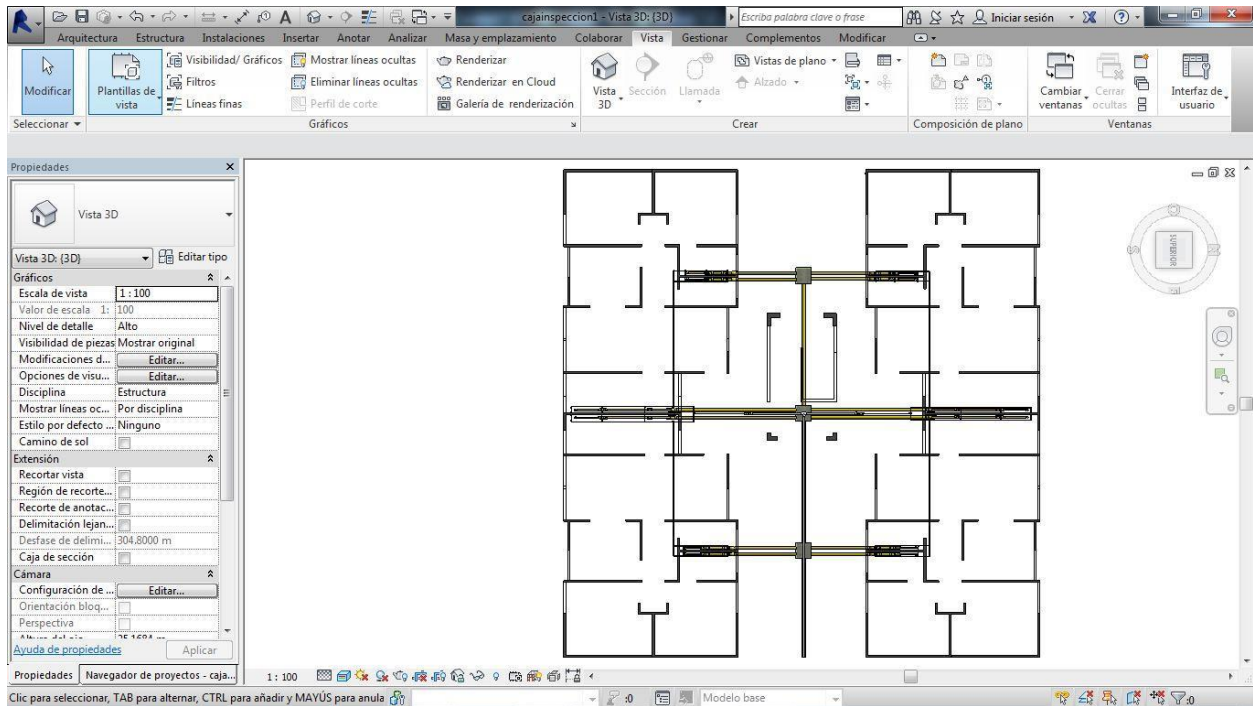


Fuente: Elaboración propia.

Ya terminada la modelación de la red hidráulica de la torre del proyecto creó la modelación de la red sanitaria. Igualmente a la modelación de la red hidráulica se tomó como base el plano en planta de la red debido a que fue el único plano disponible de la misma.

A continuación, se puede evidenciar la modelación de la red sanitaria completa en una vista en planta, la misma vista del plano que facilitó la empresa constructora del proyecto. En las siguientes imágenes se observan las dos redes juntas pero se habla principalmente de la modelación de la red sanitaria, se realizó de esa forma ya que así se aseguraba que las dos redes no se cruzaran al momento de su modelación. (Ver imagen 25).

Imagen 25. Modelación de la red sanitaria vista en planta de la torre del proyecto.

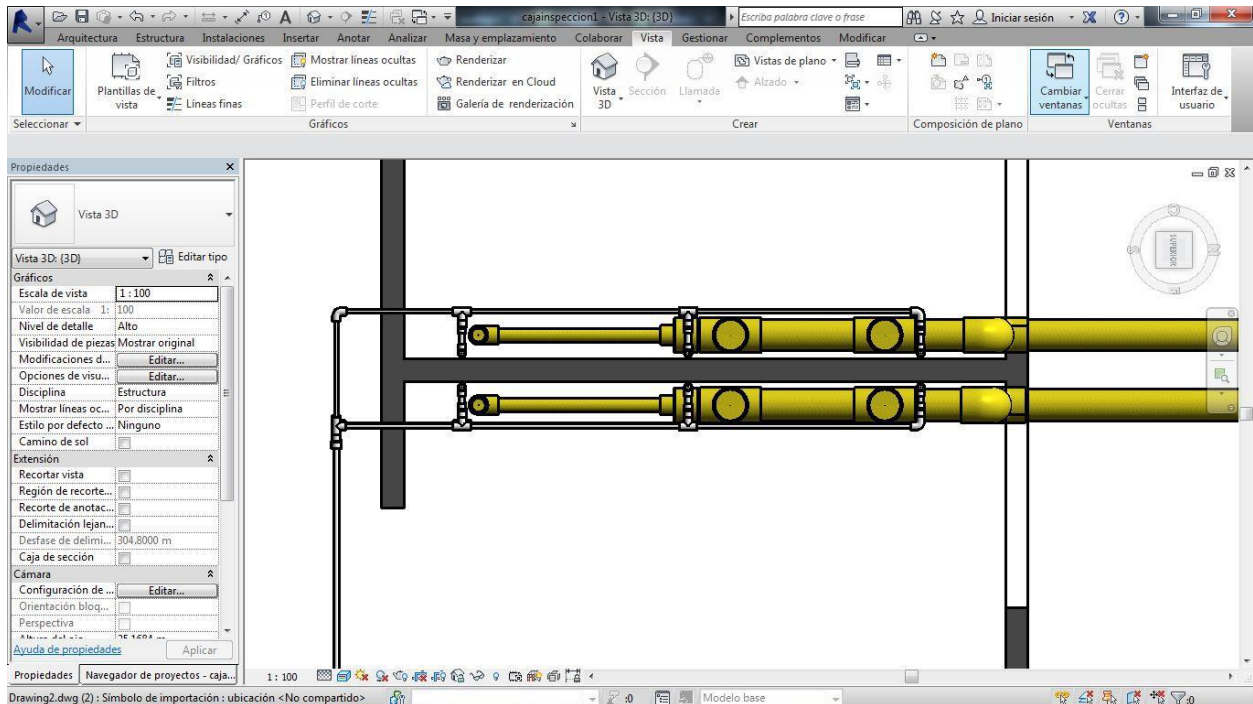


Fuente: Elaboración propia.

Enseguida se aprecia la modelación de las tuberías y conexiones sanitarias de la sección de los baños de dos apartamentos, separados por el muro estructural. La tubería y accesorios de la red sanitaria de los baños son de 2 y 4 pulgadas.

En esta sección no se presenta cruce de la red sanitaria con algún muro estructural debido a que en ella las tuberías pasan por el espacio destinado para las mismas. (Ver imagen 26).

Imagen 26. Modelación de la red sanitaria vista en planta sección baños.

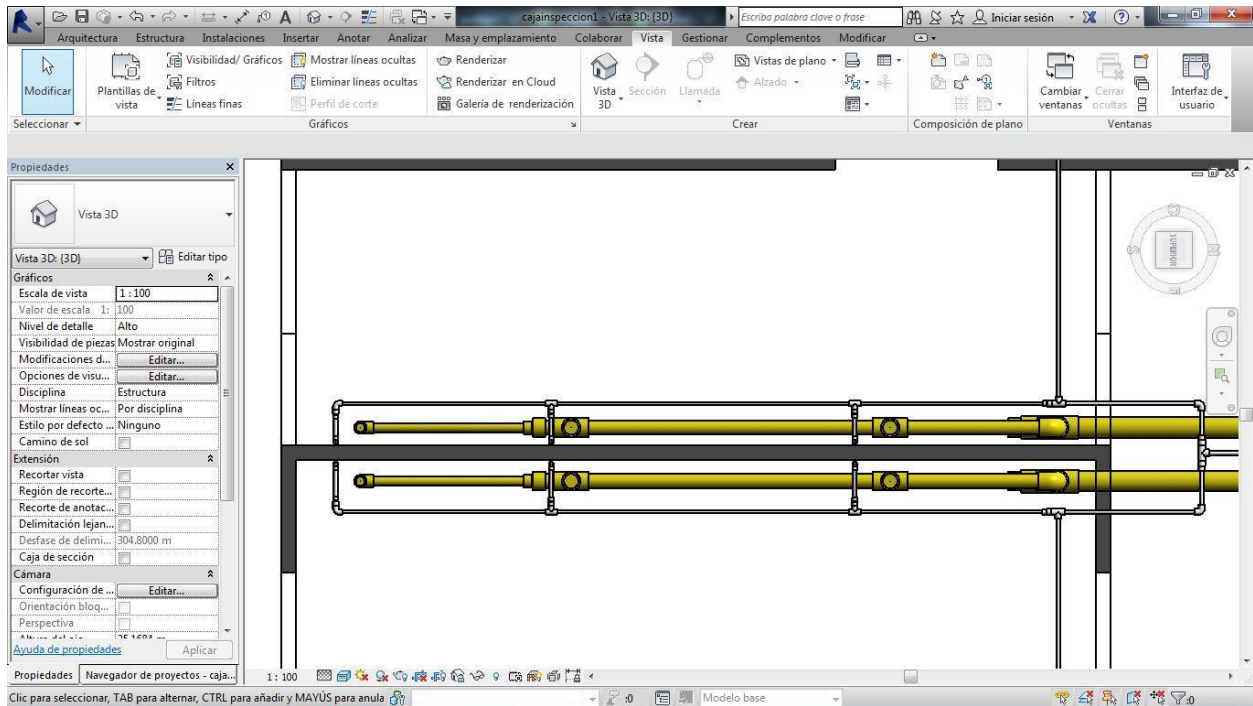


Fuente: Elaboración propia.

De la misma forma que la red sanitaria de la sección de los baños, podemos ver la modelación de la red sanitaria de la sección de la cocina y el patio también en una vista en planta de dos apartamentos separados por el muro estructural. La tubería y accesorios de esta sección de la red sanitaria son de 3 y 4 pulgadas.

Así mismo como en la red hidráulica en la sección de la cocina y del patio, se puede apreciar que la tubería se cruza con un muro estructural, aspecto que no se podía evidenciar en el plano del diseño debido a que no se especifican en él las medidas de la ubicación de la red. (Ver imagen 27).

Imagen 27. Modelación de la red sanitaria vista en planta sección cocina y patio.

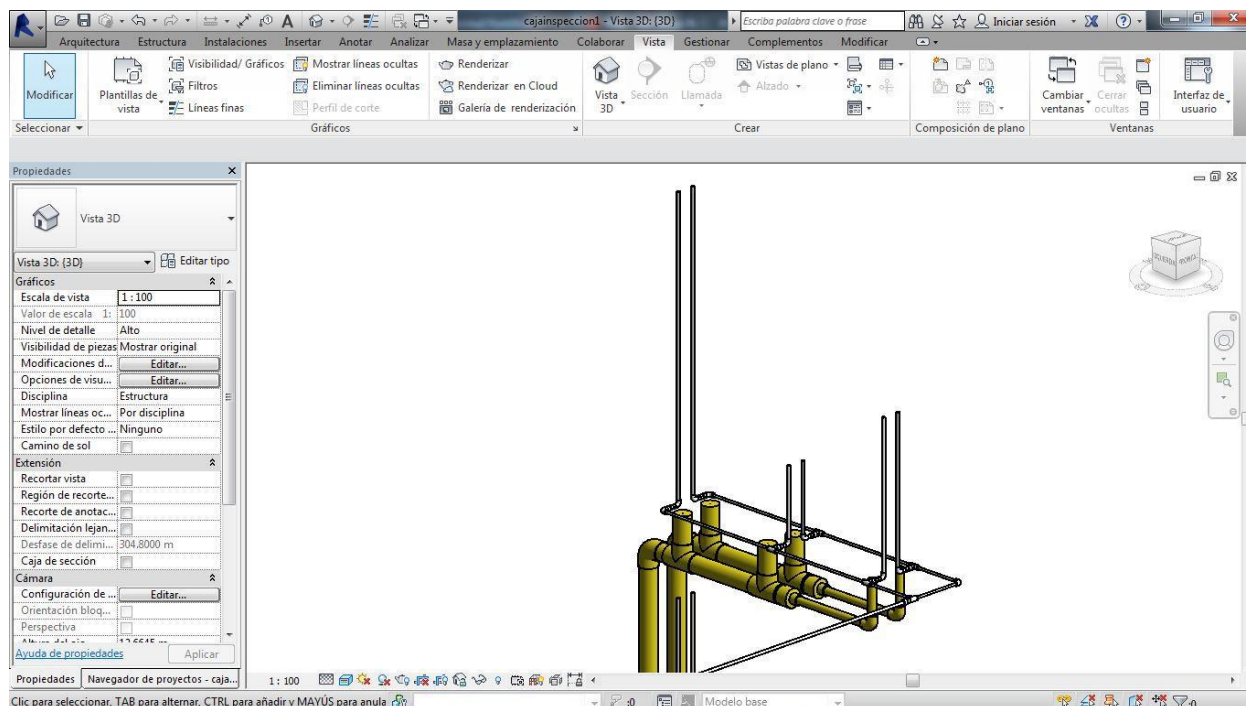


Fuente: Elaboración propia.

El alzado de las tuberías de la red sanitaria de la sección de los baños se realizó con el mismo proceso de la red hidráulica en cuanto a la altura necesaria para su realización, especificado en el Código de Fontanería, ya que como se dijo antes no se tenía un plano en perfil de la red que pudiera identificar esos datos esenciales para su correcta modelación.

En la siguiente imagen se puede observar el alzado de la tubería sanitaria de la ducha, del lavamanos y del sanitario respectivamente de izquierda a derecha, de la sección de los baños de dos apartamentos de la torre del proyecto. (Ver imagen 28).

Imagen 28. Modelación de la red sanitaria sección baños.

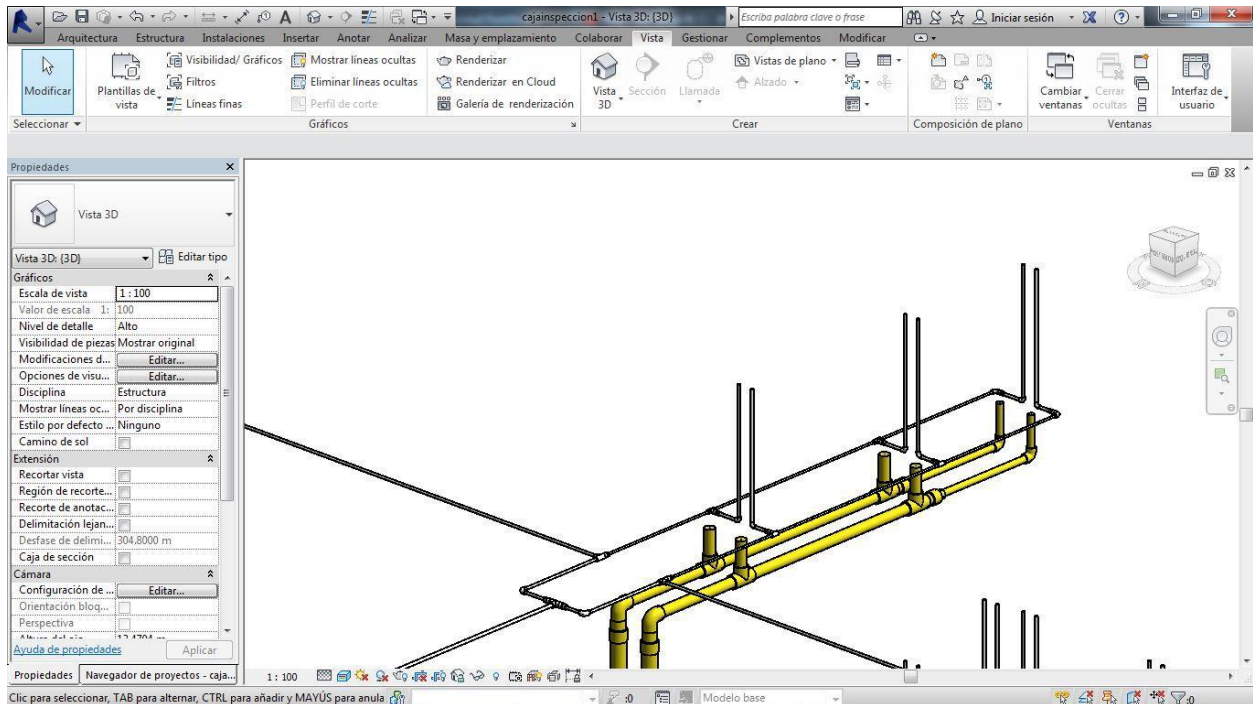


Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al alzado de las tuberías de la red sanitaria de la sección de la cocina y el patio se creó de manera análoga a las de la red sanitaria de la sección del baño con las medidas y dimensiones tomadas del Código de Fontanería para su altura.

Continuamente, se ve el alzado de la tubería sanitaria del lavaplatos, del lavadero y de la lavadora respectivamente de izquierda a derecha, de la sección de la cocina y del patio de dos apartamentos de la torre del proyecto. (Ver imagen 29).

Imagen 29. Modelación de la red sanitaria sección cocina y patio.

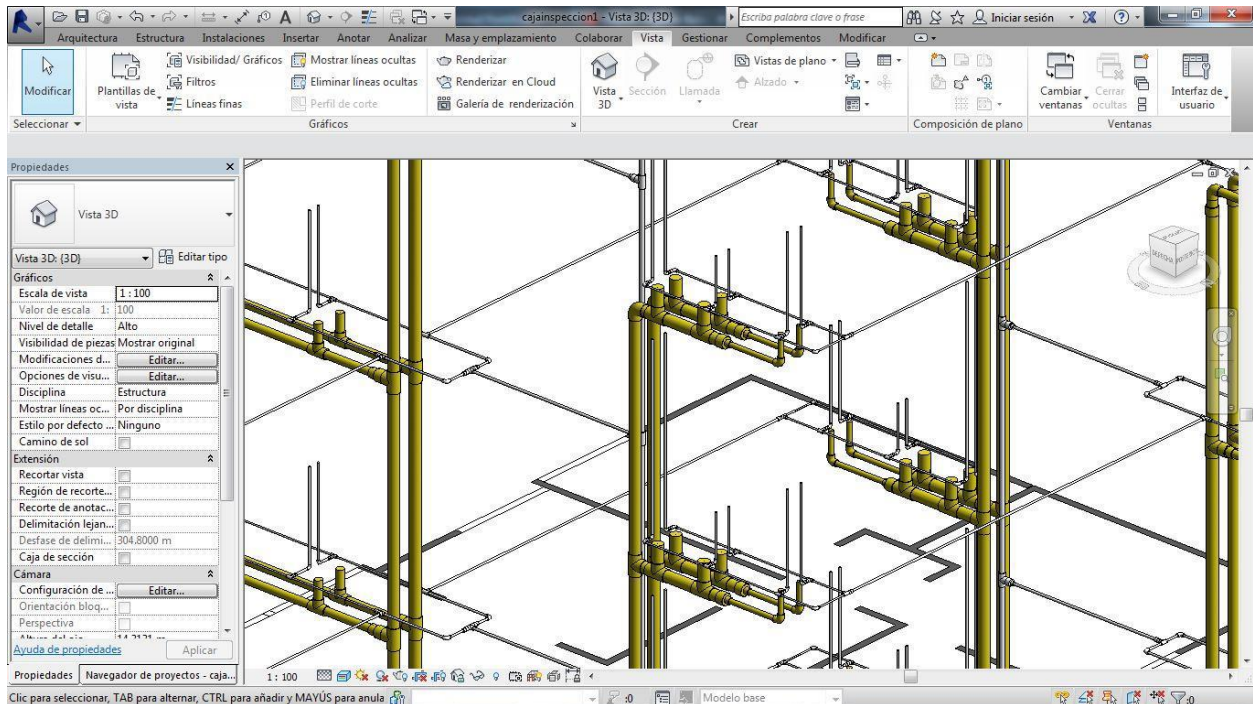


Fuente: Elaboración propia.

Se contempla en la siguiente imagen las bajantes de la red sanitaria desde el último piso de la torre del proyecto, las cuales tienen las mismas dimensiones de altura de cada uno de los pisos, la tubería y accesorios también tiene el mismo diámetro de acuerdo a donde se conecta, si es a la sección de baños son de 2 y 4 pulgadas y si es a la sección de la cocina y el patio son de 3 y 4 pulgadas.

Igual que en la red hidráulica la tubería de la red sanitaria se cruza con las diferentes placas de entrepiso de cada uno de los cinco pisos de la torre, elemento importante a destacar y tener en cuenta al momento de modelar y de la misma forma cuando se ejecuta la obra. (Ver imagen 30).

Imagen 30. Modelación de bajantes la red sanitaria del proyecto.

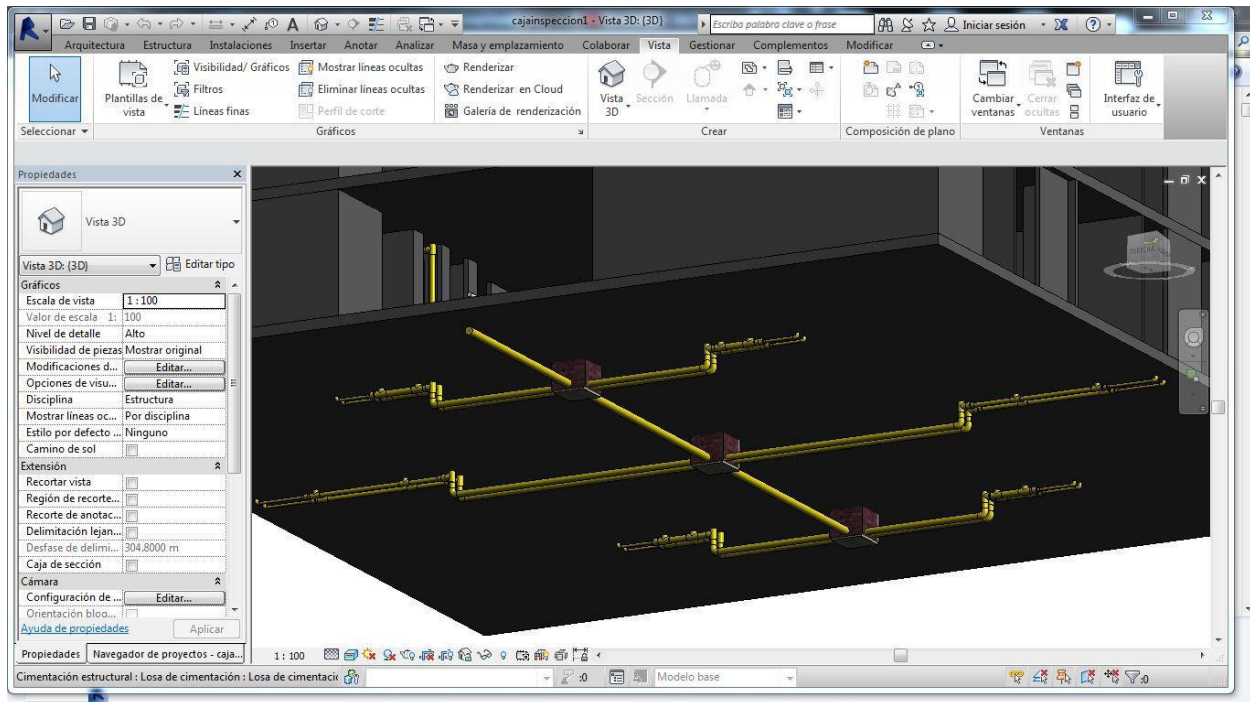


Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente a la creación de toda la red sanitaria se dispuso a modelar las cajas de inspección de la torre, la cuales son tres y de dimensiones 0.60 x 0.60 centímetros.

Una caja de inspección ubicada directamente en el centro de la torre para recolectar todo lo que se encuentra en esos espacios y las dos faltantes una a cada lado de esta, para recoger lo de cada apartamento de los cinco pisos de la torre del proyecto. (Ver imagen 31).

Imagen 31. Modelación de las cajas de inspección de la red sanitaria del proyecto.



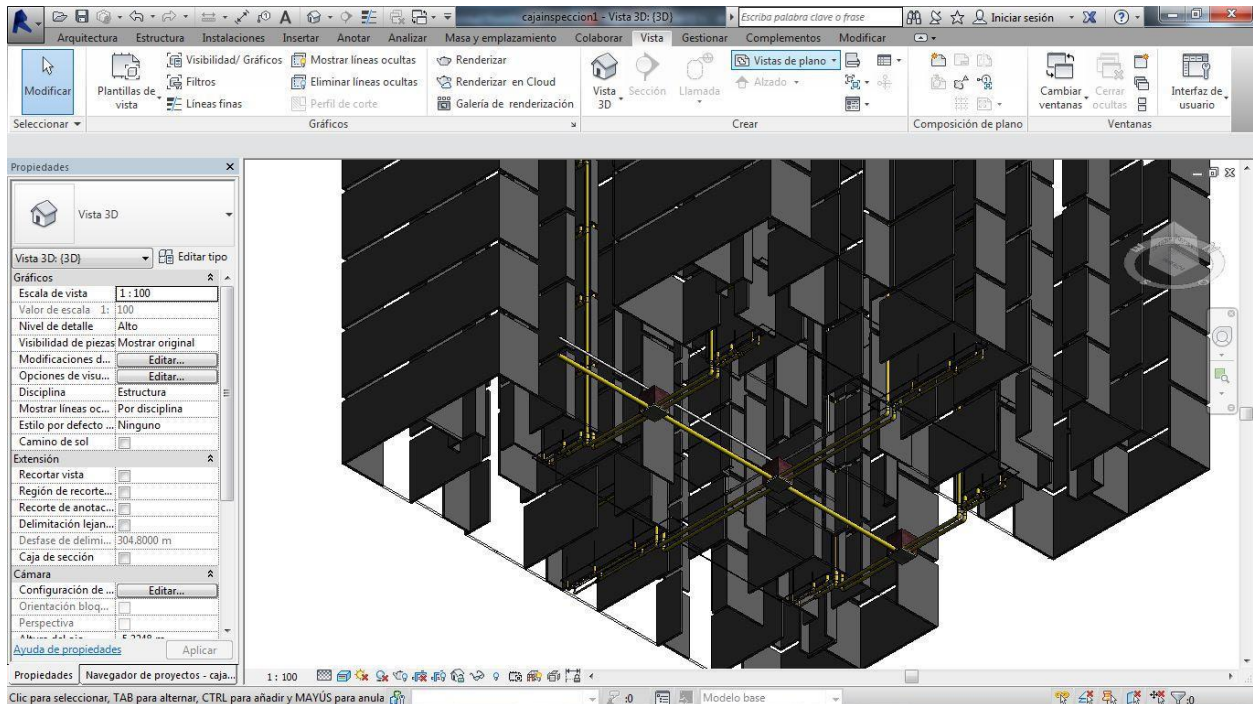
Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente imagen se puede observar toda la red hidráulica y sanitaria completa junto con las tres cajas de inspección desde una vista inferior junto a los muros, donde se puede apreciar la ubicación de cada tubería en cuanto a los muros de la torre del proyecto.

Se ven sólo los muros de la torre del proyecto ya que con la herramienta de visualización de los elementos de la modelación la cual está presente y disponible en la plataforma Autodesk Revit®, se ocultaron la placa de cimentación y las placas restantes para una apreciación óptima en la figura tomada.

En algunos casos se cruzan las tuberías con los muros y desde este tipo de vista se puede ver de una mejor manera esos inconvenientes y errores de diseño de las redes para la torre trabajada en la modelación 3D. (Ver imagen 32).

Imagen 32. Vista inferior de la red hidráulica y sanitaria junto a los muros del proyecto.

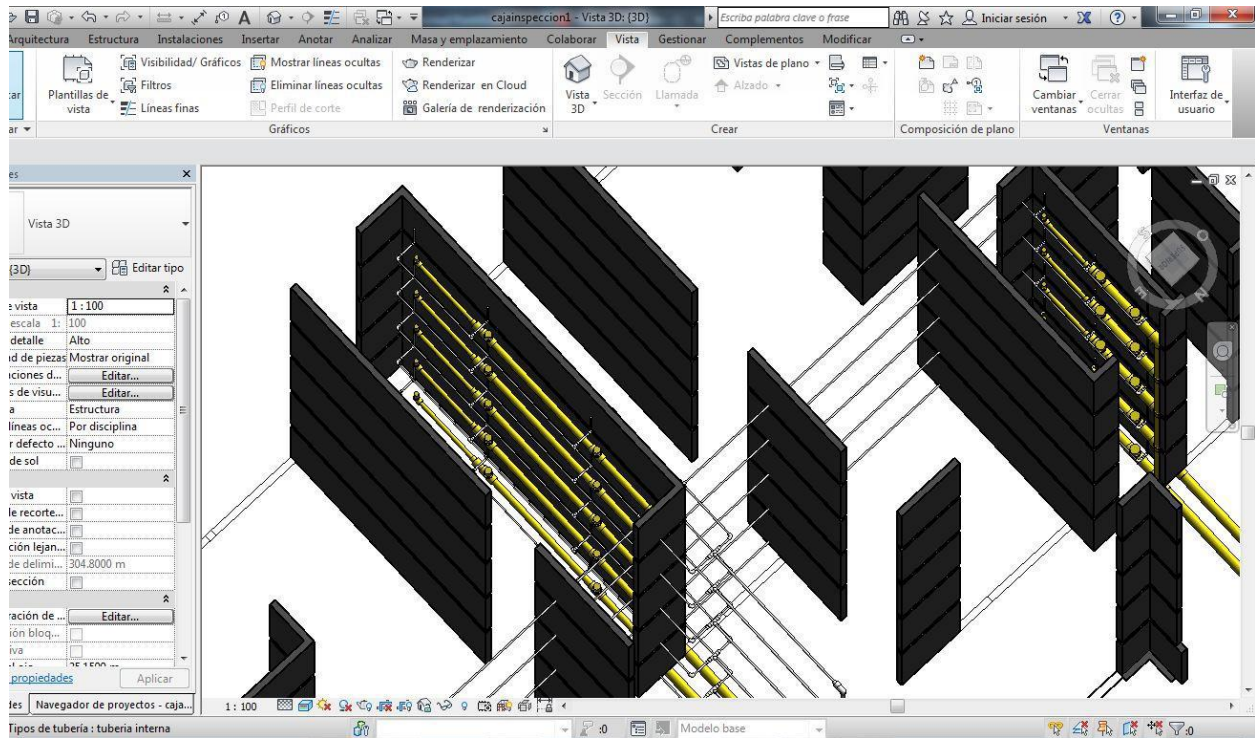


Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se puede apreciar la localización de las redes junto con los muros, de la misma forma que en la imagen anterior, se utilizó la herramienta de visualización de los elementos modelados de la torre para ocultar las placas creadas y así poder tener una mejor vista de las tuberías en los espacios de la torre.

En esta imagen se pueden observar las tuberías ubicadas en una vista tipo planta, es decir, las que se encuentran en las placas de cada piso de la torre modelada del proyecto. (Ver imagen 33).

Imagen 33. Localización de la red hidráulica y sanitaria junto a los muros del proyecto.

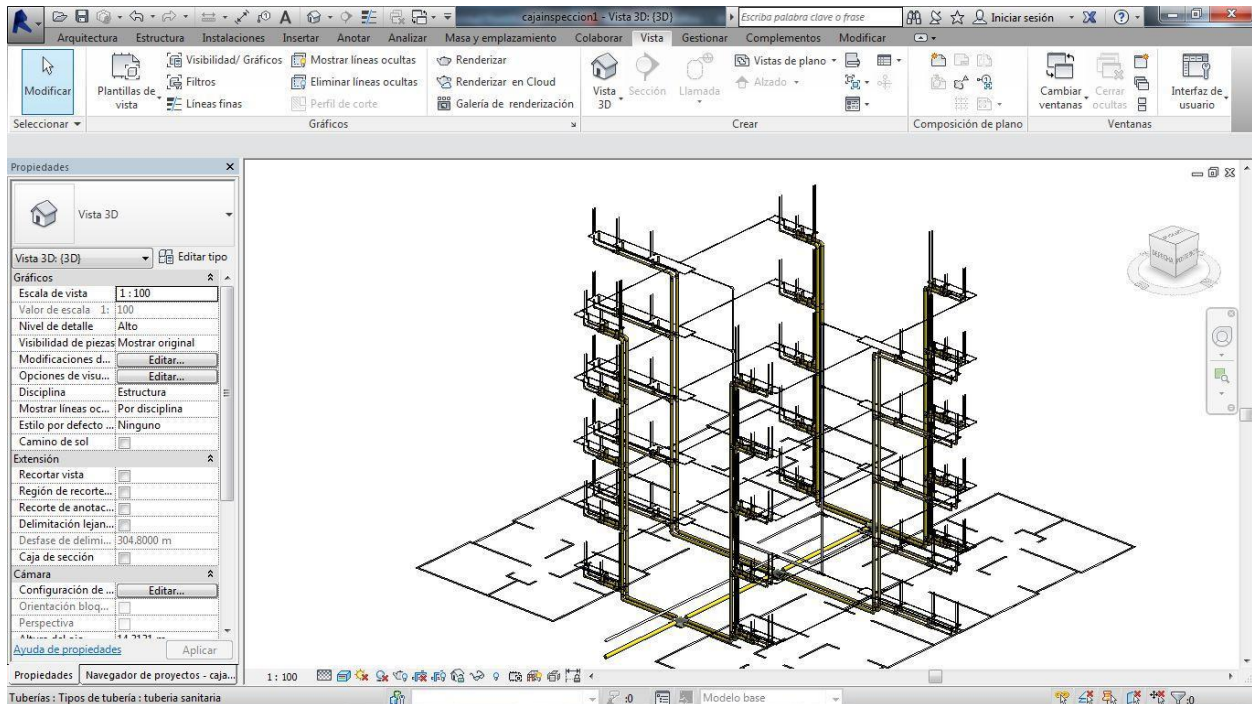


Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente se observa la modelación completa y terminada de la red hidráulica y sanitaria de la torre trabajada del proyecto, en esta imagen utilizando la herramienta mencionada en ocasiones anteriores se ocultó toda la parte estructural de la misma para que se pudiera apreciar solo el modelo de las dos redes.

Como aspecto adicional, en la imagen se aprecia la plantilla del diseño estructural ya que fue el elemento de ayuda y guía utilizado para la realización de todo el modelo en 3D de la torre del proyecto. (Ver imagen 34).

Imagen 34. Modelación de la red hidráulica y sanitaria de la torre del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

6.8. PROBLEMAS E INCONVENIENTES ENCONTRADOS EN LA MODELACIÓN 3D

En el proceso de la modelación en 3D de la estructura del proyecto no se encontraron problemas o inconvenientes debido a que fue diseñado un plano en planta y uno en perfil, lo que facilitó la creación del mismo, ya que se tenían todas las dimensiones, datos necesarios para su realización y la ubicación de cada parte estructural del proyecto, aspectos importantes y necesarios para que todo resultara de la manera correcta como sucedió, ningún muro se cruzaba con otro, todos tenían la ubicación correcta y sus dimensiones correspondían y tenían relación entre ellas en conjunto con la placa y sus datos de modelación.

Por el contrario los problemas se presentaron al momento de la modelación 3D de las

redes sanitaria e hidráulica destacándose entre otros los siguientes:

- Ya que el plano y diseño de cada una de las redes se realizó por separado los aspectos como la ubicación exacta de las tuberías en las mismas no se aprecia, esto ocasiona que algunas tuberías se crucen o también que atraviesen los muros estructurales lo cual representa un problema importante sobre todo al momento de la ejecución de la obra.
- Adicionalmente no se realizó un plano en perfil de cada una de las redes para así poder conocer la altura de cada tubería y de la misma manera hasta dónde llega cada una para su conexión con los aparatos sanitarios y aparatos de cocina. Esto fue un inconveniente a la hora de la modelación debido a que sin conocer esos datos importantes se tuvo que mirar la Norma Técnica Colombiana NTC – 1500, la cual es el Código de Fontanería y especifica dichos valores.
- Como anteriormente se mencionó sólo se utilizó el plano en planta de la red hidráulica y sanitaria debido a que fue el único plano disponible para la modelación, el cual únicamente contenía las tuberías y accesorios ubicados en los espacios de cada apartamento en cada piso, junto con sus dimensiones como el diámetro de la tubería y el tipo de accesorio. La ubicación exacta en altura o distanciamiento de los muros no se encontraba presente en los planos. Esto dificultó la creación del modelo de las redes ya que se ubicaron de una manera en que no se cruzaran los tubos y accesorios entre ellos mismos y con los muros y las placas de la estructura de la torre del proyecto.

6.9. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO

Se incluyeron en los cronogramas utilizados las actividades que se trabajaron en la modelación 3D de la torre, las cuales son la estructura y las redes hidrosanitarias. Dicha información se organizó mediante la herramienta Microsoft Project® para un mejor trabajo.

6.9.1. Definición del cronograma propuesto o de simulación

Para la realización del cronograma propuesto el cual se llamó cronograma de simulación y la determinación de los tiempos y fechas de comienzo y fin de cada una de las actividades se tomó como referencia un artículo de la revista de la Universidad EAFIT de un estudio realizado por el arquitecto constructor y especialista en gerencia de empresas de ingeniería Luis Fernando Botero Botero (2002).

La siguiente tabla muestra las actividades relacionadas con lo realizado en este proyecto las cuales están especificadas en el artículo nombrado y son el armado y vaciado de losa formaleta metálica, de dichas actividades se tomaron los valores del consumo en un rango, consumo individual y consumo cuadrilla para cada una. Los datos que están contenidos en la tabla tienen un intervalo de confianza del 90%. (Ver tabla 1). Un consumo alto es cuando el obrero o la cuadrilla son menos eficientes, un consumo promedio es cuando los obreros tienen una eficiencia normal y finalmente un consumo bajo es cuando el obrero o la cuadrilla son más eficientes (Botero, 2002).

Tabla 1. Consumos estándar en actividades de construcción.

ACTIVIDAD	UD	OBRERO	RANGO CONSUMO (hH./ud)					
			CONSUMO INDIVIDUAL			CONSUMO CUADRILLA		
			Alto	Promedio	Bajo	Alto	Promedio	Bajo
Armado de losa formaleta metálica	m2	Oficial	0,2438	0,2315	0,219	0,659633	0,617597	0,57536
		Ayudante	0,415833	0,386097	0,35636			
Vaciado de losa formaleta metálica	m2	Oficial	0,07657	0,0717544	0,0669	0,15383	0,1447644	0,13557
		Ayudante	0,07726	0,07301	0,06867			

Fuente: Artículo Análisis de rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción, Revista Universidad EAFIT, Luis Fernando Botero Botero.

Adicionalmente, para cada uno de los escenarios de simulación propuestos se estableció la composición del personal así: (Ver tabla 2).

Tabla 2. Composición del personal.

Composición Oficial (H)	1
Composición Ayudante (H)	1

Fuente: Elaboración propia.

6.9.1.1. Primer escenario

Para la propuesta del primer escenario de simulación se tiene en cuenta lo mencionado anteriormente escogiendo un consumo promedio ya que es el que se asemeja más a la realidad en obra.

El rendimiento para el cronograma de simulación del primer escenario se calculó

tomando el valor de consumo individual promedio del oficial (0,2315) para la actividad de armado de losa formaleta metálica debido a que esta actividad necesita un mayor tiempo de ejecución y es recomendable que la lleve a cabo un personal capacitado y el valor de consumo individual promedio del ayudante (0,07301) para la actividad de vaciado de losa formaleta metálica. (Ver tabla 1).

Se realizó la toma de datos de los planos y el cálculo de las áreas superficiales y de formaleta de los muros y placa por nivel de la torre para poder posteriormente realizar el cálculo de los rendimientos. (Ver tabla 3).

Tabla 3. Datos de áreas y volúmenes por nivel de la torre.

NIVEL	ÁREA SUPERFICIAL (M2)	ÁREA DE FORMALETA (M2)	ESPESOR (M)	VOLUMEN (M3)
Muros	315,814	631,628	0,08	50,53024
Placa	258,672	258,672	0,1	25,8672
Total	574,486	890,3		76,39744

Fuente: Elaboración propia

$$32,897 \text{ ml} = \text{ml de muro en un apartamento}$$

$$32,897 \text{ ml} \times 4 \text{ apartamentos} = 131,589 \text{ ml de muro por piso}$$

$$131,589 \text{ ml} \times 2,40 \text{ m de altura} = 315,814 \text{ m}^2 \text{ de muro por piso (Área superficial m}^2\text{)}$$

$$315,814 \text{ m}^2 \times 2 \text{ caras del muro} = 631,628 \text{ m}^2 \text{ (Área de formaleta m}^2\text{)}$$

$$258,672 \text{ m}^2 = \text{Área superficial y de formaleta de la placa m}^2$$

Se realizó el cálculo del rendimiento (Ver tabla 4) principalmente teniendo presente que se quería definir la ejecución de las actividades de estructura y redes hidrosanitarias en un día por piso ya que es lo que se propone en este primer escenario de simulación, y de esta manera para establecer una cantidad de obreros suficientes en una jornada de trabajo semanal de 48 horas, es decir, de lunes a viernes 8 horas y media y los sábados 5 horas y media de trabajo, para cubrir el área estructural por piso el cual es de 890,3 m², es decir, área de muros y placa. (Ver tabla 3).

Tabla 4. Cálculo de rendimientos y personal en obra primer escenario de simulación.

CÁLCULO DE RENDIMIENTOS				
	OBRERO	CONSUMO INDIVIDUAL PROMEDIO (hH./ud)	TOTAL OBREROS (H)	HORAS EMPLEADAS (h)
Armado de formaleta metálica (losa y muros)	Oficial	0,2315	32	6,4
Vaciado de formaleta metálica (losa y muros)	Ayudante	0,07301	32	2,03
Total			64	8,47

Fuente: Elaboración propia

Horas empleadas (h)

$$= \frac{\text{Consumo individual promedio (hH./m}^2\text{)} \times \text{Área estructural por piso (m}^2\text{)}}{\text{Total de obreros (H)}}$$

$$\text{Horas empleadas Oficial (h)} = \frac{0,2315 \text{ hH./m}^2 \times 890,3 \text{ m}^2}{32 \text{ H}}$$

$$\text{Horas empleadas Oficial (h)} = 6,4 \text{ h}$$

$$\text{Horas empleadas Ayudante (h)} = \frac{0,07301 \text{ hH./m}^2 \times 890,3 \text{ m}^2}{32 \text{ H}}$$

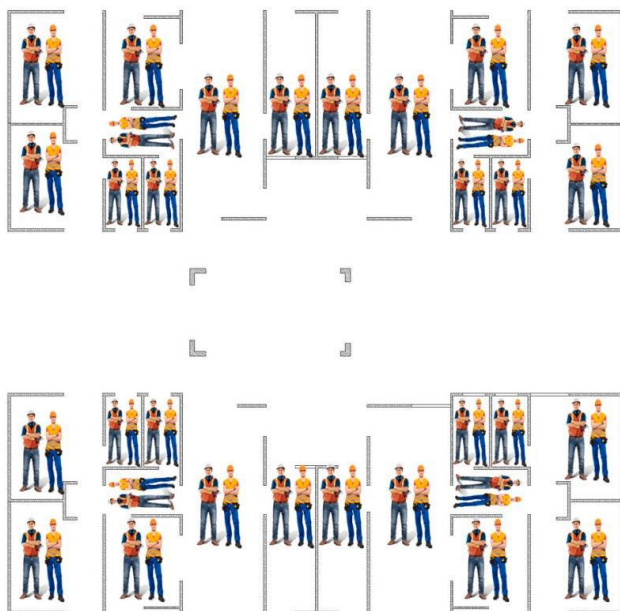
$$\text{Horas empleadas Ayudante (h)} = 2,03 \text{ h}$$

$$\text{Horas empleadas Personal (h)} = 6,4 \text{ h} + 2,03 \text{ h}$$

$$\text{Horas empleadas Personal (h)} = 8,47 \text{ h}$$

Mediante este cálculo se definió un total de 32 oficiales por piso para el armado formaleta y 32 ayudantes por piso para el vaciado de formaleta para un total de 64 obreros, empleando un total de 8,47 horas por piso lo cual se encuentra acorde a la jornada de trabajo establecida para un día. (Ver tabla 4). Se establece como método de vaciado de concreto la bomba de concreto y se tienen dos equipos de formaleta del sistema Forsa para poder realizar las actividades por nivel en el tiempo estipulado de un día.

Imagen 35. Distribución de los obreros en el piso a ejecutar para el primer escenario.

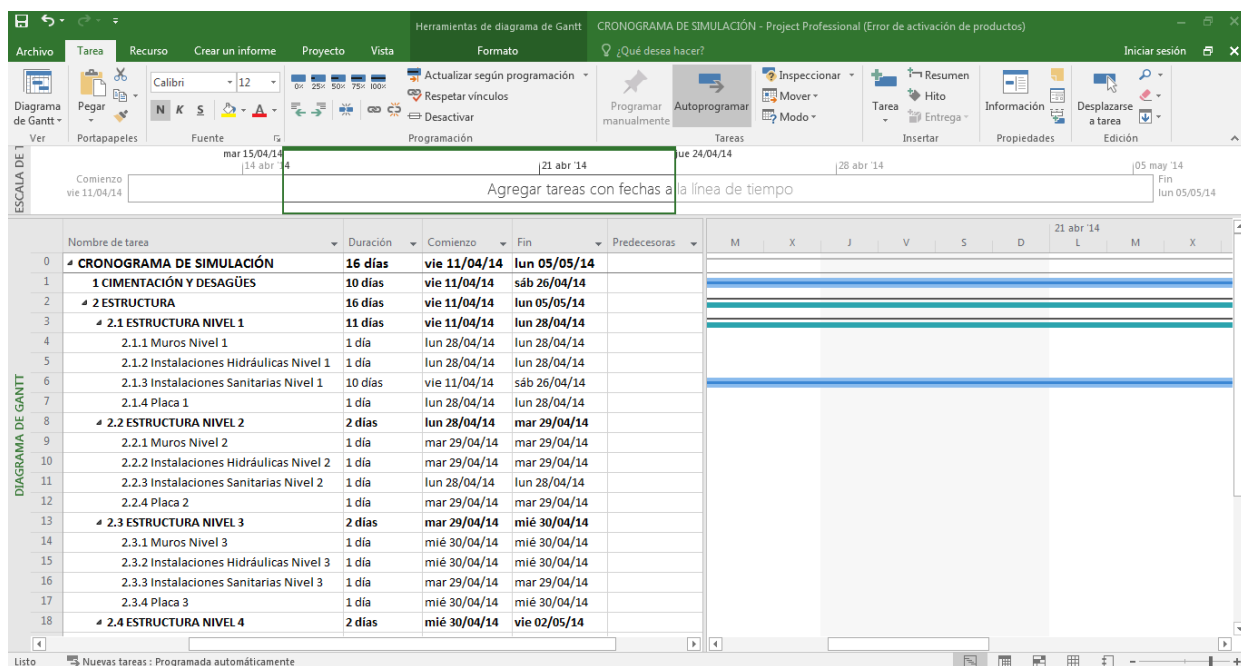


Fuente: Elaboración propia.

Con el rendimiento ya calculado se realizó un esquema visual de la distribución de los obreros para el armado de la formaleta en el piso, por apartamentos y por cada espacio que conforma los mismos. (Ver imagen 35).

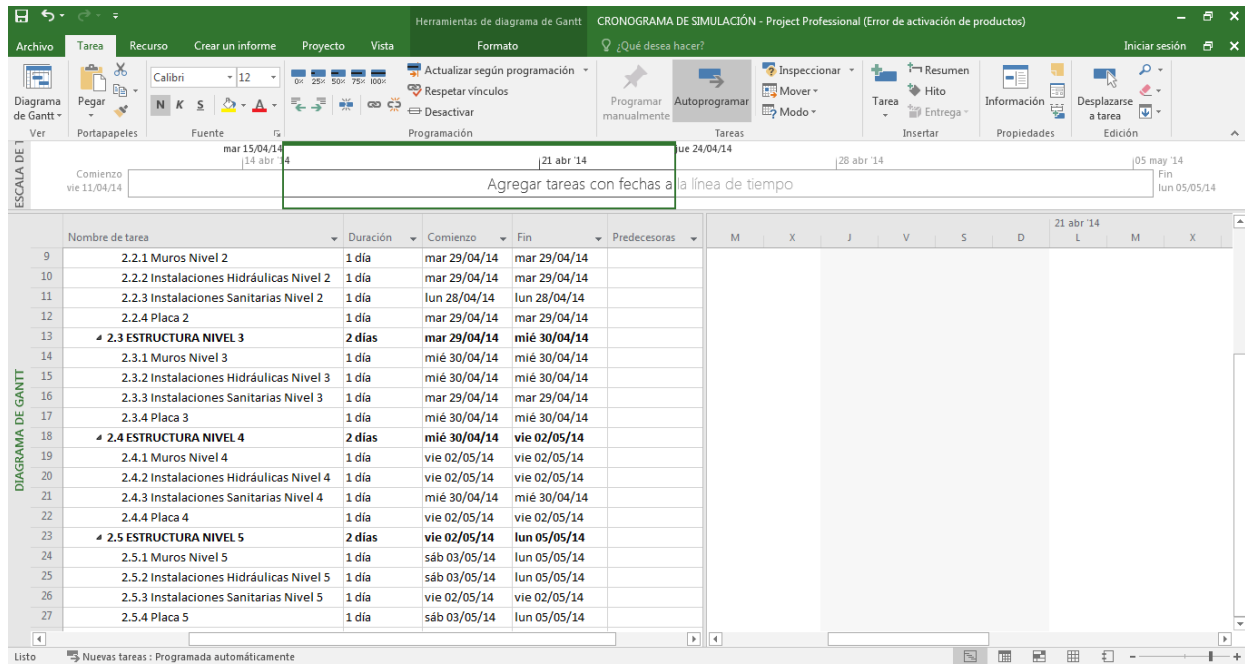
Como paso siguiente se realizó el cronograma de simulación ya que se tiene toda la información necesaria para ello. Se estableció que se ejecutara un piso por día (estructura y redes hidrosanitarias). Dicho cronograma tiene una duración de 16 días, del viernes 11 de abril de 2014 al lunes 05 de mayo de 2014, como se aprecia en las siguientes imágenes: (Ver imagen 36, 37).

Imagen 36. Cronograma de simulación del proyecto parte 1.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 37. Cronograma de simulación del proyecto parte 2.



Fuente: Elaboración propia.

De la misma manera, la plataforma Microsoft Project® permite crear del trabajo realizado un Libro de Excel para así poder apreciar de la mejor forma los datos registrados en ella, así como se observa en la siguiente tabla del cronograma de simulación del proyecto trabajado: (Ver tabla 5).

Tabla 5. Cronograma de simulación del proyecto.

ID	NOMBRE	DURACIÓN	COMIENZO	FIN
1	CRONOGRAMA DE SIMULACIÓN	16 días	vie 11/04/14	lun 05/05/14
2	CIMENTACIÓN Y DESAGÜES	10 días	vie 11/04/14	sáb 26/04/14
3	ESTRUCTURA	16 días	vie 11/04/14	lun 05/05/14
4	ESTRUCTURA NIVEL 1	11 días	vie 11/04/14	lun 28/04/14
5	Muros Nivel 1	1 día	lun 28/04/14	lun 28/04/14
6	Instalaciones Hidráulicas Nivel 1	1 día	lun 28/04/14	lun 28/04/14
7	Instalaciones Sanitarias Nivel 1	10 días	vie 11/04/14	sáb 26/04/14
8	Placa 1	1 día	lun 28/04/14	lun 28/04/14
9	ESTRUCTURA NIVEL 2	2 días	lun 28/04/14	mar 29/04/14
10	Muros Nivel 2	1 día	mar 29/04/14	mar 29/04/14
11	Instalaciones Hidráulicas Nivel 2	1 día	mar 29/04/14	mar 29/04/14
12	Instalaciones Sanitarias Nivel 2	1 día	lun 28/04/14	lun 28/04/14
13	Placa 2	1 día	mar 29/04/14	mar 29/04/14
14	ESTRUCTURA NIVEL 3	2 días	mar 29/04/14	mié 30/04/14
15	Muros Nivel 3	1 día	mié 30/04/14	mié 30/04/14
16	Instalaciones Hidráulicas Nivel 3	1 día	mié 30/04/14	mié 30/04/14
17	Instalaciones Sanitarias Nivel 3	1 día	mar 29/04/14	mar 29/04/14
18	Placa 3	1 día	mié 30/04/14	mié 30/04/14
19	ESTRUCTURA NIVEL 4	2 días	mié 30/04/14	vie 02/05/14
20	Muros Nivel 4	1 día	vie 02/05/14	vie 02/05/14
21	Instalaciones Hidráulicas Nivel 4	1 día	vie 02/05/14	vie 02/05/14
22	Instalaciones Sanitarias Nivel 4	1 día	mié 30/04/14	mié 30/04/14
23	Placa 4	1 día	vie 02/05/14	vie 02/05/14
24	ESTRUCTURA NIVEL 5	2 días	vie 02/05/14	lun 05/05/14
25	Muros Nivel 5	1 día	sáb 03/05/14	lun 05/05/14
26	Instalaciones Hidráulicas Nivel 5	1 día	sáb 03/05/14	lun 05/05/14
27	Instalaciones Sanitarias Nivel 5	1 día	vie 02/05/14	vie 02/05/14
28	Placa 5	1 día	sáb 03/05/14	lun 05/05/14

Fuente: Libro de Excel con la información de elaboración propia hecha en Microsoft Project®.

6.9.1.2. Segundo escenario

Para la propuesta del segundo escenario de simulación se tiene en cuenta lo mencionado del artículo escogiendo un consumo promedio para poder obtener una eficiencia normal, ya que

disponen de un espacio adecuado de trabajo y el ayudante realiza sus labores en conjunto con el oficial.

El rendimiento para el cronograma de simulación del segundo escenario se calculó tomando el valor de consumo individual promedio del oficial (0,2315) para la actividad de armado de losa formaleta metálica debido a que esta actividad necesita un mayor tiempo de ejecución y es recomendable que la lleve a cabo un personal capacitado y el valor de consumo individual promedio del ayudante (0,07301) para la actividad de vaciado de losa formaleta metálica. (Ver tabla 1).

En este segundo escenario de simulación no se propone un cronograma con un tiempo específico de ejecución de cada piso de la torre del proyecto, sino que se toma el tiempo de ejecución del cronograma real del proyecto, es decir, se construye un piso en dos días. (Ver título 6.9.2). (Ver imagen 42, 43). (Ver tabla 8).

De acuerdo a lo anterior, se realizó el cálculo del rendimiento (Ver tabla 6) para establecer una cantidad de obreros suficientes en una jornada de trabajo semanal de 48 horas, es decir, de lunes a viernes 8 horas y media y los sábados 5 horas y media de trabajo, para cubrir el área estructural por piso el cual es de $890,3 \text{ m}^2$, es decir, área de muros y placa. (Ver tabla 3).

Tabla 6. Cálculo de rendimiento y personal en obra segundo escenario de simulación.

	CÁLCULO DE RENDIMIENTOS			
	OBRERO	CONSUMO INDIVIDUAL PROMEDIO (hH./ud)	TOTAL OBREROS (H)	HORAS EMPLEADAS (h)
Armado de formaleta metálica (losa y muros)	Oficial	0,2315	16	12,88
Vaciado de formaleta metálica (losa y muros)	Ayudante	0,07301	16	4,06
Total			32	16,94

Fuente: Elaboración propia

Horas empleadas (h)

$$= \frac{\text{Consumo individual promedio (hH./m}^2\text{)} \times \text{Área estructural por piso (m}^2\text{)}}{\text{Total de obreros (H)}}$$

$$\text{Horas empleadas Oficial (h)} = \frac{0,2315 \text{ hH./m}^2 \times 890,3 \text{ m}^2}{16 \text{ H}}$$

$$\text{Horas empleadas Oficial (h)} = 12,88 \text{ h}$$

$$\text{Horas empleadas Ayudante (h)} = \frac{0,07301 \text{ hH./m}^2 \times 890,3 \text{ m}^2}{16 \text{ H}}$$

$$\text{Horas empleadas Ayudante (h)} = 4,06 \text{ h}$$

$$\text{Horas empleadas Personal (h)} = 12,88 \text{ h} + 4,06 \text{ h}$$

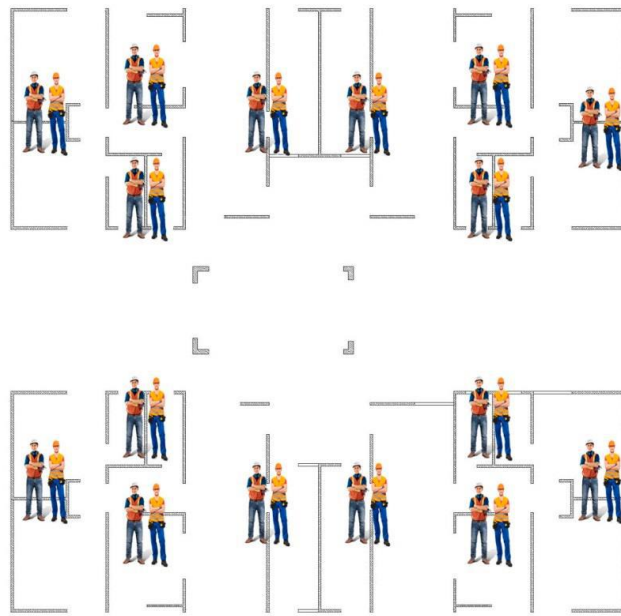
$$\text{Horas empleadas Personal (h)} = 16,94 \text{ h}$$

Mediante este cálculo se obtuvo un total de 16 oficiales por piso para el armado formaleta y 16 ayudantes por piso para el vaciado de formaleta para un total de 32 obreros, empleando un total de 16,94 horas por piso lo cual se encuentra acorde a la jornada de trabajo establecida para

dos días. (Ver tabla 6). Se establece como método de vaciado de concreto la bomba de concreto.

Con el rendimiento ya calculado se realizó un esquema visual de la distribución de los obreros para el armado de la formaleta en el piso, por apartamentos y por cada espacio que conforma los mismos. (Ver imagen 38).

Imagen 38. Distribución de los obreros en el piso a ejecutar para el segundo escenario.



Fuente: Elaboración propia.

6.9.2. Definición del cronograma real del proyecto

El cronograma real del proyecto trabajado en la plataforma Microsoft Project® se realizó tomando la información suministrada por la empresa constructora del proyecto.

En la ejecución del proyecto tuvieron 3 cuadrillas para un total de 36 personas distribuidas así: La primera cuadrilla de enlatar compuesta por 1 oficial encargado y 11

ayudantes avanzados, la segunda cuadrilla de malla o herreros compuesta por 1 oficial encargado y 11 ayudantes avanzados y por último la tercera cuadrilla compuesta por 1 oficial y 11 ayudantes, los cuales se encargan de cimbrar. (Ver imagen 39). Trabajaron jornadas de 8 horas y media diarias de lunes a viernes y los sábados 5 horas y media, para así obtener un total de 48 horas semanales trabajadas. Se utilizó como método de vaciado de concreto la tolva y torre grúa. (Ver imagen 40). El tipo de formaleta empleado en el proyecto fue el sistema Forsa. (Ver imagen 41).

Imagen 39. Registro fotográfico del personal en obra.



Fuente: Archivo digital empresa constructora.

Imagen 40. Registro fotográfico del método de vaciado de concreto con tolva.



Fuente: Archivo digital empresa constructora.

Imagen 41. Registro fotográfico del sistema Forsa en obra.



Fuente: Archivo digital empresa constructora.

Se realizó el cálculo del consumo real teniendo como base la composición del personal y lo mencionado del artículo escogiendo un consumo promedio, para el consumo del ayudante avanzado se tomó como el consumo de un oficial y por esta razón al final del cálculo se suma con el consumo del oficial para obtener un consumo total. (Ver tabla 1).

De acuerdo a lo anterior, se realizó el cálculo del consumo teniendo presente la composición del personal en la ejecución real. (Ver tabla 7).

Tabla 7. Composición del personal en la ejecución real.

Composición Oficial (H)	3
Composición Ayudantes Avanzados (H)	33

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Consumo Ayudante Avanzado Armado (hH./m}^2\text{)} = \frac{0,2315 \text{ hH./m}^2 + 0,3860 \text{ hH./m}^2}{2}$$

$$\text{Consumo Ayudante Avanzado Armado (hH./m}^2\text{)} = 0,30875 \text{ hH./m}^2$$

$$\text{Valor Promedio Consumo Armado (hH./m}^2\text{)}$$

$$= \frac{3 \times 0,2315 \text{ hH./m}^2 + 33 \times 0,30875 \text{ hH./m}^2}{36}$$

$$\text{Valor Promedio Consumo Armado (hH./m}^2\text{)} = 0,30231 \text{ hH./m}^2$$

$$\text{Consumo Ayudante Avanzado Vaciado (hH./m}^2\text{)}$$

$$= \frac{0,07117544 \text{ hH./m}^2 + 0,07301 \text{ hH./m}^2}{2}$$

$$\text{Consumo Ayudante Avanzado Vaciado (hH./m}^2\text{)} = 0,0723822 \text{ hH./m}^2$$

Valor Promedio Consumo Vaciado (hH./m²)

$$= \frac{3 \times 0,07117544 \text{ hH./m}^2 + 33 \times 0,0723822 \text{ hH./m}^2}{36}$$

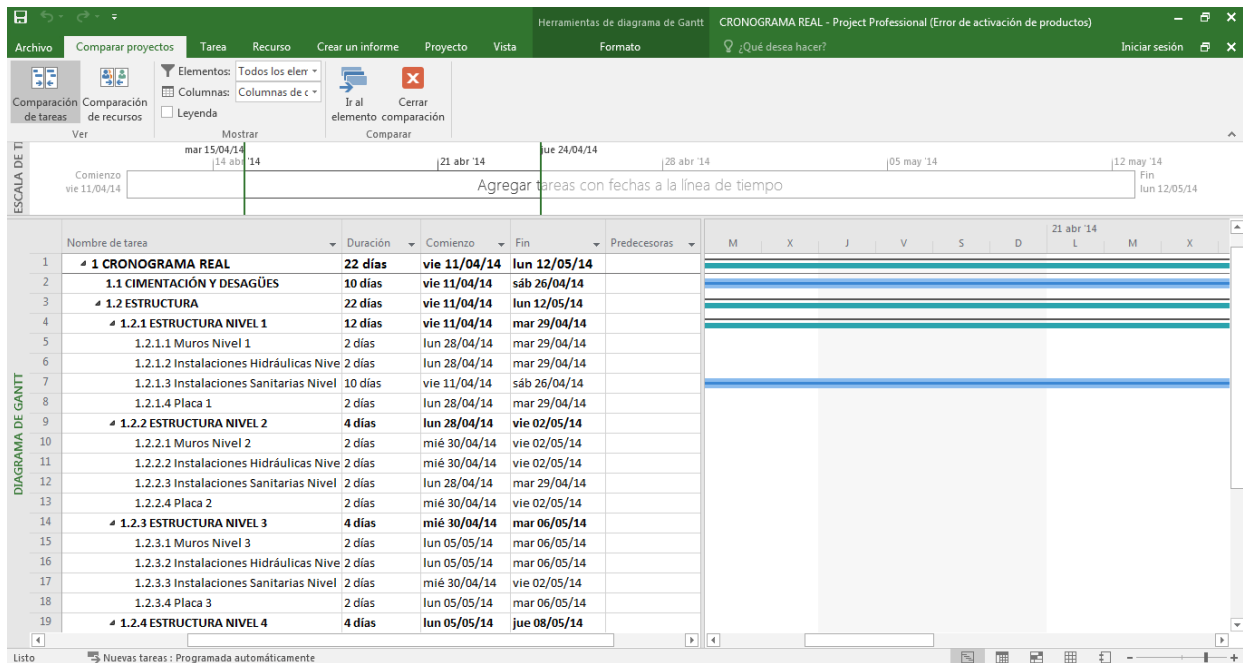
Valor Promedio Consumo Vaciado (hH./m²) = 0,072329883 hH./m²

Total Consumo Promedio (hH./m²) = 0,30231 hH./m² + 0,072329883 hH./m²

Total Consumo Promedio (hH./m²) = 0,374639 hH./m²

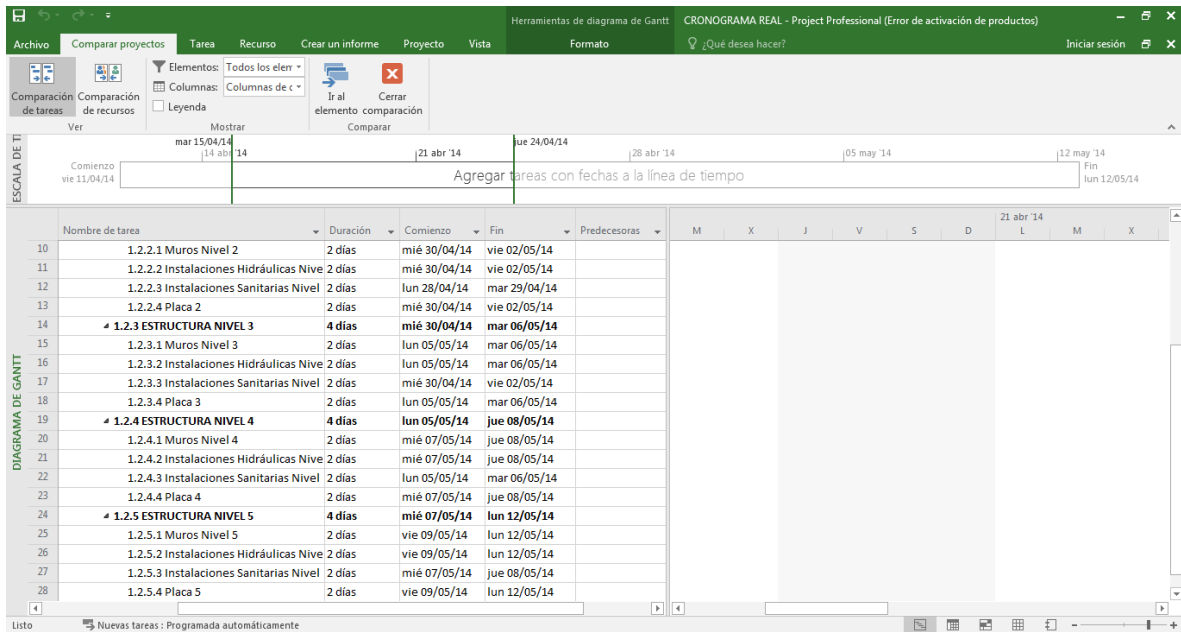
El cronograma real tuvo una duración de 22 días, del viernes 11 de abril de 2014 al lunes 12 de mayo de 2014, como se puede ver en las siguientes imágenes: (Ver imagen 42, 43).

Imagen 42. Cronograma real del proyecto parte 1.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 43. Cronograma real del proyecto parte 2.



Fuente: Elaboración propia.

Así mismo como en el cronograma de simulación, se creó del trabajo realizado un Libro de Excel para así ver de forma óptima los datos registrados en ella, así como se observa en la siguiente tabla del cronograma final del proyecto trabajado: (Ver tabla 8).

Tabla 8. Cronograma real del proyecto.

ID	NOMBRE	DURACIÓN	COMIENZO	FIN
1	CRONOGRAMA REAL	22 días	vie 11/04/14	lun 12/05/14
2	CIMENTACIÓN Y DESAGÜES	10 días	vie 11/04/14	sáb 26/04/14
3	ESTRUCTURA	22 días	vie 11/04/14	lun 12/05/14
4	ESTRUCTURA NIVEL 1	12 días	vie 11/04/14	mar 29/04/14
5	Muros Nivel 1	2 días	lun 28/04/14	mar 29/04/14
6	Instalaciones Hidráulicas Nivel 1	2 días	lun 28/04/14	mar 29/04/14
7	Instalaciones Sanitarias Nivel 1	10 días	vie 11/04/14	sáb 26/04/14
8	Placa 1	2 días	lun 28/04/14	mar 29/04/14
9	ESTRUCTURA NIVEL 2	4 días	lun 28/04/14	vie 02/05/14
10	Muros Nivel 2	2 días	mié 30/04/14	vie 02/05/14
11	Instalaciones Hidráulicas Nivel 2	2 días	mié 30/04/14	vie 02/05/14
12	Instalaciones Sanitarias Nivel 2	2 días	lun 28/04/14	mar 29/04/14
13	Placa 2	2 días	mié 30/04/14	vie 02/05/14
14	ESTRUCTURA NIVEL 3	4 días	mié 30/04/14	mar 06/05/14
15	Muros Nivel 3	2 días	lun 05/05/14	mar 06/05/14
16	Instalaciones Hidráulicas Nivel 3	2 días	lun 05/05/14	mar 06/05/14
17	Instalaciones Sanitarias Nivel 3	2 días	mié 30/04/14	vie 02/05/14
18	Placa 3	2 días	lun 05/05/14	mar 06/05/14
19	ESTRUCTURA NIVEL 4	4 días	lun 05/05/14	jue 08/05/14
20	Muros Nivel 4	2 días	mié 07/05/14	jue 08/05/14
21	Instalaciones Hidráulicas Nivel 4	2 días	mié 07/05/14	jue 08/05/14
22	Instalaciones Sanitarias Nivel 4	2 días	lun 05/05/14	mar 06/05/14
23	Placa 4	2 días	mié 07/05/14	jue 08/05/14
24	ESTRUCTURA NIVEL 5	4 días	mié 07/05/14	lun 12/05/14
25	Muros Nivel 5	2 días	vie 09/05/14	lun 12/05/14
26	Instalaciones Hidráulicas Nivel 5	2 días	vie 09/05/14	lun 12/05/14
27	Instalaciones Sanitarias Nivel 5	2 días	mié 07/05/14	jue 08/05/14
28	Placa 5	2 días	vie 09/05/14	lun 12/05/14

Fuente: Libro de Excel con la información de elaboración propia hecha en Microsoft Project®.

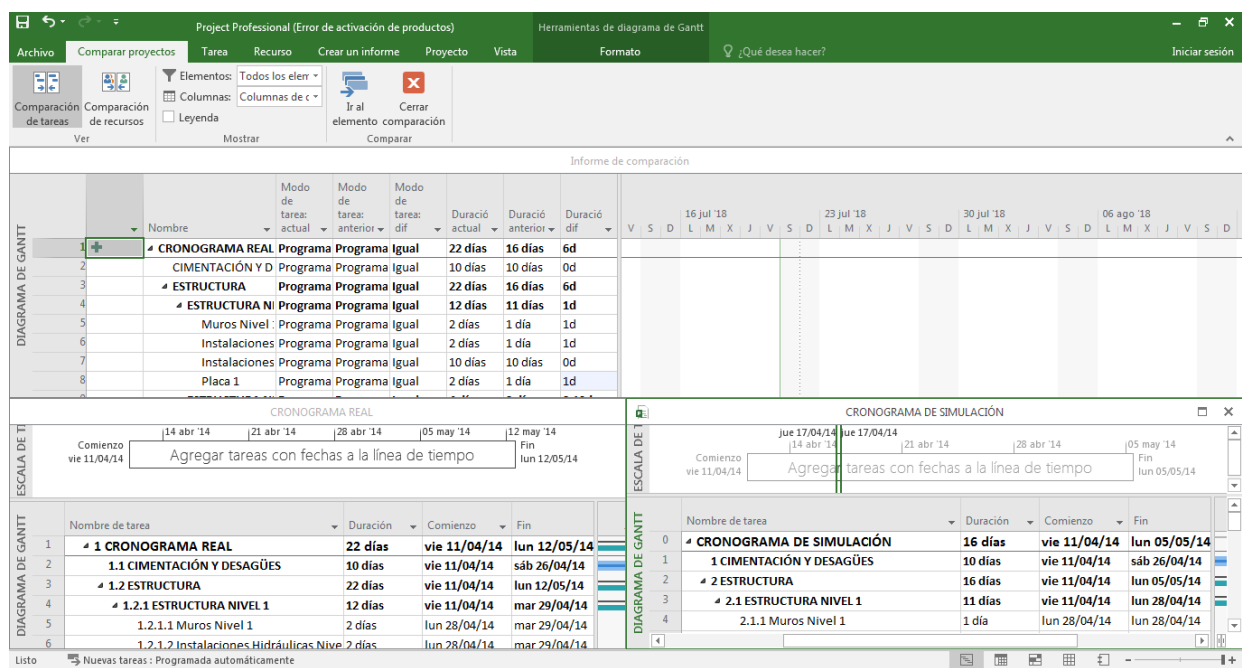
6.9.3. Comparación entre los cronogramas

Posteriormente a la realización de los cronogramas de obra, se creó un informe de comparación, herramienta disponible en la plataforma la cual permite mostrar la diferencia en la

duración de la obra, en cada una de las actividades de los cronogramas.

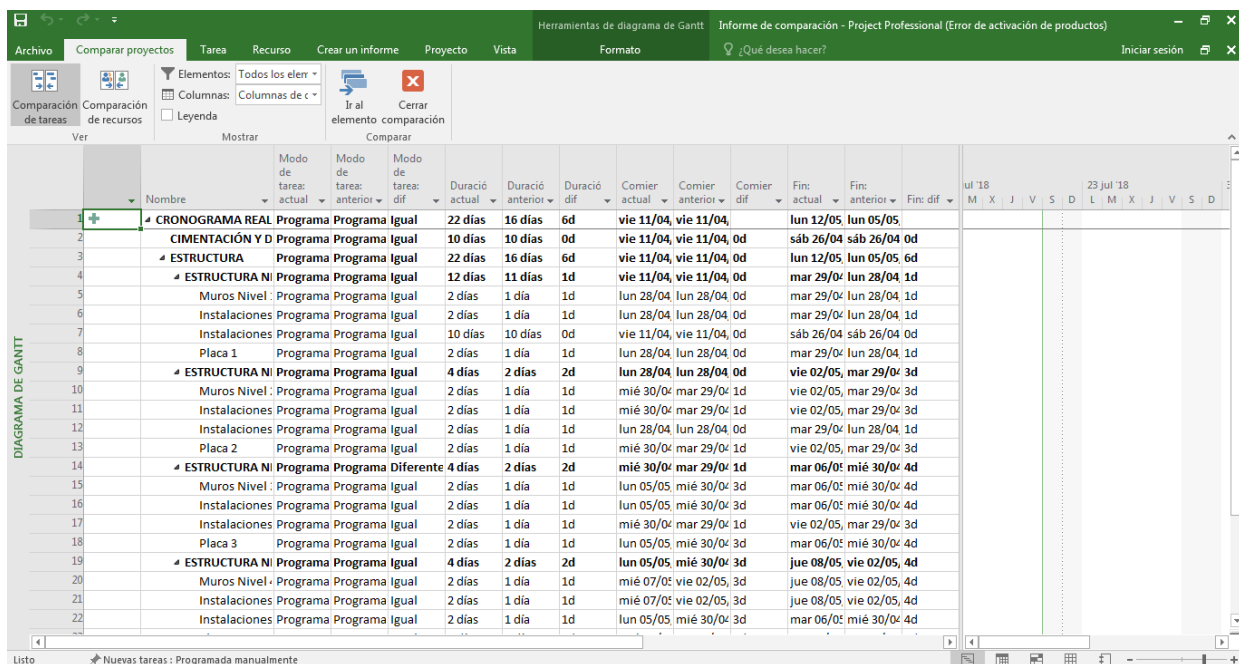
El informe se creó comparando el cronograma real del proyecto con el cronograma propuesto del primer escenario de simulación, para así obtener la diferencia de duración, comienzo y fin de los tiempos. Aquí se puede observar en imágenes el aspecto del informe en la plataforma: (Ver imagen 44, 45, 46).

Imagen 44. Informe de comparación de los cronogramas.



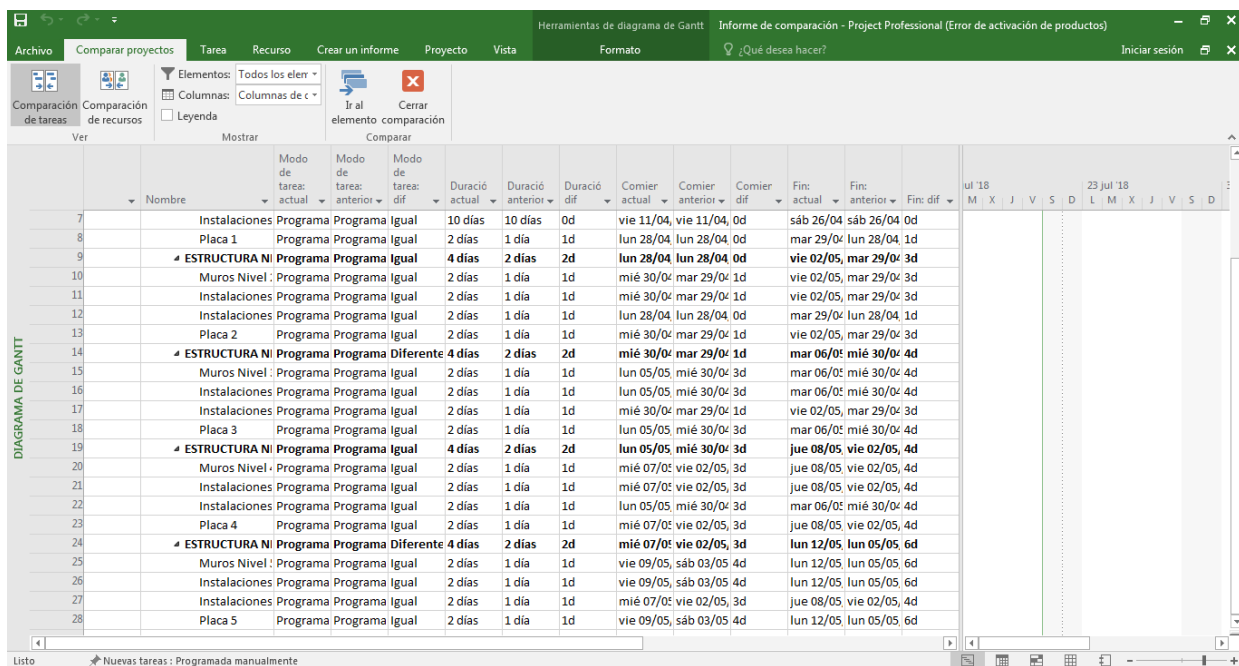
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 45. Informe de comparación de los cronogramas una vez guardado parte 1.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 46. Informe de comparación de los cronogramas una vez guardado parte 2.



Fuente: Elaboración propia.

Igualmente, se creó con los datos del informe de comparación realizado un Libro de Excel, el cual mostró las siguientes tablas:

Como primera comparación muestra la realizada a las duraciones de las actividades de cada uno de los dos cronogramas, la duración real y la duración de la simulación y como dato final la diferencia entre dichas duraciones. (Ver tabla 9).

Tabla 9. Informe de comparación de la duración de las actividades de los cronogramas.

NOMBRE	DURACIÓN REAL	DURACIÓN SIMULACIÓN	DIFERENCIA DURACIÓN
CRONOGRAMAS	22 días	16 días	6d
CIMENTACIÓN Y DESAGÜES	10 días	10 días	0d
ESTRUCTURA	22 días	16 días	6d
ESTRUCTURA NIVEL 1	12 días	11 días	1d
Muros Nivel 1	2 días	1 día	1d
Instalaciones Hidráulicas Nivel 1	2 días	1 día	1d
Instalaciones Sanitarias Nivel 1	10 días	10 días	0d
Placa 1	2 días	1 día	1d
ESTRUCTURA NIVEL 2	4 días	2 días	2d
Muros Nivel 2	2 días	1 día	1d
Instalaciones Hidráulicas Nivel 2	2 días	1 día	1d
Instalaciones Sanitarias Nivel 2	2 días	1 día	1d
Placa 2	2 días	1 día	1d
ESTRUCTURA NIVEL 3	4 días	2 días	2d
Muros Nivel 3	2 días	1 día	1d
Instalaciones Hidráulicas Nivel 3	2 días	1 día	1d
Instalaciones Sanitarias Nivel 3	2 días	1 día	1d
Placa 3	2 días	1 día	1d
ESTRUCTURA NIVEL 4	4 días	2 días	2d
Muros Nivel 4	2 días	1 día	1d
Instalaciones Hidráulicas Nivel 4	2 días	1 día	1d
Instalaciones Sanitarias Nivel 4	2 días	1 día	1d
Placa 4	2 días	1 día	1d
ESTRUCTURA NIVEL 5	4 días	2 días	2d
Muros Nivel 5	2 días	1 día	1d
Instalaciones Hidráulicas Nivel 5	2 días	1 día	1d

Instalaciones Sanitarias Nivel 5	2 días	1 día	1d
Placa 5	2 días	1 día	1d

Fuente: Libro de Excel con la información de elaboración propia hecha en Microsoft Project®.

Se determina una diferencia en la duración total del proyecto entre los dos cronogramas de 6 días, ya que la duración en el cronograma de simulación es de 16 días y la duración en el cronograma real es de 22 días. Se obtuvo una disminución en la duración total del proyecto de 27,27% y también se disminuyó la ejecución de las actividades trabajadas por cada nivel de la torre de 50%.

Como segunda comparación muestra la realizada a los comienzos de las actividades de cada uno de los dos cronogramas de la obra, el comienzo real y el comienzo de la simulación y como dato final la diferencia entre mencionados comienzos. (Ver tabla 10).

Tabla 10. Informe de comparación del comienzo de las actividades de los cronogramas.

NOMBRE	COMIENZO REAL	COMIENZO SIMULACIÓN	DIFERENCIA COMIENZO
CRONOGRAMAS	vie 11/04/14	vie 11/04/14	0d
CIMENTACIÓN Y DESAGÜES	vie 11/04/14	vie 11/04/14	0d
ESTRUCTURA	vie 11/04/14	vie 11/04/14	0d
ESTRUCTURA NIVEL 1	vie 11/04/14	vie 11/04/14	0d
Muros Nivel 1	lun 28/04/14	lun 28/04/14	0d
Instalaciones Hidráulicas Nivel 1	lun 28/04/14	lun 28/04/14	0d
Instalaciones Sanitarias Nivel 1	vie 11/04/14	vie 11/04/14	0d
Placa 1	lun 28/04/14	lun 28/04/14	0d
ESTRUCTURA NIVEL 2	lun 28/04/14	lun 28/04/14	0d
Muros Nivel 2	mié 30/04/14	mar 29/04/14	1d
Instalaciones Hidráulicas Nivel 2	mié 30/04/14	mar 29/04/14	1d
Instalaciones Sanitarias Nivel 2	lun 28/04/14	lun 28/04/14	0d
Placa 2	mié 30/04/14	mar 29/04/14	1d
ESTRUCTURA NIVEL 3	mié 30/04/14	mar 29/04/14	1d

Muros Nivel 3	lun 05/05/14	mié 30/04/14	3d
Instalaciones Hidráulicas Nivel 3	lun 05/05/14	mié 30/04/14	3d
Instalaciones Sanitarias Nivel 3	mié 30/04/14	mar 29/04/14	1d
Placa 3	lun 05/05/14	mié 30/04/14	3d
ESTRUCTURA NIVEL 4	lun 05/05/14	mié 30/04/14	3d
Muros Nivel 4	mié 07/05/14	vie 02/05/14	3d
Instalaciones Hidráulicas Nivel 4	mié 07/05/14	vie 02/05/14	3d
Instalaciones Sanitarias Nivel 4	lun 05/05/14	mié 30/04/14	3d
Placa 4	mié 07/05/14	vie 02/05/14	3d
ESTRUCTURA NIVEL 5	mié 07/05/14	vie 02/05/14	3d
Muros Nivel 5	vie 09/05/14	sáb 03/05/14	4d
Instalaciones Hidráulicas Nivel 5	vie 09/05/14	sáb 03/05/14	4d
Instalaciones Sanitarias Nivel 5	mié 07/05/14	vie 02/05/14	3d
Placa 5	vie 09/05/14	sáb 03/05/14	4d

Fuente: Libro de Excel con la información de elaboración propia hecha en Microsoft Project®.

Como tercera y última comparación muestra la realizada a los finales de las actividades de cada uno de los dos cronogramas de la obra, el fin real y el fin de la simulación y como dato último la diferencia entre dichos finales. (Ver tabla 11).

Tabla 11. Informe de comparación del fin de las actividades de los cronogramas.

NOMBRE	FIN REAL	FIN SIMULACIÓN	DIFERENCIA FIN
CRONOGRAMAS	lun 12/05/14	lun 05/05/14	6d
CIMENTACIÓN Y DESAGÜES	sáb 26/04/14	sáb 26/04/14	0d
ESTRUCTURA	lun 12/05/14	lun 05/05/14	6d
ESTRUCTURA NIVEL 1	mar 29/04/14	lun 28/04/14	1d
Muros Nivel 1	mar 29/04/14	lun 28/04/14	1d
Instalaciones Hidráulicas Nivel 1	mar 29/04/14	lun 28/04/14	1d
Instalaciones Sanitarias Nivel 1	sáb 26/04/14	sáb 26/04/14	0d
Placa 1	mar 29/04/14	lun 28/04/14	1d
ESTRUCTURA NIVEL 2	vie 02/05/14	mar 29/04/14	3d
Muros Nivel 2	vie 02/05/14	mar 29/04/14	3d
Instalaciones Hidráulicas Nivel 2	vie 02/05/14	mar 29/04/14	3d
Instalaciones Sanitarias Nivel 2	mar 29/04/14	lun 28/04/14	1d

Placa 2	vie 02/05/14	mar 29/04/14	3d
ESTRUCTURA NIVEL 3	mar 06/05/14	mié 30/04/14	4d
Muros Nivel 3	mar 06/05/14	mié 30/04/14	4d
Instalaciones Hidráulicas Nivel 3	mar 06/05/14	mié 30/04/14	4d
Instalaciones Sanitarias Nivel 3	vie 02/05/14	mar 29/04/14	3d
Placa 3	mar 06/05/14	mié 30/04/14	4d
ESTRUCTURA NIVEL 4	jue 08/05/14	vie 02/05/14	4d
Muros Nivel 4	jue 08/05/14	vie 02/05/14	4d
Instalaciones Hidráulicas Nivel 4	jue 08/05/14	vie 02/05/14	4d
Instalaciones Sanitarias Nivel 4	mar 06/05/14	mié 30/04/14	4d
Placa 4	jue 08/05/14	vie 02/05/14	4d
ESTRUCTURA NIVEL 5	lun 12/05/14	lun 05/05/14	6d
Muros Nivel 5	lun 12/05/14	lun 05/05/14	6d
Instalaciones Hidráulicas Nivel 5	lun 12/05/14	lun 05/05/14	6d
Instalaciones Sanitarias Nivel 5	jue 08/05/14	vie 02/05/14	4d
Placa 5	lun 12/05/14	lun 05/05/14	6d

Fuente: Libro de Excel con la información de elaboración propia hecha en Microsoft Project®.

6.9.4. Comparación entre el personal en obra

Primero se realizó la comparación del personal obtenido en el primer escenario de simulación propuesto con el utilizado en la ejecución real del proyecto. En dicha comparación se obtuvo un aumento en el personal en obra de 28 personas, ya que en el primer escenario de simulación se determinaron 64 personas en obra y en la ejecución real utilizaron 36 personas en obra. De acuerdo a eso, se aumentó el personal en obra en un 43,75%.

Del segundo escenario de simulación propuesto también se realizó una comparación del personal en obra con el utilizado en la ejecución real del proyecto. De dicha comparación se obtuvo una disminución del mismo de 4 personas, pasando de 36 personas en obra (dato de la ejecución real del proyecto) a 32 personas en obra (dato obtenido con el segundo escenario de

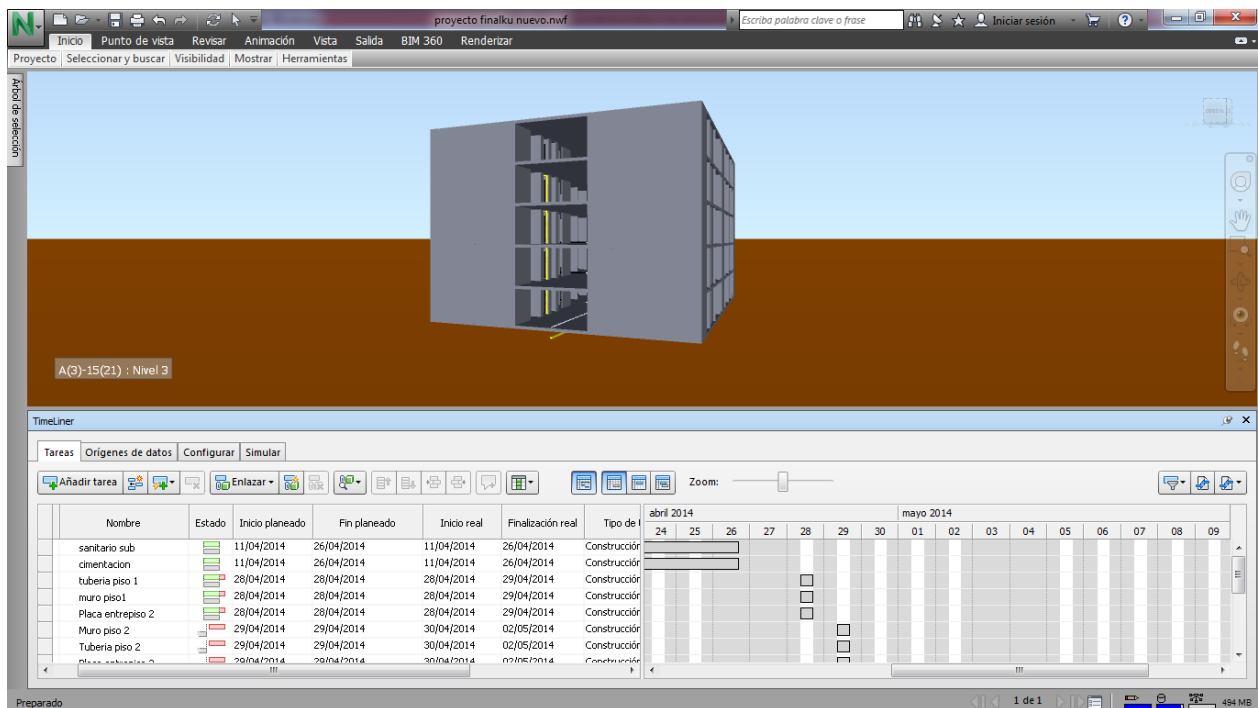
simulación propuesto). Teniendo en cuenta lo anterior, se obtuvo entonces una disminución del personal del 11,11%.

6.10. CREACIÓN DEL MODELO 4D DEL PROYECTO

Importando el modelo 3D realizado en Autodesk Revit® y los cronogramas desde Microsoft Project® se creó el modelo 4D.

Se creó en la plataforma Autodesk Navisworks® debido a que es la herramienta que nos permite realizarlo de la manera más completa, incluyendo una simulación de la ejecución de las actividades de obra.

Imagen 47. Interfaz de la plataforma Autodesk Navisworks® con el modelo 4D terminado.



Fuente: Elaboración propia.

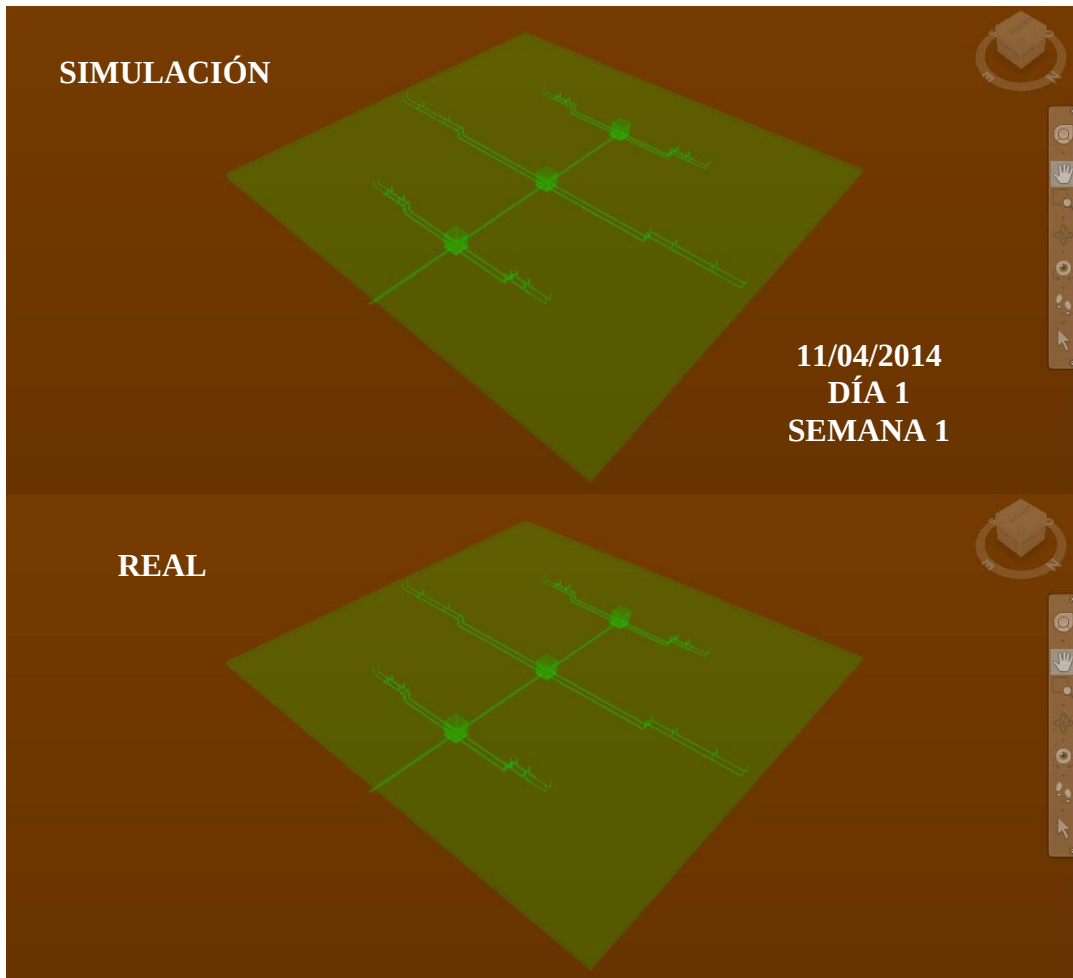
En la anterior imagen se puede apreciar la interfaz de la plataforma con el modelo 4D terminado. En la parte superior se observa el espacio destinado por la herramienta para mostrar la simulación de la ejecución de obra y en la parte inferior se encuentra el cronograma de actividades de obra. (Ver imagen 47).

A continuación, se aprecian imágenes del modelo 4D que muestran algunas comparaciones entre el cronograma de simulación con el cronograma real ejecutado en obra, lo cual permite determinar los tiempos exactos en los cuales algunos presentaron retrasos o adelantos en la ejecución de la obra y finalmente con esto especificar las posibles causas de los mismos.

Mediante todo el análisis de lo obtenido por la simulación se estará diciendo de forma general “las actividades de obra del piso”, a lo que se quiere hacer referencia en dicha frase en cuanto a la palabra actividades es que se está hablando de la estructura (placa de entrepiso y muros) y las redes hidráulica y sanitaria (tuberías y accesorios) del piso del que se esté hablando en el momento, ya que fueron las actividades que se desarrollaron y adicional a esto porque fue construido de forma industrializada, es decir, todo lo correspondiente al piso o nivel en construcción se realiza al mismo tiempo.

En la imagen que corresponde al 11/04/2014, día 1 semana 1 de ejecución de obra, se muestra que las actividades de cimentación comienzan el mismo día en la simulación y en lo real. (Ver imagen 48).

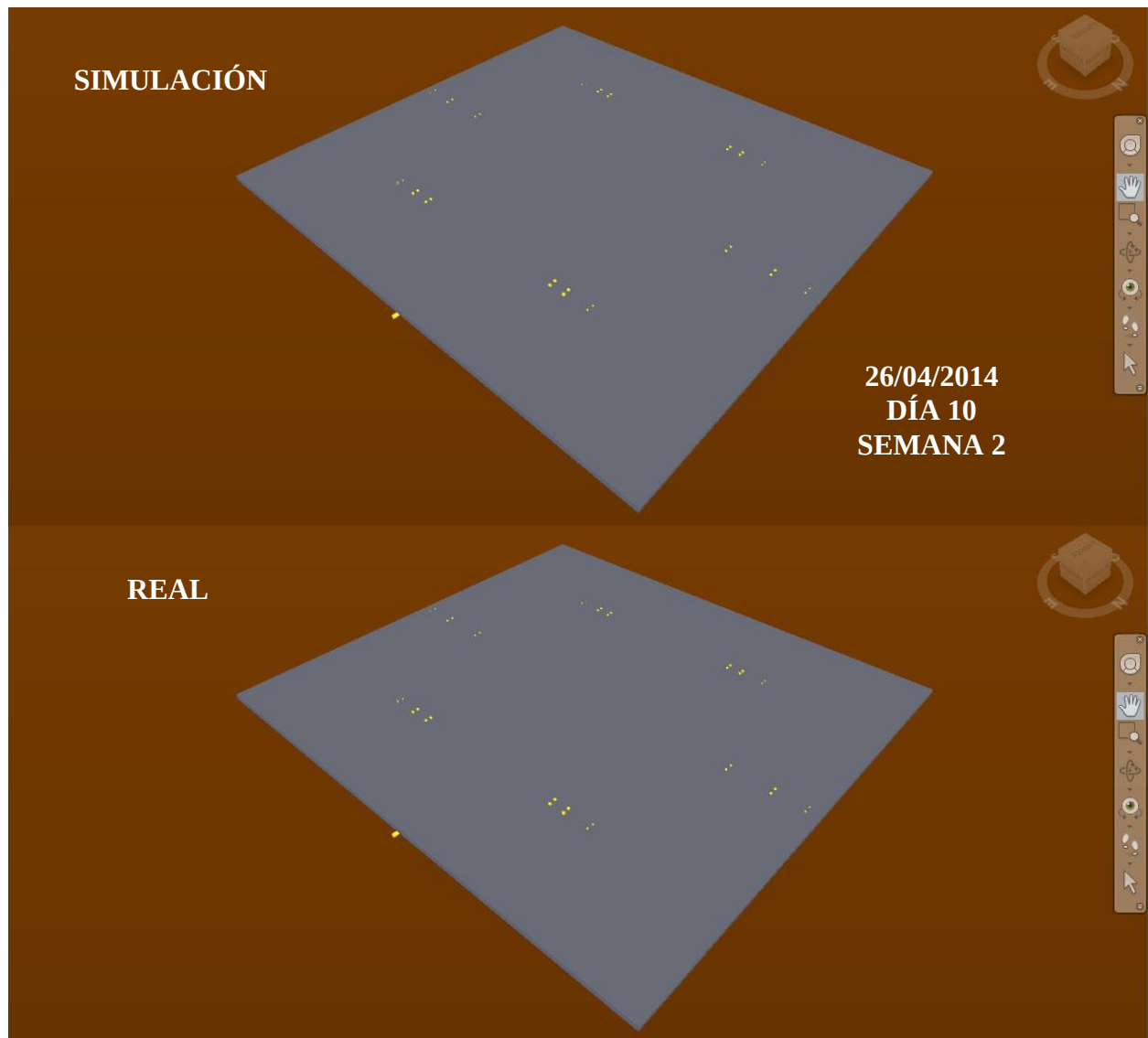
Imagen 48. Simulación de ejecución de actividades de obra día 1 semana 1.



Fuente: Elaboración propia.

El 26/04/2014, el cual corresponde al día 10 de la semana 2 de ejecución de obra, se puede observar que termina la construcción de la cimentación en la simulación y en lo real. (Ver imagen 49).

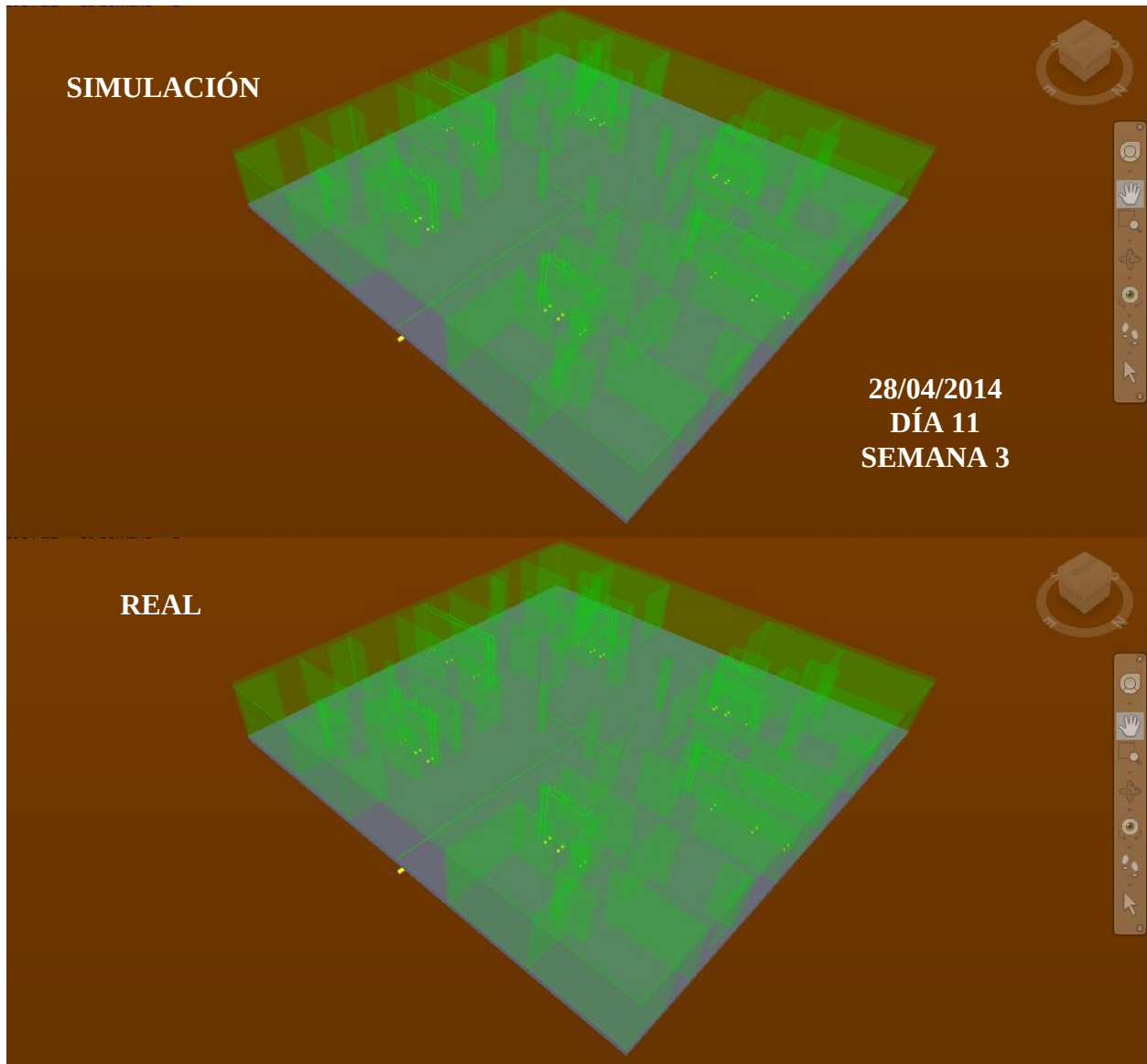
Imagen 49. Simulación de ejecución de actividades de obra día 10 semana 2.



Fuente: Elaboración propia.

El 28/04/2014, el cual corresponde al día 11 de la semana 3 de ejecución de obra, se observa que las actividades del primer piso comienzan en la misma fecha en la simulación y en lo real. (Ver imagen 50).

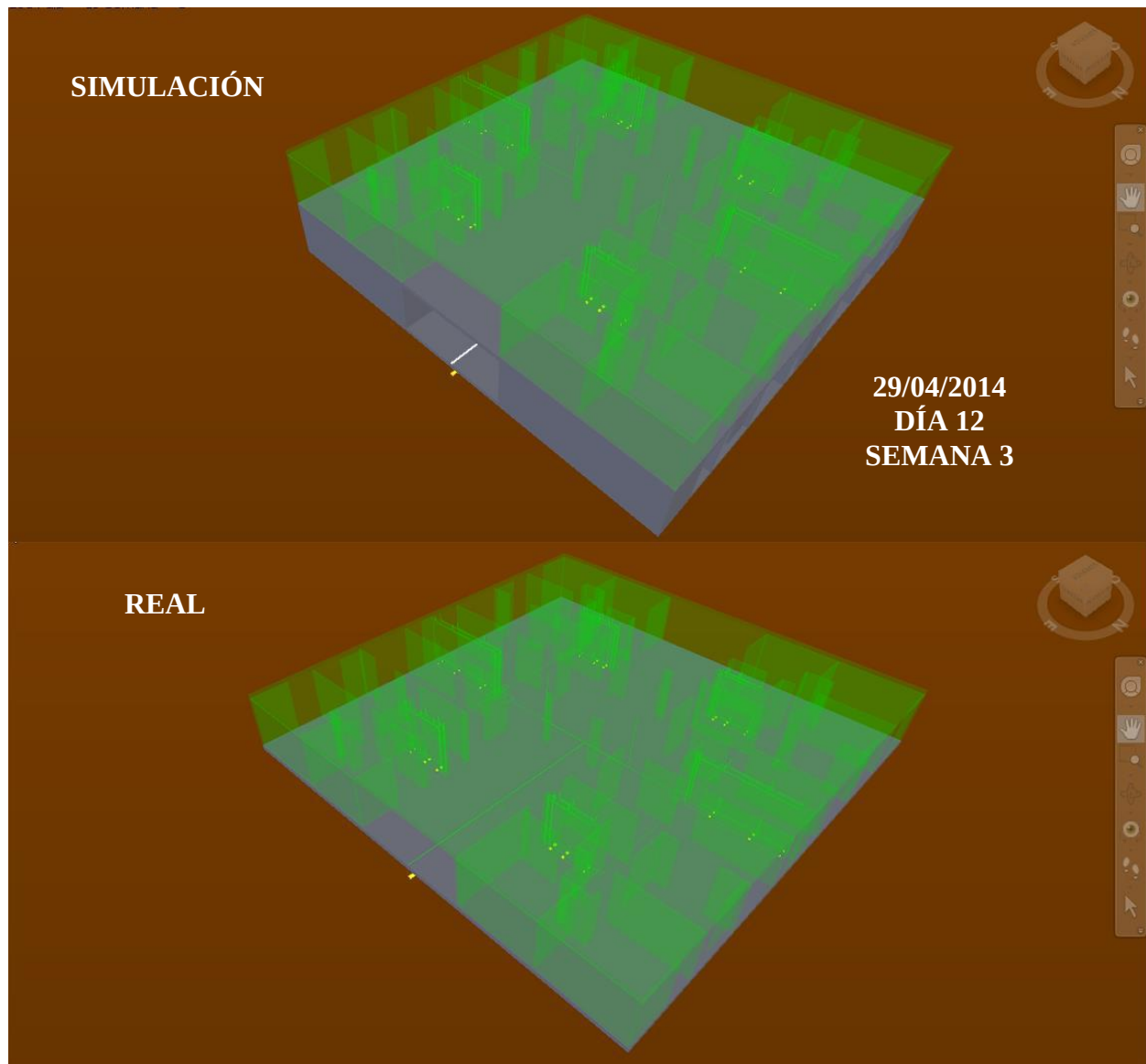
Imagen 50. Simulación de ejecución de actividades de obra día 11 semana 3.



Fuente: Elaboración propia.

El 29/04/2014, el cual es el día 12 de la semana 3 de ejecución de obra, se aprecia que en la simulación se comienzan las actividades del segundo piso mientras que en lo real se están terminando las actividades del primer piso. (Ver imagen 51).

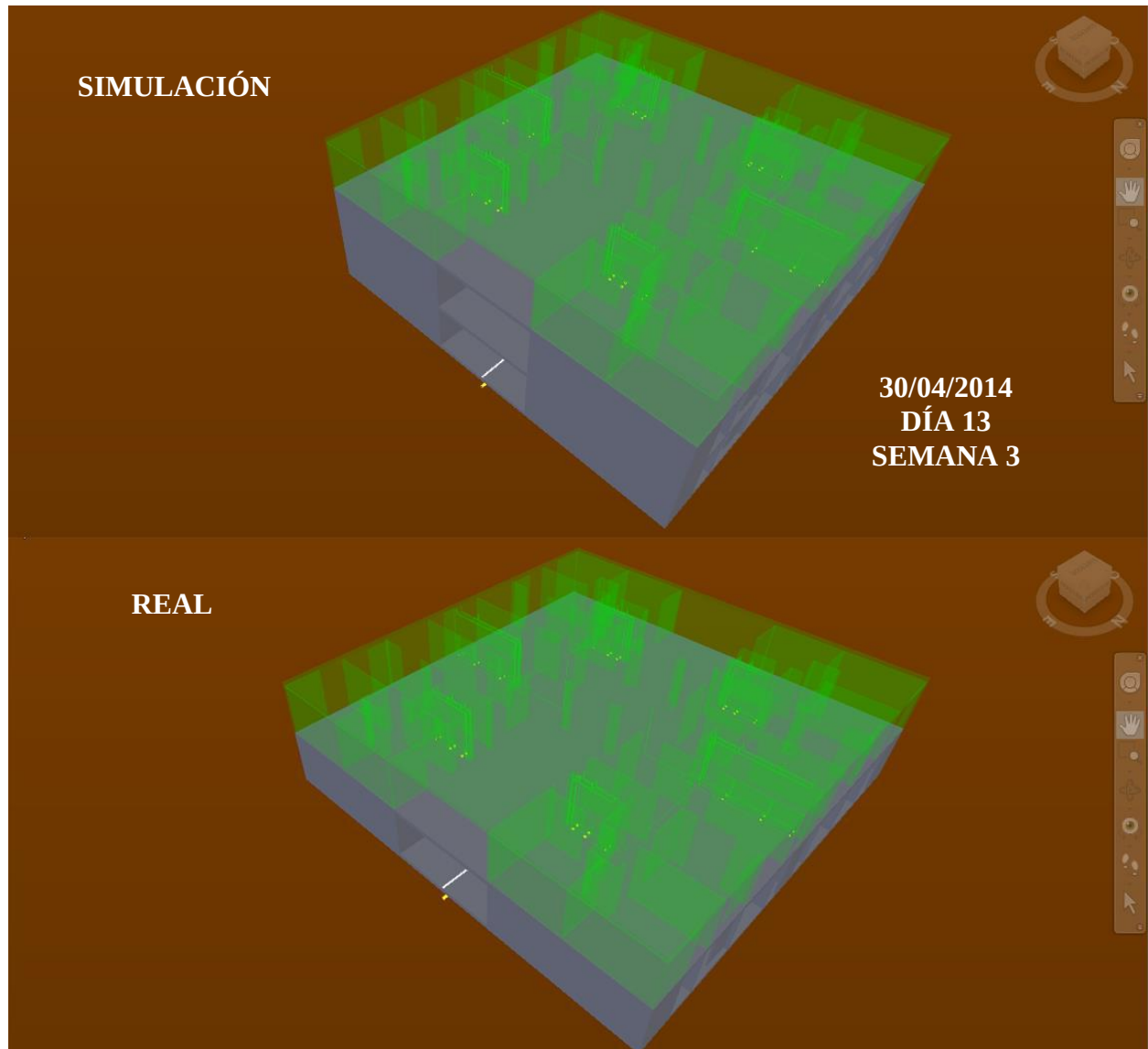
Imagen 51. Simulación de ejecución de actividades de obra día 12 semana 3.



Fuente: Elaboración propia.

El 30/04/2014, el cual corresponde al día 13 de la semana 3 de ejecución de obra, se visualiza que en la simulación se comienzan las actividades del tercer piso mientras que en lo real se están terminando las actividades del segundo piso. (Ver imagen 52).

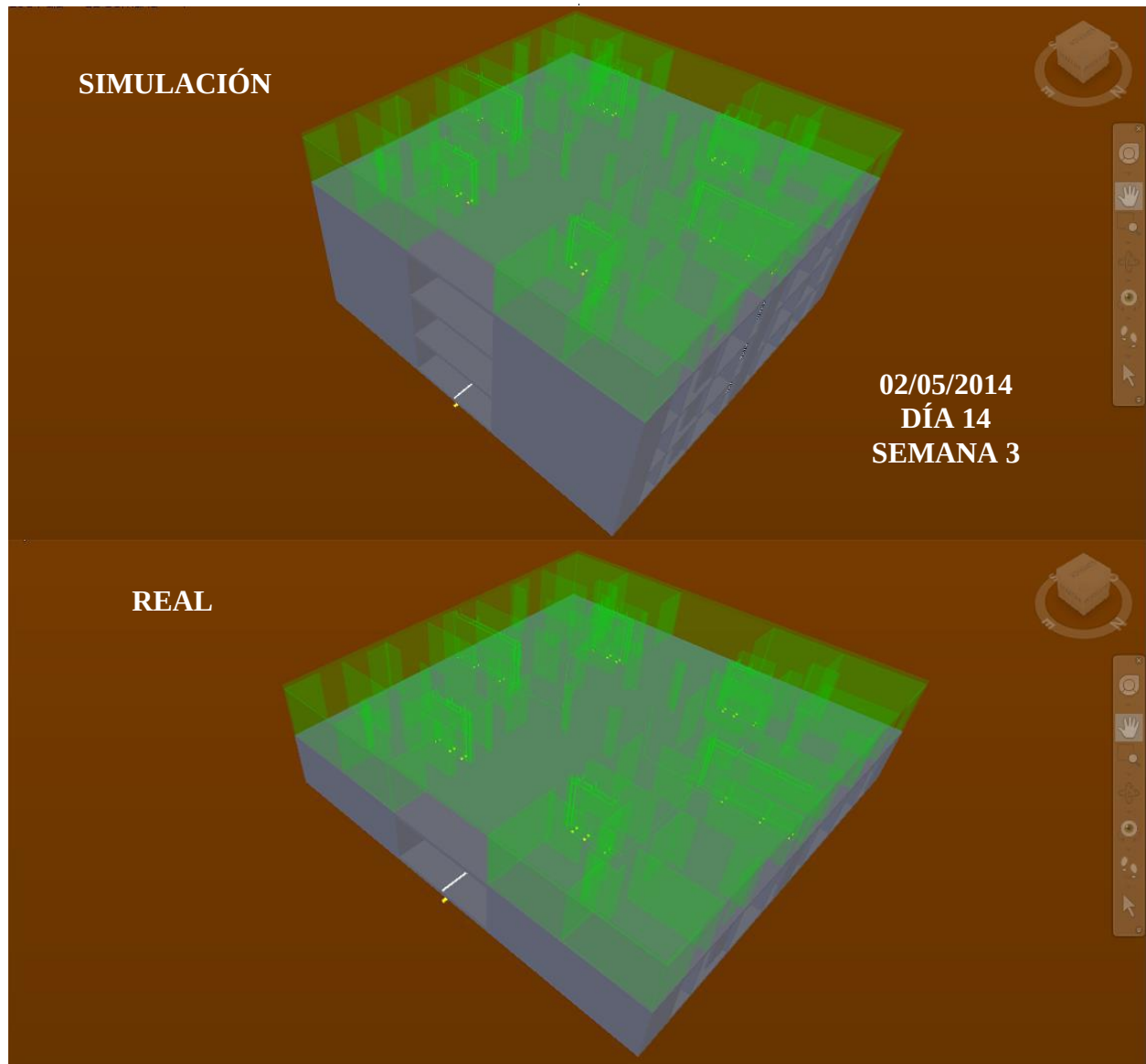
Imagen 52. Simulación de ejecución de actividades de obra día 13 semana 3.



Fuente: Elaboración propia.

El 02/05/2014, el cual es el día 14 de la semana 3 de ejecución de obra, se observa que en la simulación se comienzan las actividades del cuarto piso mientras que en lo real se están terminando las actividades del tercer piso. (Ver imagen 53).

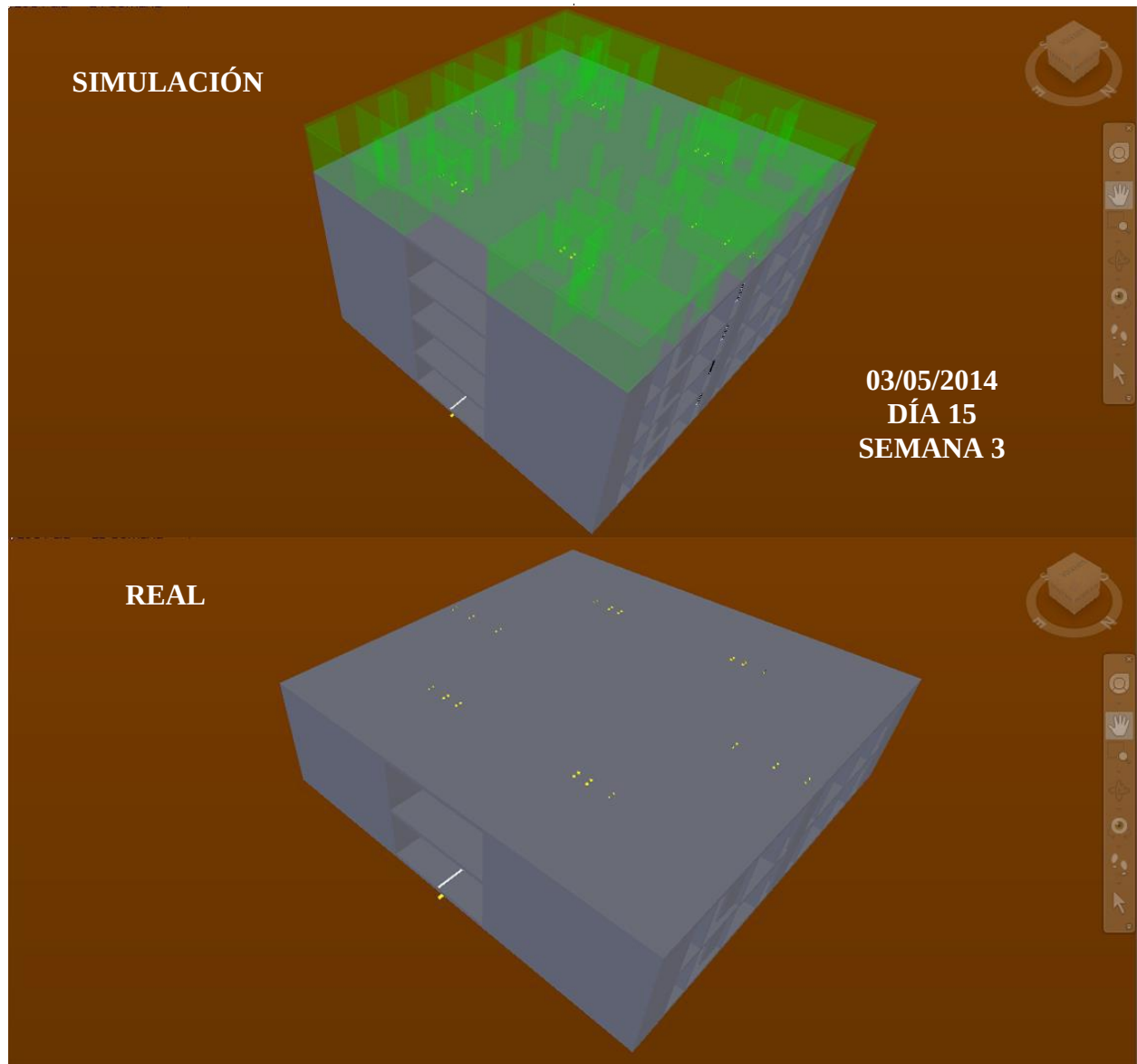
Imagen 53. Simulación de ejecución de actividades de obra día 14 semana 3.



Fuente: Elaboración propia.

El 03/05/2014, el cual corresponde al día 15 de la semana 3 de ejecución de obra, se aprecia que en la simulación se comienzan las actividades del quinto piso mientras que en lo real se están terminaron las actividades del segundo piso. (Ver imagen 54).

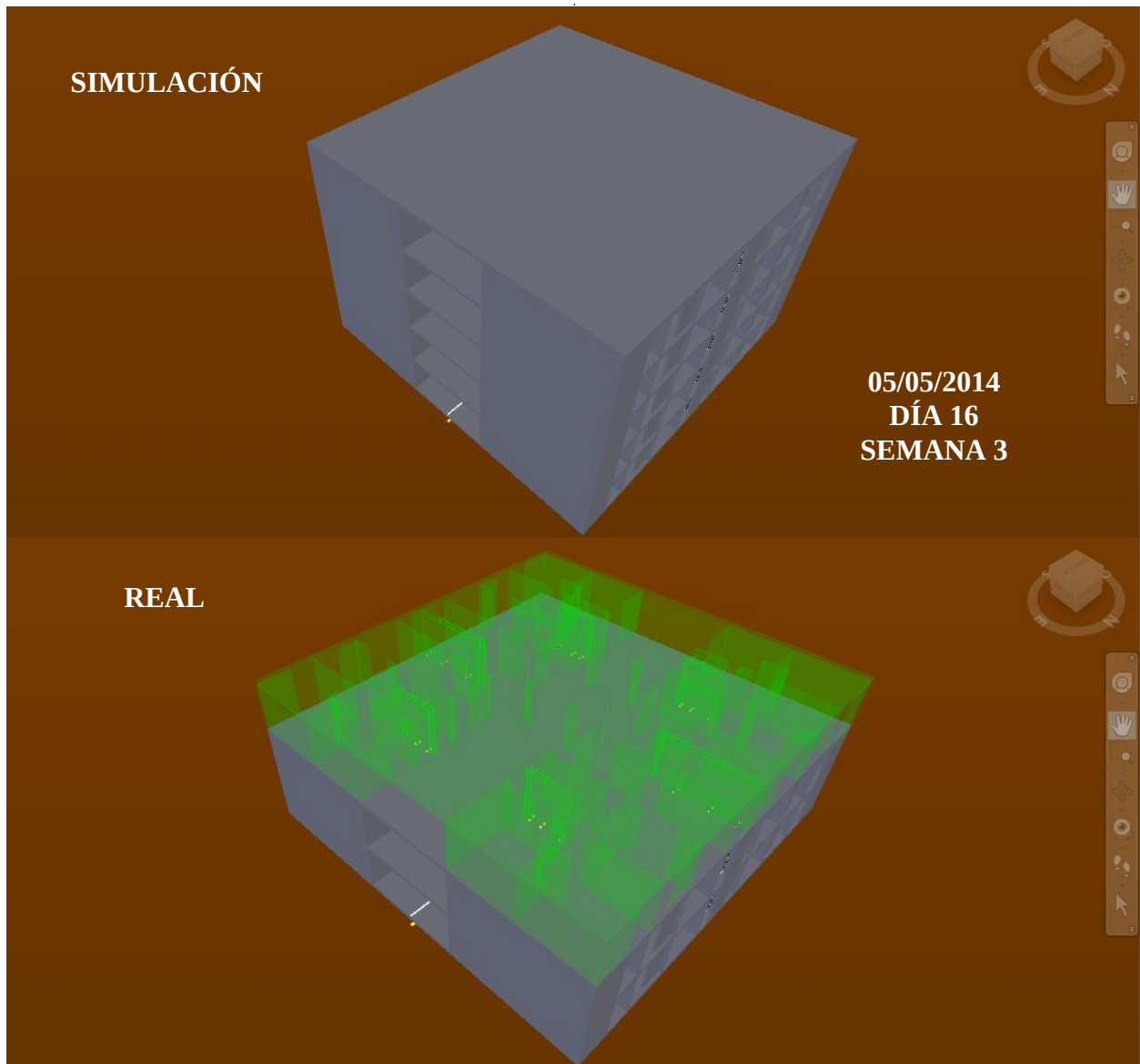
Imagen 54. Simulación de ejecución de actividades de obra día 15 semana 3.



Fuente: Elaboración propia.

El 05/05/2014, el cual corresponde al día 16 de la semana 3 de ejecución de obra, se muestra que en la simulación se terminó la construcción de la torre mientras que en lo real se comienzan las actividades del tercer piso. (Ver imagen 55).

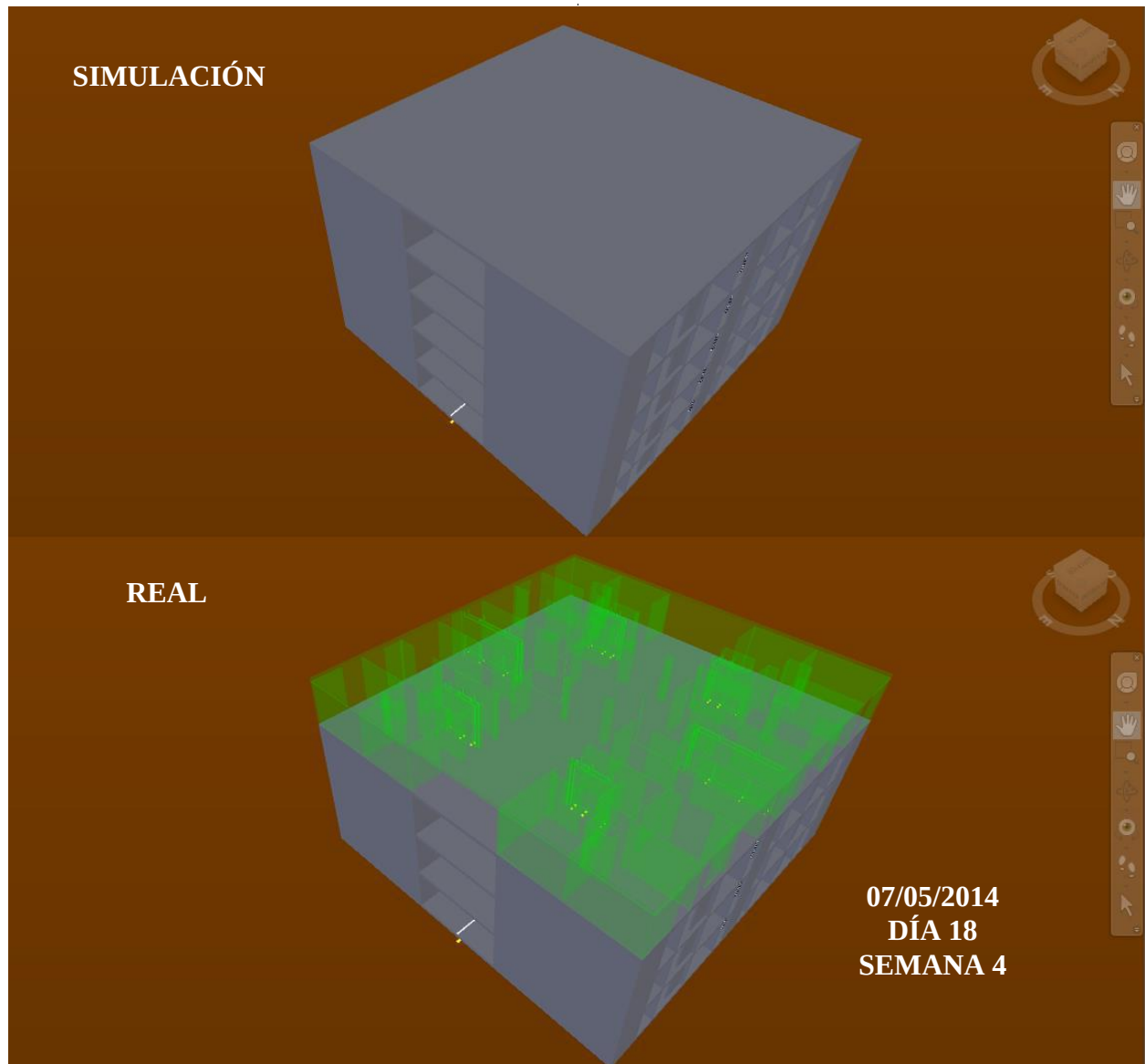
Imagen 55. Simulación de ejecución de actividades de obra día 16 semana 3.



Fuente: Elaboración propia.

El 07/05/2014, el cual corresponde al día 18 de la semana 4 de ejecución de obra, se observa en la simulación ya construida la torre mientras que en lo real se comienzan las actividades del cuarto piso. (Ver imagen 56).

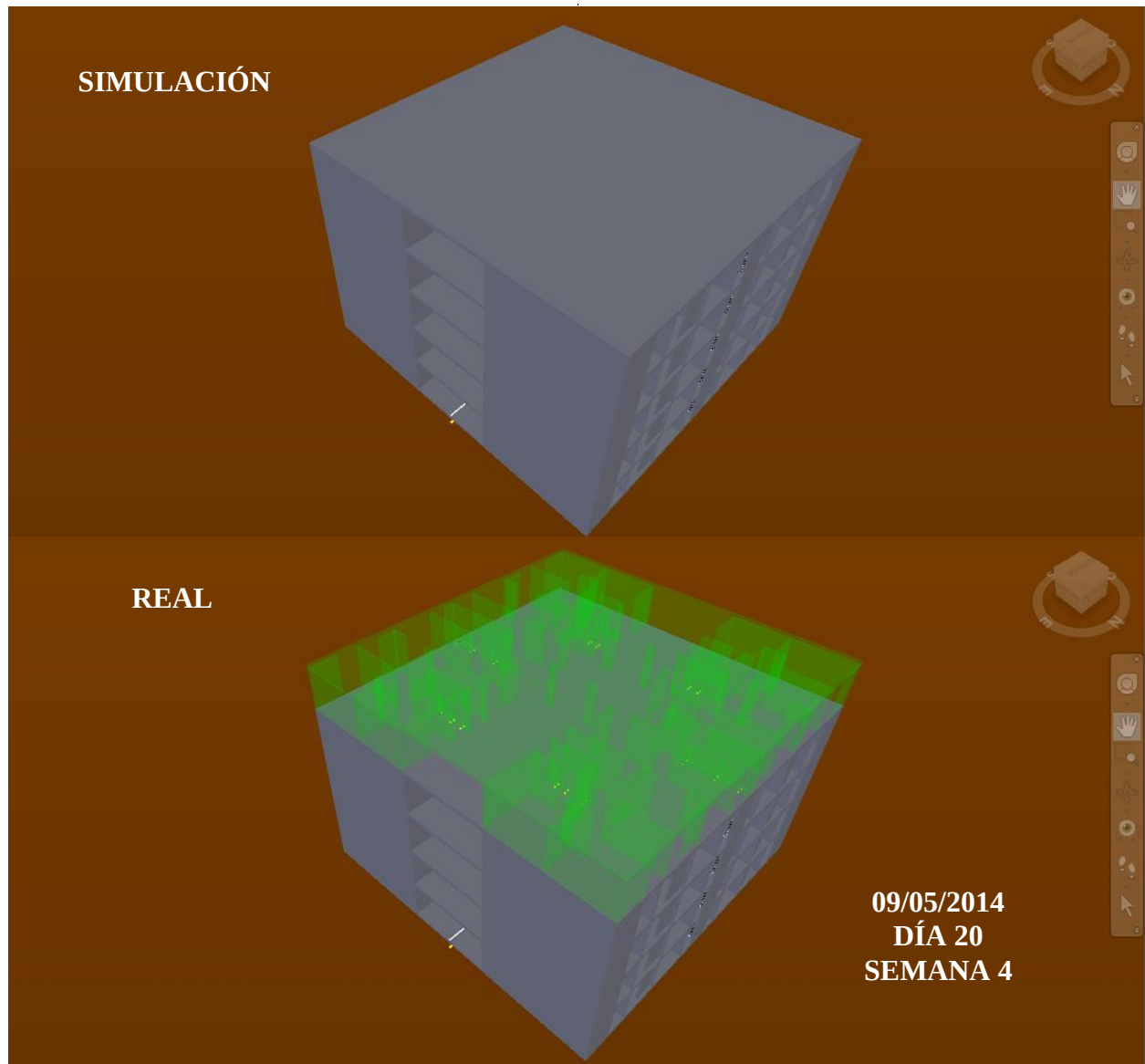
Imagen 56. Simulación de ejecución de actividades de obra día 18 semana 4.



Fuente: Elaboración propia.

El 09/05/2014, el cual corresponde al día 20 de la semana 4 de ejecución de obra, se ve en la simulación ya construida la torre mientras que en lo real se comienzan las actividades del quinto piso. (Ver imagen 57).

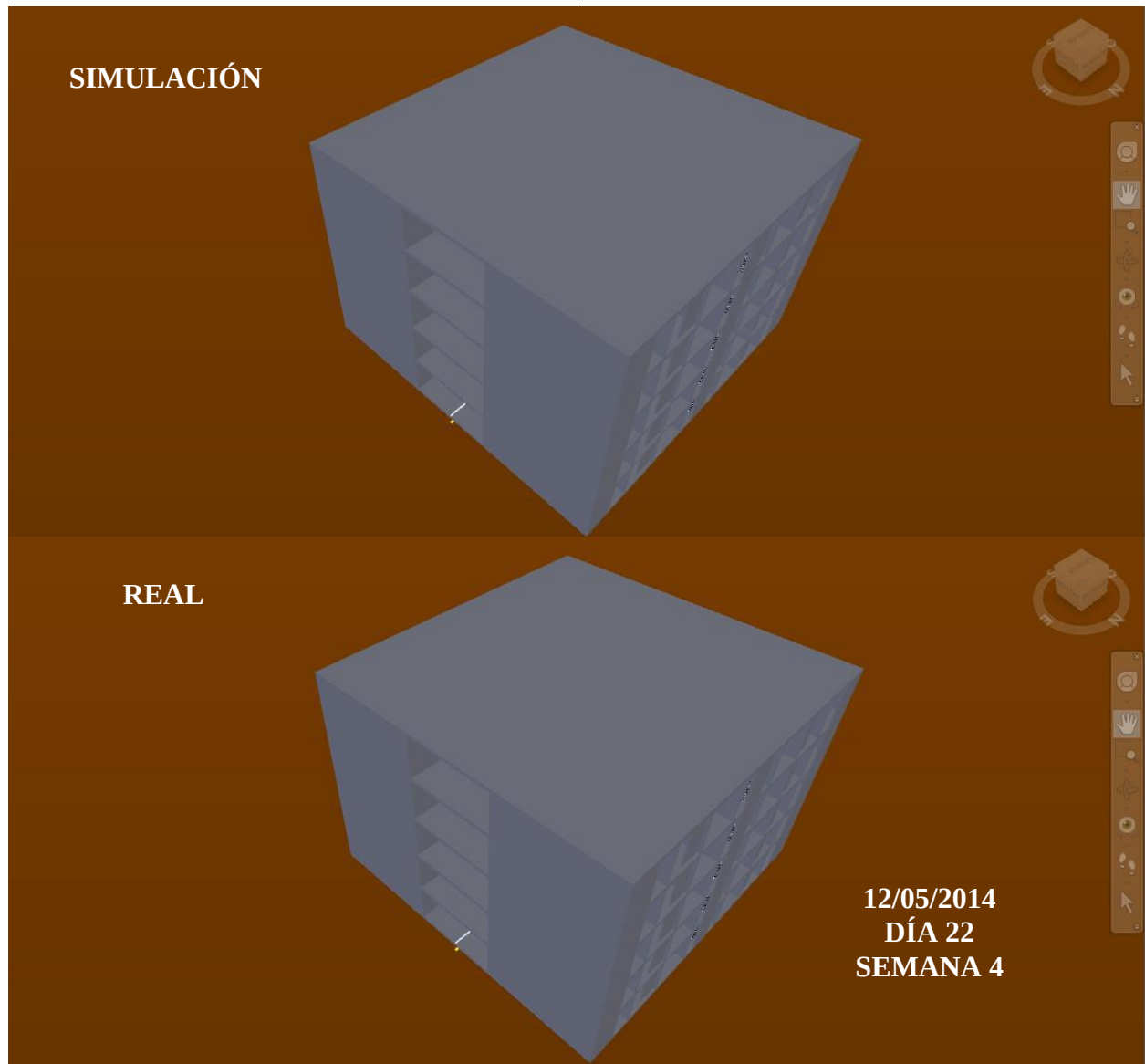
Imagen 57. Simulación de ejecución de actividades de obra día 20 semana 4.



Fuente: Elaboración propia.

El 12/05/2014, el cual corresponde al día 22 de la semana 4 de ejecución de obra, se muestra en la simulación ya construida la torre mientras que en lo real se terminó la construcción de la misma. (Ver imagen 58).

Imagen 58. Simulación de ejecución de actividades de obra día 22 semana 4.



Fuente: Elaboración propia.

6.11. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL MODELADO DE INFORMACIÓN (BIM) EN UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN

El modelado de información (BIM) es una herramienta revolucionaria que a día de hoy está tomando fuerza en la industria de la construcción, pero es tan novedosa que no todas las empresas constructoras o diseñadoras conocen su manejo o la están aplicando y utilizando para sus proyectos.

Pocos son los diseñadores o las empresas que tienen personal capacitado para su manejo, esto cumple un papel importante en el campo del ingeniero civil ya que muchos pueden enfocarse en su estudio, especializarse en ello y de esta manera poder conseguir trabajo en este campo.

En el proyecto de grado trabajado se escogió el modelado de información (BIM) para su realización y como herramienta novedosa con su manejo se pudo identificar ventajas y desventajas de su uso en el campo de los proyectos de construcción.

Como ventajas principales se pudieron encontrar las siguientes:

- Su implementación y uso permite tener un seguimiento total del proyecto, desde su fase de estudio hasta su entrega, lo que permite una gestión y control más eficiente, optimizando tiempos y costos. Todo esto asegura una interpretación más clara de los diseños y posteriormente una ejecución óptima de la obra.
- El modelado de información (BIM) abarca y agrupa varias etapas de un proyecto como

son: programación, presupuesto, diseño estructural, diseño arquitectónico, diseño de redes, etc. Al tener a disposición estas cualidades en conjunto se puede llegar a realizar un trabajo completo y armónico para tener resultados impecables que cumplan con las metas planeadas y las expectativas de las personas que se beneficiarán con el proyecto de construcción a futuro.

- La creación de cada elemento del proyecto se genera en 3D lo que permite tener una visión total y lo más semejante a la realidad del proyecto, es decir, se puede ver cómo sería el producto final, evitando así posibles errores de diseño como son las interferencias y problemas al momento de ejecución de obra como atrasos en el cronograma de actividades.
- Permite integrar más de 3 dimensiones, creando así una modelación completa y dinámica, como lo fue en el caso de este proyecto que se creó un modelo 4D. Además, da la posibilidad de designar todos los elementos correspondientes a cada etapa del proyecto de construcción en conjunto, como su diseño junto con la programación del mismo.
- En la actualidad existen gran variedad de programas informáticos que emplean la metodología BIM como herramienta principal. Esto facilita su uso ya que se puede escoger la plataforma que más se acople a las necesidades de la empresa o del ingeniero que la va a utilizar y así sacar el mayor beneficio a modelación de información (BIM) y así poder realizar y ofrecer un trabajo de calidad.

- Da la posibilidad de un trabajo en conjunto y en tiempo real en los proyectos de construcción, entre lo que se quiere ofrecer al cliente quien es la persona que va a disfrutar del producto final, lo que el diseñador visiona para el mismo y finalmente lo que el ingeniero necesita para llevar a cabo su ejecución de la mejor manera y obtener un resultado íntegro.
- Ya que es una metodología tan completa, permite a quien la use tener con alguna de sus herramientas incorporadas, todos los documentos, datos importantes, imágenes, entre otros, de forma instantánea y organizada. Todo lo anterior con el fin de poder conseguir una ejecución impecable y por ende un resultado sin problemas de tiempo.
- Adicionalmente se puede hacer realidad cualquier tipo de proyecto que se tenga pensado con sus características específicas que lo hagan único y especial, de esta manera crear un cambio o novedad en el campo de los proyectos constructivos.
- Se pueden evitar problemas e impactos que se generarían con la construcción del proyecto, como lo son el social y ambiental principalmente. Debido a que con su uso puede mostrar si conviene o no realizar algún tipo de actividad de la forma en la que se tiene pensado y en la ubicación que se tiene establecida, entre otros.
- Esta metodología ofrece una gran precisión en las mediciones y datos que se obtienen con

su utilización, con esto se obtienen resultados más cercanos a lo que realmente será el proyecto al ejecutarlo.

- Con su uso se reducen costos y tiempos en las etapas de planeación y ejecución de los proyectos, dado que simula lo que se quiere tener como producto final y todo lo que comprende la realización de sus actividades en el proceso de construcción.
- Mejora y permite la comprensión e interpretación del proyecto en todas sus etapas ya que abarca todo en un solo lugar, una única herramienta, en la que se puede trabajar todo lo que contiene la realización de un proyecto de construcción.
- Permite al integrar todo lo que compone el proyecto en tiempo real a lo largo del ciclo de vida del mismo, es decir, en su ejecución, realizar representaciones a posibles situaciones que se puedan llegar a presentar y de esta manera tomar decisiones y llevar a cabo soluciones factibles y viables para prevenir estos inconvenientes en el proceso.
- Finalmente, al comenzar a posicionarse esta metodología como herramienta en los proyectos de construcción, genera la posibilidad a los presentes y futuros ingenieros de especializarse en ella para su vida laboral y así conseguir trabajo en estos campos. Adicional a esto, las empresas constructoras pueden mejorar las ofertas de proyectos al mercado en el que encuentran constante demanda.

Como desventajas principales se establecieron las siguientes:

- Exige un personal con capacitación, estudio o especialización en esa metodología para su uso correcto y adecuado manejo.
- Si se desea emplear el modelado de información (BIM) se debe tener un presupuesto para adquisición de licencias de los softwares a utilizar ya que estos tienen un costo específico y la mayoría de ellos son altos.
- Al ser una metodología novedosa, muchos no confían en su uso para los proyectos de construcción y siguen utilizando los medios y métodos convencionales de planificación y ejecución de los mismos, ya que piensan que así aseguran el resultado que se espera.

7. CONCLUSIONES

La elaboración del modelo BIM 4D permitió establecer un escenario en condiciones ideales, el cual brindó la posibilidad de realizar una variación en aspectos claves que influyen en la determinación del rendimiento de ejecución del proyecto.

Se obtuvo con el primer escenario propuesto de simulación una disminución en la duración total del proyecto de 27,27% y en el tiempo de ejecución de las actividades por cada nivel de la torre de 50%. Además, se obtuvo un aumento en el personal en obra de 43,75%.

Se estableció con el segundo escenario propuesto de simulación una disminución en el personal en obra de 11,11%.

Emplear oficiales en el armado de la formaleta influye positivamente en el rendimiento ya que esta operación es compleja y es la que toma más tiempo en la ejecución de la actividad de construcción de muros y placas y necesita de personal capacitado.

El uso de modelos BIM 4D permite crear diferentes escenarios para realizar una comparación entre ellos y poder elegir el más óptimo, ayudando a prevenir errores e inconvenientes en la planeación, evitar sobrecostos y disminuir tiempos en cualquier proyecto de construcción de ingeniería civil.

Para que el modelo BIM sea funcional y se garantice que lo realizado en él se cumpla se debe tener un control adecuado en la ejecución de la obra, de esta manera se evita incurrir en retrasos por problemas de rendimiento e imprevistos relacionados a la disposición del material, de la formaleta manoportable y factores ambientales.

8. RECOMENDACIONES

- En caso de realizar un estudio y análisis similar al hecho en este proyecto, se deberían tener todos los planos necesarios para la creación del modelo 3D, en cada una de las vistas necesarias, en planta y en perfil.
- También que dichos planos tengan todos los datos necesarios para una correcta interpretación de los mismos, las dimensiones de sus elementos y las medidas de distanciamiento y ubicación en los espacios.
- Es necesario para una correcta modelación y de la misma manera una correcta construcción del proyecto que se realice un plano donde se encuentre el diseño de la estructura junto con el diseño las redes hidráulicas y sanitarias, de esa manera al estar todo en conjunto no se presentan esos fallos en el diseño y posteriormente complicaciones en la ejecución de la obra.
- Realizar una capacitación previa y completa de la plataforma que se va a utilizar ya que esto ayuda a un desarrollo correcto y claro de las actividades del proyecto y la modelación que se va a realizar.

- Debido a que los softwares de modelación de información (BIM) son tan completos y óptimos, tienen unos requisitos del sistema para la instalación de los mismos en el equipo que se va a utilizar, dichos requisitos deben cumplirse para un uso eficiente de la herramienta y así poder tener un trabajo fluido. Mencionados requisitos del sistema son configuraciones específicas para el sistema operativo, tipo de CPU, memoria interna, resolución y adaptación de video, espacio en el disco y conectividad.
- Realizar copias de seguridad tanto de los modelos realizados en los diferentes softwares como de los archivos y documentaciones que se obtengan de los mismos y se realicen como autoría propia, de esta manera se previene pérdida de ellos por diferentes posibles inconvenientes que se pudieran llegar a presentar como daño del equipo o pérdida total del mismo, fallos en el sistema o la herramienta de modelación, entre otros.
- Adicionalmente, mantener el programa a utilizar en la última versión disponible y trabajar todos sus componentes en la misma versión, de esta manera se garantiza poder continuar con el trabajo tras cada guardado del mismo, debido a que estos softwares no permiten trabajar con archivos de diferentes versiones al mismo tiempo.
- Contar con más de un equipo para el trabajo si es posible, puesto que esto facilita el desarrollo de los proyectos y su realización de manera conjunta porque se pueden efectuar varias actividades al mismo tiempo y en diferentes plataformas.

- Implementar en el programa académico de la Facultad de Ingeniería Civil una clase optativa donde se pueda conocer sobre algunos de los programas que manejan la metodología BIM de los que la Universidad tenga acceso a la licencia, para que así los estudiantes que deseen comenzar a conocer sobre esta lo puedan hacer, como una clase única, ya que en la clase de Herramientas Computacionales para Ingeniería Civil se ven otro tipo de programas y no los que manejan la modelación de información (BIM).
- Contar con la licencia del software de alguna entidad como la Universidad, si es un proyecto de este tipo, o de la empresa donde se esté trabajando, si no es el caso, incluir en el presupuesto la compra y el costo de la misma para así poder acceder a todas sus herramientas de modelado de información (BIM).

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARQHYS (2012). Definición de estructuras. Revista ARQHYS.com. Obtenido 04, 2017, de <http://www.arqhys.com/casas/estructuras-definicion.html>.

Bazan, Ana Elisa (2016). Vivienda Multifamiliar, definición y tipología (diapositivas). Recuperado de <https://es.slideshare.net/AnaELisaS/vivienda-multifamiliar-definicion-y-tipologia>

Bernal, Cristóbal (2016). Revista Conarquitectura. BIM y la industria de la construcción: una vista general. Recuperado de <http://bimchannel.net/bim-y-la-industria-de-la-construccion-una-vista-general/>

BIM Panamá (16 febrero, 2013). Mi concepto B.I.M., veinte años de historia y más. Recuperado de <https://comarqpanama.wordpress.com/2013/02/16/mi-concepto-b-i-m-veinte-anos-de-historia-y-mas/>

Blog para el nuevo profesional de la construcción, Industrialización de la construcción ¿para qué sirve Autodesk Navisworks? Recuperado de <http://blog.fundacionlaboral.org/cursos/industrializacion-de-la-construccion-para-que-sirve-autodesk-navisworks/>

Botero Botero, Luis Fernando (2002). Análisis de rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción. Revista Universidad EAFIT. Recuperado de <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/issue/view/112>

Dataedro (2013). Definición de BIM. Recuperado de <http://www.dataedro.com/index.php/es/acercadelbim/20-definicion>

EcuRed. Autodesk Revit (Doc Web). Recuperado de https://www.ecured.cu/Autodesk_Revit

Empresa & Economía, Características y usos de Microsoft Project. Recuperado de <http://empresayeconomia.republica.com/aplicaciones-para-empresas/caracteristicas-y-usos-de-microsoft-project.html>

Escuela de Organización Industrial, Microsoft Project una herramienta fundamental en la Dirección de proyectos. Recuperado de <http://www.eoi.es/blogs/mintecon/2013/02/16/microsoft-project-una-herramienta-fundamental-en-la-direccion-de-proyectos/>

Estructuras. Introducción (blog). Recuperado de <http://estructuras.eia.edu.co/estructurasI/conceptos%20fundamentales/conceptos%20fundamentales.htm>

Goldman Renders (Septiembre 25, 2012). Los Beneficios del Modelado 3D Arquitectónico. Recuperado de <http://www.goldmanrenders.com/blog/los-beneficios-del-modelado-3d-arquitectonico/>

Hildebrandt Groupe, 2015. QUÉ ES REVIT Y PARA QUÉ SIRVE EN EL MODELADO BIM.

Recuperado de <http://www.hildebrandt.cl/que-es-revit-y-para-que-sirve-en-el-modelado-bim/>

Kymell, Willem. Building Information Modeling, Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations. McGraw-Hill. 2008.

Mojica, Alfonso. Valencia, Diego (2012). Implementación de las metodologías BIM como herramienta para la planificación y control del proceso constructivo de una edificación en Bogotá. Trabajo de grado. Universidad Javeriana.

NBS (2016). What is Building Information Modeling (BIM)? Recuperado de <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-building-information-modelling-bim>

Ocampo Hurtado, J.G. (2015). La gerencia BIM como sistema de gestión para proyectos de construcción. En R, Llamosa Villalba (Ed.). Revista Gerencia Tecnológica Informática, 14(38), 17-29. ISSN 1657-8236.

Pérez, Miguel A. (2015). BLOGTHINKBIG. Cómo el software BIM puede ayudar a optimizar el diseño de grandes edificios. Recuperado de <http://blogthinkbig.com/software-bim-puede-ayudar-optimizar-diseno-grandes-edificios/>

Project Managment Institute. Fundamentos para la dirección de proyectos. Guía del Pmbok, quinta edición. 2013

Salazar, Héctor. Villamil, Andrés. Universidad Javeriana de Bogotá. BIM Civil Javeriana.
Recuperado de <http://cinegrafic.com/webs/javeriana/bim.html>

Studio Seed, ¿QUE ES NAVISWORKS? Recuperado de <http://www.studioseed.net/blog/que-es-navisworks/>

Villegas Hortal, Andrés (2012). Realidad virtual en el sector de la construcción. Trabajo de grado disponible:
https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/695/Andres_VillegasHortal_2012.pdf;sequence=3

Wilde, Sara Josefina Arq. Forenza, Luciana Arq. Universidad Nacional de Tucuman (2013). Programación de obras, Cátedra de Economía de la Construcción. Recuperado de <http://www.eoofau.com.ar/1-2/..C%20-%20CURSO%20INTENSIVO%202013/03.%20PROGRAMACION%20DEL%20PROCESO%20CONSTRUCTIVO.pdf>