

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN EL DESARROLLO DEL
PROYECTO ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA MULTIFAMILIAR EN LA
CIUDAD DE TUNJA

YESSICA VIVIANA RODRÍGUEZ BELTRÁN

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
TUNJA
AGOSTO 2021/2

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN EL DESARROLLO DEL
PROYECTO ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA MULTIFAMILIAR EN LA
CIUDAD DE TUNJA

YESSICA VIVIANA RODRÍGUEZ BELTRÁN

Trabajo de grado para optar por el título de ingeniera civil

Asesor

Ing, Wilson Alfredo Medina Sierra

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
TUNJA
AGOSTO 2021/2

Nota de Aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Tunja, 24 de agosto del 2021

Mi proyecto de grado se lo dedico a mis padres por su esfuerzo realizado para brindarme la posibilidad de adquirir educación superior de calidad, por su apoyo y acompañamiento en el proceso de cursar mi carrera profesional.

Agradezco a mi madre, Matha Beltrán y Manuel Rodríguez por siempre luchar en pro de mi bienestar, que con mucho esfuerzo lograron darme una educación superior, permitiéndome lograr mis sueños.

A mis profesores de la carrera de ingeniería civil de la universidad Santo Tomás, por su compromiso y dedicación. Especialmente al ingeniero Wilson Medina por acompañarme y brindarme apoyo en este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	16
1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	17
2. JUSTIFICACIÓN	18
3. OBJETIVOS	19
3.1 OBJETIVO GENERAL	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
4. ANTECEDENTES	20
5. METODOLOGÍA	37
6. DESARROLLO DEL PROYECTO	38
6.1 DESCRIPCIÓN	38
6.2 ELABORACIÓN DE MATERIAL AUDIOVISUAL	39
6.2.1 Introducción	40
6.2.2 Cimentación	42
6.2.3 Columnas	45
6.2.4 Vigas de entrepiso	48
6.2.5 Losa de entrepiso	50
6.2.6 Escalera	51
6.3 ELABORACIÓN DE LA GUÍA PRÁCTICA	52
7. ANÁLISIS Y RESULTADOS	53
8. APORTES	65
8.1 APORTES COGNITIVOS	65
8.2 APORTES SOCIALES	65
8.3 APORTES ECONÓMICOS	65
9. CONCLUSIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	70
ANEXOS	74

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Software BIM	20
Tabla 2. Dimensionamiento elementos estructurales	39
Tabla 3. Especificaciones técnicas para cimentación de la NSR10	42
Tabla 4. Especificaciones técnicas para columnas de la NSR10.....	46
Tabla 5. Especificaciones técnicas para vigas de la NSR10	48
Tabla 6. Especificaciones técnicas para viguetas en losa nervada de la NSR10 ..	50
Tabla 7. Volumen de concreto de fase 1- 3	55
Tabla 8. Cantidades de acero fase 1- 3	56
Tabla 9. Volumen de concreto fase 4-8	57
Tabla 10. Cantidades de acero fase 4-8	58
Tabla 11. Volumen de concreto fase 9-13	59
Tabla 12. Cantidades de acero fase 9-13	60
Tabla 13. Volumen de concreto fase 14-18	61
Tabla 14. Cantidades de acero fase 14 – 18	62
Tabla 15. Volumen de concreto fase 18-21	63
Tabla 16. Cantidades de acero fase 18-21	64

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Implementación de la metodología BIM en el mundo	27
Ilustración 2. Modelo BIM (ARTIC)	28
Ilustración 3. Modelo BIM hospital de rehabilitación	29
Ilustración 4. Dalí Museum, St. Petersburg (Estados Unidos)	30
Ilustración 5. Modelo BIM Crusell Bridge	31
Ilustración 6. Modelo BIM de Derby Business Park	32
Ilustración 7. Modelo BIM del centro de tratamiento e investigación sobre cáncer	33
Ilustración 8. Modelo BIM de torres ATRIO	34
Ilustración 9. Modelo BIM del nuevo puente Pumarejo	35
Ilustración 10. Modelo BIM de ampliación de la clínica cancerológica de Boyacá	36
Ilustración 11. Modelo BIM proyecto multifamiliar mirador libertador	36
Ilustración 12. Localización del proyecto	38
Ilustración 13. Modelo 3D del proyecto arquitectónico	40
Ilustración 14. Interfaz de usuario	41
Ilustración 15. Ejemplo de proyecto estructural	42
Ilustración 16. Configuración del refuerzo de zapata	43
Ilustración 17. Configuración refuerzo transversal vigas de amarre	44
Ilustración 18. Configuración longitud de traslapo	44
Ilustración 19. Modelación de la cimentación	45
Ilustración 20. Configuración refuerzo de columna	47
Ilustración 21. Modelación de columnas	47
Ilustración 22. Configuración del refuerzo de vigas	49
Ilustración 23. Configuración de refuerzo longitudinal adicional	49
Ilustración 24. Modelación de vigas	50
Ilustración 25. Modelación de losa nervada	51
Ilustración 26. Modelación de la escalera	52
Ilustración 27. Procesos de diseño Tradicional vs Procesos de Diseño con BIM	53
Ilustración 28. Modelo 3D del proyecto	54
Ilustración 29. Modelo 3D de refuerzo estructural	54
Ilustración 30. Fase 1- 3	55
Ilustración 31. Fase 4 - 8	57
Ilustración 32. Fase 9 - 13	59
Ilustración 33. Fase 14-18	61

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Volúmenes de concreto.....	74
ANEXO B. Dosificación de concreto.....	76
ANEXO C. Peso del refuerzo estructural.....	77

LISTA DE PLANOS

PLANO 1. Cimentación	82
PLANO 2. Vigas aéreas	83
PLANO 3. Cubierta	84
PLANO 4. Fases constructivas.....	85
PLANO 5. Fases constructivas	86

RESUMEN

Para el sector de la construcción la metodología BIM (Building Information Modeling) se ha convertido indispensable, debido al apoyo que brinda en el desarrollo de diferentes tareas en diversas etapas del proceso tales como: diseño, planificación, programación y presupuesto, operación y mantenimiento hasta la gestión durante la vida útil de la edificación. El modelo BIM integra las representaciones digitales en tres dimensiones fundadas en objetos interrelacionados que tienen asociados atributos geométricos, alfanuméricos y documentación de éstos. A través de la modelación total de los componentes del proyecto se logra una planificación eficaz y como consecuencia, la ejecución será exitosa ya que se reducen los problemas en cuanto a interferencias estáticas entre los elementos, un caso típico es entre instalaciones y/o elementos estructurales. Y es así como la información del modelo resultante de cada ciclo de gestión contribuye a los ciclos sucesores.

En este trabajo se desarrolló la modelación 3D del proyecto estructural de una vivienda multifamiliar de 4 pisos compuesta por 7 apartamentos, ubicada en la ciudad de Tunja, a través del software BIM Revit 2020 y la extensión de barra de refuerzo Naviate 2020. El proceso se documentó por medio de un material audiovisual y, asimismo, se plasmó en una guía práctica el paso a paso del modelado de los elementos estructurales, obteniendo como resultados planos en plantas, 3D, detalles constructivos, despieces estructurales y cantidades específicas y generales de concreto y acero del proyecto.

Palabras claves: BIM, construcción, diseño, estructura, modelo B

ABSTRACT

In the construction sector, the BIM (Building Information Modeling) methodology has come to be essential due to the support it provides for the development of different tasks in various stages of the process such as: design, planning, programming and budget, operation and maintenance until the management during the useful life of the edification. The BIM model integrates digital representations of three dimensions based on interrelated objects that have associated geometric, alphanumeric attributes and power documentation of these ones. Through the total modeling of the project components, it is possible to get an effective planning and as a consequence, the execution will be successful because the problems in terms of static interferences between the elements are reduced. We can see that in facilities and/or structural elements. And this is how the information from the model resulting from each management cycle contributes to the successor cycles.

In this work was developed the 3D modeling of the structural project of a 4 floors multifamily house composed of 7 apartments, located in the city of Tunja. That happened through the BIM Revit 2020 software and the reinforcing bar extension of the Naviate 2020. This process was documented by means of an audiovisual material and, equally, a practical guide reflects the step by step modeling of the structural elements, getting as results plans in plants, 3D, construction and structural reinforcement details and specific and general quantities of concrete and steel of the project.

Keywords: BIM, construction, design, structure.

INTRODUCCIÓN

Alrededor de los años 90 el sector de la construcción evolucionó frente a las herramientas manuales al emplear herramientas digitales a través de aplicaciones CAD, y desde entonces su despliegue tecnológico no ha avanzado tanto, ya que se siguió diseñando de forma geométrica y no paramétrica [1]. Respecto a programas para actividades como: planificación de obra, cálculo estructural e instalaciones, programación y presupuesto, documentación, análisis del comportamiento energético del edificio y demás, se han desarrollado de forma independiente entre sí y con relación a los programas de CAD [2].

Pero en los últimos años, ha surgido una nueva metodología llamada BIM (Building Information Modeling) y se le acredita como el nuevo paradigma de diseño asistido por computador en disciplinas como: arquitectura, ingeniería y construcción (EAC) desde el sector industrial como académico BIM, logrando beneficios durante el proceso de diseño estructural con funciones de modelado 3D, visualización interactiva e interfaces de intercambio de datos estandarizados y producto de ello, el proceso de modelado es bastante sencillo. En la actualidad, el modelo BIM se caracteriza por la representación geométrica, planificación del trabajo, construcción y gestión del proyecto a lo largo del ciclo de vida [3].

En el mercado existen diversos softwares BIM clasificados de acuerdo a cada fase del proyecto tales como: modelado BIM (ArchiCAD, REVIT, Allplan, Aecosim, Vectorworks, Edificius); visores BIM (BIM Collab Zoom, BIMx, Solibri Model Viewer, A360, DALUX BIM Viewer, BIMSINC, BIM Vision, BIMkeeper, usBIM Viewer); planificación de obra (Naviswork, SYNCHRO, TCQi, Project); medición y presupuestos (Arquímedes, Presto - Cost It, Gest.MidePlan); gestión ambiental y eficiencia energética (EcoDesigner, Green Building Studio, CYPETHERM HE, RIUSKA); y gestión del ciclo de vida (Máximo, ARCHIBUS).

Sin embargo, REVIT (Autodesk) es uno de los softwares BIM más populares en el sector (EAC), debido a su eficiencia y precisión a lo largo del ciclo de vida del edificio, desde el diseño conceptual, la visualización y el análisis hasta la fabricación y la construcción, ya que agrupa todas las disciplinas de arquitectura, ingeniería y construcción en un entorno de modelado unificado para crear proyectos óptimos y rentables, a través de modelos 3D, actualización automática de planos de planta, alzados y secciones a medida que se desarrolla el modelo y finalmente, la automatización de tareas repetitivas [4].

El presente proyecto consiste en la modelación del proyecto estructural de una edificación de 4 pisos y 7 apartamentos localizada en la ciudad de Tunja, Boyacá. Se implementó el software BIM REVIT 2020 para el modelo 3D y la extensión de barra de refuerzo Naviate 2020 para la configuración del acero estructural de los elementos, logrando planos en plantas, vistas 3D, detalles constructivos, despieces estructurales y cantidades específicas y generales de concreto y acero del proyecto. El desarrollo del modelo BIM se documentó a través de un material audiovisual y se recopiló la información en una guía práctica como apoyo autodidáctico.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

A lo largo de los años, el intercambio de información entre los profesionales involucrados en un proyecto de construcción, ha sido por medio de diseños en 2D y documentación física, lo que ha dado lugar a una colaboración limitada y con incertidumbre en el desarrollo de las edificaciones, donde a menudo se presentan errores en los diseños de cada disciplina, y como consecuencia de ello, es ineficiencia, costes adicionales, incumplimiento de plazos, etc.

Por otra parte, respecto a las aplicaciones de los proveedores de los materiales el uso de la técnica de comunicación interna no permite una colaboración directa con otros programas y aplicaciones. Las técnicas propietarias ralentizan o deshabilitan la comunicación entre diferentes modelos de datos basados en objetos. La interoperabilidad entre los miembros del equipo y las aplicaciones de software es una clave para el éxito en diseño eficiente en cualquier tipo de ingeniería estructural. [5].

Las variables de planificación y ejecución son dependientes de la valoración y equilibrio del alcance, tiempo y, asimismo, el costo del proyecto. Tanto la programación como las especificaciones representan el alcance del proyecto y es así como se define las fases del trabajo para lograr un proyecto exitoso [6].

Actualmente, la implementación de esta metodología plantea mayores desafíos en los profesionales y estudiantes de carreras afines, ya que se debe realizar una transición del CAD al BIM, y, en consecuencia, se generará un cambio de procedimientos y flujos de comunicación, responsabilidad y confianza, lo que representan los mayores retos en su aplicación. Es por ello, que por medio de la formación académica en el programa de ingeniería civil se puede introducir a los estudiantes a la metodología, a través de unidades curriculares de modelado o diseño, permitiendo la exploración e interacción desde el pregrado, siendo esta tecnología una herramienta eficiente y útil en la transmisión de conocimientos de temáticas específicas como las estructuras de concreto, instalaciones hidrosanitarias y presupuestos [7].

1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la metodología para desarrollar un modelo BIM del proyecto estructural de una edificación?

2. JUSTIFICACIÓN

En Colombia se ha extendido el BIM en los últimos años, sin embargo, en países como España, Singapur, Reino Unido, entre otros, esta metodología está implementada con estándares definidos. Algunos de los programas más importantes en la industria BIM en el mundo son: All Plan, ArchiCAD y Revit, en Colombia Revit es el Software más utilizado porque se involucra con la parte técnica de los proyectos y es el que se ha implementado en la mayoría de compañías [8].

Con la activación de la metodología BIM se brinda soluciones en la comunicación entre profesionales involucrados en el proyecto. Sin embargo, si no se realiza una planeación y análisis del proyecto antes de ejecutar la modelación no se logrará cumplir los objetivos y finalmente, el resultado será un modelo sin información útil, es por ello, que antes de aplicar esta tecnología se debe capacitar a los profesionales y en efecto, se logrará eficiencia y bajo costo como resultado final en los proyectos desarrollados [9].

Para la implementación de la metodología BIM en la industria (EAC) requiere de profesionales capacitados para colaborar y comunicarse a través de modelos BIM en las diferentes dimensiones (3D,4D,5D,6D y 7D), y es por esto, que las instituciones con programas de ingeniería y afines, deben incentivar a sus alumnos a adquirir habilidades y conocimientos de la tecnología BIM y así satisfacer la demanda de esta industria. La inclusión efectiva de BIM en el currículo educativo de construcción será fundamental en la preparación de los futuros empleados para la industria. Sin embargo, las instituciones educativas carecen actualmente de estrategias y capacidades para introducir eficazmente y enseñar BIM en los cursos existentes o futuros. La poca capacitación adecuada en BIM presenta actualmente un obstáculo importante en el camino a una mayor adopción de esta metodología por parte de la industria [10].

De acuerdo con la Cámara Colombiana de la Construcción (Camacol), el 40% de las edificaciones que se desarrollan en Colombia ya están implementando el modelado BIM, lo que nos permite visualizar el panorama en el campo de acción, y ahí radica la importancia de que los egresados del programa de ingeniería civil adquieran los conocimientos BIM, ya que permitirá una rápida evolución del sector de la construcción en su ejercicio profesional.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar la metodología BIM en el desarrollo del diseño estructural de una vivienda multifamiliar empleando Revit 2020.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un material audio visual del proceso de modelación BIM del proyecto estructural de la edificación.
- Cuantificar las cantidades de obra de los elementos estructurales del proyecto.
- Desarrollar una guía práctica del diseño estructural de una vivienda en el programa de modelación 3D Revit Structure.

4. ANTECEDENTES

El sector de la construcción ha venido evolucionando a lo largo del tiempo de forma gradual, respondiendo en función de las necesidades del entorno. Y es así, como el avance de la tecnología en los últimos años ha tenido fuertes impactos en los métodos tradicionales de diseño y construcción, obligando a las empresas a perseguir una adaptación de sus medios a las necesidades presentes al día de hoy. [11]

A nivel global, la baja productividad es un patrón evidente en el sector de la construcción. En los años 1995 y 2015 la tasa compuesta de crecimiento del valor agregado por trabajador fue tan solo del 1%, mientras que la economía fue del 2.7%, con relación a la industria manufacturera el crecimiento fue alrededor del 3.6% anual para dicho periodo. Cabe destacar que a nivel regional e incluso al interior de las empresas que conforman el sector, se encuentra bastante heterogeneidad. De hecho, Colombia no es una excepción. En Colombia, los disruptivos métodos y tecnologías de entrega de producción pueden aumentar la productividad de la construcción entre un 50% y un 60%. Por ejemplo, se ha reportado que BIM está en su etapa de experimentación para la mayoría de las empresas de AEC, pero su adopción está en continuo crecimiento. Sin embargo, se espera que crezca aún más rápido en los próximos años debido a la puesta en marcha de la plataforma institucional de articulación de actores en torno a la digitalización del sector de la construcción, BIM Forum Colombia, que busca estandarizar y difundir la adopción de BIM a nivel nacional. [12]

A lo largo del tiempo se han desarrollado diversos softwares para apoyar cada fase de un proyecto BIM y se presenta a continuación la recopilación de éstos:

Tabla 1. Software BIM

Ítem	Fase	Software	Descripción
1	Modelado BIM	ArchiCAD (Graphisoft)	Ha sido uno de los pioneros en BIM, diseñado para generar, no sólo dibujos en 2D sino modelos virtuales completos con toda una base de datos con información constructiva.

Tabla 1. (continuación)

2		REVIT (Autodesk)	Permite al usuario modelar con objetos paramétricos prediseñados. Su uso en BIM está consolidado y dispone de las herramientas necesarias para el modelado de diseños arquitectónicos, ingeniería y construcción de edificios.
3		Allplan (Nemetschek)	El software BIM más utilizado en Alemania. Permite renderizar imágenes de alta calidad con el plugin incorporado "CineRender".
4		Aecosim (Bentley Systems)	Es sucesor de Microstation (CAD) enfocado a BIM. Se utiliza bastante en obra civil, y está orientado a la fase completa del edificio más que a la fase de diseño.
5		Vectorworks (Nemetschek)	Programa para arquitectura en 2D Y 3D, que incluye varios módulos como Fundamentals, Architect, Landmark y Designer, enfocado a diseño para la industria de construcción, entretenimiento, paisajismo y mecánica industrial.
6		Edificius (ACCA Software)	Es un software que integra BIM con render en tiempo real para visualizar el proyecto a la vez que se modela.
7		BIM Collab Zoom	Es un visor BIM gratuito y compatible con diferentes softwares, que dispone de los flujos de trabajo BCF. Es muy rápido para abrir cualquier IFC y puede ayudar al usuario a encontrar y visualizar fallos de información, ya que puede filtrar y colorear objetos.

Tabla 1. (continuación)

8	Visores BIM	BIMx (Graphisoft)	Es uno de los mejores visores del mercado, tanto en versión móvil como en versión escritorio. Con la tecnología Hyper-Modelo, ofrece una navegación fluida dentro del proyecto de en 2D y 3D. Compatibilidad total con ArchiCAD.
9		Solibri Model Viewer	Permite abrir y visualizar todos los archivos IFC y también editados con Solibri Model Checker. Esta herramienta, cuya función principal es compartir información para ahorrar tiempo, dinero y recursos, es de fácil uso y acerca de todas las ventajas del BIM a todos aquellos profesionales que deseen operar con él.
10		A360 (Autodesk)	Se trata de un visor online, con tecnología rica en detalles para poder acceder desde cualquier dispositivo con calidad y fluidez. Compatibilidad con multitud de formatos de CAD y visualización de diseños BIM sin necesidad de instalar ningún software.
11		DALUX BIM Viewer	Una forma gratuita de compartir modelos BIM. La versión gratuita de esta app puede manejar modelos BIM grandes y complejos. Accesibilidad sin conexión y compatible con formatos como IFC, RVT, PDF, DWG, DWFx, PNG y JPEG.
12		BIMSYNC	Se trata también de un visor 3D de alto rendimiento con planos de planta 2D generados automáticamente para obtener una visión general completa de todos los modelos BIM.

Tabla 1. (continuación)

13		BIM Vision	Es un visor de modelos IFC gratuito. Permite visualizar modelos virtuales procedentes de sistemas de CAD como ArchiCAD, Revit, VectorWorks, Allplan y otros sin necesidad de una licencia comercial de estos sistemas o de tener un visor de cada sistema en particular. BIM Visualiza los modelos BIM creados en formato IFC 2x3, 2x4.
14		BIMkeeper	Sistema de gestión de edificios totalmente online con visor 3D IFC avanzado. Almacena toda la información de modelos BIM. Muy útil para organizar un proceso de desarrollo, mantenimiento y soporte.
15	Planificación de obra	Naviswork (Autodesk)	Permite a los usuarios abrir y combinar los modelos 3D, navegar por ellos en tiempo real y revisar el modelo utilizando un conjunto de herramientas que incluye comentarios, redlining, punto de vista, y mediciones.
16		SYNCHRO	Ofrece solución para visualizar, analizar, editar y rastrear con precisión todo un proyecto, incluyendo logística y trabajos temporales.
17		TCQi	Es un software para construcción virtual, Software-as-a-Service (SaaS) del proceso constructivo, basado en la metodología TCQ y las aportaciones de sus usuarios, que incluye 12 módulos para la Gestión Colaborativa e Integral de Proyectos y Obras durante todo su ciclo de vida.

Tabla 1. (continuación)

18		Project (Microsoft)	Está diseñado para ayudar a un gerente de proyecto a desarrollar un cronograma, asignar recursos a las tareas, rastrear el progreso, administrar el presupuesto y analizar las cargas de trabajo.
19	Medición y presupuesto	Arquímedes (CYPE)	Se enlaza con REVIT y es un programa muy completo para el BIM 5D. Da opción a realizar mediciones, presupuestos, certificaciones, pliegos de condiciones, así como el manual de uso y mantenimiento de un edificio.
20		Presto - Cost It	Puede generar las mediciones completas del modelo, de forma estructurada y con trazabilidad, convertir las mediciones en el presupuesto necesario para valorar o licitar el proyecto y obtener toda información relacionada, como las superficies útiles y construidas, los parámetros relevantes para determinar el precio o la documentación.
21		Gest.MidePlan (Arktec)	Realiza la medición automática de proyectos, a partir del modelo BIM en formato IFC. La presupuestación de proyectos de MidePlan permite obtener de forma automática una valoración completa de todos los elementos diseñados.
22		EcoDesigner (Graphisoft)	Permite al usuario realizar la evaluación del rendimiento energético del edificio con una tecnología que cumple las normativas, con el soporte de múltiples bloques térmicos.

Tabla 1. (continuación)

23	Gestión ambiental y Eficiencia energética	Green Building Studio (Autodesk)	Servicio flexible basado en la nube que le permite ejecutar simulaciones de rendimiento del edificio para optimizar la eficiencia energética al principio del proceso de diseño.
24		CYPETHERM HE	Sirve también para el cálculo de la carga térmica de los edificios de acuerdo con el método de las series temporales radiantes (RTSM), con total integración en un flujo de trabajo BIM.
25		RIUSKA	Una aplicación de simulación de energía y confort eficiente y versátil. Ideal en los casos en que se requieren cálculos detallados de carga de calefacción y refrigeración o cálculos completos de consumo de energía.
26	Facility Management	Máximo (IBM)	Permite su integración con proyectos BIM y da la opción de tener un modelo único actualizado donde todos los intervinientes puedan mirar y conectar con Máximo para la fase de mantenimiento de sus activos.
27		ARCHIBUS	Software de gestión diseñado para simplificar el trabajo, al automatizar el flujo de información desde las fases de diseño y construcción de la propiedad hasta la gestión completa del ciclo de vida de los activos. Uno de los más utilizados.
28	Diseño de Instalaciones	CYPECAD MEP	Es un programa para el diseño y dimensionamiento de la envolvente, la distribución, y las instalaciones del edificio sobre un modelo BIM.

Tabla 1. (continuación)

29		DDS CAD	Se ha extendido a todo el mundo con su probado software CAD / BIM para el diseño de proyectos MEP. Con respecto a la funcionalidad, DDS ofrece soluciones para sistemas eléctricos, de fontanería, calefacción, ventilación, aire acondicionado y sistemas fotovoltaicos.
30	Diseño de Estructuras	Tricalc	Software que calcula estructuras de acero, de hormigón y de cualquier material, incluso estructuras de hormigón con cerchas de acero, y naves de acero con forjados, losas, muros resistentes y muros de contención o pilotes; con una misma forma de trabajo y con todas sus prestaciones.
31		Tekla Structures	Es una solución 3D integrada basada en modelos para gestionar bases de datos de múltiples materiales (acero, hormigón, madera, etc.). Tekla presenta modelado interactivo, análisis estructural y diseño, y creación automática de dibujos.
Fuente: BIMnD, 2019			

Ilustración 1. Implementación de la metodología BIM en el mundo

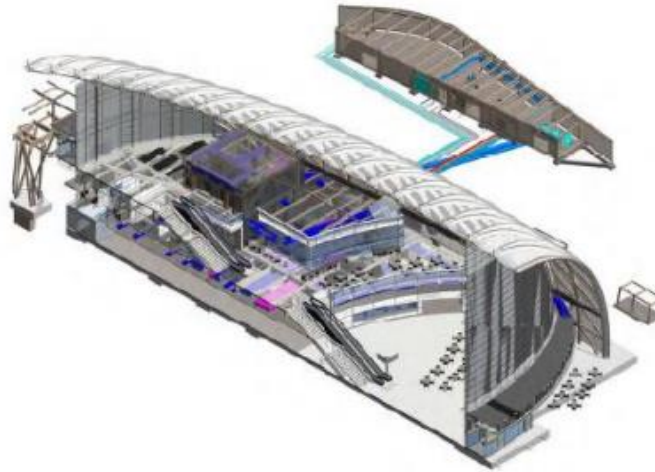


Fuente: Autodesk

Con el pasar de los años, alrededor del mundo ha incrementado el interés de las empresas de implementar la metodología BIM en sus proyectos. Es así, como en algunos países ya está estructurada la tecnología BIM en el sector AEC, mientras que en otros países está en etapa de planeación / experimentación (ver ilustración 1). A continuación, se presentan algunos proyectos BIM exitosos desarrollados en el mundo:

Caso 1: Anaheim Regional Transportation Intermodal Center (ARTIC), California, Estados Unidos.

Ilustración 2. Modelo BIM (ARTIC)

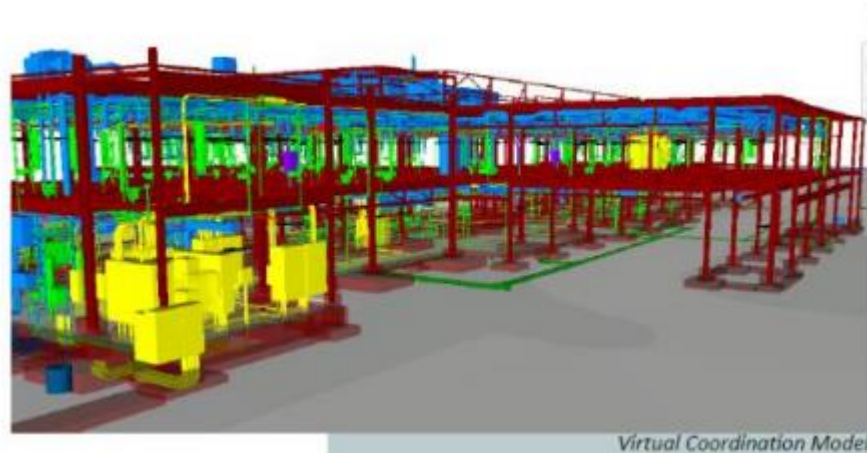


Fuente: AIA TAP BIM Awards Program

El área del proyecto es de 6306.26 m² y se desarrolló implementando la metodología BIM debido a la complejidad de forma, geometría y funciones del terminal de transporte. Gracias a la metodología BIM el equipo tuvo un buen enfoque sobre los sistemas de construcción y estudio de las tolerancias del edificio y el desempeño ambiental. El presupuesto del proyecto fue alrededor de 188 millones dólares. Los softwares empleados fueron Revit, Rhino y CATIA como el software principal, junto con Navisworks para la detección de conflictos preconstrucción. El equipo del proyecto fue capaz de producir modelos de estudio, impresos 3D, análisis del tráfico peatonal y vehicular para garantizar camino seguro de viaje, confirmar estrategias sostenibles para lograr certificación LEED platino, así como la entrega de documentos coordinados en una línea de tiempo comprimido y mantener la intención del diseño en la construcción. El mayor beneficio de la utilización de BIM en el proyecto ARTIC es la eficiencia de la coordinación lograda durante el diseño y la construcción. [13]

Caso 2: Proyecto de un hospital de rehabilitación.

Ilustración 3. Modelo BIM hospital de rehabilitación



Fuente: BIM Award Program

El área del proyecto es de 6159.47 m², antes de iniciar la fase de diseño del proyecto, los agentes integrantes en el equipo de construcción desarrollaron un plan de ejecución de BIM (BIM Execution Plan- BEP) para definir los tipos de software a utilizar y las responsabilidades de cada agente. En los documentos de BEP, se especifica la forma de intercambio de información entre los agentes, tipos de software a utilizar y los tipos de archivos a utilizar a lo largo de la ejecución del proyecto. Este producto final incluye los modelos de Revit utilizado por todos los agentes integrantes del equipo, la coordinación final de los modelos y los documentos digitales (dibujos, especificaciones y datos sobre las operaciones). [13]

Caso 3. Dalí Museum, St. Petersburg, Estados Unidos

Este museo es una estructura de 6317 m² con una cubierta de 1062 paneles vidrios triangulares únicos. Cuenta con una escalera espiral de 23 metros de alto hecha de hormigón. La utilización de BIM por parte de la empresa HOK en el año 2010 permitió, a pesar de la compleja geometría, que este proyecto fuera viable y que su diseño cumpliera con las normas requeridas para el cuidado de las obras de arte. Además, la obra fue completada dentro del plazo con una diferencia de US\$700.000 bajo el presupuesto. [14]

Ilustración 4. Dalí Museum, St. Petersburg (Estados Unidos)

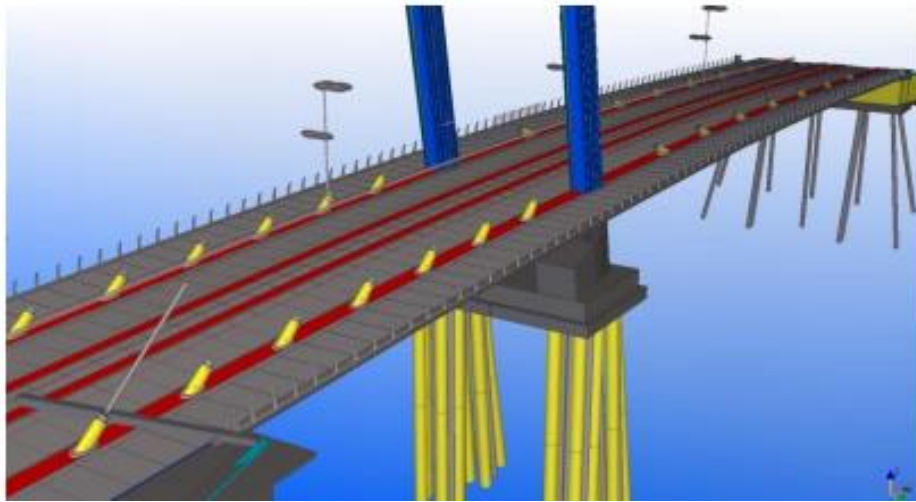


Fuente: HOK, 2011

Caso 4. Crusell Bridge, Helsinki

Este puente colgante de 175 m de largo y 25 m de ancho, fue hecho de acero y hormigón. Diseñado por WSP de Finlandia, es el primer puente construido que utiliza la tecnología BIM y a través de la inclusión del tiempo logra un modelo 4D. El cliente, diseñadores, constructora y la mayoría de los subcontratistas usaron la misma plataforma BIM. Esta tecnología fue utilizada para la fabricación de vigas de acero y refuerzo de hormigón, para monitorear y gestionar de la cadena de suministros de componentes prefabricados, para el diseño de la estructura de soporte temporal, para el control de calidad mediante escaneo láser y para la planificación de la construcción con animación 4D. El año 2009 el Puente Crusell ganó un “Reconocimiento Especial” por Tekla en los Premios Mundiales de BIM 2009 por su modelamiento preciso. [14]

Ilustración 5. Modelo BIM Crusell Bridge

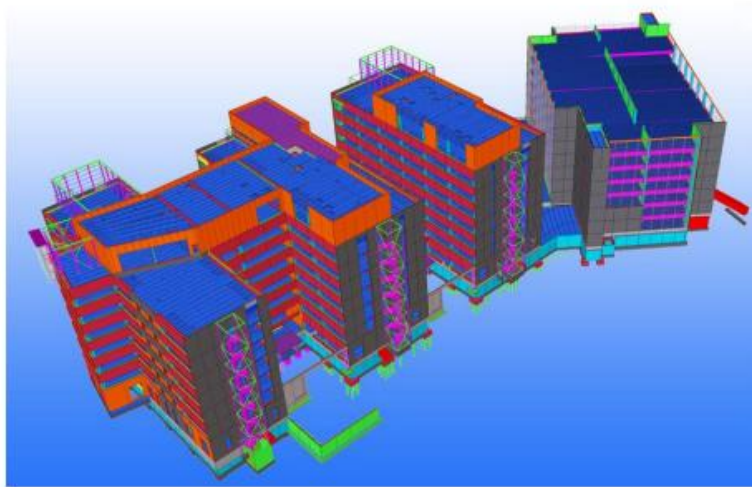


Fuente: TEKLA, 2009

Caso 5. Derby Business Park, Espoo, Finlandia

Este proyecto consiste en tres edificios de oficinas de ocho pisos y un edificio de estacionamientos de ocho pisos, modelado por Consultora de Ingeniería Mäkeläinen Ltda., el modelo BIM incluye fundaciones, detalle de elementos de hormigón reforzado y estructuras de acero. Por otro lado, ayudó al monitoreo de interferencias y a la fabricación de elementos de acero con especificaciones obtenidas del modelo. Una vez a la semana se enviaba a la construcción el modelo actualizado, donde era utilizado para visualización, fabricación de elementos y monitoreo de instalaciones. El año 2012 ganó como “Mejor Proyecto BIM” en los Premios Mundiales de BIM de Tekla. [14]

Ilustración 6. Modelo BIM de Derby Business Park



Fuente: TEKLA, 2012

Por otra parte, en el 2018 se lanzó el BIM Fórum Colombia, estrategia enfocada a impulsar la transformación digital de la industria y al aumento de la productividad en toda la cadena de valor de la construcción. BIM Fórum Colombia tiene como meta aumentar el nivel de acceso de BIM en la industria de la construcción hacia estándares cercanos al 50% de usuarios regulares para el año 2020, así como aumentar el porcentaje de empresas que usan BIM en más del 80% de sus proyectos, del 16% al 30% [15]. A nivel nacional se han desarrollado varios proyectos implementando la metodología BIM tales como:

Caso 1. Centro de tratamiento e investigación sobre cáncer, Bogotá

Este proyecto lo desarrolló la empresa Construcciones planificadas S.A que se destaca por ser pionera en implementar la metodología BIM desde el año 2012, actualmente, cuentan con una oficina BIM dentro de la empresa que busca estandarizar todos los aspectos BIM dentro de la compañía. El centro de tratamiento e investigación sobre cáncer, cuenta con un área de 100.000 m² y en el 2020 fue ganador del premio excelencia BIM Colombia [16].

Este centro representó un gran desafío para el equipo por la gran complejidad en su diseño, donde su mayor objetivo fue la coordinación en completa armonía de las redes con la arquitectura, es aquí donde la metodología BIM permitió que el proyecto contara con espacios diseñados a la medida y eficientes para brindar la

mejor experiencia al paciente, personal asistencial y de mantenimiento. Dentro de los beneficios que ha traído la metodología está el entendimiento detallado del diseño mediante modelos y documentación técnica de alta calidad, con la meta data necesaria para acelerar los tiempos de coordinación y ejecución del proyecto, permitiéndoles tener mayor control sobre el presupuesto y los cronogramas de obra. [17]

Ilustración 7. Modelo BIM del centro de tratamiento e investigación sobre cáncer



Fuente: Construcciones Planificadas S.A, 2019

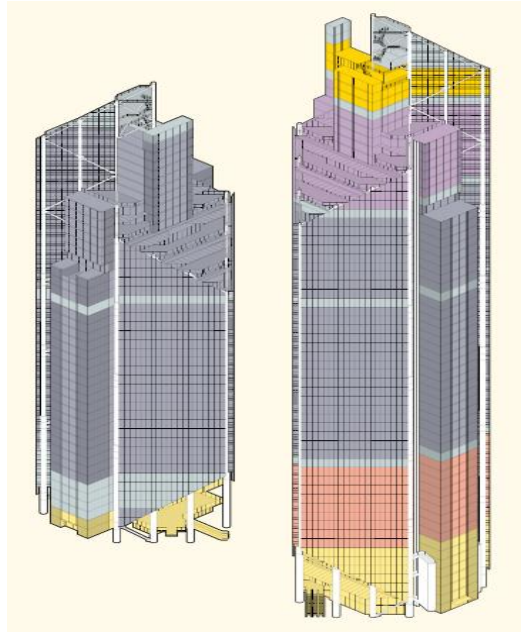
Caso 2. Torres ATRIO, Bogotá

Este proyecto consta de dos rascacielos de 44 y 67 pisos con espacios para oficinas, servicios públicos y comercios, además de una gran área peatonal por la que transitarán 72000 personas al día. Una de sus torres cuenta con 258.000m² de área construida incluyendo sótanos, la superficie de la piel de vidrio equivale a 15 canchas de fútbol, para sus cimientos se utilizaron 7400 metros cúbicos de concreto y la torre Norte, con sus 268 metros, será la más alta de toda Colombia. [18]

Durante la preconstrucción, se produjeron unos 40 modelos 3D en Revit; desde las tuberías hidráulicas y la estructura metálica hasta los modelos de fachada y unos cielorrasos (plafones) especiales de madera, que luego fueron coordinados a través de Navisworks. Asimismo, el complejo logró la certificación LEED Gold (que avala a los edificios sostenibles) y es la primera obra colombiana que utiliza el sistema de

construcción de alta complejidad SRC (por Steel Reinforced Concrete, en inglés). [18]

Ilustración 8. Modelo BIM de torres ATRIO

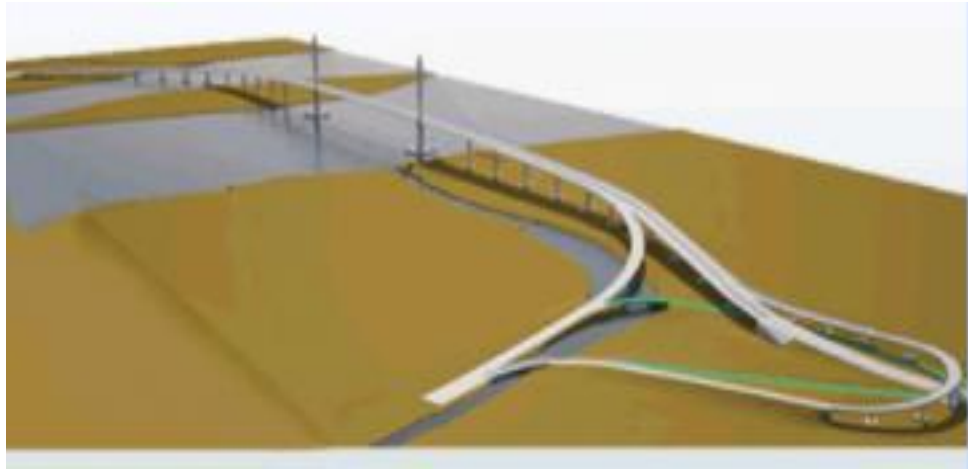


Fuente: Atrio.com

Caso 3. El nuevo puente Pumarejo, Barranquilla

Es atirantado en su tramo central y de viga-cajón en sus accesos, apoyado sobre pilas de concreto, que están ubicadas tanto en tierra firme como dentro del río Magdalena. El puente principal cuenta con dos calzadas de tres carriles cada una, dos carriles de ciclorruta de 1.50 metros (una en cada sentido), dos andenes peatonales de dos metros en promedio cada uno. El puente principal, en el sector del canal navegable por donde pasarán los barcos que quieran desplazarse aguas arriba del actual puente, tendrá una altura sobre el agua de 45 metros. La longitud del tramo atirantado es de 800 m y su longitud total es de 2173 m, durante su construcción se utilizó el método constructivo autocimbra. Y como era de esperarse, para desarrollar un puente de tal envergadura se usó BIM, como eje central del proyecto. [19]

Ilustración 9. Modelo BIM del nuevo puente Pumarejo



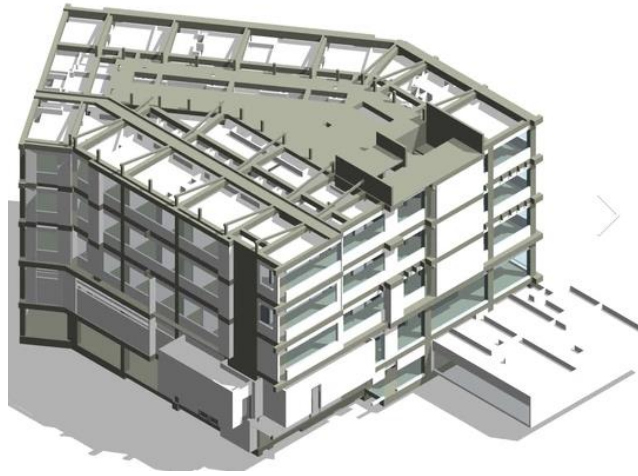
Fuente: MBA, 2017

En la actualidad, algunas empresas como BIM TOTAL, B&V INGENIERÍA, IAA LTDA, y entre otras, han desarrollado proyectos en la ciudad de Tunja implementando la metodología BIM. A continuación, se destacan algunos proyectos:

Caso 1: Ampliación de la clínica cancerológica de Boyacá

La modalidad de construcción fue modificación y ampliación en dónde el área para modificación es de 421.31 m² y el área para ampliación es de 3929.27 m². La aplicación de BIM se generó a partir de modelados 3D de todos y cada uno de los componentes de la edificación en todas las disciplinas constructivas: arquitectura, estructura, instalaciones hidrosanitarias, instalaciones red contra incendios, instalaciones de gases medicinales, instalaciones de aguas lluvias, instalaciones HVAC e instalaciones eléctricas [20].

Ilustración 10. Modelo BIM de ampliación de la clínica cancerológica de Boyacá



Fuente: BIM TOTAL

Caso 2: Proyecto multifamiliar mirador libertador

Proyecto diseñado bajo metodología BIM. Nivel de desarrollo 3D, ubicado en el barrio libertador de la ciudad de Tunja. Área del predio 14640 m², 300 apartamentos de 56.06 m². [21]

Ilustración 11. Modelo BIM proyecto multifamiliar mirador libertador



Fuente: IAA BIM

5. METODOLOGÍA

Fase 1: Preparación académica

Inicialmente, se tomaron capacitaciones (cursos y webinars) acerca de actualización de la NSR10, modelamiento en Revit Structure y Naviate 2020.

Fase 2: Recopilación de información preliminar del proyecto

Se realizó un reconocimiento del proyecto arquitectónico de la vivienda multifamiliar y, preliminar al modelamiento se recopiló los parámetros normativos establecidos en la norma sismorresistente colombiana (NSR10) para elementos estructurales.

Fase 3: Planeación del desarrollo del material audio visual

En esta fase se realizó la estructuración de cada uno de los videos de los elementos del proyecto estructural a modelar.

Fase 3: Metodología del proceso de modelación

En el presente proyecto se desarrollaron 8 videos de los cuales su contenido consta de la modelación de cada elemento estructural de la vivienda y se estableció de la siguiente manera:

1. Introducción del proyecto arquitectónico, del programa a emplear y configuración del espacio de trabajo en Revit Structure.
- 1.1. Modelación paramétrica (Revit Structure y Naviate 2020)
 - 1.1.1. Cimentación
 - 1.1.2. Columnas
 - 1.1.3. Vigas
 - 1.1.4. Placa de entepiso
 - 1.1.5. Escalera
 - 1.1.6. Cortes y presentación de los planos
 - 1.1.7. Cuantificación de cantidades de obra del proyecto estructural

Fase 4: Diseño de la guía práctica del modelo BIM

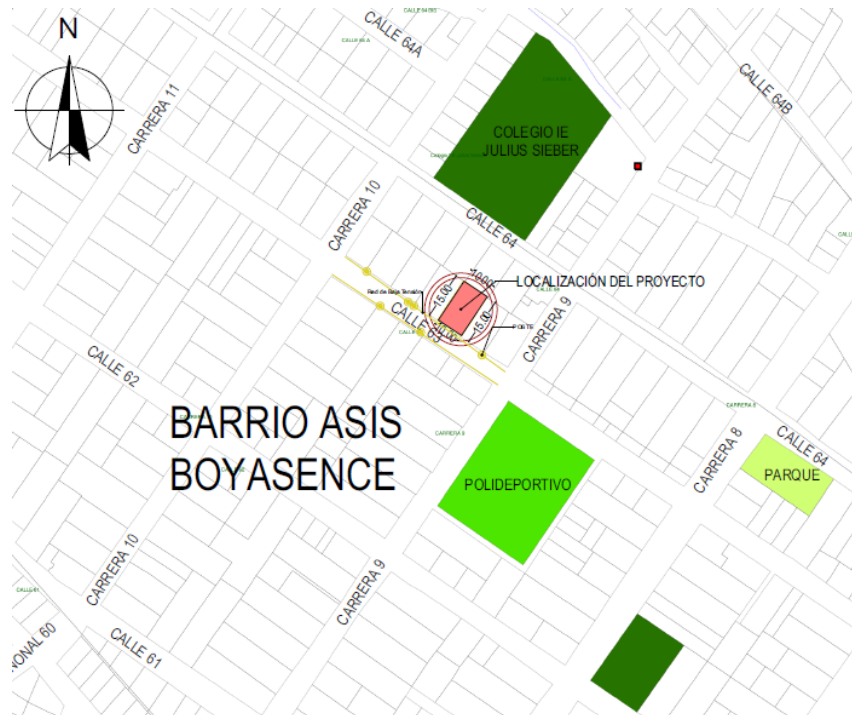
Finalmente, se realizó la guía práctica del proceso de modelación de cada elemento del proyecto estructural desarrollado en Revit Structure 2020 en concordancia con los videos realizados en la fase anterior.

6. DESARROLLO DEL PROYECTO

6.1 DESCRIPCIÓN

El presente trabajo se basó en la modelación del diseño estructural en Revit y Naviate 2020 de un proyecto real diseñado por la arq. Leidy Rodríguez Beltrán y el ing. Pedro Pacheco Bueno. El proyecto es una vivienda multifamiliar de 4 pisos y 7 apartamentos, ubicado en el barrio asís con un área del predio de 150 m2.

Ilustración 12. Localización del proyecto



Fuente: Google Earth

El sistema estructural de la edificación es aporticado y la NSR10 en el ítem A.3.2.1.3 lo define como “*sistema estructural compuesto por un pórtico espacial, resistente a momentos, esencialmente completo, sin diagonales, que resiste todas las cargas verticales y fuerzas horizontales*”. Del proyecto estructural se tomó la siguiente información: el grupo de uso es grupo I: estructuras de ocupación normal. Las

cargas tenidas en cuenta fueron la carga viva de placa: 1.8 kN/m^2 y carga viva de cubierta: 0.5 kN/m^2 . El diseño estructural fue modelado con una resistencia de materiales f'_c : 21 MPa y f_y : 420MPa, y capacidad de disipación de energía especial (DES). A Continuación, se presenta la información general de los elementos modelados en revit 2020.

Tabla 2. Dimensionamiento elementos estructurales

Elemento	Sección		
	Tipo	b (m)	h (m)
Zapata	Z1	1.20	1.20
	Z2	1.60	0.80
	Z3	1.50	0.75
	Z4	1.00	2.00
Vigas de cimentación	VCIM	0.45	0.45
Columnas	C1	0.30	0.30
	C2	0.35	0.35
Vigas aéreas	-	0.30	0.30
Viguetas	-	0.10	0.30
Escalera		2.33	2.50
Fuente: elaboración propia			

6.2 ELABORACIÓN DE MATERIAL AUDIOVISUAL

Se desarrollaron 8 videos documentando la modelación del proyecto estructural de un edificio en el software BIM Revit y la extensión de barra de refuerzo Naviate en la versión 2020, con el objetivo de realizar un material didáctico que le permita a estudiantes, ingenieros y profesionales afines al sector de la construcción aprender acerca de la metodología BIM y asimismo, lograr que los profesionales se interesen en hacer la transición del CAD al BIM, obteniendo beneficios en las diferentes etapas de sus proyectos.

Como resultado se obtiene documentación precisa y detallada de los elementos estructurales, ya que son representaciones directas de la información obtenida de la base de datos de construcción. La eficiencia se puede potencializar con complementos, una biblioteca con contenido en Autodesk App Store y optimizando los flujos de trabajo BIM con Dynamo ya que cuenta con una interfaz de programación gráfica de código abierto que se instala con Revit. [4]

6.2.1 Introducción

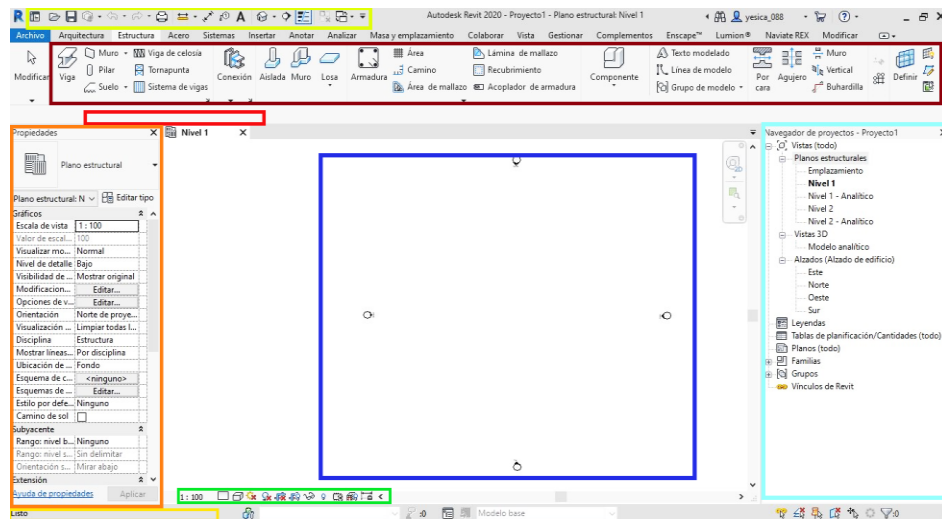
Este video inició con la socialización de parámetros normativos referente a generalidades de los planos estructurales establecidos en la NSR 10, continuando, con la presentación del proyecto arquitectónico a desarrollar y la exploración de la interfaz del software. Finalmente, se configuraron las unidades del proyecto, diámetros de barras de refuerzo, recubrimientos y materiales.

Ilustración 13. Modelo 3D del proyecto arquitectónico



Fuente: Arq. Leidy Rodriguez B.

Ilustración 14. Interfaz de usuario

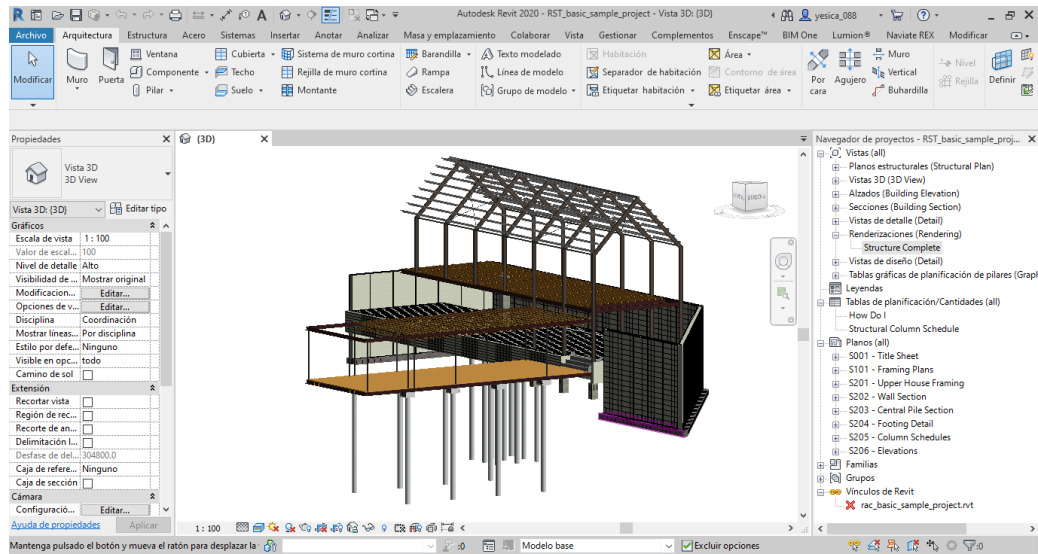


- | | | | | | |
|---|---------------------------------------|---|---------------------------|---|------------------------|
|  | Barra de acceso rápido |  | Paleta de propiedades |  | Área de dibujo |
|  | Menú con las herramientas de programa |  | Barra de estado |  | Navegador del proyecto |
|  | Barra de opciones |  | Barra de control de vista | | |

Fuente: elaboración propia

Revit presenta por defecto un ejemplo de proyecto de la disciplina de arquitectura, estructura e instalaciones, lo que permite dimensionar el alcance que se puede lograr con la modelación de un diseño en este software.

Ilustración 15. Ejemplo de proyecto estructural



Fuente: elaboración propia

6.2.2 Cimentación

En este video se abordaron las especificaciones técnicas de los elementos de cimentación de acuerdo a la NR10, la modelación se desarrolló con: 4 tipologías de zapatas aisladas, 2 tipologías de vigas de amarre en la cual en una de ellas se configuró la longitud de traslape, columnas con secciones de 30x30 cm y 35x35 cm y losa de contrapiso de 10 cm de espesor. (ver plano 1)

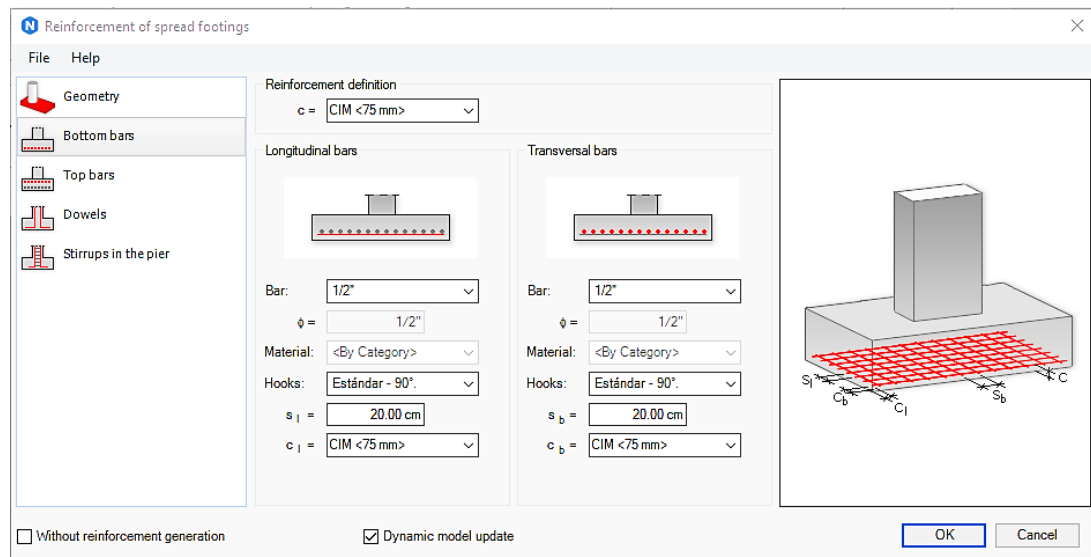
Tabla 3. Especificaciones técnicas para cimentación de la NSR10

Ítem	Sección	Criterio	Descripción
1	C.7.7.1 (a)	Recubrimiento	75 mm
2	C.15.4.3	Distribución del refuerzo	El refuerzo debe distribuirse uniformemente a lo largo del ancho total de la zapata.
3	C.15.7	Altura mínima de zapatas	> 150 mm para zapatas apoyadas sobre el suelo y > 300 mm para zapatas apoyadas sobre pilotes.

Tabla 3. (Continuación)

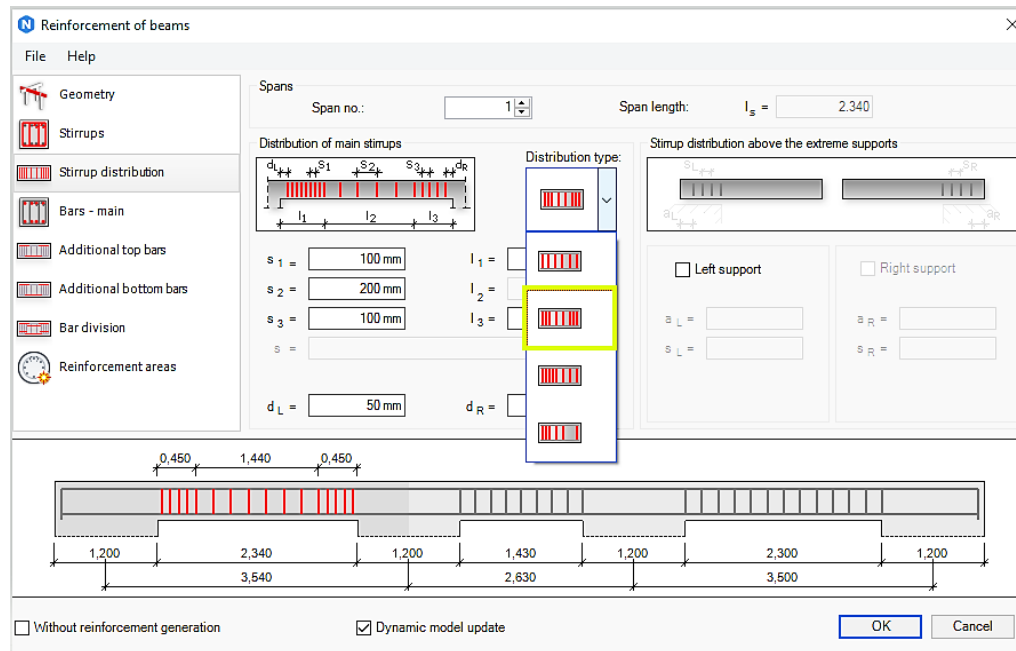
4	C.15.13.3	Vigas de amarre	La sección debe ser tal: • Luz / 20 para estructuras DES • Luz / 30 para estructuras DMO • Luz / 40 para estructuras DMIN
			El refuerzo longitudinal debe ser continuo, el cual debe ser capaz de desarrollar f_y por medio de anclaje en la columna exterior del vano final.
			Se deben colocar estribos cerrados que no exceda un $\frac{1}{2}$ de la menor dimensión de la sección o 300 mm.
Fuente: elaboración propia, con base en la NSR10			

Ilustración 16. Configuración del refuerzo de zapata



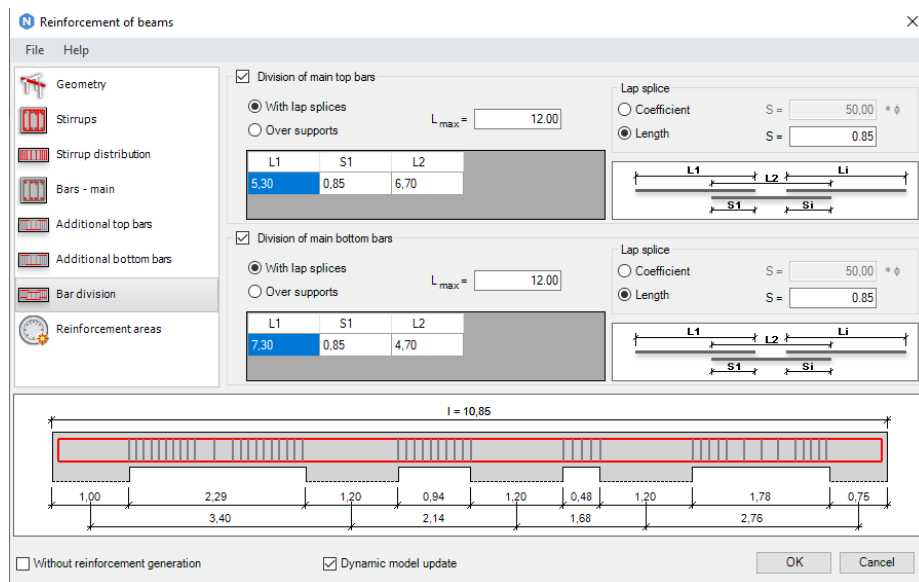
Fuente: elaboración propia

Ilustración 17. Configuración refuerzo transversal vigas de amarre



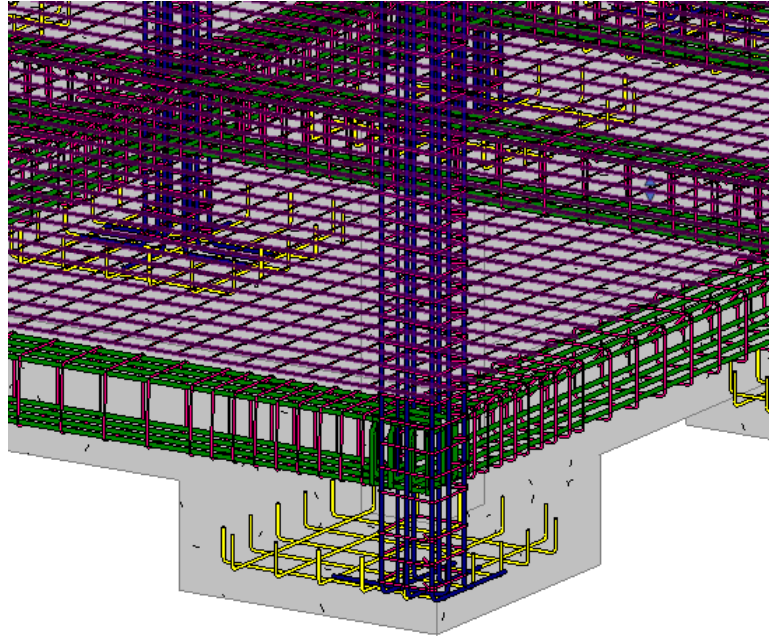
Fuente: elaboración propia

Ilustración 18. Configuración longitud de traslazo



Fuente: elaboración propia

Ilustración 19. Modelación de la cimentación



Fuente: elaboración propia

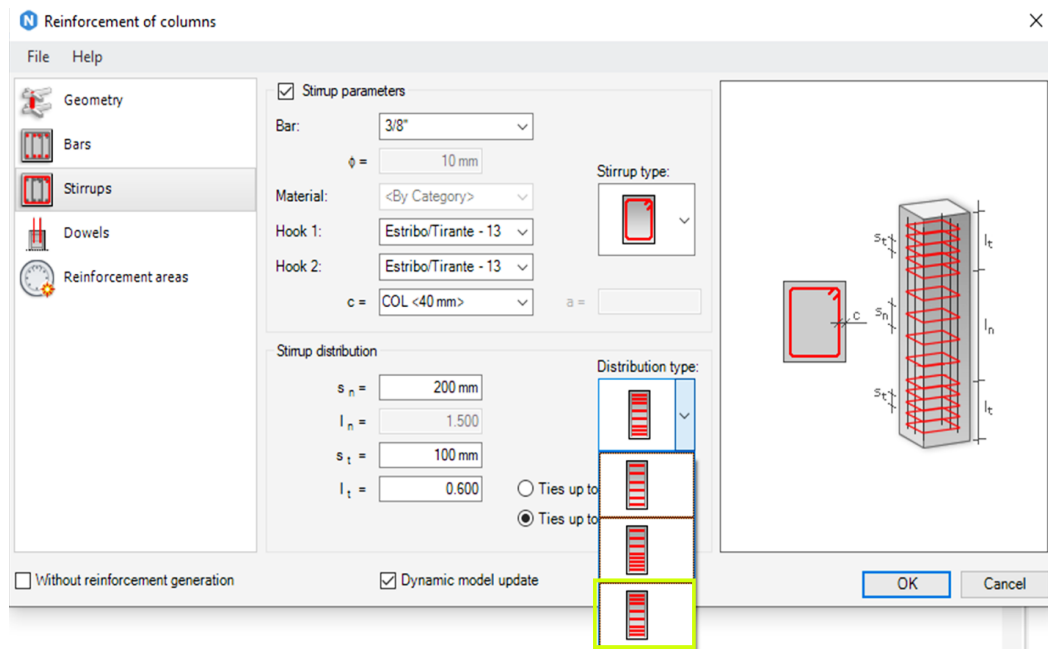
6.2.3 Columnas

Inicialmente, se establecieron las especificaciones técnicas correspondientes al título C de la NSR10, y se modelaron 12 columnas con una sección de 30x30 cm y 9 columnas de 35x35 cm. (Ver plano 2)

Tabla 4. Especificaciones técnicas para columnas de la NSR10

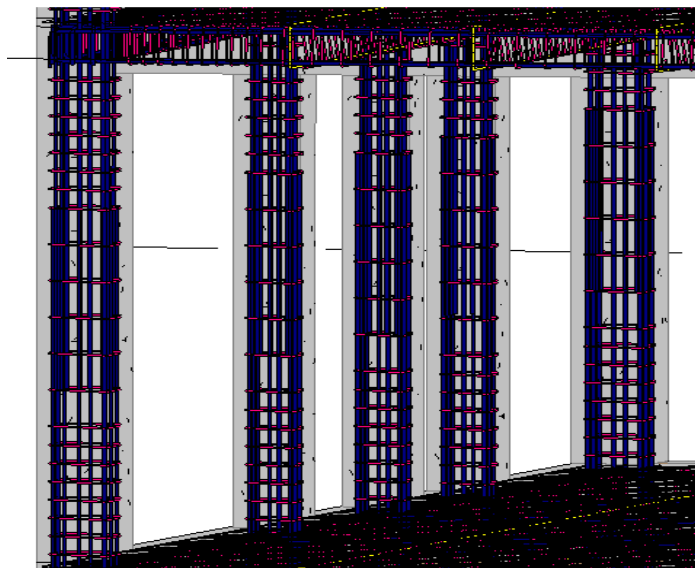
Ítem	Sección	Criterio	Descripción
1	C.7.7.1 (a)	Recubrimiento	40 mm
2	C.21.15		Deben disponerse estribos cerrados de confinamiento en una longitud igual a dos veces la altura del elemento, medida desde la cara de apoyo hacia el centro de la luz, en ambos extremos del elemento en flexión.
3	C.21.15.3.2	Refuerzo transversal	El espaciamiento de los estribos de confinamiento no debe ser menor de: • $d/4$ • $8d_b$ del estribo cerrado de confinamiento • 300 mm
4	C.21.15.3.4		Cuando no se requieran estribos de confinamiento deben colocarse estribos con ganchos sísmicos espaciados a no más de $d/2$ en toda la longitud del elemento.
5	C.21.6.3.1	Refuerzo longitudinal	El área de refuerzo longitudinal, A_{st} no debe ser menor que $0.01A_g$ ni mayor que $0.04 A_g$.
Fuente: elaboración propia, con base en la NSR10			

Ilustración 20. Configuración refuerzo de columna



Fuente: elaboración propia

Ilustración 21. Modelación de columnas



Fuente: elaboración propia

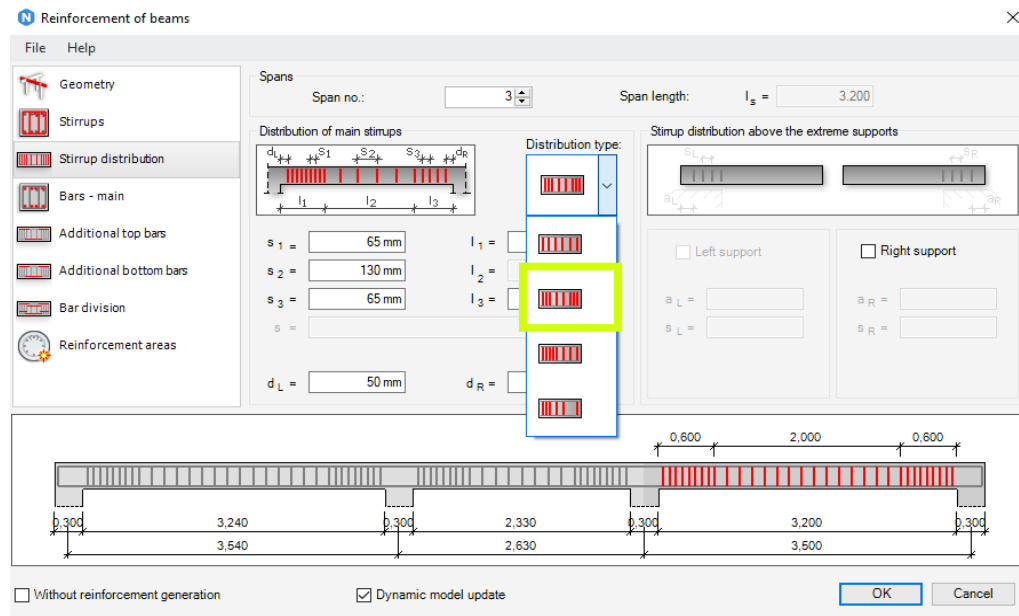
6.2.4 Vigas de entrepiso

Nuevamente, se socializan las especificaciones técnicas establecidas en el título C de la NSR 10 correspondiente a vigas. Las vigas de entrepiso se modelaron con una sección de 30x30 cm, dos tipologías que fueron replicadas en cada nivel del edificio. En esta sección se empleó la opción de adición de acero longitudinal superior e inferior. (ver plano 2)

Tabla 5. Especificaciones técnicas para vigas de la NSR10

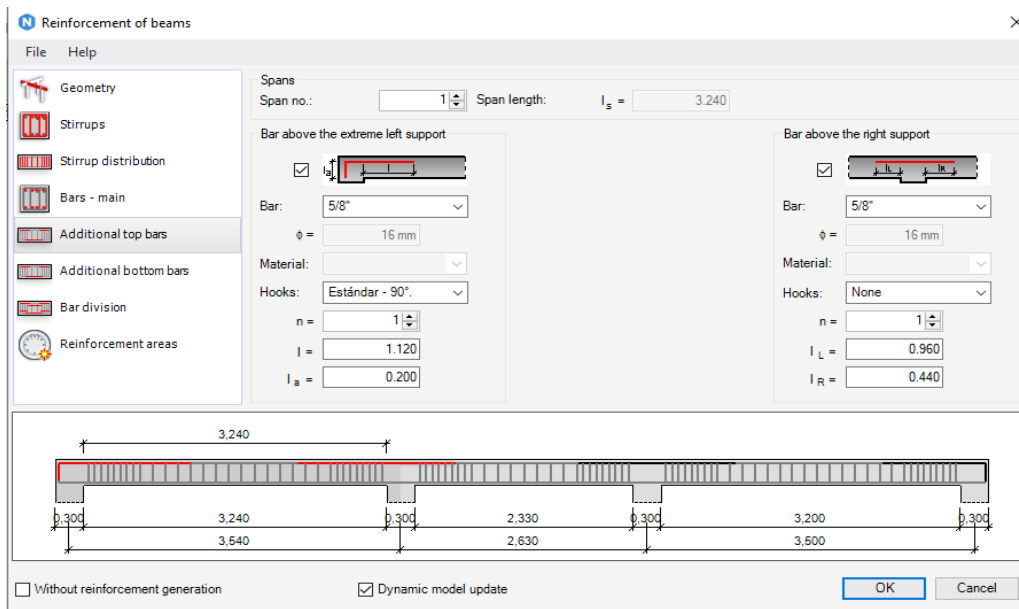
Ítem	Sección	Criterio	Descripción
1	C.7.7.1 (a)	Recubrimiento	40 mm
2	C.21.5.2.1	Cuantia de refuerzo	(ρ) no debe exceder 0.025. Al menos dos barras deben disponerse en forma continua tanto en la parte superior como inferior.
3	C.21.5.2.3	Traslapos	Solo se permite empalmes por traslapo de refuerzo de flexión cuando se proporcionan estribos de confinamiento. No deben usarse empalmes por traslapo: • Dentro de los nudos • En una distancia de dos veces la altura del elemento medida desde la cara del nudo. • Donde el análisis indique fluencia por flexión causada por desplazamientos laterales inelásticos del pórtico.
4	C.21.6.3.1	Refuerzo transversal	El espaciamiento de los estribos de confinamiento no debe ser menor de: • $d/4$ • 8db del estribo cerrado de confinamiento 300 mm.
Fuente: elaboración propia, con base en la NSR10			

Ilustración 22. Configuración del refuerzo de vigas



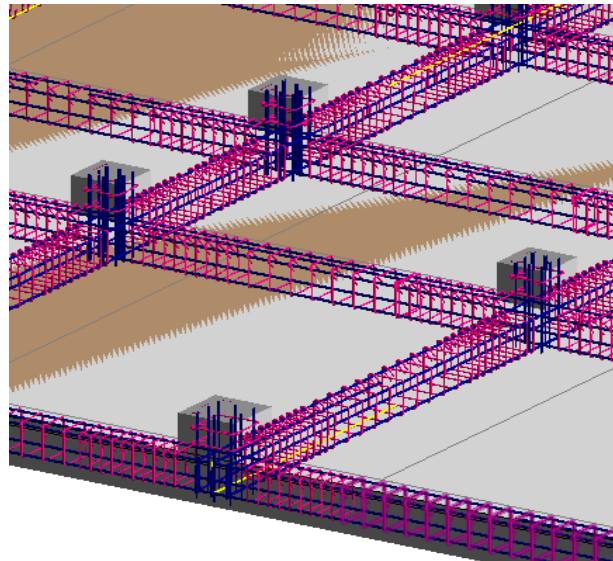
Fuente: elaboración propia

Ilustración 23. Configuración de refuerzo longitudinal adicional



Fuente: elaboración propia

Ilustración 24. Modelación de vigas



Fuente: elaboración propia

6.2.5 Losa de entrepiso

Se dio lectura a las especificaciones referente a viguetas en losa nervada establecidas en el título C de la NSR10. En esta sección se modelaron viguetas de 10x30 cm con la herramienta sistema de vigas, una losa superior de 5 cm y se replicó en todos los niveles. (Ver plano 2 y 3)

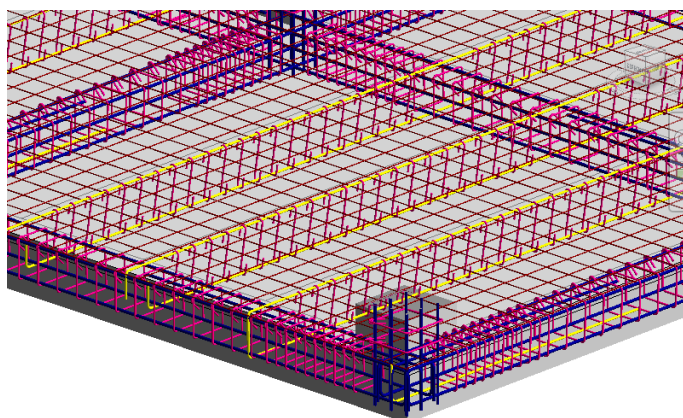
Tabla 6. Especificaciones técnicas para viguetas en losa nervada de la NSR10

Ítem	Sección	Criterio	Descripción
1	C.8.13.1	Ancho nervadura	No debe ser menor de 100 mm en su parte superior y su ancho promedio no puede ser menor de 80 mm.

Tabla 6. (Continuación)

2	C.8.13.3	Separación máxima entre nervios	Medida centro a centro, no puede ser mayor que 2.5 veces el espesor total de la losa sin exceder 1.20 m.
3	C.13.3.1	Riostra	Se debe colocar viguetas transversales de repartición con una separación libre máxima de 10 veces el espesor total de la losa, sin exceder 4.0 m.
4	C.13.6.1	Espesor losa	El espesor de la losa no debe ser menor que 1/12 de la distancia libre entre las nervaduras, ni menor de 50 mm.
Fuente: elaboración propia, con base en la NSR10			

Ilustración 25. Modelación de losa nervada

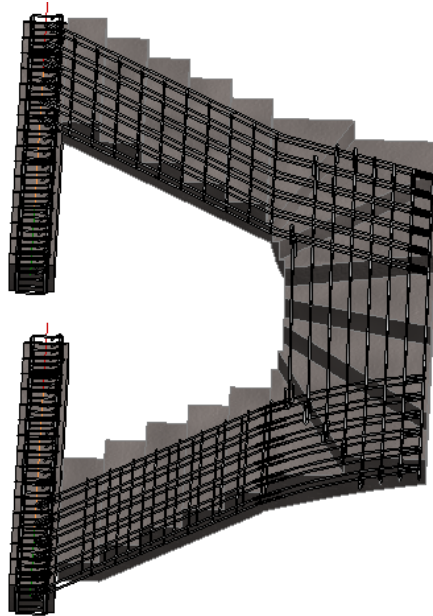


Fuente: elaboración propia

6.2.6 Escalera

En este video se documentó la modelación de la escalera de tipo compensada en u, con 17 escalones de las siguientes dimensiones: contrahuella (0.175m) y huella (0.250 m). La configuración del refuerzo se realizó con la herramienta armadura por superficie. (ver plano 3)

Ilustración 26. Modelación de la escalera



Fuente: elaboración propia

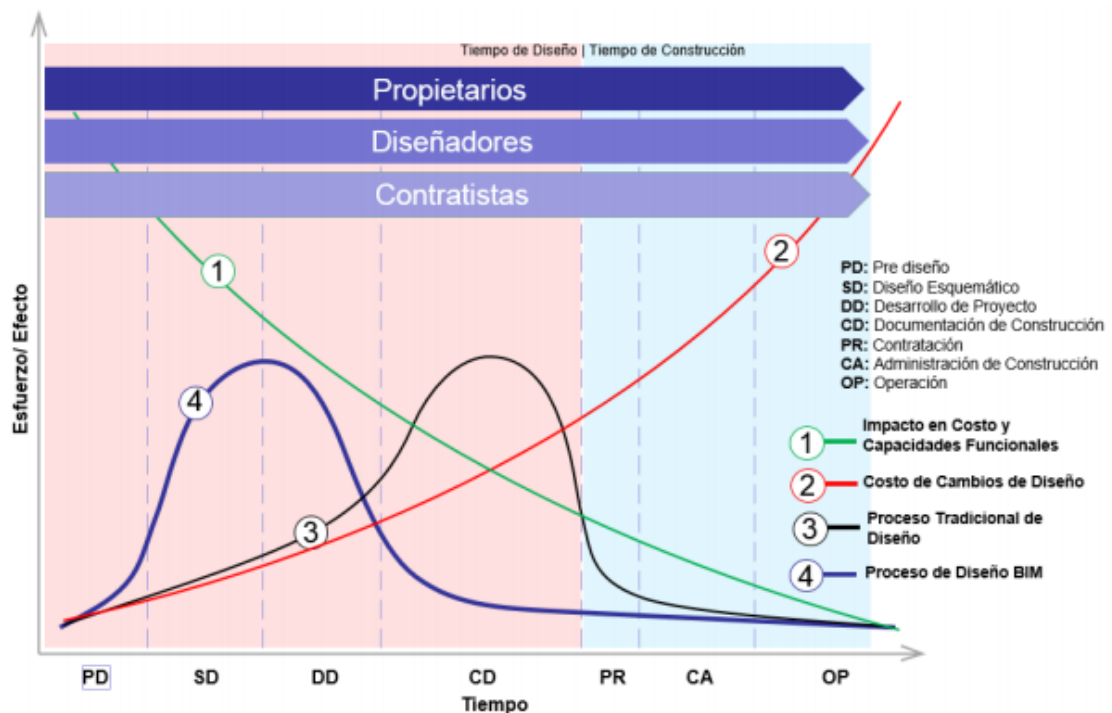
6.3 ELABORACIÓN DE LA GUÍA PRÁCTICA

Esta guía es la recopilación de la metodología de modelación de los elementos del proyecto sustentados en los videos, con el fin de apoyar el aprendizaje de los interesados, de forma didáctica que permita la replicación del contenido para próximos proyectos y/o ejercicios académicos.

7. ANÁLISIS Y RESULTADOS

La Curva MacLeamy representa las ventajas de aprovechar el BIM. La curva sugiere que si movemos el esfuerzo de diseño inicial en el proyecto (a la izquierda), esta será más eficiente que el proceso de diseño tradicional. Esto también significa que un proyecto BIM necesitará un plan de personal diferente que un proyecto de diseño tradicional. Mientras que el número de recursos del presupuesto global no cambia necesariamente, se necesitan los recursos de diseño antes en el proyecto. Esta comprensión es fundamental para los directores de proyectos que ven el BIM como un riesgo para la entrega, porque la percepción es que va a costar más y requieren más esfuerzo. [22]

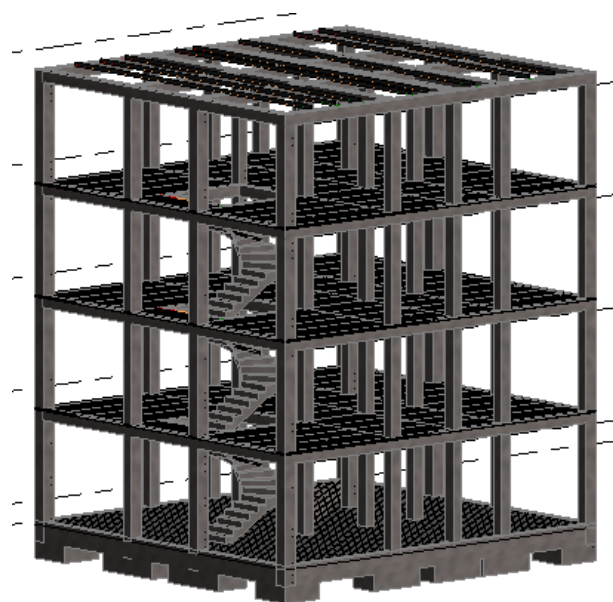
Ilustración 27. Procesos de diseño Tradicional vs Procesos de Diseño con BIM



Fuente: Graphic by Patrick MacLeamy

Como resultado de la modelación del proyecto estructural de la vivienda multifamiliar se establecieron las fases constructivas y se obtuvo las cantidades de obra directamente del modelo 3D, logrando así precisión y eficiencia.

Ilustración 28. Modelo 3D del proyecto



Fuente: Autor

Ilustración 29. Modelo 3D de refuerzo estructural



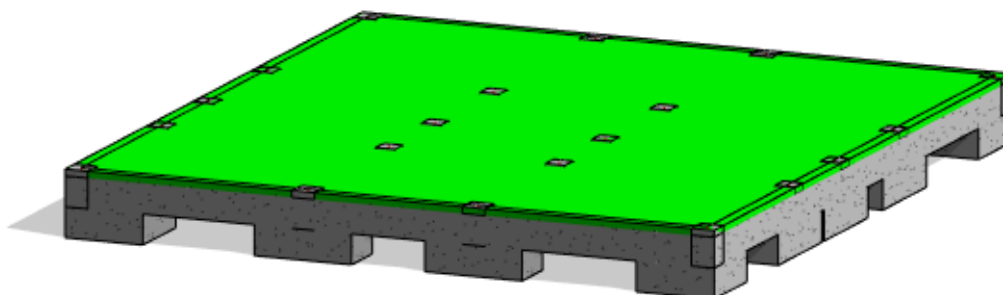
Fuente: Autor

Las fases constructivas se establecieron por actividades, sin embargo, se pueden configurar por avance de obra, cronograma de actividades, etc, de acuerdo a la preferencia del profesional, obteniendo como resultado la documentación precisa de acuerdo a las necesidades y etapa del proyecto. (ver anexo A y B)

A Continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada fase en lo que corresponde a la cuantificación de materiales del proyecto.

En la fase 1-3 se agrupó la modelación de los elementos correspondientes a la cimentación (columnas, zapatas, vigas y losa de contrapiso)

Ilustración 30. Fase 1- 3



Fuente: Autor

A través de tablas de planificación se calculó el área total de cada elemento y la cuantificación del volumen desagregado y total de las fases mencionadas.

Tabla 7. Volumen de concreto de fase 1- 3

Estructura	Dimensiones	Material	Área total	Volumen total
Z1	1.20X1.20x0.45m	CONCRETO 21MPa	1.44 m ²	6.48 m ³
Z2	1.60X0.80X0.45m	CONCRETO 21MPa	1.28 m ²	3.46 m ³
Z3	1.50X0.75X0.45m	CONCRETO 21MPa	1.13 m ²	1.01 m ³
Z4	1.00X2.00X0.45m	CONCRETO 21MPa	2.00 m ²	1.80 m ³
SUBTOTAL				12.75 m³

Tabla 7. (Continuación)

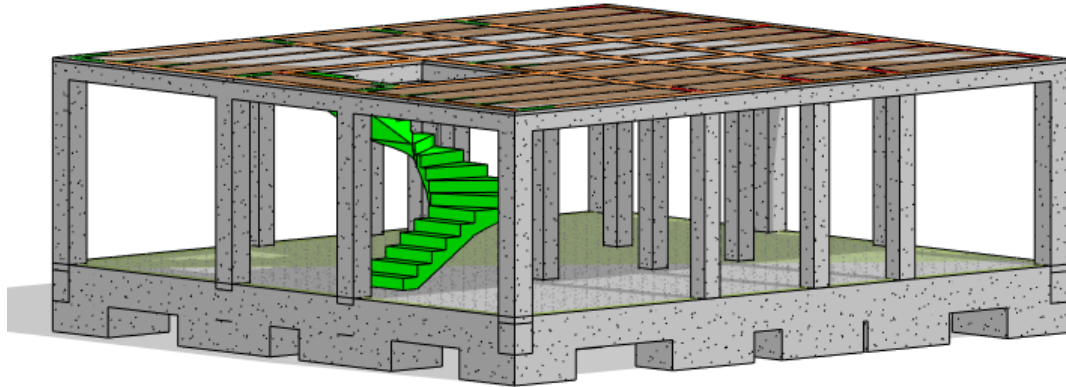
COL	30X30cm	CONCRETO 21MPa	0.09 m ²	0.59 m ³
COL	35X35cm	CONCRETO 21MPa	0.12 m ²	0.54 m ³
SUBTOTAL				1.13 m ³
VCIM	45X45 cm	CONCRETO 21MPa	2.02m ²	16.18 m ³
SUBTOTAL				16.18 m ³
LOSA CONTRAPISO	e: 10 cm	CONCRETO 21MPa	109 m ²	10.87 m ³
SUBTOTAL				10.87 m ³
TOTAL				40.93 m ³
Fuente: elaboración propia				

Tabla 8. Cantidades de acero fase 1- 3

Estructura	Referencia	Φ	Cant total	Longitud total	Peso total (kg)
Z1	Estribos	3/8"	30	32.10 m	17.97
	Refuerzo Zapata	1/2"	100	131.00 m	130.21
	Refuerzo long Tramo 1	5/8"	80	490.40 m	761.1
Z2	Estribos	3/8"	18	17.82 m	9.97
	Refuerzo Zapata	1/2"	66	79.26 m	78.78
	Refuerzo long Tramo 1	5/8"	54	332.34 m	515.79
Z3	Estribos	3/8"	6	7.14 m	3.99
	Refuerzo Zapata	1/2"	24	25.14 m	24.98
	Refuerzo long Tramo 1	5/8"	16	98.08 m	152.22
Z4	Estribos	3/8"	6	7.14 m	3.99
	Refuerzo Z4	1/2"	32	43.52 m	43.25
	Refuerzo long Tramo 1	5/8"	16	98.08 m	152.22
Malla electrosoldada 150X150X6mm		1/4"	141	1457.98 m	
T1 VCIM 45X45cm	Estribos	3/8"	326	427.06 m	239.15
T1 VCIM 45X45cm	Refuerzo longitudinal	3/4"	64	383.37 m	856.83
T2 VCIM 45X45cm	Estribos	3/8"	359	470.29 m	263.36
T2 VCIM 45X45cm	Refuerzo longitudinal	3/4"	40	412.80 m	922.61
TOTAL					4176.42
Fuente: elaboración propia					

La fase 4-8 está compuesta por el modelado de columnas, vigas de entrepiso, losa aligerada y escalera.

Ilustración 31. Fase 4 - 8



Fuente: elaboración propia

A Continuación, se presenta la cuantificación total de materiales de los elementos correspondientes a la fase 4-8

Tabla 9. Volumen de concreto fase 4-8

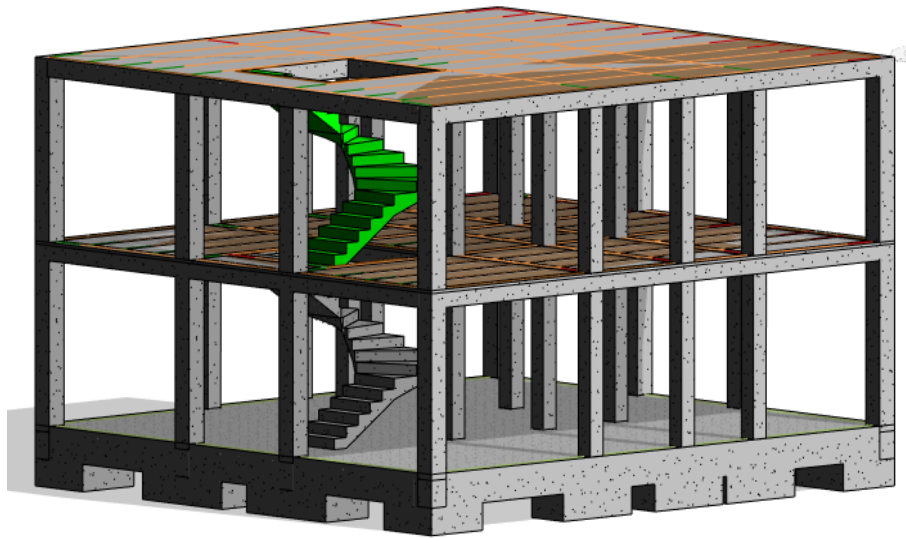
Estructura	Dimensiones	Material	Área	Volumen total
COL	30X30cm	CONCRETO 21MPa	0.09 m ²	2.92 m ³
COL	35X35cm	CONCRETO 21MPa	0.12 m ²	2.65 m ³
SUBTOTAL				5.57 m ³
VIGA	30X30cm	CONCRETO 21MPa	0.09 m ²	6.74 m ³
VIGUETA	10X30cm	CONCRETO 21MPa	0.02 m ²	1.70 m ³
LOSA ENTREPISO	e= 5 cm	CONCRETO 21MPa	103 m ²	5.14 m ³
ESCALERA	2.50 X2.33 m	CONCRETO 21MPa	5.83 m ²	1.27 m ³
TOTAL				20.42 m ³
Fuente: Autor				

Tabla 10. Cantidades de acero fase 4-8

Estructura	Referencia	Φ	Cant total	Longitud total	Peso total (kg)
COL 30X30cm	Estribos	3/8"	252	249.48 m	139.70
COL 35X35cm	Estribos	3/8"	168	199.92 m	111.95
T1VIGA 30X30cm	Estribos	3/8"	481	480.05 m	268.82
T1VIGA 30X30cm	Ref adicional	1/2"	8	80.67 m	80.19
T1VIGA 30X30cm	Refuerzo long	5/8"	34	241.87 m	375.38
T2VIGA 30X30cm	Estribos	3/8"	442	442 m	247.52
T2VIGA 30X30cm	Ref adicional	1/2"	8	17.52 m	17.41
T2VIGA 30X30cm	Refuerzo long	5/8"	24	192.14	298.2
VIGA ESCALERA	Estribos	3/8"	28	28.00 m	15.68
VIGA ESCALERA	Refuerzo longitudinal	1/2"	4	11.18 m	11.11
ESCALERA	Refuerzo transversal	3/8"	37	34.04 m	19.06
ESCALERA	Refuerzo longitudinal	1/2"	52	118.55 m	117.84
Malla electrosoldada 150X150X6mm	1/4"	175	1392.84 m		
VIGUETAS 10X30cm	Estribos	3/8"	558	234.36 m	131.24
VIGUETAS 10X30cm	Refuerzo longitudinal	1/2"	16	161.20 m	160.23
TOTAL					1994.33
Fuente: elaboración propia					

La fase 9-13 corresponde al modelado de columnas, vigas de entrepiso, losa aligerada y escalera, desde el nivel del segundo piso hasta el tercer piso.

Ilustración 32. Fase 9 - 13



Fuente: elaboración propia

A Continuación, se presenta la cuantificación detallada de los elementos de la fase 9-13

Tabla 11.Volumen de concreto fase 9-13

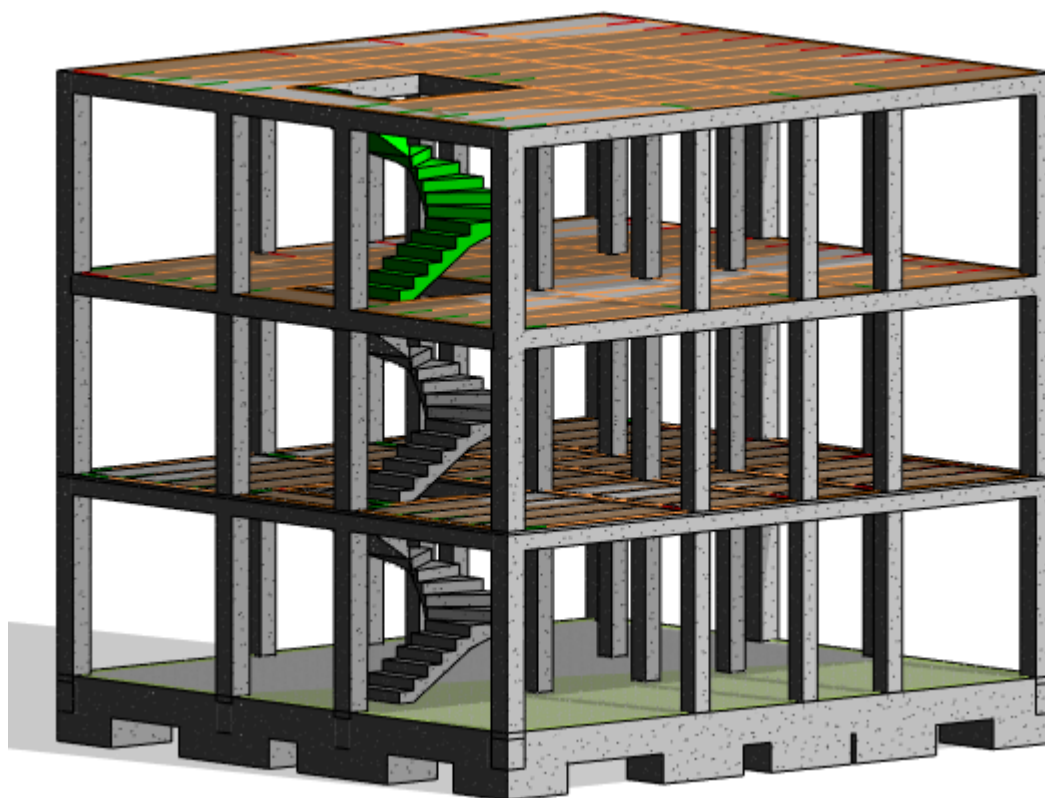
Estructura	Dimensiones	Material	Área	Volumen total
COL	30X30cm	CONCRETO 21MPa	0.09 m ²	2.92 m ³
COL	35X35cm	CONCRETO 21MPa	0.12 m ²	2.65 m ³
SUBTOTAL				5.57 m ³
VIGA	30X30cm	CONCRETO 21MPa	0.09 m ²	6.74 m ³
VIGUETA	10X30cm	CONCRETO 21MPa	0.02 m ²	1.70 m ³
LOSA ENTREPISO	e= 5 cm	CONCRETO 21MPa	103 m ²	5.14 m ³
ESCALERA	2.50 X2.33 m	CONCRETO 21MPa	5.83 m ²	1.27 m ³
TOTAL				20.42 m ³
Fuente: Autor				

Tabla 12. Cantidades de acero fase 9-13

Estructura	Referencia	Φ	Cant total	Longitud total	Peso total (kg)
COL 35X35cm	Estribos	3/8"	168	199.92 m	111.95
COL 35X35cm	Refuerzo long Tramo 2	5/8"	62	434.00 m	673.56
COL 30X30cm	Estribos	3/8"	252	249.48 m	139.70
COL 30X30cm	Refuerzo longTramo 2	5/8"	102	714.00 m	1108.12
T1VIGA 30X30cm	Estribos	3/8"	481	480.05 m	268.82
T1VIGA 30X30cm	Ref adicional	1/2"	8	80.67 m	80.19
T1VIGA 30X30cm	Refuerzo long	5/8"	34	241.87 m	375.38
T2VIGA 30X30cm	Estribos	3/8"	442	442 m	247.52
T2VIGA 30X30cm	Ref adicional	1/2"	8	17.52 m	17.41
T2VIGA 30X30cm	Refuerzo long	5/8"	24	192.14	298.2
VIGA ESCALERA	Estribos	3/8"	28	28.00 m	15.68
VIGA ESCALERA	Refuerzo longitudinal	1/2"	4	11.18 m	11.11
ESCALERA	Refuerzo transversal	3/8"	37	34.04 m	19.06
ESCALERA	Refuerzo longitudinal	1/2"	52	118.55 m	117.84
Malla electrosoldada 150X150X6mm		1/4"	175	1392.84 m	
VIGUETAS 10X30cm	Estribos	3/8"	558	234.36 m	131.24
VIGUETAS 10X30cm	Refuerzo longitudinal	1/2"	16	161.20 m	160.23
TOTAL					3776.03
Fuente: elaboración propia					

En esta fase se modelaron los elementos estructurales correspondientes al nivel del tercer piso hasta cuarto piso.

Ilustración 33. Fase 14-18



Fuente: elaboración propia

A Continuación, se presenta la cuantificación detallada de los elementos de la fase 14-18

Tabla 13. Volumen de concreto fase 14-18

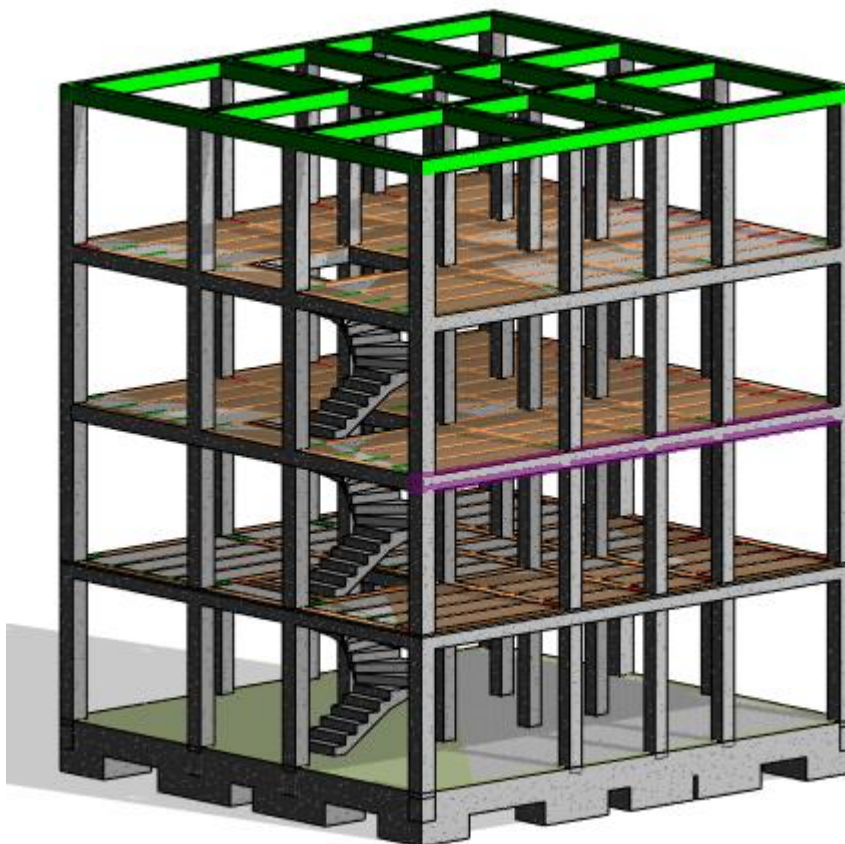
Estructura	Dimensiones	Material	Área	Volumen total
COL	30X30cm	CONCRETO 21MPa	0.09 m ²	2.92 m ³
COL	35X35cm	CONCRETO 21MPa	0.12 m ²	2.65 m ³
SUBTOTAL				5.57 m ³
VIGA	30X30cm	CONCRETO 21MPa	0.09 m ²	6.74 m ³
VIGUETA	10X30cm	CONCRETO 21MPa	0.02 m ²	1.70 m ³
LOSA ENTREPISO	e= 5 cm	CONCRETO 21MPa	103 m ²	5.14 m ³
ESCALERA	2.50 X2.33 m	CONCRETO 21MPa	5.83 m ²	1.27 m ³
TOTAL				20.42 m ³
Fuente: elaboración propia				

Tabla 14. Cantidades de acero fase 14 – 18

Estructura	Referencia	Φ	Cant total	Longitud total	Peso total (kg)
COL 30X30cm	Estribos	3/8"	252	249.48 m	139.70
COL 35X35cm	Estribos	3/8"	168	199.92 m	111.95
T1VIGA 30X30cm	Estribos	3/8"	481	480.05 m	268.82
T1VIGA 30X30cm	Ref adicional	1/2"	8	80.67 m	80.19
T1VIGA 30X30cm	Refuerzo long	5/8"	34	241.87 m	375.38
T2VIGA 30X30cm	Estribos	3/8"	442	442 m	247.52
T2VIGA 30X30cm	Ref adicional	1/2"	8	17.52 m	17.41
T2VIGA 30X30cm	Refuerzo long	5/8"	24	192.14	298.2
VIGA ESCALERA	Estribos	3/8"	28	28.00 m	15.68
VIGA ESCALERA	Refuerzo longitudinal	1/2"	4	11.18 m	11.11
ESCALERA	Refuerzo transversal	3/8"	37	34.04 m	19.06
ESCALERA	Refuerzo longitudinal	1/2"	52	118.55 m	117.84
Malla electrosoldada 150X150X6mm		1/4"	175	1392.84 m	
VIGUETAS 10X30cm	Estribos	3/8"	558	234.36 m	131.24
VIGUETAS 10X30cm	Refuerzo longitudinal	1/2"	16	161.20 m	160.23
TOTAL					1994.33
Fuente: elaboración propia					

Finalmente, en esta fase se culmina el proceso constructivo con los elementos de columnas y vigas áreas.

Ilustración 28. Fase 18- 21



Fuente: Autor

A Continuación, se presenta la cuantificación detallada de los elementos de la fase 18-21

Tabla 15. Volumen de concreto fase 18-21

Estructura	Dimensiones	Material	Área	Volumen total
COL	30X30cm	CONCRETO 21MPa	0.09 m ²	2.92 m ³
COL	35X35cm	CONCRETO 21MPa	0.12 m ²	2.65 m ³
SUBTOTAL				5.57 m ³
VIGA	30X30cm	CONCRETO 21MPa	0.09 m ²	6.74 m ³
TOTAL				17.88 m ³
Fuente: elaboración propia				

Tabla 16. Cantidades de acero fase 18-21

ESTRUCTURA	REFERENCIA	Φ	CANT TOTAL	LONGITUD TOTAL	PESO TOTAL (Kg)
COL 30X30cm	Estribos	3/8"	252	249.48 m	139.70
COL 30X30cm	Refuerzo long Tramo 3	5/8"	96	201.60 m	312.88
COL 35X35cm	Estribos	3/8"	168	199.92 m	111.95
COL 35X35cm	Refuerzo long Tramo 3	5/8"	64	134.40 m	208.58
T1VIGA 30X30cm	Estribos	3/8"	481	480.05 m	268.82
T1VIGA 30X30cm	Ref adicional	1/2"	8	80.67 m	80.19
T1VIGA 30X30cm	Refuerzo long	5/8"	34	241.87 m	375.38
T2VIGA 30X30cm	Estribos	3/8"	442	442 m	247.52
T2VIGA 30X30cm	Ref adicional	1/2"	8	17.52 m	17.41
T2VIGA 30X30cm	Refuerzo long	5/8"	24	192.14	298.2
TOTAL					2060.63
Fuente: elaboración propia					

Las cantidades de concreto no tienen variación ya que los elementos tienen continuidad a lo largo del desarrollo del proyecto, sin embargo, con relación a las cantidades de acero en algunos niveles disminuye el peso total y esto se debe al refuerzo longitudinal de las columnas, puesto que se configuró el acero longitudinal del nivel de cimentación a el segundo nivel y se traslapa para dar continuidad hasta el cuarto nivel y nuevamente se realiza el traslape para finalizar la configuración hasta el nivel de cubierta.

8. APORTES

8.1 APORTES COGNITIVOS

Este trabajo contribuirá a instruir a estudiantes, profesionales de ingeniería civil y áreas afines de la construcción a que conozcan la dinámica de modelación 3D en Revit y abrirá un panorama amplio a conocer diversos softwares, complementos, resultados y beneficios que trae consigo la implementación de la tecnología BIM en los proyectos de construcción. Por otra parte, desde la academia se facilitará la socialización de parámetros normativos y reglas de diseño estructurales que permitirá adquirir conocimientos de forma dinámica y práctica.

8.2 APORTES SOCIALES

Con el desarrollo de este proyecto se busca llegar a universidades, empresas, profesionales independientes e interesados para divulgar la metodología desarrollada y que así se replique los conceptos y parámetros para que se empiece a experimentar softwares de acuerdo a las necesidades de cada proyecto y/o empresa, y lograr así eficiencia y precisión alcanzando rendimientos y beneficios frente a metodologías tradicionales de tal forma que se generará un cambio de procedimientos y flujos de comunicación, responsabilidad y confianza, lo que representan los mayores retos en su aplicación

8.3 APORTES ECONÓMICOS

La industria de la construcción es un sector que ha evolucionado lentamente frente a otras industrias, es por ello que si los profesionales adoptan la metodología BIM en sus empresas y proyectos van a dinamizar la economía municipal y local logrando mayor evolución en la industria (AEC), ya que, si se desarrollan más proyectos BIM, se motiva a que cada vez se integren más empresas y se logre posicionar la metodología BIM como ya sucede en algunos países.

9. CONCLUSIONES

- La implementación de la metodología BIM en el proyecto estructural de la vivienda multifamiliar se logró desarrollar de forma exitosa obteniendo como resultado optimización de tiempo, planificación de fases de construcción, cantidades de obra exactas y un modelo BIM apto para compartir con profesionales de otras disciplinas para culminar el proceso de diseño, construcción y operación.
- Los videos realizados abrirán un precedente a la metodología BIM y permite dimensionar el alcance que se puede lograr con la aplicación de modelos 3D en la disciplina estructural y otras, logrando así que las partes involucradas se incentiven a experimentar con softwares BIM, y puedan potencializar con complementos, una biblioteca con contenido en Autodesk App Store y optimizar los flujos de trabajo BIM en los proyectos futuros.
- La cuantificación de materiales se realizó a través de una tabla de planificación, esta función permitió generar el cálculo de volúmenes de elementos de concreto y el peso de la armadura estructural del modelo BIM de forma automática y eficaz, ya que los datos son tomados directamente del modelo 3D, lo que se reduce los errores que comúnmente se cometen a la hora de cuantificar cantidades de obra de forma tradicional.
- Revit es uno de los softwares BIM más utilizados en la industria de la construcción ya que contiene un sistema intuitivo, permitiendo desarrollar procesos de forma automática, con diversas extensiones y complementos, y por ello, la guía práctica desarrollada apoyará a los profesionales y/o estudiantes a que conozcan la metodología de modelación en dicho software y puedan replicar el aprendizaje obtenido en proyectos similares o de mayor alcance.

10. RECOMENDACIONES

- El modelado de los elementos del proyecto se debe hacer en el mismo orden en el que se van a construir, lo que permitirá obtener un modelo correcto y preciso para dar continuidad al diseño de otras áreas, construcción y operación de la edificación.
- Es importante que durante el modelado de concreto y el acero de refuerzo se apoye con secciones, alzados y la vista 3D para hacer la edición y localización adecuada de los refuerzos de cada elemento y lograr así despieces estructurales y cuantificación de cantidades exactas.
- Se recomienda estar en constante búsqueda de información con relación a la metodología BIM en cuanto a softwares, complementos que permitan automatizar tareas repetitivas y demás, ya que esta metodología se proyecta como un cambio de paradigma en la industria de la construcción, y es así cómo se logrará estar a la vanguardia y suplir las necesidades del sector.

GLOSARIO

1D: en esta primera dimensión se incluye la determinación de la localización y las condiciones iniciales de la estructura. [23]

2D: es la fase de boceto, en la cual se determinan las características genéricas del proyecto. [23]

3D: en esta dimensión se comienza a evidenciar lo planteado en 1D y 2D con una visualización donde se representa todo el modelo con su geometría. [23]

4D: es la etapa en donde a cada elemento del edificio se le asocia el momento en que se prevé construirlo, lleva implícito el concepto de espacio-tiempo, por lo que de forma natural ayudan a planificar las actividades que transcurren de forma sucesiva en una misma zona de trabajo. [2]

5D: hace referencia a los costes y tiene una relación directa con el modelo 3D, ya que en general los objetos que tienen representación gráfica son los mismos componentes del edificio que aparecen en el presupuesto y, por tanto, la estructura de Desglose de Trabajo (EDT) de costes se puede obtener directamente del modelo BIM. [2]

6D: representa un tema muy importante y valor agregado a las construcciones que es el tema de sustentabilidad, simulando así el posible comportamiento energético, permitiendo un análisis para la toma de decisiones técnicas y tecnológicas para optimizar el consumo de energía y reducir así los daños al medio ambiente. [2]

7D: se refiere a la gestión del ciclo de vida del proyecto. [2]

CONSTRUCCIÓN: esta etapa se inicia con las especificaciones de BIM. Los datos logísticos de construcción del proyecto se comparten con los sectores y contratistas para garantizar una eficiencia y unos plazos óptimos. [4]

DISEÑO: se lleva a cabo el diseño conceptual, el análisis, el detallado y la documentación. El proceso previo a la construcción empieza con el uso de datos BIM para orientar al equipo de programación y logística. [2]

FAMILIA: son todos los elementos que pueden ser añadidos a un proyecto, estas tendrán una serie de propiedades según el elemento y la función que cumpla en el modelo. [23]

GESTIÓN DEL PROYECTO: hace referencia a métodos, herramientas, técnicas y las competencias necesarias para terminar el proyecto, en todas las fases del ciclo de vida, de modo que puedan tomarse todas las decisiones necesarias para

convertir la documentación del proyecto en un edificio o en una infraestructura física. [8]

INTEROPERABILIDAD: es la capacidad de intercambiar datos entre software BIM, permitiendo uniformar el flujo de trabajo y facilitando la automatización de los distintos procesos durante el ciclo de vida del proyecto. [24]

IFC: Industry Foundation Classes, es un modelo de datos estándar y abierto que define las características de los datos relacionados con el diseño, construcción, mantenimiento y operación de obras civiles. [24]

METODOLOGÍA BIM: Building Information Modeling (modelado de la información de un edificio), es la técnica de modelar un proyecto en 3D, incluyendo toda la información necesaria para analizar, definir y documentar la estructura, construir e incluso operar el edificio durante su vida útil. [13]

MODELOS DE INFORMACIÓN: conjunto de contenedores de información estructurada o no estructurada. Y un contenedor de información se define a su vez como un conjunto de información persistente y recuperable desde un archivo, sistema o aplicación de almacenamiento jerarquizado. [13]

OPERACIONES: los datos BIM se emiten a las operaciones y el mantenimiento de los activos terminados. Dichos datos se pueden emplear en etapas de renovación rentable y deconstrucciones eficientes. [2]

PLANIFICACIÓN: es la etapa donde el equipo de planificación es informado por medio de la combinación de datos reales, a través de herramientas de captura de la realidad con el fin de generar modelos en contexto de los entornos construidos y naturales existentes. [2]

PLUGINS: son complementos que en conjunto con el programa huésped brinda posibilidades de potencializar las herramientas, automatizando el proceso para lograr mayor precisión en la ejecución del modelado del proyecto. [24]

RENDER: es una representación virtual realista de un proyecto a partir de un modelo 3D. [26]

REVIT: es un software para BIM que agrupa las disciplinas de arquitectura, ingeniería y construcción en un entorno de modelado unificado para crear proyectos desde el diseño conceptual, la visualización y el análisis hasta la fabricación y la construcción. [4]

PARÁMETRO: son las propiedades de almacenamiento para texto y propiedades numéricas, incluso para clasificaciones, áreas y cantidades. [26]

BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. Prieto Muriel, «Implantación de la tecnología BIM en estudios universitarios de arquitectura e ingeniería,» Extremadura: Centro Universitario de Mérida. República de Colombia, Gobierno Nacional, 2012.
- [2] F. Valderrama y A. Mattos, Métodos de planificación y control de obras: de diagrama de barras al BIM, editorial Reverté, 2020.
- [3] D. Zou, C. Kai, X. Kong y X. Yu, «An approach integrating BIM, octree and FEM-SBFEM for highly efficient modeling and seismic damage analysis of building structures,» Engineering Analysis with Boundary Elements, vol. 104, pp. 332-346, 2019.
- [4] Autodesk, «Autodesk,» [En línea]. Available: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview>.
- [5] El Meouche, R, Rezoug, M y Hijazi, I, «Integrating and managing BIM in gis, software review,» International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. II, 2013.
- [6] P. Forest, H. Timo, R. Fruchter y M. Fischer, «Teaching construction project management with BIM support: Experience and lessons learned,» Automation in Construction, vol. II, nº 2, pp. 115-125, 2011.
- [7] J. C. Lino, M. Azenha y P. Lourenço, «Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas» 26 de outubro de 2012. [En línea]. Available: https://paginas.fe.up.pt/~be2012/Indice/BE2012/pdf-files/076_Artigo.pdf.
- [8] I. A. Cerón y D. A. Liévano Ramos, «Plan de implementación de metodología BIM en el ciclo de vida en un proyecto,» noviembre 2017. [En línea]. Available: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15347/1/PLAN%20DE%20IMPLEMENTACI%c3%93N%20DE%20METODOLOGIA%20BIM.pdf>.

- [9] M. A. Bahamon Rojas, A. M. Botero Vacca y D. F. Salazar Jimenez, «repository.ucc,» 2019. [En línea]. Available: https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/19983/4/2020_Implementacion_BIG_Programa.pdf.
- [10] D. Puche y H. Emilio, «Nuevas tecnologías en la enseñanza de la ingeniería civil: BIM y realidad virtual,» Tesis Doctoral. Universidad EAFIT, 2014.
- [11] E. Ortega Galindo, «Diseño y cálculo de instalaciones con metodología BIM. Aplicación a un templo,» Universidad de Sevilla, 2021.
- [12] J. M. Gómez Sanches, J. Romero y J. L. Tienda Ponz, «Lean and BIM Implementation in Colombia; Interactions and Lessons Learned,» In Proceedings 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), pp. 1117-1128, 2019.
- [13] J. Ogbamwen, «Gestión de proyectos de construcción mediante building information modeling (bim) e integrated project delivery (ipd). Análisis y estudio de dos casos en EE.UU,» Universidad Politécnica de Valencia, p. 171, 2016.
- [14] F. P. González Guzmán, «Beneficios de la coordinación de proyectos bim en edificios habitacionales,» Universidad de Chile, 2014.
- [15] Naviate, «Extensión de barra de refuerzo Naviate,» [En línea]. Available: <https://www.naviate.com/naviate-for-revit/naviate-rebar-extension/features>.
- [16] L. X. Sierra Aponte, «Gestión de proyectos de construcción con metodología bim,» Universidad Nueva Granada, 2016.
- [17] BIMnD, «Building new dimensions,» 13 septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.bimnd.es/tipo-software-bim-en-cada-fase/>.

CAMACOL, «CAMACOL,» 23 octubre 2018. [En línea]. Available: <https://camacol.co/comunicados/se-lanza-bim-f%C3%B3rum-colombia-una-apuesta-por-la-digitalizaci%C3%B3n-y-la-productividad-del>. [Último acceso: 16 septiembre 2021].

[18] CAMACOL, «CAMACOL,» marzo 2019. [En línea]. Available: <https://www.ccb.org.co/Clusters/Cluster-de-Construccion/Noticias/2019/Marzo-2019/Se-conocen-nuevos-detalles-sobre-la-construccion-del-CTIC>. [Último acceso: 16 Septiembre 2021].

[19] A. LATAM, «Autodesk,» 13 marzo 2019. [En línea]. Available: <https://blogs.autodesk.com/latam/2019/03/13/el-centro-de-tratamiento-e-investigacion-luis-carlos-sarmiento-angulo-ctic-busca-darle-la-batalla-al-cancer-en-colombia/>. [Último acceso: 16 septiembre 2021].

[20] R. AUTODESK, «Redshift AUTODESK,» 19 noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://redshift.autodesk.es/atricio-bogota/>. [Último acceso: 16 septiembre 2021].

[21] MAB, «MAB,» 28 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://www.mab.com.co/puente-pumarejo-un-megaproyecto-que-conto-con-interventoria-de-calidad-2/>. [Último acceso: 16 septiembre 2021].

[22] J. D. Miño Hernandez, «Implementación de la metodología BIM (Building Information Modeling) como herramienta para el control del proceso constructivo en la ampliación de la clínica cancerológica de Boyacá,» Universidad Santo Tomás, 2020.

[23] I. LTDA, «IAA BIM,» [En línea]. Available: <https://www.iaa-bim.com/servicios-bim/diseño/arquitectura/vivienda/mirador-libertador/>. [Último acceso: 16 septiembre 2021].

[24] Structuralia, «Structuralia,» [En línea]. Available: <https://blog.structuralia.com/las-7-dimensiones-del-bim-y-las-razones-para-su-dominio>.

[25] A. Duque Montilla, «revistadigital inesem,» 09 08 2017. [En línea]. Available: <https://revistadigital.inesem.es/disenio-y-artes-graficas/familias-revit/>.

[26] A. E. Eseverri, «<https://www.espaciobim.com/interoperabilidad>,» 29 06 2019. [En línea]. Available: <https://www.espaciobim.com/interoperabilidad>.

ANEXOS

ANEXO A. Volúmenes de concreto

VOLUMEN DE CONCRETO ZAPATAS				
Estructura	Dimensiones	Material	Área	Volumen total
LOSA CONTRAPISO	e= 10 cm	CONCRETO 21MPa	109 m ²	10.87 m ³
Z1	1.20X1.20x0.45m	CONCRETO 21MPa	1.44 m ²	6.48 m ³
Z2	1.60X0.80X0.45m	CONCRETO 21MPa	1.28 m ²	3.46 m ³
Z3	1.50X0.75X0.45m	CONCRETO 21MPa	1.13 m ²	1.01 m ³
Z4	1.00X2.00X0.45m	CONCRETO 21MPa	2.00 m ²	1.80 m ³
TOTAL				23.62 m ³

VOLUMEN DE CONCRETO VIGAS - VIGUETAS			
Estructura	Material	Nivel de referencia	Volumen total
VCIM45x45cm	CONCRETO 21MPa	00. CIMENTACIÓN	16.18 m ³
VIGA 30X30cm	CONCRETO 21MPa	02. SEGUNDO PISO	6.74 m ³
VIGA 30X30cm	CONCRETO 21MPa	03. TERCER PISO	6.74 m ³
VIGA 30X30cm	CONCRETO 21MPa	04. CUARTO PISO	6.74 m ³
VIGA 30X30cm	CONCRETO 21MPa	05. CUBIERTA	7.88 m ³
VIGUETA 10X30cm	CONCRETO 21MPa	02. SEGUNDO PISO	1.70 m ³
VIGUETA 10X30cm	CONCRETO 21MPa	03. TERCER PISO	1.70 m ³
VIGUETA 10X30cm	CONCRETO 21MPa	04. CUARTO PISO	1.70 m ³
TOTAL			49.41 m ³

VOLUMEN DE CONCRETO COLUMNAS				
Estructura	Material	Nivel base	Nivel superior	Volumen total
COL 30X30cm	CONCRETO 21MPa	00. CIMENTACIÓN	01. PRIMER PISO	0.59 m ³
COL 30X30cm	CONCRETO 21MPa	01. PRIMER PISO	02. SEGUNDO PISO	2.92 m ³
COL 30X30cm	CONCRETO 21MPa	02. SEGUNDO PISO	03. TERCER PISO	2.92 m ³
COL 30X30cm	CONCRETO 21MPa	03. TERCER PISO	04. CUARTO PISO	2.92 m ³
COL 30X30cm	CONCRETO 21MPa	04. CUARTO PISO	05. CUBIERTA	2.92 m ³
COL 35X35cm	CONCRETO 21MPa	00. CIMENTACIÓN	01. PRIMER PISO	0.54 m ³
COL 35X35cm	CONCRETO 21MPa	01. PRIMER PISO	02. SEGUNDO PISO	2.65 m ³
COL 35X35cm	CONCRETO 21MPa	02. SEGUNDO PISO	03. TERCER PISO	2.65 m ³
COL 35X35cm	CONCRETO 21MPa	03. TERCER PISO	04. CUARTO PISO	2.65 m ³
COL 35X35cm	CONCRETO 21MPa	04. CUARTO PISO	05. CUBIERTA	2.65 m ³
TOTAL				23.38 m ³

VOLUMEN DE CONCRETO LOSA SUP ENTREPISO					
Estructura	Dimensiones	Material	Nivel	Área	Volumen total
LOSA ENTREPISO	e= 5cm	CONCRETO 21MPa	02. SEGUNDO PISO	103 m ²	5.14 m ³
LOSA ENTREPISO	e= 5cm	CONCRETO 21MPa	03. TERCER PISO	103 m ²	5.14 m ³
LOSA ENTREPISO	e= 5cm	CONCRETO 21MPa	04. CUARTO PISO	103 m ²	5.14 m ³
TOTAL					15.42 m ³

TOTAL GENERAL	111.83 m ³
----------------------	-----------------------

ANEXO B. Dosificación de concreto

DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO					
Material	Volumen (m3)	Cemento (kg)	Arena (m3)	Grava (m3)	Agua (L)
CONCRETO 21MPa	117.62	320	0.52	0.9	170
		TOTALES			
		Cemento (Kg)	Arena (m3)	Grava (m3)	Agua (L)
		37093	60	104	19705
		Cemento (Bulto)			
		742			

ANEXO C. Peso del refuerzo estructural

	Estructura	Referencia	Φ	Cant total	Longitud	Longitud total	Masa kg/ml	Peso total (kg)
CIMENTACIÓN	Z1	Estribos	3/8"	30	0.99 m / 1.19 m	32.10 m	0.56	17.97
		Refuerzo Zapata	1/2"	100	1.31 m	131.00 m	0.99	130.21
		Refuerzo long Tramo 1	5/8"	80	6.13 m	490.40 m	1.55	761.1
	Z2	Estribos	3/8"	18	0.99 m	17.82 m	0.56	9.97
		Refuerzo Zapata	1/2"	66	0.91 m / 1.71 m	79.26 m	0.994	78.78
		Refuerzo long Tramo 1	5/8"	54	6.13 m / 6.35 m	332.34 m	1.552	515.79
	Z3	Estribos	3/8"	6	1.19 m	7.14 m	0.56	3.99
		Refuerzo Zapata	1/2"	24	0.86 m / 1.61 m	25.14 m	0.99	24.98
		Refuerzo long Tramo 1	5/8"	16	6.13 m	98.08 m	1.55	152.22
	Z4	Estribos	3/8"	6	1.19 m	7.14 m	0.56	3.99
		Refuerzo Z4	1/2"	32	1.11 m / 2.11 m	43.52 m	0.994	43.25
		Refuerzo long Tramo 1	5/8"	16	6.13 m	98.08 m	1.552	152.22
	Malla electrosoldada 150X150X6mm		1/4"	141	9.94 m/10.77 m	1457.98 m		
	T1 VCIM 45X45cm	Estribos	3/8"	326	1.31 m	427.06 m	0.56	239.15
	T1 VCIM 45X45cm	Refuerzo longitudinal	3/4"	64	4.61 m/7.32 m	383.37 m	2.235	856.83
	T2 VCIM 45X45cm	Estribos	3/8"	359	1.31 m	470.29 m	0.56	263.36
	T2 VCIM 45X45cm	Refuerzo longitudinal	3/4"	40	10.32 m	412.80 m	2.235	922.61
	TOTAL							4176.42

	Estructura	Referencia	Φ	Cant total	Longitud	Longitud total	Masa kg/ml	Peso total (kg)
1 PISO- 2 PISO	COL 30X30cm	Estribos	3/8"	252	0.99 m	249.48 m	0.56	139.70
	COL 35X35cm	Estribos	3/8"	168	1.19 m	199.92 m	0.56	111.95
	T1VIGA 30X30cm	Estribos	3/8"	481	0.99 m/1.00 m	480.05 m	0.56	268.82
	T1VIGA 30X30cm	Ref adicional	1/2"	8	7.27/11.02 m	80.6 m	0.994	80.19
	T1VIGA 30X30cm	Refuerzo long	5/8"	34	1.99/10.29 m	241.87 m	1.552	375.38
	T2VIGA 30X30cm	Estribos	3/8"	442	1.00 m	442 m	0.56	247.52
	T2VIGA 30X30cm	Ref adicional	1/2"	8	1.94/2.52 m	17.52 m	0.994	17.41
	T2VIGA 30X30cm	Refuerzo long	5/8"	24	1.79/11.2 m	192.14	1.552	298.2
	VIGA ESCALERA	Estribos	3/8"	28	1.00 m	28.00 m	0.56	15.68
	VIGA ESCALERA	Refuerzo longitudinal	1/2"	4	2.81 m	11.18 m	0.994	11.11
	ESCALERA	Refuerzo transversal	3/8"	37	0.92 m	34.04 m	0.56	19.06
	ESCALERA	Refuerzo longitudinal	1/2"	52	1.31 m / 3.23 m	118.55 m	0.994	117.84
	Malla electrosoldada 150X150X6mm		1/4"	175	1.20 m / 10.81 m	1392.84 m		
	VIGUETAS 10X30cm	Estribos	3/8"	558	0.42 m	234.36 m	0.56	131.24
	VIGUETAS 10X30cm	Refuerzo longitudinal	1/2"	16	7.27 m/11.01 m	161.20 m	0.994	160.23
	TOTAL							1994.33

	Estructura	Referencia	Φ	Cant total	Longitud	Longitud total	Masa	
							kg/ml	Peso total (kg)
2 PISO- 3 PISO	COL 35X35cm	Estribos	3/8"	168	1.19 m	199.92 m	0.56	111.9552
	COL 35X35cm	Refuerzo long Tramo 2	5/8"	62	7.00 m	434.00 m	1.552	673.568
	COL 30X30cm	Estribos	3/8"	252	0.99 m	249.48 m	0.56	139.70
	COL 30X30cm	Refuerzo longTramo 2	5/8"	102	7.00 m	714.00 m	1.552	1108.128
	T1VIGA 30X30cm	Estribos	3/8"	481	0.99 m/1.00 m	480.05 m	0.56	268.82
	T1VIGA 30X30cm	Ref adicional	1/2"	8	7.27/11.02 m	80.67 m	0.994	80.19
	T1VIGA 30X30cm	Refuerzo long	5/8"	34	1.99/10.29 m	241.87 m	1.552	375.38
	T2VIGA 30X30cm	Estribos	3/8"	442	0.99 m	442 m	0.56	247.52
	T2VIGA 30X30cm	Ref adicional	1/2"	8	1.94/2.52 m	17.52 m	0.994	17.41
	T2VIGA 30X30cm	Refuerzo long	5/8"	24	1.79/11.2 m	192.14	1.552	298.2
	VIGA ESCALERA	Estribos	3/8"	28	0.99 m	28.00 m	0.56	15.68
	VIGA ESCALERA	Refuerzo longitudinal	1/2"	4	2.81 m	11.18 m	0.994	11.11
	ESCALERA	Refuerzo transversal	3/8"	37	0.92 m	34.04 m	0.56	19.06
	ESCALERA	Refuerzo longitudinal	1/2"	52	1.31 m / 3.23 m	118.55 m	0.994	117.84
	Malla electrosoldada 150X150X6mm		1/4"	175	1.20 m / 10.81 m	1392.84 m		
	VIGUETAS 10X30cm	Estribos	3/8"	558	0.42 m	234.36 m	0.56	131.24
	VIGUETAS 10X30cm	Refuerzo longitudinal	1/2"	16	7.27 m/11.01 m	161.20 m	0.994	160.23
	TOTAL							3776.0312

	Estructura	Referencia	Φ	Cant total	Longitud	Longitud total	Masa kg/ml	Peso total (kg)
3 PISO- 4 PISO	COL 30X30cm	Estribos	3/8"	252	0.99 m	249.48 m	0.56	139.70
	COL 35X35cm	Estribos	3/8"	168	1.19 m	199.92 m	0.56	111.95
	T1VIGA 30X30cm	Estribos	3/8"	481	0.99 m/1.00 m	480.05 m	0.56	268.82
	T1VIGA 30X30cm	Ref adicional	1/2"	8	7.27/11.02 m	80.67 m	0.994	80.19
	T1VIGA 30X30cm	Refuerzo long	5/8"	34	1.99/10.29 m	241.87 m	1.552	375.38
	T2VIGA 30X30cm	Estribos	3/8"	442	0.99 m	442 m	0.56	247.52
	T2VIGA 30X30cm	Ref adicional	1/2"	8	1.94/2.52 m	17.5 m	0.994	17.41
	T2VIGA 30X30cm	Refuerzo long	5/8"	24	1.79/11.2 m	192.14	1.552	298.2
	VIGA ESCALERA	Estribos	3/8"	28	0.99 m	28.00 m	0.56	15.68
	VIGA ESCALERA	Refuerzo longitudinal	1/2"	4	2.81 m	11.18 m	0.994	11.11
	ESCALERA	Refuerzo transversal	3/8"	37	0.92 m	34.04 m	0.56	19.06
	ESCALERA	Refuerzo longitudinal	1/2"	52	1.31 m / 3.23 m	118.55 m	0.994	117.84
	Malla electrosoldada 150X150X6mm		1/4"	175	1.20 m / 10.81 m	1392.84 m		
	VIGUETAS 10X30cm	Estribos	3/8"	558	0.42 m	234.36 m	0.56	131.24
	VIGUETAS 10X30cm	Refuerzo longitudinal	1/2"	16	7.27 m/11.01 m	161.20 m	0.994	160.23
	TOTAL							1994.33

	Estructura	Referencia	Φ	Cant total	Longitud	Longitud total	Masa kg/ml	Peso total (kg)
4PISO-CUBIERTA	COL 30X30cm	Estribos	3/8"	252	0.99 m	249.48 m	0.56	139.70
	COL 30X30cm	Refuerzo long Tramo 3	5/8"	96	2.10 m	201.60 m	1.552	312.88
	COL 35X35cm	Estribos	3/8"	168	1.19 m	199.92 m	0.56	111.95
	COL 35X35cm	Refuerzo long Tramo 3	5/8"	64	2.10 m	134.40 m	1.552	208.58
	T1VIGA 30X30cm	Estribos	3/8"	481	0.99 m	480.05 m	0.56	268.82
	T1VIGA 30X30cm	Ref adicional	1/2"	8	7.27/11.02 m	80.67 m	0.994	80.19
	T1VIGA 30X30cm	Refuerzo long	5/8"	34	1.99/10.29 m	241.8 m	1.552	375.38
	T2VIGA 30X30cm	Estribos	3/8"	442	0.99 m	442 m	0.56	247.52
	T2VIGA 30X30cm	Ref adicional	1/2"	8	1.94/2.52 m	17.52 m	0.994	17.41
	T2VIGA 30X30cm	Refuerzo long	5/8"	24	1.79/11.2 m	192.14	1.552	298.2
	TOTAL							2060.63
TOTAL GENERAL							14001.74	



NOMBRE DEL PROYECTO:

Vivienda Multifamiliar
Tunja - Boyacá

ESPECIFICACIONES DE
LOS MATERIALES:

Concreto f_c : 21 MPa
Acero f_y : 420 MPa

FIRMA DEL APODERADO:

CONTENIDO:

Planta de vigas aéreas
Despiece de columnas
Despiece de vigas
Detalle losa aligerada

OBSERVACIONES:

Proyecto con capacidad de
Disipación de energía Especial

Nivel de importancia: 1

Carga viva placa: 1.8 kN

Carga viva cubierta: 0.5 kN

Concreto con relación A/C: 0.45

Tamaño máximo de agregado: 3/4"

REVISIONES:

Nº	Descripción	Fecha

Aprobado por:

Diseñado por:

Dibujado por:

Como se indica

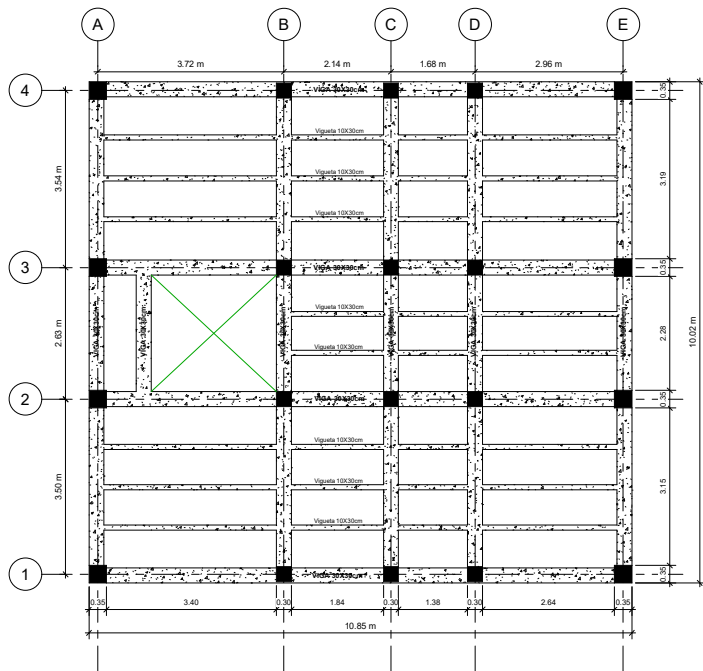
Escala

Como se indica

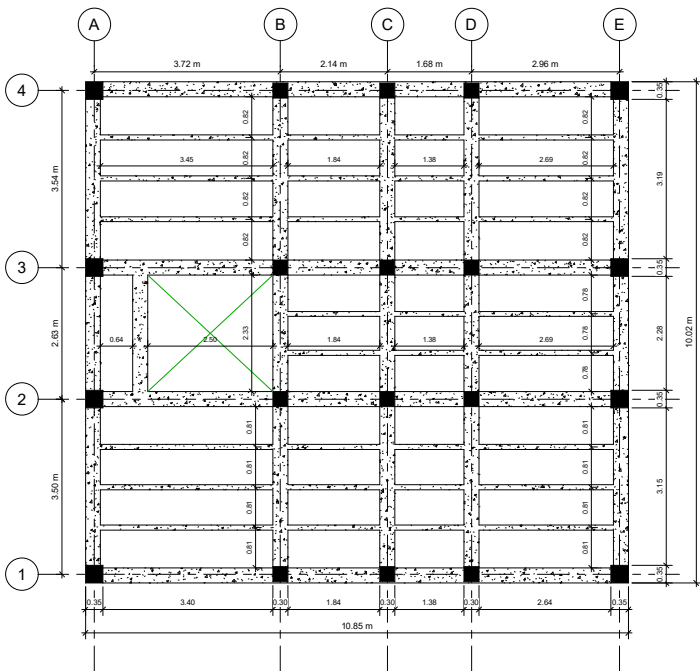
S.2

S.5

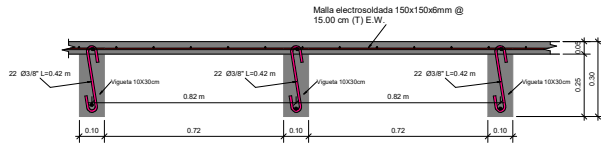
17/08/2021 1:12:31 p. m.



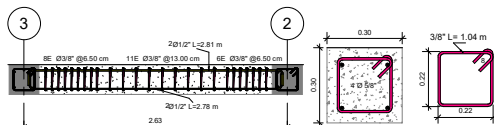
1 PLANTA VIGAS AÉREAS.
1 : 50



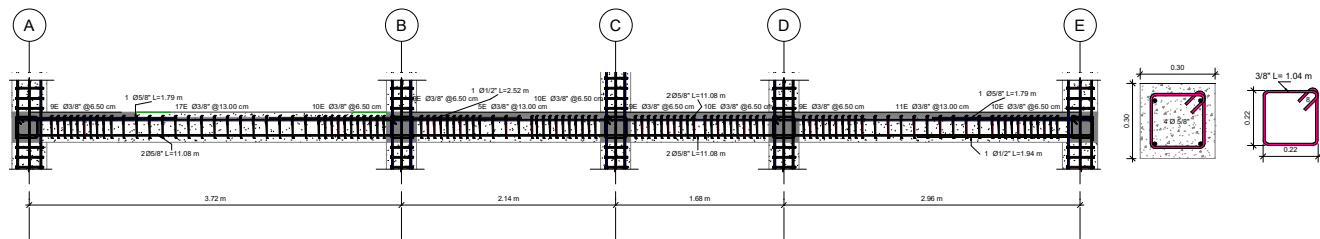
2 PLANTA VIGAS AÉREAS
1 : 50



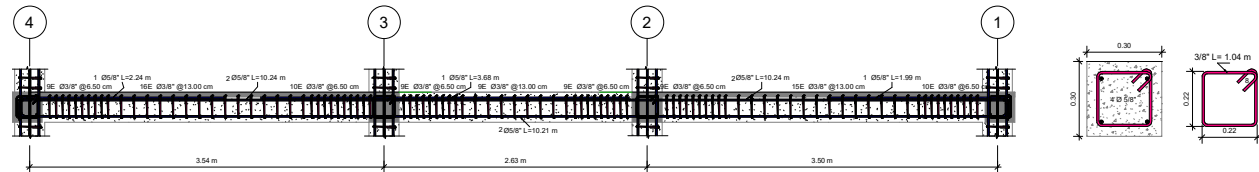
3 LOSA ALIGERADA
1 : 10



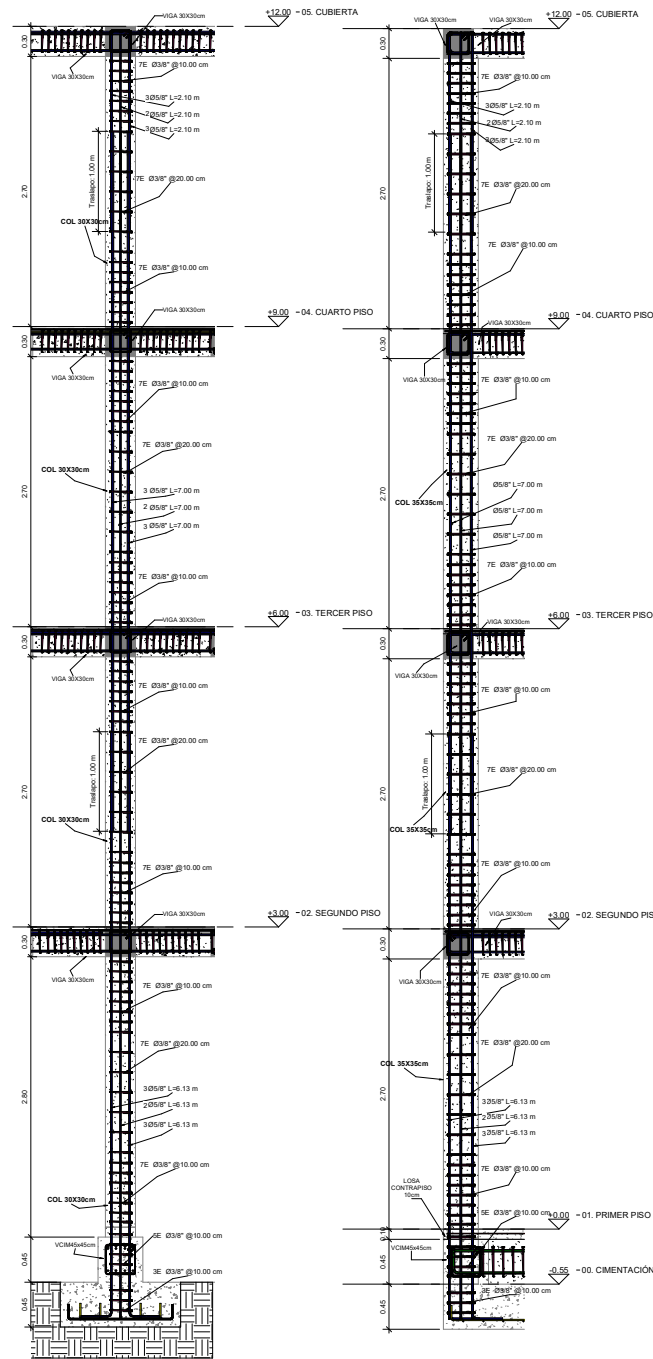
14 DETALLE VIGA ESCALERA
1 : 25



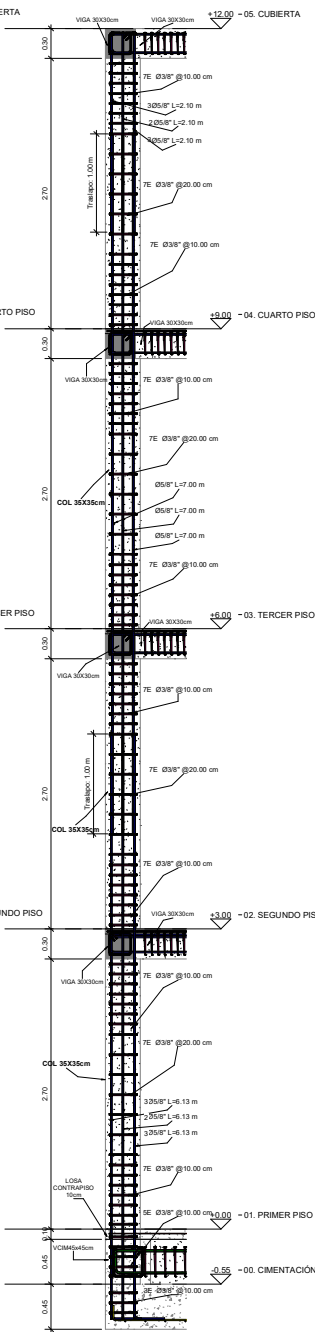
5 DETALLE VIGA T1
1 : 25



4 DETALLE VIGA T2
1 : 25



10 CORTE COL 30X30 cm
1 : 25



11 CORTE COL 35X35 cm
1 : 25



NOMBRE DEL PROYECTO:

Vivienda Multifamiliar
Tunja - Boyacá

ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES:

Concreto f_c : 21 MPa
Acero f_y : 420 MPa

FIRMA DEL APODERADO:

CONTENIDO:

Despiece de viguetas
Despiece de escalera
Vista 3D
Detalle nodo

OBSERVACIONES:

Proyecto con capacidad de
Disipación de energía Especial
Nivel de importancia: 1
Carga viva placa: 1.8 kN
Carga viva cubierta: 0.5 kN
Concreto con relación A/C: 0.45
Tamaño máximo de agregado: 3/4"

REVISIONES:

Nº	Descripción	Fecha

Aprobado por:

Diseñado por:

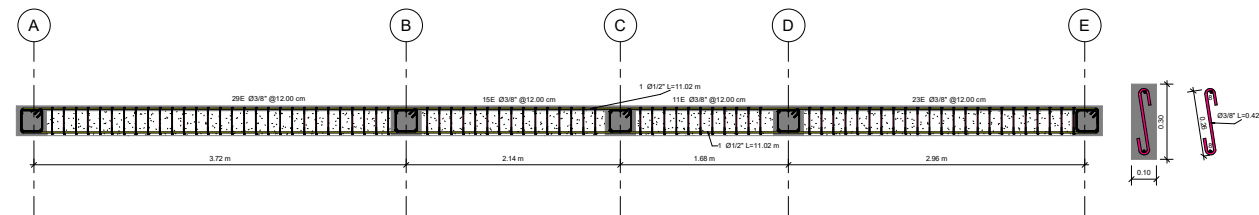
Dibujado por:
Como se indica

Escala
Como se indica

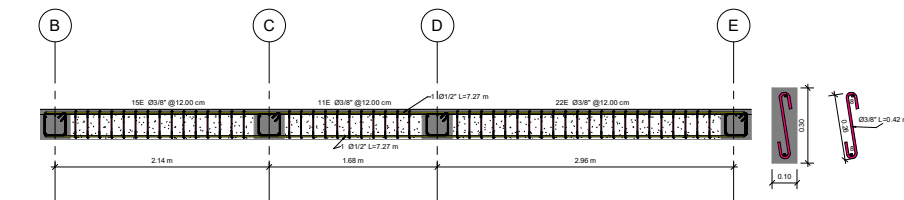
S.3

S.5

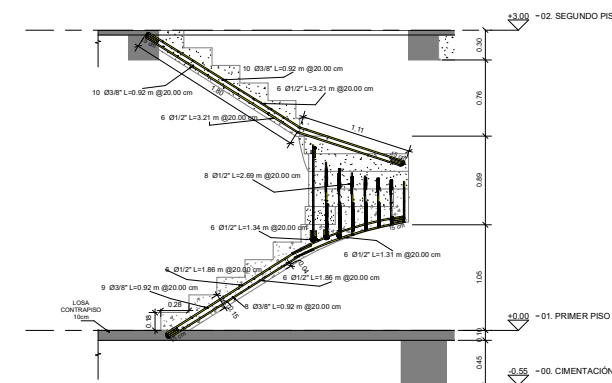
17/08/2021 1:14:08 p. m.



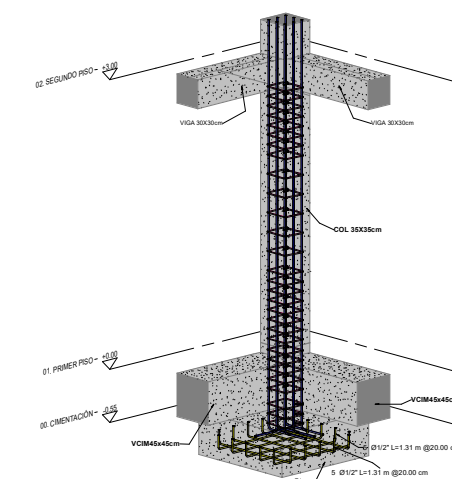
1 DETALLE VIGUETA T1
1 : 25



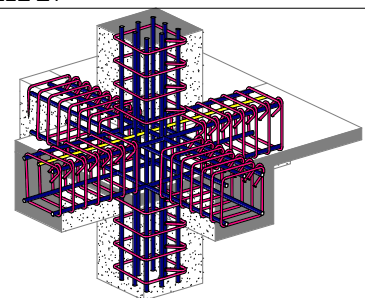
2 DETALLE VIGUETA T2
1 : 25



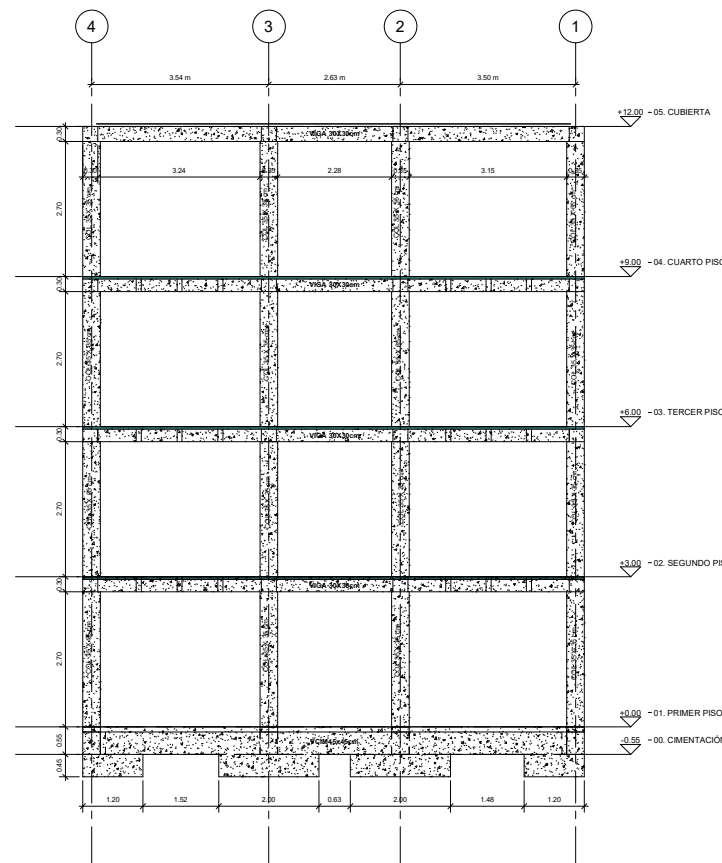
7 DETALLE ESCALERA
1 : 25



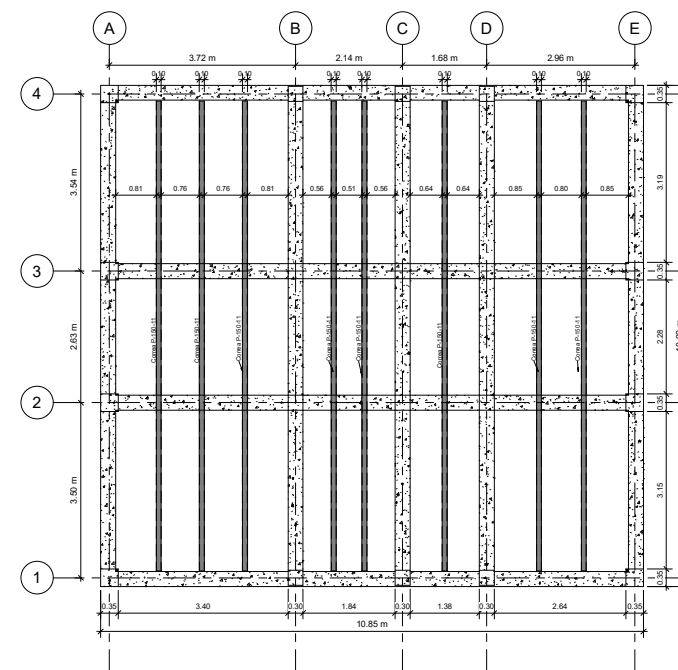
10 DETALLE Z1



9 NODO



8 CORTE A-A
1 : 50



11 PLANTA DE CUBIERTA
1 : 50

**NOMBRE DEL PROYECTO:**

Vivienda Multifamiliar
Tunja - Boyacá

**ESPECIFICACIONES DE
LOS MATERIALES:**

Concreto f_c : 21 MPa
Acero f_y : 420 MPa

FIRMA DEL APODERADO:**CONTENIDO:**

Fases constructivas

OBSERVACIONES:

Proyecto con capacidad de
Disipación de energía Especial

Nivel de importancia: 1

Carga viva placa: 1.8 kN

Carga viva cubierta: 0.5 kN

Concreto con relación A/C: 0.45

Tamaño máximo de agregado: 3/4"

REVISIONES:

Nº	Descripción	Fecha

Aprobado por:

Diseñado por:

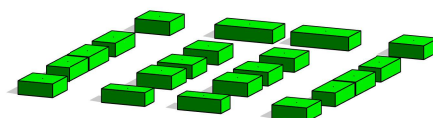
Dibujado por:

Escala

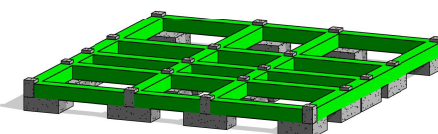
S.4

S.5

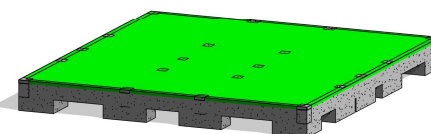
17/08/2021 1:14:33 p. m.



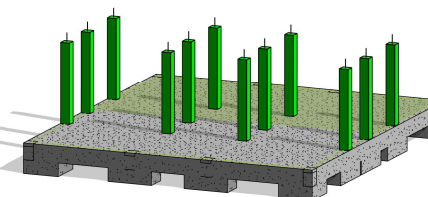
1 FASE 1



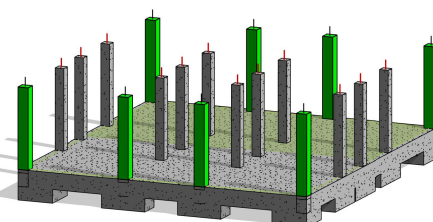
2 FASE 2



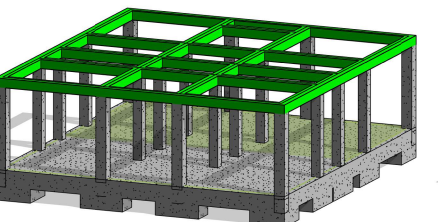
3 FASE 3



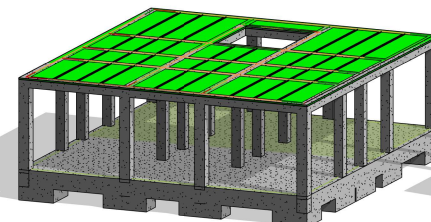
4 FASE 4



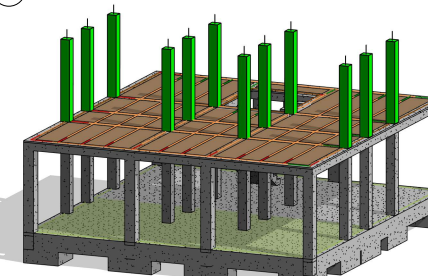
5 FASE 5



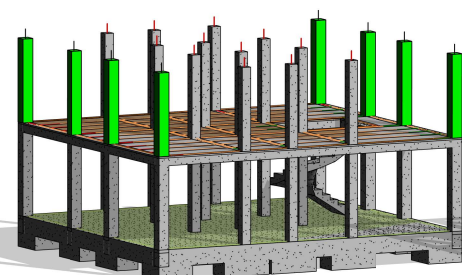
6 FASE 6



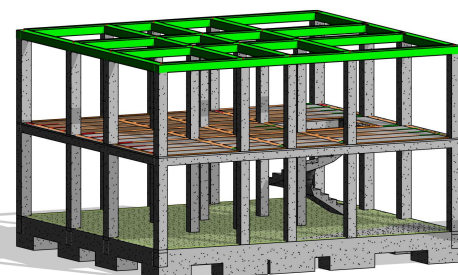
7 FASE 7



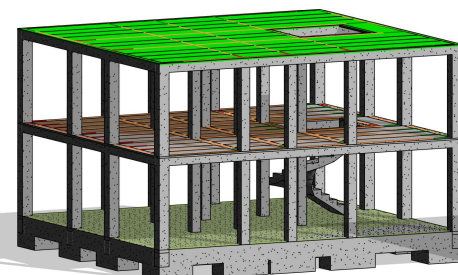
8 FASE 8



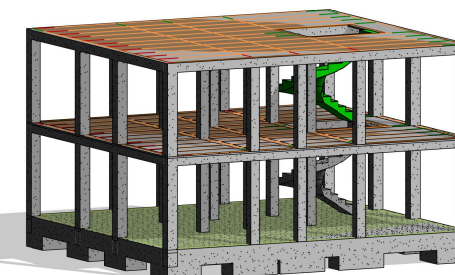
9 FASE 9



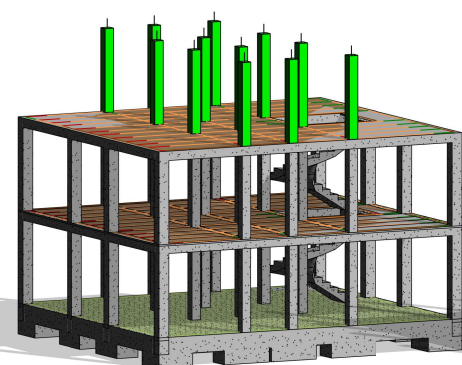
10 FASE 10



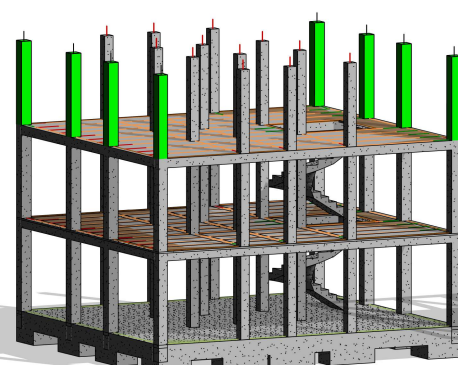
11 FASE 11



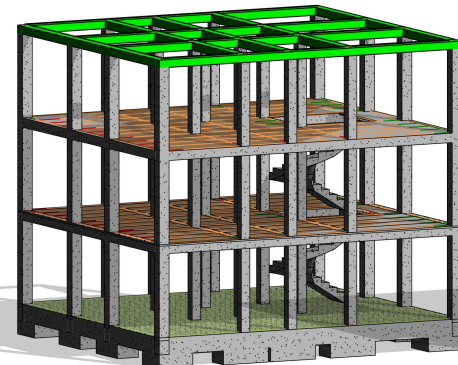
12 FASE 12



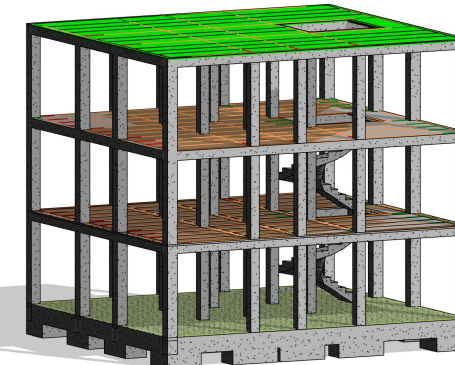
13 FASE 13



14 FASE 14



15 FASE 15



16 FASE 16



NOMBRE DEL PROYECTO:

Vivienda Multifamiliar
Tunja - Boyacá

**ESPECIFICACIONES DE
LOS MATERIALES:**

Concreto f_c : 21 MPa
Acero f_y : 420 MPa

FIRMA DEL APODERADO:

CONTENIDO:

Fases constructivas

OBSERVACIONES:

Proyecto con capacidad de
Disipación de energía Especial

Nivel de importancia: 1

Carga viva placa: 1.8 kN

Carga viva cubierta: 0.5 kN

Concreto con relación A/C: 0.45

Tamaño máximo de agregado: 3/4"

REVISIONES:

Nº	Descripción	Fecha

Aprobado por:

Diseñado por:

Dibujado por:

1 : 1

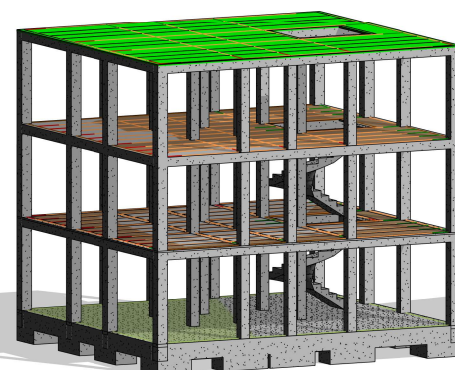
Escala

1 : 1

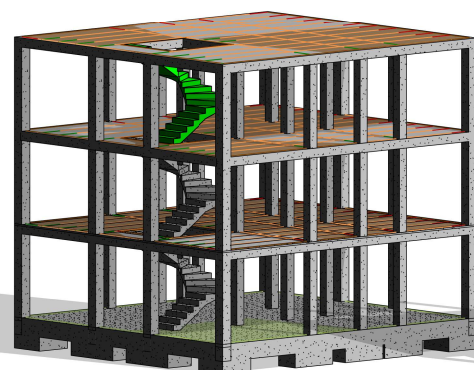
S.5

S.5

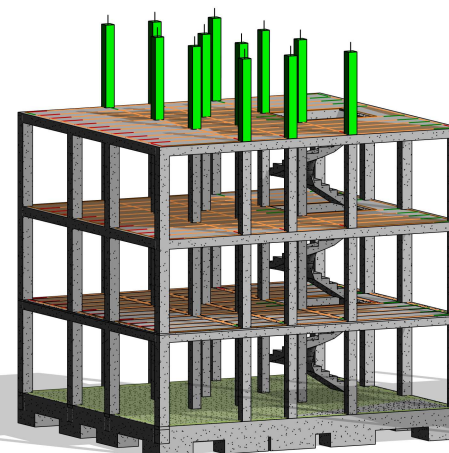
17/08/2021 9:34:01 p. m.



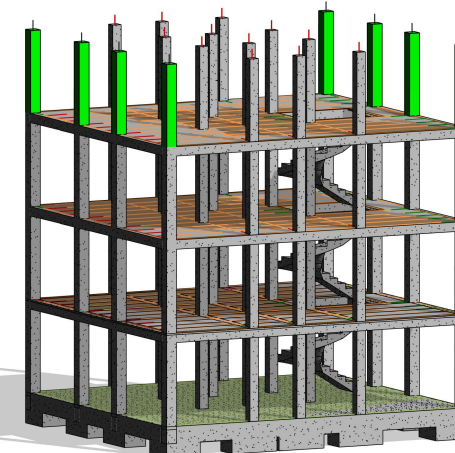
1 FASE 17



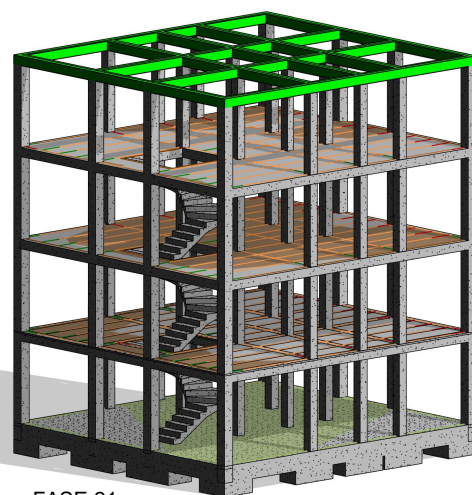
2 FASE 18



3 FASE 19



4 FASE 20



5 FASE 21

ACERO ZAPATAS Z1						
Marca	Cantidad	Diámetro de barra	Longitud de barra	A	B	Imagen
Refuerzo Z1	5	1/2"	1.31 m	0.15	1.05 m	

20
20

ACERO ZAPATAS Z2						
Marca	Cantidad	Diámetro de barra	Longitud de barra	A	B	Imagen
Refuerzo Z2	4	1/2"	1.71 m	0.15	1.45 m	
Refuerzo Z2	7	1/2"	0.91 m	0.15	0.65 m	

12
Total general: 12

ACERO ZAPATAS Z3						
Marca	Cantidad	Diámetro de barra	Longitud de barra	A	B	Imagen
Refuerzo Z3	3	1/2"	1.61 m	0.15	1.35 m	
Refuerzo Z3	9	1/2"	0.86 m	0.15	0.60 m	

4
Total general: 4

ACERO ZAPATAS Z4						
Marca	Cantidad	Diámetro de barra	Longitud de barra	A	B	Imagen
Refuerzo Z4	4	1/2"	2.11 m	0.15	1.85 m	
Refuerzo Z4	12	1/2"	1.11 m	0.15	0.85 m	

4
Total general: 4

DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO					
MATERIAL	VOLUMEN (m3)	CEMENTO (Kg)	Arena (m3)	Grava (m3)	Agua (L)
		320	0.52	0.9	170
		TOTALES			
		CEMENTO (Kg)	Arena (m3)	Grava (m3)	Agua (L)
CONCRETO 21MPa	117.62	37093	60	104	19705
		CEMENTO (Bulto)			
		742			

Diámetro pulgadas	Gancho 90°			Gancho 180°		
	D	L	C	L	C	M
1/2"	7.6	20	18.1	15	12	10.2
3/8"	9.5	25	22.7	20	13	12.7
5/8"	11.5	30	27.2	25	150	15.3
3/4"	13.3	35	31.7	30	180	17.8

TABLA DE REFUERZOS	
Vigas aéreas=	40 mm
Columnas=	40 mm
Zapatas=	75 mm
Losas=	20 mm
Escalera=	40mm