

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Análisis de desempeño e interoperabilidad de un edificio de concreto
reforzado utilizando *software* BIM

Trabajo de graduación presentado por Katerine Franshesca Coronado
Roche para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil
Arquitectónica

Guatemala,

2024

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



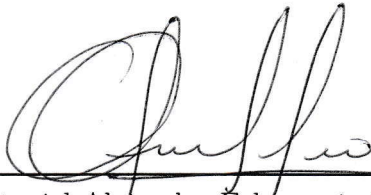
Análisis de desempeño e interoperabilidad de un edificio de concreto
reforzado utilizando *software* BIM

Trabajo de graduación presentado por Katerine Franshesca Coronado
Roche para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil
Arquitectónica

Guatemala,

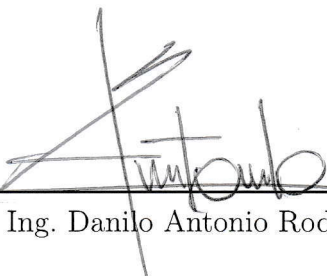
2024

Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Otoniel Alejandro Echeverría Castellanos

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Otoniel Alejandro Echeverría Castellanos

(f) 
Ing. Danilo Antonio Rodríguez Cerón

(f) 
Arq. Marco Vinicio Sampuel Oliva

Fecha de aprobación: Guatemala, 04 de diciembre de 2024.

Este trabajo es el fruto de varias habilidades y conocimientos adquiridos durante la carrera de ingeniería civil arquitectónica durante mis años de estudio. El proyecto es un acercamiento hacia la metodología BIM por medio del modelado de un edificio de concreto reforzado en tres programas distintos, los cuales se evaluará la capacidad de transferir información entre cada uno de ellos.

Agradezco, en primer lugar y sobre todas las cosas, a Dios por todas las oportunidades que me ha entregado en la vida.

A mis padres, Edwin Coronado y Surama Roche, por su apoyo y por la oportunidad de permitirme estudiar en una casa de estudios tan prestigiosa. También, a mis hermanos Bryan Coronado y Fernando Coronado, por su apoyo incondicional en todo momento y por su guianza y palabras de aliento durante este proceso.

A mi asesor, Otoniel Echeverría, por sus guianza, sus correcciones y su tiempo que me permitieron la realización de mi proyecto.

A mis amigos incondicionales de la carrera por todos esos momentos inolvidables, ese apoyo mutuo y esa paciencia durante toda la carrera.

A mis amigos de la iglesia, de quienes he aprendido muchos consejos para mi vida gracias por su comprensión, guianza y sabiduría.

Lista de siglas y acrónimos

ACI	<i>American Concrete Institute</i>
AGEBIM	Asociación Guatemalteca de Estándares BIM
AGIES	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica
ASCE	<i>American Society of Civil Engineers</i>
ASD	<i>Allowable Stress Design</i>
BEP	<i>BIM Execution Plan</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
BFC	<i>BIM Collaboration Format</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CDE	<i>Common Data Environment</i>
CM	Carga Muerta
Cs	Coefficiente sísmico
CV	Carga Viva
COBie	<i>Construction Operations Building Information Exchange</i>
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
ISM	<i>Integrated Structural Model</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
Kd	Factor de determinación de los niveles de diseño
LOD	<i>Level of Development</i>
LOI	<i>Level of Information</i>

MEP	Mecánica, Eléctrica y Plomería
NPS	Nivel de Protección Sísmica
NSE	Normas de Seguridad Estructural
Sa(T)	Ordenada espectral para cualquier período de vibración T
Scs	Ordenada espectral ajustada del sismo extremo en el sitio de interés para estructuras con período de vibración corto
S1s	Ordenada espectral ajustada del sismo extremo en el sitio de interés para estructuras con período de vibración de 1 segundo
Scr	Ordenada espectral de periodo corto del sismo extremo considerado en el basamento de roca en el sitio de interés
S1r	Ordenada espectral de periodo 1 segundo del sismo extremo considerado en el basamento de roca en el sitio de interés
Ta	Período fundamental de vibración
Ts	Período en segundo que separa entre período cortos de los largos
Vb	Cortante Basal
Ws	Peso Sísmico

Prefacio	v
Lista de siglas y acrónimos	VIII
Lista de figuras	XV
Lista de cuadros	XVII
Resumen	XIX
Abstract	XXI
1. Introducción	1
2. Justificación	3
3. Objetivos	5
3.1. Objetivo general	5
3.2. Objetivos específicos	5
4. Marco teórico	7
4.1. BIM	7
4.1.1. Dimensiones BIM	7
4.1.2. Usos BIM	8
4.1.3. Roles BIM	9
4.1.4. CAD vs. BIM	10
4.1.5. LOD y LOI	11
4.1.6. Niveles de madurez BIM	12
4.1.7. Normativas BIM	13
4.2. Historia BIM	14
4.2.1. BIM en Guatemala	14
4.3. <i>Software</i> BIM	14
4.3.1. Tipo de <i>software</i> BIM	15
4.4. Interoperabilidad	17

4.4.1.	Open BIM	17
4.4.2.	Close BIM	17
4.4.3.	Estándares BIM	18
4.4.4.	Entorno común de datos	20
4.4.5.	Seguridad de datos	22
4.5.	Información	23
4.5.1.	Contenedores de información	23
4.5.2.	Parámetros	23
4.5.3.	Formatos de parámetros y estandarización	24
4.5.4.	Requisitos de información	24
4.6.	Concreto	25
4.6.1.	Concreto reforzado	25
4.6.2.	Ventajas y desventajas de concreto reforzado	25
4.7.	Sistema constructivo	26
4.8.	Normativas de estructuras de concreto	27
4.8.1.	Normativas guatemaltecas	27
4.8.2.	Normativas internacionales	27
4.9.	Sismología	27
4.10.	Sismo resistencia	28
5.	Metodología	29
5.1.	Descripción de <i>software</i> a utilizar	29
5.1.1.	Autodesk Revit	29
5.1.2.	STAAD.Pro	30
5.1.3.	CYPECAD	30
5.2.	Criterios para selección del edificio	31
5.3.	Criterios de interoperabilidad	31
5.4.	Datos generales del edificio	33
5.5.	Aspectos sísmicos del edificio	34
6.	Análisis de normativas	37
6.1.	Normas de seguridad estructural para Guatemala	37
6.2.	Normas del Instituto Americano del Concreto - ACI	38
6.3.	Eurocódigos estructurales	38
6.4.	Comparación de normativas	39
7.	Cálculos sísmicos teóricos	41
7.1.	Cálculo de espectro sísmico	41
7.2.	Cálculo de cortante basal teórico	43
8.	Proceso para modelado e interoperabilidad	45
8.1.	Proceso de modelado	45
8.2.	Proceso de interoperabilidad	45
8.2.1.	Revit a CYPECAD	45
8.2.2.	CYPECAD a Revit	51
8.2.3.	Revit a STAAD.Pro	52
8.2.4.	STAAD.Pro a Revit	57
9.	Análisis y discusión de resultados	61

10. Conclusiones	79
11. Recomendaciones	81
12. Bibliografía	83
13. Apéndice	86
13.1. Modelado en Revit	86
13.2. Modelado en CYPECAD	93
13.3. Modelado en STAAD.Pro	100

Lista de figuras

1.	Clasificación general de usos BIM	9
2.	Resumen de roles en un proyecto	10
3.	Ejemplo comparativo entre LOD Y LOI.	12
4.	Niveles de madurez.	13
5.	Relación entre software BIM.	15
6.	Open BIM vs Close BIM	18
7.	Formatos IFC	19
8.	Estados del Entorno Común de Datos	21
9.	Ejemplo de la nomenclatura de proyecto	22
10.	Proceso para la gestión de la seguridad de datos	23
11.	Jerarquía de los requisitos de información	25
12.	Factores según tipo de estructura	34
13.	Valores de amenaza sísmica	35
14.	Nivel de protección sísmica y probabilidad del sismo de diseño	35
15.	Mapa de zonificación sísmica de Guatemala	36
16.	Factores Kd según el nivel de sismo	36
17.	Resumen de valores sísmicos	41
18.	Espectro sísmico de diseño	43
19.	Exportación de modelo desde Revit	46
20.	Verificación de parámetros del IFC a generar	46
21.	Importación de IFC en CYPECAD	47
22.	Procesos de selección de archivo IFC	47
23.	Verificación de valores de alturas	48
24.	Verificación de valores de cargas	48
25.	Verificación de valores de columnas	49
26.	Verificación de valores de losas y vigas	49
27.	Verificación de valores de muros	50
28.	Verificación de valores de plantilla	50
29.	Exportación de IFC desde CYPECAD	51
30.	Importación de IFC desde Revit	51

31.	Importación de IFC en programa iTwin	52
32.	Creación de archivo ISM	53
33.	Asignación de parámetros de materiales para sincronización de ISM	53
34.	Asignación de parámetros de columnas y vigas para sincronización de ISM	54
35.	Asignación de parámetros de losas para sincronización de ISM	54
36.	Selección de elementos para actualización ISM	55
37.	Importación de ISM en STAAD.Pro	56
38.	Carga de geometría para STAAD.Pro	56
39.	Creación de archivo ISM	57
40.	Proceso de ISM	58
41.	Seleccionar parámetros que conformen ISM	58
42.	Mensajes y advertencias	59
43.	Importando ISM desde <i>plugin</i> de Revit	59
44.	Ajuste de parámetros de materiales y geometrías	60
45.	Seleccionar los parámetros que son compatibles para importación	60
46.	3D Revit	62
47.	3D STAAD.Pro	63
48.	3D CYPECAD	64
49.	Modos de vibración para sismo en X con STAAD.Pro	66
50.	Modos de vibración para sismo en Z con STAAD.Pro	67
51.	Resultados de interoperabilidad entre Revit a CYPECAD	70
52.	Resultados de interoperabilidad para CYPECAD en vista en planta	71
53.	Resultado de interoperabilidad entre CYPECAD a Revit	72
54.	Resultado de interoperabilidad de parámetros entre CYPECAD a Revit	73
55.	Resultado de interoperabilidad entre Revit a STAAD.Pro sin sincronizar el modelo	74
56.	Resultado de interoperabilidad de materiales entre Revit a STAAD.Pro sin sincronización	74
57.	Resultado de interoperabilidad entre Revit a STAAD.Pro	75
58.	Resultados de interoperabilidad de materiales entre Revit a STAAD.Pro	75
59.	Comparación de materiales entre Revit a STAAD.Pro	76
60.	Resultado de interoperabilidad entre STAAD.Pro a Revit	76
61.	Resultado de interoperabilidad de materiales entre STAAD.Pro a Revit	77
62.	Resultado de interoperabilidad de modelo analítico entre STAAD.Pro a Revit	77
63.	Creación de archivo	86
64.	Creación de niveles	87
65.	Creación de ejes	88
66.	Creación de columnas	89
67.	Creación de materiales	89
68.	Copiado y pegado del nivel 01	90
69.	Modelo 3D de todos los niveles	90
70.	Modelado del refuerzo estructural	91
71.	Creación de modelo analítico	91
72.	Modelo analítico en 3D	92
73.	Soporte de elemento en el modelo analítico	92
74.	Tipos de archivos	93

75.	Datos generales del proyecto	94
76.	Creación de plantas	95
77.	Creación de columnas	95
78.	Planta de columnas	96
79.	Creación de tipo de vigas	96
80.	Creación de muros	97
81.	Creación de losas	97
82.	Vista en planta	98
83.	Modelo 3D por CYPECAD	98
84.	Parámetro sísmicos	99
85.	Listados de CYPECAD	100
86.	ConFiguración general del programa	100
87.	Duplicar los nodos	101
88.	Vista de nodos	102
89.	Modelado de muros	103
90.	Creación de propiedades	103
91.	Asignación de propiedades	104
92.	Copiar los elementos para los demás niveles	104
93.	Tipo de soporte de la base	105
94.	Modelo 3D	106
95.	Pestaña para alineación de vigas	106
96.	Modelo 3D luego de la alineación de vigas	107
97.	Creación de cargas	107
98.	Definición de cargas	108
99.	Definición de diafragma rígidos	108
100.	Pestaña para correr el programa	109
101.	Parámetros sísmico estático	110
102.	Parámetros sísmico dinámico	110
103.	Cargas para evaluación sísmica	111
104.	Derivas	112

Lista de cuadros

1.	Codificación de datos	19
2.	Campos propuestos para la nomenclatura	22
3.	KPIs de interoperabilidad	32
4.	Sobrecargas de uso	33
5.	Resumen comparativo de normas	39
6.	Resumen de pesos sísmicos teóricos por nivel	43
7.	Resumen de valores para cortante basal estático teórico	44
8.	Comparación de análisis estático	64
9.	Porcentaje de error del cortante basal estático	65
10.	Resultado de análisis dinámico con <i>software</i> CYPECAD	65
11.	Resultado de análisis dinámico con <i>software</i> STAAD.Pro	66
12.	Valores de derivas utilizando STAAD.Pro	68
13.	Valores de derivas utilizando CYPECAD	68
14.	Cuadro comparativo sobre KPIs de interoperabilidad	69

La metodología BIM es una de las herramientas más útiles para el trabajo colaborativo dentro de la ingeniería civil y la arquitectura. Es por lo que el trabajo de graduación que se presenta a continuación tiene como objetivo principal evaluar el desempeño de distintos software BIM para el análisis estructural por medio de la utilización de un edificio de concreto reforzado; este objetivo se debe a que se quiere dar a conocer más este tipo de metodología con un enfoque en el área estructural. Dicha meta surge por medio de las investigaciones donde se encontró que Guatemala está en desarrollo con la metodología según la Encuesta BIM América Latina y El Caribe 2020, la cual fue realizada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) la que permite observar cómo se encuentra Guatemala tanto a nivel nacional como en comparación con demás países.

Para ello es importante tener en cuenta distintos conceptos básicos tanto sobre la metodología BIM como del material que está hecha, la edificación que se va a utilizar para la investigación. Durante este proceso se investigó distintos aspectos BIM tales como historia, niveles de detalle, estándares, entre otros. Asimismo, se investigaron las diversas normativas que existen tanto a nivel regional como mundial con respecto al concreto reforzado, con la idea de definir las distintas características.

Finalmente, se alcanzó el objetivo principal por medio de cuatro objetivos adicionales, los cuales van desde la comparación de normativas sobre estructuras de concreto reforzado hasta la comparación de la interoperabilidad con el uso de los programas STAAD.Pro, CYPECAD y Revit; lo que permitió analizar el desempeño y características de los mismos. Dentro de los aspectos que se compararon se encuentran la facilidad de uso, tiempo, capacidad de interoperabilidad, entre otros. Esto se pudo alcanzar por medio del modelado de un edificio de siete niveles de concreto reforzado, el cual se realizó en cada uno de los programas mencionados anteriormente. Por último, se estableció una metodología de trabajo para cada uno de los programas con respecto al modelado y el proceso para la interoperabilidad.

BIM methodology is one of the most useful tools for collaborative work within civil engineering and architecture. Therefore, the graduation project presented below aims to evaluate the performance of different BIM software for structural analysis through the use of a reinforced concrete building; this objective is due to the desire to publicize this type of methodology with a focus on the structural area. This goal arises from research where it was found that Guatemala is developing with the methodology according to the BIM Latin America and the Caribbean Survey 2020, which was conducted by the Inter-American Development Bank (IDB), which allows observing how Guatemala is doing both nationally and in comparison with other countries.

To do this, it is important to consider different basic concepts about both BIM methodology and the material it is made of, the building that will be used for the research. During this process, different aspects of BIM were investigated, such as history, levels of detail, standards, among others. Likewise, the various regulations that exist at both the regional and global level regarding reinforced concrete were investigated with the idea of defining the different characteristics.

Finally, the main objective was achieved through four additional objectives, which range from the comparison of regulations on reinforced concrete structures to the comparison of interoperability with the use of STAAD.Pro, CYPECAD, and Revit programs; which allowed analyzing the performance and characteristics of the same. Among the aspects that were compared are ease of use, time, interoperability capacity, among others. This was achieved through the modeling of a seven-level reinforced concrete building, which was carried out in each of the mentioned programs. Finally, a work methodology was established for each of the programs regarding modeling and the process for interoperability.

CAPÍTULO 1

Introducción

Dentro del ámbito de la ingeniería civil arquitectónica existe la metodología BIM la cual permite el orden y la organización dentro de los proyectos de construcción. Pero para hacer uso de esto se debe de tomar en cuenta que la metodología debe de incluir una base de datos, la cual sea el complemento de los modelos. Para ellos es importante tener en cuenta los diversos conceptos que forman BIM y los flujos de trabajo para los proyectos. Asimismo, esta técnica permite la colaboración de trabajo equipo tanto con programa de la misma empresa como de empresas ajenas.

Teniendo esto en cuenta, el objetivo principal de esta investigación es la evaluación del rendimiento de los programas CYPECAD, STAAD.Pro y Revit por medio del modelado de un edificio de concreto reforzado tomando en cuenta el desempeño del programa y la interoperabilidad entre programas. Para ello se realizaron los modelos tridimensionales en cada uno de los programas mencionados, donde se estipularon cuáles serían los programas estructurales y arquitectónico. Asimismo, se definieron los flujos de trabajo que se utilizaron para la evaluación de la interoperabilidad y los indicadores que se evaluarían para dicho proceso.

Por otro lado, se realizaron los análisis sísmicos de los modelos con la finalidad de evaluar el desempeño y la curva de aprendizaje de los programas. Para este proceso se utilizó la normativa NSE edición 2018. Ubicando el modelo en la ciudad de Guatemala. Finalmente, se compararon los datos de cada uno de los programas con los cálculos manuales para evaluar el porcentaje de error y evaluar cuál de los programas es más intuitivo para el usuario.

La metodología BIM es un sistema de gestión de obras, la cual se basa en la realización de un modelo tridimensional que cuenta con una base de datos que es utilizada a lo largo de todas las etapas del proyecto sin importar la especialidad que se estén trabajando. Sin embargo, dentro del contexto guatemalteco esta idea no se tiene del todo clara, ya que muchos modeladores a nivel profesional solamente utilizan la metodología para la realización de modelos y no con la finalidad de objetos con la capacidad de guardar información y luego usar esto mismos contenedores de información para siguientes etapas del proyecto. Este problema se debe que dentro del contexto latinoamericano la metodología aún es una innovación para la construcción. Según la encuesta BIM América Latina Y El Caribe 2020, Guatemala es uno de los países que aún se encuentra en una transición sobre la metodología, ya que más del 50 % de empresas relacionadas a la construcción han implementado la metodología en los últimos 3 años (Lacaze, 2020).

En Guatemala, la metodología BIM aún está en vías de desarrollo; sin embargo, a nivel mundial esta herramienta se ha iniciado a investigar y a crear normativas para la misma desde 1975 lo que ha permitido llegar a ser de uso obligatorio; por ejemplo, en España desde el 2018 es imprescindible el uso de BIM para edificaciones (Seys, 2018). A pesar de todo esto según la Lacaze menciona en la encuesta realizada a empresas a nivel latinoamericano que Guatemala muestra un 100 % de actitud positiva a la transición de metodologías (Lacaze, 2020). Por lo que cabe decir que el tema de investigación de la presente tesis es un tema innovador para el área de construcción, ya que una buena implementación de la metodología permite tener diversos beneficios dentro el ciclo de vida de un proyecto.

Para entrar en contexto sobre la metodología BIM es necesario identificar cuales son las dimensiones o usos que mejor se adaptan al proyecto que se esta llevando acabo. Pero para implementar este tipo de metodología es necesario el uso de diferentes programas que no solo tengan la capacidad de generar modelos tridimensionales sino que también bases de datos o información relevante para el proyecto. Dentro del mercado de programas existen programas para cada especialidad que sea necesaria; por ejemplo, planificación, análisis estructural, cuantificación, modelado, entre otros. Estos programas deben ser elegidos principalmente

por el flujo de trabajo que se estará utilizando para luego ser filtrados por las características tanto informáticas como de uso y de resultados. Sin embargo, para Guatemala es importante observar otros puntos al momento de escoger un programa, ya que no todos se encuentran al alcance de todos los profesionales ya sea por cuestiones de costos o limitantes de tecnología.

El uso de dichos software dentro del entorno de la ingeniería civil tiene como objetivo optimizar el proceso del proyecto por medio de la compatibilidad e interoperabilidad que llega a existir entre ellos mismos. Para ello se deben de conocer las capacidades y el desempeño con la que cuentan los programas tanto para la capacidad de compartir información como de recibirla y que tan personalizable es el proceso. Es por eso que se ha decidido estudiar y evaluar cuales son las características, capacidades de dos *software* BIM para el análisis estructural de una estructura de concreto reforzado. Los programas utilizados, STAAD.Pro y CYPECAD, permiten conocer y evaluar la capacidad de interoperabilidad con más *software* BIM y comprender cuales son los valores que se necesitan para tener una mayor conexión entre programas. Finalmente, se desea que los resultados obtenidos permitan continuar con futuras investigaciones relacionadas con el tema, de esta manera implementar nuevos programas BIM a nivel nacional para el aumentar el uso de la metodología BIM en Guatemala.

3.1. Objetivo general

Evaluar el rendimiento de los software de construcción STAAD.Pro y CYPECAD, utilizando un edificio de siete niveles de concreto reforzado por medio de un análisis comparativo abarcando desempeño e interoperabilidad.

3.2. Objetivos específicos

- Identificar las características de las normativas a nivel nacional e internacional relacionadas con las edificaciones de concreto reforzado.
- Desarrollar un modelo estructural de un edificio de concreto reforzado en los *software* STAAD.Pro, CYPECAD y Revit.
- Analizar una estructura de concreto reforzado tomando en cuenta criterios sismorresistentes utilizando los *software* STAAD.Pro, CYPECAD y Revit.
- Establecer una metodología de trabajo en conjunto entre Revit, STAAD.Pro y CYPECAD tomando en cuenta los factores y elementos de una construcción de concreto reforzado que permitan la interoperabilidad entre *software* considerando las diferentes capacidades y alcances.

4.1. BIM

Building Information Modeling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativa. Esta metodología es utilizada para la creación y el manejo de un proyecto de construcción (BuildingSMART, s.f.-a). El objetivo principal es la creación de un modelo 3D el cual contenga información detallada del proyecto; generando de esta manera componentes funcionales para facilitar el trabajo a lo largo del ciclo de vida del diseño.

4.1.1. Dimensiones BIM

Como todas las metodologías de trabajo, la metodología BIM, es una serie de pasos para realizar un proyecto de manera ordenada y eficiente. Ortega menciona lo que son siete dimensiones principales a lo largo del ciclo de vida de un proyecto, sin embargo, también se pueden agregar otras tres dimensiones que llegan hasta abarcar industrialización en la construcción. A continuación, se en listan las principales siete dimensiones.

- Primera dimensión (1D) es donde se presenta una lluvia de ideas sobre el proyecto que se va a realizar y para ello solamente se llegan a realizar lo que son las estimaciones iniciales.
- Segunda dimensión (2D) es la indicada para la primera realización de bocetos, estos son realizados en planta, los cuales no contienen información relevante.
- Tercera dimensión (3D) se refiere a la fase de coordinación en donde se inicia con los modelos en tridimensionales los cuales se realizan para cada una de las distintas especialidades; por ejemplo, arquitectura, estructura, Mecánica, Eléctrica y Plomería (MEP), entre otras esto con la finalidad de resolver las incidencias o las interferencias que los modelos generan entre si. Para esta dimensión es muy común del uso de BCF e IFC los cuales se describirán más adelante.

- La cuarta dimensión (4D) o también conocida como la etapa de planificación. Esta dimensión es utilizada para la visualización del proyecto tanto a sus inicios como en su ejecución y cierre. Para lograr esto se utilizan herramientas como diagramas o cronogramas.
- Quinta Dimensión (5D), medición y presupuesto, esta etapa del proyecto es la correspondiente con respecto a los costos de cada una de las fases de proyecto, tales como operaciones, mantenimiento, entre otras. Cabe mencionar que esta dimensión se presenta durante todo el ciclo de vida del proyecto, es decir desde su inicio hasta el cierre del proyecto.
- La sexta dimensión (6D) es respectiva a la certificación energética, es decir, que es la que utiliza para la realización de cálculos, análisis y estudios con respecto al ámbito energético de la edificación. En resumen, esta dimensión habla sobre la sostenibilidad.
- Séptima dimensión (7D), Gestión de activos, esta dimensión es la correspondiente a nombrar cada uno de los elementos según su uso BIM el cual será utilizado para creación de bases de datos, las cuales tienen como finalidad llevar la gestión de bienes.

(Ortega, 2020)

4.1.2. Usos BIM

Según Kreider y Messner en el documento de los usos BIM se define al mismo como un método de aplicación sobre BIM a lo largo del ciclo del proyecto para alcanzar distintos objetivos. Los usos BIM se clasifican en primarios y secundarios como se puede observar en la Figura 1, la implementación de estos usos se verá afectada según el contexto del proyecto. En esta misma Figura se puede observar que cada uno de los usos abarca diferentes etapas de un proyecto, mostrando así la importancia que tienen. Finalmente los usos BIM tienen como propósito principal recopilar, generar, analizar, comunicar e identificar información durante el ciclo de vida de un proyecto.

PLANEACION	DISEÑO	CONSTRUCCION	OPERACION
Modelado de Condiciones Existentes			
Estimacion de Costos			
Planeacion de Fases			
Programaciones de obra			
Analisis del Sitio			
	Revisiones de diseño		
	Autoria de Diseño		
	Analisis Estructural		
	Analisis Iluminacion		
	Analisis Energeticos		
	Analisis Mecanicos		
	Otros Analisis Ingenieria		
	Evaluacion LEED		
	Validacion de Codigos		
	Coordinacion 3D		
	Planeacion en Sitio		
	Diseño Sistemas Constructivos		
	Fabricacion Digital		
	Planeacion y Control 3D		
	Modelos Record		
			Admin Mantenimiento
			Analisis Sistemas Edificio
			Gestion de Activos
			Admin Espacios
			Planeacion de Desastres

Usos BIM Primarios
 Usos BIM Secundarios
 Adaptado de <http://bim.psu.edu/Uses/>

Figura 1: Clasificación general de usos BIM

(The Computer Integrated Construction Research Program an The Pennsylvania State University, 2010)

4.1.3. Roles BIM

Según BuildingSMART, 2023 define como rol al “conjunto de responsabilidades y funciones que una persona desempeña dentro de un proyecto u organización” por un periodo de tiempo determinado. Asimismo, en la guía de Roles en organizaciones y proyectos que utilizan BIM se explica de manera genérica los roles que pueden existir debido a que esto cambia según cada una de las empresas u organización que los pone en práctica. Tomando esto en cuenta, los roles se pueden definir en tres niveles generales.

- Roles a nivel estratégico se comprende como el responsable de la organización y el responsable BIM; comúnmente este rol se le puede definir como *BIM manager*. Dentro de las principales responsabilidades del responsable de la organización se encuentra: la definición de roles, definición de objetivos, diseñar e implementar un plan de comunicación, entre otros. Por otro lado, las responsabilidades del responsable BIM se encuentran: definir los objetivos BIM, implementación BIM, intercambio de conocimiento BIM, etc.

- Roles a nivel táctico hacen referencia a los roles de responsable de área y responsable BIM de área; gerente y coordinador BIM respectivamente. Aquí es donde se crean las acciones para cumplir con las metas y los objetivos definidos en el nivel estratégico.
- Roles a nivel operativo, es donde se realizan todas las acciones que se definieron en el nivel táctico, es por ello que todas las personas que formen parte de este nivel deben de realizar todas sus tareas y operaciones tomando en cuenta la calidad de su resultado. Es importante tomar en cuenta que en este nivel se encuentran miembros tanto internos como externos.

Nivel		Roles que incorporan BIM	Roles especializados en BIM	Roles que incorporan o especializados en BIM
Estratégico (ámbito organización)		Responsable de la organización	Responsable BIM de la organización	
Táctico (ámbito organización)		Responsable de área	Responsable BIM de área	
Operativo (ámbito proyecto)	Adjudicatario	Responsable del activo	Responsable BIM del activo	Técnicos
	Adjudicatario Principal	Responsable del encargo	Responsable BIM del encargo	
	Adjudicatario	Responsable del equipo	Responsable BIM del equipo	

Figura 2: Resumen de roles en un proyecto

(BuildingSMART, 2023)

4.1.4. CAD vs. BIM

Se comprende como *Computer-Aided Design* (CAD) al uso de simple de líneas para la creación de conceptos en dos dimensiones, las cuales se clasifican en distintas capas, tipos de líneas y grosores. Por otro lado, el BIM se basa en modelos tridimensionales; estos modelos además de tener un volumen, también cuentan con una base de datos con el objetivo de ser utilizada a lo largo del proyecto. Estos componentes conceden la oportunidad de ser actualizados en cualquier momento ya sea con nuevas dimensiones, materiales, estilos, información del distribuidor, instalación, entre otros.

Según el Manual BIM: Una guía para el modelado de información de construcción define cuatro casos para los cuales no se considera el uso de BIM. Debido a que para la metodología se utilice de manera correcta es imprescindible el uso de atributos, especificaciones e información dentro de los modelos. A continuación, casos los cuales no se considera el uso de la metodología BIM.

- El uso de modelos tridimensionales que no cuentan con ningún tipo de atributo o información son considerados solamente modelos para visualización; estos modelos al no considerarse BIM no pueden proveer ningún tipo de análisis tanto de diseño como de integración.

- Modelos que no sean paramétricos, estos modelos se consideran sin tecnología BIM debido a la falta de flexibilidad ante cambios como posición, proporciones, entre otros.
- Modelos que se componen de varios archivos CAD para la definición de un proyecto, ya que no se puede asegurar que el modelo 3D sea consistente.
- Modelos que permitan cambios en alguna dimensión, pero que no cambie de manera automática las demás vistas del proyecto. Este tipo de falta de la metodología BIM permite a la generación de errores por falta de actualización en las vistas y la dificultad de ir modificando los datos de manera manual.

(Eastman et al., 2008)

El uso de la metodología BIM permite tener una mejora dentro de las empresas y los proyectos en comparación con la metodología tradicional, CAD. Los beneficios de BIM se presentan desde la etapa de pre construcción hasta post construcción. En la etapa de pre construcción se beneficia el anteproyecto y la toma de decisiones por medio de la calidad y los análisis y simulaciones. Para la etapa de diseño del proyecto mejorar por medio de los modelos paramétricos, la colaboración entre disciplinas, identificación de interferencias, tiempos, costos, entre otros aspectos. Por otro lado, para la etapa de ejecución y fabricación los beneficios se presentan en la sincronización y la resolución de problemas. Finalmente, la etapa de post construcción se ve beneficiada en la gestión de activos y la integración de sistemas operativos y mantenimiento.

4.1.5. LOD y LOI

Como se ha mencionado con anterioridad, la metodología BIM tiene como objetivo tener una base de datos para facilitar de esta manera el proyecto con información única. Para lograr esto es importante tomar en cuenta cuáles son los niveles de información que se pueden detallar; en BIM existen los Niveles de Desarrollo o según sus siglas en inglés *Level of Development* (LOD) y los niveles de información o *Level of Information* (LOI). Estos niveles de información deben de ser utilizados para cada una de las disciplinas que están involucradas en el proyecto.

Por un lado, los indicadores LOD son niveles de información de manera geométrica y que tanto nivel de detalle presenta el modelado de los elementos. Estos niveles presentan la información de manera progresiva en cinco niveles diferentes, los cuales van desde LOD 100 hasta LOD 500. Por lo tanto, un elemento que ha sido modelado con un LOD 300 cumple con los requisitos de LOD 100 y 200.

- LOD 100 o geometría conceptual es aquella que da una visión general del elemento. Este nivel de detalle es utilizado para reservar la ocupación del elemento en el espacio para tomar en cuenta su volumen y área. Es una representación tridimensional.
- LOD 200 es una representación aproximada del elemento o proyecto. El modelado del elemento debe ser capaz de identificar los componentes y las dimensiones del elemento.

- LOD 300 es la precisión del objeto. En este nivel de detalle especifica los elementos secundarios que acompañan y forman parte del sistema principal. Es aquí donde ya se deben de tener las medidas reales del objeto al igual que su material.
- LOD 400 es el nivel de detalle que se utiliza para el montaje y la fabricación de las piezas. Asimismo, con este nivel detallé se realiza la detección de errores y de interferencia entre las piezas.
- LOD 500 es el nivel de verificación, esto se debe que es nivel que tiene más detalle. A este nivel también se le conoce como modelo *AsBuilt*; el cual representa la forma real del objeto.

(Sisternes García, 2023)

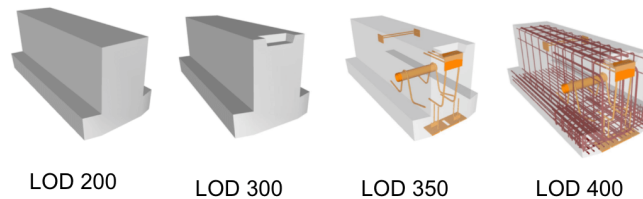


Figura 3: Ejemplo comparativo entre LOD Y LOI.

A diferencia de los LOD el LOI es información no geométrica, la cual no tiene una escala desarrollo. Los LOI proporcionan datos como las propiedades de los materiales, costos, información de mantenimiento, entre otros. Estos buscan garantizar la correcta ejecución, trazabilidad y optimización. El nivel de información necesariamente dependerá factores como el tipo de entrega, los agentes, los elementos, entre otros. Los LOI deben de aplicarse a la aplicación geométrica, alfanumérica y documentación. A pesar de que estos niveles de detalle son diferentes, están relacionados, es decir, mayor sea el LOD mayor LOI debe contener.

4.1.6. Niveles de madurez BIM

Se comprende como niveles de madurez al grado que la metodología BIM tiene para llegar a un trabajo colaborativo del 100%. Existen 4 distintos tipos de niveles los cuales indican la capacidad de que operar y el intercambio de información.

- Nivel 0 o baja colaboración hace referencia a una nula colaboración en el cual el intercambio de datos o información es realizado por métodos no interoperables.
- Nivel 1 o de colaboración parcial, en este nivel se utiliza un entorno común de datos o según sus siglas en ingles CDE. Este nivel se basa en la colaboración de datos con modelos en 3D como diseño conceptual y modelos 2D como documentación. La colaboración solamente se da entre los miembros del equipo sin incluir a las distintas disciplinas.

- La norma EN ISO 19650-4 establece la manera que se presentara el intercambio de información para las etapas de desarrollo y de operación.
- La norma EN ISO 19650-5 define como debe ser asegurada la información.

4.2. Historia BIM

En los últimos años, la metodología BIM y la tecnología relevante al tema ha ido adquiriendo auge cada vez más, sin embargo, este proceso inicia alrededor de 1970. Según Seys, 2018 la historia de BIM inicia en 1975 con el primer trabajo de Charles Eastman. Eastman fue quien planteo las bases sobre *Building Description System* la cual es una base de datos que dio paso a lo que hoy conocemos como BIM. Luego nos vamos 10 años más adelante, donde otra noticia hace sonar a la metodología, ya que se creó Archicad en 1982. Programa donde los arquitectos podían plasmar sus diseños de manera digital. Luego de varios años más y de nuevos programas creados, se llega a 2002 donde se llevó a cabo el primer proyecto BIM. A partir de esto, varios países como Estados Unidos, Reino Unido, entre otros iniciaron a promover y a implementar la metodología. Fue hasta en 2012 donde se fundó BuildingSMART. Por último, hoy en día BIM es una de las metodologías utilizadas en la mayoría de país de primer mundo, sin embargo, en Latinoamérica aún existe un porcentaje de empresas que un no lo implementa.

4.2.1. BIM en Guatemala

Se comprende como Asociación Guatemalteca de Estándares BIM (AGEBIM) a la asociación que busca fomentar la metodología BIM dentro de la región guatemalteca. La finalidad de AGEBIM es ayudar al sector de la construcción y poder ayudar para realizar un cambio a la digitalización (GlobalBIM, 2023).

4.3. *Software* BIM

Se comprende como software al conjunto de componentes lógicos para realizar funciones específicas y los software BIM no están muy lejos de esto. Un programa BIM es aquel que emplea sus funciones con parámetros sin importar la disciplina la relación entre ellos y se pueda obtener diversa información tanto gráfica como alfanumérica. A continuación, se muestra la relación entre un programa BIM y sus posibles aplicaciones adicionales.

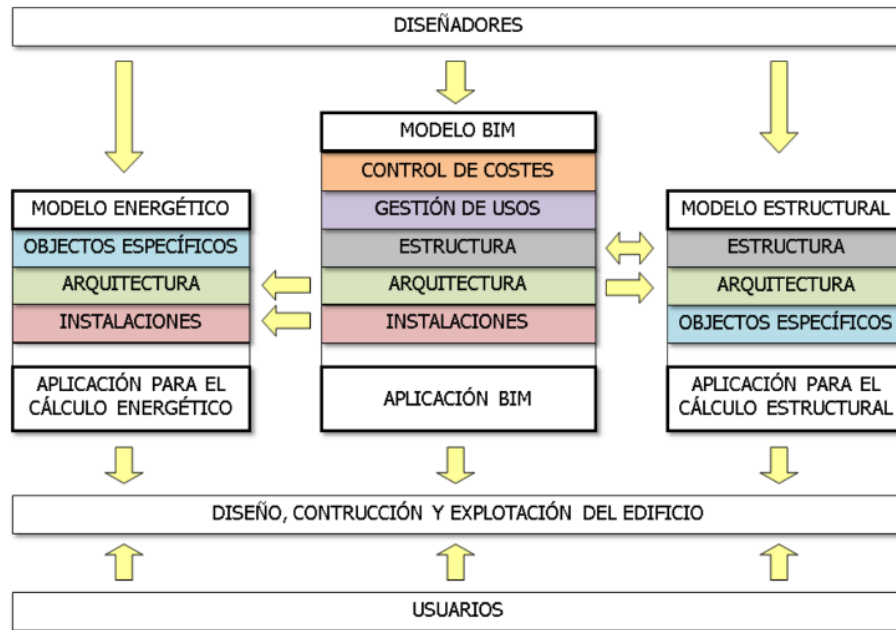


Figura 5: Relación entre software BIM.

(Picó, 2008)

Los software se clasifican entre aplicaciones nativas e implementadas. Las nativas son aquellas que son desarrolladas desde cero y cuentan con un mayor rendimiento, una mejor flexibilidad para el uso BIM y un cambio mayor a versiones anteriores; puesto que los modelos de gestionan en una manera más integral y se guardan en un solo archivo. Pero, las implementadas son las que fueron desarrolladas a partir de un programa CAD y por ende tienen un menor rendimiento; esto se debe que no son tan fluidas con el uso BIM como las nativas, porque siguen empleando capas para organizar el modelo lo que al mismo tiempo permite no tener un nivel tan desarrollado de BIM.

4.3.1. Tipo de *software* BIM

El uso de un software BIM dentro de la metodología es de suma importancia, ya que dependerá de estos mismos la capacidad de guardar información y de utilizarla a lo largo de proyecto. En la actualidad el mercado presenta una amplia gama de programas, los cuales ayudaran tanto a ingenieros como arquitectos según el uso y la necesidad del proyecto; por lo que a continuación se mostraran algunos de los programas utilizados.

Software de modelado

Dentro de los software más conocidos dentro de la metodología BIM son los son programas para el modelado en 3D y arquitectónico. El uso de este tipo de programas permite no solo generar modelos 3D sino que también evaluar la funcionalidad, el confort, normativas, entre otros aspectos.

- Autodesk Revit es uno de los programas más conocidos para el uso de la metodología BIM. Este es un programa de la casa Autodesk, lo que permite tener una buena compatibilidad entre los demás programas tanto de CAD como BIM.
- ArchiCAD es un programa más utilizado dentro del ámbito de arquitectura para el modelado de 3D.
- Allplan es un programa también de modelado, sin embargo es más utilizado en europa.

(Econova, 2021)

Software de análisis de costos

Como se ha mencionado, la metodología BIM utiliza base de datos y entre una las funciones que tienen estas bases es el análisis de costos y de activos que hay durante el ciclo de vida.

- Excel es uno de los programas que permite la realización de hojas de cálculo donde se pueden crear fórmulas especializadas según sean necesarias. Asimismo, los programas de modelado tiene una compatibilidad con Excel permitiendo exportar las bases de datos.
- Vico Office es un programa de gestión de costos, planificación de obra y presupuestos. Este es compatible con Revit, Tekla, ArchiCAD, entre otros.

(Econova, 2021)

Software de estructuras

Este tipo de programas permiten realizar la estructura y la infraestructura de los proyectos en donde se pueden evaluar criterios, como la resistencia, seguridad, sismos, entre otros. Asimismo, los programas estructurales se pueden dividir entre el tipo de material que se utilizan para la construcción del proyecto.

- Tekla es un programa de uso estructural el cual se puede utilizar para modelos y bases de datos como madera, acero u hormigón.
- CYPECAD es un programa de la casa de CYPE el cual se utiliza para la realización de “Cálculo, análisis y dimensionamiento de estructuras de hormigón armado y metálicas, sometidas a acciones horizontales y verticales. Para edificios y obra civil” (CYPE, s.f.)
- STAAD.Pro es “STAAD es una aplicación integral de diseño y análisis de elementos finitos estructurales que permite a los usuarios realizar análisis en cualquier estructura expuesta a cargas estáticas, dinámicas, eólicas, sísmicas, térmicas y móviles”(Bentley, s.f.).

Finalmente, existen otro tipo de programas y herramientas para el ciclo de vida de un proyecto. Todo esto dependerá de la función del proyecto, la etapa del proyecto, entre otros aspectos. Por ejemplo, se tiene programas para urbanismo, sistemas geográficos, renderización, visualización, etc.

4.4. Interoperabilidad

La interoperabilidad es una de las funciones más importantes de un programa, ya que esta es la capacidad que se tiene para el intercambio de datos, lo que significa el intercambio de información y conocimiento (European Commission, 2004). Dentro de los principales beneficios de la interoperabilidad es que todas las disciplinas consiguen integrarse a los modelos, permitiendo de esta manera tener un mejor seguimiento, eficiencia y control. Como producto de ello se optimiza el proceso de identificación de fallas, modelos actualizados por medio de una comunicación más efectiva, reducción de tiempos y costos.

4.4.1. Open BIM

Se comprende como *openBIM* al “Enfoque universal al diseño colaborativo, realización y operativa de los edificios basado en flujos de trabajo y estándares abiertos” (Eseverri, 2019). Asimismo, BuildingSMART menciona que el *openBIM* se define como la información de un proyecto que se puede trabajar de una manera fluida con cada uno de los participantes, facilitando de esta manera la interoperabilidad (Building Smart, s.f.). Dentro los principales beneficios del mismo se encuentran la mejora de comunicación, decisiones, entregables, optimización de procesos y accesibilidad a la información. Finalmente, *Open BIM* se basa en seis principios:

1. Interoperabilidad
2. Estándares abiertos y neutros
3. Intercambio de datos fiables y de calidad
4. Flujos de trabajos colaborativos
5. Flexibilidad
6. Sostenibilidad

(Oxlade, 2023)

4.4.2. Close BIM

Se comprende como *closeBIM* a la forma de trabajo en donde la colaboración de documentos está dado por formatos propietarios o archivos generados por un mismo programa. En otras palabras, la interoperabilidad es dada con los mismos programas, por lo que todas las especialidades deben de trabajar en un solo software. Esto genera que el flujo de trabajo sea centralizado y al mismo tiempo que sea incompatible para equipos o disciplinas que no se acoplen al software. Sin embargo, la calidad de información compartida es alta debido a que solo se utiliza los archivos nativos, por lo que no se pierde ningún tipo de información. Finalmente, se limita al equipo a las capacidades del mismo y del software con este flujo

de trabajo (Sisternes García, 2023). En la Figura 6 se muestra una comparativa entre *open BIM* y *close BIM* y como estas pueden ser en menor o mayor escala.

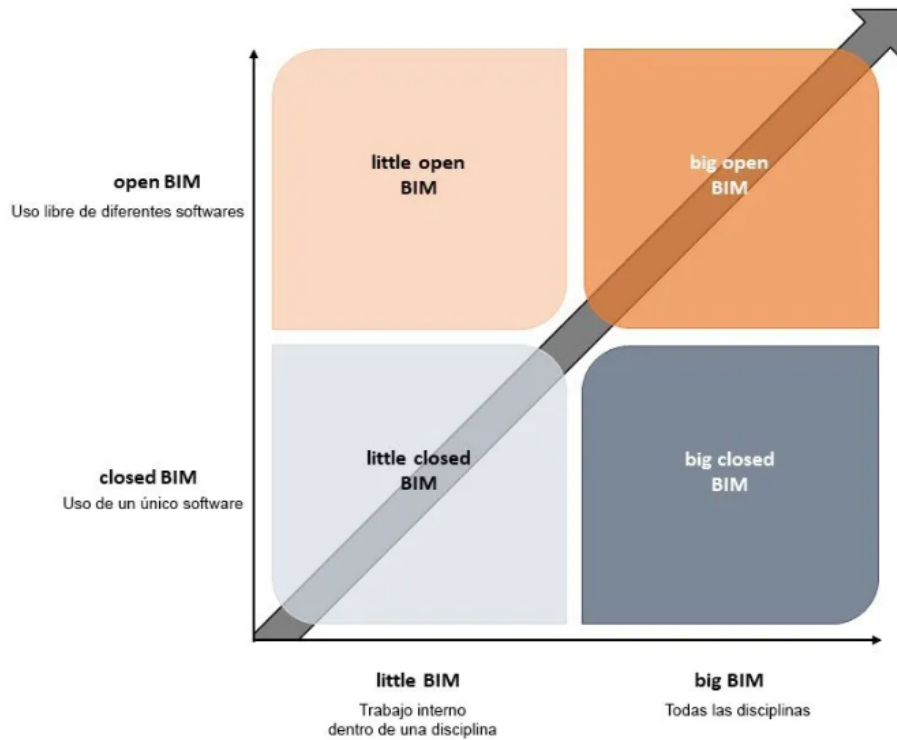


Figura 6: Open BIM vs Close BIM

(Sisternes García, 2023)

4.4.3. Estándares BIM

Se comprende por un estándar BIM a un conjunto de técnicas las cuales son utilizadas para mejorar el flujo de trabajo de un proyecto, al igual que el flujo de información de la misma. Este tipo de estándares mejoran la interoperabilidad, aseguran la calidad de información y aumentan la eficiencia del proceso.

IFC

Industry Foundation Classes (IFC) es un formato tanto abierto y cerrado desarrollado por BuildingSMART el cual es utilizado dentro del área de diseño, construcción, obras civiles y mantenimiento. Este es un estándar el cual está regido por la normativa ISO 16739. Asimismo, este modelo de datos codifica de una manera lógica; a continuación una tabla ejemplificando algunos de los parámetros lógicos. Este formato cuenta con la capacidad de interpolar más de 2,000 elementos los cuales se pueden clasificar por su IFCclasses, IFCTypes, IFCpsets.

Cuadro 1: Codificación de datos

Parámetro	Dato
Identidad	Nombre, identificador único, tipo de objeto, ...
Atributos	Material, color, propiedades, ...
Objeto	Tipo de elemento (losa, columna, ...)

(Fuente: Elaboración propia)

El IFC es un formato utilizado para el intercambio de información. Este es utilizado por las diversas disciplinas. Dentro de los principales usos del formato se encuentra la coordinación de disciplinas, simulaciones, detección de errores, entre otros. El empleo de este formato se debe a que facilita la interoperabilidad y se permite utilizar durante todo el ciclo de vida del proyecto. Existen diversos formatos que se consideran IFC y el uso de estos dependerá de la necesidad del proyecto o del archivo. Finalmente, el IFC varía según la versión del mismo, dentro las principales diferencia entre las actualizaciones es la mejora con la funcionalidad, compatibilidad con otros programas y la interoperabilidad entre estos.

Formato	Extensión	Tipo de Mimica	Texto	Indexado	Tamaño	Resumen
Oficial						
PASO Archivo físico (SPF)	.ifc	aplicación/paso x	Sí	No	100%	El formato físico STEP (SPF o IFC-SPF) es el formato más utilizado para IFC en la práctica, y es el más compacto de los formatos enumerados que se puede leer como texto. IFC-SPF se basa en el estándar ISO para la representación de texto claro de modelos de datos EXPRESS ISO 10303-21
Lenguaje de marcado extensible (XML)	.ifcXML	aplicación/xml	Sí	No	113%	El lenguaje de marcado extensible (XML) proporciona legibilidad mejorada y se beneficia de una amplia gama de herramientas de software. ifcXML se basa en el estándar ISO para la representación de datos STEP en formato XML ISO 10303-28
CREMALLERA	.ifcZIP	aplicación/zip	No	No	17%	Los datos IFC pueden incrustarse en un archivo ZIP. Los datos incrustados pueden codificarse como SPF o XML, donde el tamaño resultante suele ser comparable.

Figura 7: Formatos IFC

(BuildingSMART, s.f.-b)

BFC

BIM Collaboration Format (BFC) es un formato de archivos abiertos que tiene como objetivo mejorar la comunicación entre las incidencias o errores que se pueden encontrar dentro de un modelo BIM, esto se puede realizar por medio de los archivos previamente compartidos con IFC. El formato de BCF se puede utilizar por medio de intercambio de archivos como por una página de internet. Este tipo de formato debe utilizarse con una plataforma adicional llamada *BIMcollab*, el cual es una herramienta compatible con varios programas BIM. A diferencia del IFC el flujo de trabajo de este formato es más sencilla, ya que pueden ser archivos reutilizables, es decir, que se pueden modificar y enviar entre miembros. Este estándar es mayormente utilizado en las fases de diseño, planificación, ejecución y operaciones.

COBie

Construction Operations Building Information Exchange (COBie) es un formato abierto utilizado para las fases de operaciones y mantenimiento. Este formato se trata de una hoja de cálculo que tiene como finalidad beneficiar el manejo de los activos. Se comprende como activo al "elemento o entidad que tiene un potencial o un valor real para una organización. Se considera activo tanto el continente como el contenido, es decir, tanto el inmueble o infraestructura, como sus a equipos, espacios, etcétera" (S.Ortega, 2018). Esto permitirá generar un recopilado del ciclo de vida del proyecto, disminuyendo la búsqueda de información innecesaria.

ISM

Integrated Structural Model (ISM) es un formato que tiene como finalidad compartir información sobre el modelado estructural entre programas y coordinar dicha información. Este formato es creado por la compañía de Bentley.

4.4.4. Entorno común de datos

Un Entorno Común de Datos o según siglas en inglés *Common Data Environment* (CDE) es un área o plataforma de colaboración la cual es utilizada para el almacenamiento y el acceso de datos de un proyecto. El uso de estos espacios permite tener una mayor trazabilidad de la información almacena, al igual que la eliminación de datos duplicados, ya que incrementa la comunicación entre los miembros del equipo. Dentro alguno de los CDE más utilizados se encuentra Autodesk BIM 360, Aconex, Trimble Connect, Revizto, entre otros.

Para el uso de trabajo colaborativo es necesario CDE el debe ser acordado por los distintos especialistas de las disciplinas para la gestión de cada modelo. Dentro estos CDE la información se clasifica en trabajo en curso (WIP), compartido (S), publicado (P) y archivado (ARC) (Building Smart, 2021).



Figura 8: Estados del Entorno Común de Datos

(Calvo et al., 2021)

Para que el flujo de trabajo dentro del CDE no se vea afectada es importante crear un Plan de Ejecución BIM o según sus siglas en inglés *BIM Execution Plan* (BEP) en el cual se deben de establecer las nomenclaturas y los requisitos para el intercambio de información dentro del entorno común de datos. Esto se debe que la plataforma que se utilizara será la única fuente de información.

Cuadro 2: Campos propuestos para la nomenclatura

Campo	Definición	Requerida	Caracteres
Proyecto	Nombre del proyecto o expediente	Sí	2-6 Alfanuméricos
Creador	Organización o miembro del equipo creador del documento	Sí	3-6 Alfanuméricos
Volumen	Agrupaciones o zonas en el que se fragmenta el proyecto	Sí	2-3 Alfanuméricos
Nivel	Identifica donde en que nivel esta la información	Sí	3 Alfanuméricos
Tipo de documento	Identifica la tipología del documento esta puede ser plano, memoria, etc.	Sí	3 Alfanuméricos
Disciplina	Identifica la especialidad que esta creando el documento	Sí	2-3 Alfabéticos
Número	Numeración de partes	Sí	3 Numéricos
Descripción	Se describe el contenido del archivo	No	Sin limitación
Estado	Identifica el estado de la información (Figura 8)	No	2 Alfanuméricos
Revisión	Define la versión del documento	No	4 Numéricos

(Bolívar et al., 2021)



Figura 9: Ejemplo de la nomenclatura de proyecto

(Bolívar et al., 2021)

4.4.5. Seguridad de datos

Es importante tomar en cuenta que hay información sensible dentro de los proyectos; estas puede ser desde datos de infraestructuras, costos, propiedades de materiales, entre otras. Al momento que no se tiene un filtro de seguridad con los datos, se afecta la privacidad

de los miembros, se compromete la propiedad y se pueden causar daños económicos (Muñoz, 2021). Al momento que se tiene una información que se puede considerar como sensible se deberá seguir con una estrategia de seguridad. El plan de gestión debe seguir con la política de la empresa, el proceso de intercambio de información, el acceso restringido y plan ante divulgaciones.

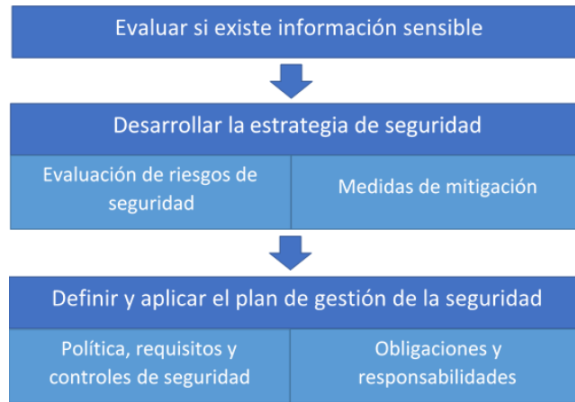


Figura 10: Proceso para la gestión de la seguridad de datos

(Muñoz, 2021)

4.5. Información

4.5.1. Contenedores de información

Según la BuildingSMART en el 2021 “Un contenedor de información es un conjunto de información persistente y recuperable desde un archivo o sistema de almacenamiento” (Building Smart, 2021). Dicha información se clasifica en estructurada y no estructurada. Por una parte, la información estructurada es aquella que contiene una estructura para automatizar las búsquedas los cuales permiten ajustar a tablas, por ejemplo, propiedades, programaciones, atributos, entre otros. Por la otra parte, la información no estructurada es la que no cuenta con una estructura interna, por ejemplo, imágenes, videos o documentos.

4.5.2. Parámetros

Dentro del ámbito de BIM se comprende como parámetros a la serie de pares que contienen valores. Estos parámetros son utilizados para el almacenamiento de información para luego ser previamente utilizada. Los parámetros dependerán de cada software que se esté utilizando y su capacidad. Entre los parámetros más utilizados se encuentra: largo, área, ángulos, textos, parámetros booleanos, numéricos, enlaces y números enteros.

4.5.3. Formatos de parámetros y estandarización

Como se mencionó anteriormente los parámetros son los atributos que contienen la información para clasificar y ordenar en distintos estándares para crear un lenguaje universal dentro del modelo.

MasterFormat

MasterFormat es un sistema para la clasificación tomando en cuenta la actividad y especificaciones técnicas. Esta se encuentra definida por grupos y divisiones.

Uniformat

Uniformat es una clasificación que organiza la información solamente por su función y solo es utilizado para objetos físicos; cuenta con seis categorías principales y tres o cuatro niveles adicionales.

Omniclass

Omniclass es un sistema de clasificación organizado por medio de tablas tomando en cuenta la función, forma, actividad, material, propiedades y entre otros aspectos del elemento.

(Weygant, 2011)

4.5.4. Requisitos de información

Según la ISO19650-1, 2018 define los requisitos de información como “especificaciones que establece la información que hay que producir, cuándo se produce, su método de producción y su destinatario.” Los requisitos se dividen en seis tipos:

- Requisitos de Información de la Organización u OIR este requisito hace referencia a los objetivos establecidos en un comienzo del proyecto.
- Los Requisitos de Información del Activo o AIR son los encargados de detallar la información para los OIR. Asimismo, estos requisitos deben de aportar a la toma de decisiones y gestión de activos.
- Requisitos de Información del Proyecto o PIR son utilizados para dar a conocer los objetivos definidos en los OIR y como estos se desarrollan.
- Requisitos de Intercambio de Información o EIR son los que define los aspectos de la producción de datos.
- El Modelado de Información del Activo o AIM es el encargado de la gestión de activos.
- Modelo de Información del Proyecto o PIM es el que está relacionado con la fase de ejecución y el que contiene información relevante de los activos.

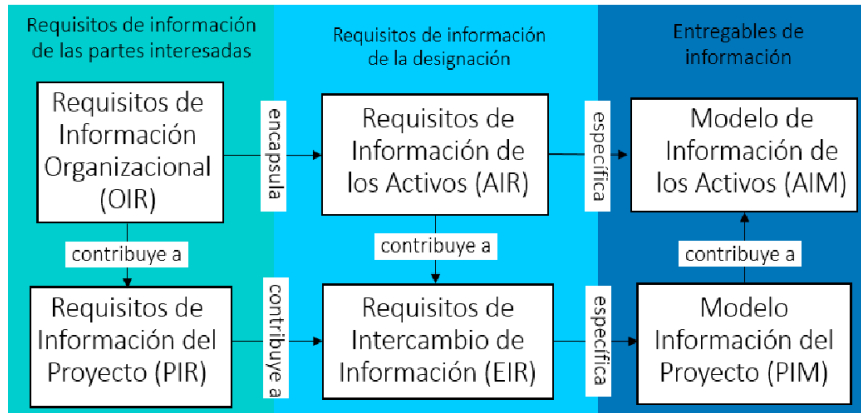


Figura 11: Jerarquía de los requisitos de información

(ISO19650-1, 2018)

4.6. Concreto

Según McCormac y Brown, 2018 “El concreto es una mezcla de arena, grava, roca triturada u otros agregados unidos en una masa rocosa por medio de una pasta de cemento y agua’. La dureza del este dependerá del tipo de cemento que se utiliza, la relación entre agua y materiales. El uso de este material se remonta en 1824 cuando el inglés Joseph Aspdin creó y patentó el primer cemento Portland, sin embargo el uso de este era principalmente para estuco; el estuco es un revestimiento para el acabado final para paredes y techos. A lo largo de la historia el uso de concreto fue adquiriendo mayor auge hasta llegar a la actualidad. Hoy en día el uso de concreto se puede evidenciar en proyectos como viviendas, edificios, puentes, represas, entre otros.

4.6.1. Concreto reforzado

El concreto reforzado utiliza como base la misma mezcla del concreto, pero adicionalmente cuenta con una combinación de acero, aumentando de esta manera su resistencia a la tensión (McCormac & Brown, 2018). El uso de acero dentro del concreto se hace por medio de varillas, ya sean corrugadas o lisas. El uso de varillas lisas son para la realización de estribos, elemento que rodea el refuerzo vertical. Por otro lado, las varillas corrugadas son aquellas las cuales presentan protuberancias en toda su longitud para aumentar su adherencia con el concreto, estas varillas son utilizadas para el refuerzo vertical en las columnas y horizontal en las vigas. Finalmente, la cantidad de varilla dependerá de factores como el elemento que se estará trabajando, el área necesaria de acero según cálculos, el grado del acero, entre otros.

4.6.2. Ventajas y desventajas de concreto reforzado

Dentro de las principales ventajas del uso del concreto reforzado se encuentra:

- Alta resistencia a la compresión, fuego y agua lo que permite una mayor durabilidad a la exposición de estos.
- Bajo costos en el área de mantenimiento, fabricación y proceso constructivo a comparación de otros materiales.
- Durabilidad y esta puede utilizarse de manera indefinida, ya que aumenta su capacidad de carga debido a solidificación del concreto.

Dentro de las principales desventajas del uso del concreto reforzado se encuentra:

- Para lograr una alta resistencia a la tensión es necesario el refuerzo adicional.
- Las propiedades del concreto pueden variar, no son homogéneas, esta cambiarán según las proporciones de los agregados y el procedimiento del curado.
- El mismo peso del material puede comprometer la estructura o los elementos a fuerzas de flexión.

4.7. Sistema constructivo

Se comprende por sistema constructivo a la serie de elementos ordenados entre sí que tienen como finalidad de trabajar como un elemento mismo. Los sistemas constructivos son formados por medio de losas, vigas, columnas, entre otros:

- Las losas son el elemento utilizado para la separación entrepisos o niveles de un edificio. Estas mismas se pueden clasificar entre una dirección y dos direcciones. La dirección de la losa dependerá de la proporción del tamaño de esta. Asimismo, este elemento es el que recibe las cargas tanto vivas como muertas de manera directa.
- Las vigas son elementos generalmente horizontales que formando parte de un marco como un elemento principal o secundario. Estos elementos son habitualmente sometidos a fuerzas de flexión y cortante sin importar si cuenta con carga sobre de ella. Estos elementos son las que reciben las cargas de las losas y las transfieren a las columnas.
- Las columnas son elementos verticales los cuales están diseñados para soportar una carga sobre ellas, a esta carga se le denomina carga axial; una carga axial en este caso se le interpreta como una fuerza de compresión. Estos miembros forman parte de los marcos.
- Los muros son elementos verticales que se dividen en muros de carga y cerramientos. Como su nombre lo indica los muros de carga son componentes de un sistema constructivo los cuales están diseñados para soportar tanto cargas verticales como laterales. Por otro lado, los muros de cerramiento son utilizados con la finalidad de delimitar espacios, áreas o parte de la envolvente de una edificación.
- El sistema de marcos es la combinación entre vigas y columnas las cuales trabajan en conjunto permitiendo aumentar la rigidez. Los marcos soportan cargas horizontales

como verticales por ende aumentando su resistencia. Estos elementos se encuentran unidas por articulaciones o nodos los cuales son los que transfieren las cargas entre elementos.

(American Concrete Institute, 2018)

4.8. Normativas de estructuras de concreto

4.8.1. Normativas guatemaltecas

Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES) fue fundada en 1996 la cual es una entidad no lucrativa con la finalidad de promover la investigación sobre los campos estructurales y sísmicas. Las normativas van desde el área geotécnica hasta la evaluación y rehabilitación de obras.

4.8.2. Normativas internacionales

Dentro de las normativas a nivel mundial se encuentran los estándares europeos, los cuales van desde el eurocódigo 1 al 10 los cuales son realizados por la Comisión Europea y El Comité Europeo de Normalización. Estos códigos de diseño dependerán del material que se desee utilizar y la especialidad de cada uno. Por otro lado, se encuentra *American Concrete Institute* (ACI) fundado en 1904 en Estados Unidos (American Concrete Institute, s.f.). Es una normativa para el concreto reforzado con la más reciente ACI318-19.

4.9. Sismología

Los terremotos, fenómenos geológicos, son vibraciones generadas por las placas tectónicas como consecuencia de la liberación de energía de las mismas (Tarbuck & Lutgens, 2005). Dicha disipación de energía crea ondas las cuales pueden ser de tipo internas o superficiales; la propagación de las ondas dependerá del tipo de suelo y de la distancia, por consecuencia afectan a las edificaciones. Las ondas internas se dividen en ondas P y S; en general este tipo de ondas son de mayor velocidad e irán aumentando su amplitud en cuanto mayor sea la profundidad. Por otro lado, las ondas superficiales son aquellas que son de menor velocidad que las ondas S y su amplitud disminuirá según la profundidad; de este tipo de onda se divide en Rayleigh y Love (Instituto Geográfico Nacional, s.f.). Todo este tipo de estudios se puede resumir que es la sismología, encargada de estudiar los terremotos y la propagación de las ondas.

4.10. Sismo resistencia

Se comprende como edificación sismo resistente a la cual poseen la capacidad estructural de resistir las cargas permanentes, temporales y sísmicas (Gobierno de Argentina, 2022). Para lograr que una edificación cumpla con lo descrito con anterioridad es importante la realización de los análisis estructurales. Los análisis estructurales se dividen en estáticos y dinámicos.

- El análisis estático es el resultado de los esfuerzos permanentes y temporales dentro de una estructura. Dentro de las principales características se encuentran que es tipo de análisis son para fuerzas constantes, no toma en cuenta fuerzas de sismos o viento, entre otros.
- El análisis dinámico es el resultado correspondiente a las cargas temporales que se puede presentar en una construcción; entre este tipo de cargas se presentan terremotos, vientos, cargas móviles, entre otros. Para este tipo de análisis se utilizan los estudios espectrales, tiempo-historia y finitos.

(Cype, 2023)

5.1. Descripción de *software* a utilizar

5.1.1. Autodesk Revit

Revit es un *software* BIM utilizado principalmente por arquitectos, ingenieros civiles u otros profesionales de la construcción. El cual tiene la capacidad de crear modelos tridimensionales detallados tanto para el área de arquitectura como estructuras donde se incluyen elementos como vigas, columnas, losas, muros, entre otros. Sin embargo, este programa tiene como enfoque principal agilizar la gestión de proyectos, documentación de planos, etc. A pesar de esto es uno de los programas más conocidos y utilizados dentro del ámbito de la construcción.

Capacidades

- Realización de modelos paramétricos
- Creación de vistas y plantas
- Interoperabilidad entre programas
- Modelado de refuerzo y documentación

Limitaciones

- Programa rígido para el modelado de estructuras complejas
- Falta de capacidad para cálculos estructurales

Análisis sísmico y diseño de concreto reforzado

A pesar de que el programa cuente con conceptos básicos como asignación de cargas o modelos analíticos el programa no tiene la capacidad de diseños sísmicos o de optimización de refuerzo en los elementos estructurales.

5.1.2. STAAD.Pro

STAAD.Pro es un programa especializado en análisis y diseño de elementos finitos lo que permite analizar varios tipos de estructuras. Dentro de las estructuras que se pueden evaluar se encuentran como edificios, puentes, entre otros. Las estructuras pueden ser expuestas a diferentes cargas desde sísmicas, eólicas, térmicas, entre otros.

Capacidades

- Utilización de normativas estadounidenses, europeas, indias o japonesas.
- Creación de cargas según usuario
- Variedad de opción de materiales y propiedades.
- Complemento de armaduras o estructuras básicas las cuales se pueden utilizar para iniciar el modelado fácilmente

Limitaciones

- Interfaz poco intuitiva
- Modelado por medio de nodos
- Modelado por medio de coordenadas en eje X,Y y Z.

Análisis sísmico y diseño de concreto reforzado

El programa tiene la capacidad para el diseño de concreto reforzado, lo que permite crear análisis sísmicos dentro del mismo programa y evaluar aspectos como derivas, cortante basal, fuerzas, entre otros. Asimismo, el programa tiene la capacidad de evaluar los elementos estructurales y optimizar su rendimiento y refuerzo de acero.

5.1.3. CYPECAD

CYPECAD es un programa utilizado para el análisis y diseño estructural. Las cuales pueden ser sometidas para fuerzas horizontales o verticales.

Capacidades

- Variedad de normativas para diseño estructural

- Variedad de normativas sísmicas incluyendo normativa guatemalteca
- Variedad de materiales para elementos estructurales
- Se puede utilizar planos de referencia para el modelado
- Interfaz intuitiva

Limitaciones

- No se pueden copiar los elementos entre plantas
- No se pueden tener varias vistas abiertas

Análisis sísmico y diseño de concreto reforzado

El programa de CYPECAD es un programa bastante completo, ya que este permite generar diversos análisis de manera sencilla sin necesidad de realizar varias ejecuciones o corridas del modelo. Cabe recalcar que el programa cuenta con el uso de la normativa NSE 3 la cual permite evaluar los modelos con mejor precisión para el caso del país.

5.2. Criterios para selección del edificio

Para la realización de esta investigación se necesitó de un edificio con características específicas permitiendo la evaluación del modelado y análisis sísmico en diversos programas. El edificio debía cumplir con los siguientes criterios.

- Estar ubicado dentro del departamento de Guatemala
- Tener un sistema estructural de marcos
- Ser construido en concreto reforzado
- Contar con un mínimo de siete niveles

5.3. Criterios de interoperabilidad

La interoperabilidad entre programas es de gran ayuda al momento de modelar es por ello que en esta investigación se utilizó el siguiente flujo de trabajo. Se inició con el modelado en cada uno de los programas para evaluar el proceso y la curva de aprendizaje de los mismos. Luego de esto se empezó con el proceso de interoperabilidad en cuatro casos.

- Caso “a” interoperabilidad de Revit a CYPECAD
- Caso “b” interoperabilidad de CYPECAD a Revit

- Caso “c” interoperabilidad de Revit a STAAD.Pro
- Caso “d” interoperabilidad de STAAD.Pro a Revit

Para la evaluación de cada uno de los casos es importante tener en cuenta los criterios que se evaluarán, lo cual se realizó por medio de indicadores clave de desempeño o KPI; en el Cuadro 3 se muestran los criterios que se utilizó para evaluar los modelos.

Cuadro 3: KPIs de interoperabilidad

KPI	Descripción	Unidad de medida	Método de cálculo
Tiempo total invertido	Tiempo empleado desde el inicio hasta la finalización de la transferencia de datos	Minutos	Utilización de cronómetro
Transferencia de vigas	Verificar que las vigas se hayan transferido al modelo	Sí/No	Manual
Transferencia de columnas	Verificar que las columnas se hayan transferido al modelo	Sí/No	Manual
Transferencia de losas	Verificar que las losas se hayan transferido al modelo	Sí/No	Manual
Transferencia de muros	Verificar que las muros se hayan transferido al modelo	Sí/No	Manual
Precisión de geometría	Diferencia en las dimensiones generales, en elementos transferidos y forma del modelo	Sí/No	Comparación directa entre modelos
Precisión de ubicación de elementos	Verificar si los elementos se transfirieron en su lugar correspondiente	Sí/No	Comparación directa entre modelos
Transferencia de materiales	Evaluar si los materiales se transfirieron de manera adecuada al igual que sus propiedades	Sí/No	Comparación de la biblioteca de materiales
Método de transferencia	Método que se utilizó para la transferencia de datos	IFC/Plugin	Observación directa
Número de interacciones con el modelo	Cantidad de veces que se debió interactuar con el modelo para realizar una transferencia de datos o definición de parámetros	Cantidad	Conteo manual
Transferencia de armado estructural	Verificación de transferencia de armado estructural	Sí/No	Comparación de modelos

(Fuente: Elaboración propia).

5.4. Datos generales del edificio

Para iniciar con el modelado y comparación de resultados es fundamental conocer los datos del edificio a utilizar, como el uso de las plantas y las características constructivas de las mismas.

Ubicación

- País: Guatemala
- Departamento: Guatemala
- Municipio: Guatemala
- Dirección: Ciudad de Guatemala, zona 04

Dimensiones

- Altura total: 23.20 metros
- Altura del nivel 01: 4.00 metros
- Altura típica de niveles: 3.20 metros
- Área típica de planta: 237.38 metros cuadrados

Uso y cargas a utilizar

El edificio seleccionado para el propósito de este proyecto se encuentra ubicado en la zona 04 de la ciudad de Guatemala por lo que se tomó como supuesto que se tenía un uso de oficinas en cada una de las plantas. Asimismo, se tomó en cuenta para el análisis sísmico el peso de la tabiquería de interior; debido al uso de oficinas personalizadas del edificio.

Teniendo en consideración lo anterior se investigaron las posibles cargas según la normativa NSE 2.1. Por consecuencia se utilizaron los valores de Carga Muerta (CM) y Carga Viva (CV) que se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4: Sobrecargas de uso

Tipo de sobrecarga	Valor (kg/m ²)
CM: Tabiquería	75
CV: Pasillos	300
CV: Área de cafetería	500

(Fuente: Elaboración propia).

Material del edificio

- Concreto: El concreto que se utilizó para el modelado tiene una resistencia de 250 kg/m² y con una densidad de 2402.6 kg/m³.
- Acero: Se utilizó un refuerzo de varillas corrugadas de grado 60 con un límite de fluencia mínima de 60,000 psi.

Tipo de estructura

El tipo de estructura que tenga un edificio es importante, ya que de esto depende los valores de modificación que se deben de tomar en cuenta en el sismo. Para las estructuras de concreto reforzado la NSE 3 define seis posibles combinaciones que pueden existir. Para el caso de estudio de este trabajo se definió que el edificio cuenta un tipo de estructura combinada (E3). Según la NSE 3 este tipo de estructura “es un sistema sostenido por una combinación de muros estructurales y marcos (formados con columnas y vigas), todos interconectados con losas actuando como diafragmas“ (AGIES, 2020b). Asimismo, se esta suponiendo que la estructura cuenta con marcos y muros con ductilidad alta (DA). A continuación, en la Figura 12 se muestran los valores existentes para los factores R, Cd y ΩR donde se utilizó 6, 2.5 y 5 respectivamente.

SISTEMA ESTRUCTURAL Sección 1.6 [a]	Norma	R	Ω _R	C _d	Limite de altura en metros				notas
					SL - sin limite	NP - no permitido	Nivel de protección		
					B	C	D	E	
E3 SISTEMA GENERAL	1.6.4								
Marcos y muros estructurales									
De concreto reforzado DA	NSE 7.1	6	2.5	5	SL	SL	SL	SL	[b]
De concreto reforzado DL	NSE 7.9	4	2.5	3	[d]	[d]	[d]	[d]	[c]
De concreto reforzado DB	N/A			3	NP	NP	NP	NP	--
De mampostería reforzada DA	NSE 7.4	4	3	3.5	[f]	[f]	[f]	[f]	[e]
Paneles de concreto prefabricado	NSE 7.3	4	3	3.5	[j]	[j]	[j]	[j]	[j]

Figura 12: Factores según tipo de estructura

(AGIES, 2020b)

5.5. Aspectos sísmicos del edificio

Guatemala es un país altamente sísmico por lo que es importante que las edificaciones sean analizadas con dichos parámetros. Para la obtención de los valores necesarios para los análisis del estudio se utilizó la NSE 2 descrita con anterioridad.

Dentro de los principales valores a definir para un análisis son los valores de índice de sismicidad y nivel de protección sísmica. El índice de sismicidad se puede obtener en el anexo A de la NSE 2 estos valores dependerán de la ubicación del proyecto tanto el departamento como el municipio, en la Figura 13 se muestran los valores utilizados para el proyecto.

Municipio	Departamento	I_0	TL	Suelo Tipo D	S1r
Guatemala	Guatemala	4.1	3.26	1.43	0.88

Figura 13: Valores de amenaza sísmica

(AGIES, 2020a)

Por otro lado, Nivel de Protección Sísmica (NPS) es un valor que depende del índice de sismicidad y la clase de obra. Para encontrar el índice de sismicidad se puede utilizar el anexo A de la NSE 2 o se puede utilizar el mapa de zonificación sísmica del país; este se puede encontrar tanto en la normativa mencionada con anterioridad o en la página de la AGIES, Figura 15. Finalmente, se determinó que la clase de obra del edificio utilizado es de carácter ordinario dando como resultado un NPS “D”, como se observa en la Figura 14.

Índice de Sismicidad ^[b]	Clase de obra ^[a]			
	Esencial	Importante	Ordinaria	Utilitaria
$I_0 = 4$	E	D	D	C
$I_0 = 3$	D	C	C	B
$I_0 = 2$	C	B	B	A
Probabilidad de exceder el sismo de diseño ^[c]	5% en 50 años ^[d]	5% en 50 años ^[d]	10% en 50 años	Sismo mínimo ^[e]

Figura 14: Nivel de protección sísmica y probabilidad del sismo de diseño

(AGIES, 2020a)

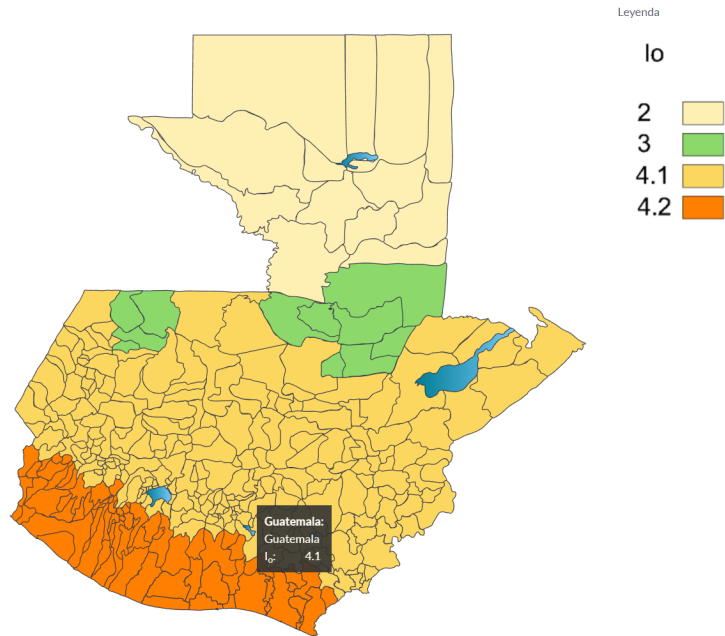


Figura 15: Mapa de zonificación sísmica de Guatemala

(AGIES, 2020a)

Otro valor que es necesario para la obtención del análisis sísmico es el Factor de determinación de los niveles de diseño (K_d) el cual dependerá del NPS encontrado previamente. Para este caso el factor que se utilizó es de 0.66 según se puede observar en la Figura 16.

Nivel de sismo	Factor K_d
Sismo ordinario — 10% probabilidad de ser excedido en 50 años	0.66
Sismo severo — 5% probabilidad de ser excedido en 50 años	0.80
Sismo extremo — 2% probabilidad de ser excedido en 50 años	1.00
Sismo mínimo — condición de excepción	0.55

Figura 16: Factores K_d según el nivel de sismo

(AGIES, 2020a)

Las normativas estructurales son un conjunto de normas que tiene como finalidad mejorar la seguridad y proteger la integridad dentro de las edificaciones. Asimismo, de prolongar la vida útil y la estabilidad de las infraestructuras. Las normativas dependerán del material con el que se está construyendo y el lugar donde se colocara el proyecto, ya que de este último se tomarán los aspectos sísmicos para diseñar. A continuación, se realizará la evaluación de tres normativas diversas.

6.1. Normas de seguridad estructural para Guatemala

Las Normas de Seguridad Estructural (NSE) son un conjunto de normativas guatemaltecas que tiene como finalidad garantizar que las construcciones sean seguras, resistentes y capaces de soportar condiciones sísmicas. Esta normativa es desarrollada por la AGIES, Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. Cabe mencionar que a lo largo del trabajo se utilizó para aspectos sísmicos la normativa NSE edición 2018.

La normativa se divide por medio de tomos los cuales abarcan variedad de temas desde generalidades hasta el uso específico de materiales de construcción. Dentro de los tomos relacionados con el tema de investigación se encuentran los siguientes.

- NSE 2 - Demandas estructurales y condiciones de sitio, esta normativa habla sobre diversos tipos de cargas y sus respectivas conminaciones; clasificaciones de sitio; aspectos sísmicos, entre otros.
- NSE 3 - Diseño estructural de edificaciones, este tomo habla sobre las bases del diseño estructural; análisis sísmico tanto carga estática equivalente como modal espectral; y derivas.

- NSE 7.1 - Diseño de edificaciones de concreto reforzado, esta normativa es basada con la normativa ACI 318-14. El NSE habla sobre las combinaciones de carga que se deben de tomar y las modificaciones sobre el ACI que se deben tomar en cuenta.

6.2. Normas del Instituto Americano del Concreto - ACI

Dentro de las normativas internacionales se encuentra las Normas del Instituto Americano del Concreto o más conocida como ACI. Esta normativa es de suma importancia no solo para las instituciones de construcción estadounidense sino que también para otros países, ya que esta tiene validez a nivel internacional. Un claro ejemplo de ello es la normativa guatemalteca NSE en específico la NSE 7, dado que la normativa hace referencia en la mayoría de los aspectos al ACI.

La normativa ACI abarca temas más estructurales tales como los elementos constructivos, conexiones entre elementos, comportamiento de los elementos tanto del concreto como del refuerzo en sismos, durabilidad, entre otros. Sin embargo, si se desea implementar aspectos sísmicos dentro de los proyectos de ser necesario se debe de consultar otras fuentes para la obtención de valores. Para este caso se utiliza los estándares de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles o *American Society of Civil Engineers* (ASCE).

6.3. Eurocódigos estructurales

Dentro de la normativa Europea se encuentra el Eurocódigo 8 el referente al diseño de estructuras sismorresistentes; este mismo está formado por seis subdivisiones.

- Eurocódigo 8: Diseño de estructuras sismorresistentes – Parte 1: Normas generales, acciones sísmicas y normas para la edificación
- Eurocódigo 8: Diseño de estructuras resistentes a terremotos – Parte 2: Puentes
- Eurocódigo 8: Diseño de estructuras resistentes a terremotos – Parte 3: Evaluación y rehabilitación de edificios
- Eurocódigo 8: Diseño de estructuras resistentes a terremotos – Parte 4: Silos, tanques y tuberías
- Eurocódigo 8: Diseño de estructuras resistentes a terremotos – Parte 5: Cimentaciones, estructuras de contención y aspectos geotécnicos
- Eurocódigo 8: Diseño de estructuras sismorresistentes – Parte 6: Torres, mástiles y chimeneas

Para el caso del Eurocódigo además de contar con código para el diseño geotécnico, el Eurocódigo 7, dentro del Eurocódigo 8 cuenta con una sección del capítulo 3 donde se hablan sobre los tipos de suelos, dan una explicación sobre sus características y sus parámetros.

Dentro de la normativa se pueden identificar siete tipos de suelos los cuales van desde roca hasta depósitos de suelos licuados. Asimismo, para el caso de estructuras de concreto se debe de utilizar el Eurocódigo 2 - Proyecto de estructuras de hormigón.

6.4. Comparación de normativas

Cuadro 5: Resumen comparativo de normas

Característica	Normativa guatemalteca	Normativa estadounidense	Normativa europea
Cargas de diseño	Combinación de cargas con <i>Allowable Stress Design</i> (ASD) o Método de refuerzos permisibles	Combinación de cargas con ASD	Combinación de cargas con ASD
Análisis estructural	Se permite de análisis lineales y no lineales	Se permite de análisis lineales y no lineales	Se permite de análisis lineales y no lineales
Consideraciones geotécnicas	Uso de la NSE 2	Es necesario el uso otras normativas	Uso del Eurocódigo 7
Materiales	Descripción general	Descripción detallada	Descripción detallada
Deformaciones	Las deformaciones no son tan detalladas	Las deformaciones no son tan detalladas	Las deformaciones más tan detalladas

(Fuente: Elaboración propia).

7.1. Cálculo de espectro sísmico

A continuación, se detalla el procedimiento empleado para calcular el espectro sísmico de acuerdo con la ubicación específica del edificio y los parámetros sísmicos establecidos en el capítulo anterior. Los valores sísmicos considerados se resumen en la Figura 17. Dado que los ajustes por intensidad sísmica son iguales a 1 según la NSE 2 - 2018, los valores de S_{cs} y S_{1s} son idénticos a S_{cr} y S_{1r} , respectivamente.

Datos del sitio	
Categoría de obra	Ordinaria ▼
Departamento	Guatemala ▼
Municipio	Guatemala ▼
Io	4,1
Clase de Sitio	Suelo Tipo D ▼
Nivel de protección (NPS)	D
S_{cr}	1,43
S_{1r}	0,88
TL	3,26
Nivel de sismo	Ordinario ▼
Kd	0,66

Figura 17: Resumen de valores sísmicos

(Fuente: Elaboración propia).

El cálculo del periodo T_s el cual separa los periodos cortos de los largos se obtuvo un valor de 0.615 segundos por medio de la ecuación 1. Por otro lado, para el cálculo del periodo

que define el inicio de la meseta o T_0 se obtuvo un valor de 0.123 segundos según la ecuación 2.

$$T_s = \frac{S1s}{S_{cs}} \quad (1)$$

$$T_0 = 0.2 \cdot T_s \quad (2)$$

Utilizando las ecuaciones 3 y 4, se determino que S_{cd} es 0.944 y $S1d$ es 0.581.

$$S_{cd} = K_d \cdot S_{cs} \quad (3)$$

$$S1d = K_d \cdot S1s \quad (4)$$

Para la realización del espectro sísmico se generó un espectro genérico como lo indica la normativa NSE 2. Para ellos se realizó una hoja de cálculo en Excel el cual se programó para encontrar los valores $S_a(T)$ correspondientes a su periodo, para ello se utilizaron las ecuaciones descritas a continuación. Finalmente, se obtuvo el espectro de la Figura 18.

$$S_a(T) = S_{cs} \left(0.4 + 0.6 \cdot \frac{T}{T_0} \right) \quad \text{si } T < T_0 \quad (5)$$

$$S_a(T) = S_{cd} \quad \text{si } T_0 \leq T \leq T_s \quad (6)$$

$$S_a(T) = \frac{S1d}{T} \leq S_{cd} \quad \text{si } T_s \leq T \leq TL \quad (7)$$

$$S_a(T) = \frac{S1d}{T^2} \cdot TL \quad \text{si } T \geq TL \quad (8)$$

Espectro sísmico - Guatemala, Guatemala

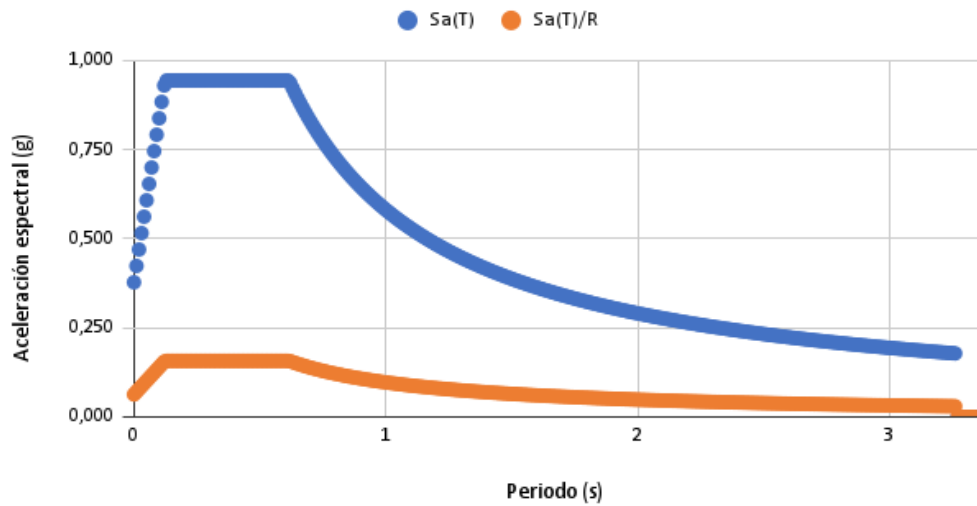


Figura 18: Espectro sísmico de diseño

(Fuente: Elaboración propia).

7.2. Cálculo de cortante basal teórico

Para la elaboración del cortante basal teórico se utilizó la normativa NSE 3 el capítulo 2 referente a carga sísmica estática equivalente. Para ello se utilizó una hoja de cálculo de Excel donde se inició calculado el peso sísmico (W_s) del edificio el cual incluye el peso propio, cargas muertas y cargas vivas. En el Cuadro 6 se observa un resumen de pesos sísmicos encontrados para cada una de las plantas del edificio.

Cuadro 6: Resumen de pesos sísmicos teóricos por nivel

Peso sísmico por nivel	
Nivel	Peso sísmico (ton)
1	342.77
2	315.58
3	301.00
4	301.00
5	293.39
6	290.22
7	186.84
Total	2030.79

(Fuente: Elaboración propia).

Para seleccionar solamente un valor de $Sa(T)$ de los que se encuentran en el espectro sísmico se empleó un período fundamental de vibración empírico según la ecuación 9 donde los valores Kt y x son 0.049 y 0.75 respectivamente, según el tipo de estructura. Para luego encontrar un nuevo valor $Sa(Ta)$ de 0.944 utilizando las ecuaciones 5 a la 8 reemplazando el valor T por Ta .

$$Ta = Kt \cdot (hn)^x \quad (9)$$

Luego de obtener el valor $Sa(Ta)$ se encontró el coeficiente sísmico (Cs) utilizando la ecuación 10. Asimismo, se aplicó el factor R correspondiente al caso y βd que hace referencia al tipo de amortiguamiento que cuenta el edificio; debido a que no se cuenta con tipo de amortiguamiento adicional el valor es 1.

$$Cs = \frac{Sa(Ta)}{R \cdot \beta d} \quad (10)$$

Por último, se calculó el valor del cortante basal utilizando la ecuación 11. En el Cuadro 7 se muestra un resumen de los valores obtenidos para el cortante basal teórico.

$$Vb = Cs \cdot Ws \quad (11)$$

Cuadro 7: Resumen de valores para cortante basal estático teórico

Cortante basal (Vb)		
Coefficiente sísmico	0.157	
Peso sísmico	2030.80	ton
Vb	319.44	ton

(Fuente: Elaboración propia).

8.1. Proceso de modelado

Para el modelado del edificio se utilizaron los programas de Revit, STAAD.Pro y CYPECAD. En dichos programas se modeló el edificio de manera completa tomando en consideración aspectos como materiales, tipología y características sísmicas. Debido a la complejidad del proceso se realizó un manual, el cual se puede encontrar en el capítulo de apéndice.

8.2. Proceso de interoperabilidad

La evaluación de la interoperabilidad se realizó por medio de archivos IFC y ISM, los cuales se crearon ante sus respectivos programas para luego ser importados en su programa correspondiente. A continuación, se definen los procedimientos realizados para cada uno de los casos evaluados.

8.2.1. Revit a CYPECAD

Para iniciar con la interoperabilidad entre Revit y CYPECAD se comenzó creando el archivo IFC en Revit. Para la creación de dicho archivo se inició desplegando el menú de la pestaña Archivo y por consiguiente el apartado de Exportar, como se muestra en la Figura 19.

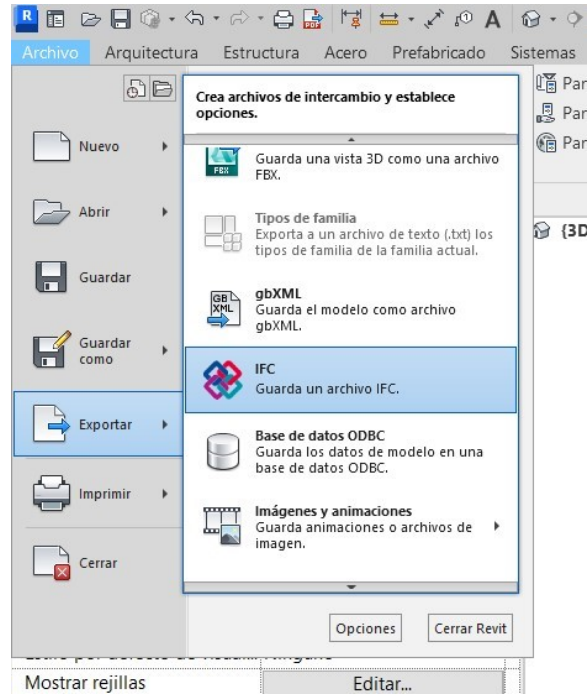


Figura 19: Exportación de modelo desde Revit

(Fuente: Elaboración propia).

Al dar clic en IFC se indicó la versión con la que se desea trabajar por lo que se utilizó la IFC 2X3. Al seleccionar dicha opción se podrán modificar algunos aspectos de los parámetros de la exportación. Se debe de tomar en cuenta que al seleccionar una versión predeterminada existirán muchos de los parámetros bloqueados. Si se desea también se puede iniciar una versión vacía y esta puede ser personalizada.

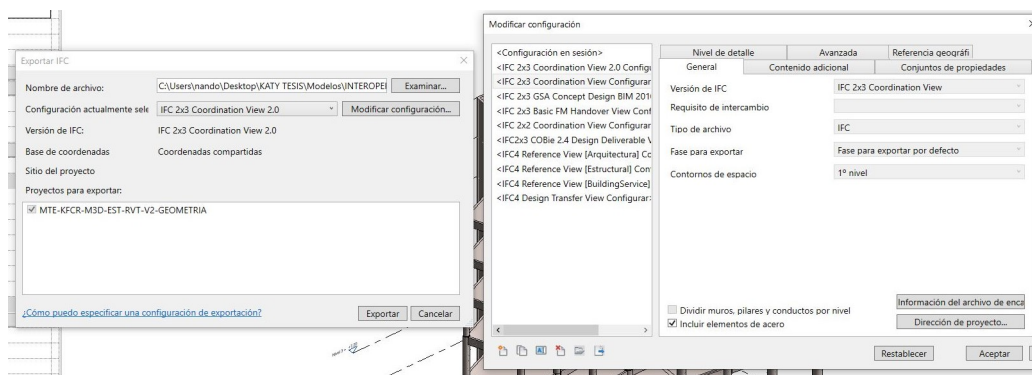


Figura 20: Verificación de parámetros del IFC a generar

(Fuente: Elaboración propia).

Después de tener creado el archivo en formato IFC se creó un nuevo documento en el programa de CYPECAD, esto se realizó de la misma manera que se describe en el apén-

dice “Modelado CYPECAD”; sin embargo, en lugar de crear el archivo como obra vacía se seleccionó la opción de “Introducción automática IFC”.

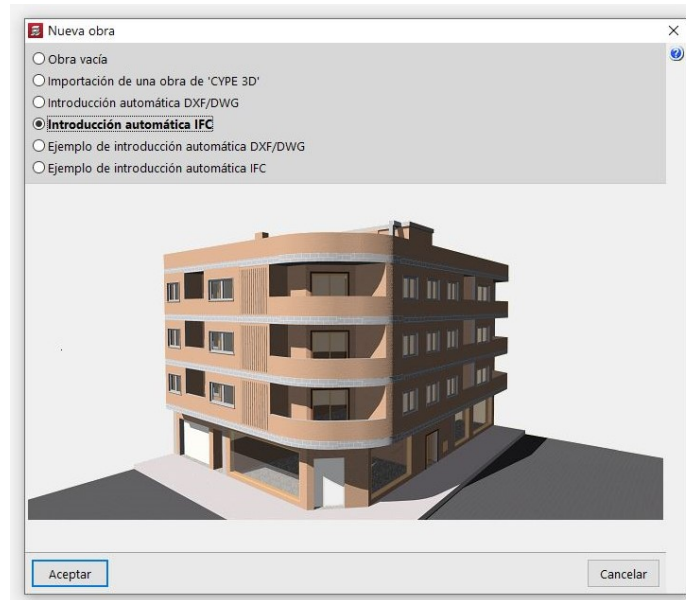


Figura 21: Importación de IFC en CYPECAD

(Fuente: Elaboración propia).

Posteriormente, de importar el archivo IFC se abrió una pestaña nueva la cual indica los parámetros que se importaran. Los parámetros varían desde la geometría, materiales y cargas. Cabe señalar que en esta parte varias de las opciones son modificables.

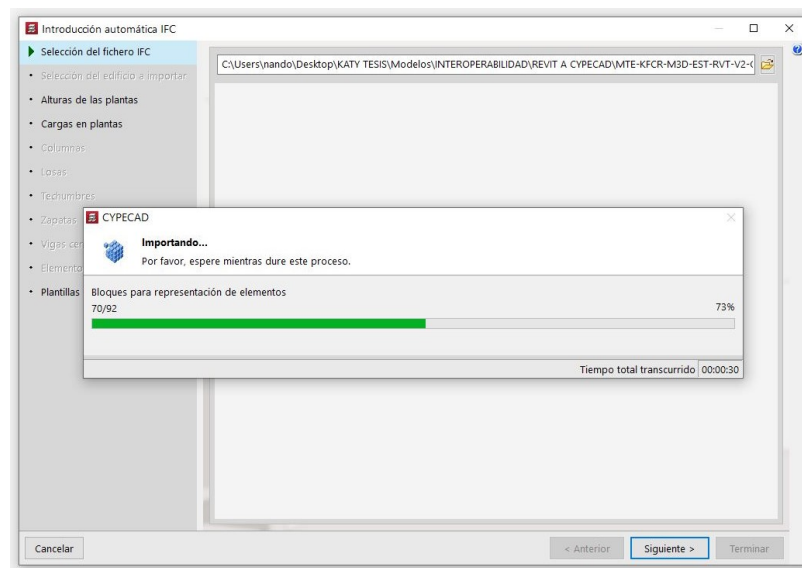


Figura 22: Procesos de selección de archivo IFC

(Fuente: Elaboración propia).

Dentro de las primeras opciones que se verificaron fueron los valores de las alturas. Aquí la altura se colocan de losa a losa para que el programa lo asimile de manera adecuada. Asimismo, si los valores son erróneos, se pueden modificar de manera manual más adelante.

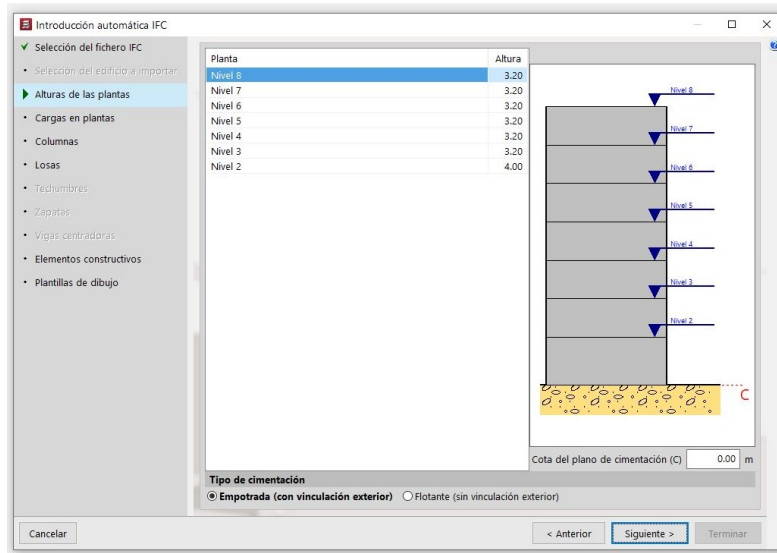


Figura 23: Verificación de valores de alturas

(Fuente: Elaboración propia).

Después, de colocar las alturas el programa solicita los valores para las cargas muertas y vivas sobrepuestas. Estas solamente se colocaron en las losas del nivel 02 al nivel 07, debido a que son las únicas que cuentan con algún tipo de peso adicional.

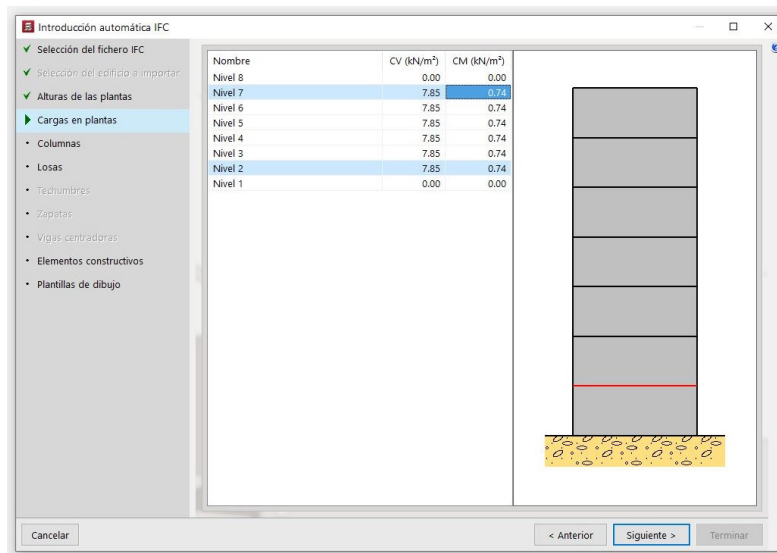


Figura 24: Verificación de valores de cargas

(Fuente: Elaboración propia).

Al terminar, valores generales del edificio se continuó verificando las opciones que da sobre los elementos estructurales. Para el caso de las columnas en la Figura 25 se verificó la geometría y el material que se tomaba desde el IFC. Luego de esto se comprobó las asignaciones de las vigas como se muestra en la Figura 26 donde se seleccionó una viga peraltada; aquí se indicó los valores del ancho y peralte del elemento.

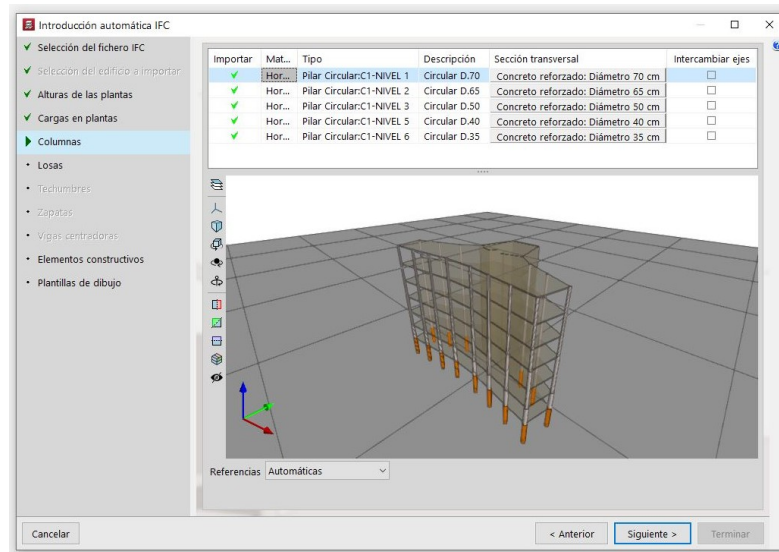


Figura 25: Verificación de valores de columnas

(Fuente: Elaboración propia).

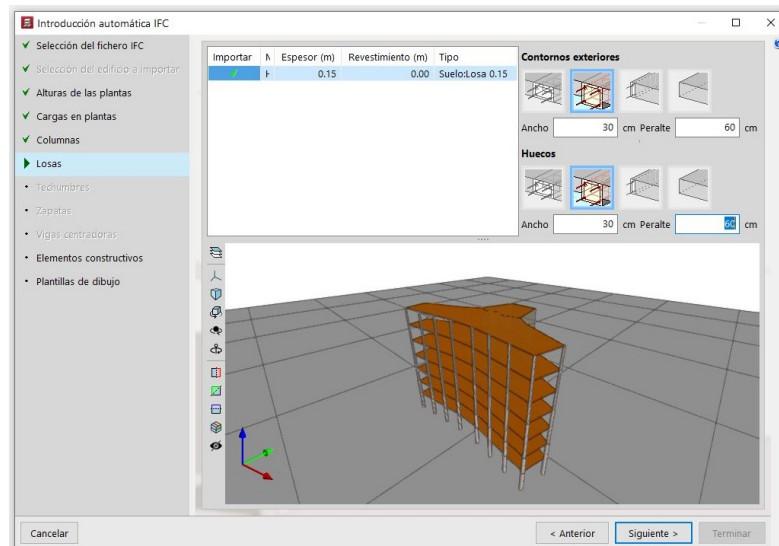


Figura 26: Verificación de valores de losas y vigas

(Fuente: Elaboración propia).

Finalmente, se verificó el valor de los muros y las plantillas de dibujo. El uso de las plantillas se deben de seleccionar los elementos que se desean visualizar en el tramado del plano que se genera automáticamente. Al finalizar el proceso de importación se abrirá una pestaña de “Datos generales” como lo muestra la Figura 75 la cual se encuentra en el apéndice “Modelado CYPECAD”. Esto permitirá que se pueda proseguir con el proceso normal del modelado dentro del programa.

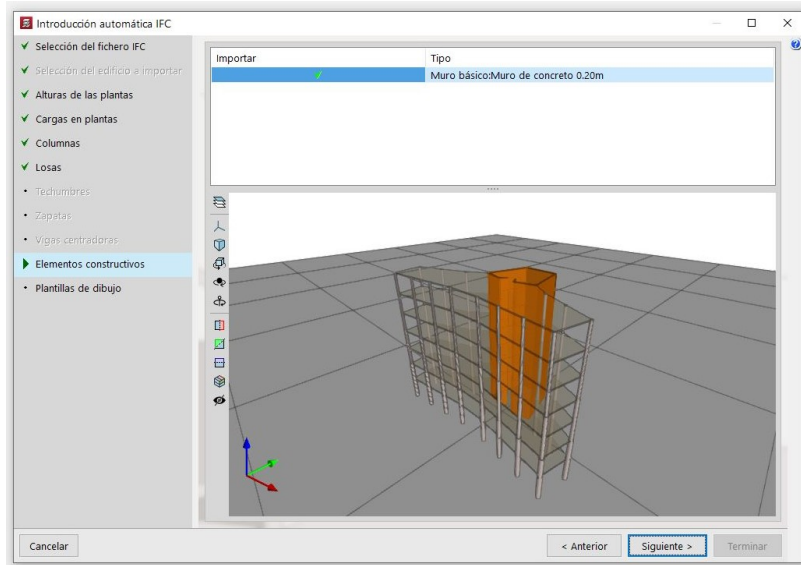


Figura 27: Verificación de valores de muros

(Fuente: Elaboración propia).

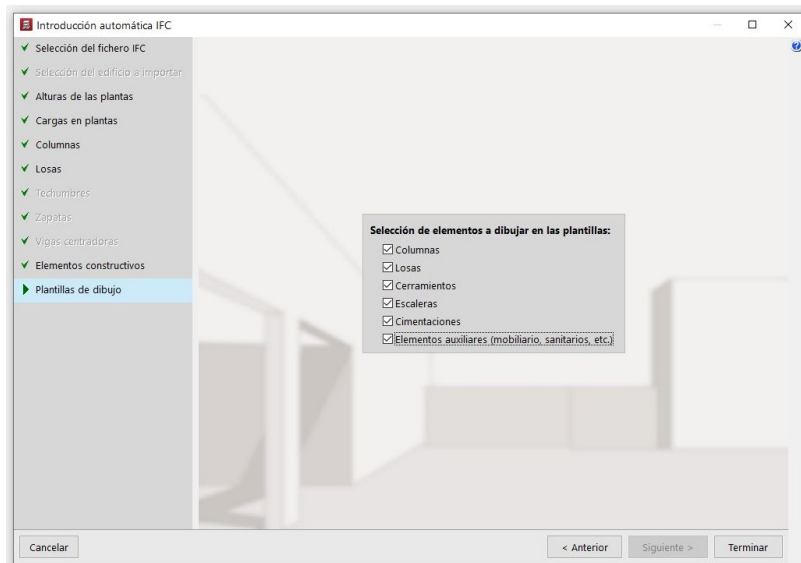


Figura 28: Verificación de valores de plantilla

(Fuente: Elaboración propia).

8.2.2. CYPECAD a Revit

La compatibilidad entre CYPECAD y Revit se inició con la exportación desde CYPECAD con un archivo IFC. Para esta parte se muestran varias opciones donde se seleccionara la más favorable para el estudio o proyecto; se utilizó IFC 2X3 para Revit.

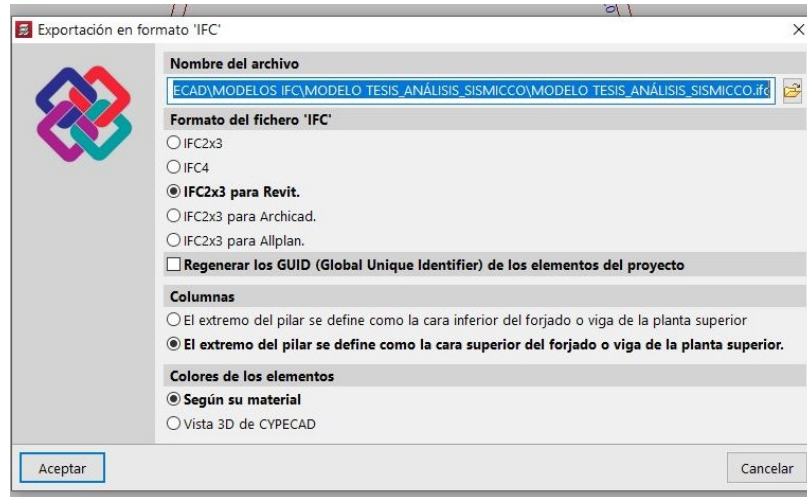


Figura 29: Exportación de IFC desde CYPECAD

(Fuente: Elaboración propia).

Posteriormente, se creó un archivo nuevo en Revit donde se vinculó el IFC. Para ello se debe de dirigirse en la pestaña de Insertar y luego en vincular IFC donde se seleccionó el archivo deseado como se muestra en la Figura 30.

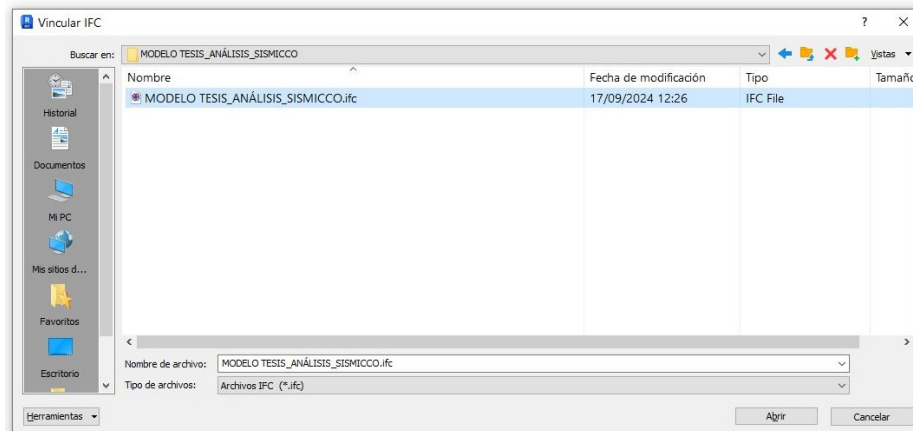


Figura 30: Importación de IFC desde Revit

(Fuente: Elaboración propia).

8.2.3. Revit a STAAD.Pro

Para iniciar el proceso de interoperabilidad entre Revit y STAAD.Pro fue necesario repetir el procedimiento para la creación de IFC desde Revit; tomar como referencia la Figura 19 y la Figura 20. Posteriormente, se utilizó el programa “*iTwin Analytical Synchronize*” donde se importó el IFC y se creó un ISM. Para importar el IFC se selecciono la opción de “*File*” y posteriormente “*importar IFC*”, seguidamente el programa consultará en donde se desea guardar el archivo que se estará creando.

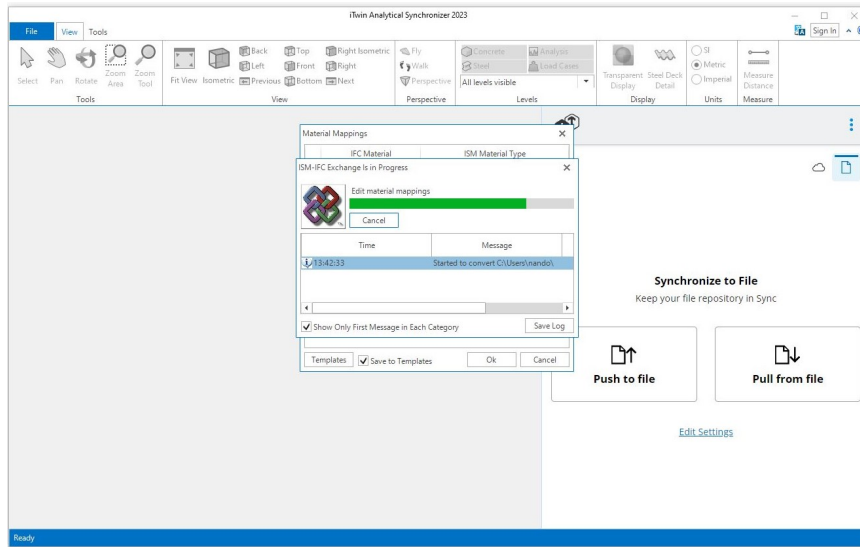


Figura 31: Importación de IFC en programa iTwin

(Fuente: Elaboración propia).

Al crear el archivo y guardarlo de manera automática se creara un archivo ISM en el modelo Revit donde se mostrara la geometría general del modelo como se muestra en la Figura 32. Este modelo debe ser actualizado desde Revit con la utilización del *plugin* de Bentley. Al abrir el *plugin* se desplegará una nueva pestaña que permitirá seleccionar el documento que se desea sincronizar y la opción de “*Push to file*”.

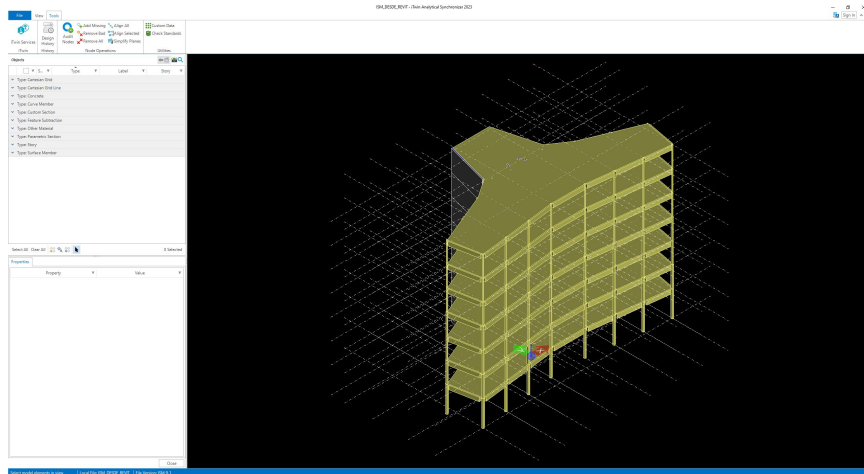


Figura 32: Creación de archivo ISM

(Fuente: Elaboración propia).

Por consiguiente, se abrirá una nueva ventana la cual se utilizó para definir los parámetros de cada uno de los elementos. Se debe de configurar los valores de los materiales, tipo de elemento y dimensiones. Para alguno de ellos se debió de crear un nuevo material para que cada aspecto tenga una marca verde. En el caso del material se seleccionó el material que se creó en el proceso de modelado el cual se encuentra en apéndice “Modelado en Revit”, Figura 67.

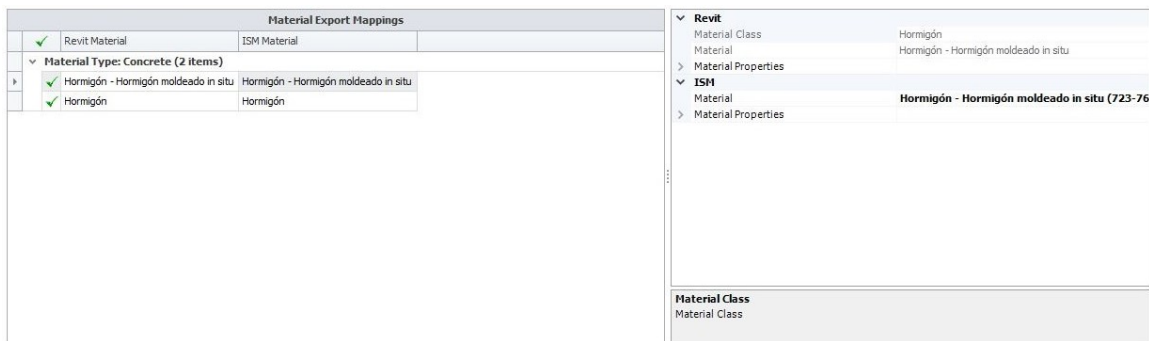


Figura 33: Asignación de parámetros de materiales para sincronización de ISM

(Fuente: Elaboración propia).

Para el caso de las columnas y vigas se creó el elemento y colocó las opciones necesarias. Para las columnas se creó en “Shape Kind” un círculo sólido y para las vigas un rectángulo sólido. Por consiguiente, se definieron las dimensiones de cada elemento.

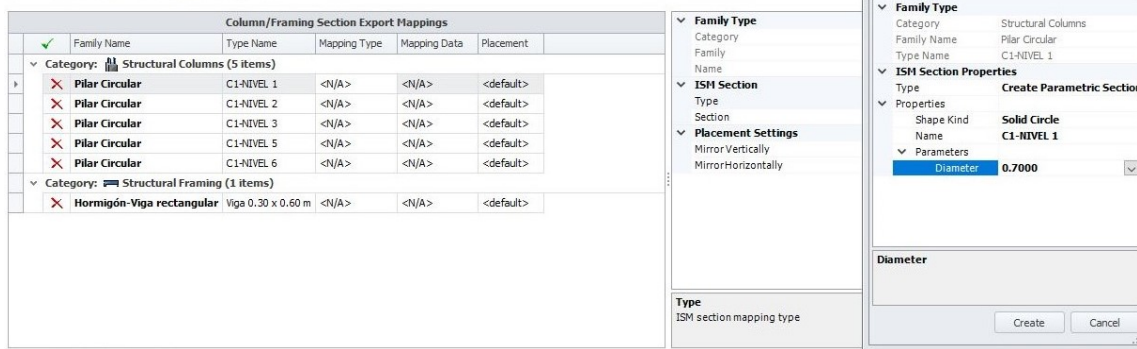


Figura 34: Asignación de parámetros de columnas y vigas para sincronización de ISM

(Fuente: Elaboración propia).

En el caso de las losas se seleccionó el material como se hizo previamente y el espesor tanto de los muros como de losas.

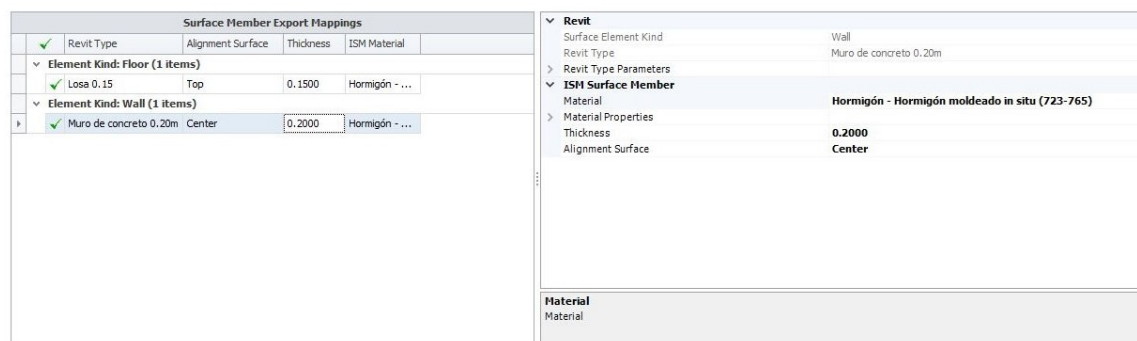


Figura 35: Asignación de parámetros de losas para sincronización de ISM

(Fuente: Elaboración propia).

Al finalizar dicho proceso automáticamente se abrió una pestaña del programa “*iTwin Analytical Synchronize*” donde se utilizó la opción de “*Select All*” y “*Update*”.

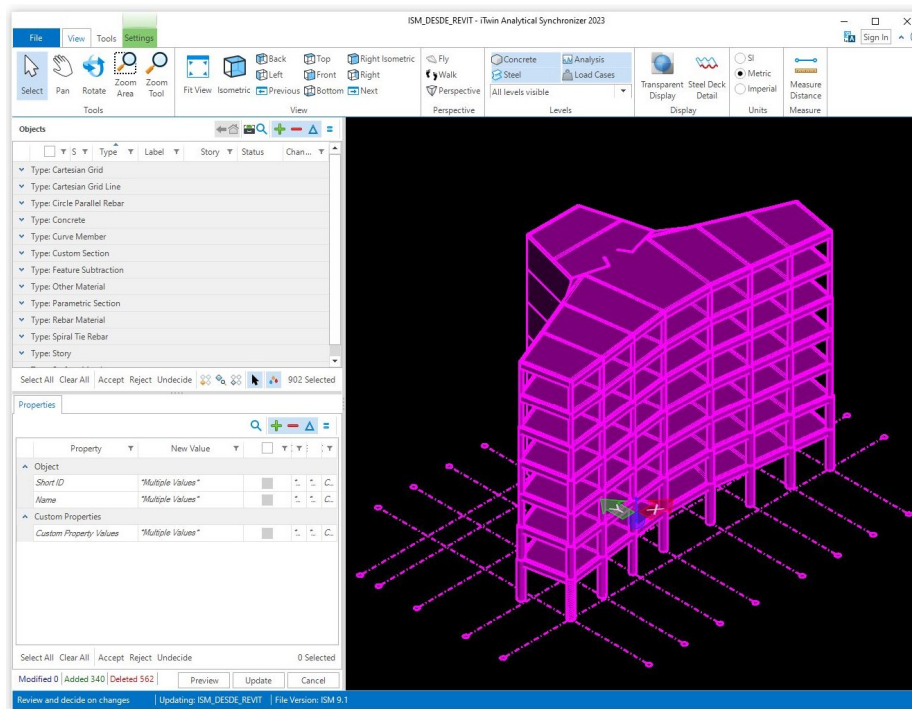


Figura 36: Selección de elementos para actualización ISM

(Fuente: Elaboración propia).

Al terminar el proceso de creación y sincronización del archivo ISM se podrá proseguir con la importación en el programa STAAD.Pro; para la realización de esto es necesario tener un archivo nuevo. Al tener ya este paso realizado se cargó el ISM desde la opción “*New from Repository*” encontrada en la pestaña “*File*” en la parte superior de la pantalla. Al seleccionar esta opción se desplegará una nueva ventana donde se colocó el archivo creado y se corrió el programa.

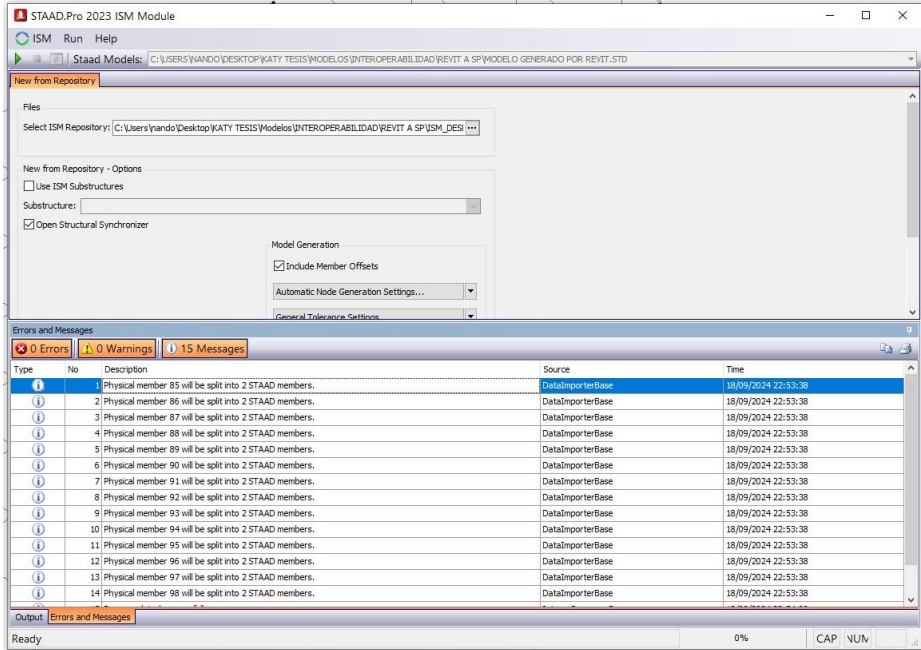


Figura 37: Importación de ISM en STAAD.Pro

(Fuente: Elaboración propia).

Una vez iniciado el programa se deberá esperar un poco a que se abra el programa de “*iTwin Analytical Synchronize*”. Al abrir se cargó el archivo con las opciones de “*Select All*” y “*Update*”.

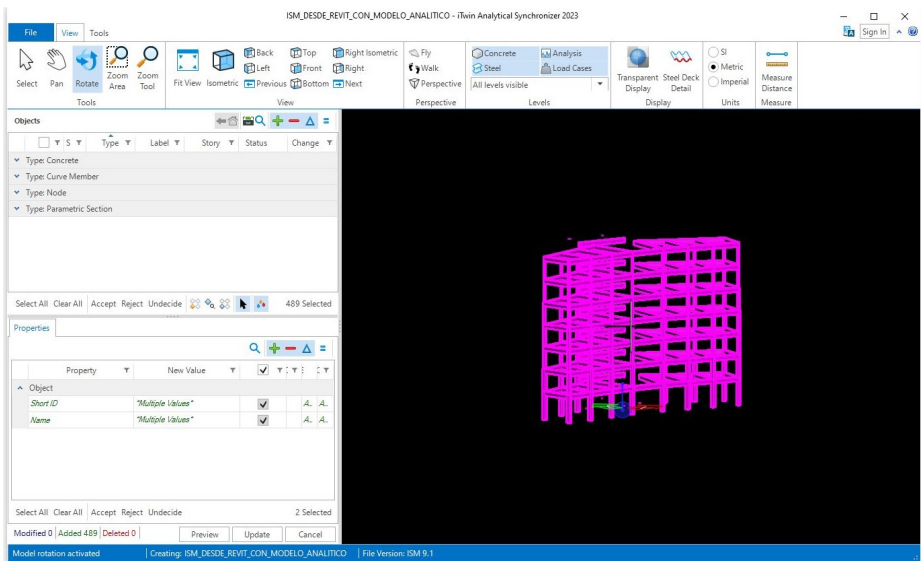


Figura 38: Carga de geometría para STAAD.Pro

(Fuente: Elaboración propia).

8.2.4. STAAD.Pro a Revit

Para iniciar con el proceso de compatibilidad desde STAAD.Pro y como objetivo Revit se comenzó de la siguiente manera. Se creó el archivo ISM con la opción de “*Create Repository*” la cual se encuentra dentro de la pestaña “*File*”.

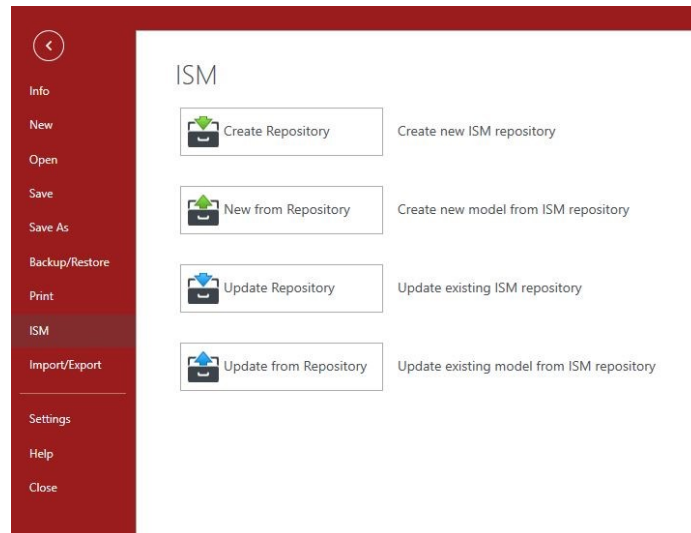


Figura 39: Creación de archivo ISM

(Fuente: Elaboración propia).

Por consiguiente se abrió una nueva ventana la cual permite seleccionar el lugar para guardar el archivo y correr el programa para iniciar con la creación del ISM. Para correr el programa se debe de presionar la flecha verde ubicada en la parte superior izquierda.

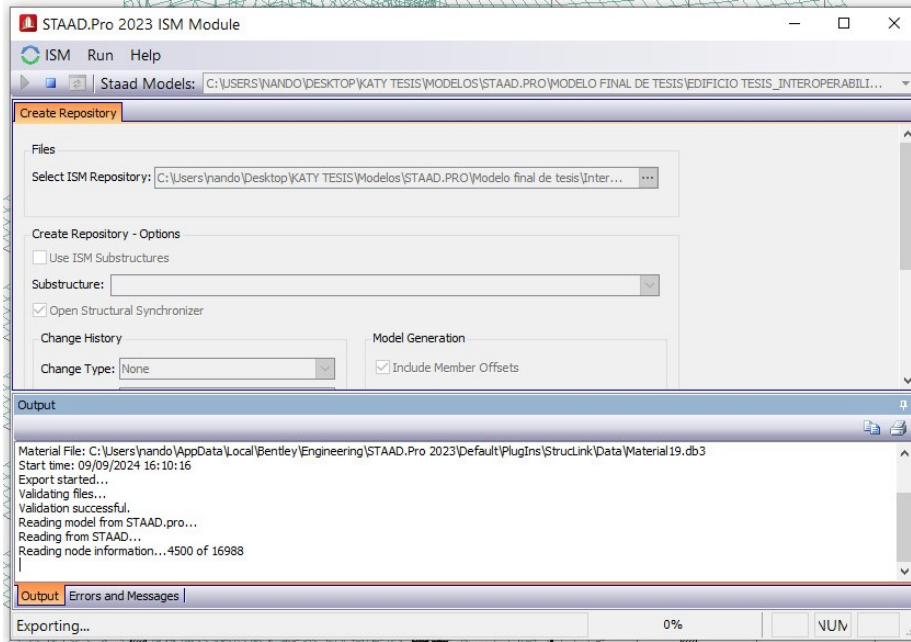


Figura 40: Proceso de ISM

(Fuente: Elaboración propia).

Luego de un tiempo se abrirá el programa “*iTwin Analytical Synchronize*” como lo muestra la Figura 41. Aquí se seleccionó todos los elementos con la opción de “*Select All*” y cargó con el botón “*Update*”. Al finalizar, el proceso se cerrará la pestaña dejando solamente el la pestaña de advertencias y errores que se presentaron, como se muestra en la Figura 42.

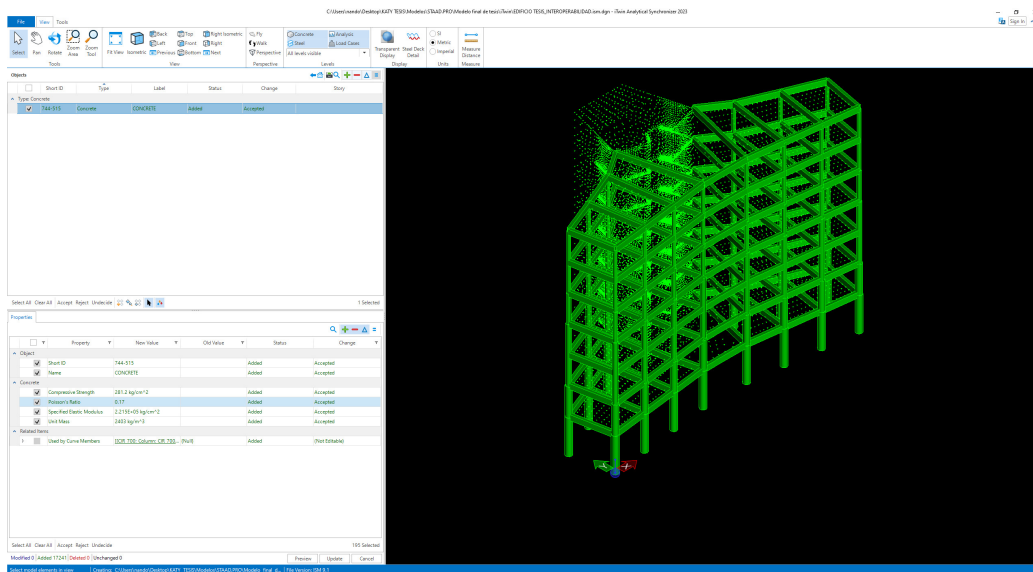


Figura 41: Seleccionar parámetros que conformen ISM

(Fuente: Elaboración propia).

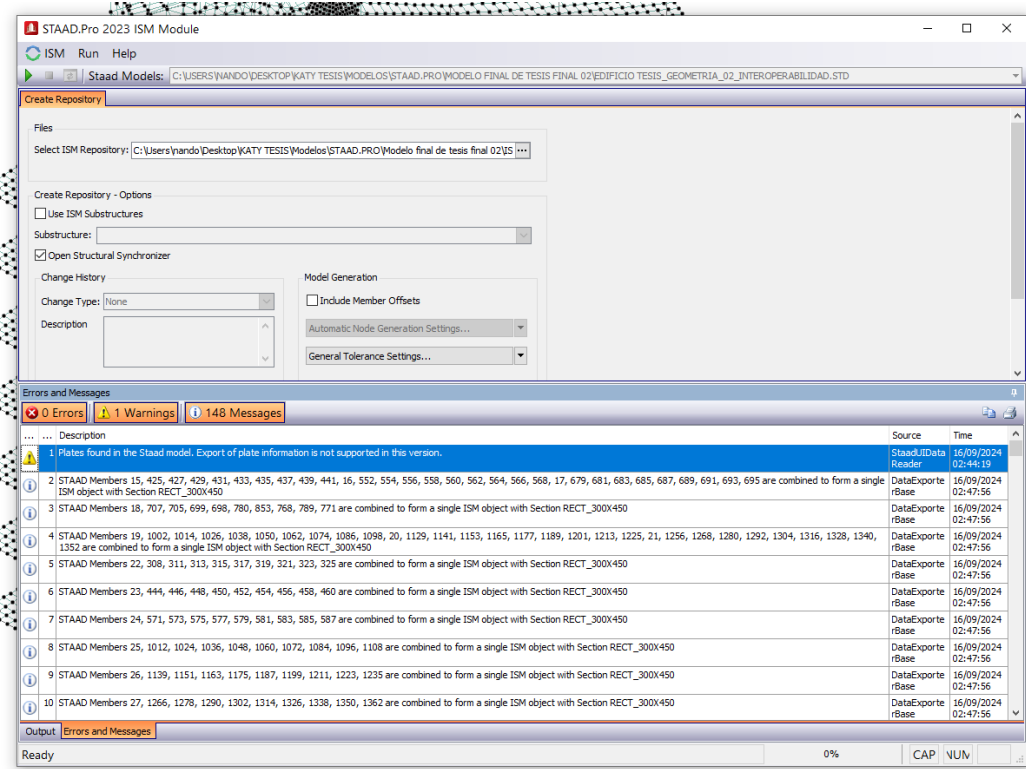


Figura 42: Mensajes y advertencias

(Fuente: Elaboración propia).

Finalmente, el archivo se podrá importar a Revit utilizando el “*plugin*” de Bentley. En este punto se seleccionó el archivo previamente creado y la opción de “*Pull from file*” donde se abrirá una pantalla para la selección de los parámetros de los elementos y materiales. Para que pueda existir un traspaso de información correcta la plantilla de Revit debe de contener los elementos que se desean colocar es decir las familias de todo los diámetros de columnas, dimensiones vigas, losas, entre otros.

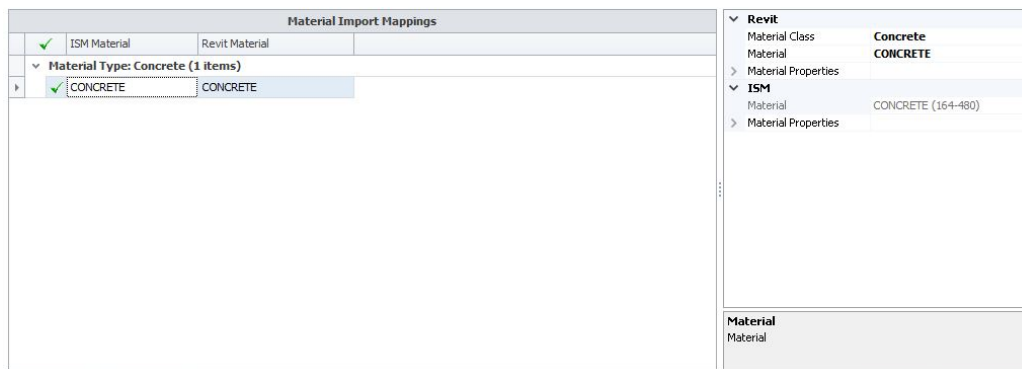


Figura 43: Imporando ISM desde *plugin* de Revit

(Fuente: Elaboración propia).

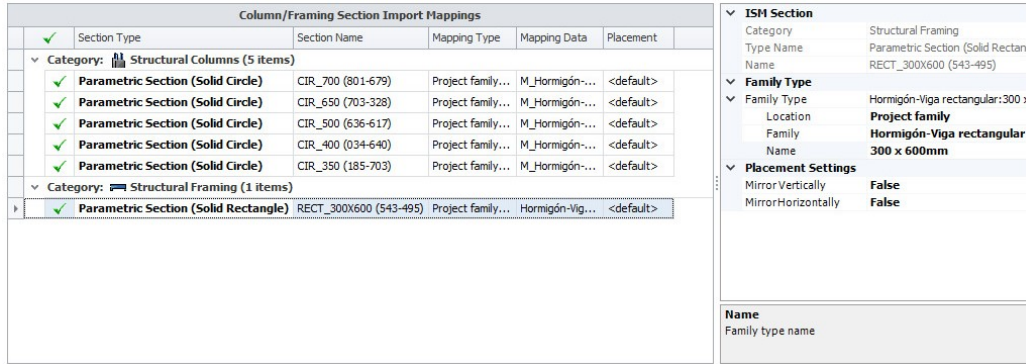


Figura 44: Ajuste de parámetros de materiales y geometrías

(Fuente: Elaboración propia).

Luego de definir cada uno de los elementos y materiales se desplegará el programa “*iTwin Analytical Synchronize*” donde se muestran los elementos que son compatibles para el traspaso. Para importar dichos elementos se debe de seleccionar todo y por consiguiente actualizar el modelo; al realizar este paso de manera automática se generará el modelo en Revit incluyendo el modelo analítico.

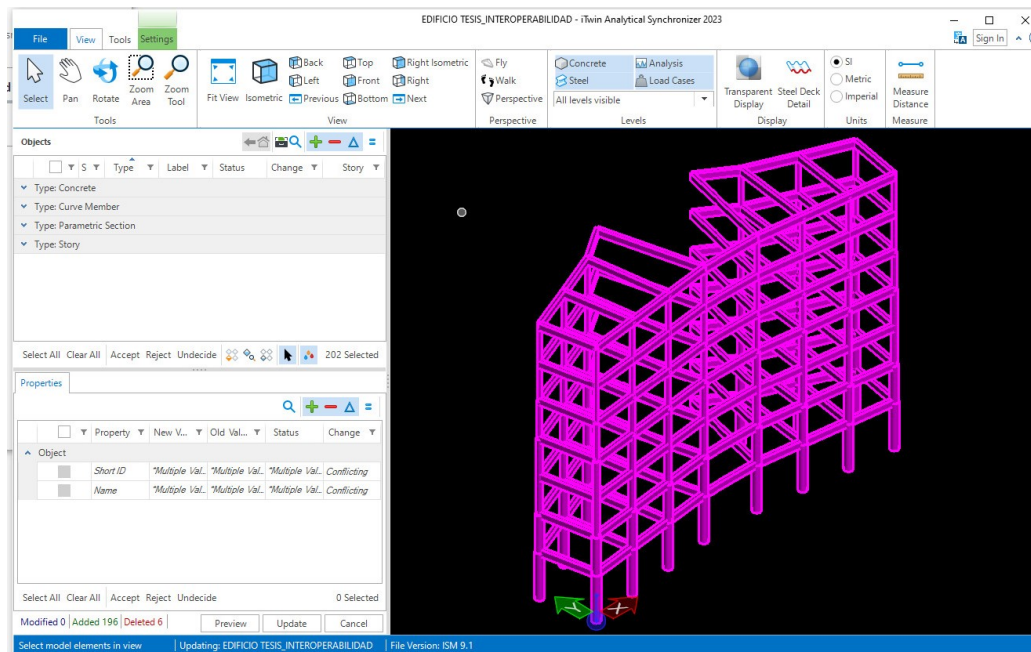


Figura 45: Seleccionar los parámetros que son compatibles para importación

(Fuente: Elaboración propia).

Análisis y discusión de resultados

La presente investigación tuvo como objetivo general la evaluación del rendimiento de los *software* de construcción STAAD.Pro y CYPECAD por medio de desempeño e interoperabilidad de un edificio de siete niveles de concreto reforzado. Previo a la evaluación de interoperabilidad se realizaron modelos independientes en cada uno de los programas con la finalidad no solo de modelar en cada programa sino que también realizar los análisis sísmicos correspondientes. Por medio de este análisis comparativo se busca determinar la precisión y la eficiencia de los programas y los desafíos presentados a lo largo de la investigación.

El primer modelo que se realizó fue el de Revit, Figura 46, el cual se utilizó como base para la obtención de medidas, geometría, materiales y entre otros aspectos. Cabe mencionar que el modelo se tuvo que realizar desde la plantilla de estructural para facilitar el proceso no solo del modelo tridimensional sino que también del modelo analítico. A lo largo de la realización de este paso se pudo observar que el uso de este programa es bastante intuitivo, ya que tiene una interfaz bastante amigable con el usuario. Sin embargo, se debe mencionar que al tener una alta variedad de usos la curva de aprendizaje puede ser lenta por el tiempo que se debe de invertir. Finalmente, este programa no tiene un uso estructural para análisis sísmico por lo que limita al usuario.

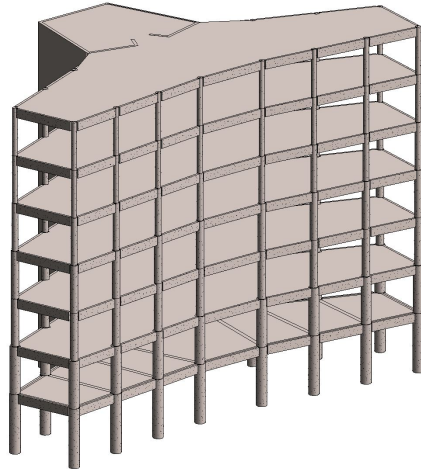


Figura 46: 3D Revit

(Fuente: Elaboración propia).

El segundo modelo que se llevo a cabo fue el modelo en STAAD.Pro el cual se utilizó más adelante para la comparación de análisis sísmico e interoperabilidad el cual se puede observar en la Figura 47. Hablando respecto al modelado este es un programa con una curva de aprendizaje lenta, ya que como usuario se presenta problemas al inicio para modelar y de comprender la interfaz del programa. Sin embargo, la curva de aprendizaje con respecto al análisis sísmico es más rápida, ya que al comprender la asignación de una carga se vuelve repetitivo el proceso pero eso no quiere decir que no se presenten dificultades. A continuación, se enlistarán las principales dificultades presentadas y la solución encontradas a lo largo del proceso. Por último, cabe mencionar que el flujo de trabajo del programa es un poco complicado debido a la cantidad de programas que necesita, ya que al momento de instalar el software se instalan otros dos programas importantes el primero es para el chequeo de refuerzos y segundo para la interoperabilidad; dando como resultado que no sea tan óptimo el proceso, sin embargo es un programa altamente personalizable según el usuario.

- El duplicado de los niveles para hacer más eficiente el modelado presento dificultades, debido a la diferencia de alturas entre nivel 01 y niveles posteriores. Específicamente se mostraban errores en los muros y en las columnas, para solucionar este problema se modelo primero el primer nivel a una altura de 4 metros y luego se modelo el segundo nivel con una altura de 3.2 metros el cual se utilizó para duplicar en los niveles posteriores.
- Al momento de modelar las losas y los muros es necesario realizarlas por medio de una malla y no por sólidos. Asimismo, es indispensable que estas mismas sean modeladas a favor de las agujas del reloj lo que permite que las nodos se numeren en orden y evitando errores en la ejecución del programa.
- El programa puede duplicar ciertas áreas para el cálculo de peso propio de la estructura lo que generara un efecto en cadena aumentando su peso y por consecuencia el pesos sísmico y el cortante basal. Para solucionar este problema se redujeron el tamaño de las vigas dejando así solo la parte que sobresale de la losa.

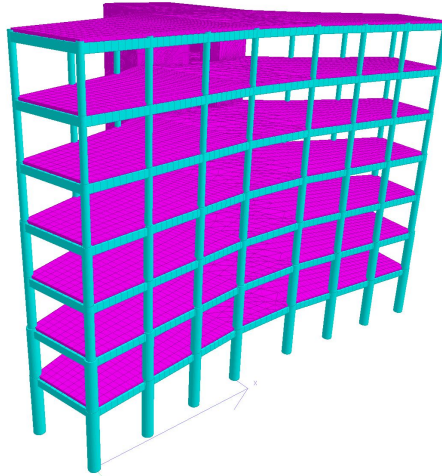


Figura 47: 3D STAAD.Pro

(Fuente: Elaboración propia).

Para la realización del tercer modelo se utilizó el programa de CYPECAD el cual se puede observar el modelo tridimensional en la Figura 48. Este programa presentó una curva de aprendizaje bastante rápida, ya que el programa es un muy intuitivo tanto para el modelado como para la integración de aspectos sísmico. Esto se debe que el programa tiene bastantes opciones para la realización del modelado, sin embargo se debe mencionar que la dicha curva cambiara según la complejidad del modelo. Asimismo, se debe mencionar que como el programa ya incluye una alta variedad de normativas y entre ellas la guatemalteca dando como resultado que el proceso se acelera bastante tomando menos de la mitad del tiempo con que realizó el modelo de STAAD.Pro. Finalmente, cabe mencionar que el programa optimiza el proceso de modelado tanto sísmico como de diseño ya que el mismo programa agrupa los elementos y genera las mejores combinaciones de refuerzo sin la necesidad de utilizar programas adicionales como STAAD.Pro, sin embargo se debe mencionar que el programa tiene menos flexibilidad para el usuario.



Figura 48: 3D CYPECAD

(Fuente: Elaboración propia).

Posteriormente a la realización de los modelos se analizaron las cargas sísmicas, tomando en consideración los aspectos sísmicos descritos en la metodología. Estos datos dependen principalmente de características geográficas y la tipología de la estructura. Para verificar los valores dados dentro de los programas fue necesario realizar del cálculo del análisis estático teórico basándose en la normativa NSE 3. Como resultado de dicho procedimiento se obtuvo que el cortante basal teórico es de 319.44 toneladas. Por otro lado, los programas se le asignaron sus respectivas cargas dando como resultado para STAAD.Pro un cortante basal de 323.66 toneladas y para CYPECAD un valor de 321.71 toneladas; estos valores se pueden observar con mayor claridad en el Cuadro 8.

Cuadro 8: Comparación de análisis estático

Valores de análisis estático				
	Peso Propio (ton)	Peso sísmico (ton)	Coficiente sísmico	Cortante basal (ton)
Excel	1354.26	2030.79	0.157	319.44
CYPECAD	1351.27	2045.20	0.157	321.71
STAAD.Pro	1365.57	2057.58	0.157	323.66

(Fuente: Elaboración propia).

Teniendo los valores tanto teóricos como experimentales se calculó el porcentaje de error de cada uno de los programas teniendo como resultado el Cuadro 9, donde se puede decir que tanto para STAAD.Pro como CYPECAD se pueden obtener valores bastante cercanos y acertados sin tener altas variaciones. Al comparar los valores obtenidos se puede concluir que al tener mayor capacidad de crear cargas y parámetros como el usuario desea aumente la posibilidad que el porcentaje de error sea mayor como es el caso de STAAD.Pro el cual

tiene un valor de 1.32 %. Al contrario, de CYPECAD es un programa que al momento que el usuario le indica la normativa que se desea utilizar este ingresa sus parámetros de manera automática generando así menores errores. A pesar del porcentaje de error se puede decir que ambos de los programas son confiables con respecto a sus resultados.

Cuadro 9: Porcentaje de error del cortante basal estático

Porcentaje de error	
CYPECAD	0.71 %
STAAD.Pro	1.32 %

(Fuente: Elaboración propia).

Luego de comparar los valores estáticos y evaluar que son modelos muy similares se llegó a la conclusión que los modelos se podían utilizar para la investigación, por lo cual se procedió a realizar el análisis dinámico. La normativa NSE 3 permite que este tipo de análisis se puedan realizar por medio de herramienta de análisis integral por lo que solamente se utilizaron los programas de STAAD.Pro y CYPECAD. Con fines de investigación se utilizó un valor una calibración de 85 % según la normativa NSE 3, debido a que se supuso que el edificio no contaba con alguna irregularidad.

Al evaluar cada uno de los programas se pudo evidenciar que se sigue manteniendo baja la variación de valores, ya que como se puede observar tanto en los Cuadros 10 y 11 donde los factores de corrección varían muy poco utilizando 1.40, 1.14 y 1.18. Sin embargo, cabe mencionar que CYPECAD al ser más amigable con el usuario, como se ha mencionado anteriormente, realiza la corrección de manera automática al contrario de STAAD.Pro el cual es manual tanto el cálculo para encontrar el factor de corrección para la calibración como la corrección de la carga sísmica.

Cuadro 10: Resultado de análisis dinámico con *software* CYPECAD

Valores de análisis dinámico y calibración			
Tipo de cortante basal	Cortante basal (ton)	Factor de modificación	Cortante basal calibrado
Vb en X	195.80	1.40	273.45
Vb en Y	240.60	1.14	273.45

(Fuente: Elaboración propia).

Cuadro 11: Resultado de análisis dinámico con *software* STAAD.Pro

Valores de análisis dinámico y calibración			
Tipo de cortante basal	Cortante basal (ton)	Factor de modificación	Cortante basal calibrado
Vb en X	189.28	1.41	275.78
Vb en Z	233.46	1.18	276.25

(Fuente: Elaboración propia).

Se debe resaltar, que a diferencia de CYPECAD el programa de STAAD.Pro permite analizar los modos de vibrar que el usuario desea para que la estructura utilice el 90% de la masa. Como resultados dentro de STAAD.Pro es necesario la utilización de 50 modos los cuales se observan en las Figuras 49 y 50. No obstante, en CYPECAD, al ser más automatizado solamente indica que se evaluaron x cantidad de modos de vibrar.

MODE	X	Y	Z	SUMM-X	SUMM-Y	SUMM-Z	X	Y	Z
1	54.97	0	0	54.969	0	0	246583.28	0	0
2	0	0.17	71.48	54.969	0.17	71.478	0	0	0
3	5.47	0	0	60.442	0.17	71.478	24553.14	0	0
4	25.55	0	0	85.997	0.17	71.478	114632.37	0	0
5	0	13.45	0.51	85.997	13.622	71.984	0.22	0	0
6	0	0.35	0.01	85.997	13.972	71.993	0	0	0
7	0	0.73	0.01	85.997	14.702	72.005	0.01	0	0
8	0	1.49	0.01	85.997	16.191	72.014	0	0	0
9	0	0.5	0	85.997	16.688	72.015	0	0	0
10	0	1.97	0	85.997	18.654	72.018	0	0	0
11	0	0.88	0	85.997	19.536	72.019	0	0	0
12	0	2.14	0	85.997	21.673	72.019	0.01	0	0
13	0	0.4	0	85.997	22.076	72.02	0	0	0
14	0	0.25	0	85.997	22.323	72.02	0	0	0
15	0	0	0	85.997	22.325	72.021	0	0	0
16	0	0.29	0	85.997	22.613	72.021	0.01	0	0
17	0.21	0.01	0	86.202	22.621	72.022	884.72	0	0
18	0	22.75	0.17	86.202	45.374	72.194	0.12	0	0
19	0	1.85	0.23	86.202	47.225	72.427	0	0	0
20	0	0	0	86.202	47.225	72.427	1.26	0	0
21	0.01	0	0	86.21	47.226	72.427	31.97	0	0
22	0.24	0	0	86.453	47.228	72.427	942.16	0	0
23	0.12	0	0	86.573	47.228	72.428	467.38	0	0
24	0	0.64	0	86.573	47.872	72.431	0.33	0	0
25	1.93	0	0	88.504	47.872	72.431	7444.11	0	0
26	0	0.29	19.76	88.504	48.165	92.195	0.08	0	0
27	0.01	0	0	88.514	48.166	92.196	40.48	0	0
28	0	2.54	0.28	88.514	50.706	92.481	0.03	0	0
29	0	2.86	0.33	88.514	53.565	92.809	0.12	0	0
30	0.01	0	0	88.528	53.567	92.809	52.02	0	0
31	0	1.06	0	88.528	54.627	92.812	0.04	0	0
32	0	0.76	0.01	88.528	55.389	92.818	0.02	0	0
33	0	0	0	88.529	55.389	92.818	1.05	0	0
34	0	1.15	0.03	88.529	56.543	92.85	0	0	0
35	0	2.54	0.01	88.529	59.085	92.862	0.01	0	0
36	0.01	0	0	88.534	59.085	92.862	19.33	0	0
37	0	0	0	88.536	59.085	92.862	6.7	0	0
38	0	0.19	0	88.536	59.274	92.862	0.01	0	0
39	0.05	0	0	88.588	59.274	92.862	180	0	0
40	0.03	0	0	88.621	59.274	92.862	116.05	0	0
41	0	0.94	0	88.621	60.217	92.862	0	0	0
42	0	1.09	0.07	88.621	61.312	92.935	0	0	0
43	0	0.49	0.02	88.621	61.802	92.956	0	0	0
44	0	0	0	88.624	61.802	92.956	7.16	0	0
45	0	0.38	0.05	88.624	62.186	93.009	0.03	0	0
46	0	1.35	0.04	88.624	63.535	93.045	0.36	0	0
47	0.01	0.01	0	88.632	63.547	93.045	28	0	0
48	0	0.57	0.05	88.632	64.121	93.096	0	0	0
49	0.1	0	0	88.731	64.121	93.096	326.52	0	0
50	2.91	0	0	91.639	64.121	93.096	9565.04	0	0
TOTAL SRSS							SHEAR 273305.15	0	0
TOTAL 10PCT							SHEAR 273362.09	0	0
TOTAL ABS							SHEAR 405884.13	0	0
TOTAL CQC							SHEAR 275782.12	0	0

Figura 49: Modos de vibración para sismo en X con STAAD.Pro

(Fuente: Elaboración propia).

MODE	X	Y	Z	SUMM-X	SUMM-Y	SUMM-Z	X	Y	Z	
1	54.97	0	0	54.969	0	0	0	0.00	0.00	
2	0	0.17	71.48	54.969	0.17	71.478	0	0.00268336	86	
3	5.47	0	0	60.442	0.17	71.478	0	0	0.03	
4	25.55	0	0	85.997	0.17	71.478	0	0	0	
5	0	13.45	0.51	85.997	13.622	71.984	0	0	1899.67	
6	0	0.35	0.01	85.997	13.972	71.993	0	0	34.25	
7	0	0.73	0.01	85.997	14.702	72.005	0	0	43.84	
8	0	1.49	0.01	85.997	16.191	72.014	0	0	34.83	
9	0	0.5	0	85.997	16.688	72.015	0	0	5.81	
10	0	1.97	0	85.997	18.654	72.018	0	0	9.82	
11	0	0.88	0	85.997	19.536	72.019	0	0	5.02	
12	0	2.14	0	85.997	21.673	72.019	0	0	0.03	
13	0	0.4	0	85.997	22.076	72.02	0	0	1.24	
14	0	0.25	0	85.997	22.323	72.02	0	0	0.48	
15	0	0	0	85.997	22.325	72.021	0	0	3.73	
16	0	0.29	0	85.997	22.613	72.021	0	0	2.19	
17	0.21	0.01	0	86.202	22.621	72.022	0	0	0.68	
18	0	22.75	0.17	86.202	45.374	72.194	0	0	606.17	
19	0	1.85	0.23	86.202	47.225	72.427	0	0	791.71	
20	0	0	0	86.202	47.225	72.427	0	0	0	
21	0.01	0	0	86.21	47.226	72.427	0	0	0	
22	0.24	0	0	86.453	47.228	72.427	0	0	1.15	
23	0.12	0	0	86.573	47.228	72.428	0	0	2.08	
24	0	0.64	0	86.573	47.872	72.431	0	0	10.81	
25	1.93	0	0	88.504	47.872	72.431	0	0	0.4	
26	0	0.29	19.76	88.504	48.165	92.195	0	0	62949.82	
27	0.01	0	0	88.514	48.166	92.196	0	0	3.09	
28	0	2.54	0.28	88.514	50.706	92.481	0	0	898.93	
29	0	2.86	0.33	88.514	53.565	92.809	0	0	1028.49	
30	0.01	0	0	88.528	53.567	92.809	0	0	0.1	
31	0	1.06	0	88.528	54.627	92.812	0	0	10.51	
32	0	0.76	0.01	88.528	55.389	92.818	0	0	16.21	
33	0	0	0	88.529	55.389	92.818	0	0	0	
34	0	1.15	0.03	88.529	56.543	92.85	0	0	96.55	
35	0	2.54	0.01	88.529	59.085	92.862	0	0	34.22	
36	0.01	0	0	88.534	59.085	92.862	0	0	0.21	
37	0	0	0	88.536	59.085	92.862	0	0	0.01	
38	0	0.19	0	88.536	59.274	92.862	0	0	0.46	
39	0.05	0	0	88.588	59.274	92.862	0	0	0.44	
40	0.03	0	0	88.621	59.274	92.862	0	0	0.14	
41	0	0.94	0	88.621	60.217	92.862	0	0	0.12	
42	0	1.09	0.07	88.621	61.312	92.935	0	0	209.26	
43	0	0.49	0.02	88.621	61.802	92.956	0	0	58.2	
44	0	0	0	88.624	61.802	92.956	0	0	0	
45	0	0.38	0.05	88.624	62.186	93.009	0	0	148.69	
46	0	1.35	0.04	88.624	63.535	93.045	0	0	101.15	
47	0.01	0.01	0	88.632	63.547	93.045	0	0	1.37	
48	0	0.57	0.05	88.632	64.121	93.096	0	0	139.91	
49	0.1	0	0	88.731	64.121	93.096	0	0	0.36	
50	2.91	0	0	91.639	64.121	93.096	0	0	0.01	
TOTAL SRSS SHEAR							0	0	275633.69	
TOTAL 10PCT SHEAR							0	0	276087.25	
TOTAL ABS SHEAR							0	0	337489.06	
TOTAL CQC SHEAR							0	0	276249.55	

Figura 50: Modos de vibración para sismo en Z con STAAD.Pro

(Fuente: Elaboración propia).

Como último criterio a evaluar con respecto el sismo se tiene la evaluación de derivas dando como resultado los Cuadros 12 y 13. Estos valores se obtuvieron al analizar la misma columnas pero en sus respectivos programas. Dado los valores obtenidos se puede mencionar que cada uno de los programas cumplen según los limites encontrados con la NSE 3. Sin embargo, si hay una diferencia alta entre los desplazamientos de cada uno lo que puede generar incertidumbre con respecto a los resultados.

Cuadro 12: Valores de derivas utilizando STAAD.Pro

Verificación de derivas utilizando la NSE 3				
Altura (mm)	Derivas absolutas (mm)	Derivas relativas (mm)	Derivas máximas (mm)	Cumplimiento
0	0	0	0	Sí
4000	3.24	4.03	16.0	Sí
7200	6.85	5.13	28.8	Sí
10400	11.66	10.23	41.6	Sí
13600	16.57	11.49	54.4	Sí
16800	21.94	16.77	67.2	Sí
20000	27.08	17.66	80.0	Sí
23200	31.50	22.15	92.8	Sí

(Fuente: Elaboración propia).

Cuadro 13: Valores de derivas utilizando CYPECAD

Verificación de derivas utilizando la NSE 3				
Altura (mm)	Derivas absolutas (mm)	Derivas relativas (mm)	Derivas máximas (mm)	Cumplimiento
0	0	0	0	Sí
3700	6.75	6.75	14.80	Sí
6900	15.39	8.64	27.60	Sí
10100	26.30	17.66	40.40	Sí
13300	37.87	20.21	53.20	Sí
16500	50.12	29.91	66.00	Sí
19700	62.09	32.18	78.80	Sí
22900	73.30	41.12	91.60	Sí

(Fuente: Elaboración propia).

Al tener ya realizados los modelos y la evaluación sísmica se prosiguió a la evaluación de la interoperabilidad como se describió en la metodología. Se realizaron cuatro casos diferentes, los cuales se evaluaron por medio de los KPIs descritos en el Cuadro 3. Es importante recalcar que el flujo de trabajo que se realizó fue de un programa arquitectónico a un programa estructural. Como resultado se obtuvo un resumen de los KPIs en Cuadro 14.

Cuadro 14: Cuadro comparativo sobre KPIs de interoperabilidad

KPI	Caso "a" Revit a CYPECAD	Caso "b" CYPECAD a Revit	Caso "c" Revit a STAAD.Pro	Caso "d" STAAD.Pro a Revit
Tiempo total invertido (min:seg)	3:20	1:25	5:58	16:02
Transferencia de vigas	Sí	Sí	Sí	Sí
Transferencia de columnas	Sí	Sí	Sí	Sí
Transferencia de losas	No	Sí	No	No
Transferencia de muros	No	Sí	No	No
Precisión de geometría	Sí	Sí	Sí	Sí
Precisión de ubicación de elementos transferidos	No	Sí	Sí	Sí
Transferencia de materiales	Sí	No	Sí	Sí
Método de transferencia	IFC 2x3	IFC 2x3 para Revit	IFC 2x3 y plugin	Plugin
Número de interacciones con el modelo	9	2	+10	+10
Transferencia de armado estructural	No	No	No	No

(Fuente: Elaboración propia).

Para el caso "a" referente a la interoperabilidad entre Revit y CYPECAD se obtuvieron los resultados de la Figura 51 y la Figura 52. Dentro de los principales aspectos a mencionar es que el proceso es bastante rápido; sin embargo, es un proceso más tedioso ya que se debe de interactuar con el modelo más de cinco veces. Dentro de las interacciones son la definición de parámetros que se desean tener las dimensiones o materiales. Pero debe mencionarse que

para la realización del proceso solamente se utiliza el formato IFC 2x3.

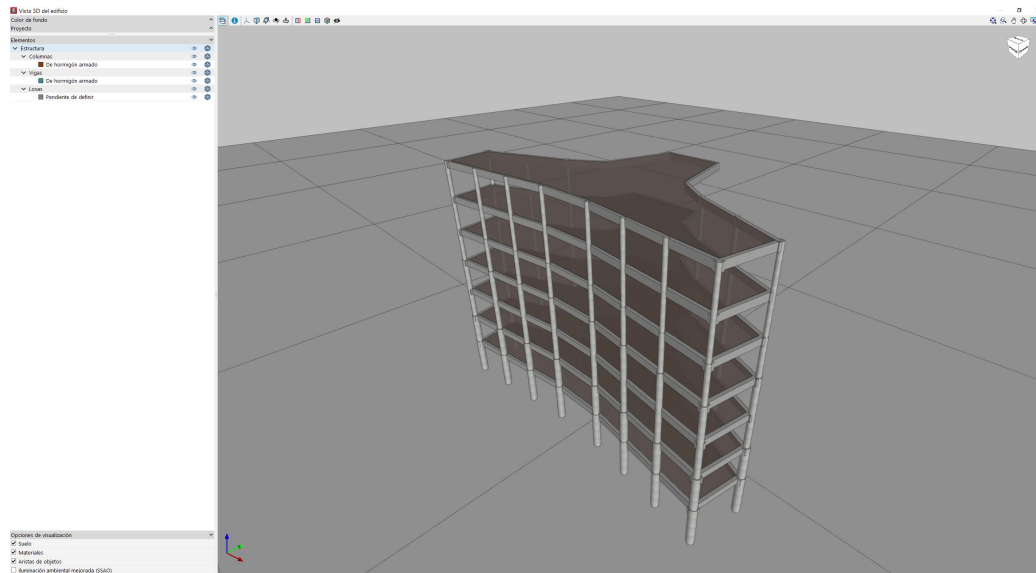


Figura 51: Resultados de interoperabilidad entre Revit a CYPECAD

(Fuente: Elaboración propia).

Como resultados de la intemporalidad se evidenció el traslado correcto de las columnas tanto de material como valores geométricos, no obstante, este no es el caso para los demás elemento. Para el caso de las vigas se tiene un traslado parcial de los elementos, ya que no solo se generó error al momento de la precisión de los elementos sino que también hace falta el traslado de las vigas transversales; esto se puede evidenciar como mayor facilidad en la Figura 52 donde se observa que las vigas son colocadas al borde de las columnas y no en el eje central de estas. Para solucionar el este problema solamente se puede hacer luego del traslado de datos donde se deberán de alinear dichos elementos de forma manual en cada uno y agregar los elementos faltantes. Finalmente, no se presentó un traslado de muros y losas lo que se provoca que el modelado este inconcluso.

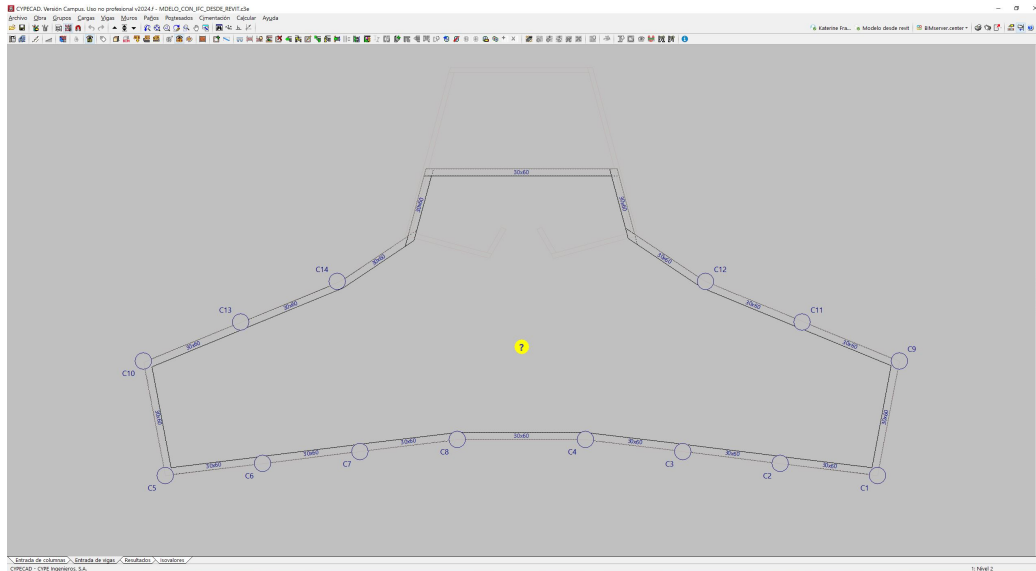


Figura 52: Resultados de interoperabilidad para CYPECAD en vista en planta

(Fuente: Elaboración propia).

Con los resultados obtenidos de este caso se puede decir que el traslado de no funciona de manera eficiente, sin embargo si el caso que se debe de utilizar este tiene sus ventajas y desventajas. Dentro de las principales ventajas es que proceso relativamente corto, se utiliza por medio de formatos estandarizados de *Open BIM* y al ser trasladado a un programa fácil de modelar se pueden terminar de modelar de forma manual los elementos faltantes. Por otro lado, de las desventajas del proceso es que los elementos no se pasan en el lugar exacto que se necesitan lo que generara mayores errores al analizar si estos no son corregidos generarían una excentricidad.

Para el segundo caso o caso “b” se realizó una interoperabilidad entre CYPECAD a Revit donde se obtuvo el modelo que se observa en la siguiente Figura 53. Donde se obtuvieron resultados casi satisfactorios, ya que la mayoría de los KPIs tuvieron un resultado positivo. Se debe mencionar que el proceso es bastante rápido y con pocas intervenciones siendo este el que menor tiempo se debe de aplicar. Para la realización de este proceso se utilizó el formato de “IFC 2x3 para Revit” que ya incluye el programa, no obstante el programa da opción de otras dos versiones de IFC, pero no presenta ningún cambio al momento de importar los datos por lo que solo se evaluara el intercambio utilizando el “IFC 2x3 para Revit”.

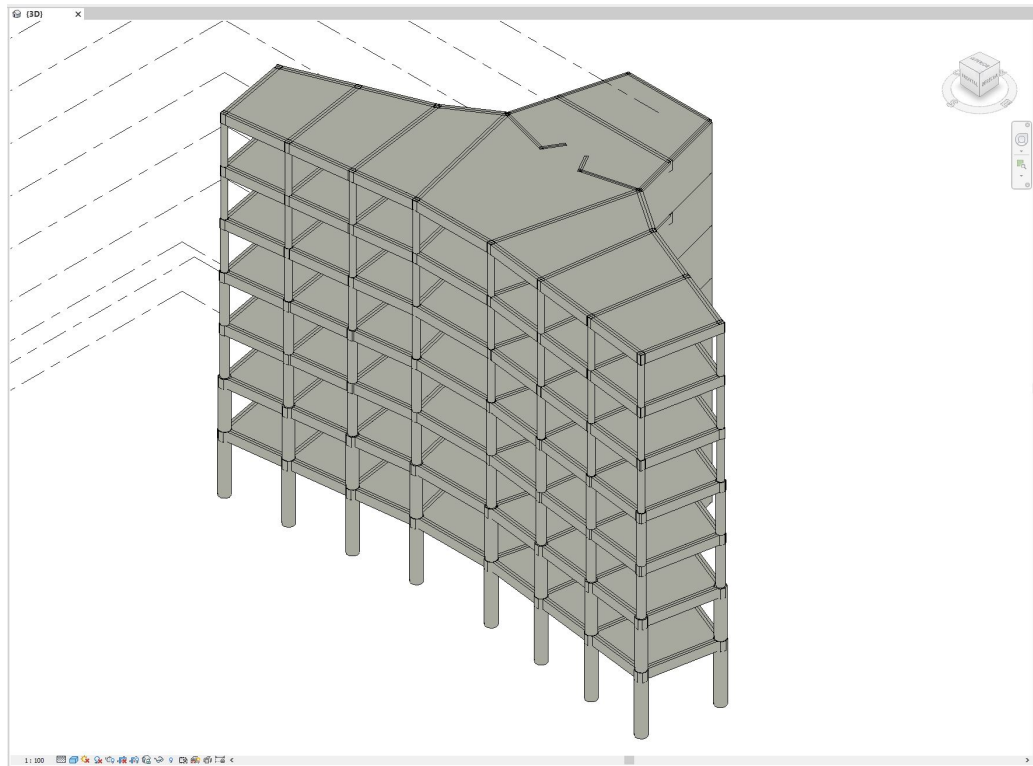


Figura 53: Resultado de interoperabilidad entre CYPECAD a Revit

(Fuente: Elaboración propia).

Como resultado se obtuvo que todos los elementos se trasladaron con éxito tanto el la geometría como en precisión de ubicación; asimismo, no se presentó modificaciones en cuestiones de altura o volúmenes. No obstante el resultado no fue satisfactorio para el traslado de materiales como se puede observar en la Figura 54 específicamente en el apartado de materiales estructurales donde se muestra que ningún material a sido asignado para los elementos lo que genera que no se cumpla con la metodología BIM, ya que se presenta una pérdida en la base de datos. La solución para las asignaciones de materiales se puede realizar luego del traslado de información de manera manual.

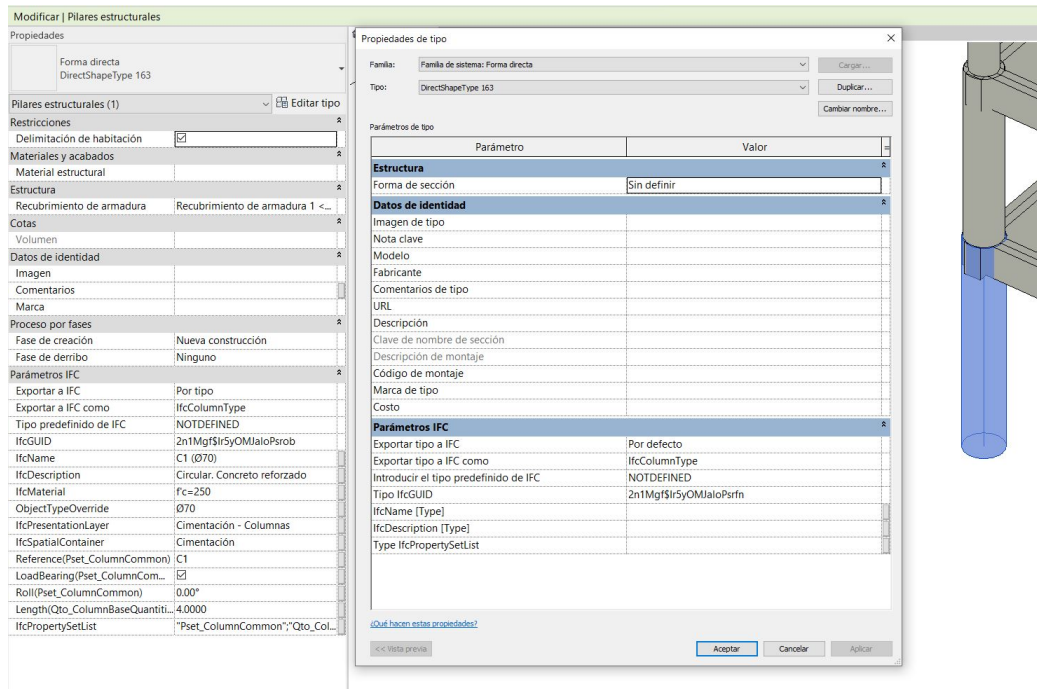


Figura 54: Resultado de interoperabilidad de parámetros entre CYPECAD a Revit

(Fuente: Elaboración propia).

Como caso “c” se tiene la interoperabilidad entre Revit a STAAD.Pro el cual presento un tiempo medio entre todos los casos, sin embargo es el que cuenta con mayor cantidad de veces interactuadas con el modelo teniendo así más de 10. Como primera opción se utilizó el proceso de solamente utilizar el modelo IFC 2x3 y con este crear el modelo ISM con el programa de *iTwin Analytical Synchronizer*, sin embargo presentaba grandes cantidades de errores. Al observar los errores que se presentaron se decidió buscar un nuevo flujo de trabajo para este caso y se terminó utilizando formato IFC 2x3, luego el ISM y por último sincronizar el archivo desde el *plugin* que se encuentra en Revit.

Como resultados de la primera interpolación, solamente con el ISM sin sincronizar, se encontraron errores al momento estar el modelo en STAAD.Pro. Dentro de los principales errores se evidenció que no todos los elementos se trasladan y que esto tiene fallas en la precisión de ubicación, geometría y en los materiales como se puede observar en las Figuras 55 y 56. Aquí se evidencia que los elementos como las vigas no llegan al nodo de la columna generando que no sea un elemento homogéneo y que se generen nodos adicionales haciendo el modelo más sucio; al igual que se muestra que se asigna de manera automática un material predeterminado el cual lo coloca como acero o *steel* para cada uno de los elementos.

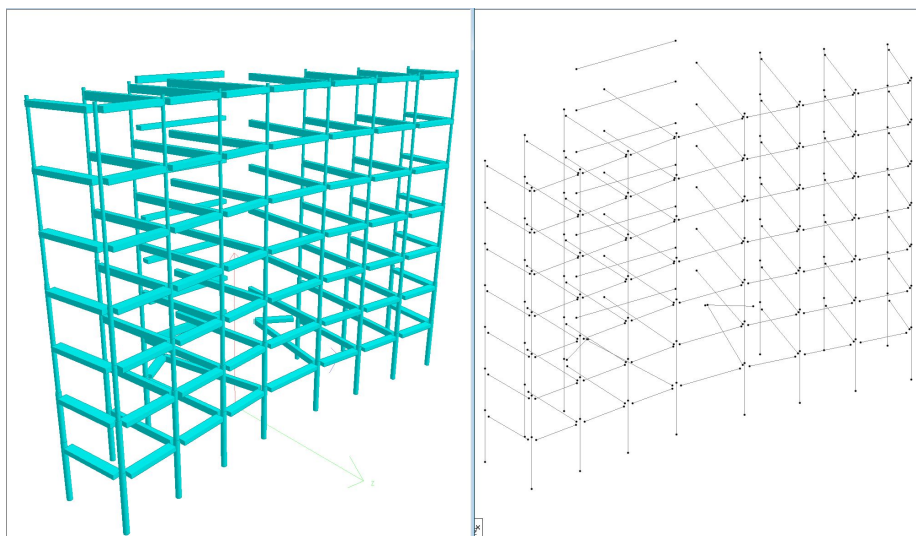


Figura 55: Resultado de interoperabilidad entre Revit a STAAD.Pro sin sincronizar el modelo

(Fuente: Elaboración propia).

Beam	Node A	Node B	Property Refn.	Material	Beta	Length m
1	113	114	1	STEEL	270.0	4.025
2	253	254	2	STEEL	270.0	5.134
3	184	185	1	STEEL	270.0	3.313
4	188	189	1	STEEL	270.0	3.313
5	186	187	1	STEEL	270.0	3.313
6	263	264	2	STEEL	270.0	6.304
7	250	262	1	STEEL	270.0	3.074
8	182	183	1	STEEL	270.0	4.575
9	261	262	2	STEEL	90.0	8.145
10	341	342	3	STEEL	90.0	34.4E-3
11	179	180	1	STEEL	270.0	4.025
12	259	260	2	STEEL	270.0	5.134
13	115	116	1	STEEL	270.0	3.313
14	117	118	1	STEEL	270.0	3.313

Figura 56: Resultado de interoperabilidad de materiales entre Revit a STAAD.Pro sin sincronización

(Fuente: Elaboración propia).

Por otro lado, al trabajar con el nuevo flujo de trabajo, utilizando la sincronización desde el *plugin*, se tienen mejores resultados dentro del modelado y materiales como se muestran en las Figuras 57 y 58. A pesar de que solamente se trasladan los elementos de vigas y columnas estos tienen las dimensiones y la ubicación adecuada. Sin embargo, cabe mencionar que los muros y losas no se trasladaron, ya que se considera que en el modelo analítico del Revit solamente se cuenta con los puntos de los nodos y en STAAD.Pro necesita la generación de un malla para su adecuada distribución de fuerzas.

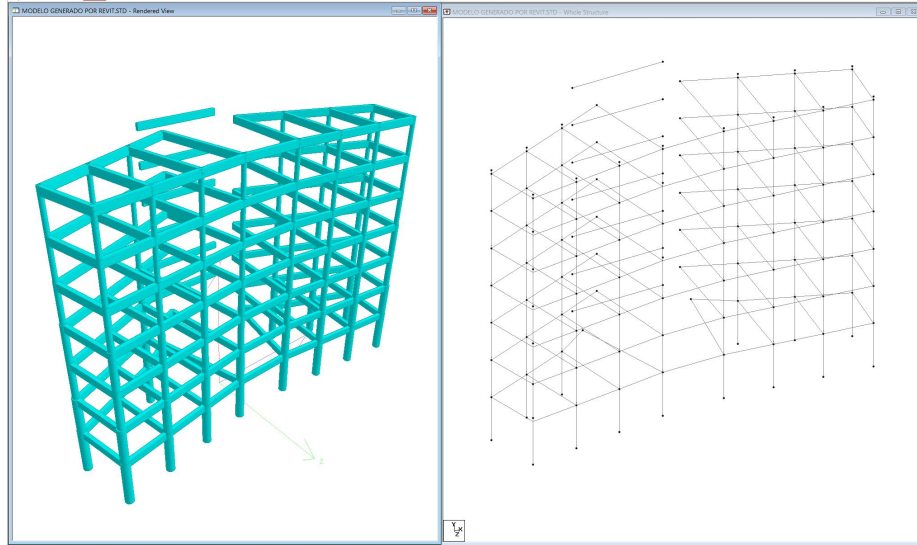


Figura 57: Resultado de interoperabilidad entre Revit a STAAD.Pro

(Fuente: Elaboración propia).

Beam	Node A	Node B	Property Refn.	Material	Beta	Length m
14	11	131	1	HORMIGÓN _ HORMIGÓN MOLDEADO IN SITU	90.0	4.000
15	57	55	2	HORMIGÓN _ HORMIGÓN MOLDEADO IN SITU	90.0	3.200
16	119	146	2	HORMIGÓN _ HORMIGÓN MOLDEADO IN SITU	90.0	3.200
17	123	49	2	HORMIGÓN _ HORMIGÓN MOLDEADO IN SITU	90.0	3.200
18	124	61	2	HORMIGÓN _ HORMIGÓN MOLDEADO IN SITU	90.0	3.200
19	7	18	2	HORMIGÓN _ HORMIGÓN MOLDEADO IN SITU	90.0	3.200
20	134	40	2	HORMIGÓN _ HORMIGÓN MOLDEADO IN SITU	90.0	3.200
21	41	58	2	HORMIGÓN _ HORMIGÓN MOLDEADO IN SITU	90.0	3.200
22	92	59	2	HORMIGÓN _ HORMIGÓN MOLDEADO IN SITU	90.0	3.200
23	73	56	2	HORMIGÓN _ HORMIGÓN MOLDEADO IN SITU	90.0	3.200
24	140	113	2	HORMIGÓN _ HORMIGÓN MOLDEADO IN SITU	90.0	3.200
25	118	48	2	HORMIGÓN _ HORMIGÓN MOLDEADO IN SITU	90.0	3.200
26	142	107	2	HORMIGÓN _ HORMIGÓN MOLDEADO IN SITU	90.0	3.200
27	133	39	2	HORMIGÓN _ HORMIGÓN MOLDEADO IN SITU	90.0	3.200
28	131	120	2	HORMIGÓN _ HORMIGÓN MOLDEADO IN SITU	90.0	3.200
29	55	95	3	HORMIGÓN _ HORMIGÓN MOLDEADO IN SITU	90.0	3.200
30	146	154	3	HORMIGÓN _ HORMIGÓN MOLDEADO IN SITU	90.0	3.200

Figura 58: Resultados de interoperabilidad de materiales entre Revit a STAAD.Pro

(Fuente: Elaboración propia).

Para que la interoperabilidad de datos sea exitosa esta debe de pasar no solo los elementos geométricos, sino que también las bases de datos. Lo cual dentro del caso de Revit a STAAD.Pro se supero sin ningún problema, ya que todas las características dadas desde Revit fueron pasadas con éxito como se muestra en la Figura 59.

Name	E kN/mm2	Poisson's Ratio	Density kg/m3	Alpha /°C	Fy kN/mm2	Fu kN/mm2	Ry	Rt	Fcu kN/mm2
ALUMINUM	68.948	330E-3	2712.631	23E-6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CONCRETE	21.718	170E-3	2402.616	10E-6	0.000	0.000	0.000	0.000	27.58E-3
HORMIGÓN	23.250	167E-3	2402.604	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000
HORMIGÓN - HORMIGÓN MOLDEADO IN_SITU	23.250	167E-3	2402.604	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000
Q235	206.000	300E-3	7851.815	12E-6	235E-3	370E-3	1.500	1.200	0.000
Q345	206.000	300E-3	7851.815	12E-6	345E-3	470E-3	1.500	1.200	0.000
Q355	206.000	300E-3	7851.815	12E-6	355E-3	470E-3	1.500	1.200	0.000
Q390	206.000	300E-3	7851.815	12E-6	390E-3	490E-3	1.500	1.200	0.000
Q420	206.000	300E-3	7851.815	12E-6	420E-3	520E-3	1.500	1.200	0.000
Q460	206.000	300E-3	7851.815	12E-6	460E-3	550E-3	1.500	1.200	0.000
STAINLESSSTEEL	197.930	300E-3	7833.413	18E-6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
STEEL	205.000	300E-3	7833.409	12E-6	0.000	0.000	1.500	1.200	0.000
STEEL_275_NMM2	205.000	300E-3	7851.815	12E-6	275E-3	410E-3	1.500	1.200	0.000
STEEL_355_NMM2	205.000	300E-3	7851.815	12E-6	355E-3	470E-3	1.500	1.200	0.000
STEEL_36_KSI	199.948	300E-3	7833.414	11.7E-6	248.2E-3	399.9E-3	1.500	1.200	0.000
STEEL_50_KSI	199.948	300E-3	7833.414	11.7E-6	344.7E-3	427.5E-3	1.500	1.200	0.000
TIMBER	10.342	150E-3	400.462	3E-6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Figura 59: Comparación de materiales entre Revit a STAAD.Pro

(Fuente: Elaboración propia).

Finalmente, se encuentra el caso “d” el cual es entre STAAD.Pro y Revit. Este es uno de los casos que mayor cantidad de tiempo necesita lo que da como resultado que sea el más ineficiente de todos. Asimismo, para la creación de esta interoperabilidad es necesario utilizar el programa de *iTwin Analytical Synchronizer* y su respectivo *plugin* en Revit. Asimismo, se debe mencionar que para que se pueda realizar el traslado de los elementos estos deben de existir ya sea dentro de la plantilla de Revit o dentro de las familias que tenga el archivo, ya que si estas no están no se podrá seguir con la importación y se generara error desde el inicio.

Como resultado se obtuvo la importación adecuada tanto de las columnas como de las vigas hablando en geometría, precisión y materiales como se observa en la Figura 60. Sin embargo, este no es el caso de los muros y losas, pero esto se debe que de por si la versión del programa que genera el ISM no las reconoce o no soporta el modelado de estas mallas.

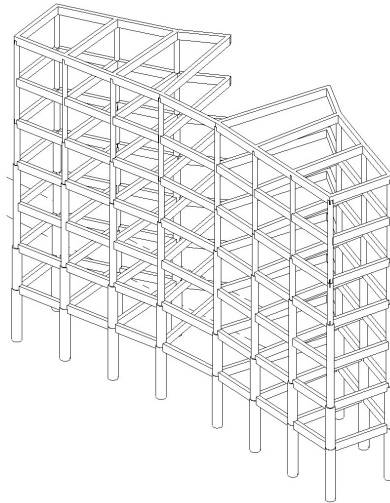


Figura 60: Resultado de interoperabilidad entre STAAD.Pro a Revit

(Fuente: Elaboración propia).

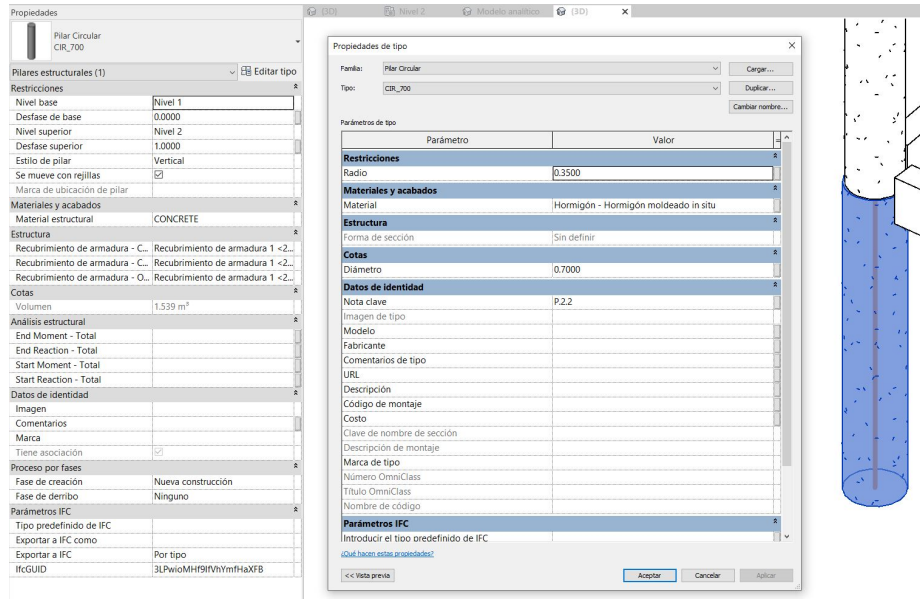


Figura 61: Resultado de interoperabilidad de materiales entre STAAD.Pro a Revit

(Fuente: Elaboración propia).

Asimismo, al importar se genera el modelo analítico de manera automática como se observa en la Figura 62, no obstante este no cuenta con las cargas definidas dentro de STAAD.Pro. El cual se puede utilizar para diversos análisis como energéticos.

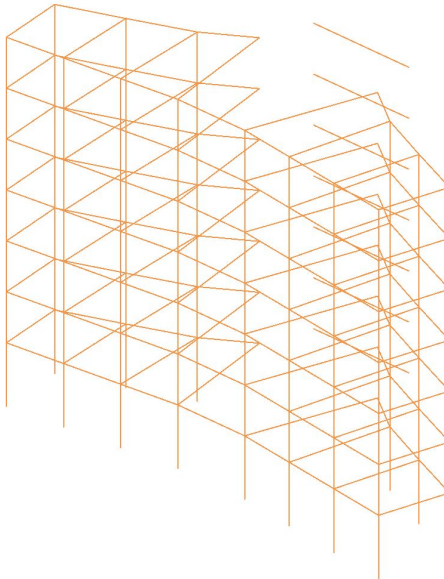


Figura 62: Resultado de interoperabilidad de modelo analítico entre STAAD.Pro a Revit

(Fuente: Elaboración propia).

Como aspectos generales de cada uno de los casos ninguno de los modelos realiza el traslado de refuerzos. Esto se cree que es por que cada programa realiza este proceso como un caso adicional de su objetivo principal. Asimismo se puede hablar sobre las ventajas y desventajas generales de la integración de *software*.

Ventajas

- Tiempo relativamente corto para el proceso de interoperabilidad
- Uso de formatos estandarizados como IFC
- Transferencia exitosa de columnas y vigas

Desventajas

- Transferencia incompleta de elementos o materiales
- En algunos casos el flujo de trabajo se vuelve complicado
- En la mayoría de los casos se deben de ajustar los datos de manera manual

Asimismo, cabe mencionar que en los casos que donde el archivo IFC sale desde el programa de Revit se puede aumentar su probabilidad de un interoperabilidad adecuada realizando modificaciones a los parámetros del IFC. Estos parámetros solamente se pueden modificar en el archivo IFC que sale del programa de Revit, ya que es el único de los tres programas que permite esto dentro de su interfaz. Estos cambios se pueden realizar desde el menú de exportación de IFC y modificar configuración. Dentro de las configuraciones que se pueden alterar son las siguientes:

- La pestaña de “General” la cual permite modificar la versión del IFC el tipo de archivo, requisitos, entre otros.
- En la pestaña de “Contenido Adicional” permite la exportación de elementos en 2D tales como notas, etiquetas, rejilla, entre otros. Además, de permitir exportar archivos IFC que se encuentran vinculados.
- En “Conjunto de Propiedades” se permite modificar la exportación con la relación de tablas de planificación, conjuntos, etc.
- En la pestaña de “Nivel de Detalle” permite ajustar el nivel de detalle con respecto a la geometría de los elementos, sin embargo esto podrá afectar el peso de los archivos.
- La pestaña de “Avanzada” permite exportar modelos sólidos, crear vistas a partir de geometría, utilizar el nombre de los elementos, entre otros.
- En “Referencia Geográfica” permite modificar aspectos que el proceso de exportación tomara en cuenta con respecto al sitio o coordenadas del proyecto.

Finalmente, se puede decir que para mejorar la integración de modelos se puede recomendar evaluar el usos de entorno comunes de datos o de visualizadores para los fallos sean menores. También se recomienda a las empresas de construcción utilizar programas que tengan una mayor capacidad de compatibilidad esto con el fin de evitar errores.

- Se realizó el análisis normativo evaluando de esta manera la normativa guatemalteca, donde se concluyó que es una normativa bastante completa a comparación de normas internacionales.
- Utilizando un edificio ubicado en Guatemala como base para el enfoque del trabajo de graduación, se logró desarrollar un modelo estructural en los *software* de STAAD.Pro y CYPECAD. Utilizando dichos programas se obtuvo como resultado un modelo tridimensional el cual se ingresaron valores de dimensiones, propiedades y materiales para tener así un modelo BIM y una base de datos para la comparación entre programas.
- Tomando en cuenta los valores sismorresistentes se crearon modelos tridimensionales para el análisis sísmico, el cual dio como resultado valores satisfactorios con respecto a valores estáticos y dinámicos en comparación con los valores teóricos, teniendo un porcentaje de error menor al 2%.
- Luego de establecer una metodología de trabajo para el proceso de modelado y de interoperabilidad se concluye que el uso de varios programas dentro del ámbito de construcción permite tener varios modelos y compararlos entre ellos mismo; sin embargo, cada uno de los programas presenta su dificultad y curva de aprendizaje. A pesar de no tener resultados satisfactorios al 100% se puede concluir que el programa estructural con mejor desempeño es STAAD.Pro. Esto se debe a la capacidad de importar los datos de materiales, propiedades, modelo analítico, entre otros, al igual que su flexibilidad para el usuario y adaptarse a una mayor personalización.

- Para futuros estudios, se recomienda ajustar el flujo de trabajo para el proceso de interoperabilidad donde se incluya un CDE en el cual se pueda analizar el desempeño de los programas y su compatibilidad.
- Debido a la cantidad de programas que se encuentran dentro del mercado, se recomienda seguir analizando el desempeño de diversos *software* para incrementar el estudio y tener una mejor percepción de cuál es el que mejor se adapta para el usuario.
- A razón de que Guatemala utiliza no solamente el concreto reforzado para la realización de estructuras se recomienda para futuros estudios utilizar estos programas para evaluar el desempeño de edificaciones más complejas ya sea con elementos curvos o con voladizos o de diversos materiales ya sea acero o madera. Esto con la finalidad de analizar los elementos al momento de realizar la interoperabilidad y análisis sísmico.
- Para futuras investigaciones, se recomienda profundizar el análisis sismo-resistente por medio del uso de coeficientes y factores de diseño de sistemas que otorga la NSE 3; asimismo, ejecutar análisis de elementos más complejo como deflexiones, esfuerzos de columnas, columna fuerte viga débil, entre otros.
- Para usos prácticos dentro de la ingeniería civil arquitectónica se recomienda la búsqueda de programas con una mayor compatibilidad al momento de exportado e importado de datos donde no solo se obtenga los modelos tridimensionales sino que tampoco se pierdan las bases de datos que estos mismo contengan.

- AGIES. (2020a). *NSE 2 Demandas estructurales y condiciones de sitio*. <https://www.agies.org/wp-content/uploads/2020/08/15072020-NSE-2-2018-Demandas-estructurales-y-condiciones-de-carga.pdf>
- AGIES. (2020b). *NSE 3 Diseño estructural de edificaciones*. <https://www.agies.org/wp-content/uploads/2018/08/NSE-3-2018-Diseno-estructural-de-edificaciones.pdf>
- American Concrete Institute. (s.f.). About ACI. <https://www.concrete.org/aboutaci.aspx>
- American Concrete Institute. (2018). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14).
- Bentley. (s.f.). STAAD Software De Análisis Y Diseño Estructural 3D.
- Bolivar, I., Calvo, J., Candelario, A., Cerdán, A., Chaur, J., & et al. (2021). MANUAL DE NOMENCLATURA DE DOCUMENTOS AL UTILIZAR BIM.
- Building Smart. (s.f.). openBIM. <https://www.buildingsmart.org/about/openbim/>
- Building Smart. (2021). Introducción a la serie EN ISO 19650. *Introducción a la serie EN ISO 19650n*, 9-10.
- BuildingSMART. (s.f.-a). ¿Qué es BIM? <https://www.buildingsmart.es/bim/qu%C3%A9-es/>
- BuildingSMART. (s.f.-b). Clases básicas de la industria (IFC). <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>
- BuildingSMART. (2023). *Roles en organizaciones y proyectos que utilizan BIM*. <https://www.buildingsmart.es/recursos/roles-en-organizaciones-y-proyectos/>
- Calvo, J., García Montesinos, J., Madruga, L. M., Bolivar, I., & et al. (2021). INTRODUCCIÓN A LA SERIE EN ISO 19650. <https://www.buildingsmart.es/recursos/en-iso-19650/>
- CYPE. (s.f.). ESTRUCTURAS CYPECAD: CYPE 3D · MUROS EN MÉNSULA · MUROS PANTALLA · MARCOS.
- Cype. (2023). *¿Cuáles son las diferencias entre análisis estático y dinámico?* <https://www.cype.pe/blog/cuales-son-las-diferencias-entre-analisis-estatico-y-dinamico/>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). *BIM Handbook*. John Wiley Sons, Inc.

- Econova. (2021). Programas BIM más Usados. <https://econova-institute.com/programas-bim-mas-usados/>
- Eseverri, A. E. (2019). OPEN BIM, QUÉ ES. <https://www.espaciobim.com/open-bim>
- European Commission. (2004). European interoperability framework for pan-european eGovernment services. <https://joinup.ec.europa.eu/sites/default/files/custom-page/attachment/2021-11/EIF%20V1.0.pdf>
- GlobalBIM. (2023). Sitio web de la Asociación Guatemalteca de Estándares BIM. <https://www.globalbim.org/es/info-collection/sitio-web-de-la-asociacion-guatemalteca-de-estandares-bim/>
- Gobierno de Argentina. (2022). *Concepto elemental para interpretar los efectos de un terremoto en las construcciones y en los objetos*. <https://www.argentina.gob.ar/inpres/ingenieria-sismorresistente/nociones-de-ingenieria-sismorresistente#:~:text=Se%20entiende%20por%20Construcci%C3%B3n%20Sismorresistente,acciones%20provocadas%20por%20el%20sismo.>
- Instituto Geográfico Nacional. (s.f.). *Sismología*. <https://www.ign.es/web/sis-teoria-general#:~:text=De%20estas%20ondas%20existen%20dos,cient%C3%ADficos%20ingleses%20del%20siglo%20XIX.>
- ISO19650-1. (2018). Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling) Gestión de la información al utilizar BIM (Building Information Modelling) Parte 1: Conceptos y principios.
- Lacaze, L. (2020). Encuesta BIM América Latina y el Caribe 2020. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Encuesta-BIM-America-Latina-y-el-Caribe-2020.pdf>
- M. (2021). DE 0 A 3 ¿QUÉ SON LOS NIVELES DE MADUREZ BIM? <https://bimanagement.co/2021/05/13/de-0-a-3-que-son-los-niveles-de-madurez-bim/>
- McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2018). Diseño de concreto reforzado 10a Edición.
- Muñoz, S. (2021). Seguridad de la Información. <https://www.buildingsmart.es/2021/03/11/seguridad-de-la-informaci%C3%B3n/>
- Ortega, A. S. (2020). ¿Qué es la Buildng smart basada en la tecnología BIM? <https://www.espaciobim.com/bim>
- Oxlade, S. (2023). Qué es Open BIM. <https://www.buildingsmart.org/about/openbim/openbim-definition/>
- Picó, E. C. (2008). Introducción a la tecnología BIM.
- Seys. (2018). Infografía: ¿Qué es BIM y cuál es la historia del Building Information Modelling? <https://seystic.com/bim-la-historia-del-building-information-modelling/>
- Sisternes García, Á. (2023). Nivel de Desarrollo (LOD) en BIM: ¿Qué es y por qué es importante. [https://retokommerling.com/nivel-desarrollo-lod-bim/#:~:text=el%20modelado%20BIM%3F-,%C2%BFQu%C3%A9%20es%20el%20Nivel%20de%20Desarrollo%20\(LOD\)%20y%20qu%C3%A9,particular%20en%20el%20modelado%20BIM.](https://retokommerling.com/nivel-desarrollo-lod-bim/#:~:text=el%20modelado%20BIM%3F-,%C2%BFQu%C3%A9%20es%20el%20Nivel%20de%20Desarrollo%20(LOD)%20y%20qu%C3%A9,particular%20en%20el%20modelado%20BIM.)
- Sisternes García, Á. (2023). OpenBIM vs closed BIM: ¿Qué es más adecuado para tu proyecto? <https://retokommerling.com/openbim-vs-closed-bim/>
- S.Ortega, B. (2018). *COBIE (QUÉ ES) MÁS QUE GESTIÓN DE ACTIVOS BIM*. <https://www.espaciobim.com/cobie>
- Tarback, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra*. Pearson Educación S.A.

The Computer Integrated Construction Research Program an The Pennsylvania State University. (2010). BIM operate construct design plan. https://www.engr.psu.edu/ae/cic/bimex/downloads/guide/bim_pxp_guide-v2.0.pdf

Weygant, R. S. (2011). BIM Content Development: Standards, Strategies, and Best Practice.

13.1. Modelado en Revit

El modelado en programa de Revit, se comenzó creando un nuevo proyecto el cual se realizó por medio de una plantilla estructural. Luego de crear el archivo se verificó las unidades del proyecto, esto se realizó con el comando UN.

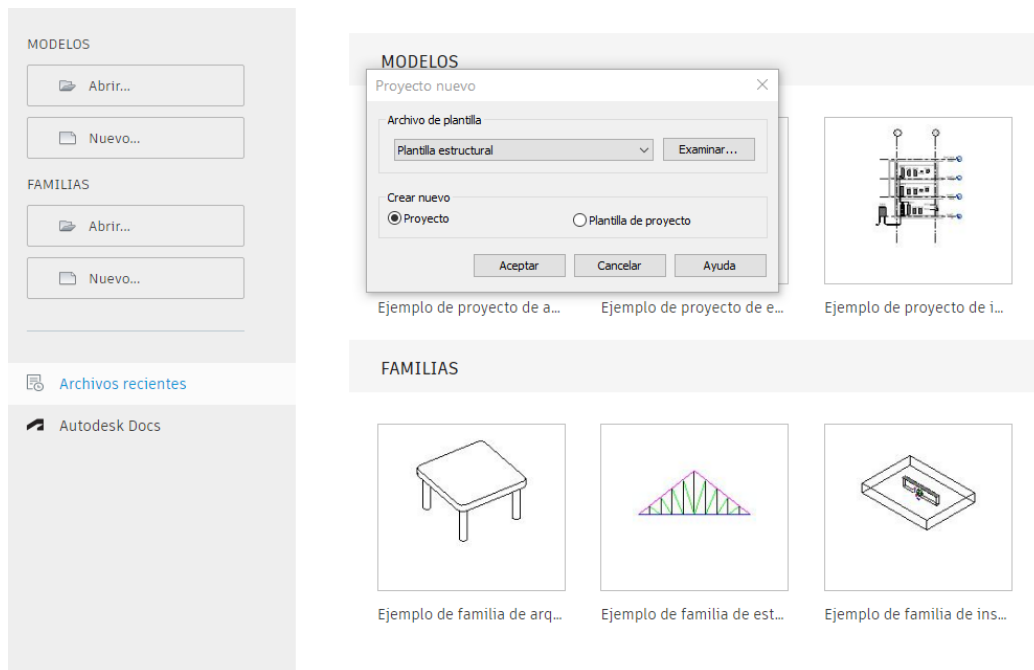


Figura 63: Creación de archivo

(Fuente: Elaboración propia).

Una vez revisadas las unidades se pasó a crear los niveles necesarios para el proyecto. Esto se realizó desde una vista de elevación las cuales se encontraran en el navegador del proyecto. Para copiar los niveles se seleccionó el nivel para luego con el comando “CO” o el panel de modificar y la opción de copiar, duplicarlos a la distancia deseada. Se debe tomar en cuenta que es aquí donde se colocan las alturas de los niveles.

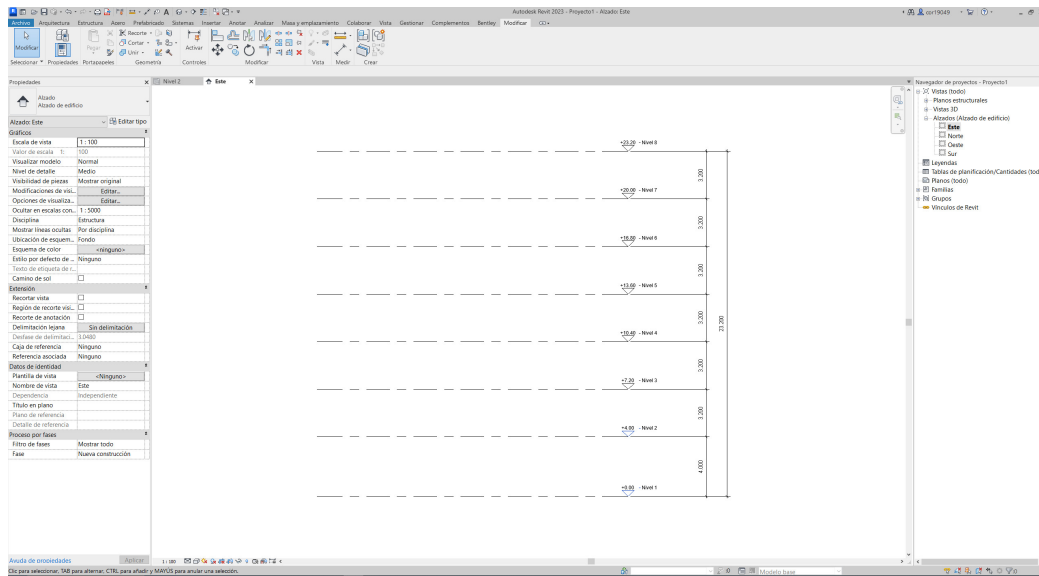


Figura 64: Creación de niveles

(Fuente: Elaboración propia).

Luego de esto se crearon los ejes para iniciar a modelar. Estos se deben de colocar en una vista en planta del nivel 01, esta se encuentra en el navegador del proyecto dentro de la carpeta de planos. Después de estar ubicados en la vista adecuada, se debe de dirigirse al panel de arquitectura para buscar apartado de referencias las rejillas. Se debe de colocar dentro el área de trabajo con un clic izquierdo para iniciar y otro para finalizar. Al terminar de dibujar un eje se copiará de la misma manera que se realizó con los niveles.

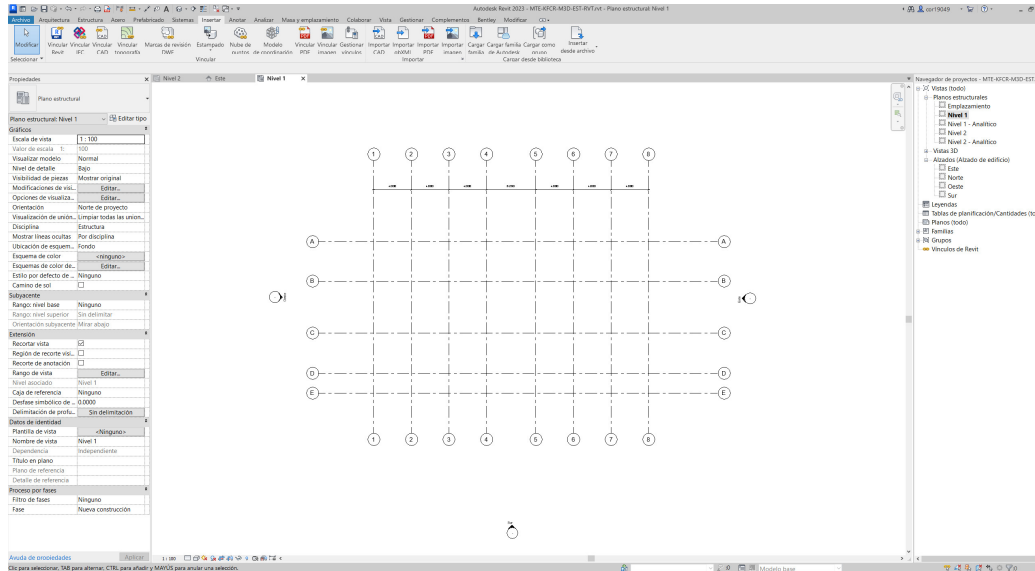


Figura 65: Creación de ejes

(Fuente: Elaboración propia).

Como siguiente punto, dentro de la vista de planta del nivel 01 se inició a modelar el edificio con las columnas. Para ello se debe de seleccionar el panel de estructuras y luego la opción de pilar. Al estar seleccionado los pilares se colocarán con un clic dentro del área de trabajo, pero antes de ellos se deben de crear las familias de los tipo de pilares que se utilizaran. Para crear los nuevos parámetros dentro la sección de propiedades de presionara el botón de editar tipo. Aquí se desplegará una ventana donde se duplicará la familia existen y se modificaran sus dimensiones y criterios. Este paso se repetirá hasta tener todas las dimensiones necesarias.

Dentro de la misma ventana que se desplegó con anterioridad se creó el material a utilizar. Este se hizo dando clic en el criterio material. Aquí mismo se desplegara un nuevo menú para crear materiales o duplicar el material existente, queda a criterio del usuario que opción utilizar. Es importante mencionar que es aquí donde se modifican los aspectos físicos del material desde la densidad, esfuerzos, propiedades mecánicas entre otros. Este paso es importante realizar, ya que son valores que se evaluarán en la etapa de interoperabilidad más adelante.

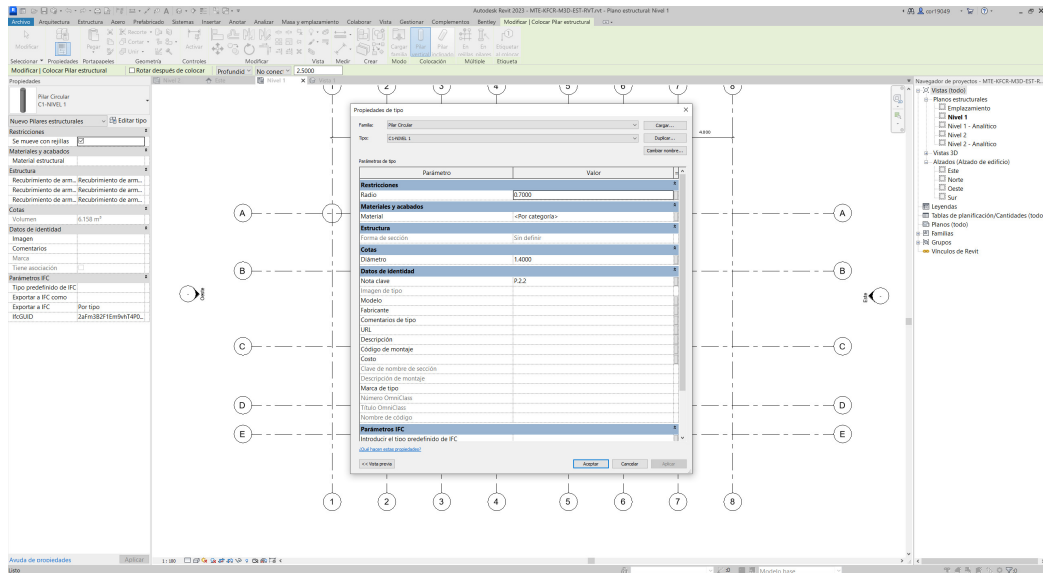


Figura 66: Creación de columnas

(Fuente: Elaboración propia).

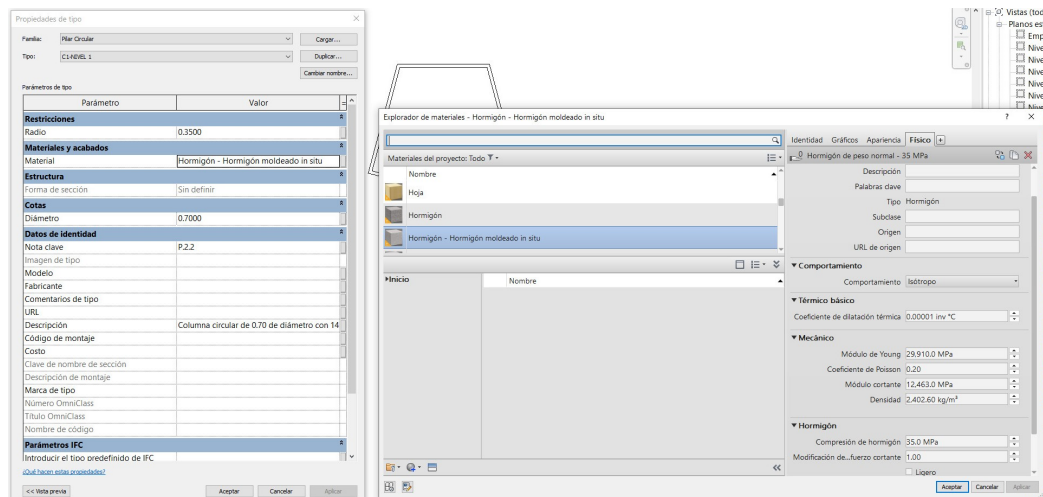


Figura 67: Creación de materiales

(Fuente: Elaboración propia).

Luego se crearon todas las familias de los demás elementos utilizando el procedimiento de columnas pero respectivamente a vigas y muros. Se deberán de colocar estos mismos en los lugares deseados del nivel 01. Posteriormente a esto se seleccionaron todos los elementos de la planta para copiarlos y pegarlos en los niveles vacíos. Para realizar esto se debe de dirigirse al panel de modificar y en el apartado de portapapeles se deberán copiar y luego pegar con los niveles seleccionados.

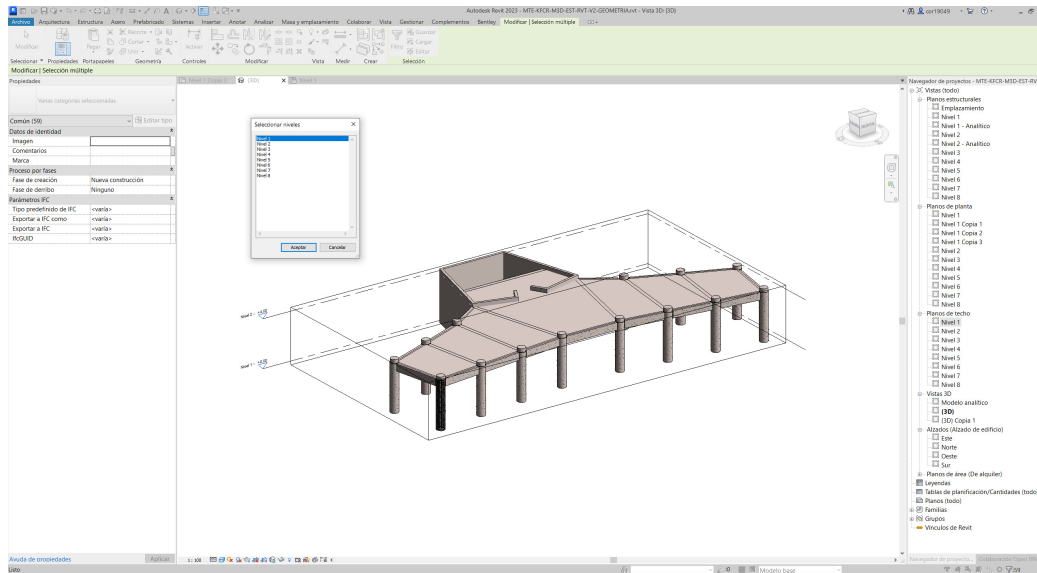


Figura 68: Copiado y pegado del nivel 01

(Fuente: Elaboración propia).

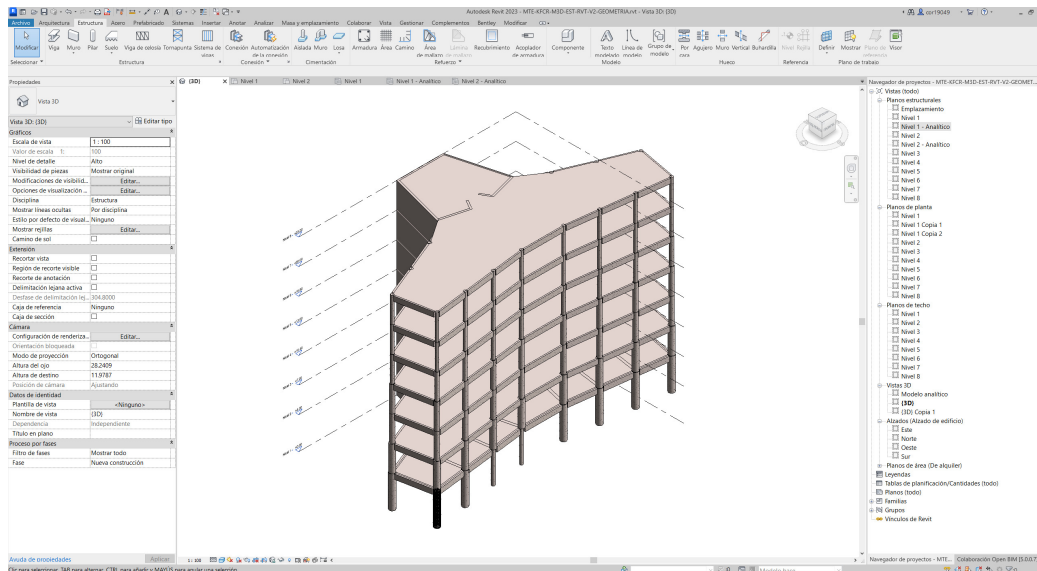


Figura 69: Modelo 3D de todos los niveles

(Fuente: Elaboración propia).

Con fines de investigación se realizó el procedimiento del modelado de refuerzo estructural. Esto se elaboro desde el panel de estructuras y en el apartado de refuerzo. Se inició creando el recubrimiento según el tipo de elemento, luego se seleccionó la opción de armadura y se escogió el mejor para el tipo.

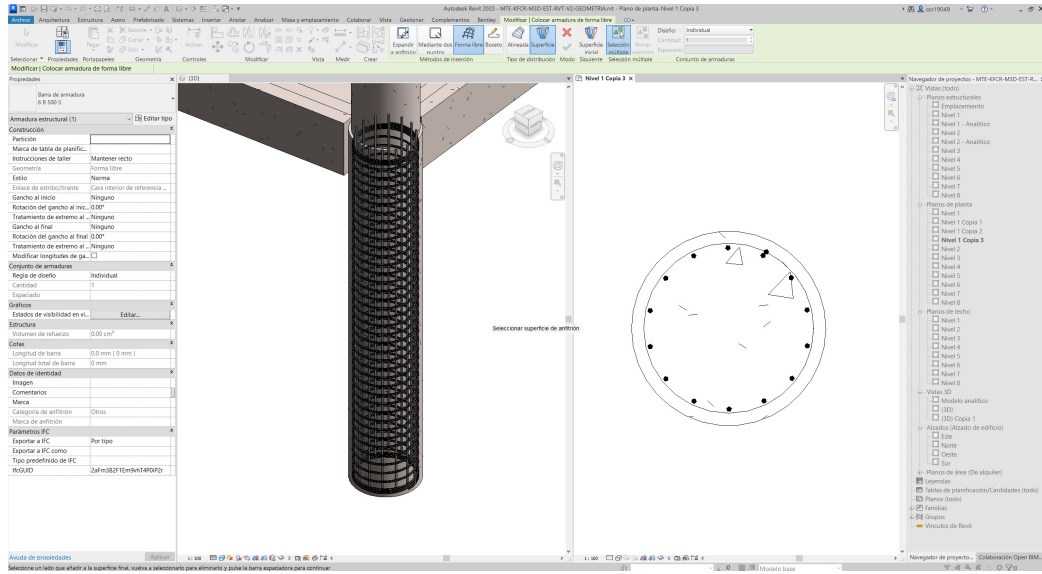


Figura 70: Modelado del refuerzo estructural

(Fuente: Elaboración propia).

Al finalizar el modelo geométrico se realizó un modelo analítico, para ello se seleccionó el panel de analizar y el apartado de automatización analítica. Donde se desplegó un panel donde se seleccionó la opción de “físico a analítico para edificio” y ejecutar como se muestra en la Figura 71. Finalmente, se obtuvo como resultado la Figura 72.

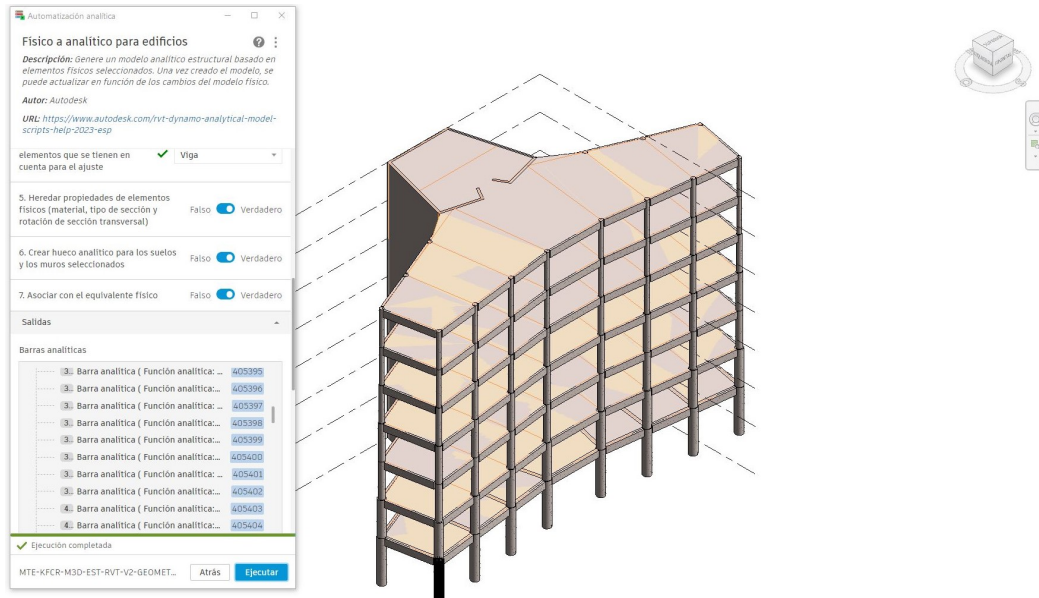


Figura 71: Creación de modelo analítico

(Fuente: Elaboración propia).

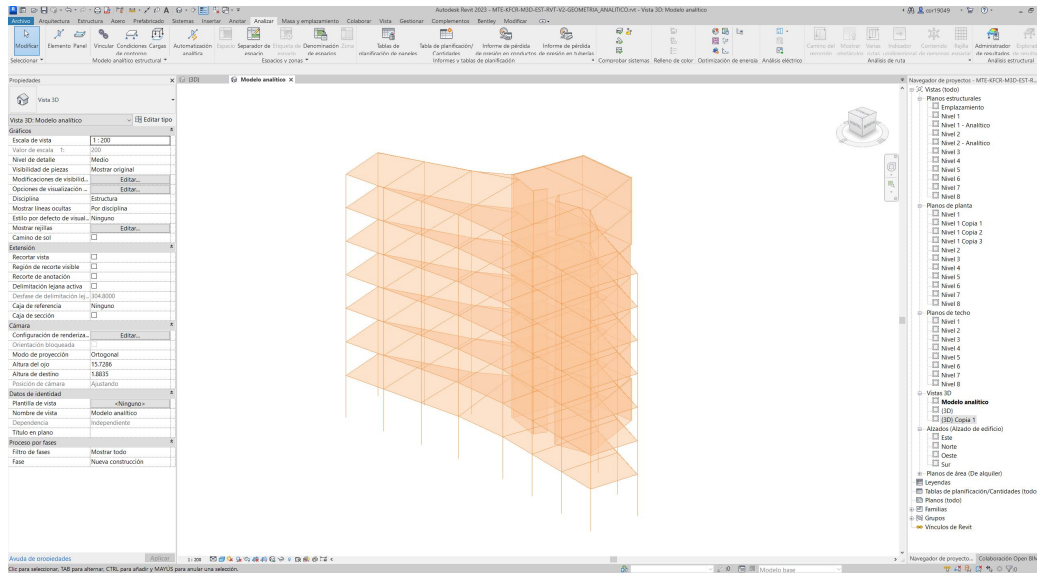


Figura 72: Modelo analítico en 3D

(Fuente: Elaboración propia).

Finalmente, se colocaron los soportes en las columnas y los muros en la opción de condiciones de contorno donde se seleccionó un estado empotrado.

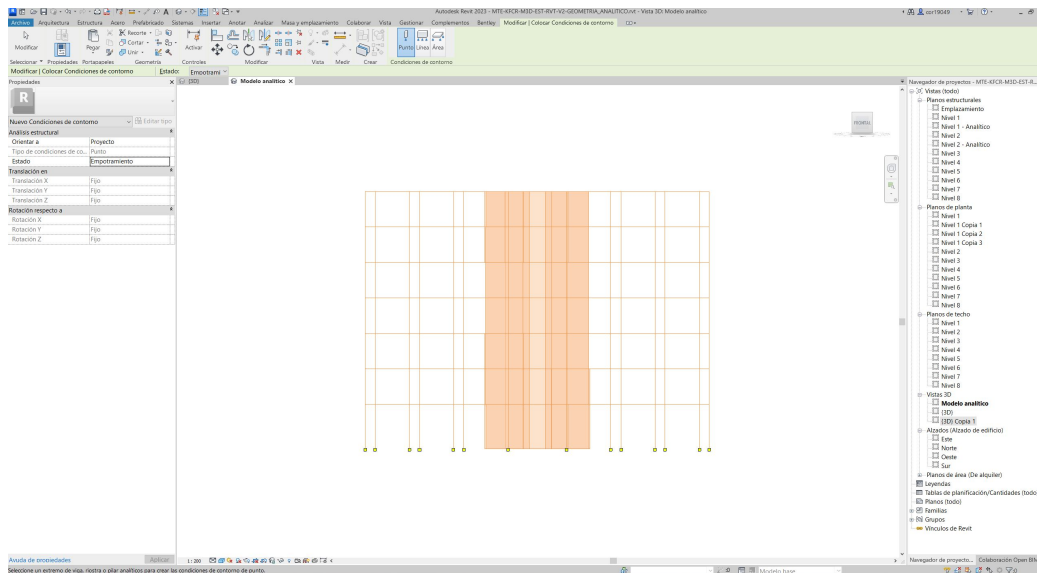


Figura 73: Soporte de elemento en el modelo analítico

(Fuente: Elaboración propia).

13.2. Modelado en CYPECAD

El modelado de CYPECAD, se comenzó creando un archivo nuevo; en este archivo se colocó los datos generales del archivo como nombre, descripción, visibilidad, tipo de proyecto, entre otros. Después, de esto se seleccionó el tipo de archivo de “Obra vacía”.

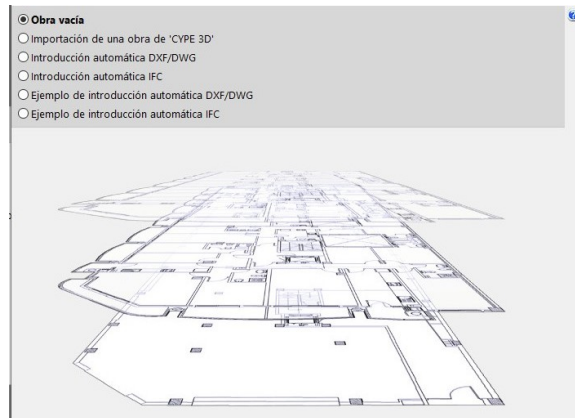


Figura 74: Tipos de archivos

(Fuente: Elaboración propia).

Posteriormente, el programa abrió una ventana de datos generales donde se especificó los parámetros a utilizar. Para fines de investigación se colocó que se utilizaría la normativa ACI 318-14 para el concreto reforzado. Asimismo, se colocaron los valores mecánicos del concreto y del acero para refuerzo.

Figura 75: Datos generales del proyecto

(Fuente: Elaboración propia).

Para iniciar el proceso de modelado en la parte inferior de la pantalla se seleccionó la carpeta llamada “Entrada de columnas” donde posteriormente se utilizó la opción de “Introducción” y “Planta/grupos” la cual se encuentra en la parte superior de la barra de herramientas. Esta opción permite crear los niveles deseados dentro del proyecto los cuales se pueden agrupar o no dependiendo la comodidad del usuario. Cabe recalcar que en dicha ventana también se debe de ingresar los valores de las cargas sobrepuestas tanto de cargas vivas como muerta. Sin embargo, si se desea ingresar cargas puntuales estas se deben de colocar desde la “Entrada de vigas” y en la barra de herramienta de cargas.

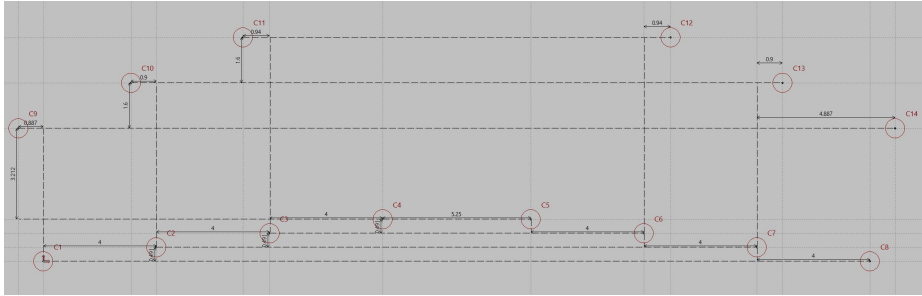


Figura 78: Planta de columnas

(Fuente: Elaboración propia).

Luego de colocar las columnas en la planta se crearon los demás elementos estructurales. Para ello es necesario cambiarse de carpeta en la parte inferior de la pantalla seleccionando la carpeta llamada “Entrada de vigas”. En el caso de las vigas se crearon por medio de la opción de vigas y entrada de viga. En este punto podrá elegirse el tipo de viga que se desea colocar y sus valores tanto de ancho como de peralte. Estas se colocaron en el centro de la columnas por medio de un clic izquierdo. Este último paso se realizó para todas las vigas del nivel 01 y de niveles posteriores. Para hacer cambio de niveles dentro del programa se deben de utilizar las flechas ubicadas en la barra de herramientas de la parte superior.

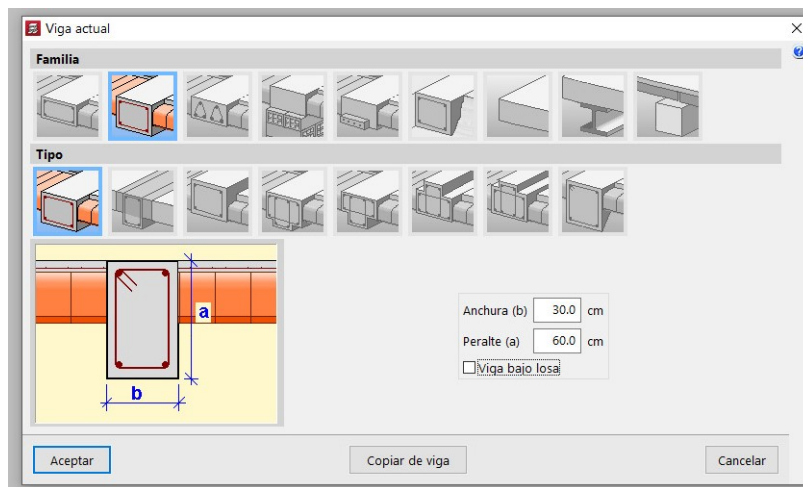


Figura 79: Creación de tipo de vigas

(Fuente: Elaboración propia).

Por otro lado, para la creación de de los muros de concreto reforzado se debe de seleccionar la opción de “Muros”, “Entrar muro” y “Muro de concreto reforzado”. Luego de esto se abrirá una nueva ventana donde se podrán modificar los parámetros deseados. Dentro las características se pueden modificar es hasta donde llegara el muro, su grosor, su cimentación, entre otros. Al dar clic en el botón de “Aceptar” se podrán colocar dentro la vista de trabajo.

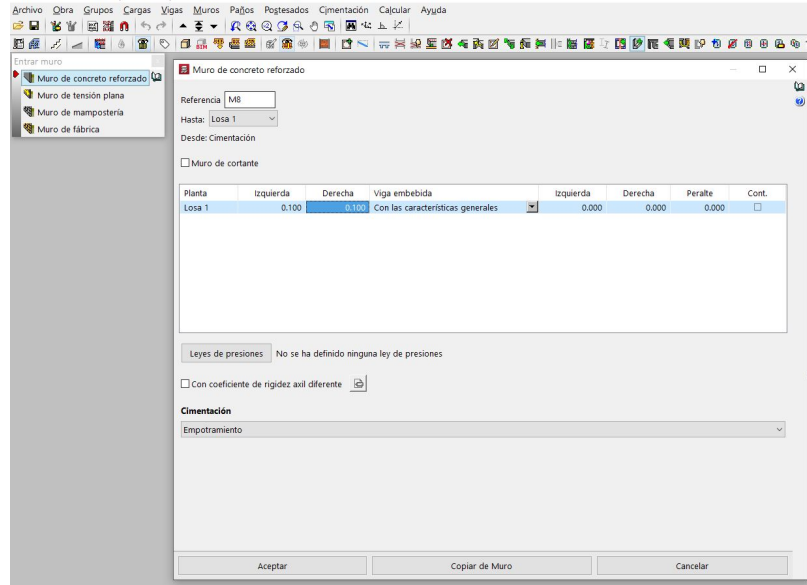


Figura 80: Creación de muros

(Fuente: Elaboración propia).

Finalmente, como último elemento a modelar pero no menos importante se encuentran las losas que se realizaron de forma muy similar que las vigas solamente que ahora se seleccionó la opción de paños, “Gestión de losas” y “Entrar losa”. Es importante revisar el tipo de losa que se estará utilizando, ya que el programa cuenta con una alta variedad; para este proyecto se seleccionó el apartado de lo “Losas macizas”. Asimismo, se deben de indicar los espacios vacíos como lo son los huecos. Este proceso es similar a la de las losas solamente que ahora se selecciona dentro de paños la opción de introducir hueco.

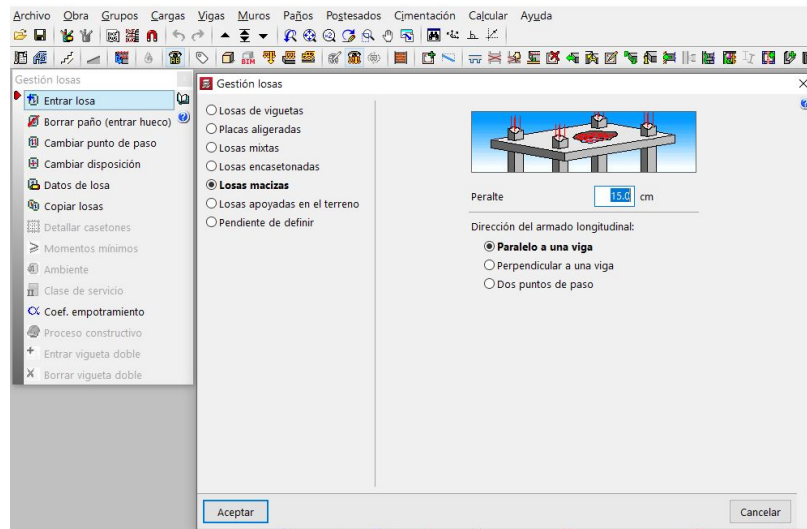


Figura 81: Creación de losas

(Fuente: Elaboración propia).

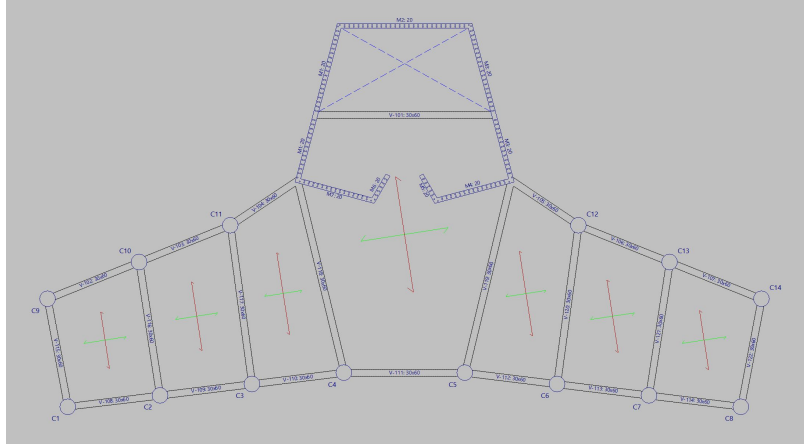


Figura 82: Vista en planta

(Fuente: Elaboración propia).

Después de finalizar el proceso de modelado se puede visualizar el proyecto por medio de una vista tridimensional, para acceder a dicha vista se debe seleccionar dentro de la barra de herramientas la opción de “Vista 3D del edificio” la cual se abrirá en una nueva ventana. En dicha ventana además de contar con un modelo en 3D se podrá visualizar de manera más fácil que todos los elementos estén ubicados en el área deseada al igual que todos tengan un material asignado.

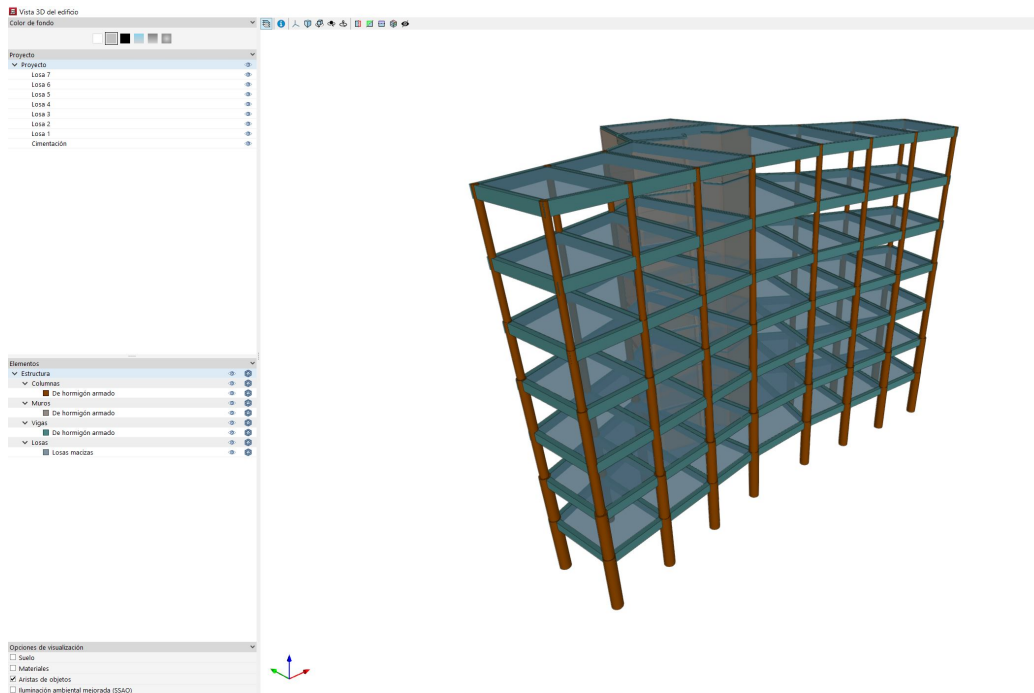


Figura 83: Modelo 3D por CYPECAD

(Fuente: Elaboración propia).

Finalmente, se debe de ingresar los aspectos sísmicos. Estos se ingresan seleccionando la opción de “Obra” y luego “Datos generales” aquí se abrirá una nueva ventana la cual es idéntica a la Figura 75. Posteriormente se seleccionó la opción de “Con acción sísmica” donde abrirá otra ventana y se colocó en el lado izquierdo el país donde esta ubicado el proyecto. Para el caso del proyecto evaluado se seleccionó “Guatemala” al momento de hacer dicho proceso los campos del lado derecho se complementaran de manera automática, los cuales se deben de verificar para evitar errores.

Figura 84: Parámetro sísmicos

(Fuente: Elaboración propia).

Ya con todo esto se podrá correr el programa desde la opción de calcular y solicitar diversos resultados que el programa realiza. Para la solicitud de resultados se debe de seleccionar el botón ubicado en la parte superior derecha llamado “Listados” donde se abrirá una nueva ventana como se muestra en la Figura 85. Por ejemplo si se desea ver los resultados sísmicos se deberá de seleccionar la opción de “Justificación sísmica”.

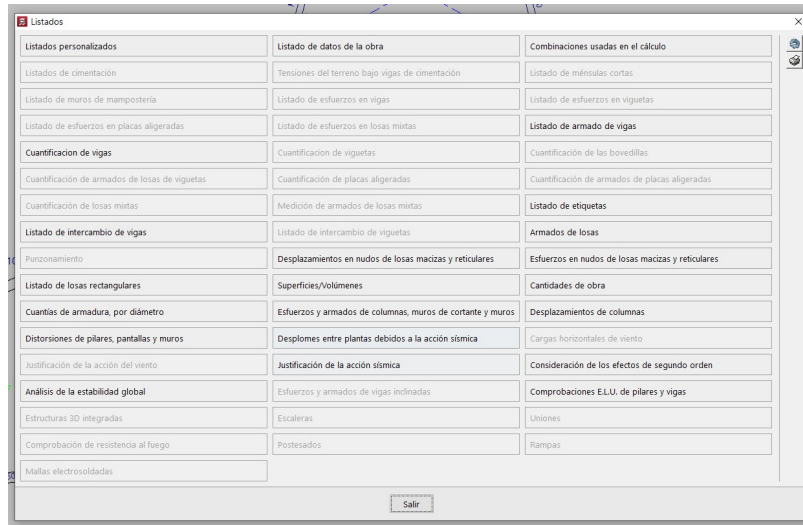


Figura 85: Listados de CYPECAD

(Fuente: Elaboración propia).

13.3. Modelado en STAAD.Pro

El modelado en STAAD.Pro, se inició con la configuración general del programa esta se encuentra en lado izquierdo de la pantalla en la sección “*Configure*”. Aquí se definió el sistema métrico; el eje global, el cual se recomienda utilizar el eje “Y up” para que no se pierdan opciones del programa; las normativas a que se utilizaron; entre otros. Luego de esto se creó el archivo nuevo en la opción de “*New*” seleccionando la opción de “*Analytic*”.

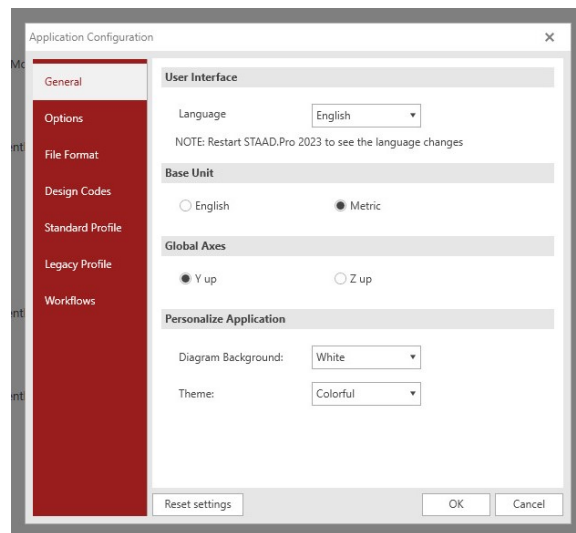


Figura 86: ConFiguración general del programa

(Fuente: Elaboración propia).

El programa de STAAD.Pro trabaja principalmente por medio de puntos los cuales se denominan “Nodes” estos dependen de un valor en el eje Y, Z y X. El modelado se empezó con la geometría para esto se debe estar en la página del flujo de trabajo llamada “Geometry”. Luego se colocaron las coordenadas de los puntos en el panel superior derecho, estos estarán colocándose de manera automática en la vista de trabajo. Para este caso de estudio como las plantas son típicas se permitirá generar solo “Nodes” los inferiores, ya que se duplicaran en diversas alturas para facilitar el trabajo. Para copiar estos puntos se deben de seleccionar y luego ubicarse en el panel “Geometry” y en el apartado “Structur”; aquí se seleccionara el botón de “Translational Repeat” lo que permitirá colocar la distancia y la cantidad de veces que se desea repetir los datos según el eje deseado.

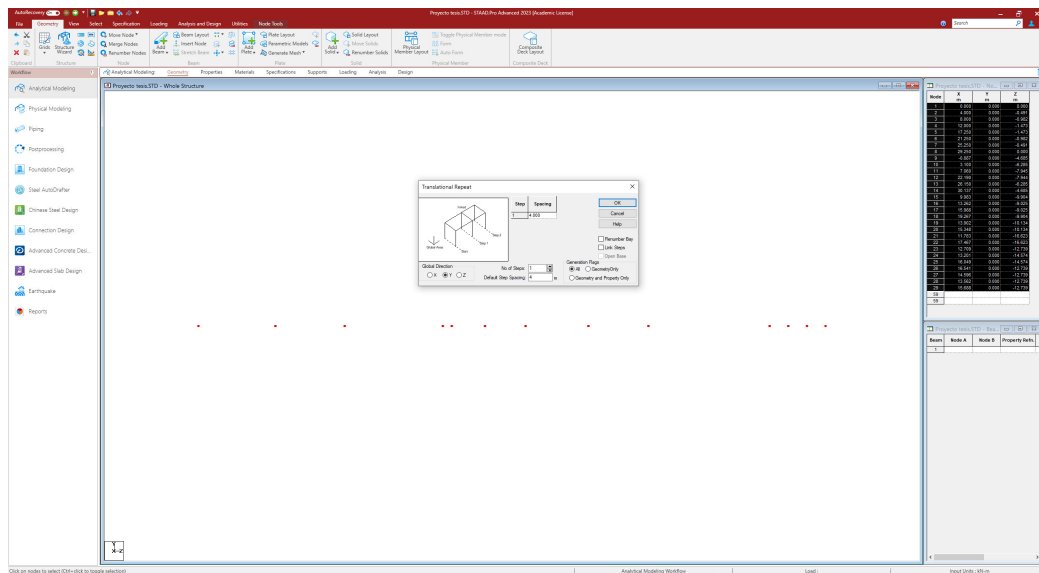


Figura 87: Duplicar los nodos

(Fuente: Elaboración propia).

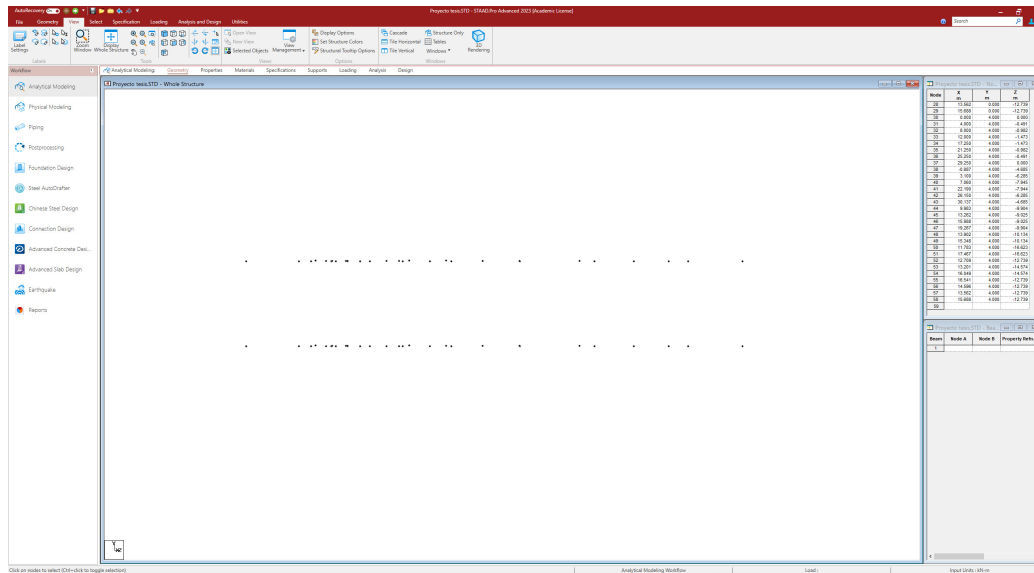


Figura 88: Vista de nodos

(Fuente: Elaboración propia).

Al finalizar el copiado de los “Nodes” del nivel 01 se comenzó a colocar los elementos tanto vigas como columnas los cuales el programa define como “Beam”. Este paso se realizó en el panel inferior derecho de la pantalla colocando de que nodo a que nodo se dirige el elemento sin importar si es viga o columnas. Esto permite generar el esqueleto del nivel 01. Seguidamente, se crearon los muros y las losas. Para el caso de los muros se crearon desde el panel de “Geometry” y el apartado “Plate” utilizando la opción de “Parametric Models”. Es importante tomar en cuenta que para realizar este tipo de malla se debe de seleccionar los nodos según las agujas del reloj para evitar problemas al correr los programas. Asimismo, se deben de definir el tipo de malla que se va utilizar y el espaciado entre punto a punto.

Por otro lado, se deben de generar las mallas que representaran las losas. Para ellos se sigue la misma ruta que los muros, sin embargo la última opción que se selecciona es “Generate Mesh”. Al igual que las mallas de los muros se deben de realizar a favor de las agujas del reloj. Cabe recalcar que se utiliza el modelado tipo malla y no un modelado sólido para que la carga se distribuya de manera más real dentro del programa.

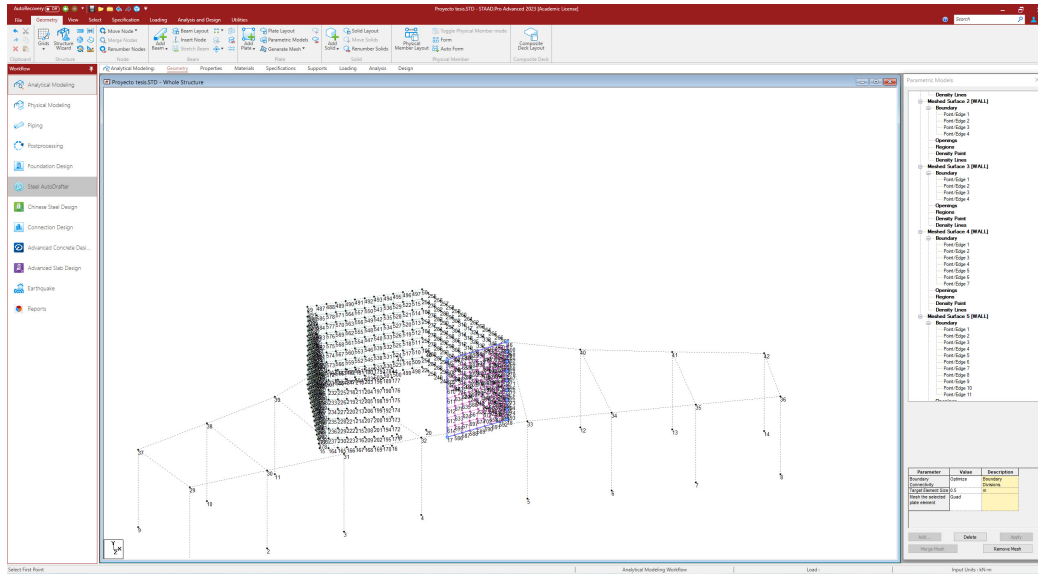


Figura 89: Modelado de muros

(Fuente: Elaboración propia).

Luego de modelar cada uno de los elementos se deberán de asignar sus propiedades de materiales. Para ellos nos dirigimos a la pestaña en el flujo de trabajo llamada “*Properties*”. Al abrir esta pestaña se notará que los paneles del lado derecho cambian con respecto el panel del “*Geometry*”. Para crear los materiales nuevos se debe de utilizar el panel inferior derecho en las opciones de “*Databases*”. Para el caso de este proyecto se crearon las propiedades utilizando el botón de “*Prismatic*” y “*Thickness*”. Finalmente, se asignarán los valores ya sea por medio de vista o por número de “*Beam*”. Para facilitar este proceso se pueden utilizar grupos los cuales se crean en el panel superior de “*Utilities*”.

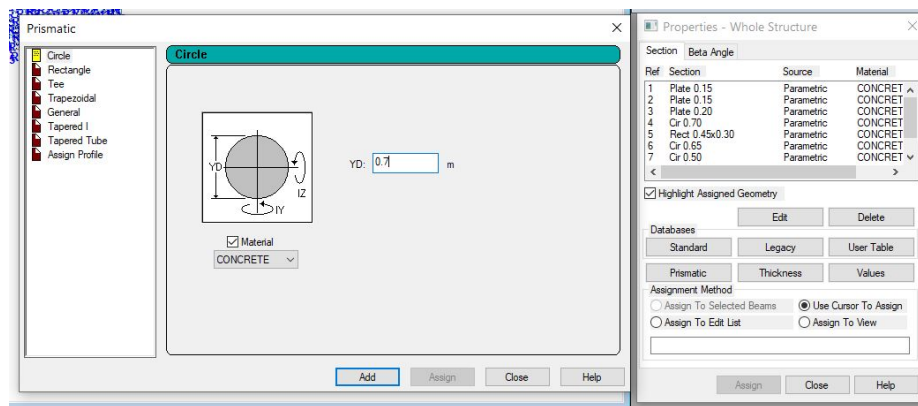


Figura 90: Creación de propiedades

(Fuente: Elaboración propia).

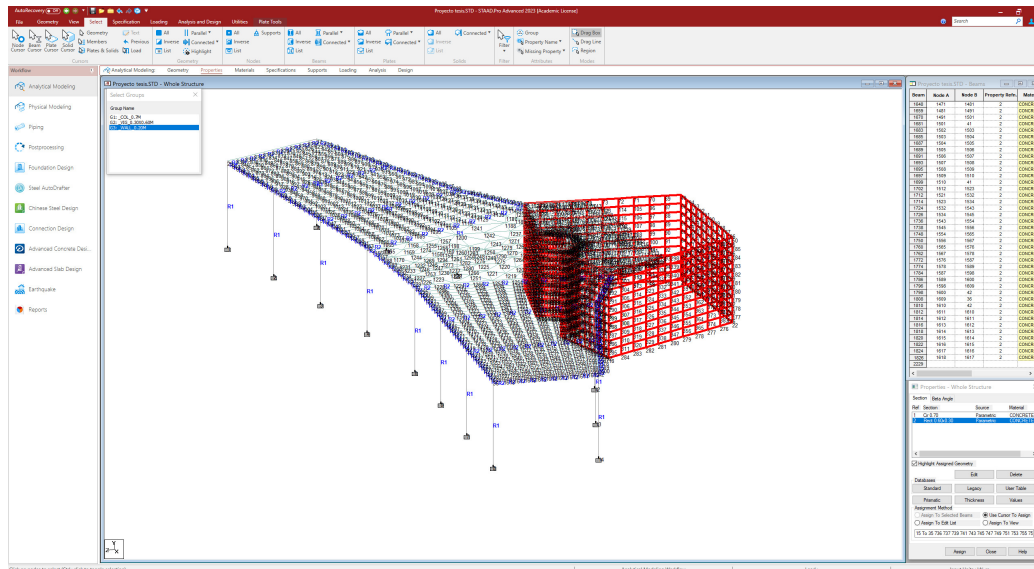


Figura 91: Asignación de propiedades

(Fuente: Elaboración propia).

Todo este procedimiento se realizó nuevamente para el nivel 02. Luego de terminar el nivel 02 se duplicó utilizando “*Translational Repeat*”. Seguidamente, se crearon los soportes para el modelo. Estos se crearán en la pestaña “*Support*” ubicada en el flujo de trabajo. Donde se definió un soporte empotrado para cada uno de los puntos que representan la base de las columnas y de los muros, como se observa en la Figura 93.

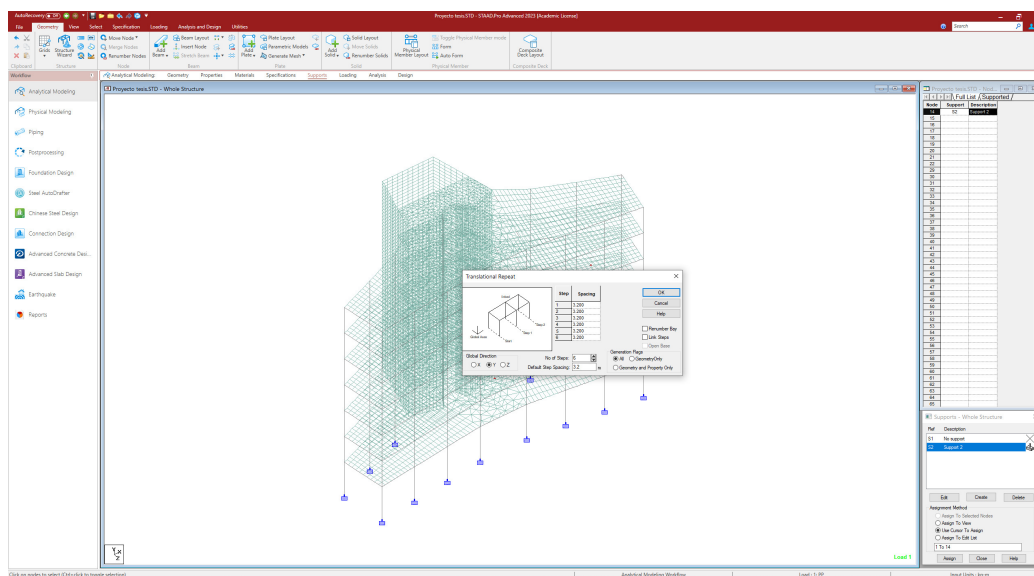


Figura 92: Copiar los elementos para los demás niveles

(Fuente: Elaboración propia).

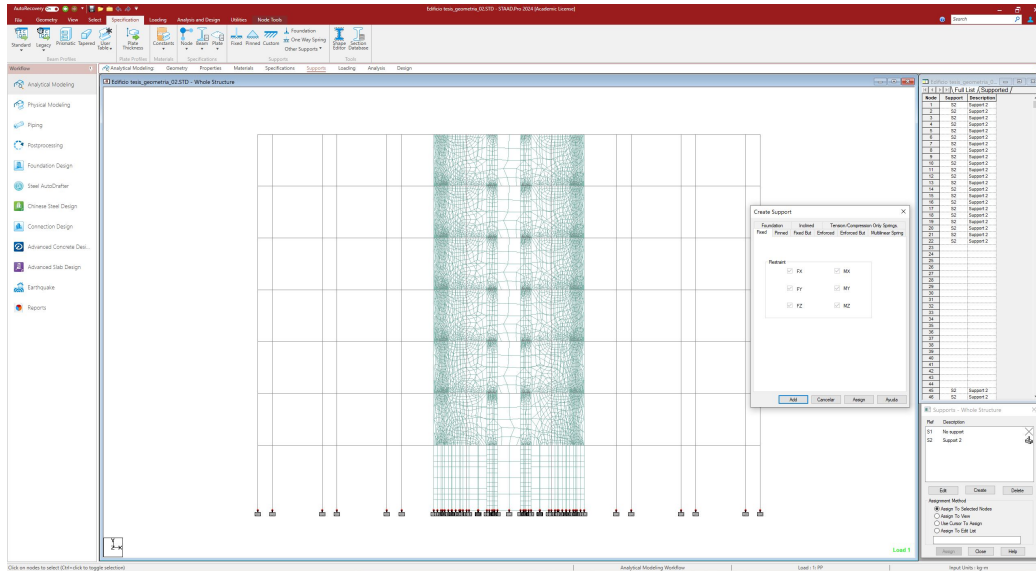


Figura 93: Tipo de soporte de la base

(Fuente: Elaboración propia).

Para terminar con el modelado es necesario verificar en una vista 3D la colocación de los elementos que el programa realiza, ya que se recomienda que el modelo debe ser lo más realista posible lo que genera que se deban de alinear elementos de ser necesario; esto con la finalidad de evitar errores. Para el caso del proyecto se prosiguió a corregir la posición de las vigas como se muestra en la Figura 94. Este paso se realizó desde el panel de “specifications” en la opción de “beams” y luego “offset”. Al seleccionar la opción se despliega una ventana como se observa en la Figura 95 la que permite crear el valor que se desea bajar o subir el elemento. Cabe recalcar que para este paso es necesario crear un valor para el inicio del elemento y repetir el proceso para el final del elemento. Después de asignar los elementos que se desean mover se obtendrán resultados como se muestra en la Figura 96.

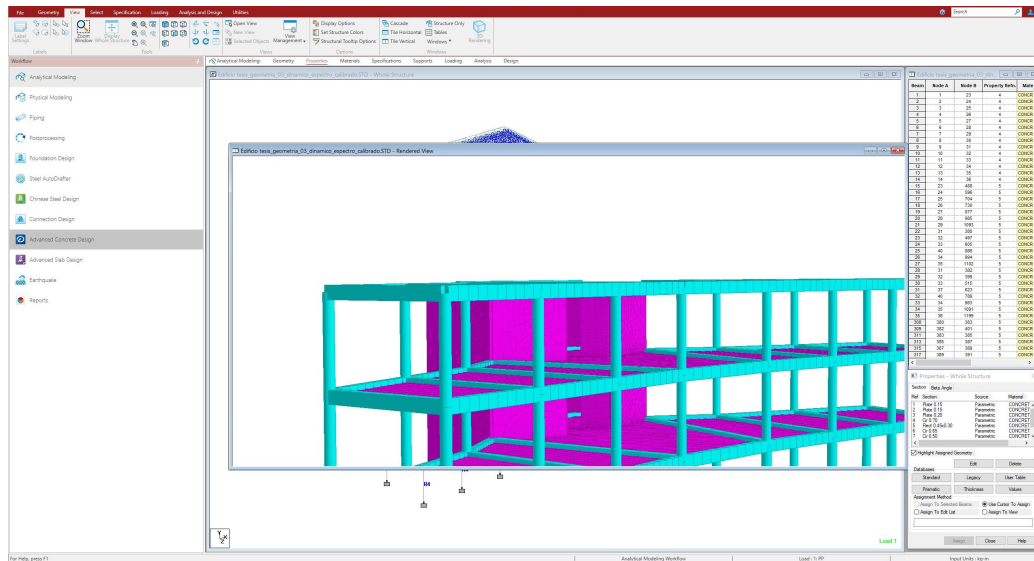


Figura 94: Modelo 3D

(Fuente: Elaboración propia).

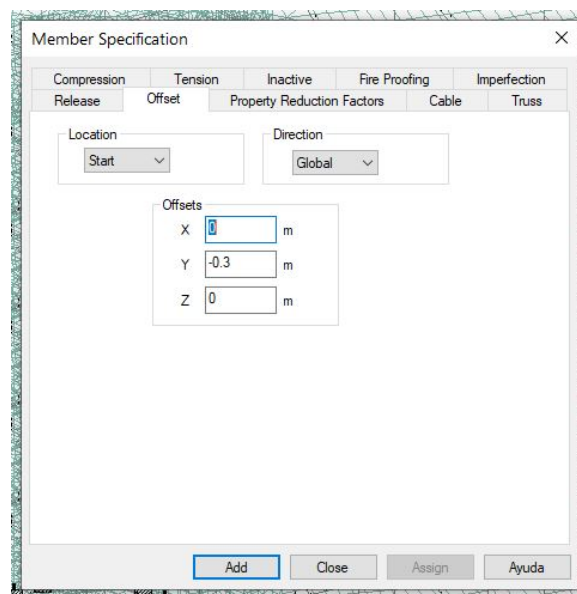


Figura 95: Pestaña para alineación de vigas

(Fuente: Elaboración propia).

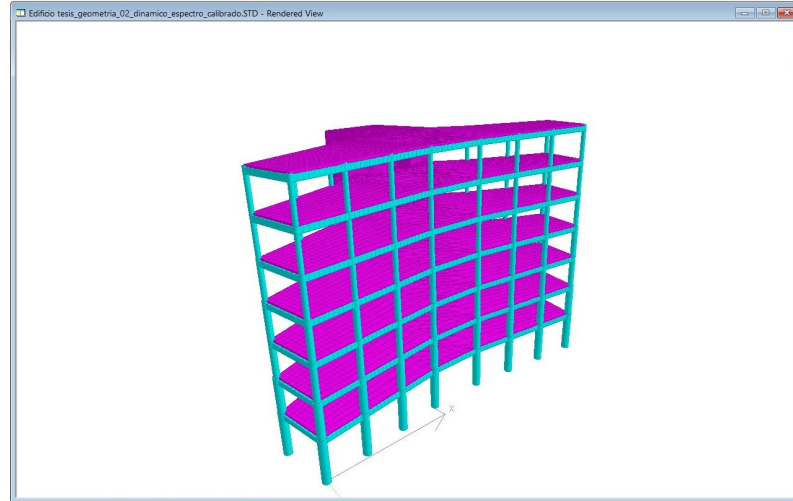


Figura 96: Modelo 3D luego de la alineación de vigas

(Fuente: Elaboración propia).

Al finalizar todo el proceso para el modelado es importante iniciar con el análisis sísmico. Este procedimiento se inició con la definición de cargas. Estas mismas se definen en la pestaña de flujo de trabajo denominada “*Loading*”. Donde se seleccionaron las carpetas de “*Definitions*” y subcarpetas de “*Reference Load Definitions*” aquí se crearon las diferentes cargas: peso propio; cargas sobrepuestas muertas, vivas y de masa; estas cargas se asignan según la vista o elementos seleccionados. Posteriormente, en la carpeta de “*Load Cases Details*” se crearon nuevas cargas, pero con la diferencia que se le asignara como referencia a su respectiva carga nueva.

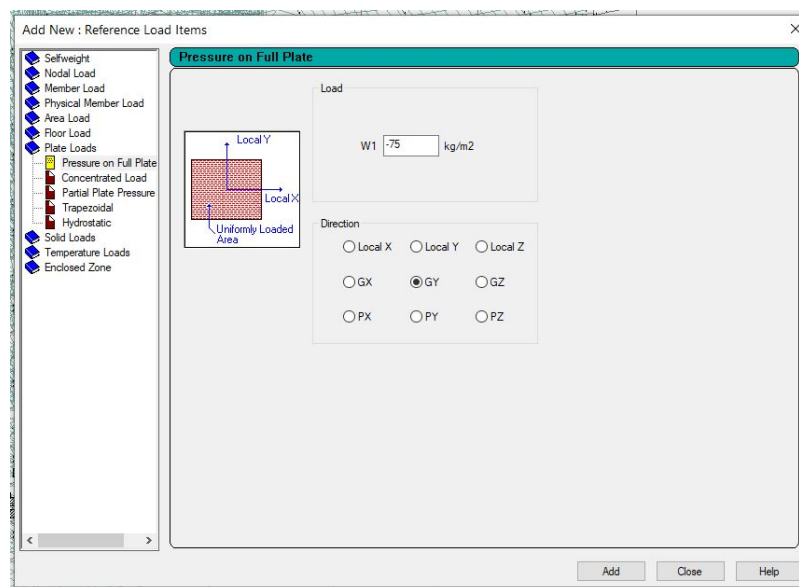


Figura 97: Creación de cargas

(Fuente: Elaboración propia).

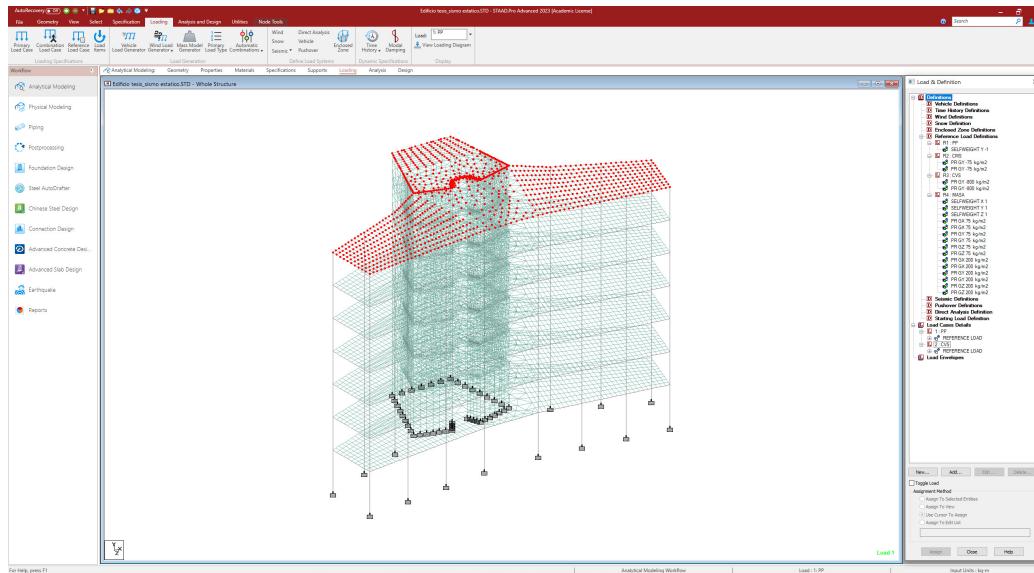


Figura 98: Definición de cargas

(Fuente: Elaboración propia).

Después de generar las cargas se definió el uso de diafragma rígido para las losas. Este proceso se realizó desde la pestaña de flujo de trabajo denominada “Specifications”. Se debió crear un diafragma por nivel como se muestra en la Figura 99 utilizando el panel inferior derecho.

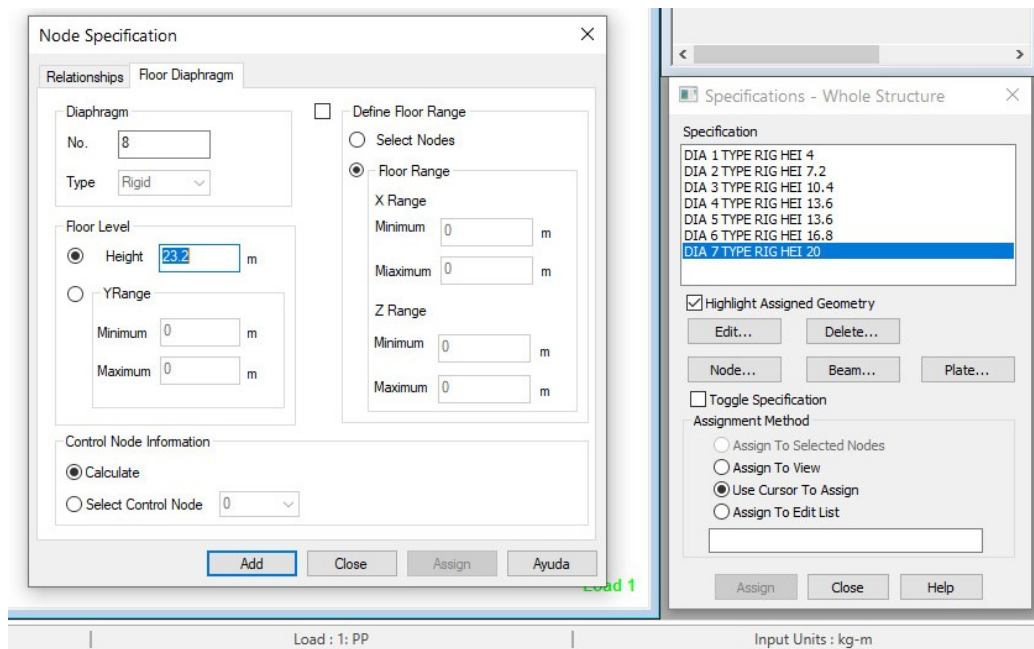


Figura 99: Definición de diafragma rígidos

(Fuente: Elaboración propia).

Luego de esto se corre el programa por primera vez con las cargas definidas. Este proceso se realizó desde el panel “*Analysis and Design*”; aquí se definió los documentos generados y la información que contenga. Se inició definiendo un “*Analysis Commands*” y luego los análisis posteriores. Para finalizar este proceso se corre con el botón de “*Run Analysis*”.

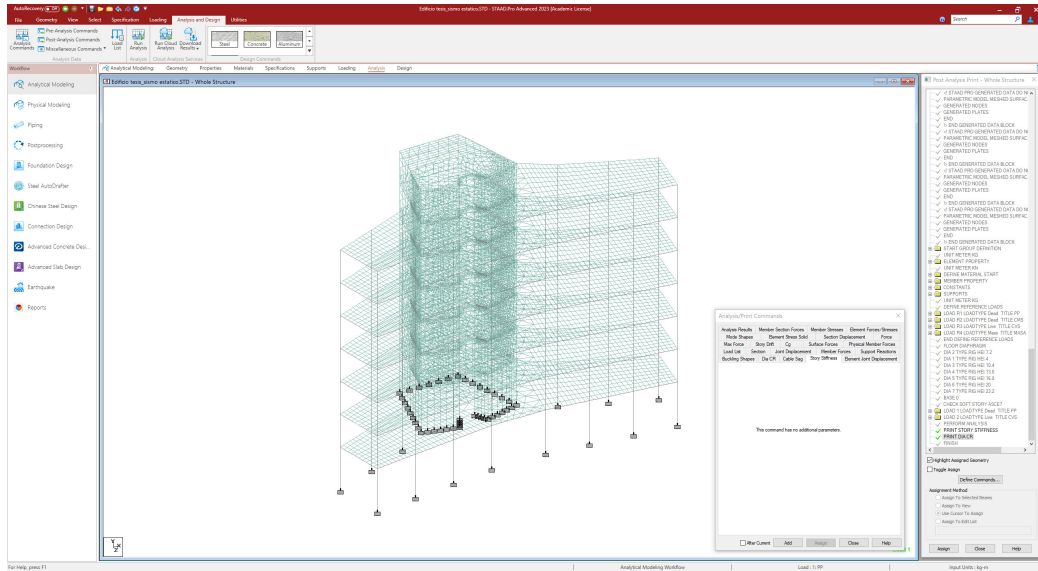


Figura 100: Pestaña para correr el programa

(Fuente: Elaboración propia).

Posteriormente de correr el programa una vez, se realizó el análisis sísmico estático. Para ello se creó una nueva carga en la subcarpeta de “*Seismic Definition*”. En dicha carga se los aspectos sísmicos del proyecto. Al momento de seleccionar el tipo de sismo se utilizó “*IBC 2015 ASCE 7-10*”, ya que este permite cambiar los valores y colocar los datos mencionados en capítulos anteriores. Asimismo, se crearon nuevos casos de carga haciendo referencia a la carga sísmica recién creada. Por último, se corre el programa para encontrar los valores generados.

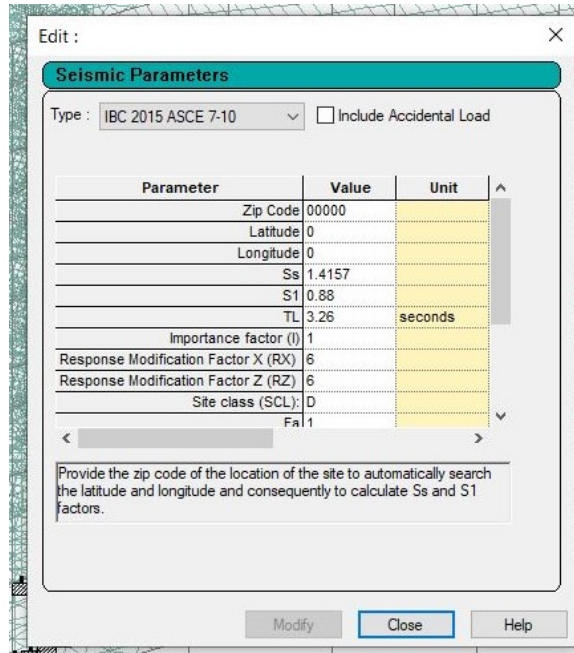


Figura 101: Parámetros sísmico estático

(Fuente: Elaboración propia).

Por otro lado, para el proceso de análisis sísmico dinámico se cambiaron las cargas utilizadas dentro del programa. Se inició eliminando las cargas innecesarias y generando los nuevos caso de cargas, siguiendo le proceso descrito anteriormente. Asimismo, se creará la masa que el programa utiliza para el análisis, es importante recalcar este tipo de carga debe ser tipo “*Mass*”. Seguidamente se definió los parámetros para el espectro sísmico los cuales se llenaron como lo muestra en la Figura 102. Este proceso se debe de realizar para el eje Z y Y; los cuales son los ejes correspondientes a la horizontal.

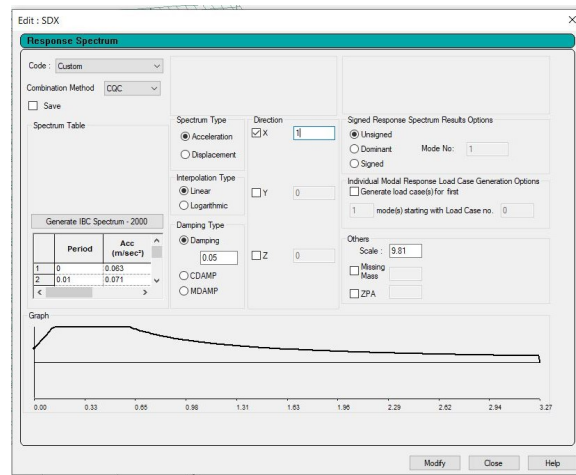


Figura 102: Parámetros sísmico dinámico

(Fuente: Elaboración propia).

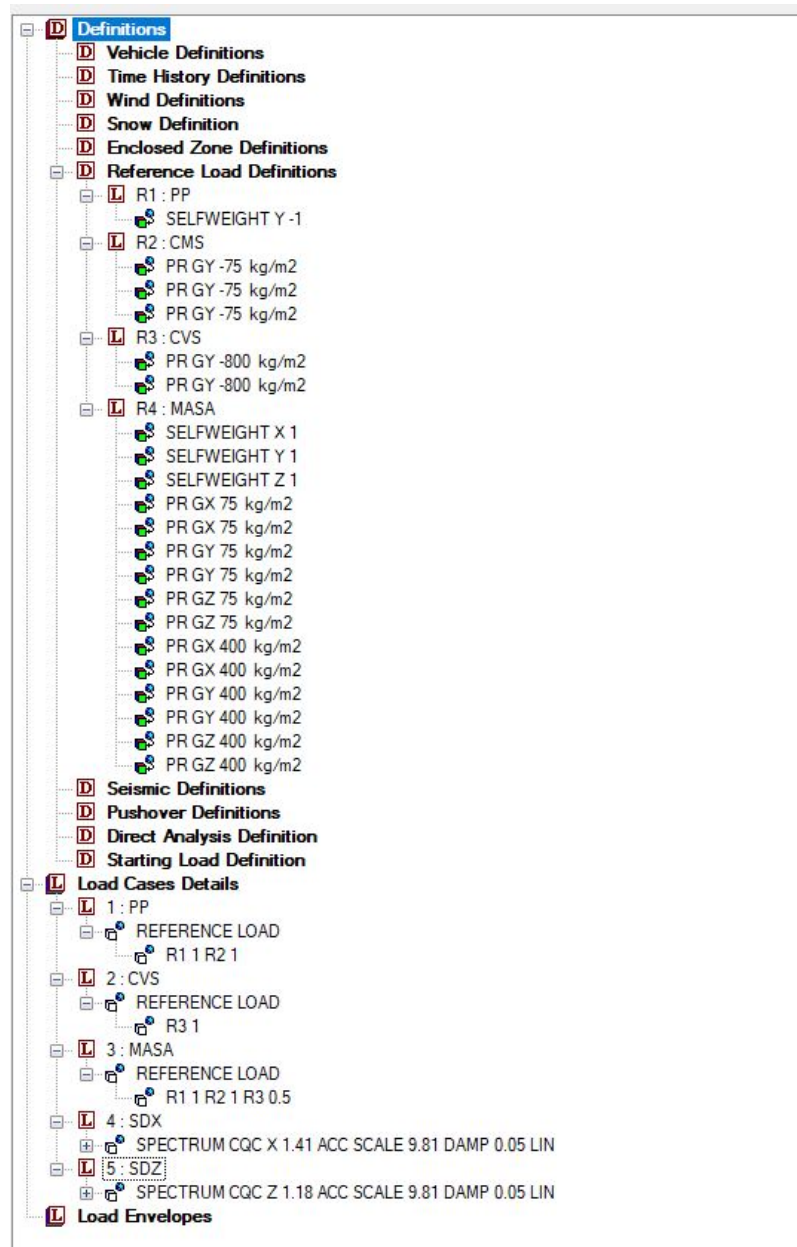


Figura 103: Cargas para evaluación sísmica

(Fuente: Elaboración propia).

Finalmente, luego de correr el programa se pudo encontrar los valores de las derivas. Esto se realizó cambiando el flujo de trabajo de “*Analytical Modeling*” a “*Postprocessing*”. Se seleccionó los puntos que se desean verificar, seguidamente en el panel de “*Result*” se desplegó el menú de “*Reports*” para seleccionar el reporte de “*Node Displacements*”. Finalmente, se indicó la carga que se desea evaluar y se da aceptar y se generó un tabla.

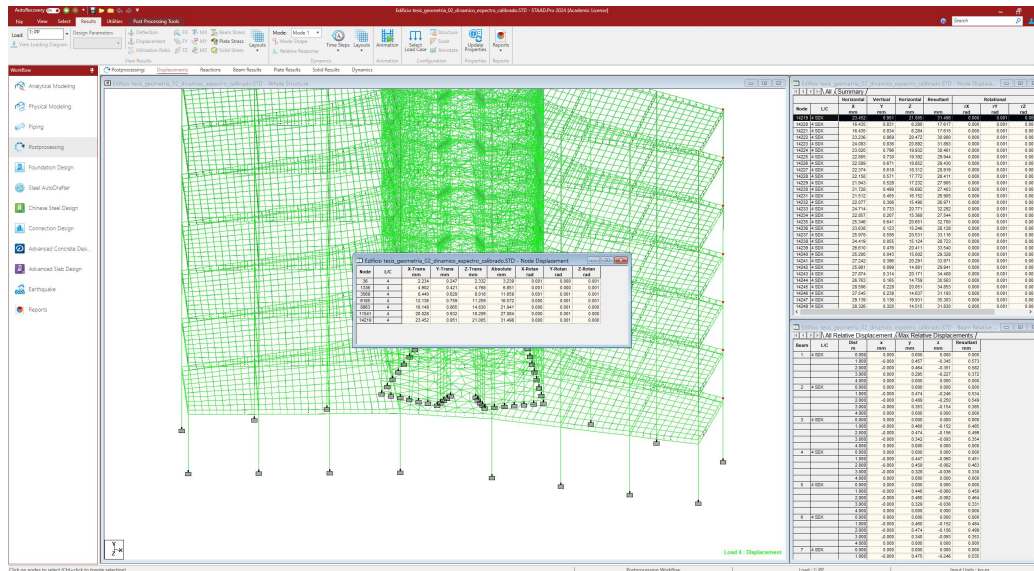


Figura 104: Derivas

(Fuente: Elaboración propia).