

**MANUAL PARA LA EJECUCIÓN DE UN PROYECTO DE VIVIENDA CON
SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO, BAJO LA METODOLOGÍA BIM:
FASE 1 - ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y MODELADO.**

JOHAN SEBASTIAN JAIMES



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL, AMBIENTAL Y QUIMICA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
PAMPLONA**

2022

**MANUAL PARA LA EJECUCIÓN DE UN PROYECTO DE VIVIENDA CON
SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO, BAJO LA METODOLOGÍA BIM:
FASE 1 - ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y MODELADO.**

JOHAN SEBASTIAN JAIMES

Msc - VÍCTOR HUGO VERJEL

Trabajo de Grado realizado para optar por el título de Ingeniero Civil



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL, AMBIENTAL Y QUIMICA

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

PAMPLONA

2022

DEDICATORIA DE MI TRABAJO DE GRADO

Abuela, sabes que esta y cada una de las cosas que me propongo y sigo cumpliendo siempre serán por Ti y para Ti, eres mi orgullo y motivación para seguir creciendo en lo personal y profesional, agradezco por tu dedicación, valentía, buen ejemplo y sobre todo por la entrega que siempre pusiste para sacarme adelante, perdona por no haberte colaborado un poco más, en mis planes siempre estuvo recompensarte por todo lo que hiciste por mí, pero no me diste el tiempo.



Abuela, Gracias por ser la persona que más confió en mí. Gracias por apoyarme. Gracias por cuidar de mí. Gracias por no dejarme solo cuando muchos no pensaban que renunciaría a mis sueños. Gracias por sentirte orgullosa de mis logros, que también son y serán siempre tuyos. Gracias por todo lo que diste por mí.

TE AMO Y EXTRAÑO.

Y recuerda:

Siempre por Ti, Solo por Ti, Nonita.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	
Abstract.....	
Introducción.....	
1 Planteamiento del problema	2
1.1 Justificación	3
1.2 Formulación del problema.....	3
2 Objetivos.....	4
2.1 Objetivo general	4
2.2 Objetivos específicos	4
3 Marco referencial.....	5
3.1 Marco contextual	5
3.1.1 Localización del proyecto	5
3.2 Estado del arte	6
3.3 Marco teórico.....	10
3.3.1 Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10.....	10
3.3.2 Condiciones que debe cumplir una construcción sismo resistente	11
3.3.3 Tipo de sistema estructural, softwares de análisis y de construcción virtual.....	13
3.3.4 Robot Structural	14
3.3.5 Revit.....	14
3.3.6 Building Information Modeling (BIM).....	14
3.3.7 Diseños de una vivienda:	19
3.4 Marco conceptual	20
3.4.1 Definición de conceptos.....	20
4 Metodología.....	22
4.1 Fase 1: Análisis de los requisitos y procesos necesarios para realizar el diseño estructural tipo aporticado de una edificación de acuerdo a lo que indica la NSR-10.	22
4.1.1 Actividad 1: Estudio del título A – NSR10.	22
4.1.2 Actividad 2: Estudio del título B – NSR10.....	22
4.1.3 Actividad 3: Estudio del título C – NSR10.....	23
4.2 Fase 2: Realización el diseño estructural tipo aporticado de una edificación siguiendo los procedimientos que indica la NSR-10 y con ayuda de Robot Structural.....	23

4.2.1	Actividad 4: Diseño arquitectónico y estudio de suelos	23
4.2.2	Actividad 5: Procedimiento de diseño	25
4.3	Fase 3: Describir el flujo de trabajo del software de análisis estructural (Robot Structural) y del software de construcción virtual (Revit), para el análisis y modelación de un proyecto estructural tipo aporticado.	39
4.3.1	Alistamiento de los planos iniciales.....	39
4.3.2	Modelado en Revit.....	42
	Niveles del proyecto.	43
	Importación de los archivos DWG.	43
	Creación de las secciones de los elementos.....	45
	Creación de la rejilla o ejes de referencia.....	47
	Modelado de las vigas.	49
	Modelado de las losas.....	50
	Modelado de las viguetas.	50
	Modelado de toda la edificación.....	52
4.3.3	Análisis estructural en Robot.....	54
	Configuración de las preferencias del proyecto.	56
	Tipo de apoyos de los elementos estructurales.....	56
	Creación de los casos de carga.	57
	Asignación de cargas muertas y cargas vivas.....	60
	Combinaciones de carga.....	61
	Corrida del modelo.	62
	Periodo fundamental de la edificación	64
	Masa de la edificación	65
4.3.4	Diseño de hormigón armado.....	68
	Armadura teórica de barras.....	68
	Armadura real de las barras	75
	Armadura teórica de los paneles.....	78
4.3.5	Integración resultados del diseño estructural al modelado del proyecto	81
5	Resultados y análisis de resultados.....	84
5.1	Resultados fase 1: Análisis de los requisitos y procesos necesarios para realizar el diseño estructural tipo aporticado de una edificación de acuerdo a lo que indica la NSR-10..	84

5.1.1	Actividad 1: Título A – NSR10: Requisitos generales de diseño y construcción sísmo resistente.	84
5.1.2	Actividad 2: Título B – NSR10: Cargas.	90
5.1.3	Actividad 3: Título C - NSR10: Concreto estructural.	92
5.2	Resultado fase 2: Realización el diseño estructural tipo aporticado de una edificación siguiendo los procedimientos que indica la NSR-10 y con ayuda del software Robot Structural.	95
5.2.1	Actividad 4: Diseño arquitectónico y estudio de suelos	95
5.2.2	Actividad 5: Procedimiento de diseño	95
5.3	Resultados fase 3: Describir el flujo de trabajo del software de análisis estructural (Robot Structural) y del software de construcción virtual (Revit), para el análisis y modelación de un proyecto estructural tipo aporticado.....	105
5.3.1	Datos del proyecto y alistamiento de la información.....	105
5.3.2	Análisis estructural del proyecto en Robot Structural	105
6	Conclusiones.....	107
7	Recomendaciones	109
8	Referencias bibliográficas	110
9	Anexos	114
10	Apéndices	114

Lista de figuras

Figura 1: Localización del proyecto.	5
Figura 2: Ciclo de vida del modelo BIM.	16
Figura 3: Vista en planta primer piso.	24
Figura 4: Diseño de losas de entrepiso.	26
Figura 5: Zonas de amenaza sísmica en Colombia.....	32
Figura 6: Archivo DWG recibido del diseñador arquitectónico.....	40
Figura 7: Archivo planta 1.....	40
Figura 8: Archivo planta 2, 3 y 4.....	41
Figura 9: Archivo planta cubierta.....	41
Figura 10: Vista frontal.	42
Figura 11: Plantilla estructural.	42
Figura 12: Niveles del proyecto.	43
Figura 13: Importación de la planta 1.....	44
Figura 14: Plantas importadas.	44
Figura 15: Sección de vigas de entrepiso.	45
Figura 16: Sección columnas.....	45
Figura 17: Sección losa de entrepiso.	46
Figura 18: Vista de las secciones creadas.....	46
Figura 19: Creación de los ejes de referencia.....	47
Figura 20: Ejes de referencia creados.....	47
Figura 21: Modelado de las columnas.....	48
Figura 22: Resultados del modelado de columnas.	49
Figura 23: Modelado de las vigas.....	49
Figura 24: Modelado de las losas.	50
Figura 25: Modelado de las viguetas.....	51

Figura 26: Resultados del modelado.	51
Figura 27: Copia del modelado a los demás niveles.	52
Figura 28: Proyecto modelado.....	53
Figura 29: Creación del modelo analítico.....	54
Figura 30: Vincular proyecto modelado en Revit con Robot Structural	55
Figura 31: Resultados de vincular el modelo con robot.	55
Figura 32: Preferencias del proyecto.	56
Figura 33: Apoyos empotrados.....	57
Figura 34: Layout cargas.	57
Figura 35: Casos de carga muerta y viva.....	58
Figura 36: Creación de tipos de análisis.	59
Figura 37: Tipo de análisis espectral.	59
Figura 38: Asignación de las cargas muertas.	60
Figura 39: Asignación del peso propio de los elementos.	61
Figura 40: Tabla de combinaciones de carga.	61
Figura 41: Mallado de las losas.	62
Figura 42: Generación del mallado.	63
Figura 43: Corrida inicial.	63
Figura 44: Resultados del análisis de las vibraciones.....	64
Figura 45: Masa de la edificación.....	65
Figura 46: Desplazamientos de la edificación.	66
Figura 47: Diagramas de momentos.	67
Figura 48: Diagramas de esfuerzos.	67
Figura 49: Definición de tipo de barra columna.....	68
Figura 50: Definición de tipo de barra viga.....	69
Figura 51: Parámetros de armadura longitudinal.	69
Figura 52: Parámetros de armadura transversal.	70
Figura 53: Selección de vigas para el diseño de la armadura teórica.	70

Figura 54: Cálculo de la armadura teórica vigas.	71
Figura 55: Armadura teórica vigas.	71
Figura 56: Cálculo de la armadura teórica columnas.	72
Figura 57: Armadura teórica columnas.	72
Figura 58: Refuerzo proporcionado de elementos.....	73
Figura 59: Combinaciones para el diseño.....	73
Figura 60: Informe del diseño teórico del elemento.....	74
Figura 61: Plano de ejecución del elemento.....	74
Figura 62: Diámetro de la armadura longitudinal.	75
Figura 63: Diámetro de la armadura transversal.	76
Figura 64: Parámetros para la disposición de armaduras acero longitudinal.	76
Figura 65: Parámetros para la disposición de armaduras acero transversal.	77
Figura 66: Acero real.....	77
Figura 67: Parámetros de la armadura de la losa.....	78
Figura 68: Área de refuerzo en las losas.....	79
Figura 69: Acero en las secciones de las losas.	79
Figura 70: Opciones de cálculo.	80
Figura 71: Parámetros de la armadura.....	80
Figura 72: Dibujo de disposición de la armadura.....	81
Figura 73: Integración Robot y Revit.	82
Figura 74: Integración Robot y Revit.	82
Figura 75: Resultados de la integración Robot y Revit.	83
Figura 76: Diseño de la losa de entepiso.....	97
Figura 77: Diseño de la losa de cubierta.	97
Figura 78: Sección de vigas y columnas.	100
Figura 79: Espectro de diseño.	101
Figura 80: Modelado del proyecto en Robot.....	106

Lista de Tablas

Tabla 1: Estado del arte.	7
Tabla 2: Cargas muertas según NSR10.	29
Tabla 3: Irregularidades en planta según NSR10.	36
Tabla 4: Irregularidades en altura según NSR10.....	37
Tabla 5: Recopilación de información del título A de la NSR10.	85
Tabla 6: Recopilación de información del título B de la NSR10.	90
Tabla 7: Recopilación de información del título B de la NSR10.	92
Tabla 8: Luces críticas y espesor según tipos de apoyo del entrepiso.....	96
Tabla 9: Luces críticas y espesor según tipos de apoyo de la cubierta.....	96
Tabla 10: Masa participante, centros de masa y rigidez obtenidos de Robot.....	101
Tabla 11: Fuerzas sísmicas de piso.....	102
Tabla 12: Valores obtenidos para cada modo de vibración.....	103
Tabla 13: Combinaciones de diseño de los elementos.	104

Lista de ecuaciones

Ecuación 1: Espesor mínimo para vigas simplemente apoyadas.	26
Ecuación 2: Espesor mínimo para vigas con un extremo continuo.	26
Ecuación 3: Espesor mínimo para vigas con dos extremos continuos.	26
Ecuación 4: Espesor mínimo entrepiso.	26
Ecuación 5: Separación entre viguetas.	27
Ecuación 6: Disposición de vigas riostra.	28
Ecuación 7: Separación libre entre viguetas.	28
Ecuación 8: Altura de la loseta	28
Ecuación 9: Altura de las viguetas.	28
Ecuación 10: Sa para periodos cortos.	31
Ecuación 11: Sa para periodos intermedios.	31
Ecuación 12: Periodo inicial T_0	31
Ecuación 13: Periodo corto T_C	31
Ecuación 14: Periodo largo T_L	31
Ecuación 15: Cálculo de C_u	34
Ecuación 16: Cálculo de T_a	34
Ecuación 17: Cortante basal.	34
Ecuación 18: Fuerza sísmica.	35
Ecuación 19: Combinaciones.	99

Resumen

El presente proyecto consiste en elaborar un manual para los profesionales de la construcción y para el público en general, en el que se muestren los procedimientos necesarios para realizar el análisis y diseño de un proyecto de vivienda con sistema estructural tipo aporticado, haciendo uso de los softwares Revit y Robot Structural.

Para la realización del proyecto estructural es importante conocer los requisitos mínimos que disponen las normativas colombianas y en especial lo que dispone el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, por ello antes de empezar con el diseño e incluso para entender algunas definiciones y procedimientos, es necesario estudiar esta normativa en los diferentes títulos que abarca el diseño estructural de una vivienda, en especial los títulos A, B y C de la NSR-10, denominados Requisitos generales de diseño y construcción sismorresistente, Cargas y Concreto estructural, respectivamente.

Mediante el trabajo realizado, se implementa parte de los resultados del proceso estudiantil y se comienza a hacer uso de algunos de los softwares presentes en el mercado, los cuales ayudan a los profesionales a ser más competentes y eficaces en el desarrollo de sus tareas, destacando que Revit al ser un software de diseño inteligente que permite el trabajo colaborativo entre las distintas disciplinas, nos direcciona para comenzar a hacer uso de la metodología BIM (Building Information Modeling).

Palabras clave: Sismoresistencia; NSR-10; Título A; Título C; Proyecto; BIM.

Abstract

The present project consists of preparing a manual for construction professionals and for the general public, in which the necessary procedures are shown to carry out the analysis and design of a housing project with a frame-type structural system, making use of the Revit and Robot Structural software.

To carry out the structural project, it is important to know the minimum requirements provided by Colombian regulations and especially what is provided by the Colombian Regulation for Earthquake Resistant Construction NSR-10, therefore before starting with the design and even to understand some definitions and procedures , it is necessary to study this regulation in the different titles covered by the structural design of a home, especially titles A, B and C of the NSR-10, called General Requirements for Seismic Resistant Design and Construction, Loads and Structural Concrete, respectively.

Through the work carried out, part of the results of the student process is implemented and some of the software present in the market begins to be used, which helps professionals to be more competent and effective in the development of their tasks, highlighting that Revit, being an intelligent design software that allows collaborative work between different disciplines, directs us to start making use of the BIM (Building Information Modeling) methodology.

Keywords: Earthquake resistance; NSR-10; Title A; Title C; Project; BIM.

Introducción

Con el paso del tiempo la tecnología sigue avanzando y permite con ello resolver de manera más sencilla los percances a la hora de realizar diversos procesos. El uso de la tecnología en el área de la construcción se basa principalmente en el desarrollo y uso de diferentes softwares de planeación, dibujo, modelado, análisis, diseño y demás, con los cuales realizar una determinada tarea lleva menos tiempo que realizarlo de forma manual, resultando esto en una optimización de tiempos y permitiendo a los profesionales de la construcción ser más eficaces y competitivos en el mercado.

En todo proyecto de Ingeniería Civil es necesario contar un diseño estructural, hoy en día esta tarea es realizada con ayuda de los diferentes softwares de análisis estructural existentes en el mercado entre los cuales tenemos Cypecad, Sap2000, Midas, ETABS, Tekla, “**Robot**”, entre otros. Además, con el surgimiento de nuevas metodologías, se hace necesario modelar los proyectos con el fin de prevenir cualquier tipo de interferencias entre las diferentes disciplinas, algo que se logra con ayuda de los software de construcción virtual, de los cuales contamos en el mercado con SketchUP, ArchiCAD, Solidworks, Rhinoceros, “**Revit**” y demás.

Autodesk es una compañía estadounidense dedicada al software de diseño en 2D y 3D, misma que permite a los usuarios acceder a algunos de sus productos con licencias educativas, por ello Robot Structural y Revit, son una muy buena opción para el desarrollo de un proyecto educativo.

1 Planteamiento del problema

Cuando se desea realizar un diseño de una edificación sea arquitectónico, estructural, hidráulico, sanitario y demás, es necesario tener conocimiento de las diferentes normativas que se disponen para garantizar la calidad y seguridad del tipo de edificación, inicialmente según su grupo de clasificación, además de ello, también se deben conocer las diferentes herramientas tecnológicas que ayudan a optimizar los procesos y que incluso arrojan resultados más precisos que al hacerlo de forma manual.

Trabajar en un software de análisis estructural en ocasiones se torna un poco complicado, pues, aunque las compañías que diseñan estos softwares cuentan con tutoriales y manuales, normalmente están en un idioma diferente al nuestro y por supuesto utilizan reglamentos de otros países, algo que complica las cosas y más aun sabiendo que Colombia cuenta con una gran parte de su territorio ubicada en zona de amenaza sísmica alta. De igual manera en nuestro país, aunque conocemos de la existencia y presencia de normativas y reglamentos que dispone el gobierno para garantizar construcciones seguras, es bien sabido que en muchas partes no se puede llevar un control con el desarrollo de las construcciones, que incluso muchos profesionales de la construcción desconocen las mismas y no tienen en cuenta los requisitos mínimos que indica la NSR10, por ello se ven de manera regular daños y afectaciones en las estructuras, poniendo en riesgo la vida de personas y afectaciones a la economía.

1.1 Justificación

La elaboración del manual para la ejecución de un proyecto de vivienda bajo la metodología BIM: Fase 1 - Análisis estructural y modelado, se debe principalmente a la no evidencia de la existencia de una guía, un tutorial o incluso otro manual, en los que se traten los procedimientos necesarios para realizar un análisis estructural de una vivienda en un determinado software y que además se muestre el flujo de trabajo del mismo, para la posterior construcción virtual del proyecto, todo lo anterior, teniendo en cuenta los requisitos mínimos que dispone el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

1.2 Formulación del problema

¿Cómo ayudaría la existencia de un Manual para la ejecución de un proyecto de vivienda bajo la metodología BIM: Fase 1 - Análisis estructural y modelado, a garantizar el cumplimiento de la NSR-10 y a promover el uso de las nuevas metodologías en la industria de la construcción?

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Elaborar un manual para la ejecución de un proyecto de vivienda con sistema estructural aporticado, bajo la metodología BIM: Fase 1 - Análisis estructural y modelado.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Recopilar los requisitos y procesos necesarios para realizar el diseño estructural tipo aporticado de una edificación de acuerdo a lo que indica la NSR-10.
- ✓ Realizar el diseño estructural tipo aporticado de una edificación siguiendo los procedimientos que indica la NSR-10 y con ayuda del software de análisis estructural.
- ✓ Describir el flujo de trabajo entre el software de análisis estructural y el software de construcción virtual, para el análisis y modelación de un proyecto estructural tipo aporticado.

3 Marco referencial

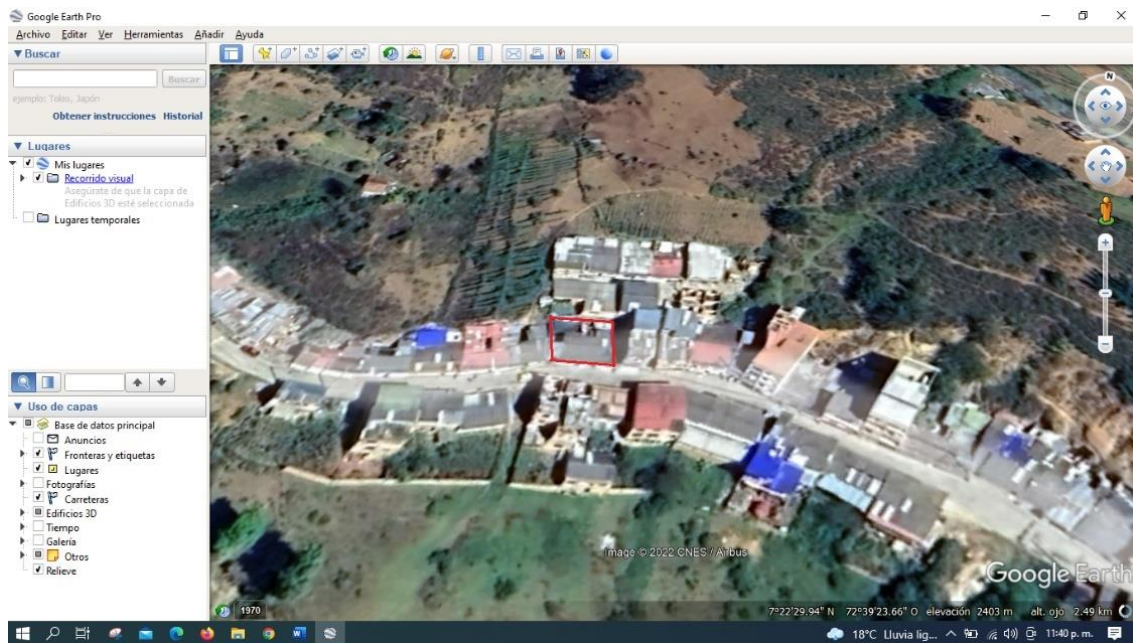
3.1 Marco contextual

El proyecto consiste en la realización de un manual en el que se muestren los procesos necesarios para el desarrollo de un proyecto con sistema aporricado, ubicado en Pamplona, Norte de Santander, y aplicando la NSR – 10.

3.1.1 Localización del proyecto

En el barrio Jurado en Pamplona, Norte de Santander, hay un lote de 14 metros de frente por 11 metros de fondo, el cual pertenece a la familia Jaimes Peñaloza, lote en el cual estará ubicado el proyecto.

Figura 1: Localización del proyecto.



Fuente: Google Earth.

3.2 Estado del arte

Existe un gran número de investigaciones acerca de los procesos constructivos, del uso de las nuevas metodologías de diseño y construcción, y por supuesto del cumplimiento de la reglamentación colombiana. En una investigación se estudia un problema identificado para luego buscar una solución, creando normalmente un producto que ayude como herramienta en la búsqueda de no seguir cometiendo dicho problema, de igual manera es necesario estudiar cosas que no han sido estudiadas o incluso complementar estudios que no han sido identificados. Teniendo en cuenta lo anterior, se plantea como una novedad realizar la presente investigación, pues aunque en YouTube existen tutoriales relacionados al flujo de trabajo entre los softwares, no se evidencia la existencia de un tutorial que muestre la ejecución de un proyecto de vivienda desde su etapa de análisis estructural en el software ROBOT STRUCTURAL hasta su posterior modelado en el software Revit, de igual manera, al consultar en distintas bases de datos, tampoco se evidencia la existencia de un manual sobre el tema en específico, por ello se plantea como necesidad la realización de esta investigación. (Jaimes, 2022).

Al revisar en internet, se ha encontrado material que, aunque no trata del tema específico de la investigación, se puede utilizar como material de apoyo o de referencia para establecer un punto de partida en la presente investigación, por ello en la Tabla 1: Estado del arte., se mencionan investigaciones de orden internacional y nacional, y también tutoriales que sirvieron como el punto de partida para esta investigación. (Jaimes, 2022).

Tabla 1: Estado del arte.

Internacional
Artículo: A novel BIM-based process workflow for building retrofit. Autores: Letizia D’Angelo, Magdalena Hajdukiewicz, Federico Seri y Marcus M. Keane. Año: 2022 - School of Engineering, College of Science and Engineering, National University of Ireland Galway, Ireland; Informatics Research Unit for Sustainable Engineering (IRUSE) Galway, Ireland; Ryan Institute, National University of Ireland Galway, Ireland. Revista de Ingeniería de la Construcción 50 ,104163 Es una investigación en la cual se realizó una revisión de la literatura con el fin de identificar las barreras que impiden la rehabilitación de edificios existentes, incluyendo la baja disponibilidad financiera, la conciencia del usuario, la incertidumbre en los marcos regulatorios y la fragmentación de la cadena de suministro, como resultado se presentó una guía para la modernización de edificios, mediante un flujo de trabajo propuesto que combina los beneficios del Modelado de Información de Construcción (BIM) con la técnica del Modelado de Procesos de Negocios (BPM), donde BIM se utiliza por su capacidad para crear y gestionar información a lo largo del ciclo de vida completo de un edificio y BPM permite optimizar el flujo de trabajo de actualización, al proporcionar a todas las partes interesadas relevantes (i) los instrumentos para comprender mejor sus roles y responsabilidades en el proceso de actualización, (ii) el marco tecnológico y los datos necesarios para implementar BIM de manera eficiente dentro del proyecto. Este novedoso flujo de trabajo BIM-BPM se demostró en un edificio piloto residencial ubicado en Inis Mor, Irlanda.
Proyecto de Grado: GESTIÓN DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN CON METODOLOGÍA BIM “BUILDING INFORMATION MODELING” Autor: Lina Xiomara Sierra Aponte Año: 2016 - UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

Es un trabajo de grado que trata sobre la investigación de un Artículo presentado como trabajo final de la Especialización en Gerencia Integral de Proyectos, en el que se destaca la situación de la nueva metodología de trabajo para proyectos de construcción llamada Building Information Modeling o más conocida como BIM, y más que todo sobre su uso en el ámbito de la construcción, en este artículo se tiene en cuenta los sistemas de gestión de proyectos aplicados al sector de la construcción y la comparación entre el uso de las nuevas metodologías en los países desarrollados y su comparación con la resistencia al cambio que se presenta en los países subdesarrollados, poniendo a Colombia como ejemplo. Tendiendo como objetivo principal del artículo, el conceptualizar, mostrar los beneficios, usos y análisis de la metodología BIM comparándola con la metodología tradicional de elaboración de proyectos en construcción, para finalmente describir la eficiencia del uso de la metodología BIM al desarrollar un proyecto de construcción.

**Proyecto de Grado: DESARROLLAR UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS
PARA LA PLANIFICACIÓN DE OBRAS DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS**

Autor: Alejandro Antonio Aburto Salazar

Año: 2016 - UNIVERSIDAD DE CHILE

Es un proyecto de investigación con el cual se elaboró una guía y una compilación de las buenas prácticas para realizar una buena planificación, el cual permitiera realizar el proyecto de construcción de edificios de una manera inteligente, cumpliendo con los objetivos comprometidos y los requisitos establecidos en un contrato. Una vez desarrollado el manual este entregaba los procedimientos específicos para la planificación de proyectos de inversión, a partir de doce (12) diferentes elementos identificados, de los cuales seis (6) corresponden a los objetivos de la obra a cumplir (alcance, plazo, costo, calidad y gestión de la calidad, seguridad y medio ambiente) y los otros seis (6) a procesos administrativos necesarios para su materialización (organización en obra, recursos, equipos y maquinaria, subcontratos, relaciones con la comunidad y comunicaciones).

Vídeo de YouTube: Flujo de trabajo: Uso de Revit y Navisworks Autor: Sonda MCO
Año: 2020.

Es un vídeo que trata en temas generales sobre el modelado de un proyecto en REVIT, para su posterior análisis en Navisworks, con ello se plantea gestionar el proyecto deseado con una revisión del modelo inicialmente creado, destacando que el segundo software sirve principalmente para la detección de las interferencias entre los sistemas del proyecto.

URL: https://www.youtube.com/watch?v=u9Y4_oC3UL8&ab_channel=SondaMCO

Nacional

**Proyecto de Grado: COORDINACION DE UN PROYECTO DE EDIFICACION
MEDIANTE METODOLOGÍAS BIM – CASO DE ESTUDIO EDIFICIO**

TEQUENDAMA II – PERMODA Autor: Yeison Alejandro Ángel Torres

Año: 2019 - UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA

Es un proyecto de investigación que trata la necesidad de coordinar proyectos de edificación mediante metodologías BIM y como realizar una correcta aplicación de las dimensiones 4D Y 5D, en el cual se pone como objeto de estudio al edificio Tequendama II – Permoda, el cual se encuentra ubicado en la ciudad de Bogotá. A este edificio se le realiza una modelación de REVIT, teniendo en cuenta los respectivos planos del proyecto, una vez finalizado el modelado se procede al cálculo de cantidades con ayuda del software Revit, para después de ello proceder a la simulación de las actividades en el software Navisworks.

**Proyecto de Grado: PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA BIM EN
EL CICLO DE VIDA EN UN PROYECTO.** Autores: Ismael Antonio Cerón y David

Andrés Liévano Ramos.

Año: 2017 - UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

Esta investigación, parte de la identificación del bajo uso de la tecnología y de la poca coordinación entre las diferentes disciplinas que actúan en la planeación, desarrollo y

posterior uso de los proyectos de construcción, se tiene como zona de estudio a la ciudad de Bogotá, y consistió en la búsqueda de una implementación en las fases de trabajo para utilizar la metodología BIM en las distintas compañías constructoras, a través de un inicial modelado en 3D y con ayuda de unas bases de datos organizadas para poder realizar una integración técnica entre las diferentes disciplinas integrando desde la arquitectura y estructura, hasta la parte de instalaciones tanto eléctricas como hidrosanitarias, finalmente estableciendo unos parámetros claros para el correcto desarrollo de un proyecto constructivo.

Proyecto de Grado: VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA SISMO RESISTENTE NSR-10 VIGENTE EN COLOMBIA EN LA ESTRUCTURA “DOTACIONAL CULTURAL FILIPENSES” Autor: María José Sánchez Valenzuela
Año: 2018 - UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

Es una investigación que se centra en estudiar la verificación de los requisitos mínimos que establece el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, a partir del estudio de la estructura Dotacional Cultural Filipenses, la cual está ubicada en la Diagonal 47sur # 53-52 en el barrio Venecia en la ciudad de Bogotá, y que en ese entonces se encontraba en construcción en la etapa inicial de cimentación, y el cual se desarrolló bajo una continua verificación de que los diseños tanto arquitectónicos como estructurales, respondieran a las características necesarias generadas según las especificaciones estipuladas en la NSR10.

3.3 Marco teórico

3.3.1 *Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10*

Colombia se encuentra ubicada en una zona de alto riesgo sísmico, en la costa del Océano Pacífico conocida como “Anillo de Fuego del Pacífico”, en donde se producen frecuentes movimientos de tierra. Las normas sísmicas se expidieron por primera vez en 1984, mediante

el decreto 1400 del 07 de junio, que estableció que todos los proyectos en construcción cumplieran a cabalidad con la normatividad técnica en ingeniería y arquitectura para mitigar los daños causados por sismos. El Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR - 10 pretende evitar que los movimientos sísmicos ocasionen derrumbes o daños a las edificaciones e igualmente preservar la integridad física y los bienes de las personas. En ese sentido establece los requisitos de carácter técnico y científico para el diseño y construcción de estructuras sísmico resistentes. Igualmente pretende garantizar estabilidad, bienestar y calidad de las construcciones y proteger la vida y patrimonio de los residentes. La responsabilidad de los diseños de los diferentes elementos que componen la edificación recae en los profesionales bajo cuya dirección se elaboran los diferentes diseños particulares. “El cumplimiento de estas Normas no exime al ingeniero responsable de la ejecución del estudio geotécnico de realizar todas las investigaciones y análisis necesarios para la identificación de las amenazas geotécnicas, la adecuada caracterización del subsuelo, y los análisis de estabilidad de la edificación, construcciones vecinas e infraestructura existente”. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

3.3.2 Condiciones que debe cumplir una construcción sismo resistente

Estudio de suelo: Es el conjunto de actividades que comprenden el reconocimiento de campo, la investigación del subsuelo, los análisis y recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y construcción de las obras en contacto con el suelo, de tal forma que se garantice un comportamiento adecuado de la edificación, protegiendo ante todo la integridad de las personas ante cualquier fenómeno externo, además de proteger vías, instalaciones de

servicios públicos, predios y construcciones vecinas”. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Forma simple, simétrica y regular para que una edificación soporte u terremoto. Las formas irregulares facilitan la torsión de la estructura. “Con el fin de evitar torsiones de toda la edificación, ésta debe tener una planta lo más simétrica posible. La edificación como un todo y los módulos que la conforman, deben ser simétricos con respecto a sus ejes. Cuando la planta asimétrica sea inevitable, la edificación debe dividirse en módulos independientes por medio de juntas, de tal manera que los módulos individuales sean simétricos”. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

El edificio y su estructura deben ser livianos. Cuanto más liviana sea la edificación, menos será la fuerza que tendrá que soportar cuando ocurre un terremoto. “Las fuerzas que genera el sismo son fuerzas inerciales y por lo tanto, mientras mayor sea la masa, mayor será la fuerza generada. Este aspecto es de especial importancia en las cubiertas, en las cuales deben evitarse elementos muy pesados como tanques para agua de 1 m³ o más de capacidad”. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Mayor rigidez: Estructura sólida que evita daños en las paredes y divisiones. “Para poder garantizar que la edificación tenga capacidad de disipación de energía en el rango inelástico, debe proveerse una longitud mínima de muros confinados en cada una de las direcciones principales en planta. Los muros confinados pueden ser muros de carga o muros transversales de rigidez”. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Cimentación: Clave para mantener la resistencia y mantener el equilibrio. Es la estructura que distribuye las cargas y pesos en el terreno. “Las obras de cimentación deben realizarse de acuerdo con las pautas estructurales y según las características de resistencia del

suelo que deben estar establecidas en el estudio de suelos”. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Altura de la edificación: Se refiere a la elevación sobre un nivel cero. La altura puede calcularse en metros y en número de plantas, tomando como puntos de referencia la rasante de la calle y el plano inferior del forjado de la cubierta de la edificación.

(Guíasjuridicas.wolterskluwer.es, 2022)

Calidad de los materiales: Una buena calidad de material, certificado y con los elementos exactos debe tener la capacidad para absorber la energía generada en un sismo.

El acero: Debe tener los calibres adecuados según los cálculos, la mezcla exacta en el concreto y las dimensiones precisas para las trabes y columnas, se debe garantizar un recubrimiento adecuado para los distintos elementos, con el fin de proteger el acero de refuerzo. Asimismo, durante el colado se debe evitar que el concreto se mezcle o contamine con partículas de suelo o con agua freática, que puedan afectar sus características de resistencia o durabilidad” (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

3.3.3 Tipo de sistema estructural, softwares de análisis y de construcción virtual

Sistema estructural tipo aporticado

Es un sistema estructural en el que sus elementos estructurales principales son vigas que corresponden normalmente a los elementos estructurales horizontales y las columnas a elementos estructurales verticales, los cuales se conectan a través de nudos, formando pórticos resistentes a cargas de servicio (Cargas Muertas y Cargas Vivas) y a cargas accidentales (Viento, Granizo, Sismo). En su función estructural las vigas se encargan de soportar cargas

distribuidas, lineales y/o puntuales, llevarlas hasta las columnas, para que estas las transmitan hacia la cimentación, y posteriormente al suelo a través de la cimentación.

¿Por qué utilizar un sistema aporticado?

- ✓ Es ampliamente conocido a nivel internacional, además su uso, diseño y construcción resulta de manera práctica.
- ✓ Su uso se permite para estructuras de hasta 6 pisos y para diferentes tipos de edificación (residencial, porterías, tanques elevados, entre otros).
- ✓ Puede llegar a ser más rentable que el uso de otros sistemas estructurales.

3.3.4 Robot Structural

Autodesk® Robot™ Structural Analysis Professional es una herramienta avanzada de análisis estructural que permite realizar análisis lineales y no lineales de los modelos de construcción, puentes y otros tipos de estructuras industriales. Con esta herramienta puede definir una amplia gama de tipos de análisis avanzados como análisis estáticos, modales, sísmicos, espectrales, armónicos y de historial de tiempo. (Autodesk, 2022).

3.3.5 Revit

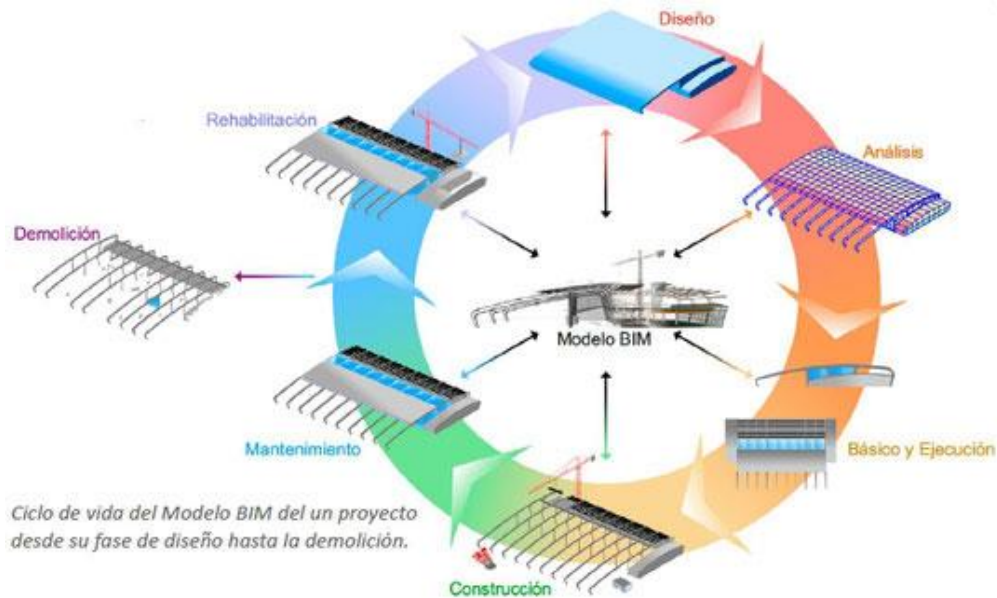
Es un software para BIM utilizado ampliamente por arquitectos, ingenieros y contratistas a fin de crear un modelo unificado que puedan aprovechar todas las disciplinas y los sectores para completar su trabajo. Autodesk Revit se ha creado para impulsar BIM, no para sustituirlo. (Autodesk, 2022).

3.3.6 Building Information Modeling (BIM).

La metodología BIM tiene como característica principal su capacidad de poder trabajar en conjunto los diferentes modelos virtuales, a través del diseño de sistemas realizados en

softwares que luego pueden ser integrados en un mismo modelo, estos softwares utilizan objetos paramétricos que muestran un comportamiento el cual refleja las necesidades del diseño, análisis y pruebas del mismo. Es una forma de trabajo que radica en hacer una simulación lo más parecida posible a las condiciones reales en la cual se va a realizar una obra de ingeniería. La metodología BIM se basa en un modelo 3D inteligente, BIM es basada no sólo en sólidos geométricos, sino también en datos, coexistiendo directamente en tiempo real, entre ese modelo y una base de datos, es decir una vinculación constante y permanente (Díaz Granados, 2018). Hoy en día, la metodología tradicional conlleva a la utilización de las herramientas tipo CAD, las cuales están presentes en gran parte del sector de la construcción, siendo algo bastante conformista y sobre todo poco actualizado sabiendo de las actualizadas metodologías que se utilizan en los países desarrollados, convirtiéndose esto en un problema pues se pasó de trabajar en mesas de trabajo manual a mesas de trabajo digital, algo que ya ha quedado en el pasado. Building Information Modeling (BIM), que puede traducirse a "Información del Modelado de la Construcción", es una filosofía de trabajo que radica en la creación y manejo de toda la información que se genera al momento de concebir una obra de ingeniería. BIM supone la evolución de los sistemas de diseño tradicionales basados en el plano, ya que incorpora información geométrica (3D), de tiempos (4D), de costes (5D), ambiental (6D) y de mantenimiento (7D). Su uso va más allá de las fases de diseño, va desde la ejecución del proyecto y se extiende a lo largo del ciclo de vida del edificio, permitiendo la gestión del mismo y reduciendo los costes de operación. Si se quiere visualizar desde la perspectiva gerencial, debe aplicarse herramientas adicionales que completen, luego del modelado, las diferentes gestiones aplicadas a la coordinación de ejecución de proyectos (Autodesk, 2016).

Figura 2: Ciclo de vida del modelo BIM.



Fuente: Building SMART Spain.

Origen de BIM

Existen varios puntos de vista acerca del origen de este concepto. Empresas pioneras en la aplicación del concepto BIM fue Graphisoft, de Hungría, que lo implementó con el nombre Virtual Building (Edificio Virtual) desde 1984 en su programa ArchiCAD, como también VectorWorks en 1985 (anteriormente MiniCAD de Diehl Graphsoft) reconocidos por ser los primeros software CAD para computadora personal capaces de crear tanto dibujos en 2D como 3D y también la incorporación de lenguaje capaz de producir reportes; Autodesk comenzó utilizar el concepto BIM desde 2002 cuando compró la compañía texana Revit Technology Corporation por 133 millones de dólares, mientras que otros postulan que fue el

profesor Charles M. Eastman, del Georgia Tech Institute of Technology, el primero en difundir el concepto de modelo de información de edificación, como un sinónimo de BIM, a inicios de los setenta en numerosos libros y artículos académicos. Sin embargo, parece haber un consenso generalizado acerca de que Jerry Laiserin fue quien lo popularizó como un término común para la representación digital de procesos de construcción, con el objetivo de intercambiar e interoperacionalizar información en formato digital. Esta capacidad hoy es ofrecida por diferentes proveedores tecnológicos como: Bocad, Tekla, Nemetschek, Sigma Design, Autodesk, StruCad de AceCad Software, Bentley Systems, AVEVA Solutions, Graphisoft, ACCA software, sds/2 por Design Data (líder en ingeniería de detalle), CADDetails, Dlubal Software, Esri, entre otros. Por otra parte, el concepto de BIM, en el área de la arquitectura y la construcción, presenta varias opciones en cuanto a plataformas y software para su implementación. En 1978 se presentó la primera versión de SigmaGraphics, desarrollado por Sigma Design International, de Alexandria, Louisiana, el cual posteriormente se denominó ARRIS CAD en el año de 1984: un entorno completamente dedicado a la arquitectura y la construcción. Este software originalmente fue desarrollado para entornos multitarea tales como UNIX/XENIX y actualmente trabaja bajo sistemas operativos de Windows. Laiserin, Jerry. (2022).

BIM en la actualidad

Hoy en día, aunque se ha venido avanzando en el deseo de dejar atrás el uso del método tradicional en los proyectos de construcción, en muchos lugares aún no se hace uso y en otros lugares recién se está comenzando a conocer el alcance de esta metodología de construcción, pero países desarrollados desde tiempo han adoptado una postura de BIM obligatorio dentro

de la construcción, como para en Europa, que se dice que es el continente más avanzado en temas BIM; y no solo al respecto a su implementación, sino también, con respecto a su uso y desarrollo. En el caso de América, Estados Unidos es el líder global de dicha metodología lo que significa que son los más avanzados en este campo, Canadá también estaba avanzando muy rápido (Econova, 2021). En Sudamérica, BIM se ha venido implementando de manera tardía, aunque por su adaptabilidad e innovación ha logrado un desarrollo acelerado en muchos países. En países como Colombia, Perú y Chile han desarrollado plataformas que permiten la implementación de BIM en sus territorios.

BIM en Colombia

En el año 2018 la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL) lanzó el BIM Fórum Colombia, lo que consiste en una estrategia para articular a los actores inmersos en la cadena de valor de la construcción en torno a la digitalización, la adopción de nuevas tecnologías y la productividad (Ingeniería Asistida por Computador, 2021). En el segundo día del Encuentro BIMCO 2020 liderado por Camacol y el BIM Forum Colombia, el Departamento Nacional de Planeación lanzó oficialmente la Estrategia de Adopción BIM Colombia, que tiene como propósito impulsar la transformación digital del sector de la construcción y se trazó como meta que a 2026 el 100 % de los proyectos de construcción públicos se desarrollen con BIM (CAMACOL, 2020). Como podemos ver las entidades colombianas han venido trabajando en la estrategia para la implementación de la metodología BIM en el país, en un principio se desea llegar a cubrir el 100% de proyectos públicos con esta metodología, para después de ello seguramente poco a poco ir exigiendo la utilización de esta en los demás proyectos de construcción.

3.3.7 Diseños de una vivienda:

Diseñar una vivienda significa hacerla más segura, con ello se debe garantizar el cumplimiento de las características deseadas por sus futuros habitantes logrando que estos puedan sentirse cómodos y seguros. Para lograr esto es necesario cumplir con las especificaciones de las normas técnicas y el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente más actualizado, hoy en día la NSR-10.

Diseño arquitectónico: La finalidad del diseño arquitectónico es satisfacer las demandas de los espacios habitacionales, presentando diversas soluciones para ayudar en la comodidad de las personas.

Diseño de cimentaciones: Consiste en el diseño del sistema de cimentaciones del proyecto, es la base de la estructura y ayuda a evitar los movimientos laterales del material de soporte, su distribución de la carga de la estructura sobre una gran superficie de base y, a continuación, al suelo por debajo que hacen que la estructura del edificio fuerte (Raulpe-Blogs, 2018).

Diseño estructural: El diseño estructural es el proceso creativo mediante el cual el ingeniero estructurista determina la forma y las características de la estructura de una construcción; comprende las etapas de estructuración, análisis y dimensionamiento (Universidad Autónoma del Estado de México, 2000).

Diseño eléctrico: El diseño eléctrico es el proceso de planificación y creación de equipos eléctricos, tales como componentes eléctricos, esquemas, equipos de iluminación, sistemas de energía e infraestructura de telecomunicaciones (Autodesk, 2022).

Diseño hidráulico y sanitario: El diseño hidráulico tiene como finalidad definir los diámetros y longitudes de las diferentes tuberías que componen el sistema (regantes, distribuidoras y conducción) bajo un criterio de optimización. El diseño sanitario aplica técnicas que permiten una limpieza y una inspección oportunas y eficaces del equipo e instalaciones y minimizan el potencial de introducción de contaminantes en los productos alimenticios. El objetivo final es que los alimentos producidos sean seguros y aptos para el consumo humano. (Aibinternacional, 2022).

Diseño de red de distribución de gas: Las redes son un sistema de suministro de gases diseñados para usuarios que necesitan un abastecimiento constante en diversos puntos de sus instalaciones, un alto volumen y buenas condiciones de presión (CRYOGAS, 2022).

Diseño de red contraincendios: Una instalación o sistema contra incendio es todo aquel conjunto de medidas disponibles en edificios, casas, estructuras o ambientes como áreas verdes comunes (parques, bosques), entre otros. Con el fin de proteger a estos contra el fuego (Sánchez, 2018).

3.4 Marco conceptual

Cuando se plantea el deseo de realizar este proyecto de investigación, es evidente que se debe realizar una búsqueda de información que ayude y sirva como base para el correcto desarrollo del objeto de estudio, por ello además de la búsqueda de teoría que trate sobre los temas de la investigación, se deben definir unos conceptos clave.

3.4.1 Definición de conceptos

NSR-10: La NSR10 es el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, encargado de regular las condiciones mínimas con las que deben contar las construcciones

con el fin de que garantizar una respuesta estructural favorable ante la ocurrencia de un sismo. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Sismoresistencia: Es la cualidad de una edificación para resistir movimientos telúricos y reducir los riesgos de sus habitantes en caso de sismos, mediante la utilización de técnicas de construcción, diseños estructurales y materiales adecuados que cumplan las normativas de seguridad, en la construcción de viviendas de uno o más pisos. (Construyendo, 2022)

Título A: El título A - Requisitos generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente, proporciona los requisitos mínimos que debe cumplir toda construcción para con ello garantizar su Sismo resistencia. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Título B: El título B – Cargas, identifica los diferentes tipos de carga presentes en un proyecto, además define las combinaciones de diseño por diferentes métodos y las tablas para obtener los valores de las cargas. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Título C: El título C – Concreto estructural, proporciona los requisitos mínimos para el diseño y la construcción de los elementos de concreto estructural de cualquier estructura construida según los requisitos del NSR-10, además este también cubre la evaluación de resistencia de estructuras existentes. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

BIM: Es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de proyectos. Su objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital creado por todos sus agentes. (Building Smart, 2022)

4 Metodología

Mediante el desarrollo de esta investigación se muestra el procedimiento para realizar un análisis y diseño estructural, además del modelado de una edificación de cuatro pisos con sistema aporticado que se encuentra ubicada en el municipio de Pamplona, Norte de Santander. La metodología utilizada durante la investigación, consistió en el planteamiento de fases y actividades que colaboran para el cumplimiento de los objetivos.

4.1 Fase 1: Análisis de los requisitos y procesos necesarios para realizar el diseño estructural tipo aporticado de una edificación de acuerdo a lo que indica la NSR-10.

Fue necesario realizar un estudio a los títulos A, B y al título C de la NSR10, con el fin de identificar los requisitos y procesos especiales para desarrollar un proyecto estructural de una edificación con sistema estructural aporticado.

4.1.1 Actividad 1: Estudio del título A – NSR10.

Se realizó un estudio al título A de la NSR10, recopilando información relevante para poder realizar un proyecto estructural, en este título se establecen los requisitos mínimos, teniendo en cuenta parámetros de vulnerabilidad, métodos y procedimientos de estudio y diseño o reparación de las edificaciones.

4.1.2 Actividad 2: Estudio del título B – NSR10.

Se realizó un estudio al título B de la NSR10, de donde se extrajeron las combinaciones de diseño, además de las definiciones de los diferentes tipos de cargas presentes en el proyecto.

4.1.3 Actividad 3: Estudio del título C – NSR10.

Se realizó un estudio al título C de la NSR10, de este título se tuvo en cuenta el procedimiento además de algunas consideraciones para el diseño de los elementos estructurales.

4.2 Fase 2: Realización el diseño estructural tipo aporticado de una edificación siguiendo los procedimientos que indica la NSR-10 y con ayuda de Robot Structural.

A partir de los requisitos y procedimientos obtenidos del estudio de los títulos A, B y C de la NSR10, se ha resaltado la forma de obtención de los datos a partir de los planos arquitectónicos del proyecto, además de los resultados del estudio de suelos.

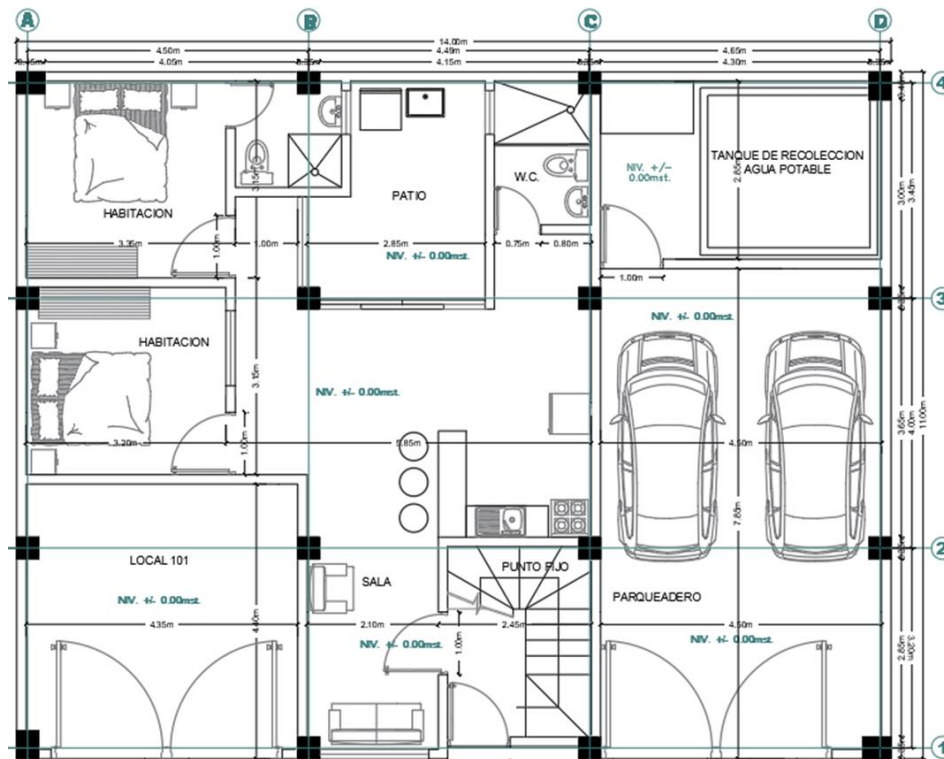
4.2.1 Actividad 4: Diseño arquitectónico y estudio de suelos

Antes de iniciar cualquier proyecto estructural, es necesario contar con dos insumos indispensables, los cuales son los planos arquitectónicos y el estudio de suelos, a partir del primero se realiza un planteamiento de la ubicación de los elementos estructurales, y con ayuda del segundo se obtienen los parámetros sísmicos, además de una recomendación para el diseño del sistema de cimentación.

Diseño arquitectónico: Consiste en una edificación multifamiliar de 4 pisos de altura de uso residencial que satisface las necesidades habitacionales mínimas, el cual se desarrolla en un lote de 14m de frente por 11m de fondo, en donde cada piso está distribuido en dos

apartamentos, a excepción del primer piso que cuenta con un apartamento y una zona de servicios, y en el último piso se plantea una zona común como la azotea, el sistema estructural es un sistema de pórticos en material de concreto estructural. Generalmente el encargado del diseño arquitectónico, plantea una ubicación inicial de las columnas y una sección para ellas, y el encargado del análisis y diseño estructural verifica esta distribución tratando de respetar los espacios arquitectónicos, pero garantizando el funcionamiento del sistema estructural. Los planos del proyecto, se encuentran en el Apéndice 1. Planos del proyecto.

Figura 3: Vista en planta primer piso.



Estudio de suelos: A partir del estudio de suelos, se obtiene gran parte de los parámetros sísmicos, por ello antes de empezar a diseñar se hace indispensable conocer los resultados del mismo, aunque lo ideal sería trabajar con un estudio de suelos realizado en el suelo del lugar del proyecto, este no se ha realizado, por ello se trabajará con los resultados de

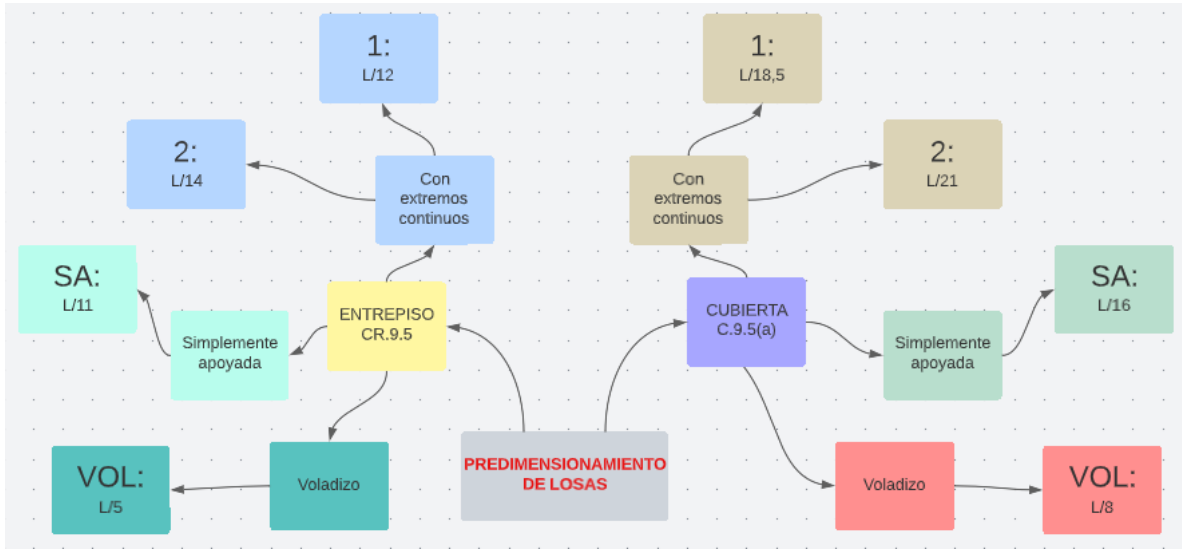
un estudio de suelos realizado en otro lugar, del cual se extrae lo siguiente: “El tipo de perfil puede clasificarse como (**D**) de acuerdo con las especificaciones de las NORMAS COLOMBIANAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE. N.S.R.-10, además se debe retirar completamente el material vegetal y/o relleno, y cimentar a una profundidad mínima de 1.50m, la cual se debe mantener en la edificación.” El estudio de suelos mencionado, se puede apreciar en el Apéndice 2. Estudio de suelos.

4.2.2 Actividad 5: Procedimiento de diseño

1. **Grupo de uso:** Se debe realizar la revisión del diseño arquitectónico, para con ello determinar el grupo de uso de la edificación según se indica en A.2.5.1 – GRUPOS DE USO.
2. **Predimensionamiento de las placas:** A partir de la funcionalidad de la losa, para el predimensionamiento la NSR10 ha dispuesto de las tablas CR.9.5 y C.9.5(a), utilizadas respectivamente para losas que soporten muros divisorios y para losas que no soporten cargas, siendo la primera esencial para el predimensionamiento de losas de entresijos y la segunda para losas de cubierta.

Teniendo en cuenta que en el proyecto se trabaja con una losa nervada en una dirección, se ha realizado el esquema mostrado en la Figura 4: Diseño de losas de entresijo., en el que se muestra la forma de obtención del espesor de acuerdo al tipo de losa y al tipo de apoyos que la soportan.

Figura 4: Diseño de losas de entrepiso.



Ecuación 1: Espesor mínimo para vigas simplemente apoyadas.

$$h_{\min}(SA_{\text{entrepiso}}) = \frac{l}{11} \gg h_{\min}(SA_{\text{cubierta}}) = \frac{l}{16}$$

Ecuación 2: Espesor mínimo para vigas con un extremo continuo.

$$h_{\min}(1C_{\text{entrepiso}}) = \frac{l}{12} \gg h_{\min}(1C_{\text{cubierta}}) = \frac{l}{18,5}$$

Ecuación 3: Espesor mínimo para vigas con dos extremos continuos.

$$h_{\min}(2C_{\text{entrepiso}}) = \frac{l}{14} \gg h_{\min}(2C_{\text{cubierta}}) = \frac{l}{21}$$

Ecuación 4: Espesor mínimo entrepiso.

$$h_{\min}(V_{\text{entrepiso}}) = \frac{l}{5} \gg h_{\min}(V_{\text{cubierta}}) = \frac{l}{8}$$

De las anteriores ecuaciones, cada factor l equivale a la luz crítica de cada tipo de viga, entendiéndose como luz crítica a la mayor distancia presente en el proyecto para cada tipo. Estas distancias se obtienen mediante el planteamiento de los pórticos a trabajar según la distribución de columnas, obteniendo:

Luces críticas del entrepiso.

- ✓ Viga simplemente apoyada (SA): 4,70 metros.
- ✓ Vigas con un extremo continuo (1C): 4,70 metros.
- ✓ Vigas con ambos extremos continuos (2C): 4,50 metros.
- ✓ En voladizo (EV): 0,63 metros.

Luces críticas de la cubierta.

- ✓ Viga simplemente apoyada (SA): 4,70 metros.
- ✓ Vigas con un extremo continuo (1C): 4,70 metros.
- ✓ Vigas con ambos extremos continuos (2C): 4,50 metros.

A partir de las ecuaciones de espesor mínimo de las losas, se escoge el máximo de ellos el cual deberá ser redondeado a 5cm con el fin de trabajar con términos constructivos. Teniendo definido el espesor, se realiza el diseño y disposición de las viguetas.

Ancho de las viguetas: En C.8.13.2, se indica que las viguetas deberán tener un ancho mínimo de 10cm, pero respetando el recubrimiento y además por temas constructivos se considera que la medida mínima del ancho de las viguetas (**Bw**) debe ser de 12cm, medida que tendrá que ser verificada teniendo en cuenta que la altura de la vigueta no debe ser mayor a 5 veces el ancho de la misma.

Separación máxima entre las viguetas: Según C.8.13.3, la distancia máxima entre viguetas será de 1.2m, además no deberá ser mayor a 2,5 veces el espesor total de la losa.

Ecuación 5: Separación entre viguetas.

$$Af = 2.5 * H \leq 1.2m$$

Disposición de vigas riostra: Según el C.8.13.3.1, será necesario ubicar viguetas riostras a una distancia de máximo 10 veces el espesor de la losa, sin exceder 4m.

Ecuación 6: Disposición de vigas riostra.

$$w_{Riostra} = 10 * H \leq 4m$$

Altura de la losa: Para el proyecto se plantea la utilización de aligeramiento removible, por ello el espesor de la losa deberá calcularse de acuerdo a lo que indica el C.8.13.6. Se calcula la distancia libre entre viguetas, de la siguiente manera:

Ecuación 7: Separación libre entre viguetas.

$$Se = Af - Bw$$

Ecuación 8: Altura de la loseta

$$hL = \frac{Se}{12} \geq 0.05m$$

Altura de las viguetas: Se calcula restando el espesor de la loseta al de la placa.

Ecuación 9: Altura de las viguetas.

$$hw = H - hL \leq 5 * Bw$$

3. Análisis simple de cargas: En Colombia generalmente las estructuras no se ven afectadas por cargas adicionales a las cargas muertas, vivas y sísmicas, a menos de que se realicen estudios más profundos, teniendo en cuenta lo anterior, además de la ubicación del proyecto, solo se tendrán en cuenta estos tres tipos de cargas, además de las respectivas combinaciones establecidas por el método de resistencia última.

a. **Materiales:** Es importante tener en cuenta los materiales que se planea utilizar en el proyecto, así como sus características principales. El material utilizado en el proyecto será el concreto reforzado, este material según la tabla B.3.2-1 tiene una densidad de 2400kg/m^3 , y consiste en concreto al menos de f_c' : 21MPa y de acero corrugado de f_y : 420MPa.

b. **Cargas muertas:** Se realiza un análisis de las cargas muertas del proyecto, las cuales consisten en el peso propio de los elementos los cuales se calculan a partir del peso generado por cada uno de ellos, además también se tienen en cuenta las sobrecargas teniendo en cuenta los tipos de carga establecidos en la NSR10.

Tabla 2: Cargas muertas según NSR10.

Tabla NSR10		Descripción
Cargas por elementos Horizontales		
B.3.4.1-1		Permite obtener los valores de las cargas debidas a los diferentes tipos de cielo raso o a sus componentes.
B.3.4.1-2		Teniendo en cuenta el material de relleno de piso, se obtiene el valor de la carga generada.
B.3.4.1-3		De acuerdo al tipo y material de piso instalado, se obtiene el valor de la carga generada.
Cargas por elementos Verticales: Para este tipo de cargas se podrán convertir en cargas distribuidas multiplicando el valor de la carga por la altura del elemento al que se hace referencia.		
B.3.4.2-1		De acuerdo al material que compone el recubrimiento de los muros se selecciona la respectiva carga.
B.3.4.2-2		Cuando hay presencia de particiones livianas, según su material se selecciona la respectiva carga.
B.3.4.2-3		Respecto al material del enchape, se selecciona el valor de la carga, el cual deberá ser multiplicado por el espesor en las

	unidades que se indique de acuerdo a las unidades de carga seleccionadas.
B.3.4.2-4	Dependen del material que compone al muro, además dependen de que esté o no pañetado, cuando existan espesores intermedios a los mostrados, se podrá interpolar.
B.3.4.2-5	Muestran las cargas debidas a los muros cortina y a las ventanas.
Además de lo anterior, la NSR10 permite trabajar con un valor mínimo de carga muerta cuando no se efectuó un análisis detallado, el cual dependerá del tipo de ocupación de la edificación y sus valores pueden obtenerse mediante la tabla B.3.4.3-1.	

c. **Cargas vivas:** Teniendo en cuenta la ocupación o uso de la edificación, se obtienen los valores de las cargas vivas de entrepiso y de cubierta, a partir de las tablas **B.4.2.1-1** y **B.4.2.1-2** respectivamente.

d. **Combinaciones:** Teniendo en cuenta las combinaciones de diseño por resistencia última, se determinan las ecuaciones teniendo en cuenta los tipos de carga presentes en el proyecto.

4. Predimensionamiento de vigas y columnas: A partir de las secciones definidas del entrepiso, se puede definir unas dimensiones de los elementos que hacen parte del sistema de resistencia sísmica (las vigas y las columnas), las vigas cuentan con una altura igual o superior al espesor de la losa, y su ancho generalmente corresponde a la mitad de su altura, en estos elementos se recomienda trabajar con valores redondeados a 5cm, por ello se ha escogido una altura las vigas de entrepiso igual a 45cm, y para las vigas de cubierta de 30cm, estas medidas serán corroboradas posteriormente en el análisis de las derivas.

5. Espectro de diseño: Teniendo en cuenta el lugar de ubicación del proyecto, además del tipo de suelo presente en el lugar, se obtienen los valores de los parámetros sísmicos, resolviendo las ecuaciones dispuestas para el cálculo del espectro de diseño según indica la NSR10 en **A.2.6-1**.

Ecuación 10: Sa para periodos cortos.

$$S_a = 2,5 * A_a * F_a * I$$

Ecuación 11: Sa para periodos intermedios.

$$S_a = \frac{1,2 * A_v * F_v * I}{T}$$

Ecuación 12: Periodo inicial T0.

$$T_0 = 0,1 * \frac{A_v * F_v}{A_a * F_a}$$

Ecuación 13: Periodo corto TC.

$$T_C = 0,48 * \frac{A_v * F_v}{A_a * F_a}$$

Ecuación 14: Periodo largo TL.

$$T_L = 2,4 * F_v$$

En las anteriores ecuaciones los valores que no se han definido dependen principalmente de la ubicación, del suelo del lugar y del tipo de edificación, para obtener los valores de A_a , A_v , F_v y F_a , fue necesario buscar en el apéndice A-4, la respectiva tabla para el departamento de Norte de Santander, de allí se ubicó el municipio de Pamplona, y se obtuvieron los siguientes valores de aceleración efectiva y velocidad efectiva:

Aceleración pico efectiva (**A_a**): 0,30. Velocidad pico efectiva (**A_v**): 0,25.

Figura 5: Zonas de amenaza sísmica en Colombia.

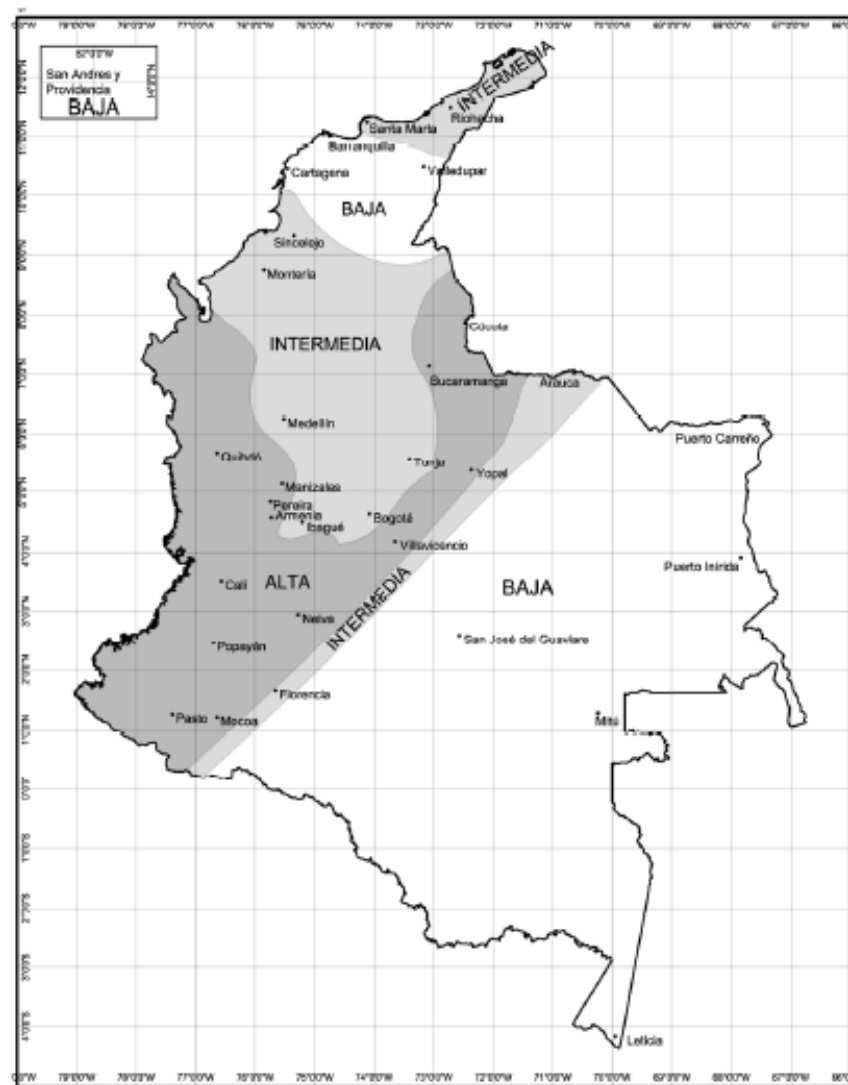


Figura A.2.3-1 — Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de A_s y A_v

Fuente: NSR10.

Ahora teniendo en cuenta el tipo de suelo del proyecto, de las tablas A.2.4-3 y A.2.4-4, se obtienen los valores de F_a y F_v respectivamente, destacando que en estas tablas cuando se deseen valores intermedios, se podrá interpolar. Realizado este procedimiento se obtuvo que:

El suelo del lugar ha sido clasificado como D, además de que se cuenta con Aa de **0.3** y Av de **0.25**, el valor de Fa es **1.2** y de Fv es **1.9**, como el proyecto está ubicado en una zona de amenaza sísmica alta, se trabajó con una capacidad de disipación de energía especial (DES).

El coeficiente de importancia I, depende del grupo de uso de la edificación, las edificaciones de uso residencial son clasificadas en grupo de uso I, de acuerdo a la tabla A.2.5-1, el valor del coeficiente de importancia será 1.

6. Análisis estructural método de Fuerza Horizontal equivalente: Los sismos se presentan a través de ondas, las cuales hacen mover la estructura causando desplazamientos. Este método es muy usado mundialmente, siendo bastante aproximado a la realidad, se debe cumplir con unos requisitos para poder ser utilizado, los cuales se disponen en A.3.4.2, a partir de los cuales se determina que este tipo de proyecto cumple con lo necesario para ser analizado por este método. El método de fuerza horizontal equivalente consiste en simular el efecto sísmico sobre la estructura, por ello se deben calcular las fuerzas sísmicas, las cuales se calculan a través del espectro de aceleraciones del suelo y del periodo de vibración. Se deben tener en cuenta las siguiente variables:

- ✓ Masa de la edificación.
- ✓ Periodo de vibración.
- ✓ Tipo de sistema estructural.
- ✓ Geometría (Irregularidades).

a. **PERIODO FUNDAMENTAL DE LA EDIFICACIÓN:** Puede ser encontrado de diferentes maneras: de A.4.2.1, en donde es necesario conocer las masas participantes, los desplazamientos y las fuerzas sísmicas horizontales a un determinado nivel, o por método

matemático linealmente elástico de la estructura o modal espectral, en donde se tiene en cuenta a A.4.2-2 y a A.4.2-3.

Ecuación 15: Cálculo de C_u .

A.4.2-1: $C_u = 1,75 - 1,2 * A_v * F_v \gg C_u$ debe ser mayor o igual a 1,2

$$C_u = 1,75 - 1,2 * 0,25 * 1,8 = 1,21$$

Ecuación 16: Cálculo de T_a .

A.4.2-3: $T_a = C_t * h^\alpha \gg T_a$ es el periodo fundamental aproximado

Teniendo en cuenta que se tiene un proyecto con sistema estructural de pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado, de la tabla A.4.2-1, se obtienen valores C_t y α para el cálculo de T_a .

$$T_a = 0,047 * 11,60^{0,9} = 0,427[s]$$

El valor de T ni puede exceder $C_u T_a$: $C_u T_a = 1,21 * 0,41 = 0,5163$

T será menor o igual que 0,5163 [s], por tanto, se trabajará inicialmente con el periodo fundamental aproximado, este valor es ubicado en la gráfica del espectro de diseño, a partir de allí se obtiene el resultado de la aceleración S_a , la cual será de 0,9.

b. **Cortante basal:** Se debe obtener el valor del cortante basal, el cual depende de la aceleración (**S_a**) definida en el espectro de diseño y de la masa de la edificación (**M**), esta última puede ser obtenida a través de un análisis manual o a través algún software de análisis estructural.

Ecuación 17: Cortante basal.

$$F_s = V_s = S_a * g * M$$

c. Fuerza sísmica: Para el cálculo de las fuerzas sísmicas, se debe tener en cuenta la siguiente ecuación. Según lo indicado en A.4.3.2, como T es menor a 0.5 [s], el valor de K será igual a 1.

Ecuación 18: Fuerza sísmica.

$$F_x = C_{vx} * V_s \gg C_{vx} = \frac{m_x * h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i * h_i^k)}$$

Cuando únicamente se realiza el método de la fuerza horizontal equivalente, las fuerzas de piso halladas se colocan en un software de análisis estructural y se verifican las derivas, y además se obtienen los valores de fuerzas internas (momentos flectores, fuerzas cortantes, fuerzas axiales y momentos de torsión) correspondientes a cada elemento que haga parte del sistema de resistencia sísmica. Cuando se realicé un análisis dinámico espectral, se recomienda verificar las derivas y obtener las fuerzas internas a partir de los resultados de ese método.

7. Análisis estructural método de análisis dinámico espectral: Es indispensable el uso de un software de análisis estructural, consiste en un procedimiento de análisis dinámico por medio del cual la respuesta dinámica de la estructura se obtiene como la superposición de las respuestas de los diferentes modos, o formas de vibración.

- (a) Número de modos de vibración: Se consideran 3 modos de vibración por piso, dicha cantidad debe ser rectificada al realizar el análisis en el software.
- (b) Comparación de los periodos de análisis de fuerza horizontal equivalente y los periodos obtenidos de análisis modal, para ello previamente se debe ejecutar el modelo.

- (c) Según A.6.4.1. para estructuras de concreto reforzado, se debe cumplir que la deriva máxima sea menor al 1% de la altura de piso. Como el sismo puede actuar en cualquier dirección, la deriva máxima deberá cumplir con el anterior requisito, en cada una de las direcciones X y Y, así como en la ocurrencia del valor máximo al mismo tiempo en cada una de estas.

8. Combinaciones de diseño de los elementos: Es necesario definir las combinaciones de carga para después de ello verificar las fuerzas internas de los elementos que hacen parte del sistema de resistencia sísmica.

a. **Irregularidades:** Con el fin de definir el coeficiente de disipación de energía, se realizó un análisis de los diferentes tipos de irregularidades.

- (a) Coeficiente de capacidad de disipación de energía básico y de sobrerresistencia, se obtienen de la tabla A.3-3, de acuerdo al tipo de sistema estructural, como se trabajó con un sistema estructural aporticado resistente a momentos, ubicado en DES y con material de concreto, de A.3-3 se definen los valores $R_0 = 7$ y $\Omega_0 = 3$.

- (b) **Irregularidades en planta:** A partir de la geometría del proyecto, se revisa la presencia de los diferentes tipos de irregularidades en planta y en caso de que haya uno o más tipos de irregularidad, se escoge el menor valor de sus coeficientes.

Tabla 3: Irregularidades en planta según NSR10.

Irregularidad	Descripción
1aP – Irregularidad torsional	Estará presente este tipo de irregularidad cuando los desplazamientos generados en los extremos de piso, el máximo de ellos esté dentro del rango de 1.2 a

	1.4 veces el promedio de los desplazamientos extremos.
1bP – Irregularidad torsional extrema	Habr� este tipo de desplazamiento cuando lo planteado en la irregularidad torsional supere a 1.4
2P – Retrocesos excesivos en las esquinas	Se considera cuando alguna esquina de la planta tenga un retroceso mayor al 15%.
3P – Discontinuidades en el diafragma	Se considera cuando los vacíos en la losa superen más del 50%.
4P – Desplazamientos del plano de acción de elementos verticales	Se considera cuando los elementos que hacen parte del sistema de resistencia sísmica no son continuos desde la base hasta la altura máxima de la edificación.
5P – Sistemas no paralelos	Se considera cuando no se cuenta con sistemas de resistencia sísmica paralelos, ocurre generalmente en estructuras ubicadas en terrenos no rectangulares.

Revisados todos los tipos de irregularidad en planta, se evidencia que en el proyecto no existe ninguno de estos, por tanto, el coeficiente $\Phi_p=1$.

- (c) **Irregularidades en altura:** A partir de la geometría del proyecto, se revisa la presencia de los diferentes tipos de irregularidades en altura y en caso de que haya uno o más tipos de irregularidad, se escoge el menor valor de sus coeficientes.

Tabla 4: Irregularidades en altura según NSR10.

Irregularidad	Descripción
1aA – Irregularidad en rigidez	Estará presente cuando la rigidez ante las fuerzas horizontales este dentro de unos rangos establecidos, principalmente ocurre ante cambios bruscos de las alturas de entrepiso.

1bA – Irregularidad en rigidez extrema	Al igual que la irregularidad 1aA, se debe ante cambios bruscos de las alturas de entrepiso, aunque los rangos varían.
2A – Irregularidad en la distribución de las masas	Se debe a aumentos en más del 50% de la masa de dos pisos contiguos.
3A – Irregularidad geométrica	Ocurre cuando haya una diferencia en más del 30% de la longitud horizontal de dos pisos contiguos.
4A – Desplazamientos del plano de acción	Ocurre cuando un elemento que haga parte del sistema de resistencia sísmica, no sea continuo desde la base hasta la altura máxima.
5aA – Discontinuidad en la resistencia	Ocurre cuando la resistencia sísmica de un piso está dentro del 65 a 80 por ciento respecto a un piso contiguo.
5bA – Discontinuidad en la resistencia extrema	Se considera si la resistencia sísmica de un piso es menor al 65 de un piso contiguo.

Revisados todos los tipos de irregularidad en altura, se evidencia que en el proyecto no existe ninguno de estos, por tanto, el coeficiente $\Phi_a=1$.

(d) **Irregularidades por ausencia de redundancia:** Teniendo en cuenta que se tiene un sistema estructural aporricado resistente a momentos, en el cual no se tiene alguna reducción de más del 33% en los extremos de las vigas y que además no se tiene una irregularidad 1bP, el coeficiente será $\Phi_r = 1$.

(e) **Ajuste de resultados:** Se deben tener en cuenta las reacciones obtenidas en la base, a partir de estas se hará un ajuste según indica el reglamento.

Para estructuras regulares: $0,8 * \frac{V_s}{V_{tj}}$

b. **Combinaciones de diseño:** Las combinaciones definidas por el método de diseño por resistencia, son utilizadas para el diseño de las estructuras, y además pueden ser ajustadas siguiendo lo que indica la norma, de acuerdo al tipo de elemento a diseñar y los ajustes debidos a la regularidad o irregularidad.

4.3 Fase 3: Describir el flujo de trabajo del software de análisis estructural (Robot Structural) y del software de construcción virtual (Revit), para el análisis y modelación de un proyecto estructural tipo aporticado.

Una vez realizado el análisis estructural con ayuda del software Robot Structural, se realizará el diseño de los elementos estructurales del proyecto, posterior a ello se llevará a cabo la construcción virtual del proyecto estructural en Revit, teniendo en cuenta los resultados obtenidos. En esta actividad, se describieron los procedimientos necesarios para poder llevar a cabo el análisis estructural en el software Robot Structural, además de describir el paso a paso para la construcción virtual del proyecto estructural en Revit, con los resultados se elaboró un manual detallando el procedimiento de flujo de trabajo entre los softwares.

4.3.1 *Alistamiento de los planos iniciales*

Generalmente de parte del diseñador arquitectónico, recibimos un archivo DWG en el que se presentan todos los diseños en planta, perfil, cortes, secciones y detalles, los cuales se deben separar para facilitar el posterior trabajo. Ver apéndice 1. Plano arquitectónico. De los planos recibidos, se separarán las diferentes plantas y secciones en archivos separados, buscando solo pasar la información realmente necesaria. Cada uno de los nuevos archivos, contendrá un plano correspondiente a un piso o a una sección, además contendrá una rejilla o líneas de referencia la cual ayudará con la ubicación inicial de los elementos estructurales. Es

importante asegurar que se tengan las mismas unidades de medida, preferiblemente en metros, todo con el fin de facilitar el flujo de trabajo.

Figura 6: Archivo DWG recibido del diseñador arquitectónico.

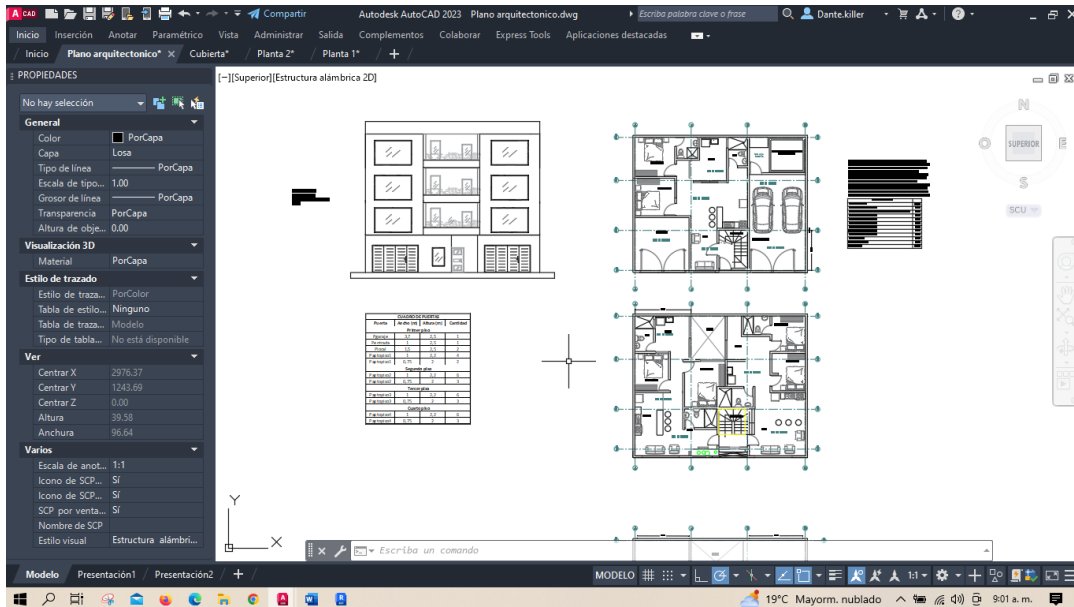


Figura 7: Archivo planta 1.

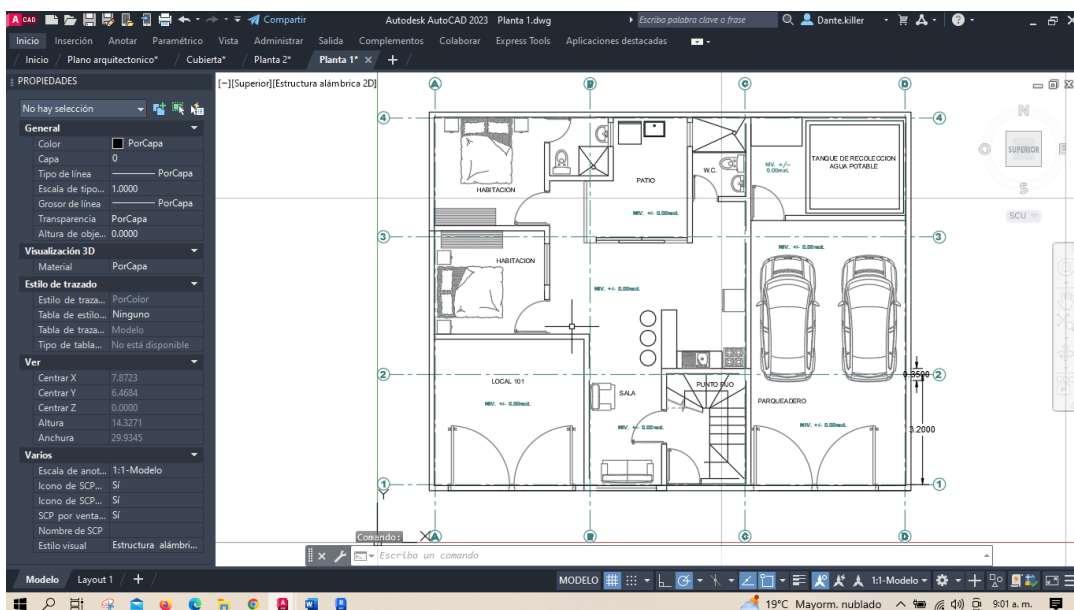


Figura 8: Archivo planta 2, 3 y 4.

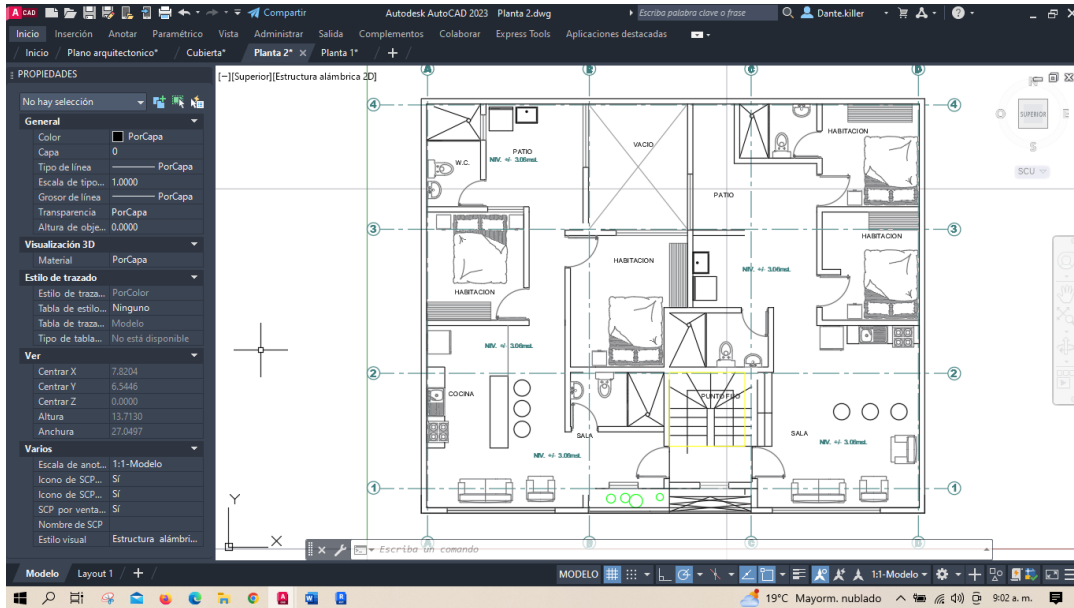


Figura 9: Archivo planta cubierta.

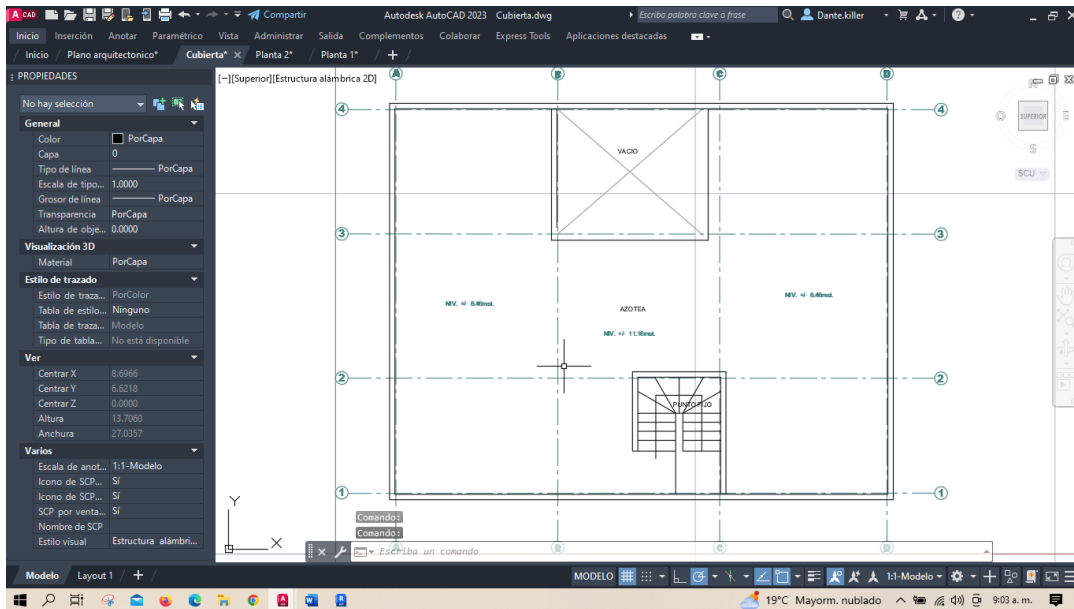
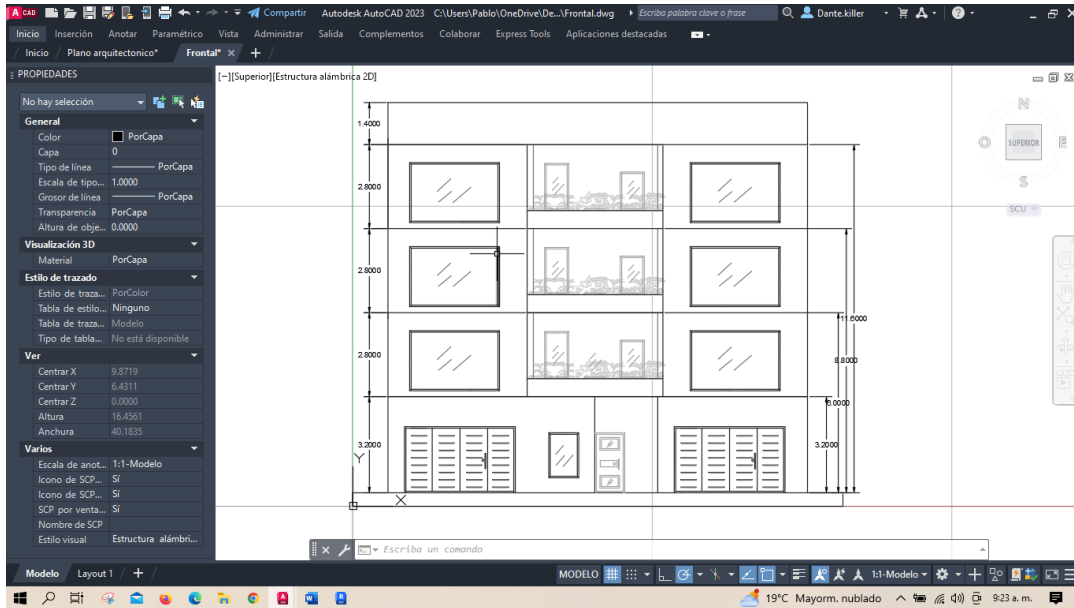


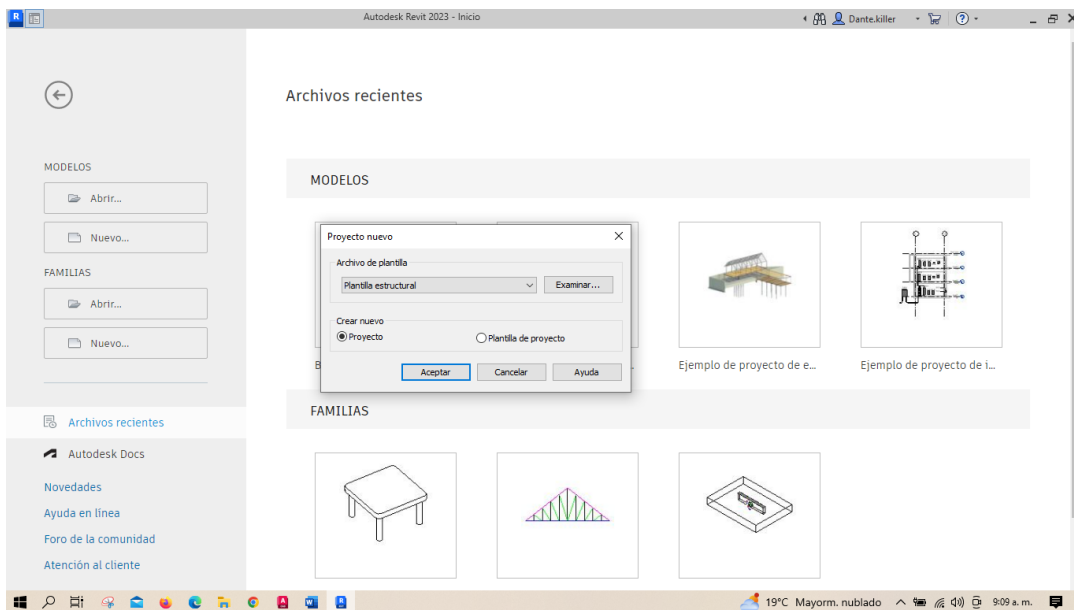
Figura 10: Vista frontal.



4.3.2 Modelado en Revit

Se trabajará desde la plantilla estructural.

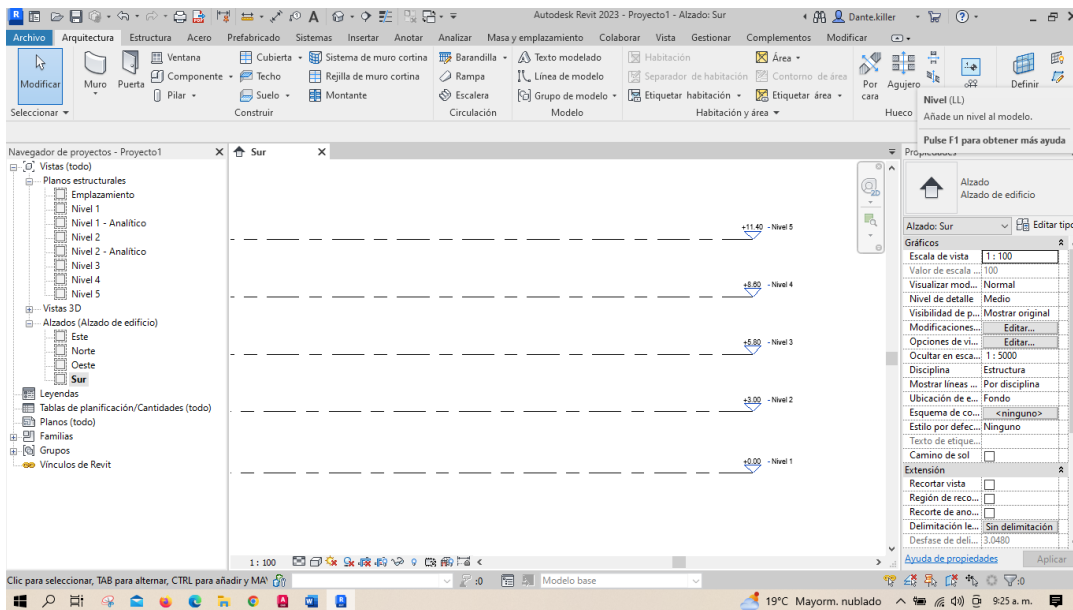
Figura 11: Plantilla estructural.



Niveles del proyecto.

Una vez el software este abierto, desde un alzado se crearán los niveles de piso, teniendo en cuenta las alturas establecidas en la vista frontal.

Figura 12: Niveles del proyecto.

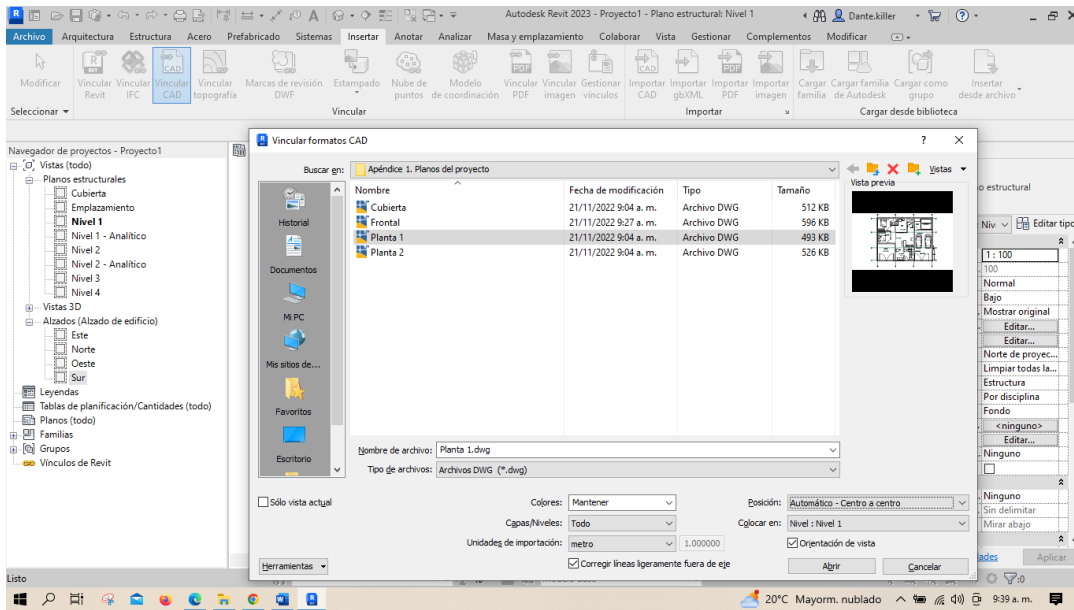


Los niveles creados permiten dibujar o modelar sobre los mismos, consistiendo básicamente en un nivel de piso terminado, aunque a partir de estos se podrán dejar espacios de desfases según la necesidad del proyecto o elemento a ubicar en algún lugar lo requiera.

Importación de los archivos DWG.

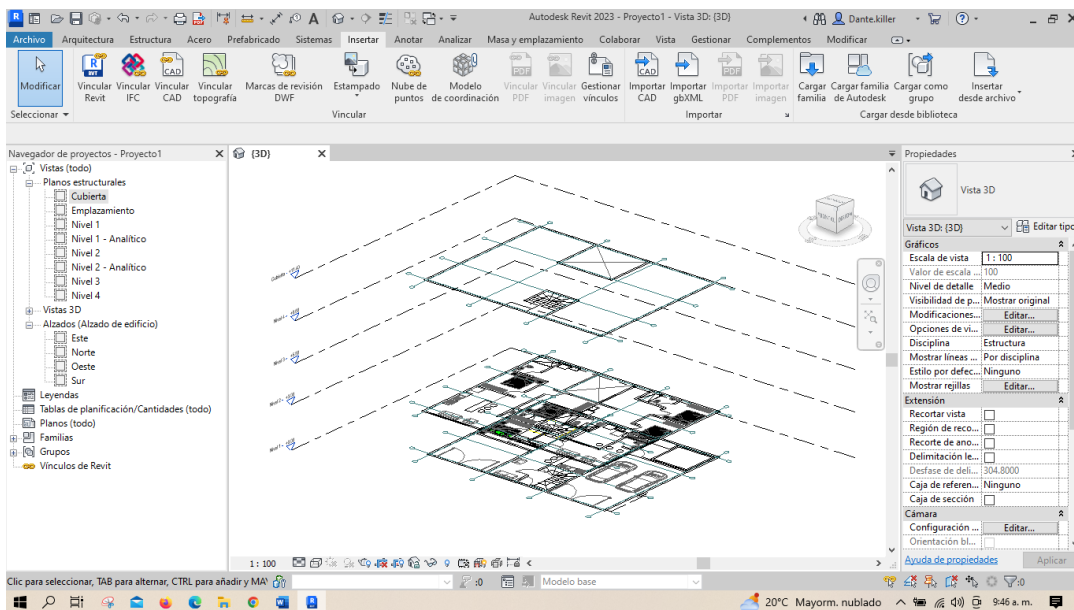
Los archivos creados en AutoCAD podrán ser vinculados en donde los cambios realizados al archivo original podrán ser actualizados y visualizados en Revit, de igual manera se pueden importar en donde las modificaciones no podrán visualizarse. Para realizar la vinculación es necesario ubicarse en la respectiva vista en planta y desde la barra de insertar, seleccionar vincular CAD y se definir los parámetros según se requiera.

Figura 13: Importación de la planta 1.



De la misma manera se realiza la importación de cada una de las plantas, al contar con pisos similares, solo se importa una planta y más adelante se crean copias de la planta modelada.

Figura 14: Plantas importadas.



Creación de las secciones de los elementos

Desde la barra de estructura, se selecciona el elemento, se edita el tipo y se define la sección.

Figura 15: Sección de vigas de entrepiso.

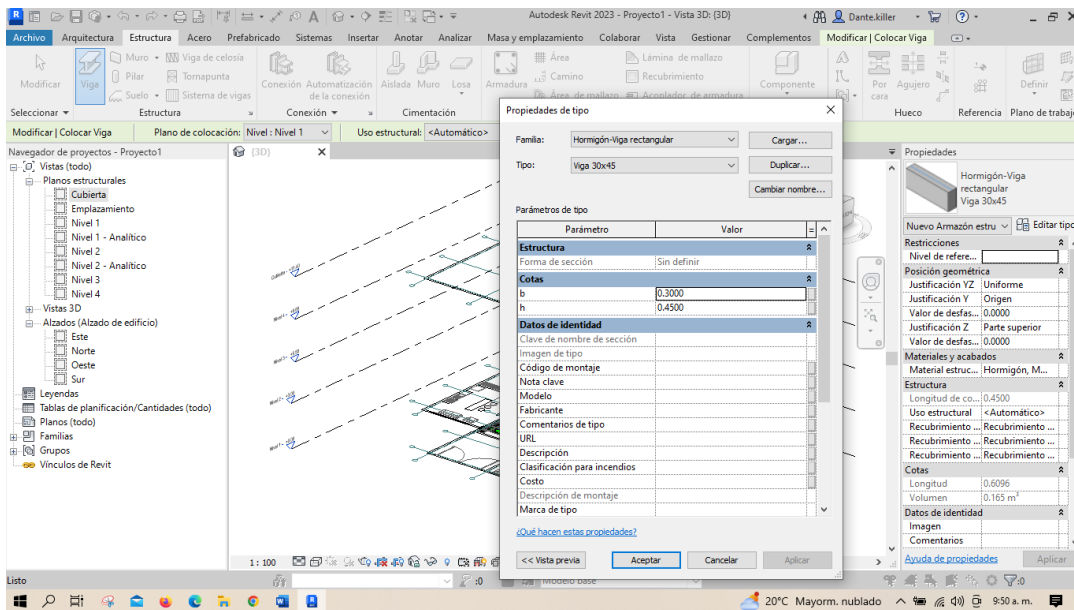


Figura 16: Sección columnas.

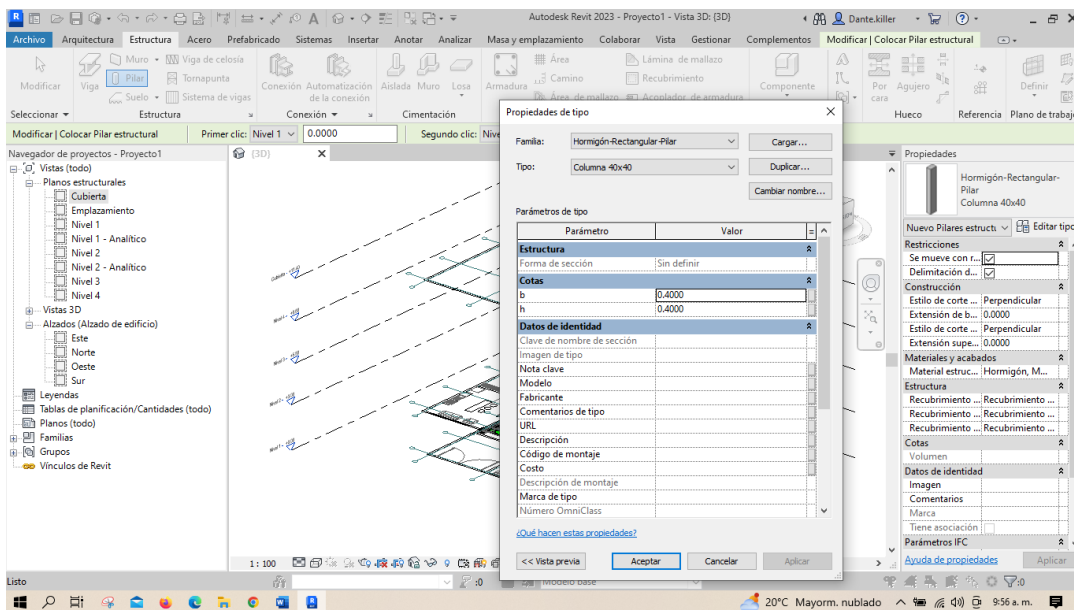
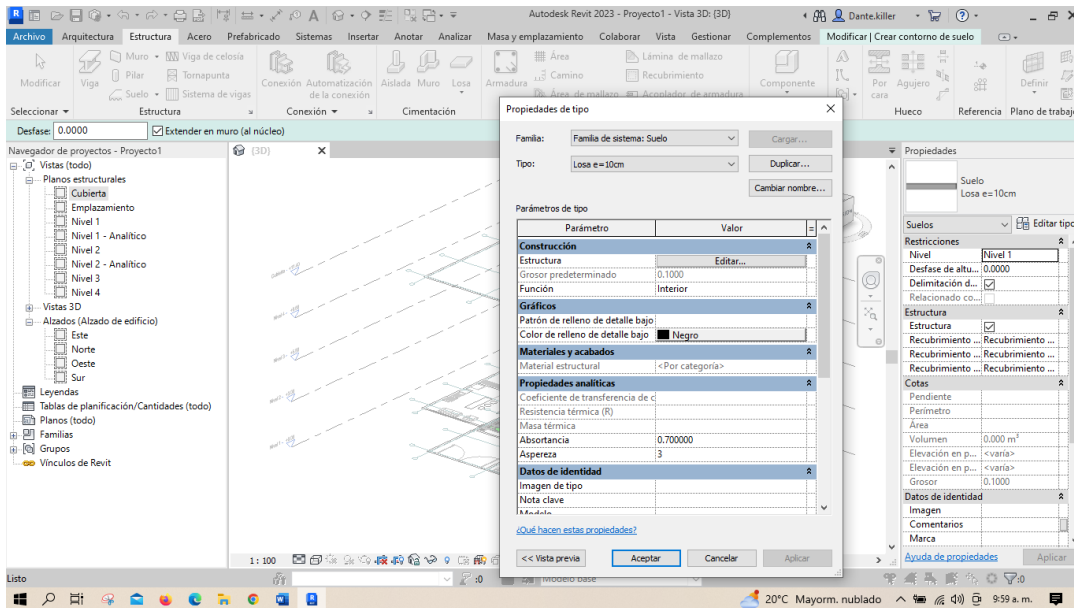
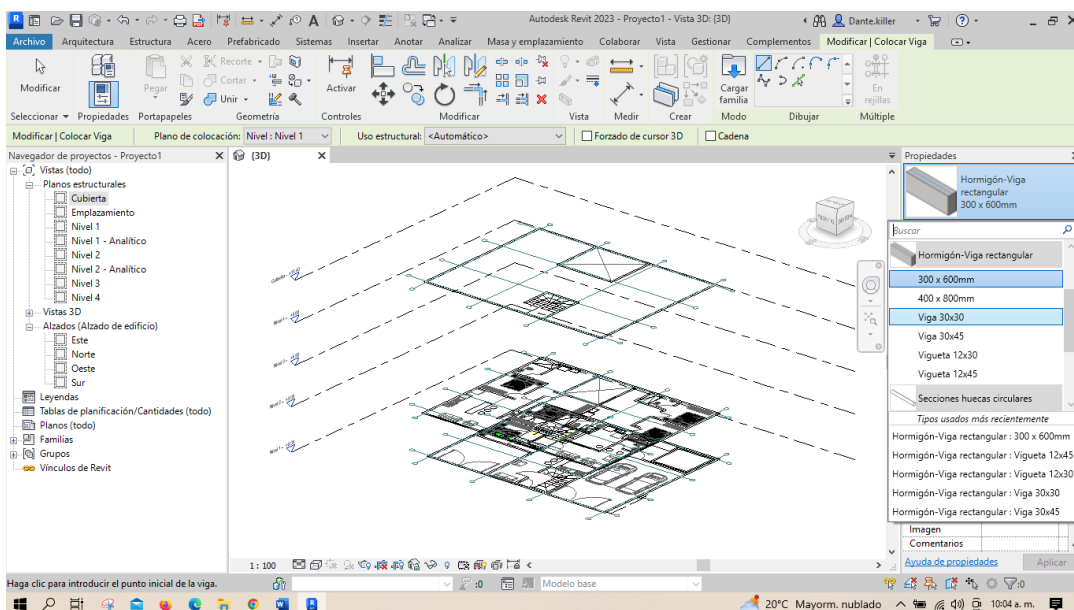


Figura 17: Sección losa de entrepiso.



Una vez creados las secciones de cada elemento, se podrán apreciar cada uno de ellos al elegir un tipo desde la lista desplegable de la paleta de propiedades.

Figura 18: Vista de las secciones creadas.



Creación de la rejilla o ejes de referencia

Se realiza desde una vista en planta de acuerdo a los ya definidos en los archivos CAD vinculados.

Figura 19: Creación de los ejes de referencia.

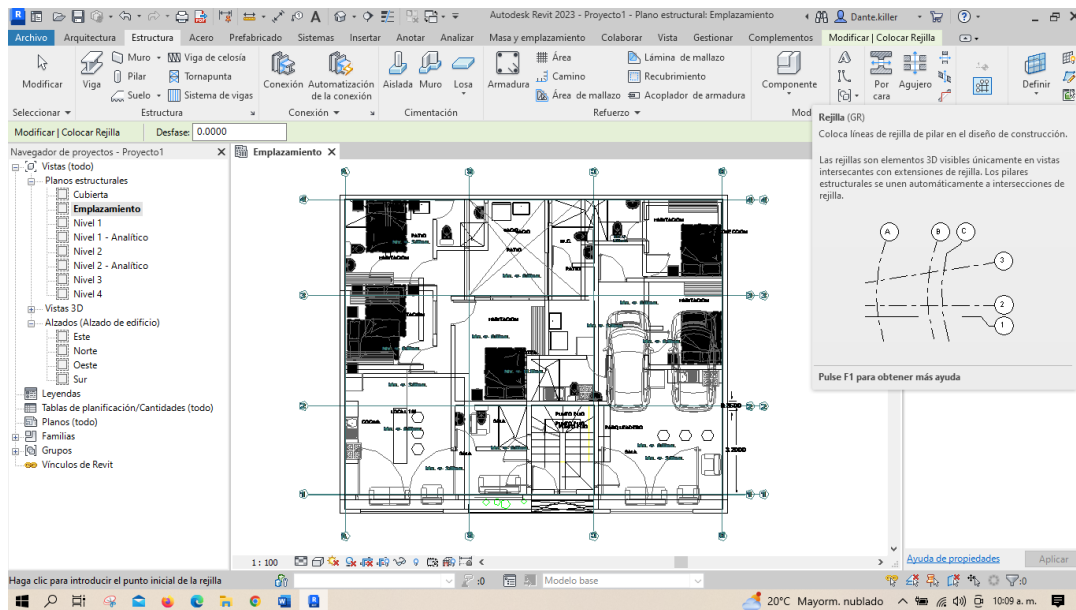
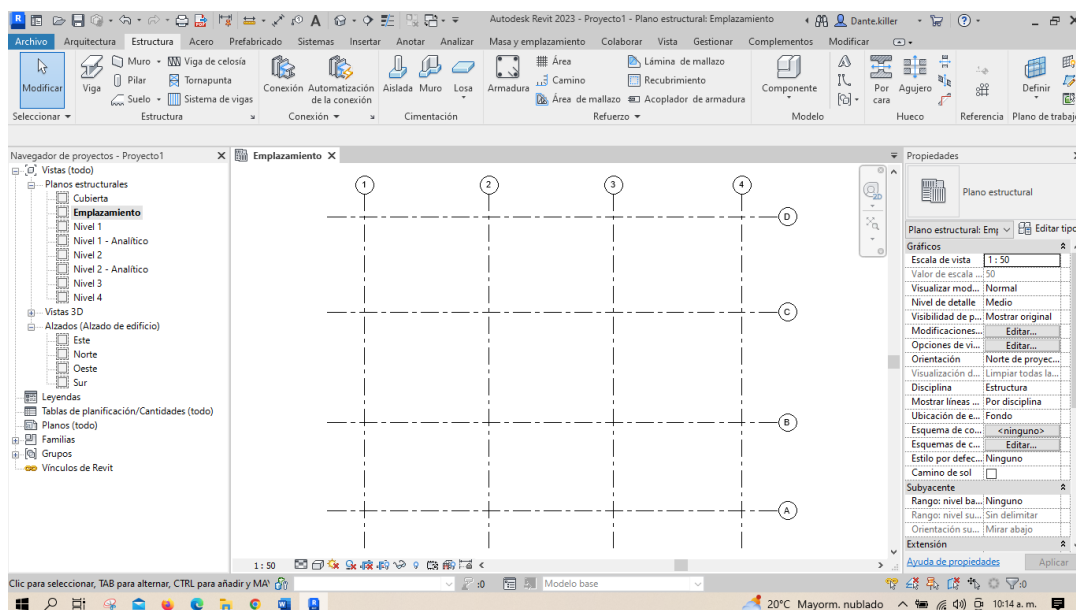


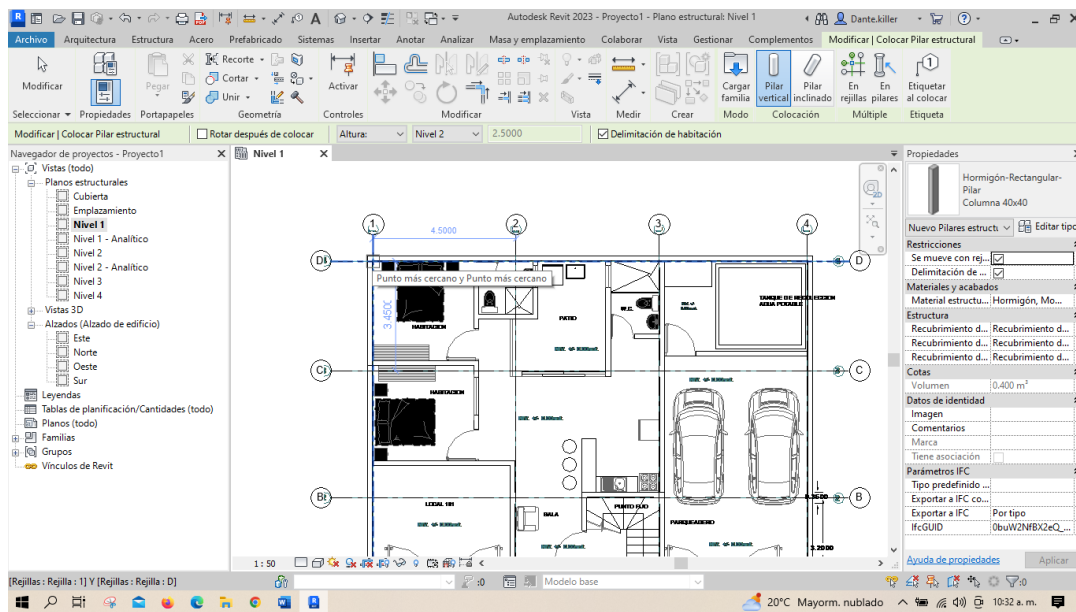
Figura 20: Ejes de referencia creados.



Modelado de las columnas o pilares.

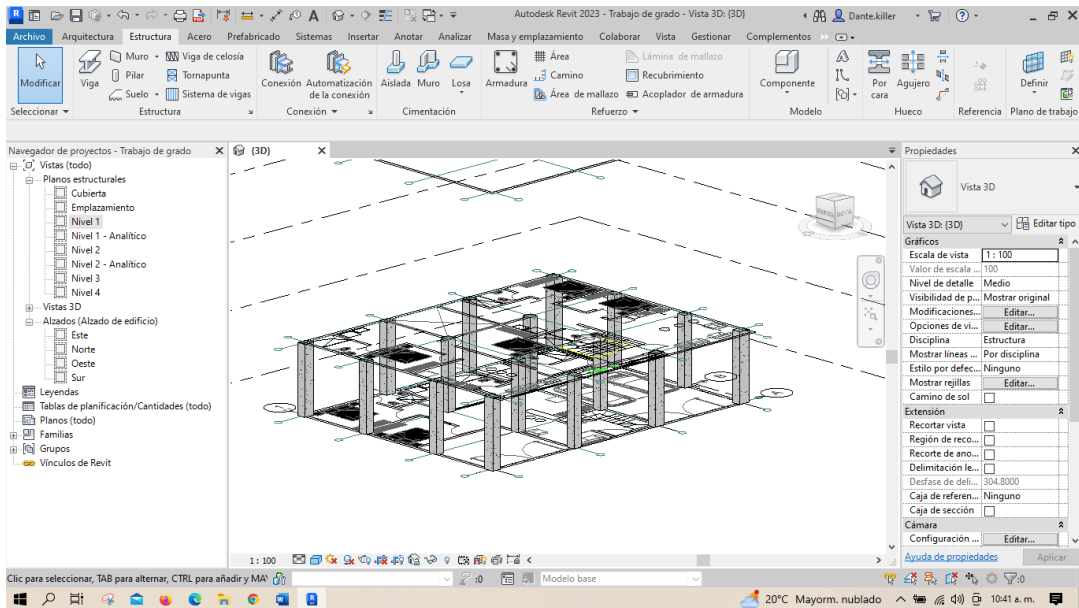
Para realizar el modelado de la edificio se recomienda trabajar de la misma manera que se haría en la construcción, por ello será la columna el primer elemento, para ello desde una vista en planta en la ficha de estructura, se selecciona pilar, se elige la respectiva sección, los niveles inferior y superior del elemento y se ubica teniendo en cuenta la rejilla establecida.

Figura 21: Modelado de las columnas.



Se realiza la distribución de las columnas procurando respetar los espacios arquitectónicos, se recomienda ubicar las mismas a los bordes y a las esquinas de los muros, además de ello por criterio del diseñador estructural se trabajarán con diferentes secciones y orientación del elemento, como tic en la ubicación del elemento se tiene que al dar la tecla espacio, el elemento girara en planta a 90° facilitando con ello el trabajo. Cuando se modela una columna en planta, además del dibujo de la misma, se está construyendo virtualmente, por lo tanto, al posicionarse en una vista 3D, se pueden apreciar los resultados de lo realizado.

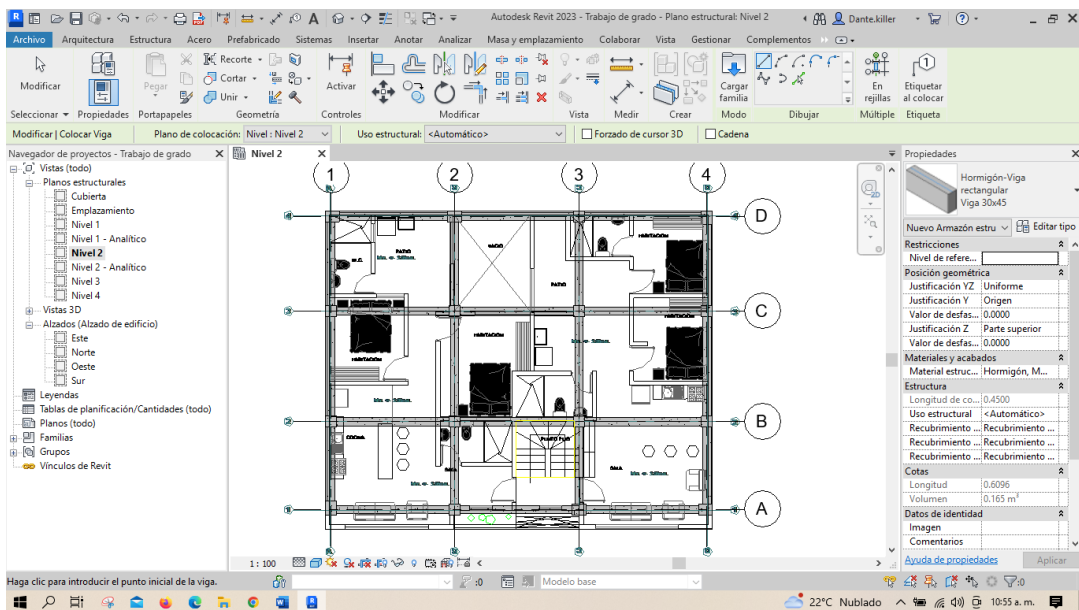
Figura 22: Resultados del modelado de columnas.



Modelado de las vigas.

Se ubican desde una vista en planta, teniendo en cuenta la rejillas y su debida sección.

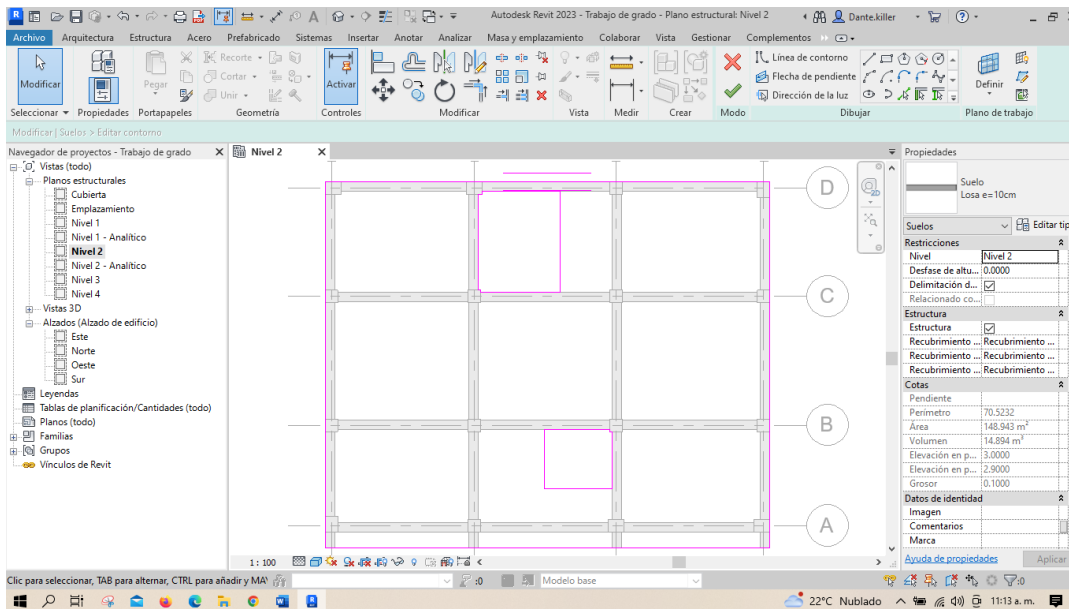
Figura 23: Modelado de las vigas.



Modelado de las losas.

A partir del contorno y los vacíos, se dibuja desde una vista en planta con su debida sección.

Figura 24: Modelado de las losas.



Cuando se realiza el modelado de la losa, se debe establecer el contorno que tendrá la misma, ante la presencia de vacíos, deberá dibujarse el contorno de los mismos dentro del contorno inicial.

Modelado de las viguetas.

Para realizar el modelado de las viguetas, a partir de la sección definida en el predimensionamiento, se elige el tipo de sistema de vigas, la regla de diseño en donde se establece un espaciado máximo y al acercarse sobre las vigas principales se define la orientación de las mismas. En caso de haber presencia de vacíos o de voladizos, deberán ubicarse viguetas de borde, siguiendo el mismo procedimiento del modelado de vigas, y posteriormente ubicar el sistema de viguetas en dichos lugares.

Figura 25: Modelado de las viguetas.

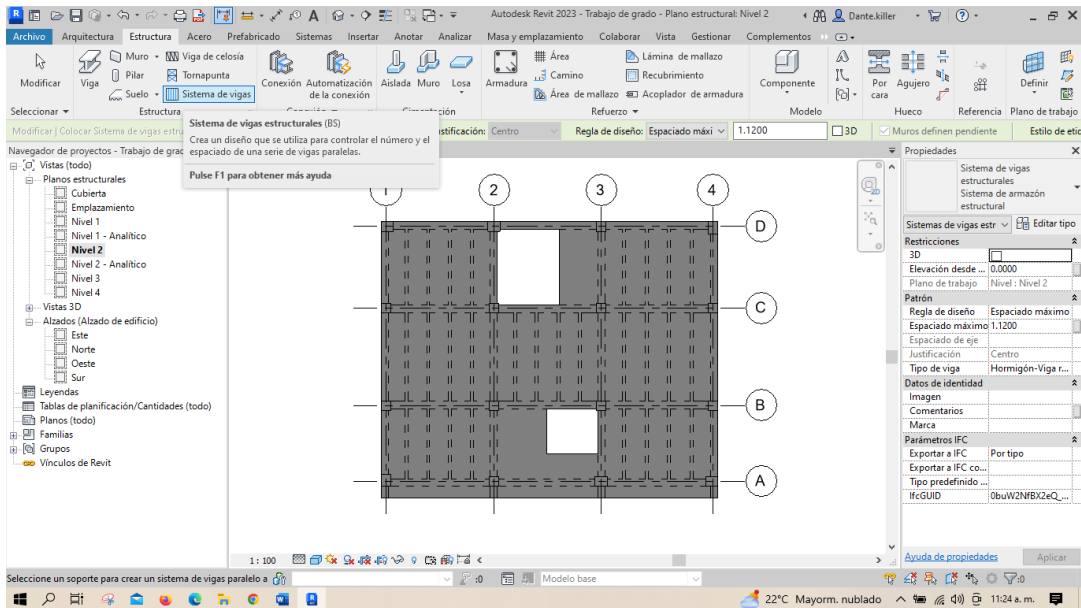
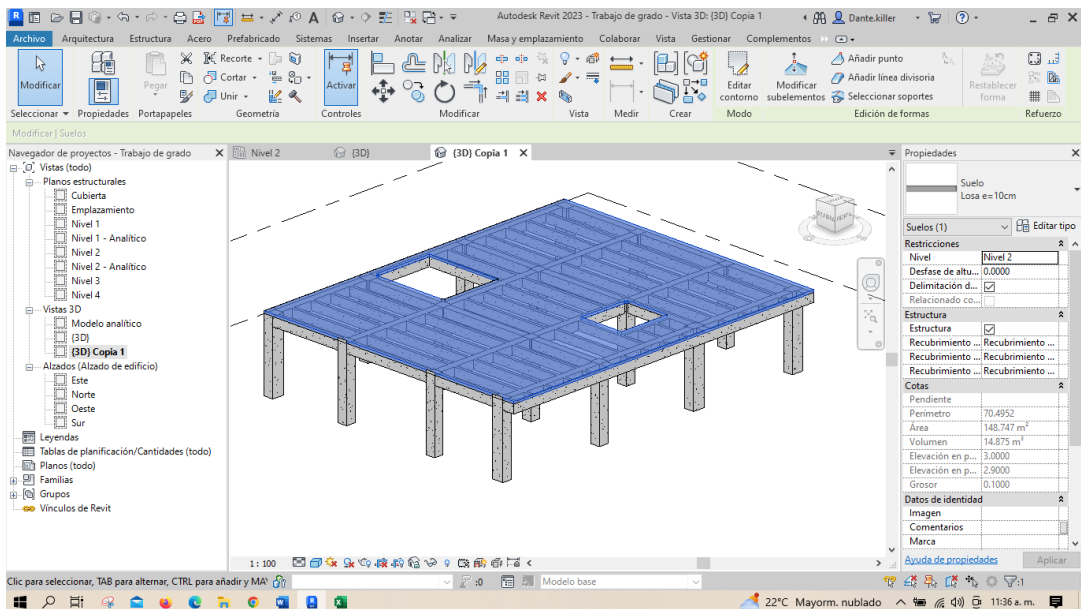


Figura 26: Resultados del modelado.

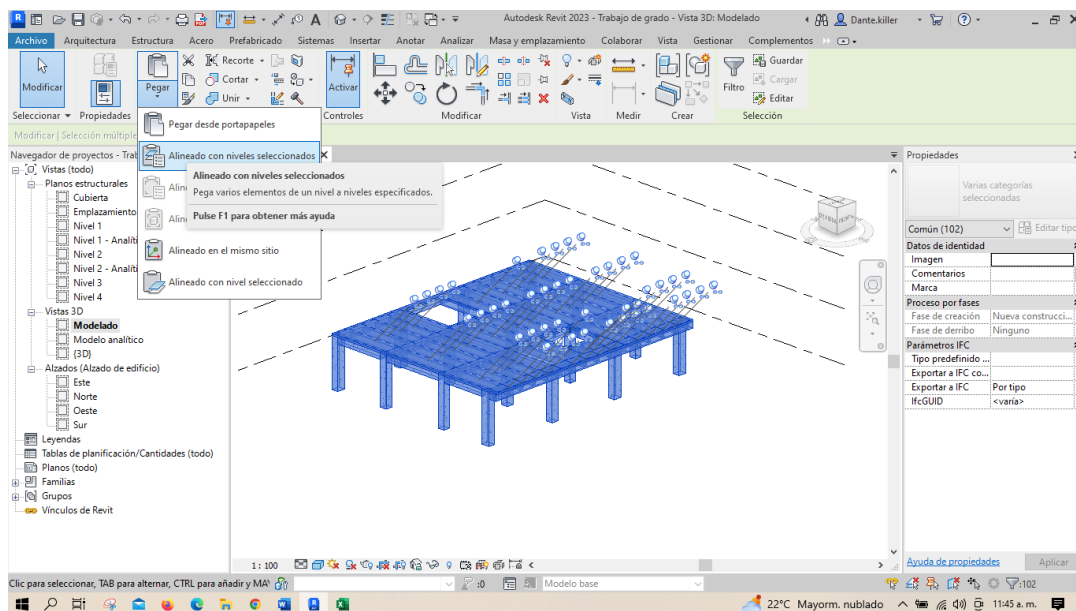


Cuando se realiza el modelado, hay ocasiones en las que se hace necesario modificar la ubicación de algún elemento, para ello Revit tiene una ficha en la que ofrece estas opciones.

Modelado de toda la edificación

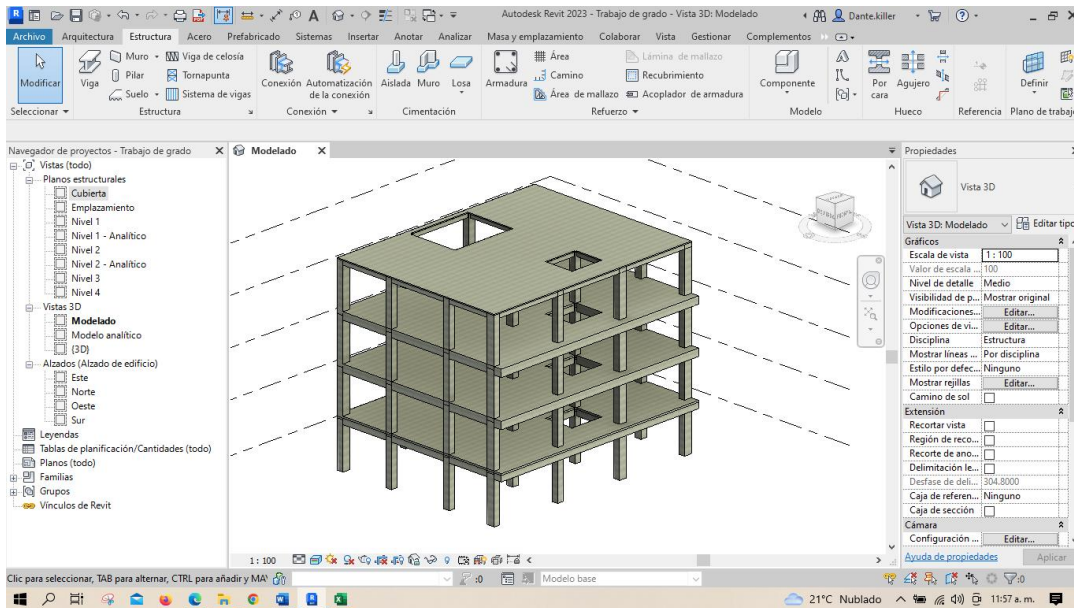
A partir de la ficha modificar y desde una vista en 3D, se seleccionan todos los elementos modelados, después de ello se pegan al portapapeles y se pegan alineados a los niveles seleccionados.

Figura 27: Copia del modelado a los demás niveles.



Una vez realizado el anterior procedimiento, se mostrará la edificación completamente modelada, aunque al tener en la planta de cubierta secciones diferentes de vigas y losas, además de una disposición diferente de las viguetas, se hace necesario realizar modificaciones a las mismas, o incluso modelando nuevamente en dichas plantas, de la misma manera que para la planta inicial.

Figura 28: Proyecto modelado.



Como resultado del modelado, se tendrá la edificación completamente construida de forma virtual, y con ello ya se podrá llevar al software Robot para realizar el análisis estructural. Además del modelado de los elementos estructurales, también podrá realizarse la disposición de los elementos arquitectónicos (muros divisorios, baldosas, etc.) y las diferentes instalaciones (sanitarias, hidráulicas, eléctricas y demás) según las características del proyecto, en donde se podrán definir pesos de los elementos e incluso cargas adicionales generadas, teniendo así un gran alcance, pero que se recomienda ser omitido, realizar el análisis estructural a partir de las cargas que recomienda la norma.

4.3.3 *Análisis estructural en Robot*

Revit ofrece un trabajo colaborativo, por ello desde la ficha analizar, podremos vincular el proyecto modelado con el software Robot, en donde se realizará el análisis estructural. Para llevar el proyecto modelado a robot, en primera instancia se debe crear el modelado analítico, para ello desde la ficha de analizar, se da clic en automatización analítica, se seleccionan todos los elementos que hacen parte del sistema de resistencia sísmica (columnas, vigas y suelos), se establecen unos parámetros de tolerancia ante elementos fuera de su eje de referencia y se da clic en ejecutar. Realizado el procedimiento anterior, se obtendrá una línea alámbrica en todos los elementos, a partir de la cual se podrá realizar la exportación a robot.

Figura 29: Creación del modelo analítico.

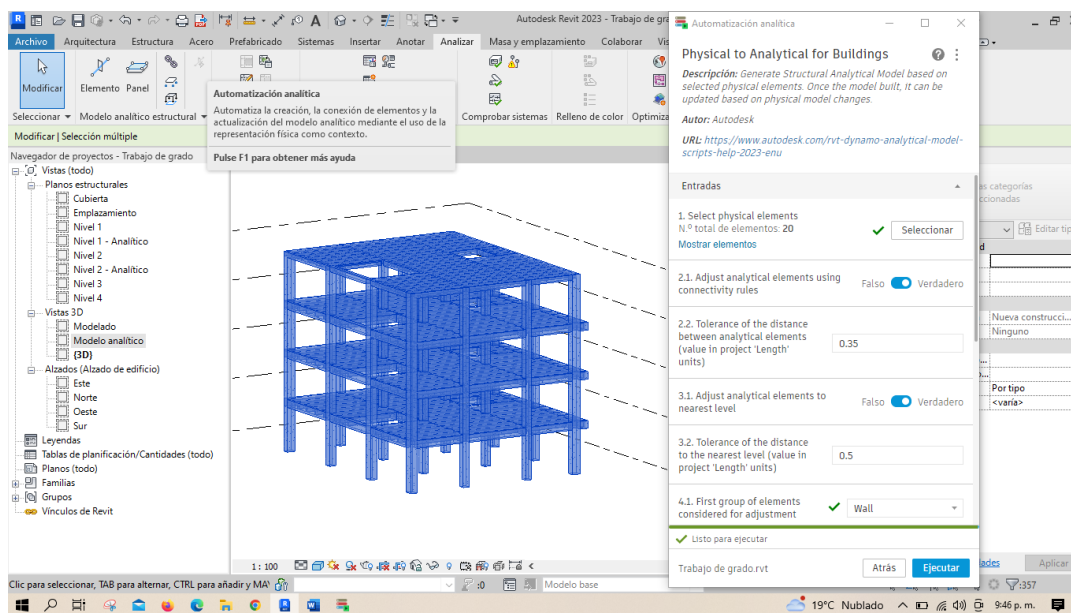
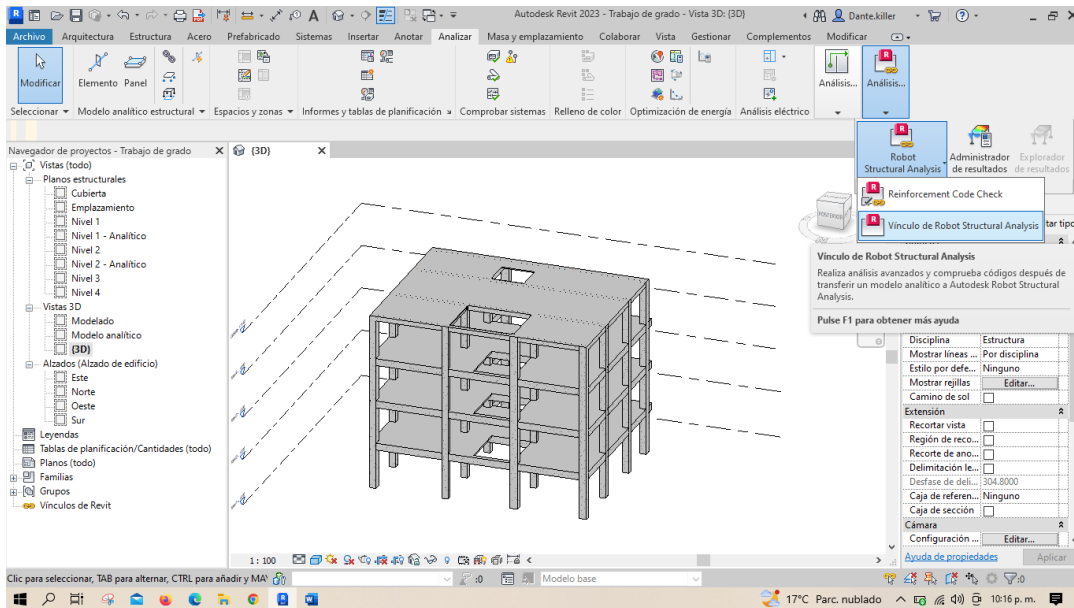
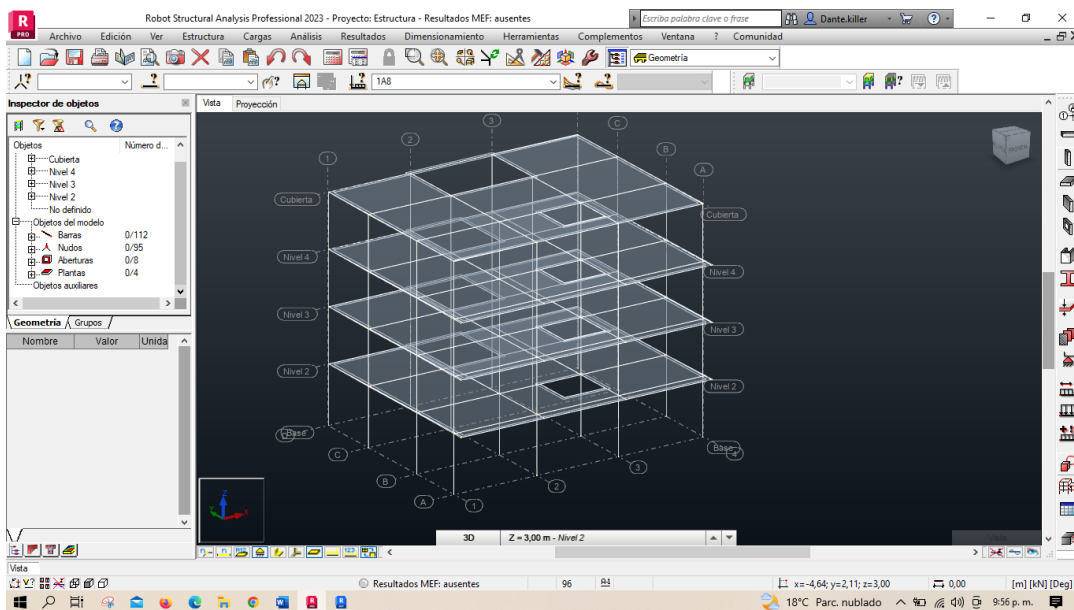


Figura 30: Vincular proyecto modelado en Revit con Robot Structural



Vincular el modelo con robot lleva un tiempo que depende de la complejidad del proyecto además de las características del equipo de cómputo en que se realiza.

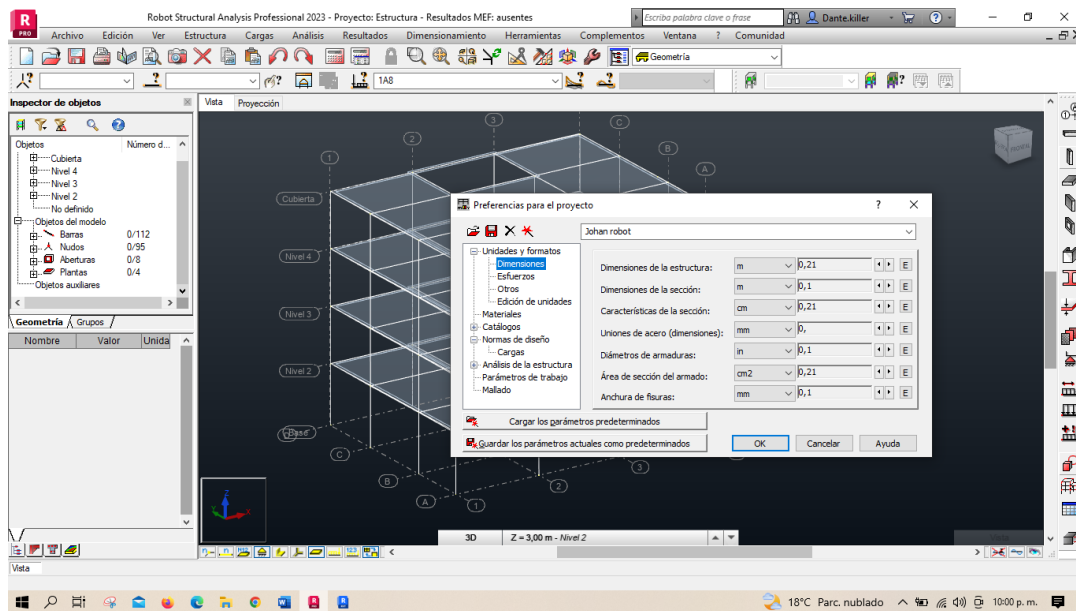
Figura 31: Resultados de vincular el modelo con robot.



Configuración de las preferencias del proyecto.

Una vez se ha vinculado el proyecto modelado en Revit, se muestra en forma alámbrica el proyecto que se ha modelado, inicialmente se deben configurar las preferencias del proyecto, en donde se escogen unidades, materiales, normas de diseño entre otras.

Figura 32: Preferencias del proyecto.

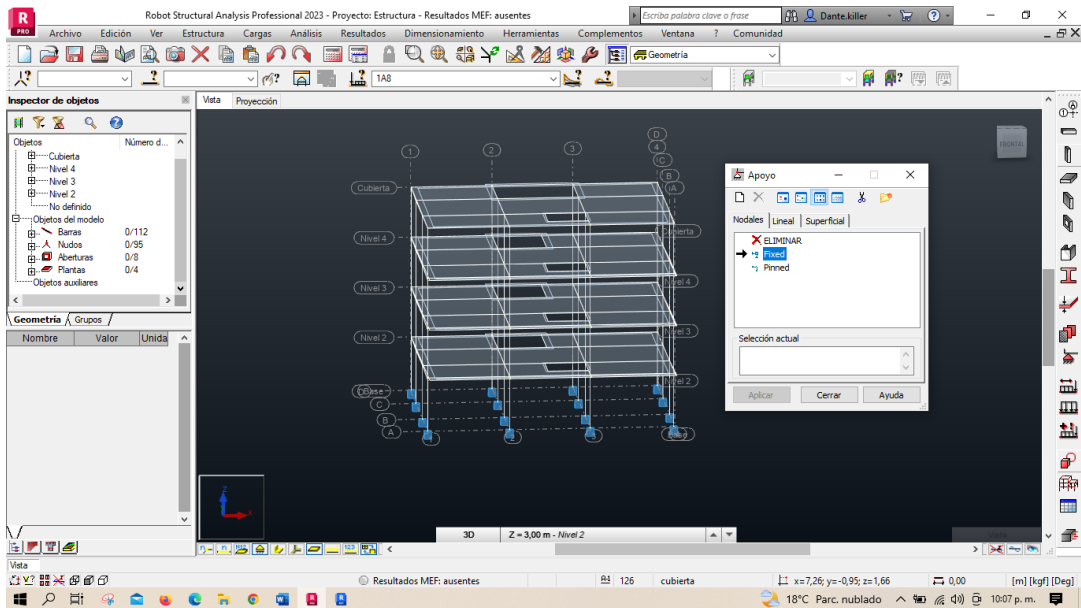


Robot permite elegir entre diferentes sistemas de unidades y formatos de visualización de las mismas, por lo que el diseñador tendrá la oportunidad de elegir a su gusto, de igual manera se podrán ajustar otros parámetros en los que se destacan los materiales a utilizar con sus respectivas características y también las normas de diseño, entre muchos otros factores.

Tipo de apoyos de los elementos estructurales.

De acuerdo al tipo de sistema estructural, se definirá el tipo de apoyo empotrado, para ello se seleccionan todos los apoyos y se da clic sobre Apoyos – Fixed, teniendo como resultado restricciones de desplazamientos y de giros en todos los apoyos.

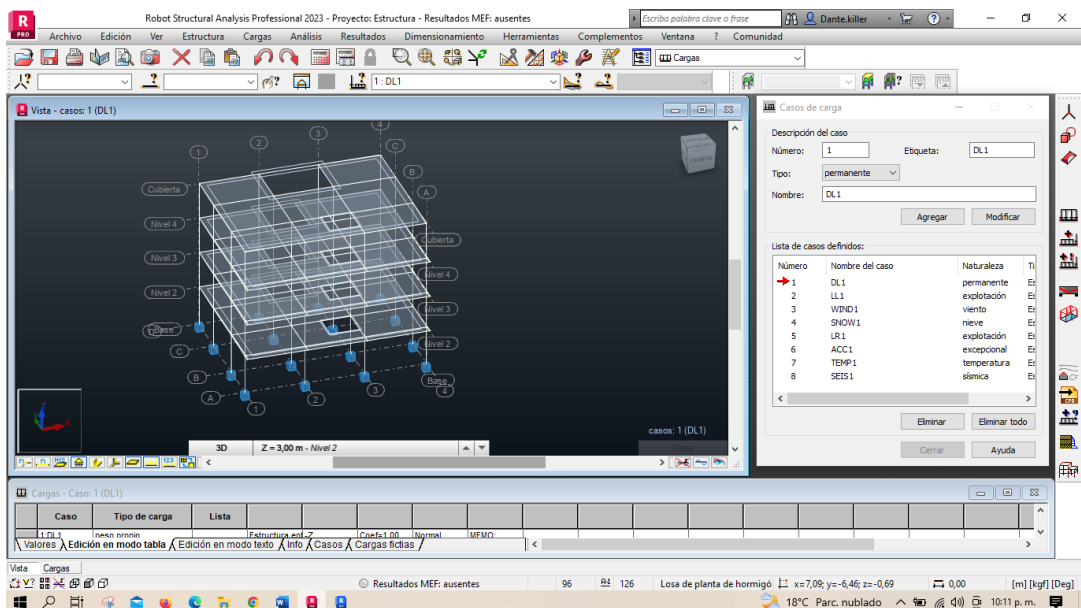
Figura 33: Apoyos empotrados.



Creación de los casos de carga.

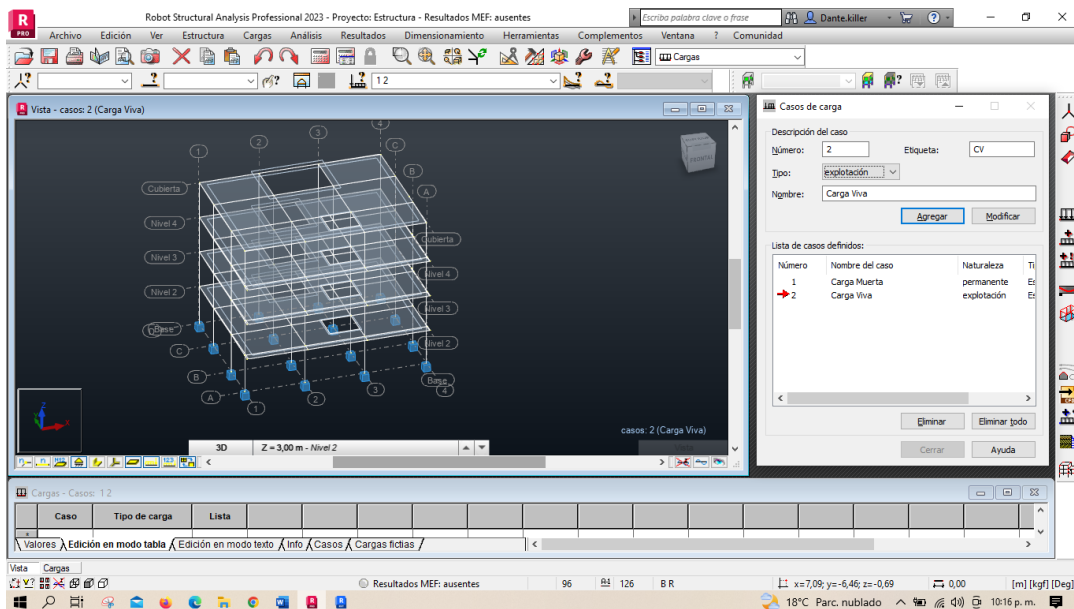
Para facilidad del trabajo se recomienda trabajar desde el layout de Cargas.

Figura 34: Layout cargas.



Por defecto el software define varios casos de cargas, los cuales se recomienda eliminar para crear los casos de carga necesarios de acuerdo a las necesidades del proyecto. Para crear un caso de carga, se especifica una etiqueta, se elige un tipo de carga y se le asigna un nombre, para después dar clic en agregar.

Figura 35: Casos de carga muerta y viva.



Inicialmente se crean los casos de carga muerta y viva, por la ubicación y características del proyecto, no se crearán casos de carga de viento, nieve, ni por presiones de suelos o fluidos, pero si así se quisiera se podrían crear siguiendo el mismo procedimiento.

Además de los casos ya creados, también es necesario crear los tipos de análisis modales y sísmicos, para ello desde la ficha análisis, se da clic en tipo de análisis y dando clic en nuevo se eligen los tipos de análisis a crear, primero creando el caso modal y posteriormente creando el caso sísmico espectral.

Figura 36: Creación de tipos de análisis.

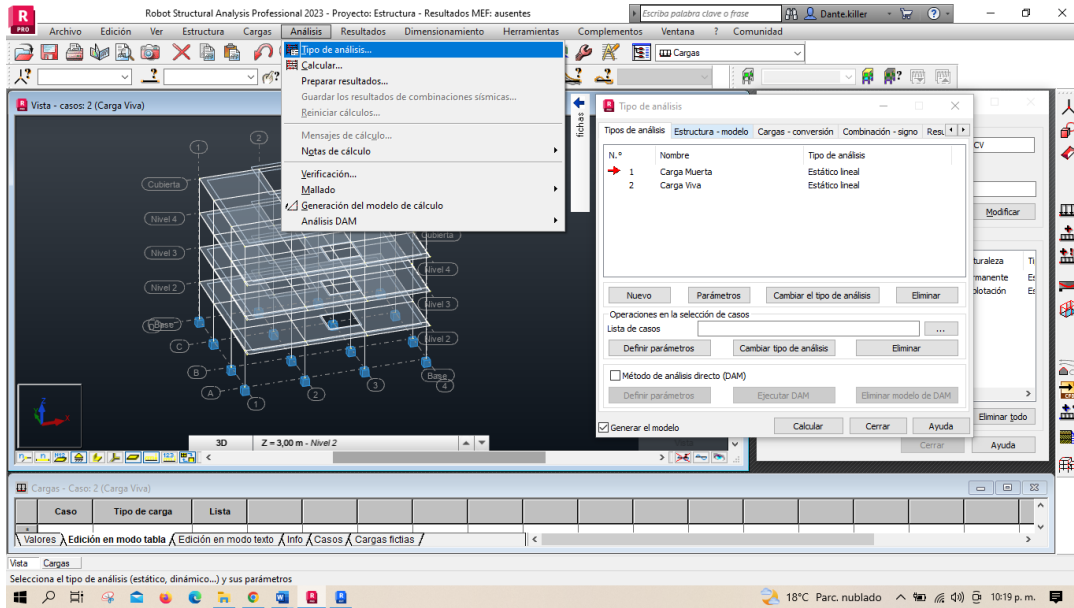
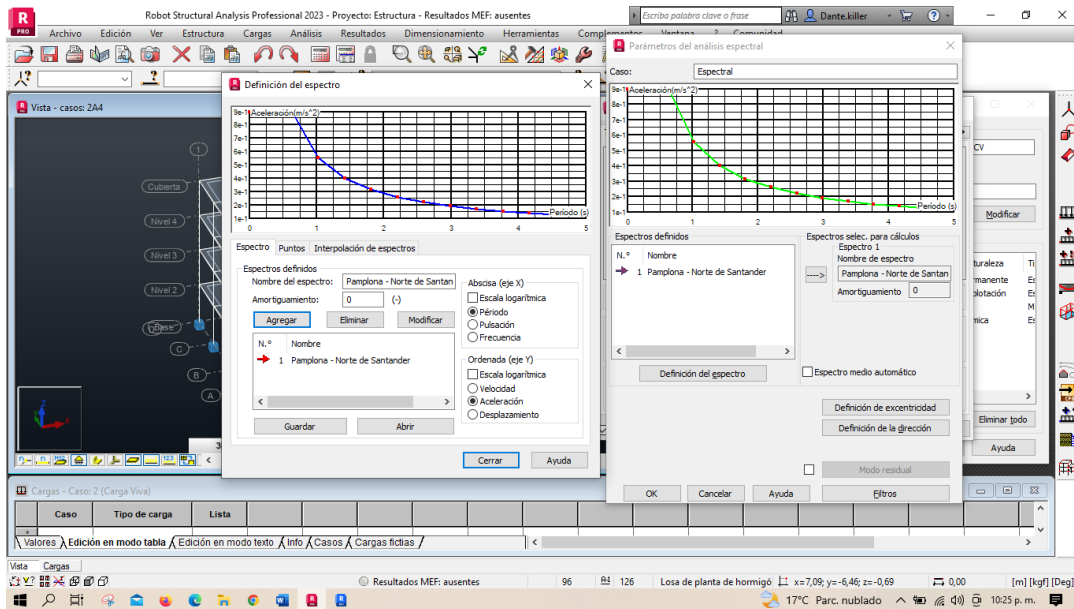


Figura 37: Tipo de análisis espectral.

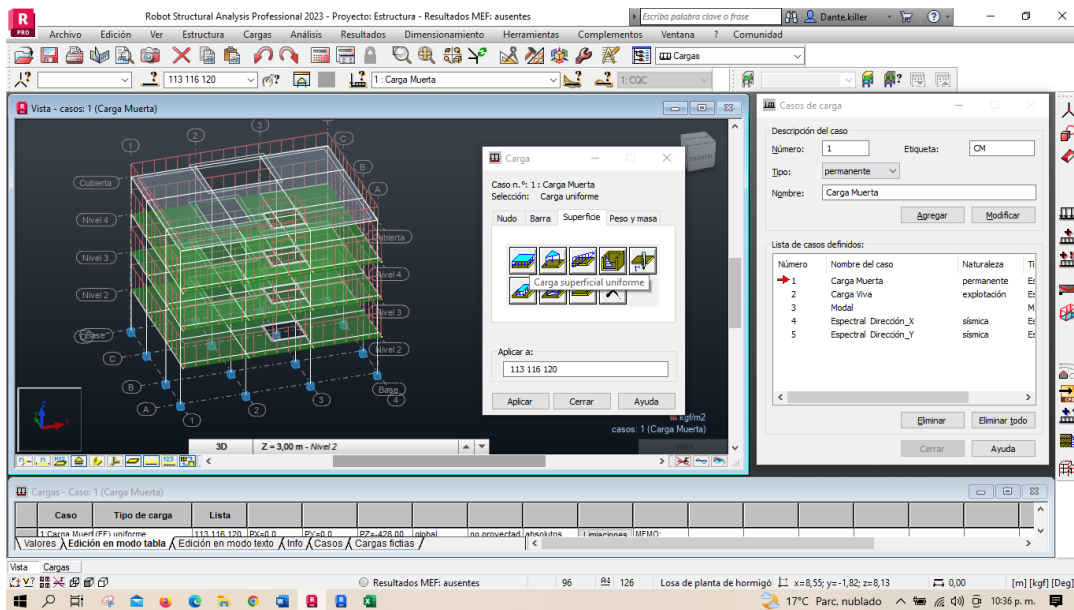


Al crear el tipo de análisis espectral, se definirá en el software el espectro de diseño establecido de acuerdo a la ubicación y las características del proyecto.

Asignación de cargas muertas y cargas vivas.

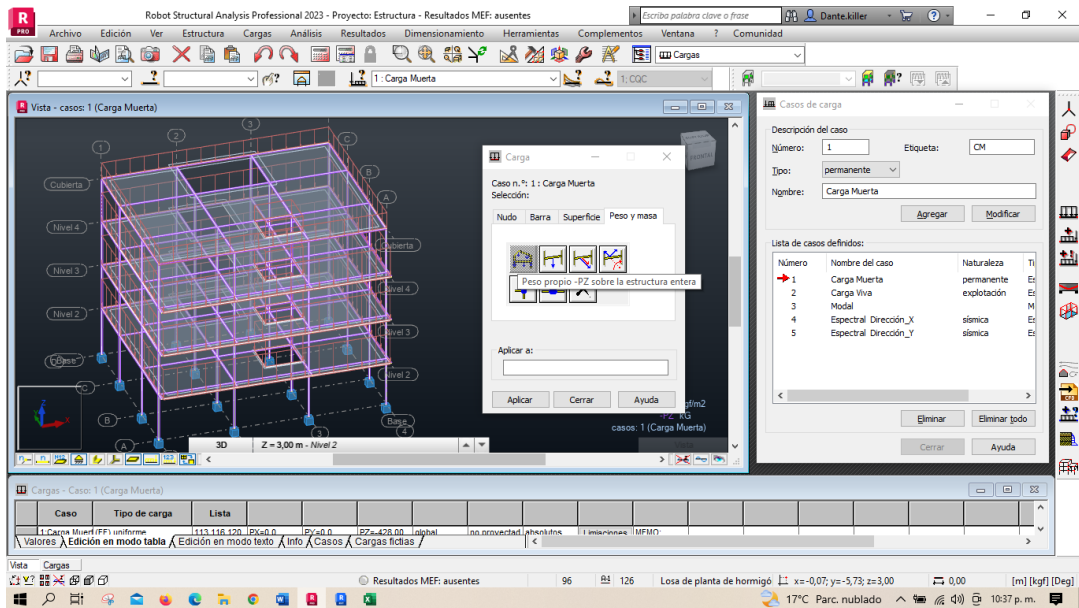
Desde la ficha cargas, se selecciona el tipo de carga a agregar, se asigna el respectivo valor y dirección, y se seleccionan las losas para después dar clic en aplicar.

Figura 38: Asignación de las cargas muertas.



Inicialmente se debe de haber realizado un análisis de cargas, allí siguiendo lo que indica la norma, se establecen los valores para los casos de carga, normalmente en proyectos de este tipo se trabaja con las cargas muertas y vivas. Para crear las cargas vivas, se realiza siguiendo el mismo procedimiento que para las cargas muertas, pero ubicados en el respectivo caso de carga. Además de asignar los valores de las cargas, también es necesario agregar el peso propio de los elementos, aquí el software establece una opción automática desde la ficha de cargas.

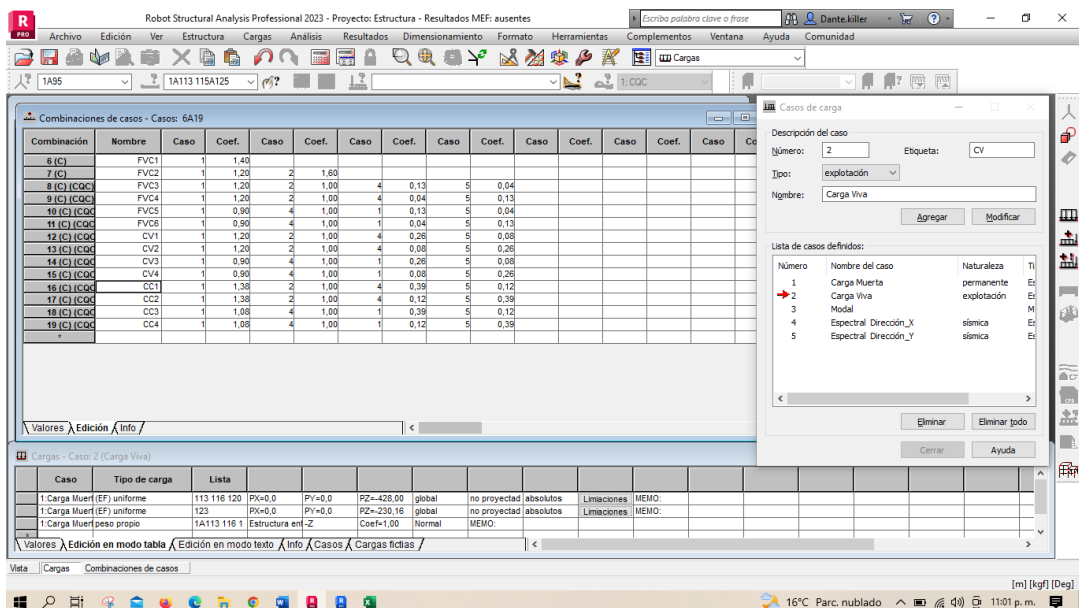
Figura 39: Asignación del peso propio de los elementos.



Combinaciones de carga.

Desde la ficha de cargas, se selecciona tabla combinaciones y se cargan de acuerdo a lo definido.

Figura 40: Tabla de combinaciones de carga.

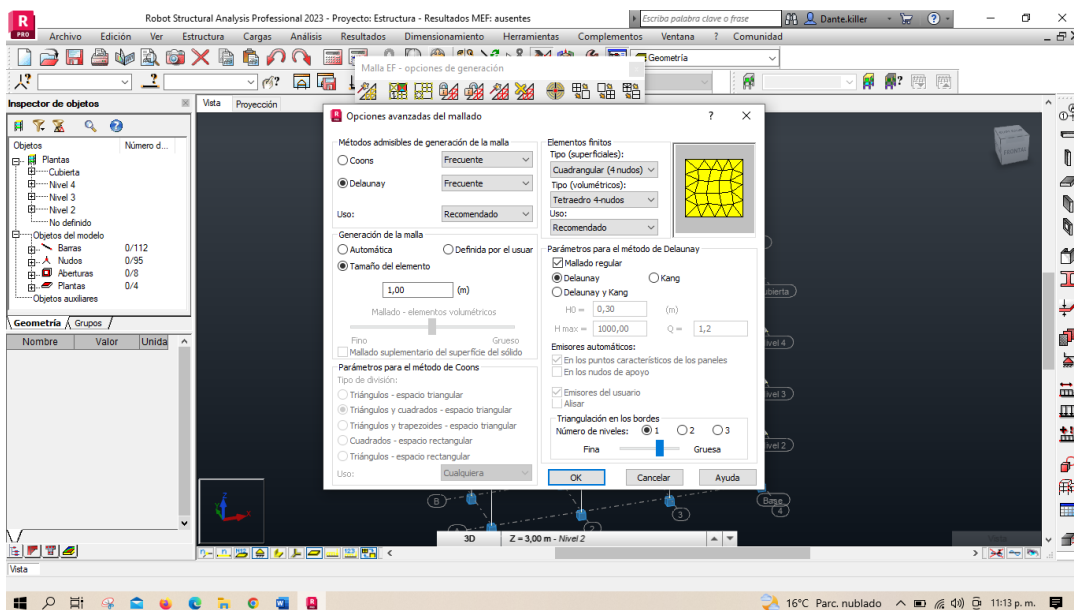


Robot permite cargar las combinaciones previamente definidas en Excel, para ello se asigna un valor numérico para el caso y se asigna su respectivo coeficiente, se recomienda establecer un nombre que ayude a identificar cada caso de carga, pues estas serán utilizadas en el diseño de los elementos.

Corrida del modelo.

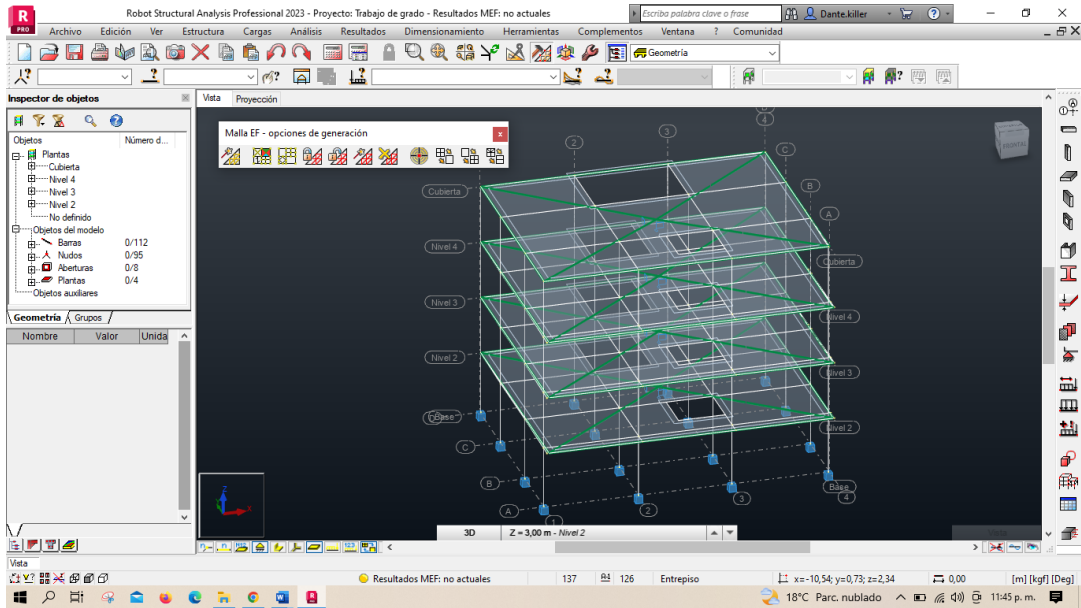
Desde el layout de geometría, se asignarán unas opciones de malla, se recomienda dejarlo como lo tiene el software por defecto de acuerdo a la normativa elegida.

Figura 41: Mallado de las losas.



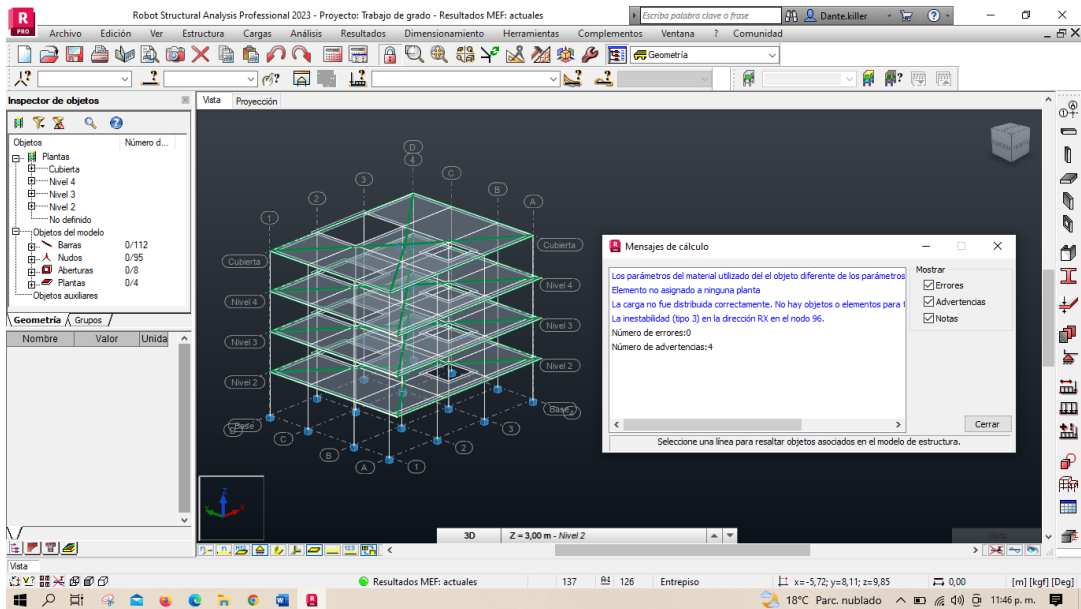
Una vez establecida la opción del mallado, se genera el modelo de cálculo y como resultado de este procedimiento, se obtendrá una vista de las losas de forma seccionada, según como se halla definido. Una vez se ha generado el modelo de cálculo, se da clic en calcular y se realiza la primera corrida del modelo, el tiempo de análisis depende de las características del equipo de cómputo.

Figura 42: Generación del mallado.



En caso de que haya errores que impidan correr el cálculo, Robot especificará los mismos, de igual manera mostrará algunas advertencias de diferentes tipos.

Figura 43: Corrida inicial.



Procedimiento del análisis dinámico espectral A.5.4

Es un procedimiento de análisis dinámico por medio del cual la respuesta dinámica de la estructura se obtiene como la superposición de las respuestas de los diferentes modos, o formas de vibración.

Periodo fundamental de la edificación

Se define teniendo en cuenta lo que indica la normativa:

$$\text{A.4.2.1:} \quad C_u = 1,75 - 1,2 * A_v * F_v \qquad \text{A.4.2-3:} \quad T_a = C_t * h^\alpha$$

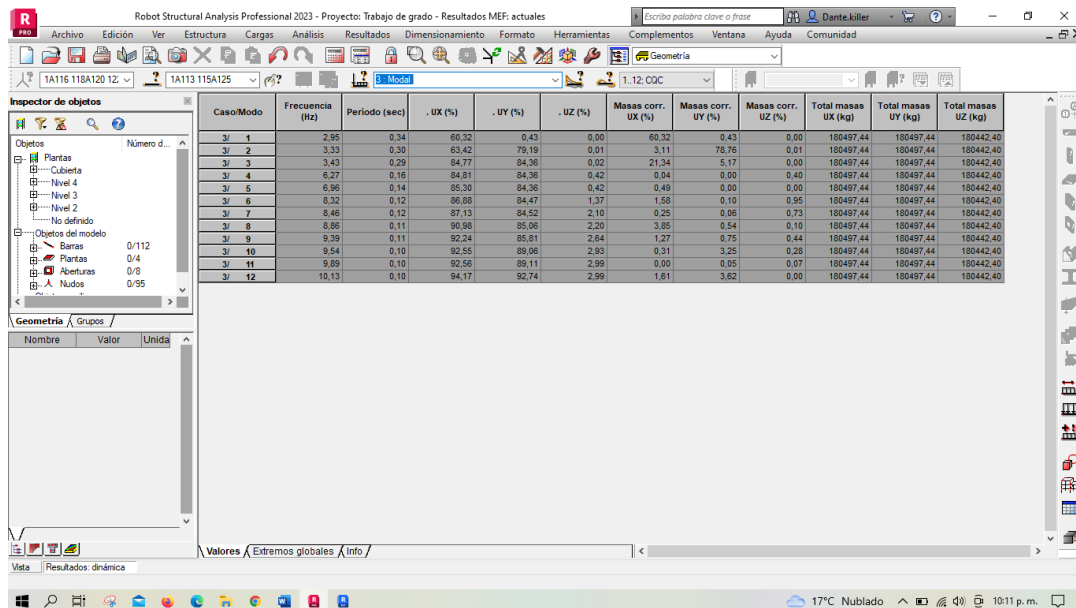
$$C_u = 1,75 - 1,2 * 0,25 * 1,8 = 1,21 \gg C_u \text{ no deberá ser menor a } 1,2.$$

C_t y α dependen del tipo de sistema estructural y son obtenidos por la tabla A.4.2-1.

$$T_a = 0,047 * 10,60^{0,9} = 0,39[s]$$

El valor de T no puede exceder $C_u T_a$: $C_u T_a = 1,21 * 0,39 = 0,48[s]$

Figura 44: Resultados del análisis de las vibraciones.



Caso/Modo	Frecuencia (Hz)	Periodo (sec)	. UX (%)	. UY (%)	. UZ (%)	Masas corr. UX (%)	Masas corr. UY (%)	Masas corr. UZ (%)	Total masas UX (kg)	Total masas UY (kg)	Total masas UZ (kg)
3/ 1	2,95	0,34	60,32	0,43	0,00	60,32	0,43	0,00	180497,44	180497,44	180442,40
3/ 2	3,33	0,30	62,42	79,19	0,01	3,11	79,76	0,01	180497,44	180497,44	180442,40
3/ 3	3,43	0,29	84,77	84,36	0,02	21,34	5,17	0,00	180497,44	180497,44	180442,40
3/ 4	6,27	0,16	84,81	84,36	0,42	0,04	0,00	0,40	180497,44	180497,44	180442,40
3/ 5	6,96	0,14	85,30	84,36	0,42	0,49	0,00	0,00	180497,44	180497,44	180442,40
3/ 6	8,32	0,12	86,88	84,47	1,37	1,58	0,10	0,95	180497,44	180497,44	180442,40
3/ 7	8,46	0,12	87,13	84,52	2,10	0,25	0,06	0,73	180497,44	180497,44	180442,40
3/ 8	8,86	0,11	90,98	85,06	2,20	3,85	0,54	0,10	180497,44	180497,44	180442,40
3/ 9	9,39	0,11	92,24	85,81	2,64	1,27	0,75	0,44	180497,44	180497,44	180442,40
3/ 10	9,54	0,10	92,55	89,06	2,93	0,31	3,25	0,28	180497,44	180497,44	180442,40
3/ 11	9,89	0,10	92,56	89,11	2,99	0,00	0,05	0,07	180497,44	180497,44	180442,40
3/ 12	10,13	0,10	94,17	92,74	2,99	1,61	3,62	0,00	180497,44	180497,44	180442,40

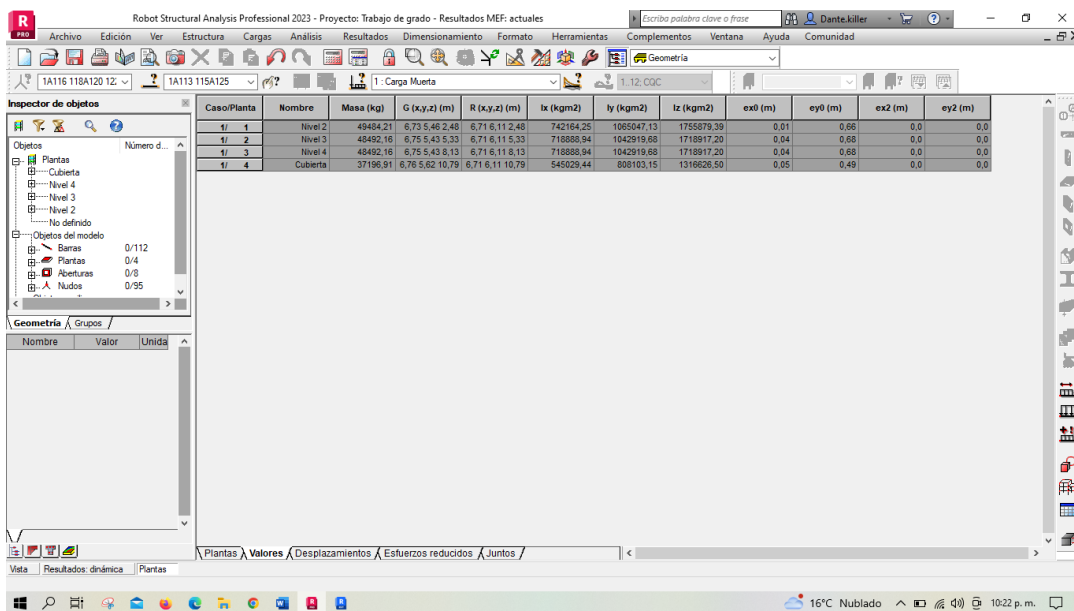
El valor del periodo de la estructura será obtenido como resultado de la corrida del modelo en el software, este valor deberá ser menor a 0,48seg, adicionalmente se recomienda que la

masa participante en el análisis modal sea al menos del 90%, estos valores son obtenidos a través de la visualización de las tablas, dando clic derecho, seleccionando tablas y posterior seleccionando modos propios y ok. En la primera casilla de la fila periodo se aprecia que el valor del periodo fundamental equivale a 0,34seg, ubicando este valor en el espectro de diseño se obtiene un valor de S_a igual a 0.9. En la última casilla de la filas UX% y UY% muestran valores de la masa participante mayores al 90%, cumpliendo con lo que dice la norma.

Masa de la edificación

El resultado se puede realizar de manera manual mediante hojas de cálculo o mediante el uso del software de análisis estructural, para obtener los valores de las masas, se da clic derecho, seleccionando plantas de la lista de tablas, de allí se obtiene una masa total de la edificación igual a 183665,44kg, allí también se podrán apreciar las coordenadas de los centros de masa y rigidez.

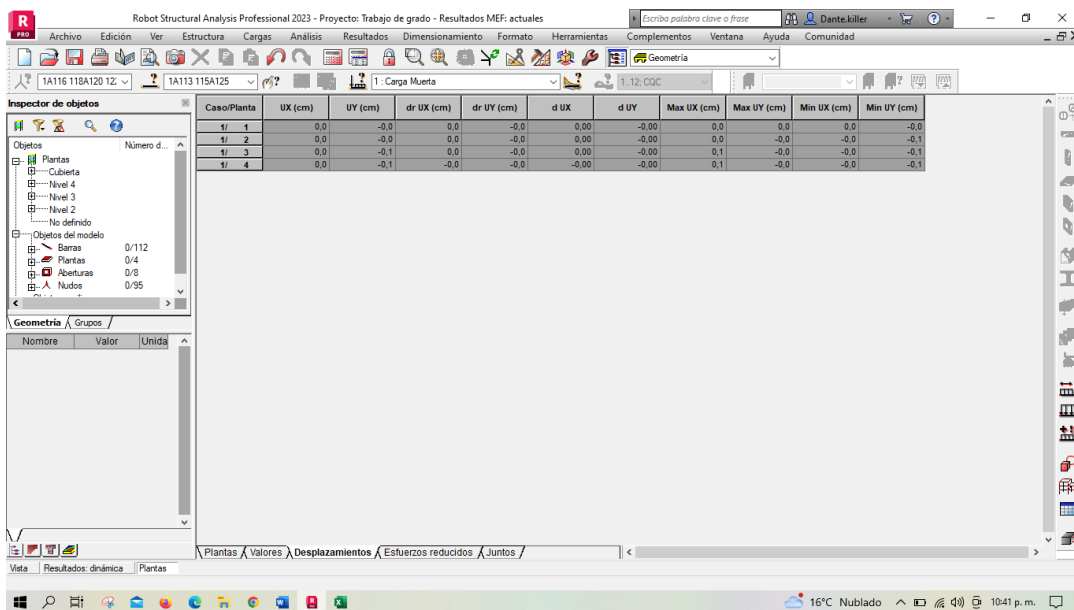
Figura 45: Masa de la edificación.



Caso/Planta	Nombre	Masa (kg)	G (x,y,z) (m)	R (x,y,z) (m)	Ix (kgm ²)	Iy (kgm ²)	Iz (kgm ²)	ex0 (m)	ey0 (m)	ex2 (m)	ey2 (m)
t/ 1	Nivel2	49404.21	6.73 5.46 2.48	6.71 6.11 2.48	742164.25	1065047.13	1755879.39	0.01	0.66	0.0	0.0
t/ 2	Nivel3	48492.16	6.75 5.43 5.33	6.71 6.11 5.33	718888.94	1042919.68	1718917.20	0.04	0.68	0.0	0.0
t/ 3	Nivel4	48492.16	6.75 5.43 8.13	6.71 6.11 8.13	718888.94	1042919.68	1718917.20	0.04	0.68	0.0	0.0
t/ 4	Cubierta	37196.91	6.76 5.62 10.79	6.71 6.11 10.79	545029.44	808103.15	1316626.50	0.05	0.49	0.0	0.0

No se aprecia variación significativa entre los centros de masa y rigidez, esto se debe a la regularidad de la estructura, además de la visualización de lo ya mencionado, también se puede visualizar los desplazamientos de los entrepisos, para ello es necesario ubicarse en la pestaña de desplazamientos, donde se aprecian desplazamiento relativamente pequeños por lo que la deriva será baja, cumpliendo así con lo requerido en un proyecto estructural.

Figura 46: Desplazamientos de la edificación.



Cuando se hace un proyecto estructural, inicialmente se debe realizar un análisis estructural siguiendo los procedimientos que indica la norma, el uso de software ayuda a optimizar los tiempos de ejecución de los proyectos y además permiten obtener resultados más precisos, desde el software no solo se puede verificar el porcentaje de masa participante en los modos, el valor de los periodos de vibración, la masa de la estructura y los centros de gravedad y rigidez, sino que también se pueden obtener diagramas de momentos, de cortantes, reacciones en las bases y demás, los cuales pueden ser visualizados desde el layout de resultados. (Jaimes, 2022)

Figura 47: Diagramas de momentos.

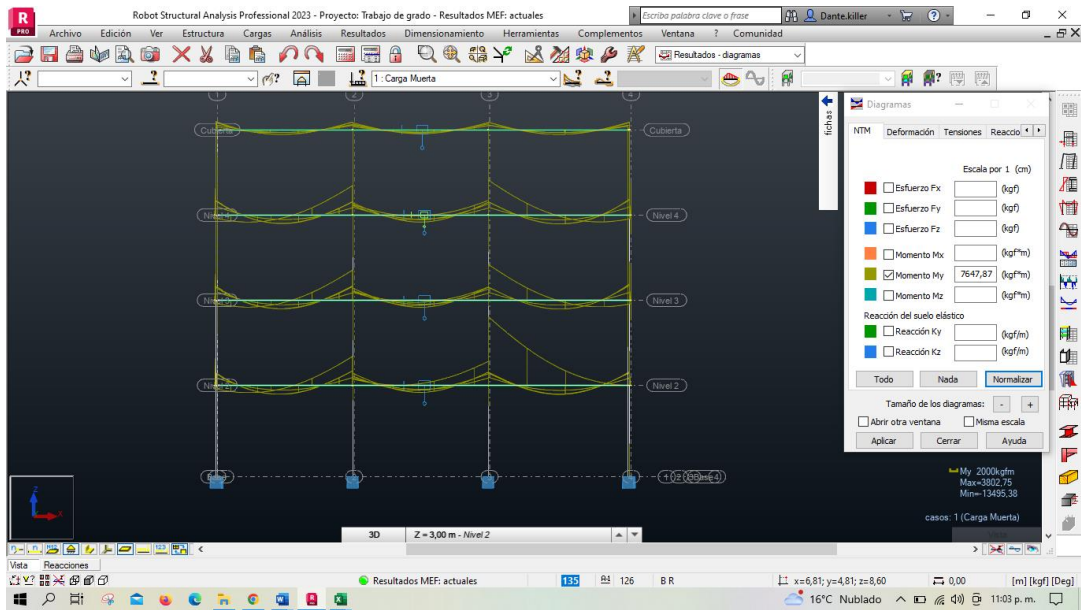
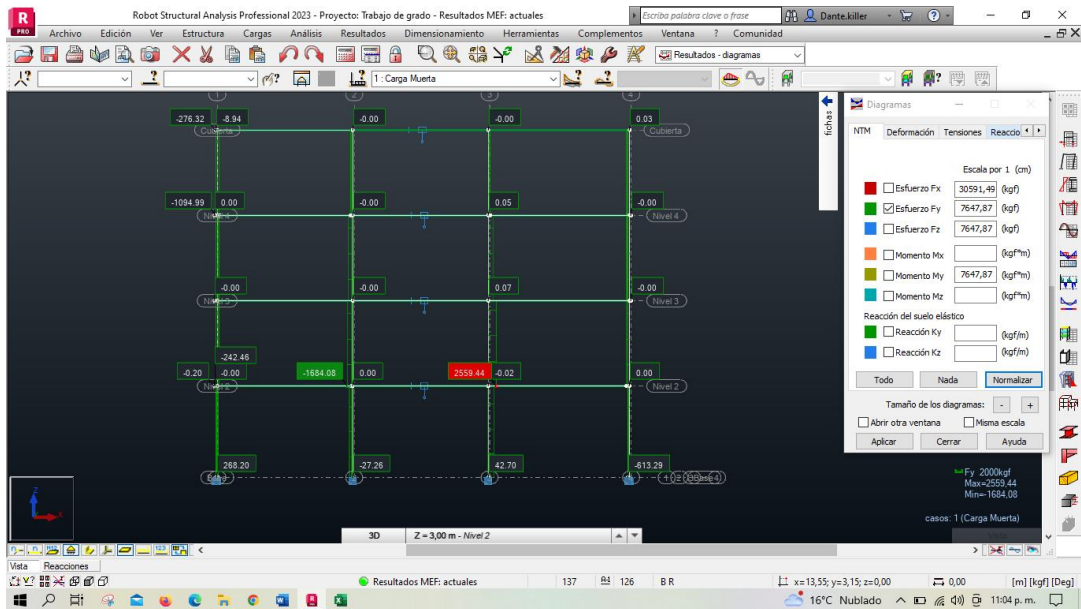


Figura 48: Diagramas de esfuerzos.



4.3.4 Diseño de hormigón armado

Robot permite realizar el diseño del armado de acero, siguiendo lo establecido por la norma o incluso lo indicado por el diseñador, este diseño se realiza a partir de los resultados de la corrida de cálculo y abarca tanto el diseño de los elementos de longitud (vigas y columnas), hasta el diseño de elementos de área (losas y muros), todo eso incluido al diseño de estructuras en otros materiales. (Autodesk, 2022).

Armatura teórica de barras

En primera instancia se realiza el diseño teórico de la armadura, para ello desde el layout Barras – armadura teórica, se asignan unas propiedades para el tipo de barra, sea viga o columna, posterior a ello se asignan unos parámetros para el dimensionamiento de la armadura, seleccionando las barras a diseñar y asignando las debidas combinaciones se da clic en calcular, obteniendo como resultado la armadura teórica de las barras.

Figura 49: Definición de tipo de barra columna.

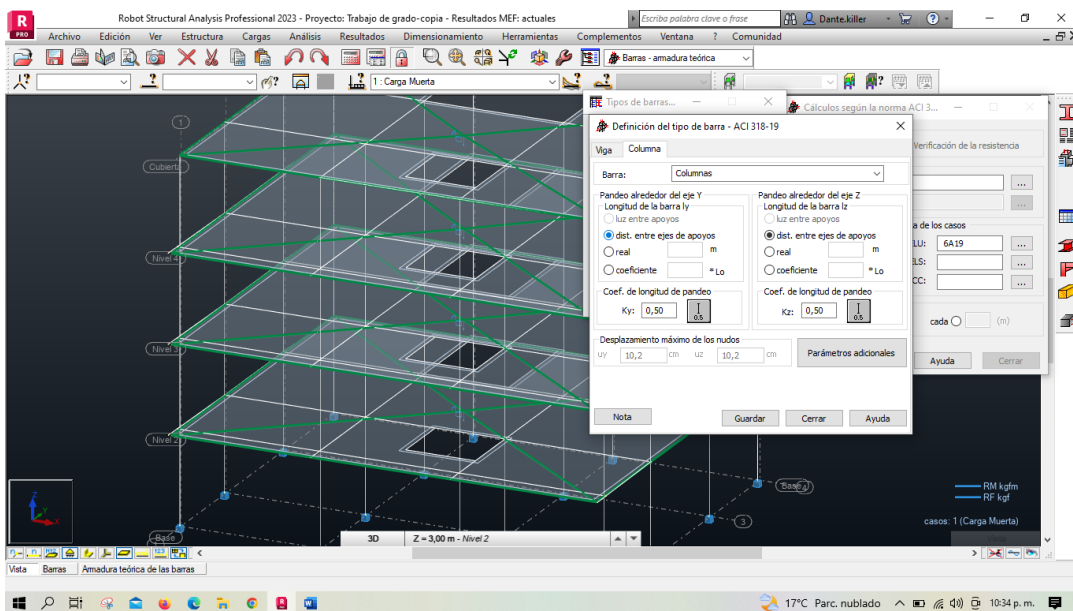
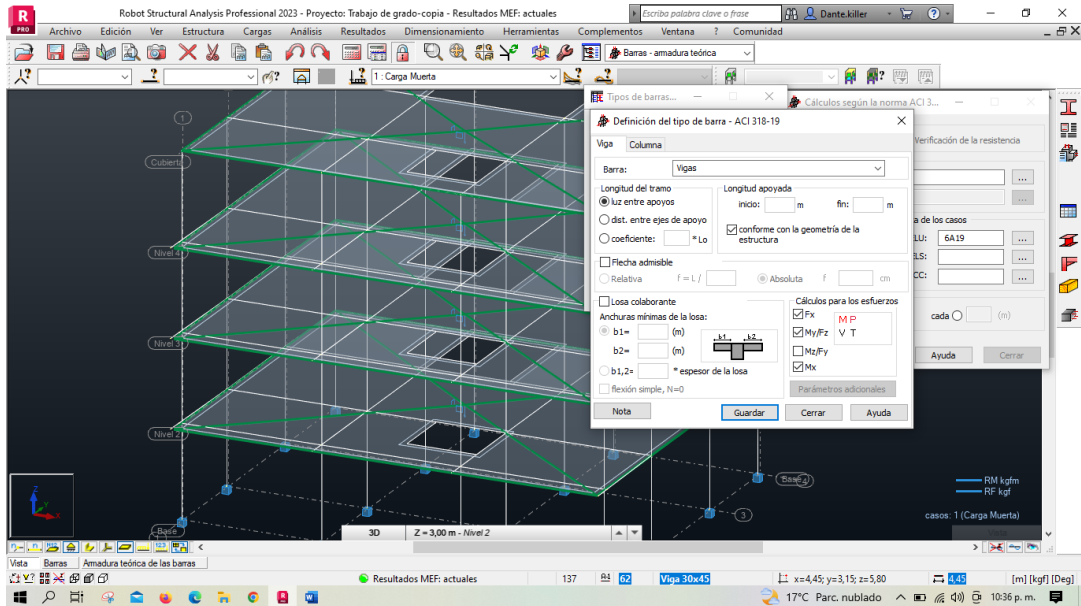


Figura 50: Definición de tipo de barra viga.



En el diseño teórico se especifican los parámetros del acero, estableciendo diámetros deseados para las barras, así como recubrimientos, entre otras características.

Figura 51: Parámetros de armadura longitudinal.

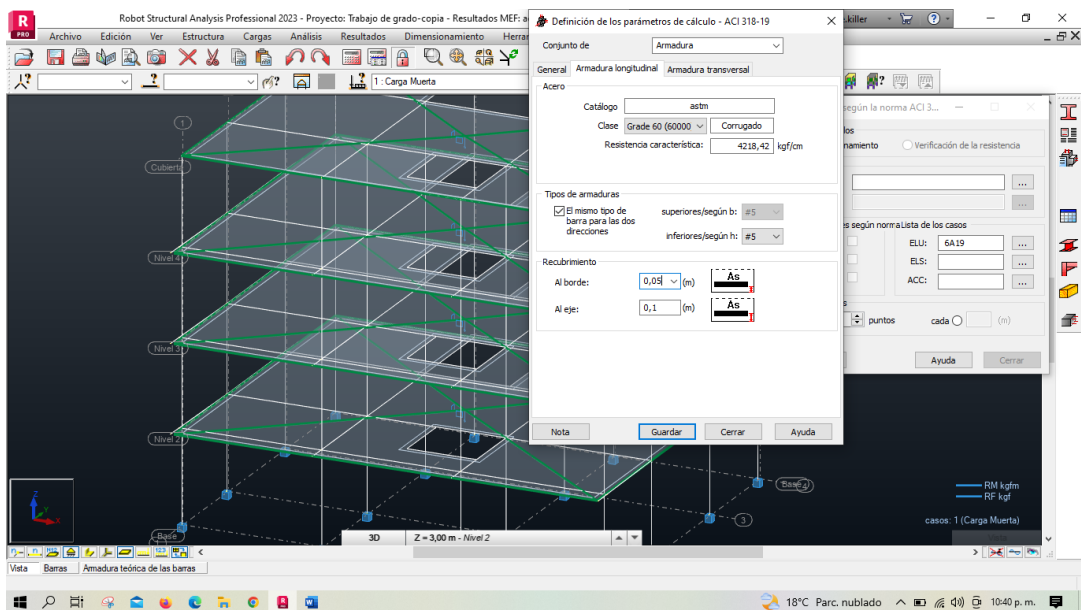
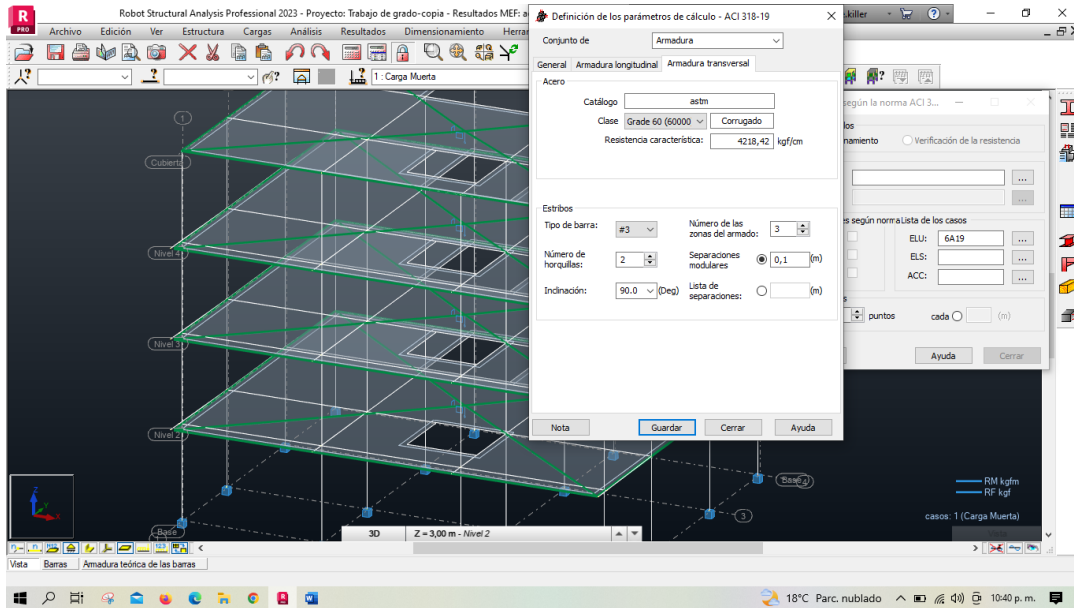
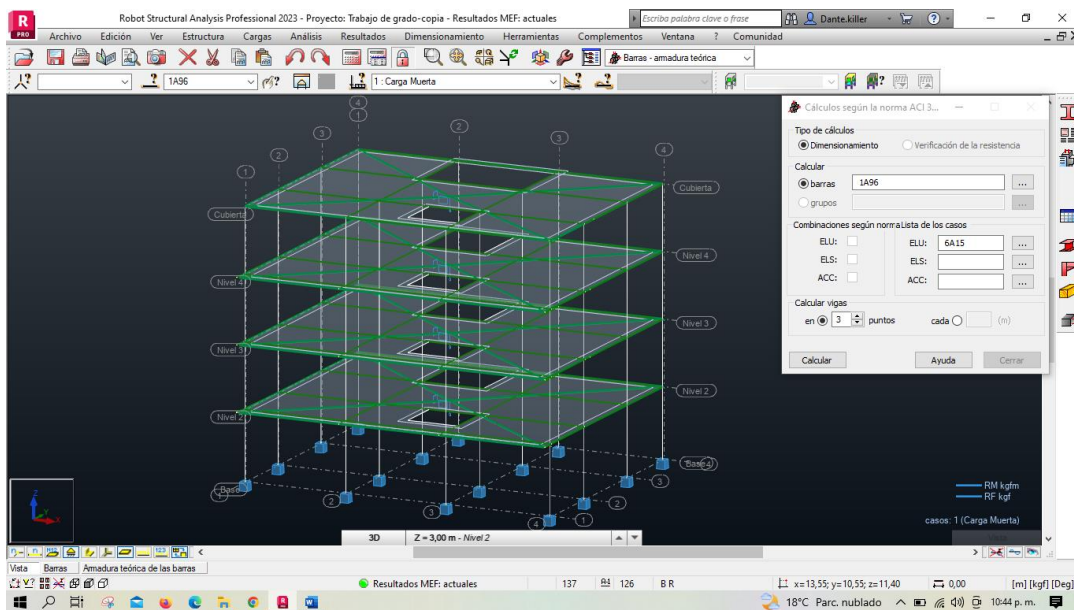


Figura 52: Parámetros de armadura transversal.



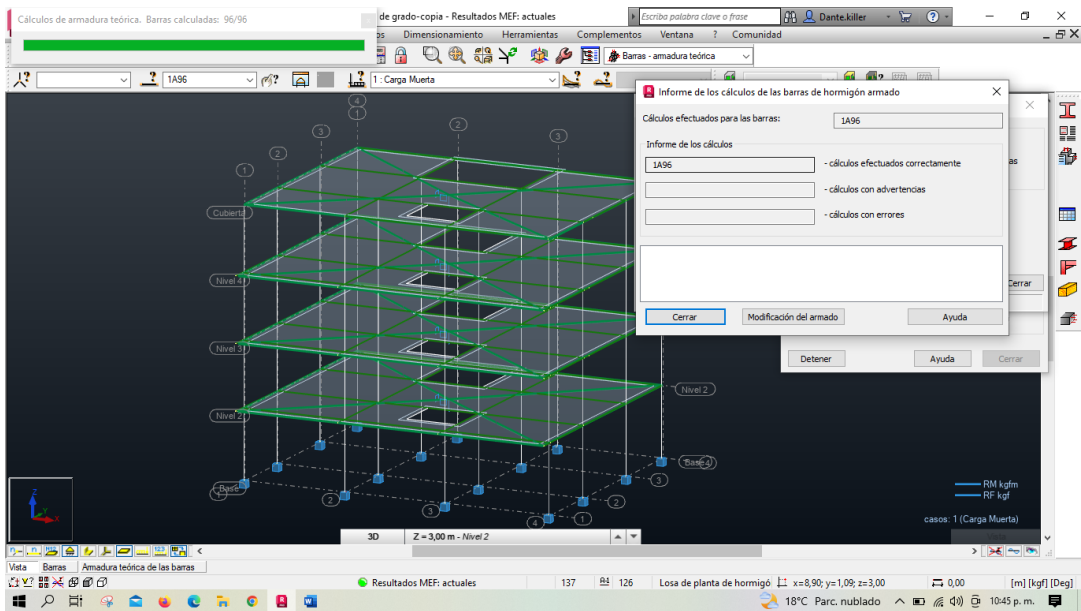
Para realizar el diseño de las barras, se deben de haber diferenciado las combinaciones de vigas y columnas, seleccionando solo las necesarias al diseñar cada tipo de elemento.

Figura 53: Selección de vigas para el diseño de la armadura teórica.



Como resultado del cálculo se obtendrá el acero requerido en cada elemento.

Figura 54: Cálculo de la armadura teórica vigas.



En la pestaña armadura teórica se indicará el área de acero requerida, además del espaciamiento.

Figura 55: Armadura teórica vigas.

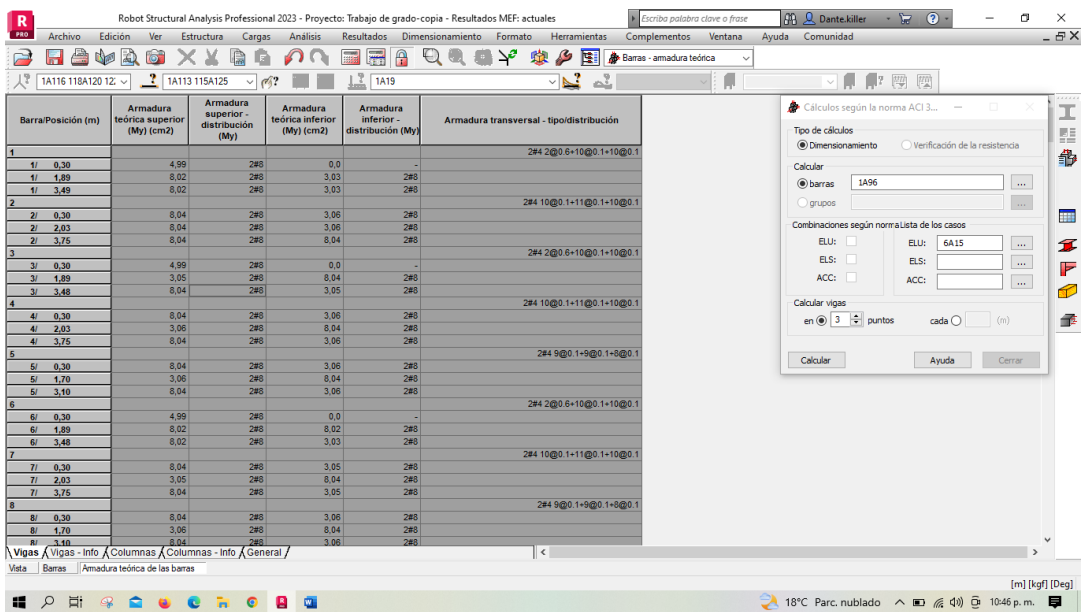
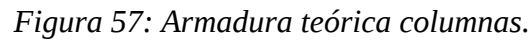


Figura 56: Cálculo de la armadura teórica columnas.



Los resultados específicos para cada barra, se aprecian seleccionando la barra y dando clic sobre refuerzo proporcionado del elemento, para luego seleccionar las combinaciones establecidas.

Figura 58: Refuerzo proporcionado de elementos.

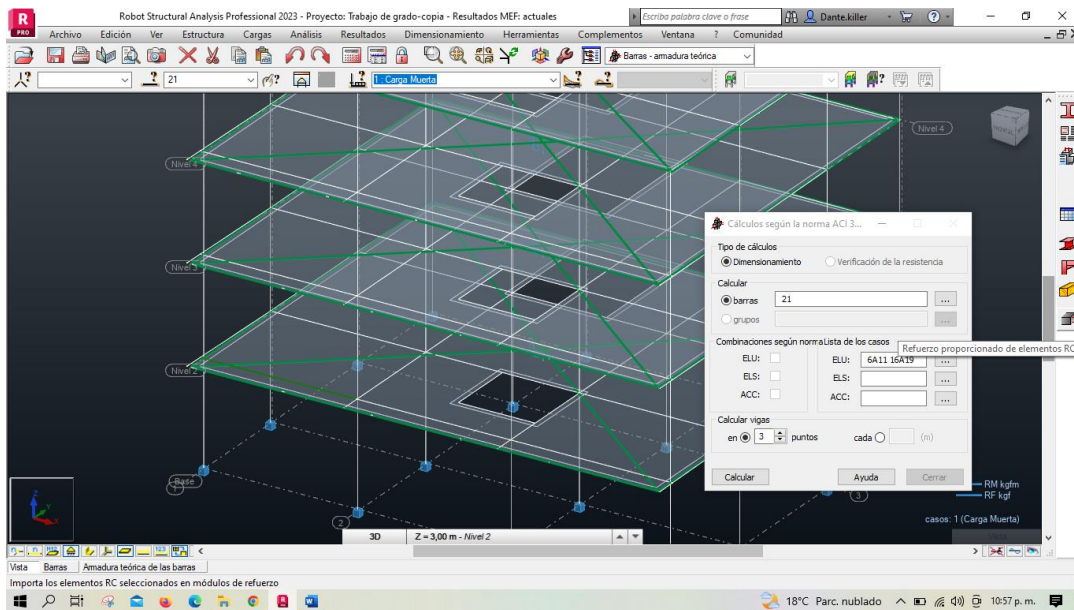
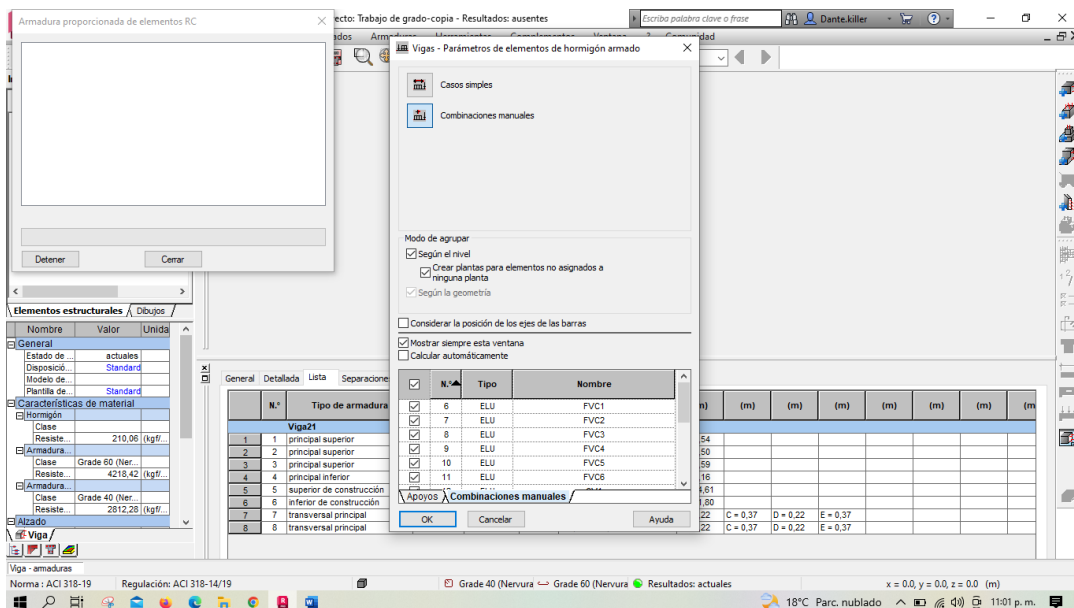


Figura 59: Combinaciones para el diseño.



Como resultado se obtiene un informe detallado del diseño teórico del elemento e incluso un plano detallado del elemento, destacando que dicha armadura será modificada.

Figura 60: Informe del diseño teórico del elemento.

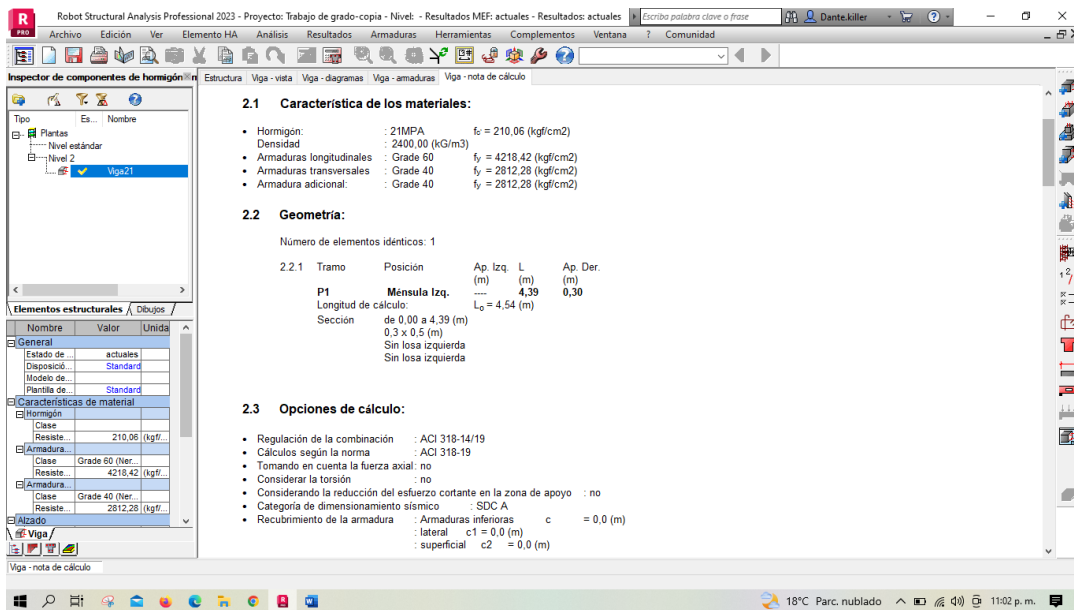
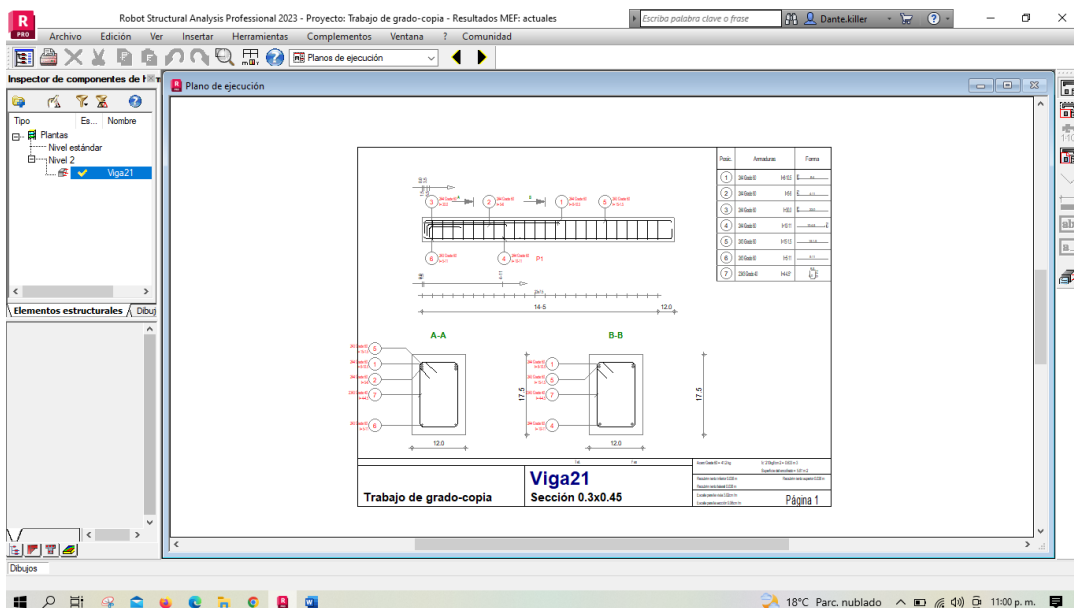


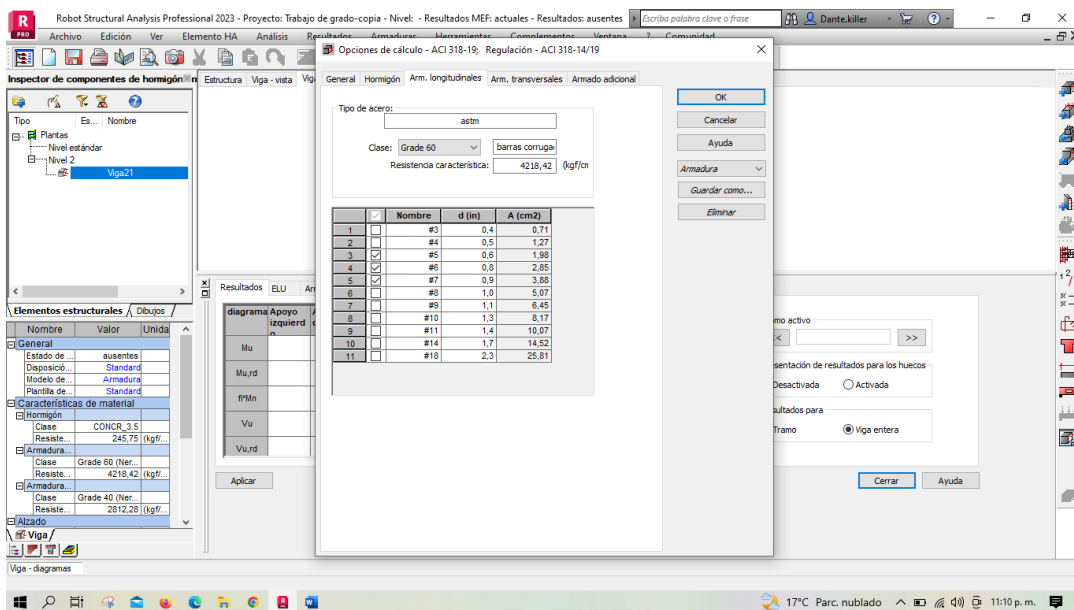
Figura 61: Plano de ejecución del elemento.



Armadura real de las barras

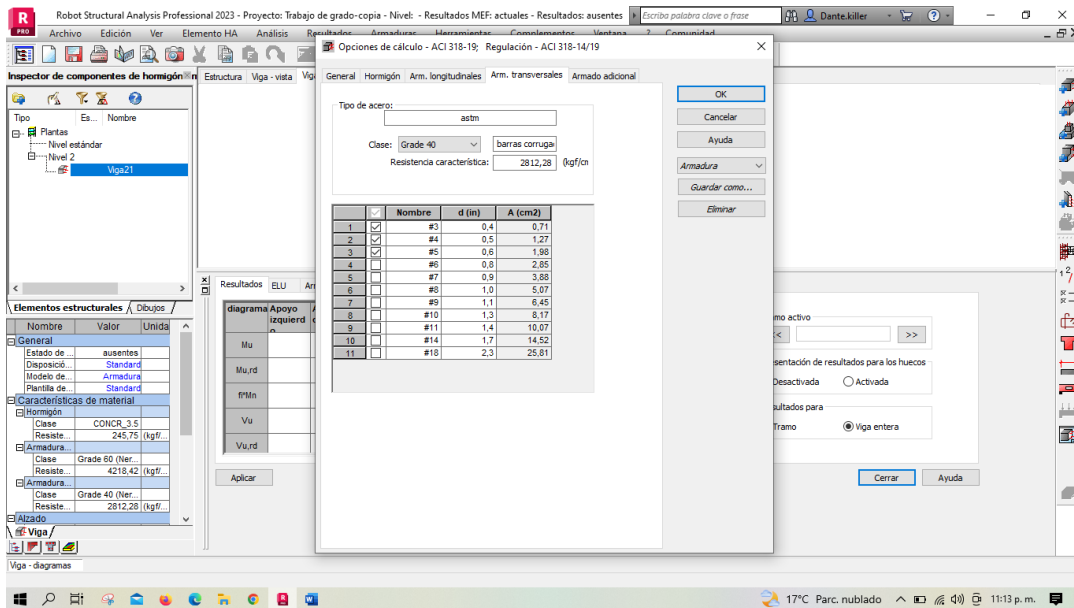
Consiste en realizar una distribución real del acero de refuerzo de los elementos, estableciendo en primera instancia las opciones de cálculo, procedimiento en el cual especialmente se define los diámetros mínimos del acero longitudinal y transversal, además de otros valores.

Figura 62: Diámetro de la armadura longitudinal.



De acuerdo a las características de la estructura, además del criterio del diseñador, se eligen unos diámetros con los cuales el software puede realizar el diseño del elemento, en esta opción se establecen los diámetros que podrán tener las barras tanto longitudinales como las barras transversales.

Figura 63: Diámetro de la armadura transversal.



Además de lo anterior, también se establecerán los parámetros para la disposición de las armaduras, en donde se establecen varios criterios para el diseño del armado.

Figura 64: Parámetros para la disposición de armaduras acero longitudinal.

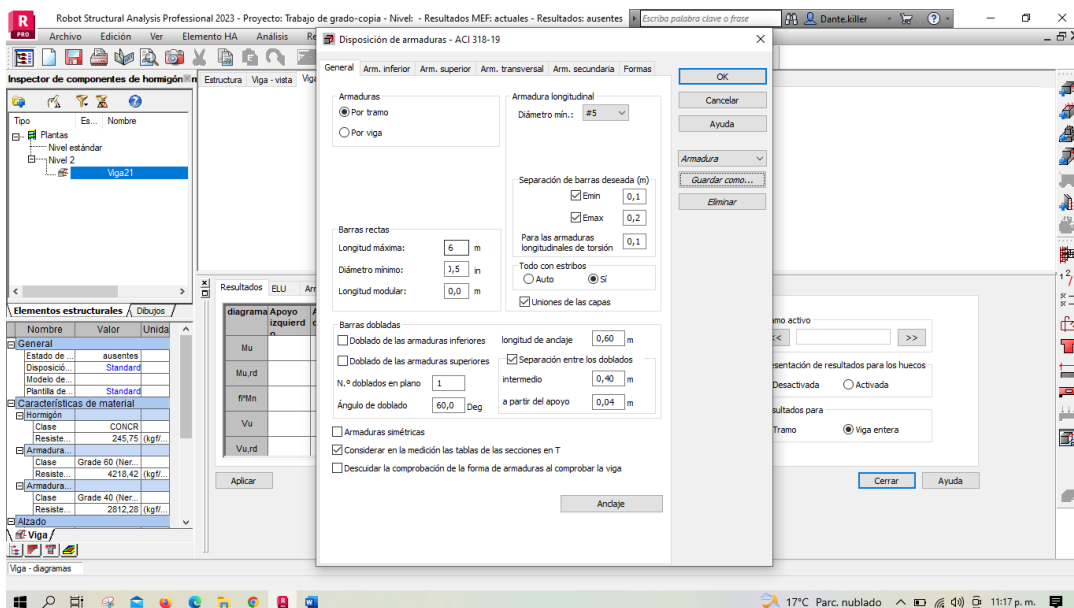
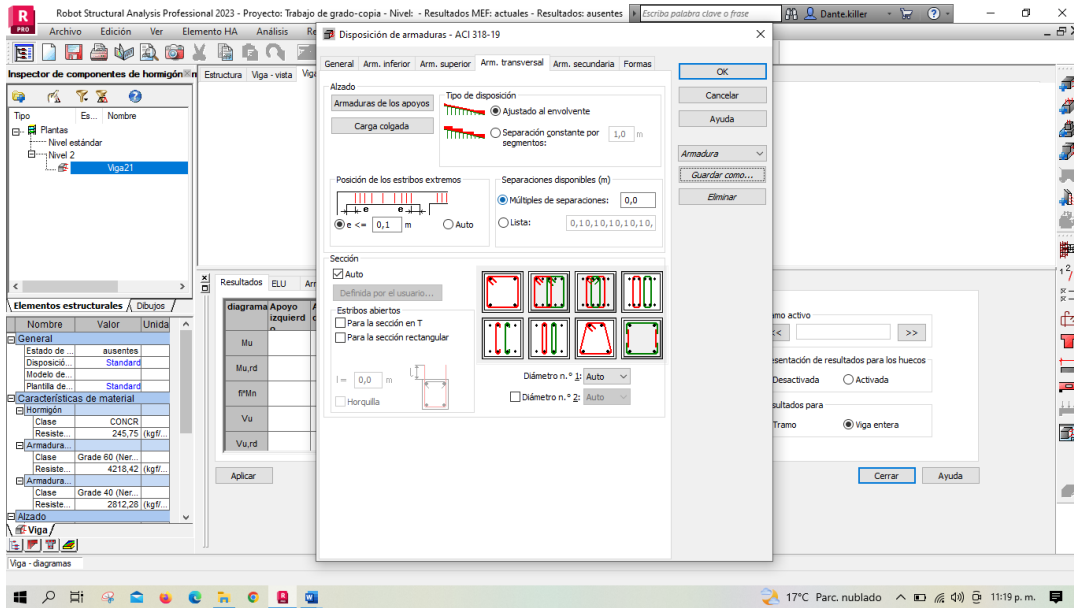
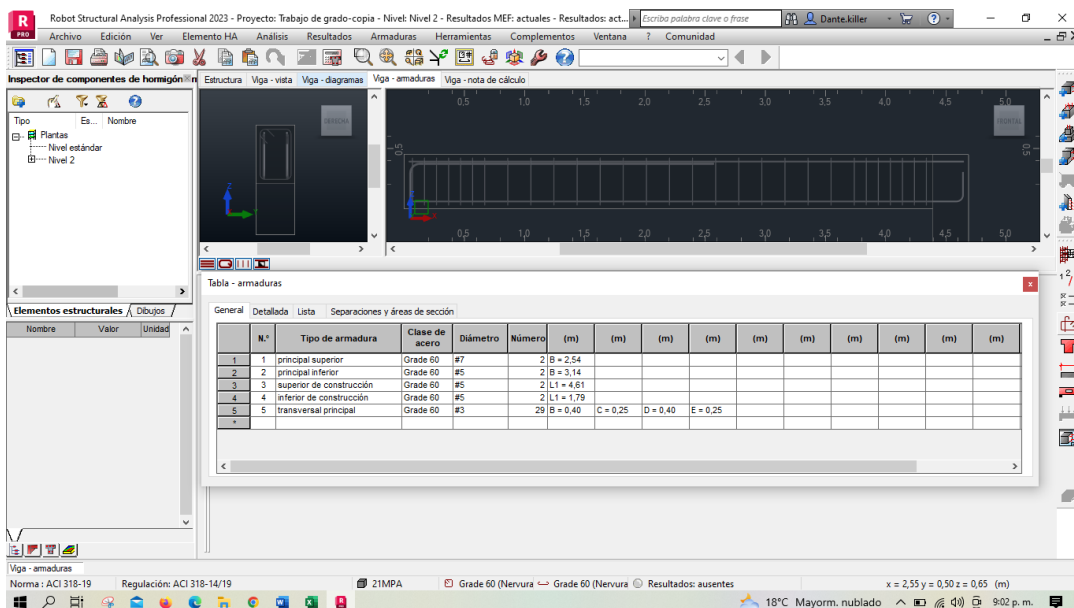


Figura 65: Parámetros para la disposición de armaduras acero transversal.



Al calcular nuevamente el elemento, se mostrará el acero real con el que debería contar el elemento, también se mostrará una tabla con las especificaciones de la misma.

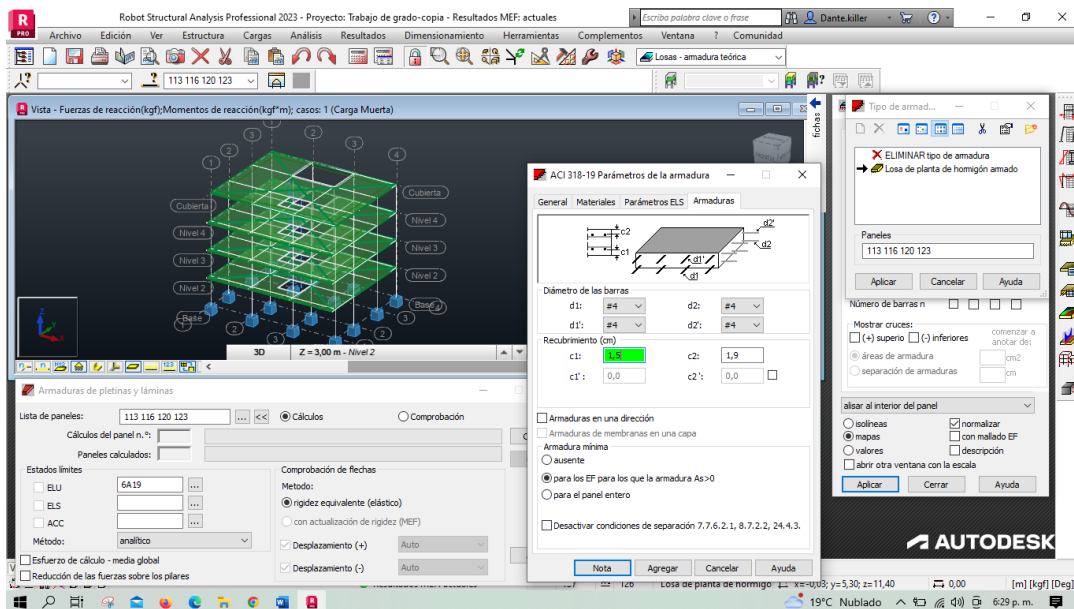
Figura 66: Acero real.



Armadura teórica de los paneles

Se realiza de manera similar que, para las barras, diseñando la armadura teórica, para ello desde el layout Losas – armadura teórica, se asignan las propiedades para el tipo de losa y se calcula.

Figura 67: Parámetros de la armadura de la losa.



Al momento de seleccionar los tipos de losa, previamente se recomienda verificar el mallado, una vez corrido el cálculo se podrán visualizar los resultados del área requerida en los diferentes pisos, para ello desde la pestaña armadura se filtra según la necesidad.

Después desde el layout Losas – resultados reales, se aprecian los resultados del acero de acuerdo a las secciones que se han definido.

Figura 68: Área de refuerzo en las losas.

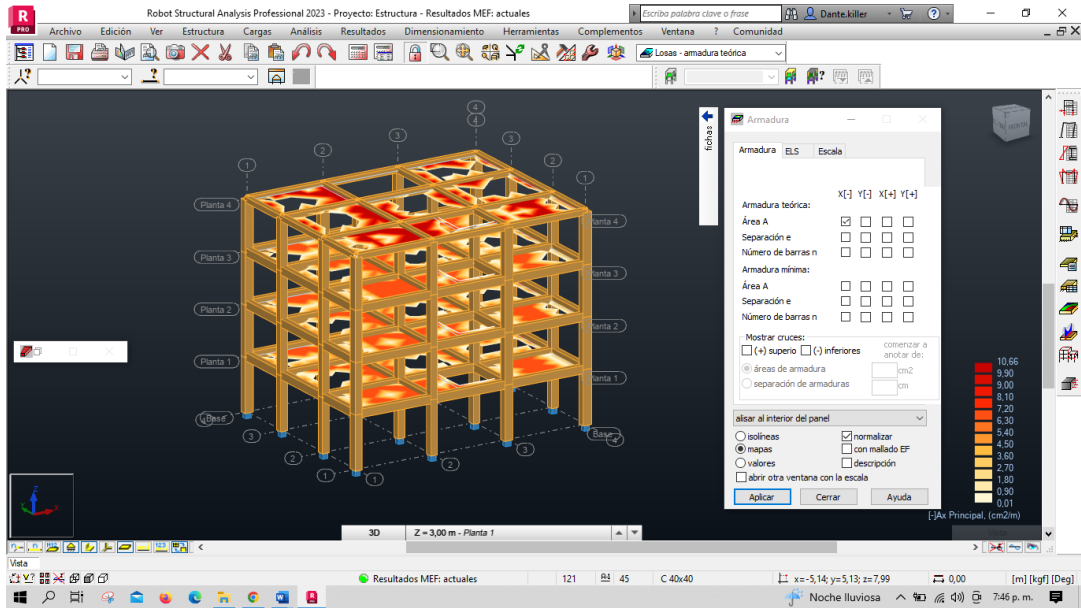
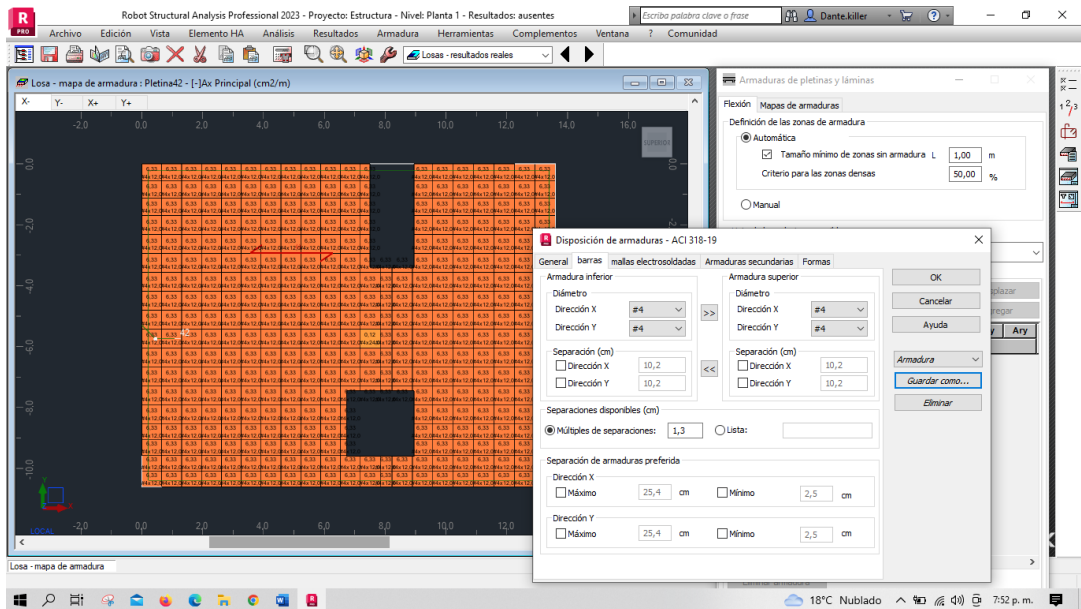


Figura 69: Acero en las secciones de las losas.



Ahora se procede a definir las opciones de cálculo y los parámetros de la armadura, teniendo en cuenta criterios de diseño.

Figura 70: Opciones de cálculo.

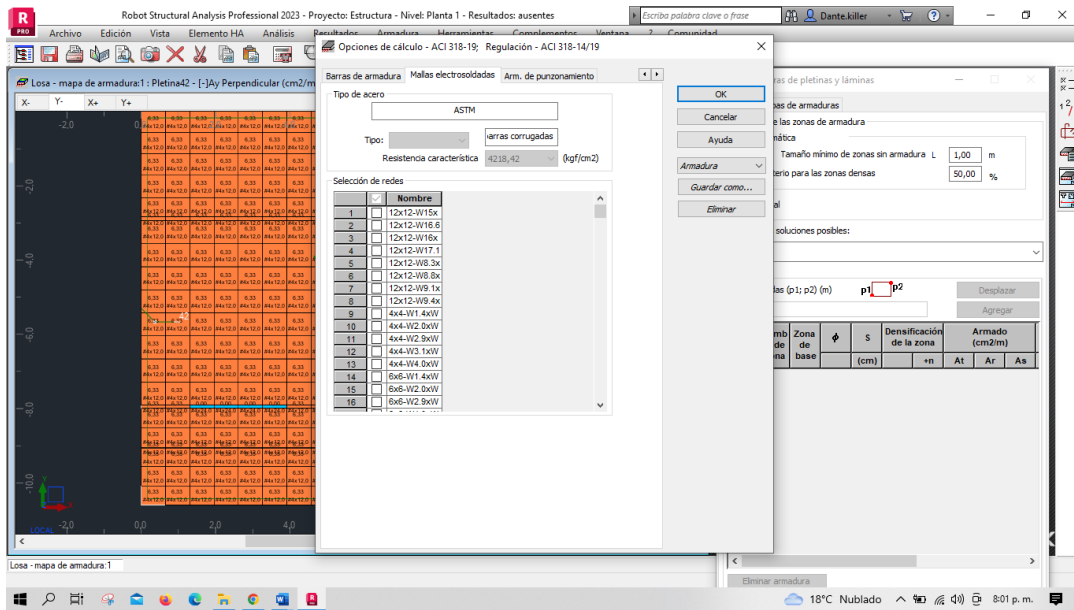
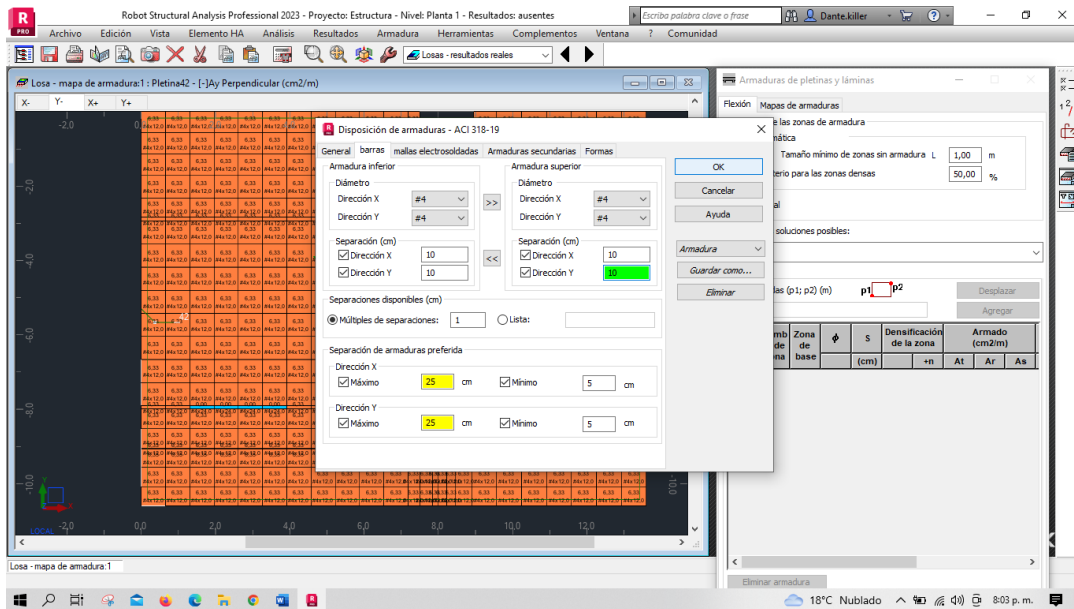
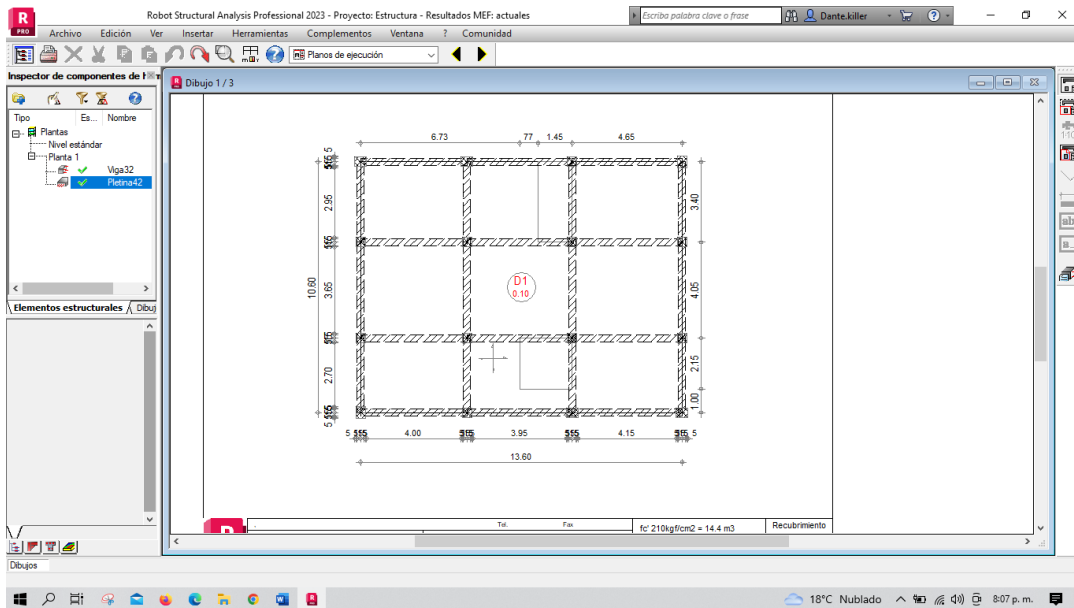


Figura 71: Parámetros de la armadura.



Una vez realizado el cálculo del acero de la losa, se podrá visualizar el plano de detalle de la misma.

Figura 72: Dibujo de disposición de la armadura.

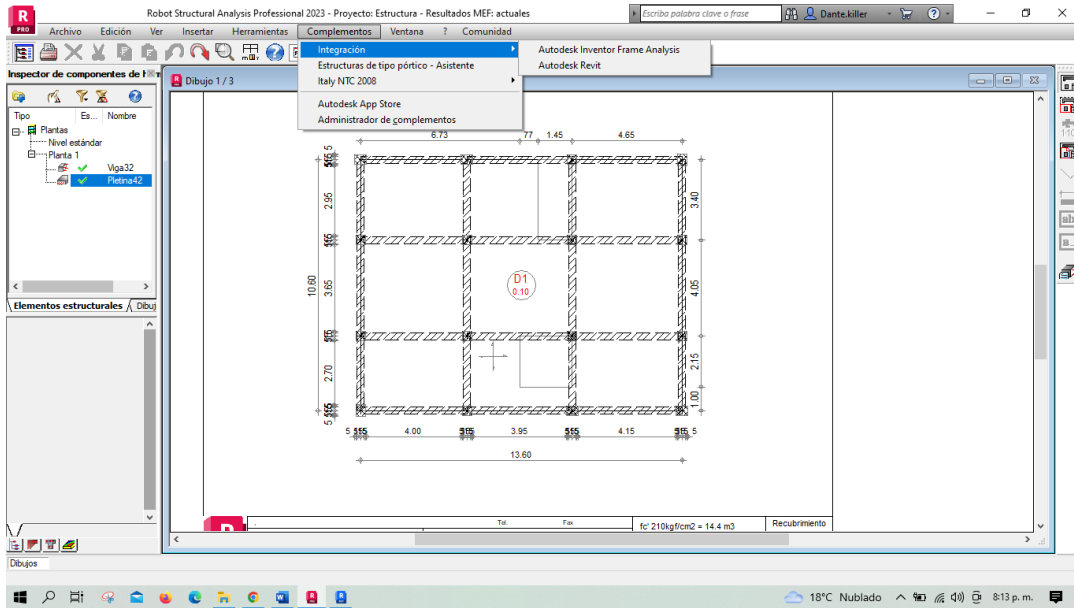


Hasta aquí ya se ha realizado el análisis y diseño de todos los elementos, ahora se podrán llevar el respectivo refuerzo al software de modelado.

4.3.5 Integración resultados del diseño estructural al modelado del proyecto

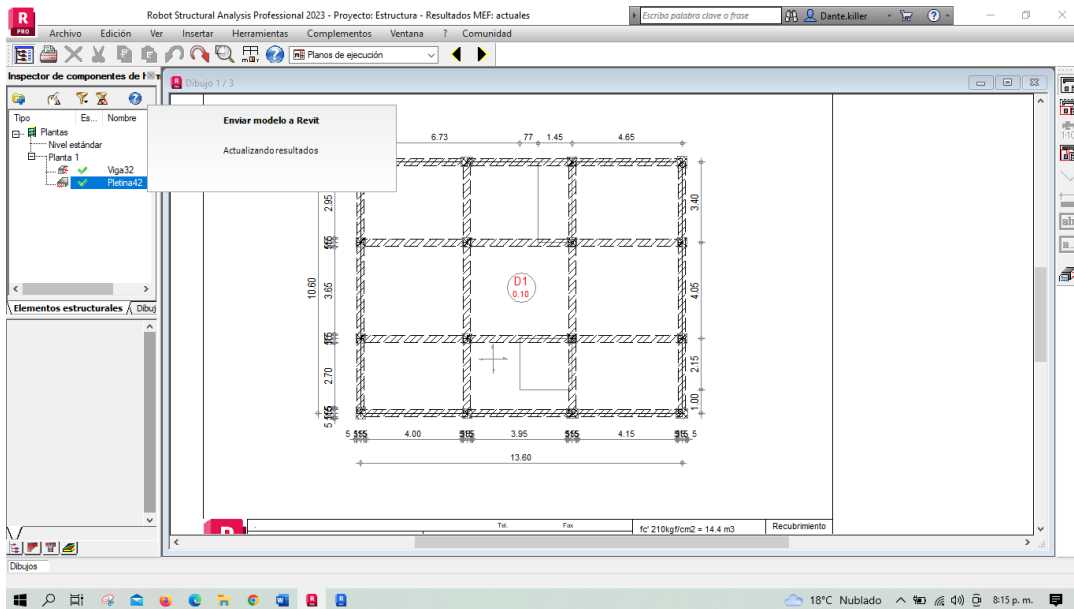
Cuando ya se ha realizado la disposición del acero de refuerzo, se pueden llevar los resultados al software de construcción, para ello desde la ficha de complementos, se da clic en integración y se selecciona Autodesk Revit, hay que destacar que para realizar este procedimiento es necesario tener abierto el proyecto modelado en Revit.

Figura 73: Integración Robot y Revit.



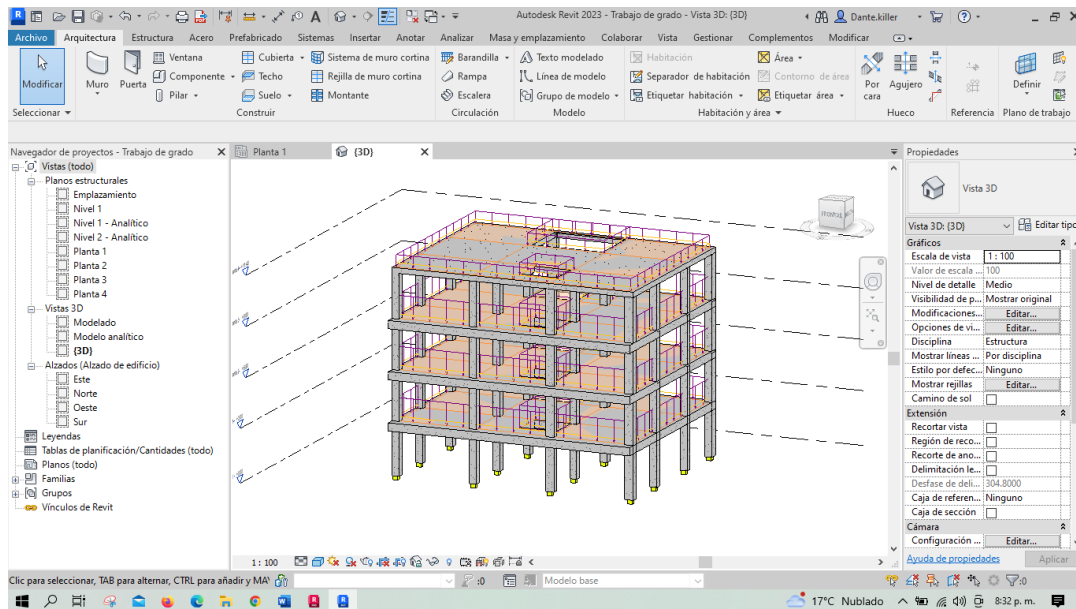
Este procedimiento durará un tiempo que depende de la complejidad del proyecto y de las características del computador.

Figura 74: Integración Robot y Revit.



Una vez terminado el procesamiento podremos apreciar en Revit los diferentes resultados del análisis y diseño estructural realizado en Robot.

Figura 75: Resultados de la integración Robot y Revit.



Una vez cargados los resultados del diseño en robot, se podrán visualizar los resultados en el software Revit, para ello será necesario crear secciones de detalle y posteriormente los planos, de igual manera se destaca que los detalles constructivos y las notas de cálculo desde el propio robot podrán ser exportados en formatos PDF o en archivos DWG.

Revit no solo es un software de modelado, también permite interactuar entre los distintos sistemas de una edificación, puede llegar a integrar diseños estructurales, hidráulicos, sanitarios, de energía, ductos y demás, logrando con ello prever cualquier tipo de interferencia, además optimizando tiempos de trabajo y asegurando resultados más fiables.

5 Resultados y análisis de resultados

A partir de la metodología presentada, teniendo en cuenta cada una de las ecuaciones, tablas, ilustraciones y demás datos mencionados, se realizaron los respectivos procedimientos necesarios para llevar a cabo la modelación, el análisis y diseño del proyecto estructural.

5.1 Resultados fase 1: Análisis de los requisitos y procesos necesarios para realizar el diseño estructural tipo aporticado de una edificación de acuerdo a lo que indica la NSR-10.

Del estudio de los títulos A, B y C de la NSR-10, se han recopilado mediante tablas los requisitos, procedimientos y demás anotaciones a tener en cuenta para poder llevar a cabo un diseño estructural tipo aporticado.

5.1.1 Actividad 1: Título A – NSR10: Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente.

En este título se establecen los requisitos mínimos a emplear en la evaluación, adición, modificación y remodelación del sistema estructural; el análisis de vulnerabilidad, el diseño de las intervenciones de reforzamiento y rehabilitación sísmica, y la reparación de edificaciones con posterioridad a la ocurrencia de un sismo.

Tabla 5: Recopilación de información del título A de la NSR10.

Artículo	Descripción
A.1.3 — Procedimiento de diseño y construcción de edificaciones, de acuerdo con el reglamento	Se definen las diferentes etapas de los estudios, construcción y supervisión técnica. Estudios geotécnicos: Se hace fundamental realizar una exploración del suelo del lugar, además del estudio a los alrededores. Importante tener en cuenta lo que indica el título H. Diseño arquitectónico: Es necesario cumplir la reglamentación urbana, además de lo indicado en los títulos J y K, indicando los usos de cada una de las partes de la edificación, además de la clasificación dentro de uno de los grupos de uso. Diseño estructural: La estructura debe diseñarse para que tenga resistencia y rigidez ante las cargas mínimas de diseño. Además, se dispone del procedimiento necesario para el diseño de las edificaciones nuevas y para la intervención de las existentes, el cual consiste en: ✓ Coordinación con los otros profesionales. ✓ Evaluación de las solicitudes definitivas y predimensionamiento. ✓ Obtención del nivel de amenaza sísmica y los valores de Aa y Av. ✓ Características de la estructuración y del material estructural a utilizar. ✓ Grado de irregularidad de la estructura y procedimiento de análisis. ✓ Determinación de las fuerzas sísmicas y análisis sísmico de la estructura.

	✓ Desplazamientos horizontales y verificación de las derivas. ✓ Combinación de las diferentes solicitaciones. ✓ Diseño de los elementos estructurales. Diseño de la cimentación: Se realiza a partir de las reacciones de la estructura ante las combinaciones de diseño reducidas, se debe tener en cuenta lo que indica el título H.
A.1.7 - Sistema de unidades	La NSR10 se ha expedido utilizando el Sistema Internacional de Medidas (SI), el cual es de uso obligatorio en el territorio nacional, de igual manera se menciona que en todas las ecuaciones en las cuales se utiliza la raíz cuadrada de un esfuerzo, se sigue teniendo unidades de esfuerzo.
Capítulo A.2 – Zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño	De acuerdo al nivel de amenaza sísmica del lugar en donde se ubica el proyecto, se definen los coeficientes de aceleración (A_a) y velocidad horizontal pico efectiva (A_v), y a partir de estos valores se definen los movimientos sísmicos de diseño, además de ello se menciona que, de acuerdo al tipo de suelo, se determinan los coeficientes de amplificación que afectan la aceleración en la zona de períodos cortos (F_a) y en la zona de períodos intermedios, debida a los efectos de sitio (F_v).
A.2.5 - Coeficiente de importancia	De acuerdo al nivel de importancia ante el posible evento sísmico se clasifican las edificaciones en indispensables, de atención a la comunidad, de ocupación especial y de ocupación normal.

A.2.6 - Espectro de diseño	Se plantean las ecuaciones para el cálculo de los valores necesarios para definir el espectro de diseño utilizado para el análisis dinámico estructural.
A.3.1.1 — Procedimiento de diseño	Se establecen los pasos que se deben seguir en el diseño sismo resistente de una edificación, además se definen los tipos de sistemas estructurales de resistencia sísmica, los diferentes métodos de análisis con el fin de diseñar los elementos utilizando las solicitaciones de las combinaciones de carga que indica el título B, además de tener en cuenta el coeficiente de reducción, todo lo anterior además de otras especificaciones para el diseño de los elementos.
A.3.1.3 — Capacidad de disipación de energía mínima requerida	De acuerdo del tipo de material estructural y de las características del sistema de resistencia sísmica, se establecen los grados de capacidad de disipación de energía DES , DMO y DMI .
A.3.1.4 — Resistencia sísmica en las diferentes direcciones horizontales	La estructura debe tener resistencia sísmica en todas las direcciones y por lo tanto, el sistema estructural de resistencia sísmica debe existir en dos direcciones ortogonales.
A.3.2 - Sistemas estructurales	Se reconocen cuatro tipos generales de sistemas estructurales de resistencia sísmica: Muros de carga, combinado, pórticos y dual.
A.3.3 - Configuración estructural de la edificación	En la configuración estructural, no solo se debe tener en cuenta la forma y tamaño, es importante analizar la naturaleza, las dimensiones y la localización de los elementos estructurales, y no estructurales, que afecten el comportamiento de la edificación ante las solicitaciones sísmicas, pues a partir de estas se definen los diferentes tipos de irregularidades.

A.3.4 - Métodos de análisis	Se mencionan los métodos de análisis del sistema de resistencia sísmica a tener en cuenta para el diseño, los cuales son: La fuerza horizontal equivalente, el análisis dinámico elástico y el inelástico, además de análisis alternos, que deben tener en cuenta las características dinámicas de la edificación, el comportamiento inelástico de los materiales, y deben ser de aceptación general en la ingeniería.
A.3.4.2.1 — Método de la fuerza horizontal equivalente	Se mencionan los tipos de edificaciones en las que puede ser utilizado el método: en regulares e irregulares, ubicadas en las zonas de amenaza sísmica baja, las pertenecientes al grupo de uso I , localizadas en intermedia, y otras edificaciones que cumplan los requisitos que allí mencionan.
A.3.4.2.2 — Método del análisis dinámico elástico	Será utilizado en todas las edificaciones que no abarque el método de la fuerza equivalente, además de edificaciones de más de 20 niveles, que tengan irregularidades, de más de 5 niveles en zonas de amenaza sísmica alta, y en estructuras localizadas en sitios que tengan un perfil de suelo D, E o F con un periodo mayor de $2T_c$.
A.3.4.3 — Rigidez de la estructura y sus elementos	Las rigideces empleadas en el análisis estructural deben ser definidas por el ingeniero diseñador, teniendo en cuenta lo que indica la norma.
A.3.6.4 — Amarres y continuidad	Los elementos estructurales deben interconectarse, en donde las conexiones y elementos conectores deben ser capaces de transmitir fuerzas sísmicas.
A.3.6.7 — Torsión en el piso	Cuando se realiza el análisis dinámico, él mismo reflejará los efectos de las torsiones que se tengan en la estructura, quedando a opción diseñador si en él involucra o no condiciones de torsión accidental.

A.3.7.1 — Sistema de resistencia sísmica	Teniendo en cuenta las combinaciones de carga de acuerdo a las solicitaciones requeridas en el título B, deben diseñarse los elementos del sistema estructural de resistencia sísmica, y sus conexiones, aquí se indican las tablas a partir de las cuales se obtienen los datos para cada tipo de sistema estructural.
Capítulo A.4 – Método de la fuerza horizontal equivalente	Se define el procedimiento necesario para efectuar el método, desde los parámetros necesarios para obtener el periodo fundamental de la edificación, las fuerzas sísmicas horizontales equivalentes, hasta el análisis de la estructura mediante la obtención de los resultados.
Capítulo A.5 – Método del análisis dinámico	Se especifican los requisitos que debe cumplir este tipo de análisis, además de ello da la libertad para que el ingeniero diseñador pueda hacer uso del procedimiento de su gusto, siempre y cuando se cumpla con los principios de mecánica estructural y de los requisitos del reglamento, se destaca que el modelo matemático a utilizar debería ser el modelo tridimensional con diafragma rígido, se especifican requisitos acerca de la masa de la edificación, finalmente trata sobre los requisitos sobre la rigidez utilizada en los elementos estructurales, además de otras consideraciones.
A.5.4 - Análisis dinámico elástico espectral	Se describe el procedimiento necesario para ejecutar el análisis dinámico elástico espectral, desde la obtención de los modos de vibración, como la respuesta espectral modal, la respuesta total, el ajuste de resultados, la evaluación de las derivas, las fuerzas de diseño de los elementos para finalmente realizar el diseño de los elementos estructurales.

Capítulo A.6 – Requisitos de la deriva	Siendo deriva el desplazamiento horizontal relativo entre dos puntos colocados en la misma línea vertical, en dos pisos o niveles consecutivos de la edificación, se establece la necesidad por la cual debe ser controlada, mediante el cumplimiento de diversos requisitos.
A.6.2 - Cálculo del desplazamiento horizontal	Se especifican los procedimientos para calcular los desplazamientos horizontales en las dos direcciones de planta, además se muestran las alternativas para la obtención de los desplazamientos de acuerdo al método de análisis utilizado.
A.6.4 - Límites de la deriva	Se definen los valores máximos de las derivas de acuerdo al tipo de material utilizado como sistema estructural.

5.1.2 Actividad 2: Título B – NSR10: Cargas.

En este título se ofrecen los requisitos mínimos que deben cumplir las edificaciones con respecto a las cargas que deben emplearse en su diseño, diferentes a las fuerzas o efectos que impone el sismo. Para que una estructura sismo resistente cumpla adecuadamente su objetivo, debe ser capaz de resistir además de los efectos sísmicos, los efectos de las cargas prescritas en el presente Título. El diseño de los elementos que componen la estructura de la edificación debe hacerse para la combinación de carga crítica.

Tabla 6: Recopilación de información del título B de la NSR10.

Artículo	Descripción
B.1.2 - Requisitos básicos	La estructura y todas sus partes deben diseñarse para soportar con seguridad todas las cargas contempladas sin exceder las resistencias de diseño ante las cargas mayoradas, para que tengan una rigidez adecuada que

	limite deflexiones, derivas, vibraciones y cualquier otra deformación, además de ello se deben tener en cuenta las fuerzas causadas por deformaciones impuestas según indica el título H, y el análisis de los efectos de las cargas en los diferentes elementos de la estructura.
B.2.4 - Combinaciones de cargas mayoradas usando el método de resistencia	El diseño de las estructuras, sus componentes y cimentaciones debe hacerse de tal forma que sus resistencias de diseño igualen o excedan los efectos producidos por las cargas mayoradas en las siguientes combinaciones: $1,4 * (D + F)$ $1,2 * (D + F + T) + 1,6 * (L + H) + 0,5 * (Lr \text{ ó } G \text{ ó } Le)$ $1,2 * D + 1,6 * (Lr \text{ ó } G \text{ ó } Le) + (L \text{ ó } 0,8 * W)$ $1,2 * D + 1,6 * W + 1 * L + (Lr \text{ ó } G \text{ ó } Le)$ $1,2 * D + 1 * E + 1 * L$ $0,9 * D + 1,6 * W + 1,6 * H$ $0,9 * D + 1 * E + 1,6 * H$ También se menciona la manera de reducir algunas fuerzas, a partir del cumplimiento de ciertos requisitos.
Capítulo B.3 Cargas muertas	La carga muerta cubre todas las cargas de elementos permanentes de construcción incluyendo su estructura (muros, pisos, cubiertas, cielos rasos, escaleras, equipos fijos y todas aquellas cargas que no son causadas por la ocupación y uso de la edificación.
Capítulo B.4 Cargas vivas	Las cargas vivas son aquellas cargas producidas por el uso y ocupación de la edificación, para las cubiertas son causadas por los materiales, equipos y trabajadores utilizados en el mantenimiento de la cubierta y por objetos móviles, tales como materas u otros objetos decorativos. Se establecen tablas para determinar el valor de estas cargas.

5.1.3 Actividad 3: Título C - NSR10: Concreto estructural.

Fue elaborado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) con base al ACI (American Concrete Institute) 318S-08, el cual es un reglamento que presenta los requisitos para el diseño y la construcción de hormigón estructural.

Tabla 7: Recopilación de información del título B de la NSR10.

Artículo	Descripción
C.1.1 – Alcance	El Título C proporciona los requisitos mínimos para el diseño y la construcción de elementos de concreto estructural de cualquier estructura construida, además cubre la evaluación de resistencia de estructuras existentes, complementa el Reglamento NSR-10, y rige en todos los aspectos relativos al diseño y a la construcción de concreto estructural. Se menciona que para cumplir lo que dispone el título, se puede hacer uso del documento “Requisitos esenciales para edificios de concreto reforzado” desarrollado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica — AIS, el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación — Icontec, y el American Concrete Institute — ACI, y publicado bajo la designación ACI IPS-1 en 2002 y por el ACI como ACI 314.1R.
C.1.2 – Planos y especificaciones	Menciona el contenido mínimo que debe contener cada uno de los diseños del proyecto, menciona que los cálculos correspondientes al diseño se deben presentar junto con los planos cuando así lo requiera la autoridad competente, que los resultados computacionales documentados son aceptables en vez de los cálculos manuales.

C.1.3 – Supervisión técnica	La supervisión técnica es necesaria para confirmar que la construcción se ajusta a los planos de diseño y las especificaciones del proyecto.
Capítulo C.3 – Materiales	Se especifica la calidad que deben cumplir los materiales, entre los que tenemos el material cementante, el agua, el acero corrugado.
Capítulo C.5 Calidad del concreto, mezclado y colocación	Es necesario cumplir con la dosificación de los materiales del concreto, se debe lograr trabajabilidad y consistencia, resistencia y conformidad en cuanto a los resultados de los ensayos de resistencia. Además, se mencionan otras características que se deben cumplir.
Capítulo C.7 – Detalles del refuerzo	Trata especialmente sobre el cumplimiento de ciertos parámetros como doblado de los ganchos, de los estribos, de los espaciamientos y demás información referente al refuerzo longitudinal y transversal.
C.7.7.1 – Concreto construido en sitio (no preesforzado)	Se especifican valores de recubrimiento para los diferentes elementos estructurales, teniendo en cuenta también si estos están en contacto o no con la naturaleza.
C.7.10.5.1 — Todas las barras no preesforzadas deben estar confinadas por medio de estribos transversales de por lo menos diámetro No. 3 (3/8") ó 10M (10 mm), para barras longitudinales No. 10 (1-1/4") ó 32M (32 mm) o menores; y diámetro No. 4 (1/2") ó 12M (12 mm) como mínimo, para barras longitudinales No. 11 (1-3/8") ó 36M (36 mm), No. 14 (1-3/4") ó 45M (45 mm) y No. 18 (2-1/4") ó 55M (55 mm) y paquetes de barras.	
Capítulo C.8 – Análisis y diseño – consideraciones generales	CR.8.5 – Módulo de elasticidad El valor medio para toda la información nacional, sin distinguir por tipo de agregado, es: $E_c = 3900\sqrt{f'c'} \text{ en MPa}$
C.8.13 — Viguetas en losas nervadas	Se establece el procedimiento para el diseño de las viguetas que conforman las losas, el ancho y alto de las viguetas, además de la disposición de vigas riostra.

Capítulo C.9 – requisitos de resistencia y funcionamiento	Se establece el procedimiento para el dimensionamiento de las placas, a partir de las distancias entre apoyos para los diferentes tipos de vigas.
Capítulo C.10 – Flexión y cargas axiales	Se dan las disposiciones para aplicar durante el diseño de los elementos sometidos a flexión y a cargas axiales, o a la combinación de estos. Se especifican las ecuaciones para el cálculo del área de acero mínimo, entre otras.
C.10.9 — Límites del refuerzo de elementos a compresión (columnas)	C.10.9.2 — El número mínimo de barras longitudinales en elementos sometidos a compresión debe ser de 4 para barras dentro de estribos circulares o rectangulares, 3 para barras dentro de estribos triangulares y 6 para barras rodeadas por espirales, que cumplan con C.10.9.3.
Capítulo C.11 – Cortante y torsión	El diseño de secciones transversales sometidas a cortante debe estar basado en $\Phi V_n \geq V_u$, donde V_u es la fuerza cortante mayorada en la sección considerada y V_n es la resistencia nominal al cortante calculada mediante $V_n = V_c + V_s$, donde V_c es la resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto y V_s es la resistencia nominal al cortante proporcionada por el refuerzo de cortante.
Capítulo C.12 – Longitudes de desarrollo y empalmes del refuerzo	Se dan indicaciones del refuerzo, el cual se debe extender más allá del punto en el que ya no es necesario para resistir flexión por una distancia igual a d ó $12d_b$, la que sea mayor, excepto en los apoyos de vigas simplemente apoyadas y en el extremo libre de voladizos.
Capítulo C.21 – Requisitos de diseño sismo resistente	Se definen los procedimientos y parámetros que deben seguir y cumplir el sistema aporticado resistentes a momento con capacidad especial de disipación de energía (DES). Se especifica la resistencia mínima del concreto, del acero, además de otras disposiciones para el diseño.

5.2 Resultado fase 2: Realización el diseño estructural tipo aporticado de una edificación siguiendo los procedimientos que indica laNSR-10 y con ayuda del software Robot Structural.

Teniendo en cuenta los requisitos y procedimientos recopilados en los resultados de la anterior fase, se ha realizado el diseño estructural de la edificación, destacando que para el análisis estructural y la obtención de resultados del análisis dinámico elástico se ha usado el software Robot Structural.

5.2.1 Actividad 4: Diseño arquitectónico y estudio de suelos

Los planos arquitectónicos muestran una edificación de **4 pisos de uso residencial** ubicada en el municipio de Pamplona, el suelo del lugar es clasificado como **tipo D**.

5.2.2 Actividad 5: Procedimiento de diseño

Teniendo en cuenta cada uno de los pasos definidos en la metodología, se han obtenido los respectivos valores de las ecuaciones y procedimientos.

1. **Grupo de uso:** A partir de la revisión del diseño arquitectónico, y teniendo en cuenta lo que se indica en A.2.5.1 – GRUPOS DE USO, este proyecto será de uso residencial, por ello su grupo de uso será I.

2. **Predimensionamiento de los entrepisos:** Con base a las luces críticas identificadas para cada tipo de viga, se realizó el cálculo del espesor de la losa, el cual fue redondeado obteniendo que para las losas de entrepiso se trabajará con un espesor de 45cm y para la losa de cubierta con un espesor de 30cm.

Tabla 8: Luces críticas y espesor según tipos de apoyo del entrepiso.

	Simplemente apoyada	Un extremo continuo	Dos extremos continuos	En voladizo
Luz crítica (m)	$4,7 > l/11$	$4,7 > l/12$	$4,5 > l/14$	$0,68 > l/15$
Espesor mínimo (m) (CR.9.5)	0,43	0,39	0,32	0,14

Tabla 9: Luces críticas y espesor según tipos de apoyo de la cubierta.

	Simplemente apoyada	Un extremo continuo	Dos extremos continuos	En voladizo
Luz crítica (m)	$4,7 > l/16$	$4,7 > l/18,5$	$4,5 > l/21$	0
Espesor mínimo (m) (C.9.5a)	0,29	0,25	0,21	0

Componentes de las losas: Teniendo en cuenta el espesor determinado para las losas de entrepiso y cubierta, se procede a realizar el diseño de los demás elementos,

Ancho de las viguetas (B_w): Se escoge un ancho de 12cm, medida valor que cumple la condición de ser menor 5 veces menor que la altura de la vigueta, ya que para ambos no se tienen una losa de espesor de más de 60cm.

Separación máxima entre las viguetas: Desarrollando la Ecuación 5: Separación entre viguetas., se obtiene un valor de 1,12m en la losa de entrepiso y un valor de 0,75m en la losa de cubierta.

Disposición de vigas riostra: Desarrollando la Ecuación 6: Disposición de vigas riostra., y verificando la condición de que la riostra no deberá estar ubicada a más de 4m, se hace tiene que ubicar una vigueta riostra a una distancia de 4m y de 3m, en las losas de entrepiso y cubierta respectivamente.

Altura de la losa: La separación libre resulta de restar el ancho B_w de las viguetas a la separación máxima entre ellas, desarrollando lo anterior, se tiene una distancia libre de 1m

en la losa de entepiso y 0,63m en la losa de cubierta. Ahora desarrollando la Ecuación 8:

Altura de la loseta, y redondeando a términos constructivos, se obtiene una altura de la loseta de entepiso de 10cm y una altura de la loseta de cubierta de 6cm.

Figura 76: Diseño de la losa de entepiso.

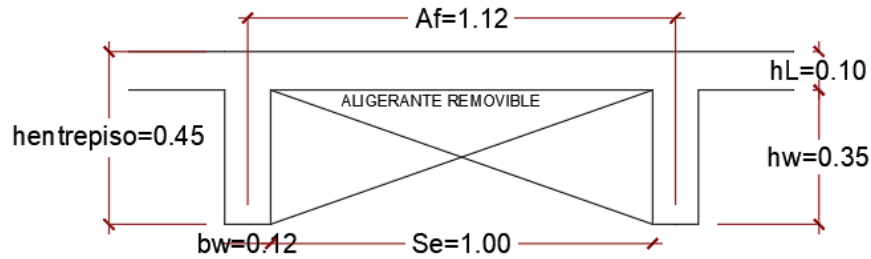
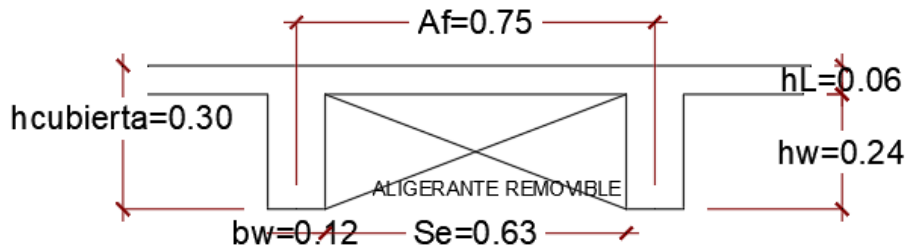


Figura 77: Diseño de la losa de cubierta.



El procedimiento se muestra en el Anexo 1: Predimensionamiento.

3. Análisis simple de cargas: El análisis de cargas será realizado teniendo en cuenta únicamente las cargas muertas, vivas y sísmicas.

a. **Material:** El material estructural será el Concreto reforzado, a partir de la NSR10, se tiene que el valor de su densidad es 2400kg/m^3 .

b. **Cargas muertas:** De acuerdo a los tipos de carga muertas presentes en el proyecto, calculando el volumen de los elementos y las cargas muertas según indica la norma, se han establecido las siguientes cargas.

Peso de la loseta:

$$w_{entrepisos} = 0,10m * 2400kgf/m^3 = 240kgf/m^2$$

$$w_{cubierta} = 0,06m * 2400kgf/m^3 = 144kgf/m^2$$

Peso de las viguetas:

$$w_{entrepisos} = \frac{0,12 * 0,35 * 2400}{1,12} = 90kgf/m^2$$

$$w_{cubierta} = \frac{0,12 * 0,24 * 2400}{0,75} = 92,16kgf/m^2$$

Peso del acabado superior:

De B.3.4.1-3, para el material baldosa cerámica sobre 12mm de mortero:

$$w_{acabadoSuperior} = 80kgf/m^2$$

Peso del acabado inferior:

De B.3.4.1-1, para el material tableros de yeso espesor de 1 cm:

$$w_{acabadoInferior} = 8 * espesor(cm) = 8 = 8kgf/m^2$$

Peso de muros no estructurales:

De B.3.4.2-4, se escoge el peso para la mampostería en bloque de arcilla pañetado a ambas caras y de espesor 15cm. $w_{muros} = 250kgf/m^2$ $w_{murosC} = 50kgf/m^2$

Carga muerta total

Cuando se realiza el análisis detallado de las cargas presentes se suma cada una de las cargas y sobrecargas calculadas:

$$Entrepiso: \quad CMTotal = w_{Loseta} + w_{viguetas} + w_{acabados} + w_{muros}$$

$$CMTotal = 240 + 90 + (80 + 8) + 250 = 668kgf/m^2$$

Cubierta: $CM_{Total} = w_{Loseta} + w_{viguetas} + w_{acabados}$

$$CM_{Total} = 144 + 92,16 + (80 + 8) + 50 = 374,16 \text{ kgf/m}^2$$

En caso de que no se haga un análisis se podrá trabajar con la carga muerta mínima que se indica en la tabla B.3.4.3-1, según el tipo de ocupación de la edificación.

c. **Cargas vivas:** La edificación será de uso residencial, teniendo en cuenta lo que indica la norma, se obtiene el valor de las cargas vivas.

Cuartos privados y sus corredores: $wv1 = 180 \text{ kgf/m}^2$

Escaleras: $wv2 = 300 \text{ kgf/m}^2$

Cubiertas, Azoteas y Terrazas: $wv_{Cubierta} = 180 \text{ kgf/m}^2$

El Anexo 2: Análisis de cargas., contiene todo el procedimiento anterior.

d. **Combinaciones:** Como se ha mencionado en el proyecto solo se tendrán en cuenta las cargas muertas, las cargas vivas y las cargas sísmicas, las combinaciones dadas en el diseño por resistencia ultima, que tienen en cuenta estos tipo de carga son las siguientes.

Ecuación 19: Combinaciones.

$$1,4 * D$$

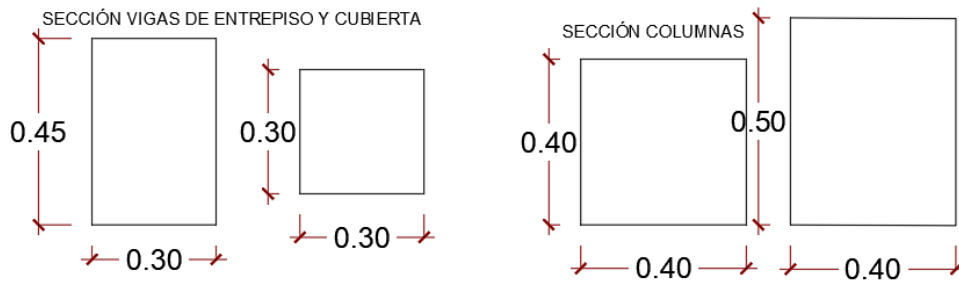
$$1,2D + 1,6L$$

$$1,2D + 1,0E + 1,0L$$

4. Secciones de las vigas y columnas: Teniendo en cuenta el espesor de las placas, se ha establecido la misma altura para las vigas de entrepiso 45cm y cubierta 30cm, además se han planteado dos secciones de columnas: 40cm x 40cm y 50cm x 40cm, lo anterior debido al tamaño de la edificación y a la revisión de las secciones de estos elementos en proyectos

similares aledaños al sitio de ubicación del proyecto. Para el ancho de las vigas, se ha seguido lo indicado por la normativa, en la que para DES la sección mínima debería ser de 30cm, por ello tanto para vigas entrepiso y de cubierta tendrán dicho ancho. Es importante resaltar que las secciones definidas, serán corroboradas en la revisión de las derivas, en donde puede llegar a ser necesario aumentar o disminuir secciones de los elementos, con el fin de cumplir el requisito de que la deriva máxima no supere el 1%.

Figura 78: Sección de vigas y columnas.



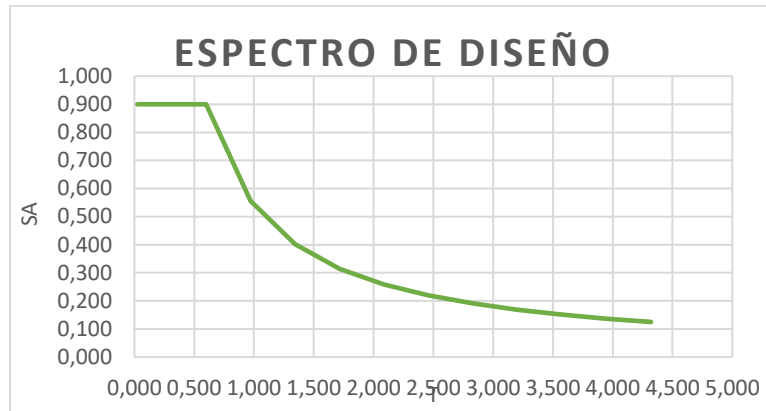
5. Espectro de diseño: Se ha realizado el cálculo del espectro de diseño teniendo en cuenta los valores de los parámetros sísmicos, además de la solución de las respectivas ecuaciones planteadas.

Parámetros sísmicos

Ubicación:	Pamplona, Norte de Santander.		
Zona de amenaza sísmica:	Alta.	Tipo de suelo:	D.
Aceleración pico efectiva (Aa):	0,30.	Velocidad pico efectiva (Av):	0,25.
Amplificación de espectro en periodos cortos (Fa):	1,20	Intermedios (Fv):	1,30
Coeficiente de importancia (I):	1	Capacidad de disipación de energía:	(DES).
$T0 = 0,132$		$TL = 4,560$	
$TC = 0,633$		$Sa = 0,900$	

También se graficó el espectro de aceleraciones, calculando S_a a partir de un periodo T dado, procedimiento realizado con las ecuaciones para los rangos 0 a T_c y T_c a T_L , este procedimiento se aprecia en Anexo 3: Espectro de diseño.

Figura 79: Espectro de diseño.



6. Análisis estructural método de Fuerza Horizontal equivalente: Teniendo en cuenta el procedimiento establecido, se ha realizado el análisis estructural por este método.

- a. **Periodo fundamental de la edificación:** Se trabajará con el mismo valor del periodo fundamental aproximado, que equivale a $T_a = 0,427[s]$, que debe ser rectificado y no debe exceder a $C_u T_a = 0,516[s]$.
- b. **Cortante basal:** Se ha definido el valor de la aceleración (**$S_a=0,9$**), se calcula el valor de la masa de la edificación (**M**) utilizando el software Robot Structural y comparando con el valor obtenido de un análisis manual.

Tabla 10: Masa participante, centros de masa y rigidez obtenidos de Robot.

Nivel	Masa	Masa	XCM	YCM	XCR	YCR
	kgf	Ton	m	m	m	m
Cubierta	57617,03	57,62	6,77	5,17	6,77	5,25
Piso 4	82447,59	82,45	6,75	5,27	6,77	5,25
Piso 3	82447,59	82,45	6,75	5,27	6,77	5,25
Piso 2	83791,59	83,79	6,75	5,27	6,77	5,25
TOTAL (Ton)		306,30				

Además de los datos obtenidos a través del software Robot, también se ha hecho un análisis manual teniendo en cuenta todos los elementos participantes, método por el cual se ha obtenido una masa de 304,63 Toneladas. Al obtener resultados similares, se decide trabajar con las masas obtenidas mediante el análisis manual, al resolver la Ecuación 17: Cortante basal., se obtiene el valor de 274,16 Toneladas.

- c. Fuerza sísmica:** Las masas por piso son multiplicadas por altura, y haciendo uso de la Ecuación 18: Fuerza sísmica., se obtiene:

Tabla 11: Fuerzas sísmicas de piso.

NIVEL	W(ton)	Altura (m)	W*Altura	Cvx	Vs (Ton)	Fs(Tonf)	FsT(Ton)
<i>Cubierta</i>	57,62	11,4	656,87	0,313	274,16	85,94	85,94
<i>Piso 4</i>	82,45	8,6	709,07	0,338		92,77	178,71
<i>Piso 3</i>	82,45	5,8	478,21	0,228		62,56	241,27
<i>Piso 2</i>	83,79	3,0	251,37	0,120		32,89	274,16
		TOTAL	2095,52	(Ton.m)			

El desarrollo del anterior procedimiento, se puede apreciar en Anexo 4: Cálculo de fuerzas sísmicas FHE. Las fuerzas de piso obtenidas en la anterior tabla, deberían de colocarse en un software de análisis estructural y con ellas verificar las derivas, y obtener los valores de fuerzas internas (momentos flectores, fuerzas cortantes, fuerzas axiales y momentos de torsión) para el diseño de los elementos que hacen parte del sistema de resistencia sísmica. Pero este procedimiento no será realizado, pues además del método de análisis de Fuerza Horizontal Equivalente, también se realizará el análisis dinámico espectral.

7. Análisis estructural método de análisis dinámico espectral: Mediante el uso del software Robot Structural, se verifican el valor del periodo fundamental de la estructura, además del cumplimiento de la deriva máxima y de los parámetros dados en este método.

(a) Se ha trabajado con 12 modos de vibración, cuyos resultados son:

Tabla 12: Valores obtenidos para cada modo de vibración.

Case	Mode	Periodo sec	%UX	%UY
Modal	1	0,36	84,73	0,00
Modal	2	0,35	84,73	85,70
Modal	3	0,30	84,74	85,70
Modal	4	0,12	94,98	85,70
Modal	5	0,12	94,98	95,62
Modal	6	0,10	94,99	95,62
Modal	7	0,07	98,87	95,65
Modal	8	0,07	98,91	99,06
Modal	9	0,06	98,91	99,06
Modal	10	0,05	98,91	99,99
Modal	11	0,05	100,00	99,99
Modal	12	0,04	100,00	100,00

(b) Según los resultados obtenidos al correr el modelo, mediante el análisis modal, se obtiene un periodo fundamental de 0,36 [s] en X y de 0,35 [s] en Y, este valor se compara con el periodo fundamental obtenido mediante FHE, el cual es de 0,427 [s], siendo ambos menores y además del periodo de vibración, se cumple pues la masa participante en los modos finales es mayor al 90%.

Realizado el análisis dinámico espectral, se ha verificado el cumplimiento de la deriva y del periodo fundamental de la estructura, se destaca que el procedimiento realizado en el software no incluye únicamente la modelación, para ello sea hace necesario definir ciertos parámetros adicionales, dentro de los cuales se tiene la presencia o no de la torsión accidental,

desplazamientos P-Delta, creación de combinaciones de carga, además es necesario trabajar con diferentes secciones, ubicadas en diferentes posiciones, hasta cumplir con los requerimientos.

8. **Combinaciones de diseño de los elementos:** Se tiene un tipo de sistema estructural aporticado resistente a momentos, ubicado en DES y con material de concreto, de A.3-3 se definen los valores $R_0 = 7$ y $\Omega_0 = 3$, además no se aprecia ningún tipo de irregularidad por tanto el coeficiente de disipación de energía $R = 0$. El procedimiento realizado para definir las combinaciones de carga, se puede apreciar en el Anexo 5: Combinaciones de carga.
- 9.

Tabla 13: Combinaciones de diseño de los elementos.

Combinaciones para diseño a flexión de vigas y columnas											
	Coef	Tipo		Coef	Tipo		Coef	Tipo		Coef	Tipo
FVC1	1,4	D									
FVC2	1,2	D	+	1,6	L						
FVC3	1,2	D	+	1,0	L	+	0,129	SX	+	0,039	SY
FVC4	1,2	D	+	1,0	L	+	0,039	SX	+	0,129	SY
FVC5	0,9	D				+	0,129	SX	+	0,039	SY
FVC6	0,9	D				+	0,039	SX	+	0,129	SY
Combinaciones para diseño a cortante de vigas											
CV1	1,2	D	+	1,0	L	+	0,257	SX	+	0,077	SY
CV2	1,2	D	+	1,0	L	+	0,077	SX	+	0,257	SY
CV3	0,9	D				+	0,257	SX	+	0,077	SY
CV4	0,9	D				+	0,077	SX	+	0,257	SY
Combinaciones para diseño a cortante de columnas											
CC1	1,38	D	+	1	L	+	0,386	SX	+	0,116	SY
CC2	1,38	D	+	1	L	+	0,116	SX	+	0,386	SY
CC3	1,08	D				+	0,386	SX	+	0,116	SY
CC4	1,08	D				+	0,116	SX	+	0,386	SY

5.3 Resultados fase 3: Describir el flujo de trabajo del software de análisis estructural (Robot Structural) y del software de construcción virtual (Revit), para el análisis y modelación de un proyecto estructural tipo aporticado.

Para el cumplimiento de este objetivo se ha realizado un manual titulado “MANUAL PARA LA EJECUCIÓN DE UN PROYECTO DE VIVIENDA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO, BAJO LA METODOLOGÍA BIM: FASE 1 - ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y MODELADO”, en el cual se aprecia el paso a paso necesario para el desarrollo del análisis estructural y modelación del mismo en el software Robot Structural y posterior construcción virtual en Revit, el cual se puede apreciar en el Anexo 6: Manual para la ejecución de un proyecto de vivienda con sistema estructural aporticado, bajo la metodología BIM: Fase 1 - Análisis estructural y modelado.

5.3.1 Datos del proyecto y alistamiento de la información

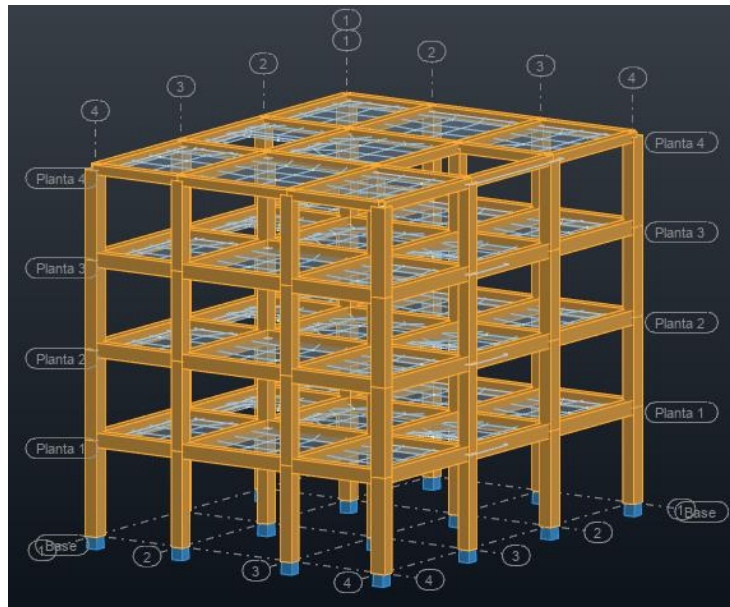
Fue necesario definir los parámetros iniciales antes de empezar a modelar en los softwares, para ello en primera instancia con la revisión de los planos arquitectónicos, de la localización del proyecto, además del tipo de suelo, se determinaron los parámetros sísmicos, se realizó el predimensionamiento de los elementos, se hizo el análisis de cargas, se definió el espectro de diseño, todo teniendo en cuenta los procedimientos indicados por la norma.

5.3.2 Análisis estructural del proyecto en Robot Structural

De acuerdo a la ubicación inicial de los elementos estructurales propuesta en el diseño arquitectónico, se realizó el modelado de la edificación en el software, teniendo en cuenta las secciones de los elementos, los materiales, los resultados del análisis de cargas y los demás

procedimientos indicados en el manual. Una vez realizado el modelado del proyecto, se obtuvo el resultado mostrado en la Figura 80: Modelado del proyecto en Robot.

Figura 80: Modelado del proyecto en Robot.



En el desarrollo de este procedimiento se debe tener un especial cuidado, pues al no definir el tipo de apoyo empotrado, no asignar las debidas cargas, además del tipo diafragma rígido.

6 Conclusiones

- ✓ El estudio y conocimiento del reglamento colombiano de construcción sismorresistente NSR10, es obligatorio para los profesionales de la construcción, pues allí se indican cada uno de los requisitos mínimos a tener en cuenta al momento de diseñar, construir, cuidar y mantener un proyecto estructural, su importancia radica en que con base este reglamento se rige todo lo pertinente a la construcción, por ello es indispensable conocerlo antes de realizar cualquier proyecto.
- ✓ Con el desarrollo del primer objetivo, a través de la revisión a los títulos A, B y C de la NSR10, se recopilaron los requisitos mínimos y los procesos necesarios para el análisis y diseño de una edificación con sistema estructural tipo aporticado, siendo punto de partida para la correcta realización del diseño estructural, con el segundo objetivo, se puso en práctica los resultados de la recopilación de los requisitos y procesos que indica la NSR10, mediante la ejecución de un proyecto ubicado en Pamplona, Norte de Santander con sistema estructural tipo aporticado. El tercer y último objetivo, consistió en el desarrollo de un manual en el que se ha detallado todo el procedimiento necesario para el análisis estructural de un proyecto tipo aporticado en el software ROBOT STRUCTURAL, para el posterior diseño a partir de los resultados obtenidos del análisis y para la construcción virtual del proyecto estructural en el software REVIT.
- ✓ El desarrollo del proyecto, permite mostrar de forma detallada el procedimiento necesario para realizar un proyecto con sistema estructural tipo aporticado, en el cual se explicó a grandes rasgos los procedimientos para ejecutar un análisis estructural en el software Robot Structural y posterior diseño estructural, a partir del cual se realizó

la construcción virtual en el software Revit, destacando que con el uso de este no quiere decir que se hace uso de la metodología BIM, pues esta metodología trata del trabajo en conjunto de las diferentes disciplinas presentes durante el desarrollo de un proyecto, por lo que se hace necesario el uso de otros softwares para el diseño de los demás sistemas (arquitectónicos, estructurales, hidráulicos, entre otros), además de todo lo relacionado con el pre o antes de realizar el proyecto que incluye la planificación, cuantificación diseño y demás, de igual manera con el post o después de ejecutar el proyecto lo que incluye temas de mantenimiento, ajustes o identificación de manera un poco más real (3D) de los elementos presentes.

- ✓ El desarrollo de este proyecto es de tipo educativo, a partir del mismo se ha elaborado un manual en el que se destacan los procedimientos necesarios para el desarrollo de un proyecto estructural tipo aporticado haciendo uso de los softwares Robot Structural y Revit.
- ✓ La investigación tuvo la finalidad de plantear una fase inicial para el uso de la metodología BIM, mediante el uso de Revit se logra establecer la construcción virtual del proyecto estructural, a partir del cual se pueda trabajar en conjunto con las demás disciplinas, teniendo como punto de partida el no poder modificar el sistema estructural diseñado. Esta investigación, pone evidencia como el uso de softwares de diferentes compañías, complica el correcto desarrollo de la metodología BIM, ya que, al realizar la importación a Revit, ocurre cierta pérdida de información de los resultados del análisis estructural realizado en Robot Structural.

7 Recomendaciones

- ✓ Hoy en día el Ingeniero Civil debe ser lo suficientemente competente en el mercado, por ello es necesario que conozca las nuevas metodologías para el desarrollo de los proyectos de construcción, para ello lo ideal es que comience a hacer usos de los diferentes softwares que al final le permitirán trabajar y conocer la armonía generada por la realización de un trabajo en equipo usando principalmente la metodología BIM.
- ✓ Para la comprensión de cualquier duda generada en este documento es necesaria la revisión de los anexos, además de los artículos mencionados de la NSR10.
- ✓ Este proyecto se ha denominado como fase 1 y consiste en la realización del análisis y diseño estructural con ayuda del software Robot Structural, además del modelado de los resultados en el software Revit, entendiendo que en un proyecto existen otros sistemas, se recomienda continuar la presente investigación proponiendo nuevas fases que incluyan el diseño arquitectónico, los diseños hidráulicos y sanitarios, eléctricos, de ventilación, de redes contra incendio y demás sistemas posibles, todo sumado con la realización de los presupuestos, cronogramas de obra y seguimiento a las diferentes etapas del proyecto.
- ✓ Durante el desarrollo del proyecto fue evidente que el trabajar con softwares de diferentes compañías, genera pérdida de información, por ello se recomienda realizar el mismo proyecto en dos softwares de la misma compañía, para con ello poder trabajar de manera completa con la metodología BIM, permitiéndonos modificar incluso parte del diseño estructural en las fases posteriores.

8 Referencias bibliográficas

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010).

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 Tomo 2. Bogota, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica.

Díaz Granados. (2018)

Proyecto de grado: Cambiando el chip en la construcción, dejando la metodología tradicional de diseño CAD para aventurarse a lo moderno de la metodología BIM. Bogotá DC. Miguel Blanco Díaz Granados.

Autodesk. (2016).

¿Qué es BIM?

Obtenido de <https://knowledge.autodesk.com/es/search-result/caas/simplecontent/content/-C2-BFqu-C3-A9-es-bim.html>

Laiserin, Jerry. (2022).

«Building Information Modeling Two Years Later – Huge Potential, Some Success and Several Limitations».

Obtenido de http://www.laiserin.com/features/bim/newforma_bim.pdf

Raulpe-Blogs. (2018).

La importancia de la cimentación en un edificio.

Obtenido de <https://raulpe4.blogs.uv.es/2018/08/30/cimentacion-edificio/>

Universidad Autónoma del Estado de México. (2000).

La ingeniería estructural. Ciencia Ergo Sum.

Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/104/10401812.pdf>

Autodesk. (2022)

Diseño eléctrico.

Obtenido de <https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/electrical-design>

Aibinternacional. (2022)

Diseño hidrosanitario: Un requisito fundamental.

Obtenido de <https://www.foodpartnerslatam.com/blog/disenio-sanitario-requisito-fundamental/>

CRYOGAS. (2022).

Redes de Gases.

Obtenido de <http://www.cryogas.com.co/Web/CO/Menu/2435/Salud>

Sánchez, M. Á. (Octubre de 2018).

Actividades de construcción en la etapa de red contra incendios para instituciones militares.

Obtenido de

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/18068/MartinezSierraMiguelAngelGomezSanchezMiguelAngel2018.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Construyendo. (2022)

Sismo resistencia.

Obtenido de <https://construyendo.co/sismoresistencia/sismoresistencia.php>

BUILDING SMART (2022)

¿Qué es BIM?

Obtenido de <https://www.buildingsmart.es/bim/>

Vídeo de YouTube: Flujo de trabajo: Uso de Revit y Navisworks Autor: Sonda MCO

Año: 2020.

Obtenido de

https://www.youtube.com/watch?v=u9Y4_oC3UL8&ab_channel=SondaMCO

Proyecto de Grado: COORDINACION DE UN PROYECTO DE EDIFICACION
MEDIANTE METODOLOGÍAS BIM – CASO DE ESTUDIO EDIFICIO TEQUENDAMA

II – PERMODA Autor: Yeison Alejandro Ángel Torres

Año: 2019 - UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA

Proyecto de Grado: GESTIÓN DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN CON
METODOLOGÍA BIM “BUILDING INFORMATION MODELING” Autor: Lina Xiomara

Sierra Aponte

Año: 2016 - UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

Proyecto de Grado: DESARROLLAR UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS
PARA LA PLANIFICACIÓN DE OBRAS DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS

Autor: Alejandro Antonio Aburto Salazar

Año: 2016 - UNIVERSIDAD DE CHILE

Proyecto de Grado: PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA BIM EN
EL CICLO DE VIDA EN UN PROYECTO. Autores: Ismael Antonio Cerón y David Andrés
Liévano Ramos.

Año: 2017 - UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

Proyecto de Grado: VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA
SISMO RESISTENTE NSR-10 VIGENTE EN COLOMBIA EN LA ESTRUCTURA
“DOTACIONAL CULTURAL FILIPENSES” Autor: María José Sánchez Valenzuela
Año: 2018 - UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

Artículo: A novel BIM-based process workflow for building retrofit.
Autores: Letizia D’Angelo, Magdalena Hajdukiewicz, Federico Seri y Marcus M. Keane.
Año: 2022 - School of Engineering, College of Science and Engineering, National University
of Ireland Galway, Ireland; Informatics Research Unit for Sustainable Engineering (IRUSE)
Galway, Ireland; Ryan Institute, National University of Ireland Galway, Ireland. Revista de
Ingeniería de la Construcción 50 ,104163

9 Anexos

Anexo 1: Predimensionamiento.

Anexo 2: Análisis de cargas.

Anexo 3: Espectro de diseño.

Anexo 4: Cálculo de fuerzas sísmicas FHE.

Anexo 5: Combinaciones de carga.

Anexo 6: Manual para la ejecución de un proyecto de vivienda con sistema estructural aporticado, bajo la metodología BIM: Fase 1 - Análisis estructural y modelado.

10 Apéndices

Apéndice 1. Planos arquitectónicos.

Apéndice 2. Estudio de suelos.