

Área de Conocimiento de Ingeniería y Afines

“DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE ACERO (SMF) DE CUATRO NIVELES MEDIANTE ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL EN LA CIUDAD DE MANAGUA EN BASE A LA NORMATIVA NSCM-22, APLICANDO EL PROGRAMA CON ENFOQUE BIM ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS.”

Proyecto de graduación para optar al título de
Ingeniero Civil

Elaborado por:

Tutor:

Br. Hasly Sarai
Miranda Rivera
Carné: 2019-04431

Br. Moisés Aarón
Hidalgo Hernández
Carné: 2020-0123U

Br. José Steven
Suazo Junes
Carné: 2020-0001U

Ing. Byron
Silva Rocha

Managua, Nicaragua
07 de marzo de 2026.

Aval del tutor(a)

1. Datos del Estudiante

Nombre del estudiante: Hasly Sarai Miranda Rivera

Programa académico: Carrera de Ingeniería Civil

Carné: 2019-0443I

Nombre del estudiante: Moisés Aarón Hidalgo Hernández

Programa académico: Carrera de Ingeniería Civil

Carné: 2020-0123U

Nombre del estudiante: José Steven Suazo Junes

Programa académico: Carrera de Ingeniería Civil

Carné: 2020-0001U

2. Datos del Tutor(a) Académico(a)

Nombre del tutor(a): Byron Antonio Silva Rocha

Área de conocimiento o CUR: Dirección de Área de Conocimiento de Arquitectura y Construcción (DACAC)

Correo institucional: byron.silva@uni.edu.ni

3. Datos del Asesor(a) Académico(a)

Nombre del asesor(a) académico(a)

Área de conocimiento o CUR

Correo institucional:

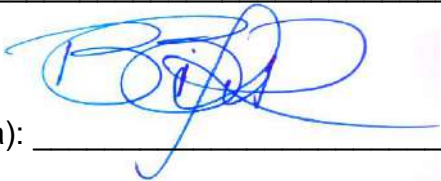
Declaración del Tutor(a)

Yo, Byron Antonio Silva Rocha, en calidad de tutor(a) certifico que he revisado la propuesta presentada por el estudiante descrito en este formulario y:

☒ Avalo la propuesta para su desarrollo.

☐ No avalo la propuesta (requiere ajustes).

Observaciones (si aplica):

Firma del Tutor(a):  _____

Fecha: 07 / 03 / 2026

Carta aprobación de tema



Área de Conocimiento
Arquitectura y Construcción

Managua, Nicaragua, lunes 15 de diciembre de 2025
REF/CULM.EST/TFCE/CIV/045-2025

Hasly Sarai Miranda Rivera
José Steven Suazo Junes
Moises Aaron Hidalgo Hernández
Sus manos. –

Estimado (s) Bachiller (es), reciba (n) cordiales saludos.

En el marco de la **Estrategia de Culminación de Estudios 2025 (Plan Remedial)** se le(s) comunica que el Tema y objetivos de **Proyecto de Graduación** titulado **"DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE ACERO (SMF) DE CUATRO NIVELES MEDIANTE ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL EN LA CIUDAD DE MANAGUA EN BASE A LA NORMATIVA NSCM-22, APLICANDO EL PROGRAMA CON ENFOQUE BIM ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS"**. Ha sido aprobado y se le ha asignado como Tutor(a) al (a la) **MSc. Byron Antonio Silva Rocha**

La ejecución, entrega y defensa del **Proyecto de Graduación** tendrá una duración máxima de 05 meses, a partir de la fecha de aprobación de la Dirección, siendo el periodo establecido del **01 de diciembre del 2025 al 30 de abril del 2026**.

Por lo tanto, ud (s) deberá(n) cumplir en el periodo mencionado con lo siguiente:

- Desarrollar el Cronograma de Ejecución y realizar las actividades en correspondencia con el mismo, en el cual se tienen que programar los periodos de encuentros con el tutor, pre defensa y defensa.
- Presentar al tutor **semanalmente** los avances obtenidos en el proceso de ejecución conforme el cronograma.
- Cumplir con al menos el 90% de asistencia en los encuentros programados con el tutor asignado.
- Realizar al menos una pre defensa del Trabajo Monográfico en versión borrador, según el cronograma establecido en el marco de la **Estrategia de Culminación de Estudios 2025 (Plan Remedial)**, con el objetivo de garantizar en todos los aspectos el éxito de la defensa.

Igualmente, se le(s) recuerda que no hay prórroga para el cumplimiento de este proceso y que a través de la firma de la carta compromiso reconoce que esta es la última oportunidad para realizar la culminación de estudios.

Sin más a que hacer referencia y deseándole éxito en su **Proyecto de Graduación** para optar al título de **Ingeniero Civil**, se despide.

Atentamente,


Ma. Marcela Carolina Galán Galtán
Directora

Cc. Expediente Culminación de Estudios

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1. ANTECEDENTES Y MARCO LEGAL	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Referentes Literarios	4
1.3. Marco Legal.....	6
3. OBJETIVOS	7
3.1. Objetivo General.....	7
3.2. Objetivos Específicos	7
4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	8
4.1. Descripción General	8
4.2. Localización Geográfica y Contexto Socioeconómico.....	8
4.3. Usuarios, Destinatarios o Protagonistas Directos e Indirectos	9
4.4. Alcances y Limitaciones	9
5. FUNDAMENTOS TÉCNICOS.....	10
5.1. Diseño Estructural de Edificios de Acero.....	10
5.1.1. Propiedades y comportamiento del acero estructural	11
5.2 Sistemas de Marcos de Momentos Especiales (SMF) en acero	12
5.2.1 Características de marcos resistentes a momentos.....	12
5.3. Autodesk Robot Structural Analysis Professional	12

5.4. Métodos de análisis sísmico	13
5.5 Enfoque BIM	13
6. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN	14
7. RESULTADOS.....	18
7.1. Análisis fuerzas laterales equivalentes.....	18
7.2. Análisis Dinámico Modal Espectral	21
7.3. Diseño de los elementos estructurales y conexiones.....	24
7.4. Potencial del Enfoque BIM y la Interoperabilidad Entre Softwares	34
8. CONCLUSIONES.....	36
8.1. Análisis de Fuerzas Laterales Equivalentes	36
8.2. Análisis Dinámico Modal Espectral	36
8.3. Diseño de los Elementos Estructurales y Conexiones.....	37
8.4. Potencial del Enfoque BIM y La Interoperabilidad Entre Softwares	39
9. RECOMENDACIONES.....	40
9.1. Recomendaciones Técnicas	40
9.2. Recomendaciones para Implementación	40
9.3. Temas Emergentes y Continuidad del Trabajo	41
10. REFERENCIAS.....	43
11. ANEXOS.....	49
11.1. Planos.....	49

11.1.1. Planos Estructurales obtenidos de Revit	49
11.2. Memoria de Cálculo	50
11.2.1. Memoria de cálculo análisis fuerzas laterales equivalentes y análisis dinámico modal espectral.	50
11.2.2. Memoria de cálculo diseño de elementos estructurales.....	64
11.3. Instrumentos de Recolección de Datos.....	79
11.3.1. Propuesta de entrevista a profesionales BIM	79
11.4. Prototipos y Capturas de Software.....	84
11.4.1. Guía para el uso de Robot Structural Analysis y Navisworks	84
<i>Soportes Académicos</i>	<i>112</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Diagrama de esfuerzo-deformación característico de un acero estructural dulce o con bajo contenido de carbono a temperatura ambiente	11
--	----

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Proceso de diseño Estructural según el libro Diseño Estructural-Meli Piralla 2002.....	10
Gráfico 2- Diseño de estructuras de acero según AISC	10
Gráfico 3- Características del sistema SMF	12
Gráfico 4- Métodos de Análisis Sísmicos según la NSCM-22	13

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-Síntesis de Antecedentes de Investigación	3
Tabla 2- Síntesis de Referentes Literarios	4
Tabla 3- Instituciones y Normas para el Diseño Estructural	6
Tabla 4- Ventajas y Desventajas de las Propiedades del Acero como Material Estructural	11
Tabla 5- Metodología de desarrollo del proyecto por objetivo específico	17

1. INTRODUCCIÓN

Las edificaciones representan un componente fundamental en la organización social y el avance económico, por lo que un diseño estructural adecuado resulta esencial para salvaguardar la integridad de sus ocupantes. En el contexto de Managua, Nicaragua, situada en una región de elevada actividad sísmica debido a su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico y la presencia de fallas tectónicas locales como la Falla de Tiscapa, se impone la necesidad de concebir estructuras capaces de resistir eventos sísmicos significativos. Eventos históricos, como el terremoto de 1972 que devastó la ciudad y provocó miles de víctimas, han revelado debilidades en construcciones convencionales, subrayando la relevancia de normativas como la NSCM-22 para mitigar riesgos y fomentar resiliencia urbana.

Sin embargo, el diseño estructural tradicional se ejecuta a menudo de forma aislada del proceso arquitectónico, generando ineficiencias, errores de coordinación y costos elevados. Este proyecto aborda esta problemática mediante el enfoque Building Information Modeling (BIM), integrando modelado, análisis y colaboración en un entorno digital unificado con herramientas como Revit y Robot Structural Analysis, minimizando inconsistencias y errores en documentación técnica.

En el ámbito profesional de la ingeniería civil, esta iniciativa alinea con exigencias de la disciplina, desarrollando competencias en software avanzado y análisis dinámicos para regiones sísmicas. A nivel local y nacional, contribuye a la realidad nicaragüense, donde BIM ha avanzado desde 2019 mediante foros de instituciones como UNI y UNAN-Managua, en consonancia con políticas de modernización para desafíos sísmicos y climáticos.

La justificación del proyecto abarca aspectos técnicos, sociales, ambientales y académicos. Técnicamente, identifica deficiencias como la limitada adopción de BIM en Nicaragua y escasez de estudios locales con Robot Structural Analysis, validando reducciones de tiempo hasta 81% (Ilasca Colque & Pumachara Corrales, 2022) y errores hasta 20% (Aburto Vanegas & Quintanilla Ugarte, 2023), considerando recursos para modelado y análisis. Socialmente, se alinea con PNLCP-DH (2022) en infraestructura resiliente e innovación para desarrollo, mitigando vulnerabilidades en Managua y restituyendo derechos a seguridad habitacional, relacionándose con PNPCC (2025-2026) al priorizar ciencia para productividad. Ambientalmente, optimiza acero A992 reciclable, reduciendo emisiones CO₂, residuos y transporte mediante simulaciones BIM. Académicamente, aborda vacíos en antecedentes (Huaraca Ramos, 2018; Genie Rizo et al., 2021), integrando BIM con Robot para SMF bajo NSCM-22, fortaleciendo líneas institucionales de UNI en innovación BIM, proyectos piloto e integración Revit-Robot para evaluaciones sísmicas.

El proyecto se estructura según objetivos específicos para validar un flujo integrado que eleve estándares sismorresistentes en Nicaragua. Inicialmente, se realiza análisis sísmico por fuerzas laterales equivalentes conforme a NSCM-22. Posteriormente, análisis dinámico modal espectral con Robot Structural Analysis adaptado a Managua. Luego, diseño de elementos y conexiones por AISC 341-22 y 360-22. Finalmente, interoperabilidad BIM con Revit y Navisworks Manage, promoviendo estructuras seguras y eficientes.

1. ANTECEDENTES Y MARCO LEGAL

La presente sección expone los antecedentes que sustentan el desarrollo de esta investigación, con el propósito de contextualizar el estado actual del conocimiento relacionado con el diseño estructural de edificios de acero, el análisis sísmico mediante métodos dinámicos y la aplicación de metodologías digitales en ingeniería estructural.

1.1. Antecedentes

Tabla 1-Síntesis de Antecedentes de Investigación

Autor / Año (País)	Título	Enfoque / Metodología	Principales resultados	Limitantes respecto a esta investigación
Llanos García (2024, Perú)	Influencia de la Aplicación de la Metodología BIM Mediante la Interoperabilidad entre Revit y Robot Structural en Edificios de Concreto Armado con Sistema Dual	Modelado BIM en Revit y análisis estructural en Robot Structural Analysis mediante interoperabilidad	Identificación de desfases entre modelos BIM y análisis estructural; derivas sísmicas controladas (<0.007)	No se desarrolla en Nicaragua ni bajo normativa NSCM-22; además se centra en estructuras de concreto armado
Rodríguez Valdivia & Otilio Ortiz (2024, Nicaragua)	Diseño sísmico para edificio de oficinas de dos plantas de concreto reforzado aplicando la Norma Sismorresistente para la Ciudad de Managua	Análisis modal espectral y método de fuerza lateral equivalente en ETABS conforme NSCM-22	Derivas máximas de 0.0064 y verificación de efectos P-Δ dentro de límites permisibles	Se enfoca en estructuras de concreto reforzado y no incorpora herramientas BIM
Alemán López & Blandón Escobar (2023, Nicaragua)	Evaluación del comportamiento sísmico de un edificio de acero ubicado en la ciudad de Managua	Análisis modal espectral y método estático equivalente en ETABS conforme NSCM-22	Confirmación de comportamiento dúctil en acero A992 y cumplimiento de límites de deriva	No integra metodología BIM ni análisis mediante Robot Structural Analysis
Bermúdez Díaz (2023, Nicaragua)	Análisis comparativo entre métodos lineales del RNC-07 y NSCM-22 aplicado a edificios ubicados en la ciudad de Managua	Comparación entre análisis modal espectral y análisis estático equivalente en ETABS	La NSCM-22 genera fuerzas sísmicas hasta un 35% mayores que el RNC-07	No aborda integración BIM ni diseño detallado de edificios de acero mediante Robot Structural
Basualdo Urbano (2021, Perú)	Sistemas y Herramientas Digitales para la Gestión Colaborativa	Aplicación de BIM y VDC con herramientas como Revit, SAP2000, ETABS y Navisworks	Reducción de hasta 40% en cambios imprevistos y mejora en coordinación multidisciplinaria	No utiliza normativa nicaragüense ni se enfoca específicamente en diseño estructural de acero
Genie Rizo, Guido Cruz & Gómez Serrano (2021, Nicaragua)	Diseño basado en el desempeño estructural de un edificio esencial sismo resistente de acero de ocho niveles emplazado en la ciudad de Managua	Análisis modal espectral lineal y no lineal en ETABS bajo RNC-07 y ASCE 41-13	Verificación de desempeño estructural y mecanismos plásticos ante eventos sísmicos	Utiliza normativa anterior (RNC-07) y no incorpora enfoque BIM

Pérez Tórrez, Meza Vanegas & Guerrero Sándigo (2021, Nicaragua)	Propuesta de implementación de la metodología BIM por medio del diseño y desarrollo de un proyecto piloto tipo residencial	Implementación piloto de metodología BIM en proyectos residenciales	Mejora en coordinación interdisciplinaria y reducción potencial de costos del 20%	No aborda análisis estructural avanzado ni diseño sísmico de acero
Zavala Pacheco (2020, México)	Aplicación de la Metodología BIM para el Diseño Estructural, la Detección y Solución de Interferencias en los Procesos Constructivos	Modelado BIM y detección de interferencias en proyectos estructurales	Mejora en coordinación de diseño y reducción de errores en fases de pre-construcción	No utiliza normativa nicaragüense ni se centra en análisis sísmico modal espectral
Moreno Torres & Rayo Jirón (2020, Nicaragua)	Diseño de Edificio de Acero en la Universidad Nacional de Ingeniería Recinto Augusto César Sandino	Modelado y análisis estructural mediante Robot Structural Analysis bajo RNC-07	Verificación de desplazamientos, análisis modal espectral y diseño LRFD de elementos estructurales	Emplea sistema OMF y normativa anterior (RNC-07), no SMF bajo NSCM-22
Huaraca Ramos (2018, Perú)	Análisis Comparativo Aplicando el Software Robot Structural Analysis y ETABS para Evaluar el Comportamiento Estructural de Viviendas Autoconstruidas	Comparación de modelado estructural en Robot Structural y ETABS	Identificación de comportamiento estructural inadecuado en viviendas autoconstruidas	No utiliza normativa nicaragüense ni se enfoca en edificios de acero con sistema SMF

Nota. Elaboración propia a partir de la revisión de investigaciones académicas.

1.2. Referentes Literarios

Tabla 2- Síntesis de Referentes Literarios

Autor	Año	País	Título	Principios que aborda	Aporte para la investigación
Chopra, Anil K.	2014	Estados Unidos	<i>Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering</i>	Dinámica estructural, análisis modal espectral, respuesta dinámica ante sismos, disipación de energía	Proporciona el marco teórico del análisis dinámico aplicado al comportamiento sísmico de estructuras
McCormac, Jack C. & Csernak, Stephen F.	2012	Estados Unidos	<i>Structural Steel Design</i>	Diseño de estructuras de acero, comportamiento de miembros estructurales, ductilidad y resistencia sísmica	Fundamenta el diseño de elementos estructurales de acero bajo normas basadas en AISC
Hibbeler, Russell C.	2011	Estados Unidos	<i>Structural Analysis</i>	Métodos matriciales de análisis estructural, rigidez estructural, análisis de estructuras hiperestáticas	Fundamenta los métodos de análisis estructural utilizados en el modelado y cálculo estructural
Eastman, Chuck M. et al.	2011	Estados Unidos	<i>BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling</i>	Modelado paramétrico 3D, interoperabilidad BIM, coordinación multidisciplinaria, detección de interferencias	Fundamenta el enfoque BIM aplicado a la integración entre modelado y análisis estructural
Vinnakota, Sriramulu	2006	Estados Unidos	<i>Estructuras de acero: comportamiento y LRFD</i>	Comportamiento estructural del acero, diseño LRFD, tensión, compresión, flexión, estabilidad y conexiones	Apoya el dimensionamiento y verificación de miembros estructurales de acero
García Reyes, Luis Enrique	2003	México	<i>Dinámica Estructural</i>	Análisis modal espectral, ecuaciones de equilibrio	Fundamenta el análisis dinámico modal espectral

			<i>Aplicada al Diseño Sísmico</i>	dinámico, ductilidad, disipación de energía, rigidez y respuesta sísmica	utilizado para evaluar el comportamiento sísmico del edificio de acero
Meli Piralla, Roberto	2002	México	<i>Diseño Estructural</i>	Diseño por estados límite (LRFD y ASD), evaluación de cargas sísmicas, gravitacionales y eólicas, principios de seguridad estructural	Proporciona bases para el diseño estructural bajo criterios de resistencia, seguridad y comportamiento sísmico
Salmon, Charles G. & Johnson, John E.	1996	Estados Unidos	<i>Steel Structures: Design and Behavior</i>	Comportamiento estructural del acero, rigidez post-elástica, optimización de materiales y diseño eficiente	Aporta fundamentos sobre comportamiento estructural del acero ante cargas y criterios de diseño eficiente

Nota. Elaboración propia a partir de la revisión de literatura especializada.

Del análisis de los antecedentes académicos y literarios revisados se evidencia que, aunque existen investigaciones relacionadas con el comportamiento sísmico de edificaciones, el diseño estructural de sistemas de acero y la aplicación de metodologías BIM en proyectos de construcción, estos enfoques han sido abordados de manera aislada o bajo contextos normativos diferentes al nicaragüense. En particular, los estudios nacionales se han enfocado principalmente en análisis estructurales mediante software tradicionales o en aplicaciones generales de BIM, mientras que los antecedentes internacionales, aunque integran herramientas digitales avanzadas, responden a condiciones sísmicas y reglamentarias distintas. En consecuencia, se identifica una brecha en investigaciones que integren el diseño estructural de edificios de acero con sistema de marcos especiales resistentes a momento (SMF), el análisis dinámico modal espectral y la aplicación de herramientas BIM mediante Robot Structural Analysis, considerando las disposiciones de la normativa sismorresistente NSCM-22 y las condiciones sísmicas específicas de la ciudad de Managua. Esta necesidad constituye el fundamento técnico que justifica el desarrollo de la presente investigación.

1.3. Marco Legal

Tabla 3- Instituciones y Normas para el Diseño Estructural

Institución / Norma	Tipo	Año / Versión	Ámbito de aplicación	Principales disposiciones	Relación con la investigación
Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI)	Institución nacional	—	Regulación de infraestructura y construcción en Nicaragua	Emite normativas técnicas de diseño y supervisa proyectos estructurales	Entidad responsable de la normativa sísmica utilizada en el diseño estructural
Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres (SINAPRED)	Institución nacional	—	Gestión de riesgos naturales y prevención de desastres	Evaluación de vulnerabilidad sísmica y planificación de mitigación de riesgos	Contribuye al enfoque de seguridad sísmica en edificaciones
Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA)	Institución nacional	—	Regulación ambiental en proyectos de infraestructura	Evaluación de impacto ambiental y emisión de permisos ambientales	Regula aspectos ambientales relacionados con proyectos de construcción
Alcaldía de Managua	Institución local	—	Regulación urbana y permisos de construcción	Emisión de licencias de construcción y supervisión municipal	Autoridad encargada de aprobar proyectos estructurales dentro del municipio
Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)	Institución académica	—	Investigación y apoyo técnico en ingeniería	Desarrollo académico y asesoría técnica en diseño estructural	Referente técnico nacional en ingeniería estructural
Norma Sismorresistente para la Ciudad de Managua (NSCM-22)	Norma nacional	2022	Diseño sísmico de edificaciones en Managua	Define criterios de análisis sísmico, factores de ductilidad y límites de derivas	Norma principal utilizada para el análisis sísmico modal espectral del edificio
Normas Mínimas de Diseño y Construcción General de Acero (AE-001)	Norma nacional	2017	Diseño y construcción de estructuras de acero	Regula materiales, conexiones y sistemas estructurales de acero	Complementa los criterios de diseño estructural en acero
ANSI/AISC 341	Norma internacional	2022	Diseño sísmico de estructuras de acero	Establece provisiones sísmicas para sistemas como SMF y requisitos de ductilidad	Base normativa para el diseño sísmico de marcos resistentes a momento
ANSI/AISC 360	Norma internacional	2022	Diseño estructural de acero	Define criterios de diseño por LRFD y ASD, estabilidad y resistencia de miembros	Utilizada para el diseño de elementos estructurales del edificio
ASCE/SEI 7	Norma internacional	2022	Criterios de cargas para edificaciones	Establece cargas mínimas de diseño, incluyendo cargas sísmicas, gravitacionales y ambientales	Referencia para la determinación de cargas aplicadas en el análisis estructural

Nota. Elaboración propia con base en la revisión de normativa nacional e internacional aplicable al diseño estructural.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Diseñar un edificio de acero (SMF) de cuatro niveles mediante análisis modal espectral en la ciudad de managua en base a la normativa NSCM-22, aplicando el programa con enfoque BIM Robot Structural Analysis.

3.2. Objetivos Específicos

- Realizar el análisis sísmico de la estructura mediante el método de fuerzas laterales equivalentes con la normativa NSCM-2022
- Desarrollar el análisis sísmico mediante el método dinámico modal espectral utilizando el software Robot Structural Analysis acorde la normativa sismorresistente para la ciudad de managua (NSCM-22).
- Diseñar los elementos estructurales y conexiones con el programa Robot Structural Analysis según normativa AISC 341-22 y AISC 360-22
- Demostrar la capacidad del enfoque BIM y su interoperabilidad entre software complementarios a Robot Structural Analysis como; Revit, Navisworks Manage, dedicados a la ejecución de proyectos.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

4.1. Descripción General

Naturaleza o Tipología del Proyecto

El proyecto abarca el diseño estructural de un edificio de apartamentos de cuatro plantas, basado en el diseño arquitectónico del Arq. Ellyan Dannyels Guillén Balmaceda. Se trata de un diseño estructural y arquitectónico de infraestructura, centrado en la resiliencia sísmica. Utiliza un sistema de marcos resistentes a momentos especiales (SMF) en acero, alineado con la Norma Sismorresistente de Construcción de Nicaragua (NSCM-22). El proceso incluye análisis iterativo sísmico mediante métodos de fuerzas laterales equivalentes y modal espectral, integrado con flujos colaborativos de Modelado de Información para la Construcción (BIM). Cuenta con un prototipo virtual validado por simulaciones digitales, empleando software como Autodesk Robot Structural Analysis para análisis, Revit para modelado BIM y Navisworks Manage para coordinación.

4.2. Localización Geográfica y Contexto Socioeconómico

A nivel macro, el proyecto se localiza en Managua, el núcleo económico del país, contribuyendo >50% al PIB mediante comercio, industria y servicios. Presenta una combinación de ingresos medios y pobreza urbana (30% con deficiencias en vivienda segura, agravadas por sismicidad) (INIDE, 2025), La ciudad se halla en una zona de alta sismicidad debido al Cinturón de Fuego y fallas locales, con eventos históricos como el terremoto de 1972. A nivel micro, se sitúa en la colonia El Periodista, un barrio residencial de clase media al oeste del centro, con acceso a vías principales pero vulnerable a riesgos sísmicos.

4.3. Usuarios, Destinatarios o Protagonistas Directos e Indirectos

Los usuarios directos incluyen a los residentes del edificio, principalmente familias de ingresos medios que ocuparán los apartamentos, así como administradores y personal de servicios responsables de las áreas comunes y operativas. Los protagonistas indirectos abarcan la comunidad local, que se beneficia de una mayor resiliencia urbana ante eventos sísmicos; ingenieros y constructores involucrados en la aplicación de metodologías BIM; y autoridades municipales encargadas de revisiones y aprobaciones regulatorias.

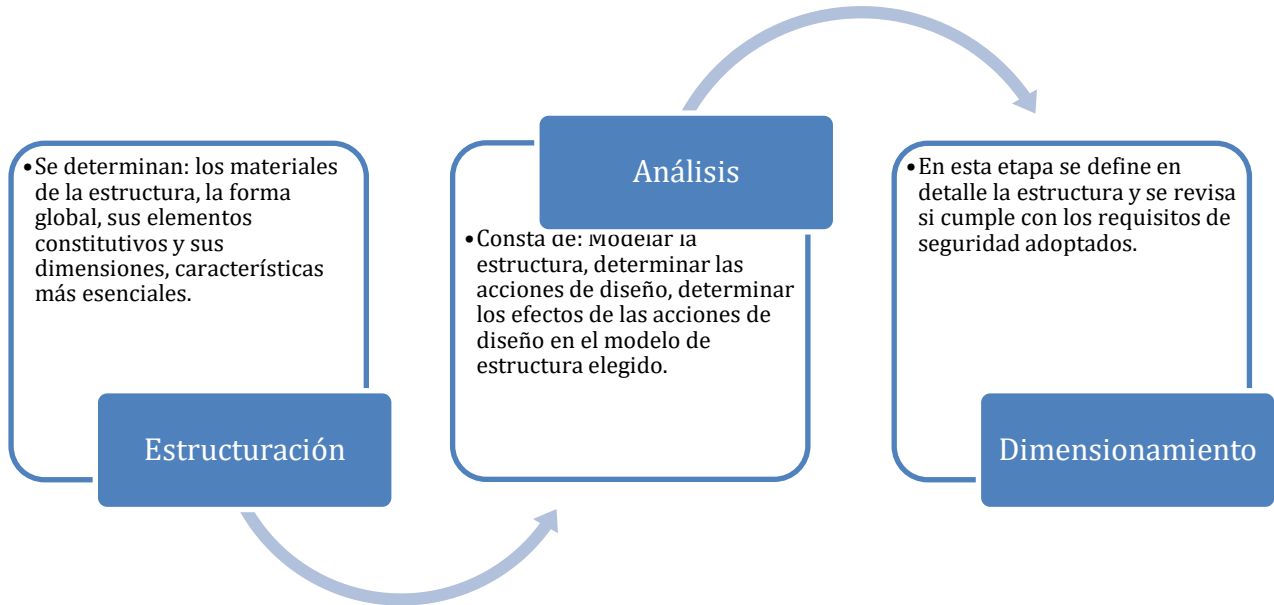
4.4. Alcances y Limitaciones

Los alcances del proyecto comprenden el diseño estructural integral con SMF en acero, incluyendo análisis sísmico estático (fuerzas laterales equivalentes) y dinámico (modal espectral) conforme a NSCM-22, dimensionamiento de elementos como vigas y columnas, y diseño de conexiones atornilladas o soldadas bajo estándares AISC 341-22 y 360-22. Se integra BIM para asegurar interoperabilidad entre herramientas de software, generando documentación completa como planos, memorias técnicas y reportes, con el fin de establecer un flujo replicable para diseños sismorresistentes en contextos locales. Las limitaciones se restringen al diseño virtual y análisis lineales, excluyendo la construcción física, validaciones experimentales o análisis no lineales avanzados. No se abordan aspectos eléctricos, hidráulicos o de sostenibilidad material detallada, centrándose exclusivamente en la resiliencia sísmica estructural en el contexto nicaragüense. Además, depende de software propietario, lo que podría limitar la accesibilidad en entornos de bajos recursos.

5. FUNDAMENTOS TÉCNICOS

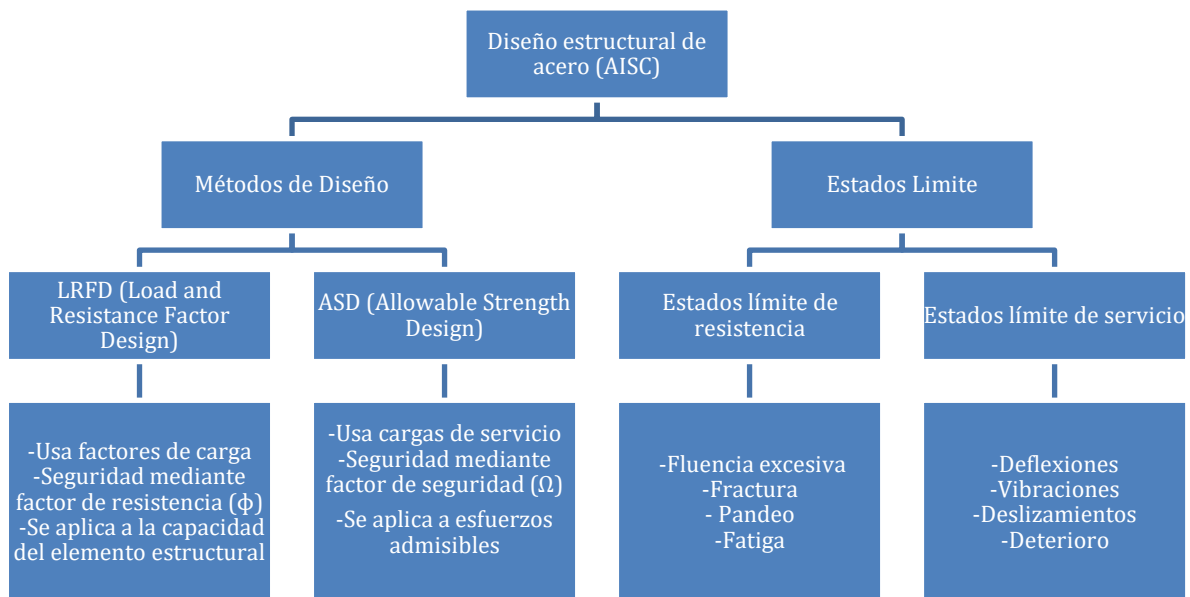
5.1. Diseño Estructural de Edificios de Acero

Gráfico 1- Proceso de diseño Estructural según el libro Diseño Estructural-Meli Piralla 2002



Fuente: Elaboración propia con base en Diseño Estructural Meli-Piralla 2002

Gráfico 2- Diseño de estructuras de acero según AISC



Fuente: Elaboración propia en base a McCormac & Csernak (2012).

5.1.1. *Propiedades y comportamiento del acero estructural*

Tabla 4- Ventajas y Desventajas de las Propiedades del Acero como Material Estructural

Ventajas	Desventajas
Alta resistencia en relación con su peso, permitiendo estructuras más ligeras y eficientes.	Susceptibilidad a la corrosión cuando se expone a aire y humedad, requiriendo mantenimiento o protección.
Propiedades uniformes y comportamiento predecible del material.	Reducción de resistencia a altas temperaturas, por lo que requiere protección contra incendios.
Comportamiento elástico cercano a la ley de Hooke, facilitando el análisis estructural.	Riesgo de pandeo en miembros esbeltos sometidos a compresión.
Alta ductilidad, permitiendo grandes deformaciones antes de la falla y mejor desempeño sísmico.	Posible reducción de resistencia por efectos de fatiga ante cargas cíclicas.
Gran tenacidad, capacidad de absorber energía sin fracturarse.	Riesgo de fractura frágil bajo ciertas condiciones como bajas temperaturas o concentraciones de esfuerzo.
Facilidad de fabricación, prefabricación, montaje y conexión mediante soldadura o pernos.	
Posibilidad de ampliaciones estructurales con relativa facilidad.	
Material reciclable y reutilizable, con valor incluso como chatarra.	

Fuente: Elaboración propia con base en McCormac, J. C., & Csernak, S. F. (2012).

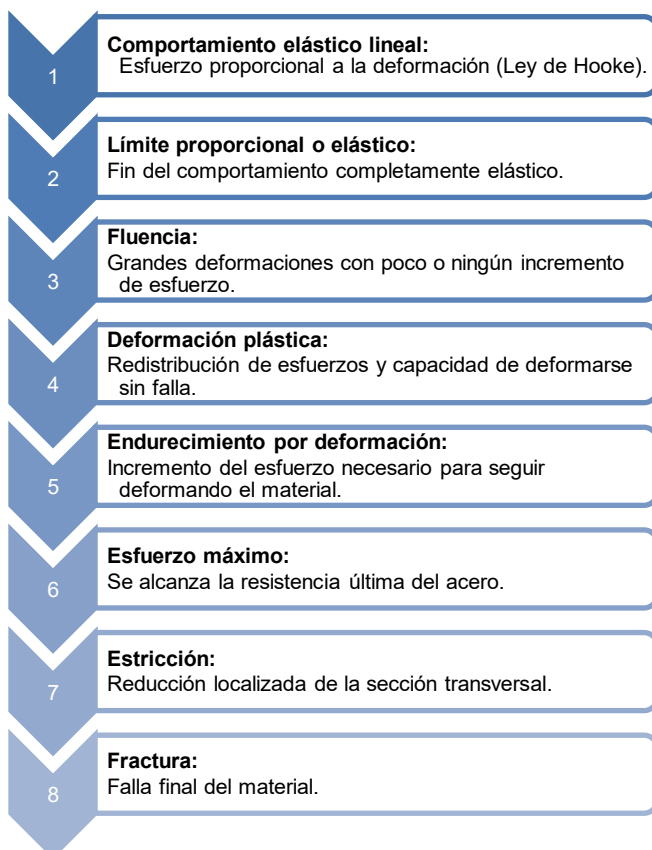
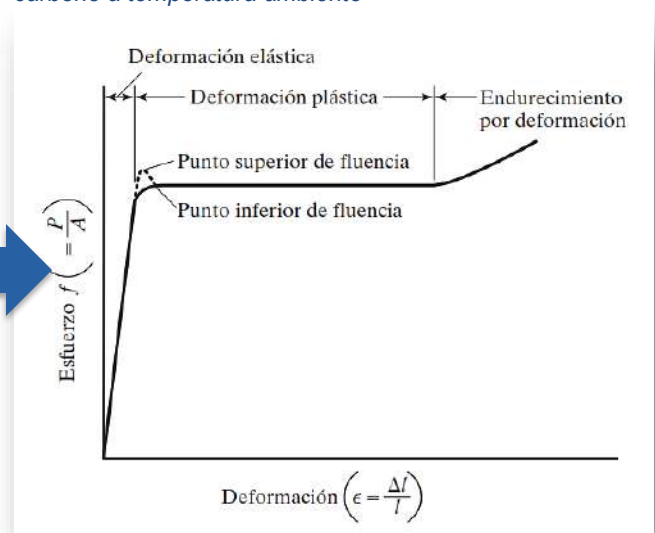


Figura 1- Diagrama de esfuerzo-deformación característico de un acero estructural dulce o con bajo contenido de carbono a temperatura ambiente

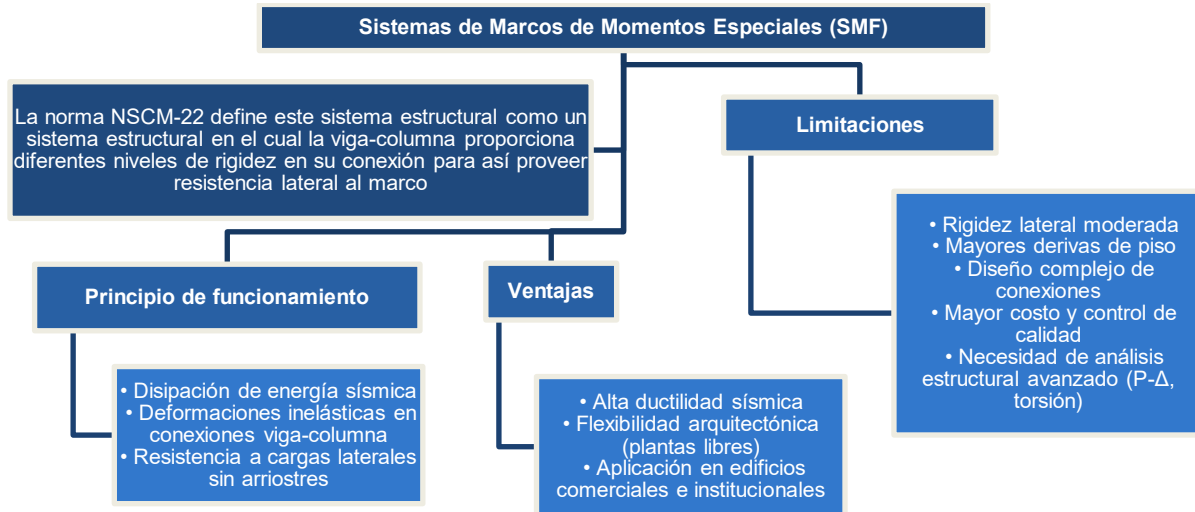


Fuente: Figura 1.4. McCormac, J. C., & Csernak, S. F. (2012).

5.2 Sistemas de Marcos de Momentos Especiales (SMF) en acero

5.2.1 Características de marcos resistentes a momentos

Gráfico 3- Características del sistema SMF



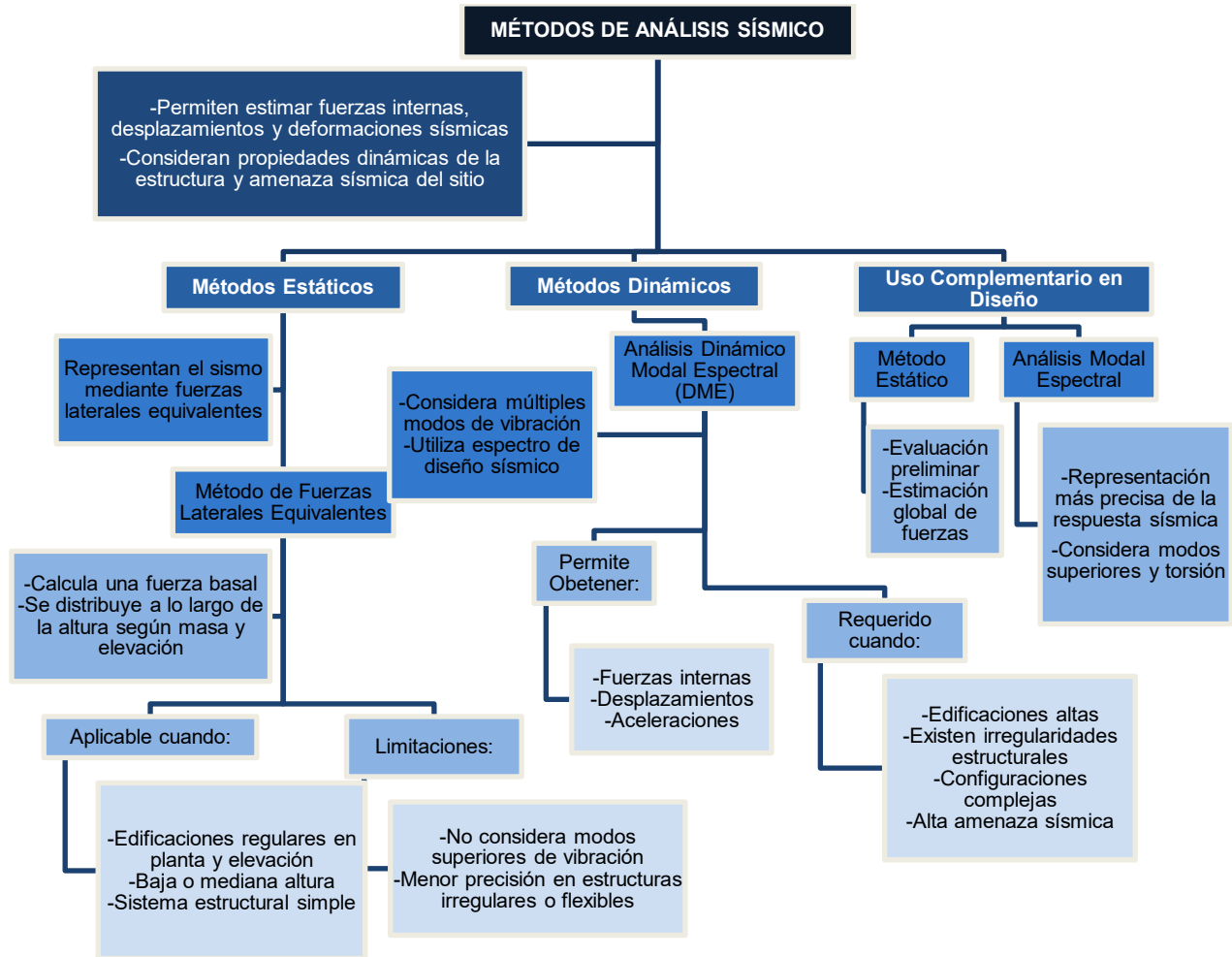
Fuente: Elaboración propia con NSCM (2022), Genie Rizo et al. (2021).

5.3. Autodesk Robot Structural Analysis Professional

Autodesk Robot Structural Analysis Professional es un software de análisis y diseño estructural que permite modelar y evaluar el comportamiento de estructuras frente a cargas estáticas y dinámicas, incluyendo acciones sísmicas. El programa facilita el modelado tridimensional de estructuras de acero, la aplicación de cargas sísmicas y el desarrollo de análisis dinámico modal espectral mediante métodos de elementos finitos, permitiendo estimar fuerzas internas, desplazamientos y derivas. Además, incorpora herramientas para la verificación de miembros estructurales conforme a códigos internacionales como AISC 341-22 y AISC 360-22, contribuyendo a un proceso de diseño estructural más preciso y confiable. Fuente: sitios web (EspacioBIM, 2020; BIMware, 2026).

5.4. Métodos de análisis sísmico

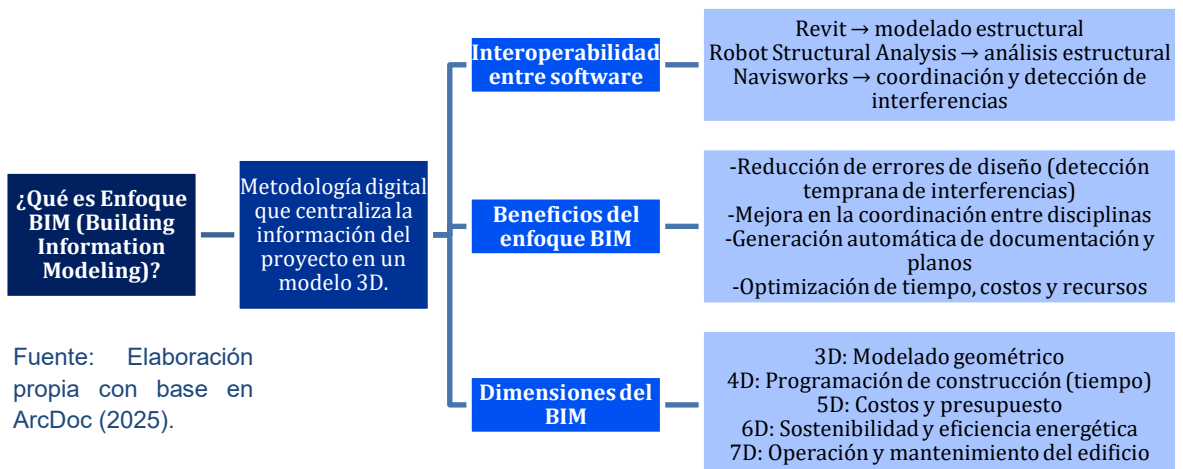
Gráfico 4- Métodos de Análisis Sísmicos según la NSCM-22



Fuente: Elaboración propia con base en NSCM (2022)

5.5 Enfoque BIM

Ilustración 1- Enfoque BIM y su aplicación en el diseño estructural



Fuente: Elaboración propia con base en ArcDoc (2025).

6. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN

En la presente investigación, el estudio se desarrolla en un entorno digital de simulación, donde el comportamiento estructural de la edificación es modelado, analizado y verificado conforme a los criterios establecidos en la Norma Sismorresistente de Construcción de Managua (NSCM-22), permitiendo evaluar la respuesta sísmica del sistema estructural y la eficiencia del flujo de trabajo BIM aplicado al proceso de diseño estructural.

Tipo de investigación

La investigación se clasifica como aplicada, debido a que busca generar conocimiento técnico orientado a la solución de un problema práctico relacionado con la optimización del proceso de diseño estructural en edificaciones de acero bajo normativa nacional, mediante la integración de metodologías BIM interoperables.

Enfoque de investigación

El estudio adopta un enfoque cuantitativo, ya que se fundamenta en el análisis de variables numéricas asociadas al comportamiento estructural frente a solicitaciones sísmicas, tales como cortante basal, periodos fundamentales de vibración, desplazamientos laterales, derivas entre pisos y relaciones capacidad demanda, parámetros evaluados mediante modelación matemática y simulación computacional.

Alcance del estudio

La investigación presenta un alcance descriptivo explicativo. Es descriptiva porque caracteriza el comportamiento estructural de la edificación bajo cargas sísmicas mediante el análisis de sus respuestas dinámicas; y explicativa porque analiza la relación

entre la implementación del flujo de trabajo BIM y la eficiencia del proceso de modelación, análisis y verificación estructural.

Diseño metodológico

El diseño metodológico corresponde a un estudio experimental simulado, en el cual el comportamiento estructural es evaluado mediante modelos computacionales que representan condiciones físicas idealizadas sin la ejecución constructiva real. Este enfoque permite analizar distintos escenarios estructurales, validar el cumplimiento normativo y comparar resultados mediante simulaciones estructurales.

Población de estudio

La población de estudio está conformada por metodologías BIM aplicadas al diseño estructural sismorresistente de edificaciones de acero, particularmente aquellas que integran herramientas de modelación estructural y análisis computacional bajo normativas de diseño sísmico.

Muestra

La muestra se delimita a la integración específica entre Autodesk Revit y Robot Structural Analysis, seleccionada por su capacidad de interoperabilidad directa mediante modelos analíticos estructurales, ejecución de análisis modal espectral y compatibilidad con combinaciones de carga normativas para el diseño de estructuras metálicas.

Instrumentos y herramientas de investigación

Para el desarrollo de la investigación se emplearon herramientas especializadas de modelación y análisis estructural, entre ellas Autodesk Revit para modelado BIM arquitectónico y estructural, Robot Structural Analysis para análisis estructural y diseño de elementos, Navisworks Manage para coordinación e interoperabilidad BIM, así como

ETABS, Microsoft Excel y Mathcad para verificación numérica, procesamiento de datos y validación de resultados.

Fuentes y recopilación de información

La recopilación de información se realizó mediante revisión documental de literatura científica y técnica en español e inglés, incluyendo tesis académicas disponibles en el repositorio institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería entre otras universidades nacionales y extranjeras. Se consultaron normativas nacionales e internacionales relevantes para el diseño estructural, entre ellas la Norma Sismorresistente de Construcción de Managua (NSCM-22), y las especificaciones del American Institute of Steel Construction, particularmente AISC 341-22 y AISC 360-22.

Unidad de análisis

La unidad de análisis corresponde al modelo estructural de un edificio de acero con sistema SMF desarrollado en entorno BIM, el cual es sometido a procedimientos de análisis sísmico mediante el método de fuerzas laterales equivalentes y el análisis modal espectral conforme a los criterios establecidos en la normativa vigente.

Tabla 5- Metodología de desarrollo del proyecto por objetivo específico

Objetivo específico	Procedimientos técnicos	Herramientas y recursos técnicos	Normas y especificaciones técnicas	Levantamiento de información	Procesos de validación técnica	Estrategia de análisis de resultados
1. Determinar las fuerzas sísmicas mediante el método de Fuerzas Laterales Equivalentes (FLE) conforme NSCM-22.	Generación del modelo analítico estructural, definición de cargas gravitacionales y sísmicas, cálculo del cortante basal y distribución de fuerzas por nivel.	Autodesk Revit, Robot Structural Analysis, Excel, Mathcad.	NSCM-22 AISC 341-22	Revisión de normativa sísmica nacional, obtención de parámetros sísmicos del sitio (zona sísmica, tipo de suelo, espectro de diseño) y datos geométricos del modelo arquitectónico.	Comparación del cortante basal y derivas con límites normativos; validación cruzada de resultados con software ETABS y cálculos manuales.	Análisis comparativo de resultados estructurales (cortante basal, distribución de fuerzas y derivas) mediante tablas y gráficos generados en RSA y Excel.
2. Evaluar la respuesta dinámica mediante análisis modal espectral (DME).	Definición del espectro de diseño, ejecución del análisis modal, obtención de periodos, modos de vibración y participación modal acumulada.	Robot Structural Analysis, Excel, MATLAB (visualización opcional).	NSCM-22 AISC 341-22	Extracción de propiedades dinámicas del modelo estructural y parámetros espectrales según condiciones del sitio.	Verificación de participación modal $\geq 90\%$, escalamiento modal y comparación de resultados con análisis en ETABS.	Interpretación de periodos fundamentales, desplazamientos y derivas mediante análisis estadístico y gráficos de respuesta modal.
3. Diseñar los elementos estructurales y conexiones del sistema SMF.	Predimensionamiento de vigas y columnas, análisis estructural iterativo, verificación de capacidad-demanda y diseño de conexiones.	Robot Structural Analysis, Excel, Mathcad.	AISC 341-22 AISC 360-22 NSCM-22	Revisión de propiedades mecánicas del acero estructural, parámetros de resistencia y configuración estructural del modelo.	Verificación de relaciones capacidad-demanda ≥ 1.0 , cumplimiento de requisitos de ductilidad y estabilidad estructural.	Evaluación del desempeño estructural mediante iteraciones de diseño hasta alcanzar cumplimiento normativo sin sobredimensionamiento.
4. Evaluar la interoperabilidad y efectividad del flujo BIM en el proceso de diseño estructural.	Integración del modelo arquitectónico y estructural, exportación e importación de modelos entre plataformas BIM y coordinación digital.	Autodesk Revit, Robot Structural Analysis, Navisworks Manage.	-	Importación de geometría arquitectónica, propiedades de materiales y configuración estructural en entorno BIM.	Verificación de consistencia geométrica, coincidencia de nodos $\geq 98\%$ y error de masas $\leq 5\%$.	Análisis comparativo de tiempos de modelado, reducción de errores y eficiencia del flujo BIM mediante métricas operativas.

Fuente: Elaboración propia

7. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto de aplicación profesional, derivados del proceso de modelación estructural, análisis sísmico y diseño de elementos estructurales mediante herramientas BIM y software especializado. Los resultados se organizan en función de los objetivos específicos planteados en la investigación, permitiendo evidenciar la aplicabilidad técnica de la metodología propuesta y el cumplimiento de los criterios establecidos en la Norma Sismorresistente de Construcción de Managua (NSCM-22) y en las especificaciones del American Institute of Steel Construction. Asimismo, se presentan tablas, diagramas, modelos estructurales y resultados de simulación obtenidos mediante herramientas como Robot Structural Analysis y Autodesk Revit, los cuales permiten evaluar el comportamiento estructural del edificio y la efectividad del flujo de trabajo BIM implementado.

7.1. Análisis fuerzas laterales equivalentes

Cortante basal sísmico (V)

Se calcula mediante la expresión general:

$$V = C_s W$$

donde:

- V = cortante basal sísmico

$$V_x = 202.199 \text{ Ton}$$

$$V_y = 176.148 \text{ Ton}$$

- C_s = coeficiente sísmico de diseño

$$C_{sx} = 0.233$$

$$C_{sy} = 0.203$$

- W = peso sísmico efectivo de la estructura

$$W = 867.724 \text{ Ton (Sacado de Robot)}$$

Este valor define la magnitud total de las fuerzas laterales que actuarán sobre el edificio.

Distribución de fuerzas sísmicas por nivel

El cortante basal se distribuye verticalmente en cada nivel del edificio, generando fuerzas laterales equivalentes:

$$F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum w_i h_i^k} V$$

donde:

- F_x = fuerza lateral en el nivel x
- w_x = peso del nivel
- h_x = altura del nivel
- k = exponente dependiente del periodo estructural

Este resultado produce una tabla de fuerzas sísmicas por piso.

Cortante por entrepiso (story shear)

Una vez distribuidas las fuerzas laterales, se obtiene el cortante acumulado en cada nivel.

Se calcula sumando las fuerzas desde la parte superior hacia abajo.

Nivel	H(m)	W (Ton)	WH^k	Cv(xy)	FSx(Ton)	FSy(Ton)	Vx(Ton)	Vy(Ton)
4	13	123.585	1606.605	0.2489061	50.323767	43.844312	50.323767	43.844312
3	10	242.1	2421	0.3750777	75.833101	66.069182	126.15687	109.91349
2	6.6	241.333	1592.7978	0.246767	49.891283	43.467513	176.04815	153.38101
1	3.2	260.706	834.2592	0.1292491	26.131542	22.766965	202.17969	176.14797
Sumatoria		867.724	6454.662		202.17969	176.14797		

Vbx=	202.17969	Ton
Vby=	176.14797	Ton

La Norma Sismorresistente de Construcción de Managua (NSCM-22) establece límites máximos de deriva para evitar:

- daño estructural
- daño en elementos no estructurales.

Periodo fundamental aproximado de la estructura

El método FLE requiere determinar el periodo fundamental aproximado del edificio.

8.2.1.5 Periodo Fundamental de la Estructura (T_{limite})

$$F_{as} \cdot a_0 = 0.477 \quad \text{POR LO TANTO} \quad C_u := 1.4$$

Tabla 8.2.1- Coeficiente para el límite superior del periodo máximo calculado

$F_{as} \cdot a_0$	C_u
≥ 0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
≤ 0.1	1.7

8.2.1.6 Periodo fundamental aproximado (T_a)

Tabla 8.2.2 - Coeficientes para el cálculo del periodo aproximado

Tipo de estructura	C_t	x
Marcos resistentes a momentos en los que los marcos resisten el 100% de la fuerza sísmica y que no estén ligados a componentes rígidos que impidan o restrinjan su desplazamiento lateral.		
• Marcos de acero resistentes a momentos.	0.0724	0.80
• Marcos de concreto reforzados resistentes a momentos.	0.0466	0.90
Marcos de acero arriostrados excéntricamente.	0.0731	0.75
Marcos de acero arriostrados con pandeo restringido.	0.0731	0.75
Todos los demás sistemas estructurales.	0.0488	0.75

Donde

$$C_t := 0.0724$$

$$h_n := 13$$

$$x := 0.80$$

$$T_a := C_t \cdot h_n^x = 0.563$$

$$T_{lim} := C_u \cdot T_a = 0.789$$

7.2. Análisis Dinámico Modal Espectral

1. Periodos naturales de vibración y Participación modal de masa

El análisis modal determina los periodos propios de la estructura para cada modo de vibración.

La Norma Sismorresistente de Construcción de Managua (NSCM-22) exige que la participación modal acumulada sea $\geq 90\%$.

Los resultados presentados son cuando el modo de vibración llega a más del 90%:

Periodos de vibración		Participación modal de masa	
Modo	Periodo (s)	Mass (Ux)	Mass (Uy)
4	0.336	91.35%	
5	0.283		96.01%

Formas modales (Mode Shapes)

El software calcula las formas de vibración de la estructura.

Esto muestra cómo se deforma el edificio en cada modo:

- traslación en X
- traslación en Y

Espectro de respuesta aplicado

El software utiliza el espectro sísmico de diseño, definido según:

- zona sísmica = Z4
- tipo de suelo= Tipo C

- factor de importancia= 1
- Isoaceleracion= 0.36667



Cortante basal dinámico

El cortante basal total obtenido del análisis modal.

$$V_{tx} = 50.705 \text{ Ton}$$

$$V_{ty} = 67.217 \text{ Ton}$$

Escalado de fuerzas

Seccion 8.2.2.7 de la NSCM-2022

Efx	0.2507918	No cumple
Efy	0.3815939	No cumple

Debido a que no cumple se debe hacer el factor de escalamiento y los resultados son los siguientes:

8.2.2.6 Valores del cortante basal modal y cortante estatico

Vt: Cortante basal Dinamico

Cortantes Dinamicos obtenidos de Robot

Vb: Cortante basal Estatico

$V_{tx} := 50.705 \text{ ton}$

$V_{ty} := 67.217 \text{ ton}$

8.2.2.7 Escalado de fuerzas

8.2.2.7 Escalado de fuerzas

Cuando el periodo fundamental excede $C_u T_c$ en una direccion dada, debera utilizarse $C_u T_b$ en lugar de T_c en tal direccion.

Cuando la respuesta combinada para el cortante basal modal V_t resulte menor que el 100% del cortante basal V_b calculado con la ecuación (8.2-1) de la [sección 8.2.1.2](#), debe realizarse una corrección incrementando las fuerzas mediante el siguiente factor de escala:

$$FE_x := \frac{V_{bx}}{V_{tx}} = 3.985$$

$$FE_y := \frac{V_{by}}{V_{ty}} = 2.62$$

$$\text{Factor de escala} = \frac{V_b}{V_t} \quad (8.2-14)$$

Desplazamientos laterales

Los desplazamientos máximos del edificio en cada dirección.

Desplazamiento del centro de masa en "X" por Sismo Dinamico
Desplazamientos elasticos obtenidos del Robot

Nivel	hi(cm)	Ux (cm)
4	300	4.7367255
3	340	3.5591781
2	340	2.0308062
1	320	0.620685

Desplazamiento del centro de masa en "Y" por Sismo Dinamico
Desplazamientos elasticos obtenidos del Robot

Nivel	hi(cm)	Uy (cm)
4	300	2.5223023
3	340	2.1352367
2	340	1.4608897
1	320	0.5838533

Esto permite evaluar la rigidez estructural.

Derivas entre pisos (Story Drift)

La deriva es la diferencia de desplazamiento entre dos niveles consecutivos.

Determinacion de la deriva de piso (desp. Inelasticos) Seccion 10.2 de la NSCM-2022

Desplazamientos inelasticos

Story	Eleva	X-Dir (cm)	Y-Dir (cm)
4	13	26.05199	13.872663
3	10	19.57548	11.743802
2	6.6	11.169434	8.0348934
1	3.2	3.4137675	3.2111932

$$\delta_i = \frac{C_d \delta_{ie}}{I}$$

Deriva de piso (▲i)

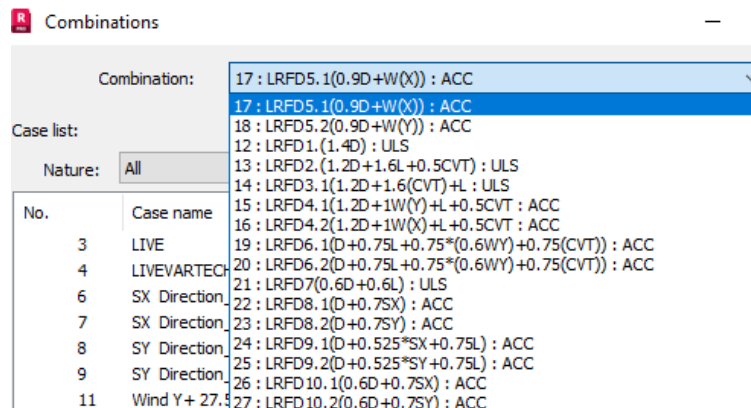
Story	Eleva	X-Dir (cm)	Y-Dir (cm)
4	13	6.4765107	2.1288608
3	10	8.4060455	3.7089085
2	6.6	7.7556666	4.8237002
1	3.2	3.4137675	3.2111932

7.3. Diseño de los elementos estructurales y conexiones

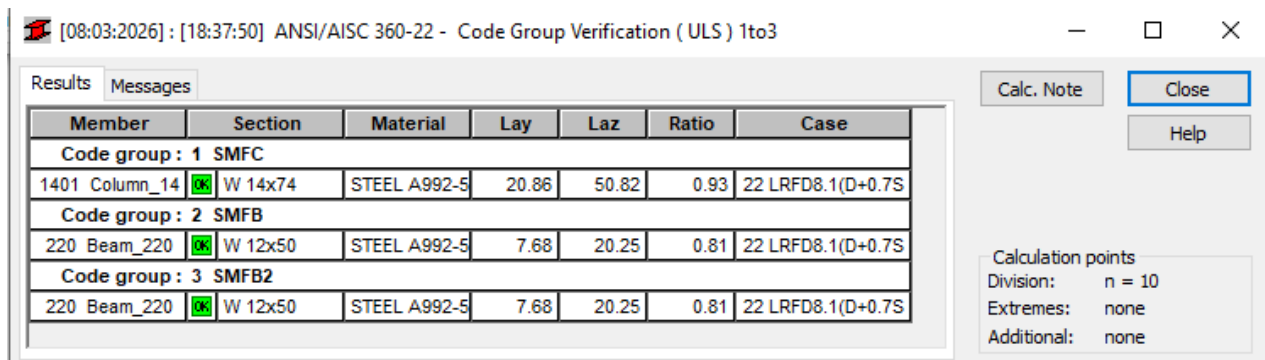
Selección de los elementos estructurales conforme a la **Tabla 1-3 (continued) Sections that satisfy seismic Width-To-Thickness Requirements W-Shapes.**

Diseño de los elementos estructurales, conforme a combinaciones LRFD, según Normativa vigente para la ciudad de managua, las cuales están definidas conforme solicitaciones y caso, ya sea Accidental, Ultima y de servicio. Las componen cargas laterales debido a presiones de viento, efectos bidireccionales de sismo y cargas gravitacionales.

Combinaciones LRFD, asignadas en el modelo de cálculo.



Resultado del diseño obtenido mediante Robot Structural Analysis, $D/C < 1.00$



Parámetros de diseño para columnas

Member Definition - Parameters - ANSI/AISC 360-22

Member type:

Buckling (Y axis)
Member length ly: ☐ Real ☒ Coefficient

Buckling (Z axis)
Member length lz: ☐ Real ☒ Coefficient

Buckling length coefficient Y:
Ky:
Sway

Buckling length coefficient Z:
Kz:
Sway

☒ Flexural-torsional buckling
☐ I-Shaped members with lateral bracing offset from the shear center
☒ Minor axis za: cm
☐ Major axis

Lateral buckling parameters
☐ Lateral buckling Lateral buckling length coefficient
 ☒ Cb 1.0 Upper flange Lower flange
Id = (ld1,ld2,...) Id = (ld1,ld2,...)

Seismic analysis parameters
☒ Seismic calculations - ANSI/AISC 341
System:
Element type:

Buttons: Save, Close, Service, More..., Stiffeners, Help

Asignación de verificaciones según desplazamientos

Serviceability - Displacement limiting values -

Deflection limits (local system)
☐ Cantilever

Dead Loads
uyd max = ☐ Absolute cm ☐ Relative L/
uzd max = ☐ Absolute cm ☐ Relative L/

Live Loads
uyl max = ☐ Absolute cm ☐ Relative L/
uzl max = ☐ Absolute cm ☐ Relative L/

Total Loads
uyt max = ☐ Absolute cm ☐ Relative L/
uzt max = ☐ Absolute cm ☐ Relative L/

Camber
☒ No camber
☐ User defined
ucy = ☐ Absolute cm ☒ Relative L/
ucz = ☐ Absolute cm ☒ Relative L/
☐ Automatic

Node displacements limits (global system)
Total Loads
vxt max = ☐ Absolute cm ☒ Relative L/
vyt max = ☐ Absolute cm ☒ Relative L/

Buttons: OK, Cancel, Help

Resultado Diseño Sección W14X74 (Columna) Robot Structural Analysis

RESULTS - Code - ANSI/AISC 360-22

Member: 1401 Column_1401SMFC
 Point / Coordinate: 1 / x = 0.00 L = 0.00 m
 Load case: 22 LRFD8.1(D+0.75X) (1+2)*1.00+(6+7)*0.70

Section OK

W 14x74

Auto

OK

Change

Simplified results Detailed results

MEMBER PARAMETERS

Ly = 3.20 m Lz = 3.20 m
 Lcy = 3.20 m Lcz = 3.20 m
 Lcy/ry = 20.86 Lcz/rz = 50.82

INTERNAL FORCES:

Tr = 0.02 kN*m frvy,mx = 2.81 kgf/cm2
 Pr = 462.43 kN frvz,mx = 1.61 kgf/cm2
 Mry = -359.63 kN*m Vry = 36.11 kN
 Mrz = 62.66 kN*m Vrz = 148.77 kN

DESIGN STRENGTHS

Fic*Pn = 3612.94 kN
 Fib*Mny = 640.62 kN*m Fiv*Vny = 1904.46 kN
 Fib*Mnz = 205.91 kN*m 1.00*Vnz = 852.72 kN

SAFETY FACTORS

Fic = 0.90 Fib = 0.90 Fiv = 0.90 FIT = 0.90

SECTION ELEMENTS

Flange = Compact Web = Compact

RESULTS

Pr/(2*Fic*Pn) + Mry/(Fib*Mny) + Mrz/(Fib*Mnz) = 0.93 < 1.00 LRFD (H1-1b)
 Vry/(Fiv*Vny) + frvy,mx/(0.6*Fiv*Fy) = 0.02 < 1.00 Vrz/(1.00*Vnz) + frvz,mx/(0.6*1.00*Fy) = 0.18 < 1.00 LRFD (G)
 Lcy/ry = 20.86 < (Lc/r),max = 200.00 Lcz/rz = 50.82 < (Lc/r),max = 200.00 STABLE

Forces

Calc. Note

Help

Verificación esfuerzos críticos en sección W14X74

Manual verification - ANSI/AISC 360-22

Verification of member no.: 1401 Column_1401SMFC Units (kN) (kN*m)

Internal forces in the analyzed section

Bending moments Shear forces Axial force Torsion moment

Mry = -359.63 Vry = 36.11 Pr = 462.43 Tr = 0.02
 Mrz = 62.66 Vrz = 148.77

Internal forces in characteristic sections

Bending moments on member ends

Mr1y = -359.63 Mr2y = -110.23
 Mr1z = 62.66 Mr2z = 33.31

Moments in 1/4 of length Moments in center Moments in 3/4 of length

Mr1/4y = -214.78 Mrymid = -203.15 Mr3/4y = -165.37
 Mrzmig = 57.62

OK Cancel Help Options Robot Calculations

Parámetros de diseño para vigas

Member Definition - Parameters - ANSI/AISC 360-22

Member type:

Buckling (Y axis)
Member length ly: ☐ Real ☒ Coefficient

Buckling (Z axis)
Member length lz: ☐ Real ☒ Coefficient

Buckling length coefficient Y:
Ky:

Buckling length coefficient Z:
Kz:

☒ Flexural-torsional buckling
☐ I-Shaped members with lateral bracing offset from the shear center
Minor axis ☒ Major axis ☐ za: cm

Lateral buckling parameters
☐ Lateral buckling
Cb:
Lateral buckling length coefficient
Upper flange Lower flange

Seismic analysis parameters
☒ Seismic calculations - ANSI/AISC 341
System:
Element type:

Buttons: Save, Close, Service, More..., Stiffeners, Help

Asignación de verificaciones según desplazamientos

Serviceability - Displacement limiting values -

Deflection limits (local system)
☐ Cantilever

Dead Loads
uyd max = ☐ Absolute cm ☒ Relative L/ uzd max = ☐ Absolute cm ☒ Relative L/

Live Loads
uyl max = ☐ Absolute cm ☒ Relative L/ uyl max = ☐ Absolute cm ☒ Relative L/

Total Loads
uyt max = ☐ Absolute cm ☒ Relative L/ uzt max = ☐ Absolute cm ☒ Relative L/

Camber
☒ No camber
☐ User defined
ucy = ☐ Absolute cm ☒ Relative L/ ucz = ☐ Absolute cm ☒ Relative L/
☐ Automatic

Node displacements limits (global system)
Total Loads
vxt max = ☐ Absolute cm ☒ Relative L/ vyt max = ☐ Absolute cm ☒ Relative L/

Buttons: OK, Cancel, Help

Resultado Diseño Sección W12X50 (Viga) Robot Structural Analysis

RESULTS - Code - ANSI/AISC 360-22

Code: 2 SMFB
 Member: 220 Beam_220
 Point / Coordinate: 10 / x = 1.00 L = 5.05 m
 Load case: 22 LRFD8.1(D+0.75X) (1+2)*1.00+(6+7)*0.70

Section OK

W 12x50

Auto

Simplified results Detailed results

MEMBER PARAMETERS

Ly = 1.01 m Lz = 1.01 m
 Lcy = 1.01 m Lcz = 1.01 m
 Lcy/ry = 7.68 Lcz/rz = 20.25

INTERNAL FORCES:

Tr = 0.00 kN*m frvy,mx = 0.82 kgf/cm2
 Pr = 315.03 kN frvz,mx = 0.48 kgf/cm2
 Mry = -273.53 kN*m Vry = 0.04 kN
 Mrz = 0.19 kN*m Vrz = 108.99 kN

DESIGN STRENGTHS

Fic*Pn = 2836.16 kN
 Fib*Mny = 365.56 kN*m Fiv*Vny = 1242.14 kN
 Fib*Mnz = 108.30 kN*m 1.00*Vnz = 602.38 kN

SAFETY FACTORS

Fic = 0.90 Fib = 0.90 Fiv = 0.90 FIT = 0.90

SECTION ELEMENTS

Flange = Compact Web = Compact

RESULTS

$Pr / (2 * Fic * Pn) + Mry / (Fib * Mny) + Mrz / (Fib * Mnz) = 0.81 < 1.00$ LRFD (H1-1b)
 $Vry / (Fiv * Vny) + frvy, mx / (0.6 * Fiv * Fy) = 0.00 < 1.00$ $Vrz / (1.00 * Vnz) + frvz, mx / (0.6 * 1.00 * Fy) = 0.18 < 1.00$ LRFD (G)
 $Lcy / ry = 7.68 < (Lc / r), max = 200.00$ $Lcz / rz = 20.25 < (Lc / r), max = 200.00$ STABLE

OK Change Forces Calc. Note Help

Verificación esfuerzos críticos en sección W12X50

Manual verification - ANSI/AISC 360-22

Verification of member no.: 220 Beam_220 Units (kN) (kN*m)

Internal forces in the analyzed section

Bending moments Shear forces Axial force Torsion moment

Mry = -273.53 Vry = 0.04 Pr = 315.03 Tr = 0.00
 Mrz = 0.19 Vrz = 108.99

Internal forces in characteristic sections

Bending moments on member ends

Mr1y = -186.97 Mr2y = -273.53
 Mr1z = 0.05 Mr2z = 0.19

Moments in 1/4 of length Moments in center Moments in 3/4 of length

Mr1/4y = -29.17 Mrymid = -52.40 Mr3/4y = -101.45
 Mrzmid = 0.03

OK Cancel Help Options Robot Calculations

Determinación de máximos esfuerzos probables en las rótulas plásticas del elemento
viga previamente diseñado en el modelo de cálculo.

$$C_{pr} := \min \left(\frac{F_{yb} + F_{ub}}{2 \cdot F_{yb}}, 1.2 \right) = 1.152$$

Factor de endurecimiento por
deformación del acero utilizado
en la viga

$$M_{pr} := C_{pr} \cdot R_{yb} \cdot Z_{xb} \cdot F_{yb} = 515.955 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento máximo esperado en
la rótula plástica

$$a := \frac{1}{2} \cdot (0.5 \cdot b_{bf} + 0.75 \cdot b_{bf}) = 12.813 \text{ cm}$$

$$b := \frac{1}{2} (0.65 \cdot d_b + 0.85 \cdot d_b) = 23.25 \text{ cm}$$

$$c := \frac{1}{2} (0.1 \cdot b_{bf} + 0.25 \cdot b_{bf}) = 3.588 \text{ cm}$$

$$S_h := a + \frac{b}{2} = 0.244 \text{ m}$$

Distancia donde ocurre la rótula plástica en la viga,
medida desde la cara de la columna, si se asume conexión
RBS

L es longitud entre cada tramo

$$L := 5.05 \text{ m}$$

$$L_h := L - 2 \cdot S_h - d_c = 4.2 \text{ m}$$

Logitud entre rótulas plásticas

$$V_p := 2 \cdot \frac{M_{pr}}{L_h} = 245.678 \text{ kN}$$

Corte por capacidad en la rótula plástica

$$Q := 39.32 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Carga distribuida en la viga

+

$$V_g := Q \cdot \frac{L_h}{2} = 82.577 \text{ kN}$$

Calculando máximos momentos probables en las vigas

$$V_{ub_1} := V_p + V_g = 328.255 \text{ kN} \quad \text{Cortante resistente en la rótula plástica de v1}$$

$$V_{ub_2} := V_p - V_g = 163.101 \text{ kN} \quad \text{Cortante resistente en la rótula plástica v2}$$

$$M_{pr_1} := M_{pr} = 515.955 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Momento resistente en la rótula plástica v1}$$

$$M_{pr_2} := M_{pr} = 515.955 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Momento resistente en la rótula plástica v2}$$

$$S_{h_1} := S_h = 0.244 \text{ m} \quad \text{Distancia a la rótula plástica v1}$$

$$S_{h_2} := S_h = 0.244 \text{ m} \quad \text{Distancia a la rótula plástica v2}$$

$$M_{pb_1} := M_{pr_1} + \alpha_s \cdot V_{ub_1} \cdot (S_{h_1} + 0.5 \cdot d_c) = 655.422 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Momento máximo proable v1}$$

$$M_{pb_2} := M_{pr_1} + \alpha_s \cdot V_{ub_2} \cdot (S_{h_1} + 0.5 \cdot d_c) = 585.253 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Momento máximo proable v2}$$

$$M_{pb_R} := M_{pb_1} + M_{pb_2} = 1240.675 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Sumatoria de momentos máximos probables de vigas}$$

Calculando máximos momentos probables en las columnas

$$P_{umax_c1} := 436 \text{ kN}$$

$$P_{umax_c2} := 305 \text{ kN}$$

$$M_{pc_1} := Z_{xc} \cdot \left(F_{yc} - \alpha_s \cdot \frac{P_{umax_c1}}{A_c} \right) = 647.001 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{pc_2} := Z_{xc} \cdot \left(F_{yc} - \alpha_s \cdot \frac{P_{umax_c2}}{A_c} \right) = 666.14 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Definición de parámetros para el diseño de conexión haciendo uso del software Robot structural analysis e Idea Statica mediante vinculación “BIM Link”

SMF1

▼ Project item

Name

SMF1

Description

Steel code edition

AISC 360-22 (LRFD) ▼

Concrete code edition

ACI 318-25 ▼

Analysis type

Capacity design ▼

Prequalified connection

☒

System

Special moment frame (SMF) ▼

Connection type

Reduced beam section (RBS) ▼

Report notes

+

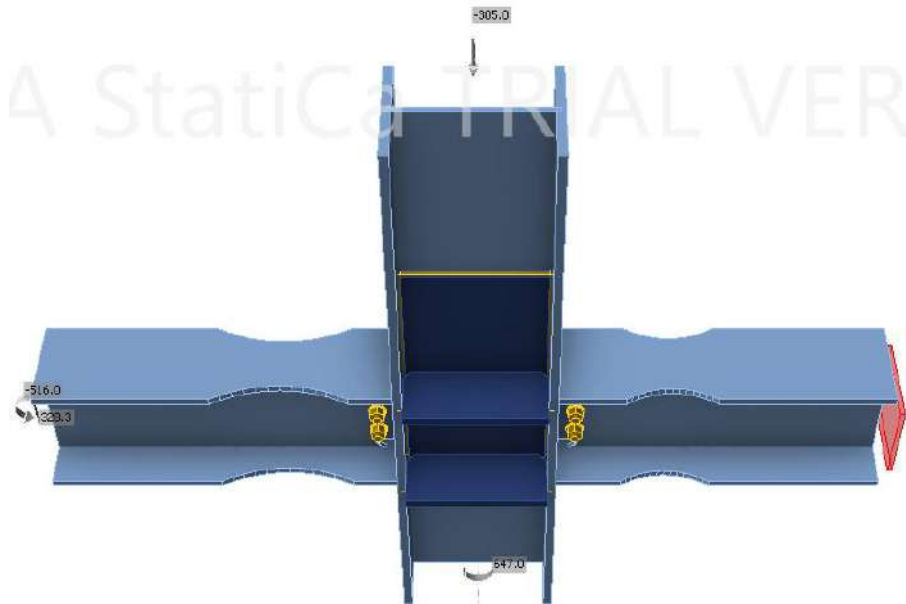
Asignación de esfuerzos máximos probables para llegar a la rótula plástica del elemento.

LE-CD1 [Load]

Copy Delete

Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
SMFB2 / Begin	0.0	0.0	328.3	0.0	-516.0	0.0
Column_1402SMFC / Begin	0.0	0.0	0.0	0.0	647.0	0.0
Column_1402SMFC / End	-305.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Members can be loaded only by that components of internal forces which are defined in member "Model type". Not allowed components are disabled and values are not taken into account in M analysis.



Visualización mesh de la conexión sometida al esfuerzo máximo probable de la viga
llegando a alcanzar el límite plástico de la misma, pero no sometiendo a una falla en las
conexiones.

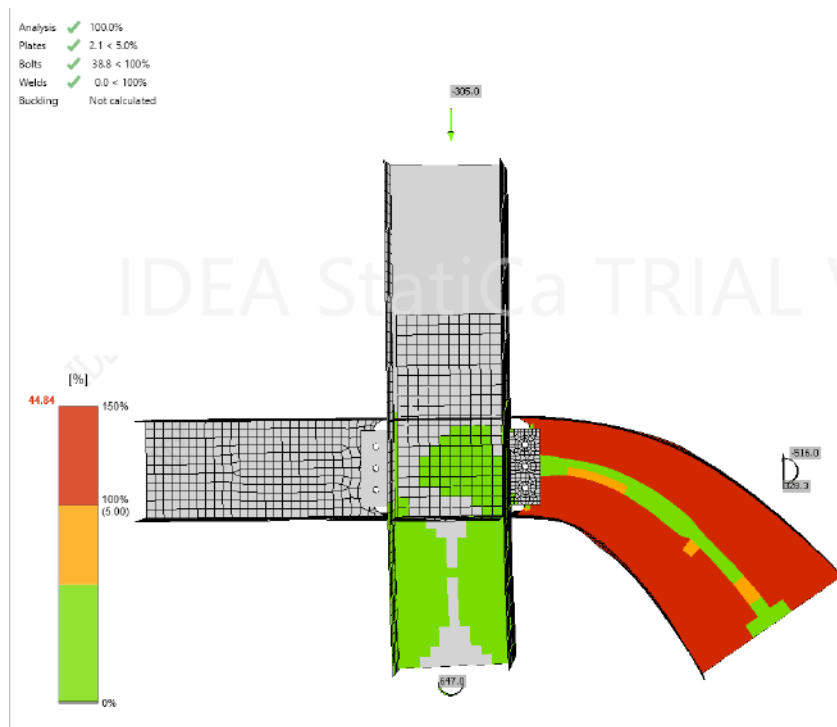
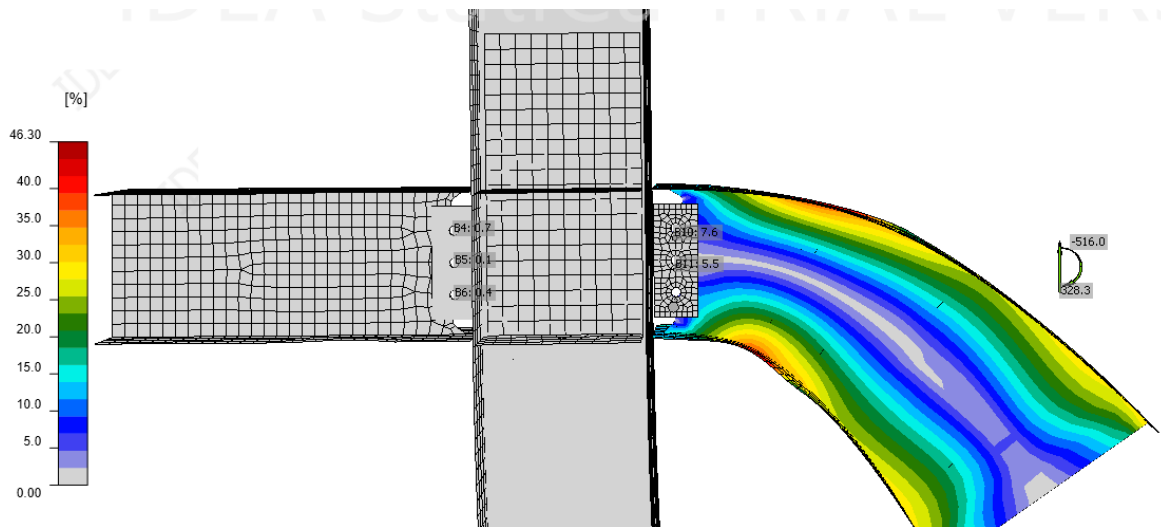


Diagrama de deformaciones plásticas en los elementos.



Se satisface la condición de disipación de energía mediante la viga W12X50.

Results

Summary

Name	Parameters	Results	
SMF1	W(Imp)12X50,W(Imp)14X74 A992 3/4 A490 Capacity design	Analysis	100.0% OK
		Plates	2.1 < 5.0% OK
		Bolts	38.8 < 100% OK
		Welds	0.0 < 100% OK
		Buckling	Not calculated
		Design code	AISC 360-22 (LRFD) / ACI 318-25

Resultado de conexión.

7.4. Potencial del Enfoque BIM y la Interoperabilidad Entre Softwares

Interoperabilidad entre softwares

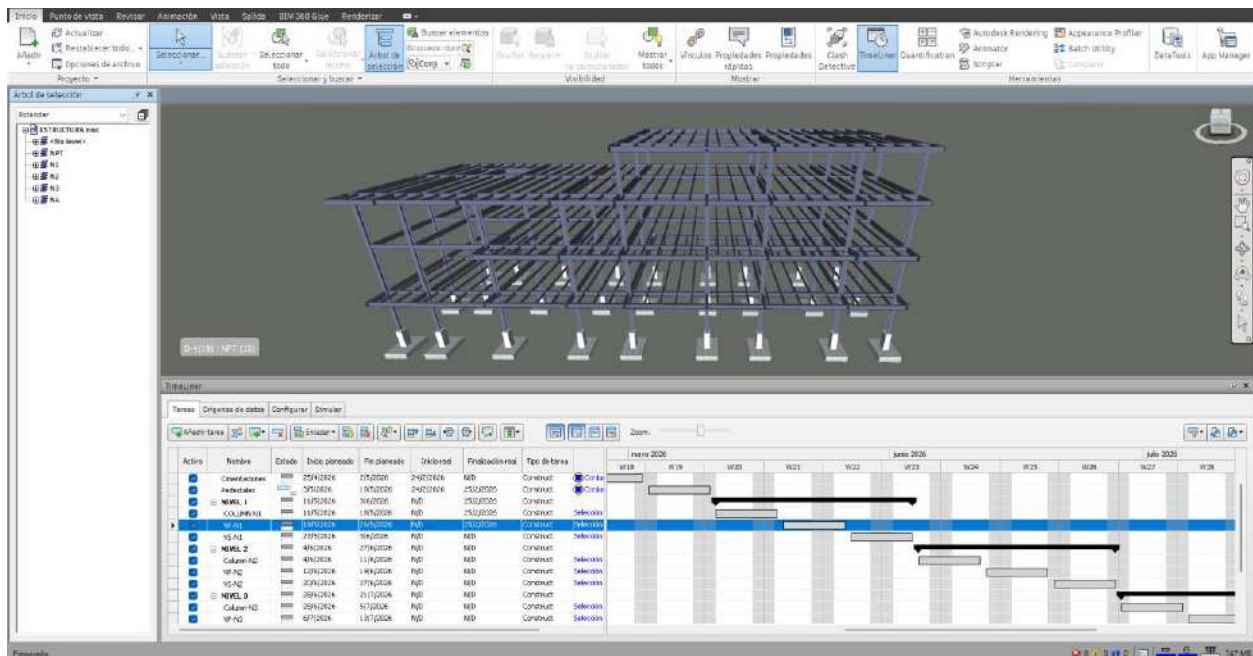
Resultados entre modelo Revit y Robot:

Parámetro evaluado	Resultado
Coincidencia de nodos	100%
Error en masas estructurales	5%
Consistencia geométrica	Sí 100%

Coincide con los criterios que mencionados en la metodología:

- error de masas $\leq 5 \%$
- coincidencia de nodos $\geq 98 \%$

Navisworks: Se elaboro el Time liner de la ejecución del proyecto



Eficiencia del flujo de trabajo BIM

Indicadores de desempeño del proceso BIM.

Actividad	Tiempo aproximado
Modelado estructural en Revit respetando propuesta arquitectónica	2 días
Exportación de Revit a Robot para análisis	30 minutos
Análisis y Diseño estructural en Robot	7 días
Exportación de Robot a Revit para Generación de planos	30 minutos
Generación de planos	2 días

Generación de documentación

Los resultados obtenidos evidencian que la implementación del enfoque BIM permitió integrar de manera eficiente el proceso de modelación arquitectónica, análisis estructural y generación de documentación técnica. La interoperabilidad entre Autodesk Revit y Robot Structural Analysis facilitó la transferencia del modelo analítico, reduciendo inconsistencias geométricas durante el proceso de diseño estructural evidenciando el potencial del flujo de trabajo BIM para optimizar los procesos de diseño en proyectos estructurales.

8. CONCLUSIONES

8.1. Análisis de Fuerzas Laterales Equivalentes

Se obtuvo el resultado del cortante basal estático, el resultado fue $V_x = 202.199$ Ton
 $V_y = 176.148$ Ton, con el que procederemos a hacer la comparación con el cortante basal dinámico, obteniendo como resultado menor a 1 por lo tanto se tiene que amplificar el cortante dinámico.

8.2. Análisis Dinámico Modal Espectral

El análisis dinámico modal espectral permitió evaluar el comportamiento sísmico de la estructura considerando sus modos naturales de vibración, proporcionando una representación más realista de la respuesta dinámica del edificio.

Los resultados obtenidos mediante el software de análisis estructural evidenciaron que la participación modal acumulada de masa alcanzó los valores exigidos por la normativa siendo el valor de: en el modo 4 con una masa participativa del 96.01%, y en el modo 5 con 91.35% garantizando una representación adecuada del comportamiento dinámico de la estructura.

Se obtuvieron desplazamientos Elásticos del Robot en el eje x nivel 4= 4.73 cm, nivel 3= 3.55 cm, nivel 2= 2.03 cm, nivel 1= 0.62 cm, desplazamientos en el eje y nivel 4= 2.52 cm, nivel 3= 2.13 cm, nivel 2= 1.46 cm, nivel 1= 0.58 cm, distorsiones de piso y sus limitaciones obteniendo distorsiones en eje x, nivel 4= 0.021 cm, nivel 3= 0.024 cm, nivel 2= 0.022 cm, nivel 1= 0.011 cm, para el eje y, nivel 4= 0.007 cm, nivel 3= 0.011 cm, nivel 2= 0.014 cm, nivel 1= 0.010 cm cumpliendo con la distorsión de piso máxima de 0.025 cm en todos los niveles.

8.3. Diseño de los Elementos Estructurales y Conexiones

El diseño de las vigas transversales se realizó mediante el módulo de sección compuesta del software Robot Structural, Se realizaron revisiones para garantizar al menos el 75% de sección compuesta entre la Losa cero y viguetas, donde se plantea induce inicialmente una falla por conectores a corte y posteriormente falla debido a fluencia en la viga, garantizando de esta manera un correcto desempeño de la sección compuesta en entrepiso.

Los resultados del diseño garantizan un desempeño adecuado de la estructura tanto para casos de servicio como accidentales, presentando una D/C en los elementos estructurales más críticos del 0.93 y por consiguiente menores a 1.

Dichos perfiles fueron iterados mediante un proceso automatizado que dispone el software Robot Structural, dicha herramienta fue clave ya que gracias a ello es posible obtener resultados más acertados sin la necesidad de invertir mucho tiempo en numerosas iteraciones manuales.

Las provisiones sísmicas para sistemas de pórticos resistentes a momentos (SMF) fueron analizadas según el AISC 341-22 de modo tal que la revisión se encuentra implícitamente en la programación del software Robot Structural Analysis, pese a ello se optó por realizar una verificación manual para determinar esfuerzos máximos probables en las rótulas plásticas de las vigas (Elemento encargado de la disipación de energía),

como era previsto no se presentaron casos de variaciones en las verificaciones obtenidas en el software como las que se efectuaron manualmente.

La revisión de conexiones se realizó mediante la implementación del “BIM Link”, una virtud más del enfoque que se está logrando obtener entre diversos softwares incluyendo Robot Structural, Para de esta manera trasladar datos propios del modelo de cálculo tales como combinaciones, geometría, cargas, y secciones. De esta manera se agilizó el proceso de integración manual de cargas elemento a elemento y definición de conexiones.

Consideramos satisfactoria la conexión provista para el eje más crítico del sistema estructural encargado de disipar esfuerzos laterales mediante alcanzar rótulas plásticas ubicadas en las vigas incursionando de esta manera en el rango inelástico de dichos elementos sometidos a esfuerzos, resultados obtenidos en Idea Statica garantizan el correcto desempeño de la conexión (RBS) Reduced Beam Section, precalificada según la norma AISC A358-22.

Las cargas debido a viento no fueron sustanciales para el diseño de nuestros elementos debido a la zona y configuración de la estructura, estas presiones no fueron asignadas de la manera tradicional sino más bien mediante una simulación CFD que pose Robot Structural, donde se especifica la velocidad de diseño y direcciones, garantizando así una distribución más precisa de presiones y reduciendo tiempo en la etapa de aplicación de cargas en la estructura.

8.4. Potencial del Enfoque BIM y La Interoperabilidad Entre Softwares

- Los resultados presentados confirman el potencial transformador del enfoque BIM en la gestión de proyectos estructurales, destacando una interoperabilidad óptima entre Autodesk Revit y Robot Structural Analysis, con una coincidencia de nodos del 100%, un error en masas estructurales inferior al 5% y una consistencia geométrica absoluta.
- la integración con Navisworks Manage facilitó la simulación temporal de la ejecución del proyecto.
- el flujo de trabajo BIM demostró eficiencia en términos de tiempo, reduciendo etapas críticas a minutos y optimizando el proceso global desde el modelado hasta la generación de documentación.

9. RECOMENDACIONES

9.1. Recomendaciones Técnicas

- Se recomienda incorporación de validaciones cruzadas con software alternativo: Aunque Robot Structural Analysis es robusto para el enfoque BIM, se aconseja validar resultados mediante exportación a herramientas como ETABS o SAP2000, enfocándose en la coincidencia de esfuerzos axiales, cortantes y momentos en elementos críticos. Esto reduce inconsistencias y asegura cumplimiento con la NSCM-22 en cuanto a factores de seguridad para acero estructural.
- Capacitación y estandarización de flujos de trabajo: Para equipos de diseño, implemente protocolos estandarizados de BIM que incluyan chequeos automáticos de normativas en Robot Structural Analysis. Se sugiere capacitar al personal en actualizaciones de la NSCM-22, enfatizando el análisis modal para edificios de mediana altura en zonas de alto riesgo sísmico.

9.2. Recomendaciones para Implementación

- Se propone de utilización de Navisworks Manage como herramienta de coordinación, la cual puede contribuir a mejorar la detección temprana de interferencias y la validación del modelo digital.
- Se recomienda descargar los plugin siguientes:
Extensión de integración para Revit y Robot Structural Analysis (se descarga desde Autodesk)
Navisworks Freedom (se descarga desde Autodesk)
- Capacitaciones internacionales con respecto al flujo de trabajo BIM (coordinador BIM)

9.3. Temas Emergentes y Continuidad del Trabajo

- Un posible tema de investigación emergente derivado de esta recomendación podría ser: "Incorporación de software ingenieril en la educación superior nicaragüense: estrategias para superar limitaciones socioeconómicas en la formación de profesionales en ingeniería civil". Este enfoque permitiría analizar de manera sistemática los desafíos asociados con el acceso restringido a herramientas digitales, tales como licencias limitadas y recursos computacionales insuficientes, proponiendo modelos adaptados al contexto local que promuevan la equidad y la adopción tecnológica sostenible.
- Un tema de investigación emergente derivado de este proyecto podría centrarse en la medición directa de beneficios cuantitativos asociados a la implementación de la metodología BIM en el contexto nicaragüense, con énfasis en la reducción efectiva de tiempos y costos durante las etapas de montaje y ejecución de estructuras de acero sismorresistentes. Este enfoque respondería a las limitaciones identificadas en el estudio actual, donde los beneficios se evaluaron mediante simulaciones digitales sin validación empírica en entornos reales, permitiendo una extensión práctica que integre métricas como tiempo de coordinación reducido (medido en horas por fase) y ahorros económicos (calculados en porcentajes de presupuesto total), comparados con métodos tradicionales en proyectos locales de alta sismicidad como Managua. La investigación podría emplear un diseño semi experimental en casos piloto, incorporando herramientas como Revit y Robot Structural Analysis para rastrear indicadores en tiempo real, y alinearse con normativas como la NSCM-22,

contribuyendo así a políticas de adopción BIM en instituciones nicaragüenses para fomentar eficiencia y resiliencia urbana.

- Un posible tema emergente es un estudio de que limitantes se necesitan para incorporar la metodología BIM en nicaragua (se consideró una entrevista dirigida a profesionales nicaragüenses con conocimiento de la metodología BIM pero no se logró aplicar por tiempo, sin embargo existe la entrevista como anexo por se desea aplicar a futuras investigaciones sobre el estado de la metodología BIM en nicaragua proponiendo como traspasar estas barreras de implementación)

10. REFERENCIAS

- Aburto Vanegas, A. P., & Quintanilla Ugarte, A. A. (Noviembre de 2023). *"Evaluación de la metodología BIM en obras verticales, aplicadas a una edificación, elaborada en el segundo semestre del 2023"*. Obtenido de <https://repositorio.ucc.edu.ni/1279/1/MONOGRAFIA%20TOMO%201%20BIM-UCC%20OFICIAL%20.pdf>
- AE-001. (2017). Obtenido de <https://urbanismo.managua.gob.ni/wp-content/uploads/2020/07/Normas-M%C3%ADnimas-De-Dise%C3%B1o-y-Construcci%C3%B3n-General-De-Acero-AE-001.pdf>
- AISC. (s.f.). Obtenido de <https://www.aisc.org/aisc/solutions-center/seismic>
- Alemán López, C. V., & Blandón Escobar, C. (Julio de 2024). *"Evaluación del comportamiento sísmico de un edificio de acero, ubicado en la ciudad de Managua, 2023"*. Obtenido de <https://ribuni.uni.edu.ni/6281/1/AL367.pdf>
- ArcDoc. (2025). *¿Qué es BIM y por qué es imprescindible para arquitectos y constructores?* Obtenido de <https://www.ardoc.es/que-es-bim-y-por-que-es-imprescindible-para-arquitectos-y-constructores/>
- Autodesk. (2024). *Más allá del diseño y la documentación* . Obtenido de Novedades de Revit para ingenieros estructurales .
- Basualdo Urbano, A. P. (Julio de 2021). *SISTEMAS Y HERRAMIENTAS DIGITALES PARA LA GESTIÓN COLABORATIVA*. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/135650ba-a8b1-452e-8e3c-f41ef705343d/content>

Bermúdez Díaz, T. J. (Julio de 2023). *"Análisis comparativo entre métodos lineales del RNC-07 y NSCM-22, aplicado a edificios ubicados en la ciudad de Managua"*.

Obtenido de <https://ribuni.uni.edu.ni/6600/1/200182.pdf>

BIMware. (2026). *Histoire de Robobat et BIMware*. Obtenido de

<https://bimware.com/fr/societe/histoire.html>

Engelbart, D. C. (Octubre de 1962). *AUGMENTING HUMAN INTELLECT*:. Obtenido de

AUGMENTING HUMAN INTELLECT..

EspacioBIM. (2020). *¿Autodesk Robot? ¿Qué es Robot?* . Obtenido de

<https://www.espaciobim.com/autodesk-robot>

Genie Rizo, L. N., Guido Cruz, D. J., & Gómez Serrano, S. L. (Septiembre de 2021).

"Diseño basado en el desempeño estructural de un edificio esencial sismo resistente de acero, de ocho niveles emplazado en la ciudad de Managua".

Obtenido de <https://ribuni.uni.edu.ni/4175/1/96018.pdf>

Hibbeler., R. (2012). *Analisis Estructural Octava Edicion* . Pearson.

Huaraca Ramos, A. (2018). *"Análisis Comparativo Aplicando el Software Robot*

Structural Analysis y Etabs para Evaluar el Comportamiento Estructural de Viviendas Autoconstruidas". Obtenido de

<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/794>

Ilasaca Colque, Y., & Pumachara Corrales, R. (2022). *repositorio UNSAAC*. Obtenido

de UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO.

Ilasca Colque, Y. A., & Pumachara Corrales, R. G. (2022). *"Análisis Comparativo en el*

Proyecto de Viviendas Multifamiliares de 04 Niveles entre Sistema de Placas con Sistemas Aporticados, Utilizando la Metodología BIM en la Ciudad de Sicuani

2018". Obtenido de

https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/6264/253T20220005_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y

INETER, & SINAPRED. (2005). *Estudio de la vulnerabilidad sísmica de Managua*.

Obtenido de <https://www.drmonline.net/drmlibrary/pdfs/NiV01.pdf>

INIDE. (2025). *Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE)*. Obtenido de

Anuario estadístico 2023.:

https://www.inide.gob.ni/docs/Anuarios/Anuario2023/Anuario_Estadistico_2023.pdf

Llanos García, C. (2024). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA*. Obtenido de

“INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM MEDIANTE LA INTEROPERABILIDAD ENTRE REVIT Y ROBOT ESTRUCTURAL EN EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO CON SISTEMA DUAL”:

<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/7331>

Llanos García, C. D. (2024). *“Influencia de la Aplicación de la Metodología BIM*

Mediante la Interoperabilidad entre Revit y Robot Estructural en Edificios de Concreto Armado con Sistema Dual”. Obtenido de

<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/7331/TESIS%20-%20LLANOS%20GARC%c3%8dA%20CRISTIAN%20DAVID.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Manobanda Chariguaman , E. (2024). *Repositorio Institucional de la Universidad*

Politécnica Salesiana. Obtenido de ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UNA ESTRUCTURA DE CONCRETO ARMADO Y ESTRUCTURA METÁLICA,

APLICANDO METODOLOGÍA BIM :

<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28296>

McCormac, J. C., & Csernak, S. F. (2012). *Diseño de estructuras de acero (5ª ed.)*.

Alfaomega.

Meli Piralla, R. (2002). *Diseño Estructural* (2da ed.). México: Limusa.

Moreno Torres, K. M., & Rayo Jirón, P. N. (Febrero de 2020). “*Diseño de Edificio de*

Acero en la Universidad Nacional de Ingeniería Recinto Augusto César

Sandino”. Obtenido de <https://ribuni.uni.edu.ni/3216/1/94669.pdf>

Moreno, I. G. (Junio de 2024). *Evaluación del comportamiento estructural de una edificación de mediana altura en acero mediante un diseño sismorresistente*

convencional y otro por medio del uso de aisladores sísmicos . Obtenido de

<https://ribuni.uni.edu.ni/6554/1/200084.pdf>

MTI. (2022). *NSCM-22*. Obtenido de

<http://iohanis.com/~leoalvar/papers/NormaManaguaJunio22.pdf>

Nicaragua, L. d. (Abril de 2000). *LEY N°. 337, LEY CREADORA DEL SISTEMA*

NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y ATENCIÓN DE

DESASTRES. Obtenido de

[http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/\(\\$All\)/297E6E70F4940832062572020059E4CD?OpenDocument](http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/($All)/297E6E70F4940832062572020059E4CD?OpenDocument)

Nicaragua, L. d. (Mayo de 2022). *LEY N°. 963, LEY DEL DIGESTO JURÍDICO*

NICARAGÜENSE, CON SUS REFORMAS INCORPORADAS. Obtenido de

<http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/9e314815a08d4a6206257265005d21f9/928ac3f0a40cd113062588460079f7da?OpenDocument>

- Pérez Tórrez , L. C., Meza Vanegas , K. B., & Guerrero Sándigo , A. J. (Noviembre de 2021). *"Propuesta de implementación de la metodología BIM por medio del diseño y desarrollo de un proyecto piloto tipo residencial"*. Obtenido de <https://ribuni.uni.edu.ni/4980/1/15829.pdf>
- PNLCP-DH . (2022). Obtenido de [https://www.pndh.gob.ni/documentos/pnlc-dh/PNCL-DH_2022-2026\(19Jul21\).pdf](https://www.pndh.gob.ni/documentos/pnlc-dh/PNCL-DH_2022-2026(19Jul21).pdf)
- RNC-2007. (s.f.). Obtenido de <https://sjnavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/08/rnc-2007.pdf>
- Rodríguez Bardía, F., & Isaacs Aguilar , G. I. (Marzo de 2024). *BOLETÍN TÉCNICO LanammeUCR*. Obtenido de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/2715/Bolet%c3%adn%20%20T%c3%a9cnico%20v1%20n3%20marzo%202024.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez Valdivia, J. E., & Otilio Ortiz, C. (Septiembre de 2024). *"Diseño sísmico para edificio de oficinas de dos plantas de concreto reforzado aplicando la Norma Sismorresistente para la Ciudad de Managua"*. Obtenido de https://ribuni.uni.edu.ni/6340/1/R696j_2024.pdf
- Rodríguez Valdivia, J., & Otilio Ortiz, C. (septiembre de 2024). *Repositorio UNI*. Obtenido de "DISEÑO SÍSMICO PARA EDIFICIO DE OFICINAS DE DOS PLANTAS DE CONCRETO REFORZADO APLICANDO LA NORMA SISMORRESISTENTE PARA LA CIUDAD DE MANAGUA".: https://ribuni.uni.edu.ni/6340/1/R696j_2024.pdf

Scribd. (2021). *Primer Foro BIM Nicaragua 2019*. Obtenido de

[https://es.scribd.com/document/497186937/Documento-Memoria-Primer-Foro-](https://es.scribd.com/document/497186937/Documento-Memoria-Primer-Foro-BIM-Nicaragua-2019)

[BIM-Nicaragua-2019](https://es.scribd.com/document/497186937/Documento-Memoria-Primer-Foro-BIM-Nicaragua-2019)

Vinnakota, S. (2006). *Estructuras de Acero: Comportamiento y LRFD*. Mc Graw Hill.

Zavala Pacheco , O. A. (Diciembre de 2020). “*Aplicación de la Metodología BIM para el*

Diseño Estructural, la Detección y Solución de Interferencias en los Procesos

Constructivos”. Obtenido de

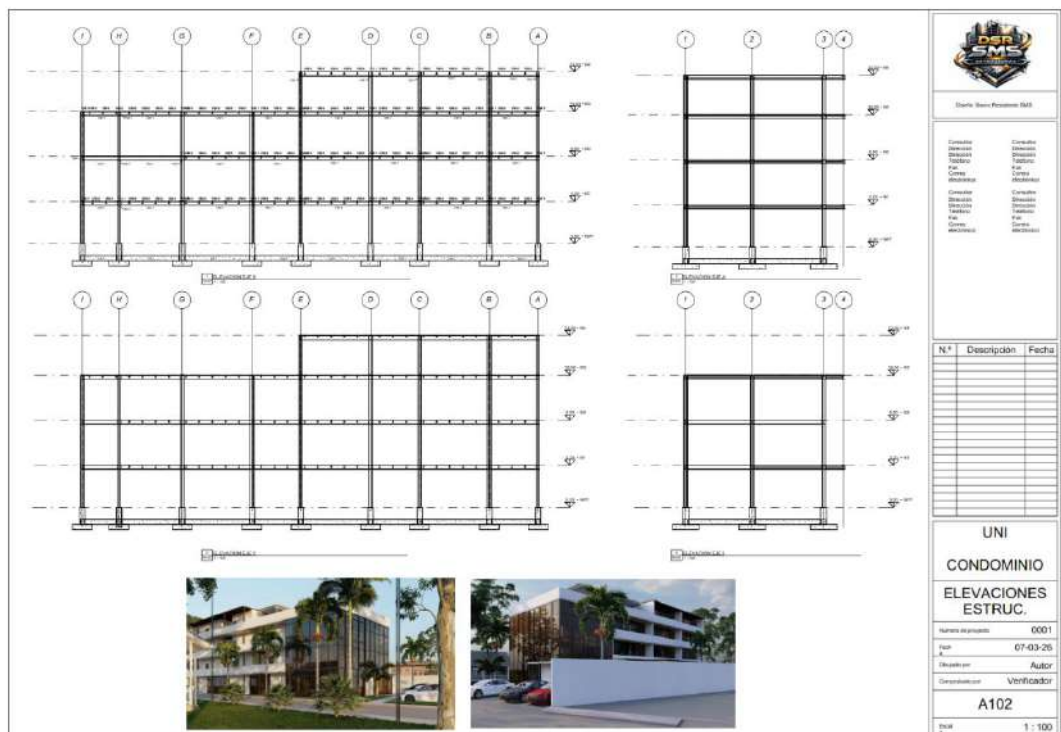
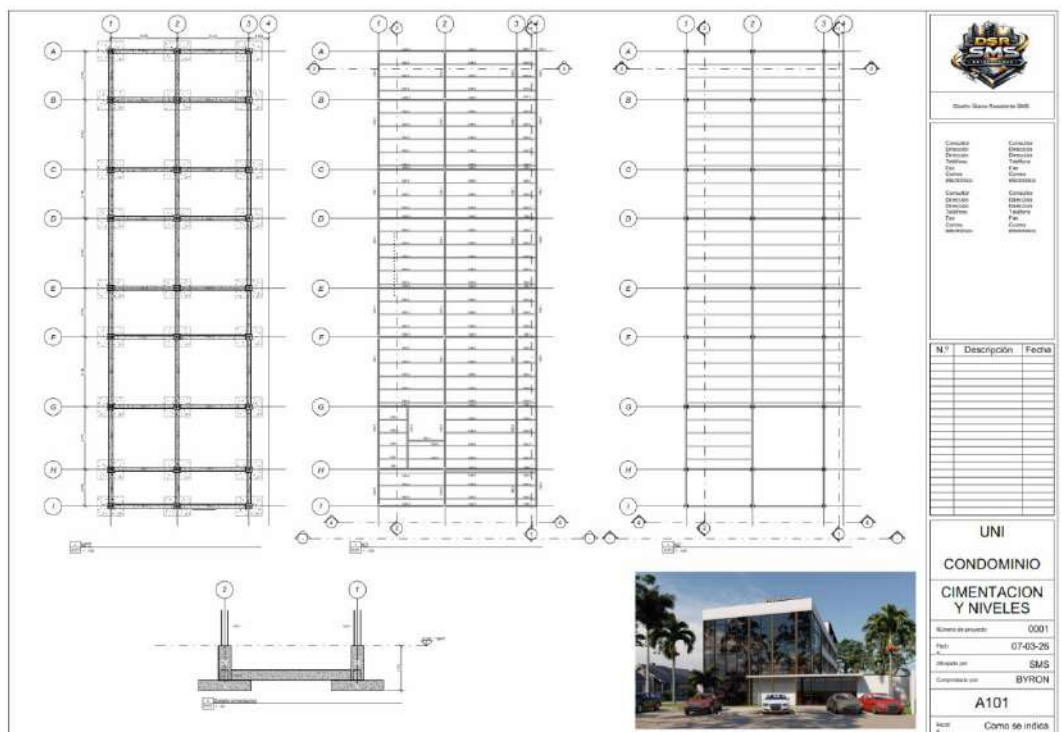
[https://tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx/ptd2020/diciembre/0806016/Index.ht](https://tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx/ptd2020/diciembre/0806016/Index.htm)

[ml](https://tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx/ptd2020/diciembre/0806016/Index.htm)

11. ANEXOS

11.1. Planos

11.1.1. Planos Estructurales obtenidos de Revit



11.2. Memoria de Cálculo

11.2.1. Memoria de cálculo análisis fuerzas laterales equivalentes y análisis dinámico modal espectral.

Análisis sísmico

Determinación de cargas gravitacionales

Sección 9.6 NSCM-22, Peso sísmico efectivo

Independientemente del método de análisis que se use, el peso sísmico efectivo a utilizarse será:

a) Caso general

$$W = CM + 0.15 \cdot CV$$

Sistema colector de entrepiso, mediante losa cero tipo steel deck.



Ancho efectivo 958 mm

Perfil P63; Galva Deck
Calibre 24 (0.57mm)
Espesor concreto = 8cm

Rendimiento de materiales GalvaDeck P63								
Longitud de entrepiso metálico por área	Calibre, C	Espesor de concreto, hc	Volumen de concreto		Área de acero por temperatura	Recomendación Mallamáx.		
m/m²	(mm)	(cm)	(m³/m)	(m³/m²)	(cm²/m²)	Calibre	(cm²/m²)	(pliego/m²)
1.0438	24 (0.57)	5	0.077	0.0812	0.6091	10/10	0.6160	0.0802
		6	0.0874	0.0912	0.6841	9/9	0.7561	
		8	0.1065	0.1112	0.8341	8/8	0.8845	
		10	0.1257	0.1312	0.9841	7/7	1.0603	
		12	0.1449	0.1512	1.1341	6/6	1.2469	
	22 (0.71)	5	0.0777	0.0811	0.6086	10/10	0.6160	
		6	0.0873	0.0911	0.6836	9/9	0.7561	
		8	0.1065	0.1111	0.8336	8/8	0.8845	
		10	0.1256	0.1311	0.9836	7/7	1.0603	
		12	0.1448	0.1511	1.1336	6/6	1.2469	
	20 (0.86)	5	0.0777	0.0811	0.6080	10/10	0.6160	
		6	0.0872	0.0911	0.6830	9/9	0.7561	
		8	0.1064	0.1111	0.8330	8/8	0.8845	
		10	0.1256	0.1311	0.9830	7/7	1.0603	
		12	0.1447	0.1511	1.1330	6/6	1.2469	

Note: Las áreas de acero por temperatura recomendadas con malla electrosoldada no se consideran como refuerzo negativo de la losa de entrepiso

$$\gamma_c := 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad lam := 4.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad W_{lam} := 0.1112 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} \cdot \gamma_c + lam = 271.38 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$A_{ent} := 34.38 \text{ m} \cdot 11.9 \text{ m} = 409.122 \text{ m}^2 \quad A_{tech} := 11.9 \text{ m} \cdot 18 \text{ m} = 214.2 \text{ m}^2$$

Cargas muertas no estructurales sobre impuestas a niveles de entrepiso (N1,N2,N3), según, Tabla 7.4.1 -Cargas permanentes NSCM-22

Mortero de nivelación + Ladrillo de cerámica = 90kg/m²

Accesorios y cables electricos = 15kg/m²

Lamparas + accesorios = 15kg/m²

Yeso con perfiles de aluminio = 8kg/m²

$$CMS_{ent} := (90 + 15 + 15 + 8) \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 128 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Particiones con paneles de doble electromalla, muro cortina de vidrio, N1

$$h_1 := 3.2 \text{ m} \quad wp := 150 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad wvid := 35 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad A_{sl} := 323.73 \text{ m}^2$$

$$Particiones(ml) := 116.52 \text{ m} \quad Muroml := 86.42 \text{ m} \cdot \frac{1}{A_{sl}} = 0.267 \frac{1}{\text{m}}$$

$$Pext := 30.1 \text{ m} \cdot \frac{1}{A_{sl}} \quad Vdext := 27.2 \text{ m} \cdot \frac{1}{A_{sl}}$$

$$PInt_{N1} := (h_1 \cdot Muroml \cdot wp) = 128.136 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$PExt_{N1} := (h_1 \cdot Pext \cdot wp) = 44.63 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$Vext_{N1} := (h_1 \cdot Vdext \cdot wvid) = 9.41 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$W_{PARN1} := PInt_{N1} + PExt_{N1} + Vext_{N1} = 182.177 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$CMS_{N1} := W_{PARN1} + CMS_{ent} = 310.177 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Particiones con paneles de doble electromalla, muro cortina de vidrio, N2

$$h_2 := 3.4 \text{ m}$$

$$PInt_{N2} := (h_2 \cdot Muroml \cdot wp) = 136.145 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$PExt_{N2} := (h_2 \cdot Pext \cdot wp) = 47.419 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$Vext_{N2} := (h_2 \cdot Vdext \cdot wvid) = 9.998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$W_{PARN2} := PInt_{N2} + PExt_{N2} + Vext_{N2} = 193.563 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$CMS_{N2} := W_{PARN2} + CMS_{ent} = 321.563 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Particiones con paneles de doble electromalla, muro cortina de vidrio, N3

$$h_3 := 3.0 \text{ m}$$

$$PInt_{N3} := (h_3 \cdot Muroml \cdot wp) = 120.128 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$PExt_{N3} := (h_3 \cdot Pext \cdot wp) = 41.84 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$Vext_{N3} := (h_3 \cdot Vdext \cdot wvid) = 8.822 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$W_{PARN3} := PInt_{N3} + PExt_{N3} + Vext_{N3} = 170.79 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$CMS_{N3} := W_{PARN3} + CMS_{ent} = 298.79 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Cargas muertas sobre impuestas a losa de techo (N4)

Impermeabilizante asfáltico = 30 kg/m^2
 Accesorios y cables electricos = 15 kg/m^2
 Lamparas + accesorios = 15 kg/m^2
 Yeso con perfiles de aluminio = 8 kg/m^2

$$\gamma_{cligero} := 1200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Pend := \gamma_{cligero} \cdot (0.12 \text{ m}) \cdot 12 \text{ m} \cdot 18 \text{ m} \cdot \frac{1}{12 \text{ m} \cdot 18 \text{ m}} = 144 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$CMS_{tech} := (30 + 15 + 15 + 8) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 68 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$CMS_{N4} := CMS_{tech} + Pend = 212 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Cargas variables unitarias minimas Tabla 7.1.1, NSCM-22

Uso del edificio (Apartamento) $CV := 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$ $CVT := 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

Carga muerta permanente debido a peso propio (Salida del programa)

$$CM_{N1} := 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad CM_{N2} := 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad CM_{N3} := 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad CM_{N4} := 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Peso sísmico por nivel de piso

$$W_{N1} := [(W_{PARN1} + CM_{N1} + CMS_{ent}) + (0.15 \cdot CV)] \cdot A_{ent} = [139582.814] \text{ kg}$$

$$W_{N2} := [(W_{PARN2} + CM_{N2} + CMS_{ent}) + (0.15 \cdot CV)] \cdot A_{ent} = [144241.09] \text{ kg}$$

$$W_{N3} := [(W_{PARN3} + CM_{N3} + CMS_{ent}) + (0.15 \cdot CV)] \cdot A_{ent} = [134924.538] \text{ kg}$$

$$W_{N4} := [(CM_{N4} + CMS_{tech}) + (0.15 \cdot CV)] \cdot A_{tech} = [21205.8] \text{ kg}$$

CAPITULO 5: CLASIFICACION DE LAS ESTRUCTURAS Y DE LA AMENAZA SISMICA

5.2 Factor de Importancia

Tabla 5.2.2 categoría de riesgo

Estructuras de ocupación normal, categoría de riesgo " II " -> $I := 1.0$

Tabla 5.2.1 Factor de importancia

Tabla 5.2.1- Factor de Importancia

Categoría de riesgo	I
I	0.75
II	1.0
III	1.3
IV	1.65

Estructuras de ocupación normal	II	Estructuras comunes de ocupación normal.
		Estructuras de la categoría III que no cumplan con la condición de albergar más de 500 personas, más de 10 pisos, con área de construcción mayor a 10,000 m2, proyectos con un número mayor de 10 edificios y/o más de 50 unidades de vivienda unifamiliar o bifamiliar.
		En general por defecto, cualquier estructura que no pertenezca a las categorías III, y IV o estructura de la categoría I que pueda poner en peligro a estructuras de este grupo.

5.1 Clasificación por grupo de Importancia

Tabla 5.1.1 Sismo de diseño segun categoría de riesgo

Grupo de importancia	Categoría de Riesgo	Sismo de diseño
Estructuras no destinadas a habitación	I	Sismo de servicio.
Estructuras de ocupación normal	II	Sismo de diseño
Estructuras de ocupación especial	III	Sismo extremo I.
Estructuras esenciales	IV	Sismo extremo II.

5.3 Categoría de Diseño Sismico

Tabla 5.3.1 → CDS=D

5.4 Clasificación por irregularidad

Factor de regularidad en planta	Factor de regularidad en elevación
$\Phi_P = \Phi_{PA} \times \Phi_{PB}$	$\Phi_E = \Phi_{EA} \times \Phi_{EB}$
Donde: D	onde:
Φ_P -- Factor de regularidad en planta	Φ_E -- Factor de regularidad en elevación
Φ_{PA} -- Mínimo valor de ϕ_{Pi} de cada piso i para el caso de irregularidades del tipo 1,2 y/o 3.	Φ_{EA} -- Mínimo valor de ϕ_{Ei} de cada piso i para el caso de irregularidades del tipo 1 y 4.
Φ_{PB} -- Mínimo valor de ϕ_{Pi} de cada piso i para el caso de irregularidades del tipo 4.	Φ_{EB} -- Mínimo valor de ϕ_{Ei} de cada piso i para el caso de irregularidades del tipo 2 y 3.
ϕ_{Pi} -- Factor de irregularidad en planta	ϕ_{Ei} -- Factor de irregularidad en elevación

5.5 Clasificación por material y sistema estructural (Tabla 5.5.1)

Material: Acero

Sistema estructural: Marcos de momento especiales de acero (SMF)

R = Coeficiente de modificación de respuesta

$R := 8$

Ω_o = Factor de sobrerresistencia

$\Omega_o := 3$

C_d = Coeficiente de deflexión

$C_d := 5.5$

γ_{max} = Distorsión máxima de piso

$\gamma_{max} := 0.025$

Sistema Estructural	Coeficiente de modificación de respuesta, R	Factor de sobrerresistencia, Ω_o	Coeficiente de deflexión, C_d	Distorsión Máxima De piso	Indicados al final de cada fila			
					Categoría de diseño, cuando			
					A	B	C	D
C. SISTEMAS DE MARCOS RESISTENTES A MOMENTO								
1. Marcos de momento especiales de acero	8	3	5 %	0.025	SL	SL	SL	SL
2. Marcos de momento de cerchas especiales de acero	7	3	5 %	0.02	SL	SL	SL	SL
3. Marcos de momento intermedio de acero	4 1/2	3	4	0.020	SL	SL	SL	SL
4. Marcos de momento ordinario de acero	3 1/2	3	3	0.015	SL	SL	SL	NP
5. Marcos de momento especiales de concreto armado	8	3	5 %	0.02	SL	SL	SL	SL
6. Marcos de momento intermedios de concreto armado	5	3	4 %	0.015	SL	SL	SL	NP
7. Marcos de momento ordinarios de concreto armado	3	3	2 %	0.010	SL	SL	NP	NP
8. Marcos de momento especiales compuestos ^a	8	3	5 %	0.025	SL	SL	SL	SL
9. Marcos de momento intermedio compuestos ^a	5	3	4 %	0.020	SL	SL	SL	NP
10. Marcos de momento ordinario compuestos ^a	3	3	2 %	0.015	SL	SL	NP	NP
D. SISTEMAS DUALES CON MARCOS DE MOMENTOS ESPECIALES CAPAZ DE RESISTIR AL MENOS EL 25% DE LAS FUERZAS SÍSMICAS PRESCRITAS								
1. Marcos de acero con anclajeamiento excéntrico	8	2 1/2	4	0.025	SL	SL	SL	SL
2. Marcos especiales de acero anclados concéntricamente	7	2 1/2	5 %	0.020	SL	SL	SL	SL
3. Muros de corte de concreto reforzado especiales	7	2 1/2	5 %	0.02	SL	SL	SL	SL
4. Muros de corte de concreto reforzado ordinarios	6	2 1/2	5	0.01	SL	SL	SL	NP
5. Muros compuestos con anclajeamiento excéntrico ^a	8	2 1/2	4	0.025	SL	SL	SL	SL
6. Marcos especiales compuestos anclados concéntricamente ^a	6	2 1/2	5	0.015	SL	SL	SL	SL
7. Muros de corte de mampostería reforzada especial	5 1/2	3	5	0.01	SL	SL	SL	SL
8. Muros de corte de mampostería reforzada intermedia	4	3	3 1/2	0.006	SL	SL	SL	NP
9. Marcos de acero anclados con pandeo restringido	8	2 1/2	5	0.025	SL	SL	SL	SL

CAPITULO 6. PARAMETROS DE ACCION SISMICA

6.2 Zonificación sísmica

Figura 6.2.1



Figura 6.2 1 - Mapa de Zonificación Sísmica para Nicaragua

Tabla 14.2

$a_0 := 0.36667$ (Isoaceleración de suelo)

Zona Sísmica = Z4

6.4 Factor de amplificación por tipo de suelo

Tabla 6.3.1 - Clasificación por tipo de suelo

Clasificación del sitio	Descripción	Definición		
		Velocidad de onda de corte V_s (m/s)	Resistencia de penetración estándar N	Resistencia al corte del suelo sin drenar S_u (kg/cm ²)
A	Roca rígida	$V_s > 1500$	N/A	N/A
B	Roca	$760 < V_s \leq 1500$	N/A	N/A
C	Suelo muy Denso y Roca Blanda	$360 < V_s \leq 760$	$N > 50$	$S_u \geq 1.0$
D	Suelo Rígido	$180 < V_s \leq 360$	$15 \leq N \leq 50$	$0.5 \leq S_u \leq 1.0$
E	Suelo Blando	$V_s < 180$	$N < 15$	$S_u < 0.5$
E		Además, se considerará un suelo tipo E, cualquier capa de suelo con más de 3m que tenga las siguientes características: 1. Índice de Plasticidad $PI > 20$ 2. Contenido de humedad $w > 40\%$ 3. Resistencia al corte sin drenar $S_u < 0.24 \text{ kg/cm}^2$		

Valor asumido del tipo de suelo categoría "C"

Tabla 6.4.1 - Factores de amplificación vertical por tipo de suelo

Zona Sísmica	Tipo de Suelo				
	A	B	C	D	E
Z_1	0.8	1	1.4	1.7	2.2
Z_2	0.8	1	1.4	1.6	2.0
Z_3	0.8	1	1.4	1.5	ver nota
Z_4	0.8	1	1.3	1.4	ver nota

$$F_{as} := 1.3$$

6.5 Factor de ajuste espectral

Tabla 6.5.1 - Factor de ajuste espectral FS para T_b y T_c

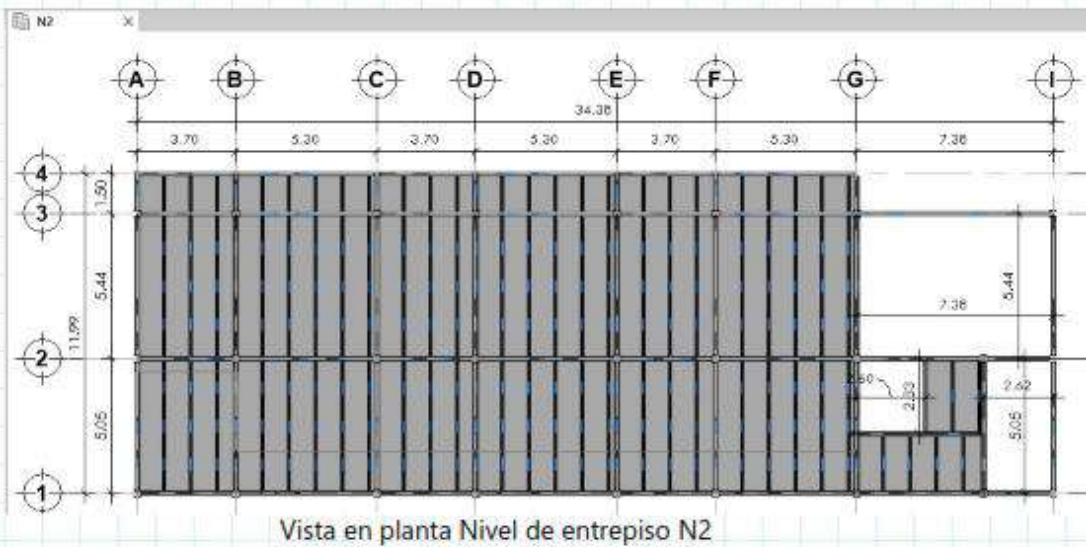
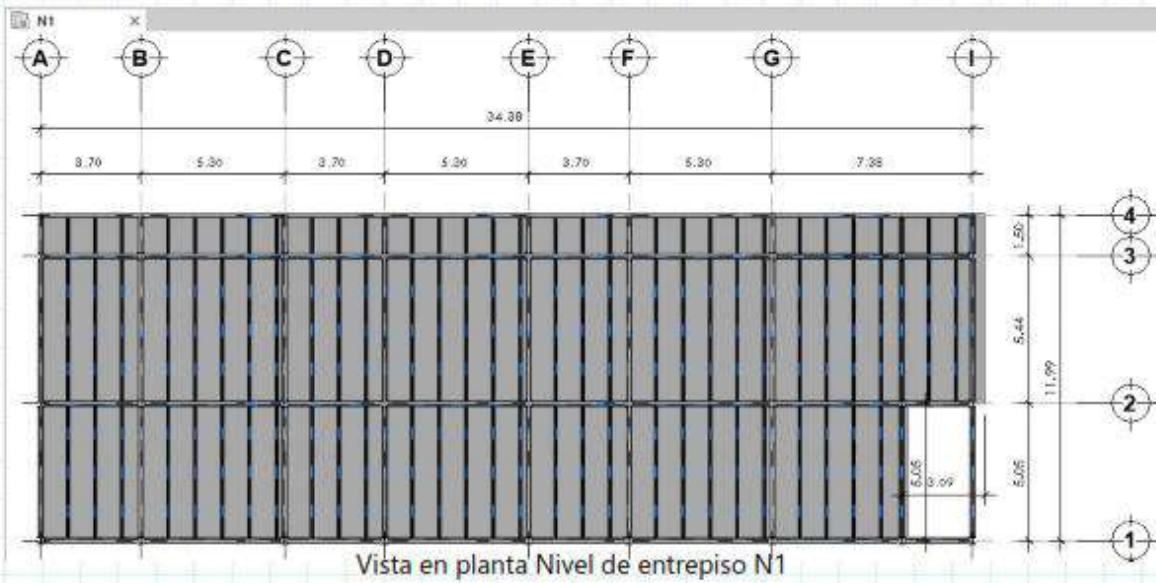
Clasificación del sitio	FS_{Tb}	FS_{Tc}
A	1	5/6
B	1	1
C	1	4/3
D	2	5/3

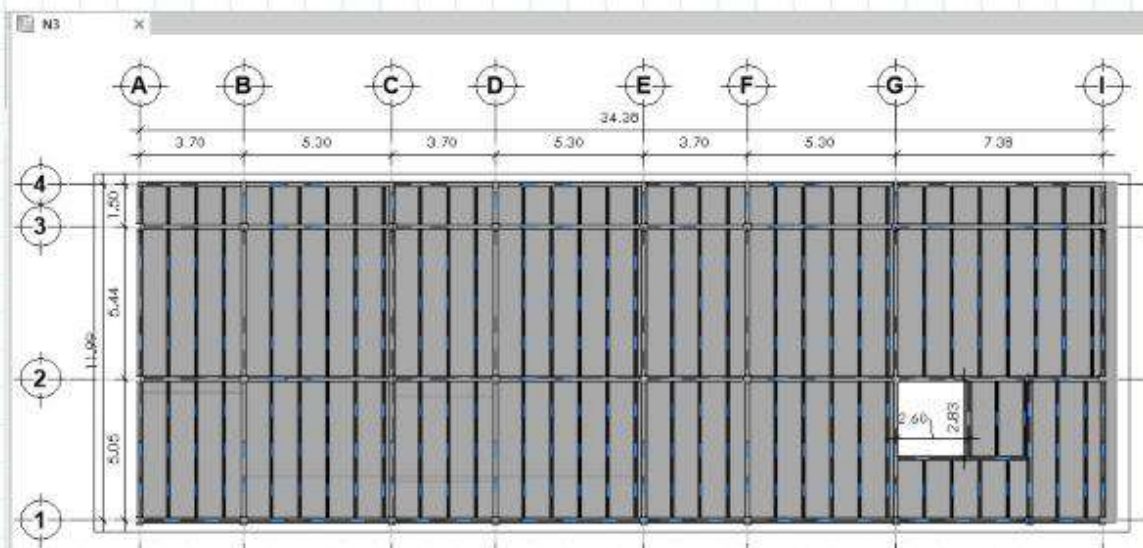
$$FS_{Tb} := 1$$

$$FS_{Tc} := \frac{4}{3}$$

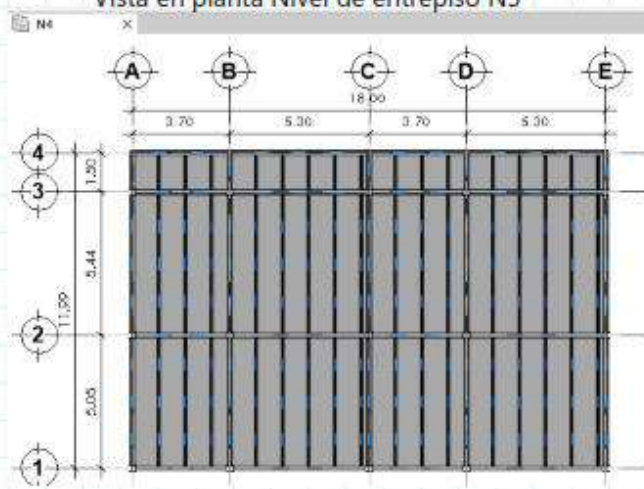
6.6 Factor de comportamiento sísmico del sistema estructural

Revisando irregularidades en planta conforme tabla 5.4.2 de NSCM-22





Vista en planta Nivel de entrepiso N3



Vista en planta Nivel de entrepiso N4

Tipo 1- Irregularidad torsional

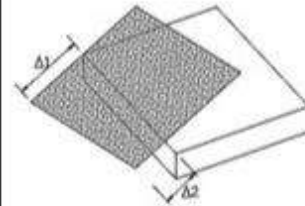
$$\phi_{Pi} := 0.9$$

Tipo 1 – Irregularidad torsional

$$\phi_{Pi} = 0.9$$

$$\Delta > 1.2 * \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)$$

Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en la sección 9.6 de la presente norma.



Tipo 2- Retroceso excesivos en las esquinas

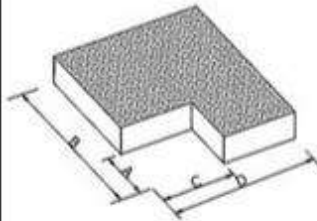
$$\phi_{Pi} := 0.9$$

Tipo 2 - Retroceso excesivos en las esquinas

$$\phi_{Pi} = 0.9$$

$$A > 0.15B \text{ y } C > 0.15D$$

La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.



Tipo 3- Discontinuidad en los sistemas de piso

$$\phi_{Pi} := 0.9$$

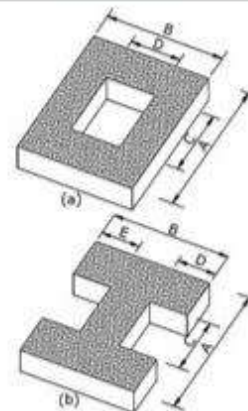
Tipo 3 – Discontinuidad en los sistemas de piso

$$\phi_{Pi} = 0.9$$

$$a) C \times D > 0.5A \times B$$

$$b) [C \times D + C \times E] > 0.5A \times B$$

La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.



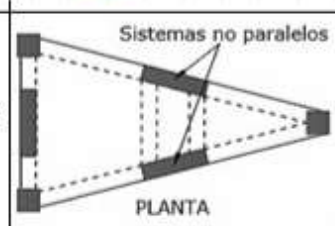
Tipo 4 - Ejes estructurales no paralelos

$$\phi_{Pi} := 1$$

Tipo 4 – Ejes estructurales no paralelos

$$\phi_{Pi} = 0.8$$

La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.



Valor mínimo de ϕ_{Pi} $\phi_{Pi} := 0.9$

$$\phi_{PA} := \phi_{Pi}$$

$$\phi_{PB} := 1$$

Clasificación de estructura por irregularidad según 5.4 NSCM-22

Factor de regularidad en planta dado por: $\phi_p := \phi_{PA} \cdot \phi_{PB} = 0.9$

Clasificación de estructura por irregularidad según 5.4 NSCM-22

$$\phi_{EA} := 0.9$$

$$\phi_{EB} := 1$$

Factor de regularidad en elevación dado por: $\phi_E := \phi_{EA} \cdot \phi_{EB} = 0.9$

$$\phi_p = 0.9$$

$$\phi_E = 0.9$$

$$R = 8$$

$$R_0 := R \cdot \phi_p \cdot \phi_E = 6.48$$

6.7 Espectro de Respuesta elastico

$$FS_{Tb} = 1 \quad FS_{Tc} = 1.333$$

$$A_0 := a_0 \cdot F_{as} \cdot I = 0.477$$

$$\beta := 2.4 \quad p := 0.8 \quad T_c := 0.3 \text{ s} \quad T_d := 2 \text{ s} \quad T_b := 0.05 \text{ s} \quad q := 2$$

$$FS_{Tb} \cdot T_b = 0.05 \text{ s}$$

$$FS_{Tc} \cdot T_c = 0.4 \text{ s}$$

$$T_1 := 0.283 \text{ s}$$

$$T_2 := 0.336 \text{ s}$$

$$A_{(T)} = \begin{cases} A_0 \left[1 + \frac{T}{FS_{Tb} \cdot T_b} (\beta - 1) \right] & 0 \leq T \leq FS_{Tb} \cdot T_b \\ \beta A_0 & FS_{Tb} \cdot T_b \leq T \leq FS_{Tc} \cdot T_c \\ \beta A_0 \left(\frac{FS_{Tc} \cdot T_c}{T} \right)^p & FS_{Tc} \cdot T_c \leq T \leq T_d \\ \beta A_0 \left(\frac{FS_{Tc} \cdot T_c}{T} \right)^p \left(\frac{T_d}{T} \right)^q & T_d \leq T \end{cases}$$

$$A_{T1} := \beta \cdot A_0 \cdot \left(\frac{FS_{Tc} \cdot T_c}{T_1} \right)^p = 1.509$$

$$A_{T2} := \beta \cdot A_0 \cdot \left(\frac{FS_{Tc} \cdot T_c}{T_2} \right)^p = 1.315$$

6.9 Espectro de Diseño Reducido

$$A_1 := \frac{A_{T1}}{R_0} = 0.2328$$

$$A_2 := \frac{A_{T2}}{R_0} = 0.203$$

Nota, carga muerta del edific

$$W_s := \boxed{DL} + 0.15 \cdot LL = ?$$

io proviene del predimensionamiento de los elementos estructurales estimados según SEISMIC DESIGN MANUAL AISC, SECOND EDITION, Table 1-3.

CAPITULO 8: METODOS ANALISIS SISMICOS

8.2.1.5 Periodo Fundamental de la Estructura (T limite)

$$F_{as} \cdot a_0 = 0.477$$

POR LO TANTO

$$C_u := 1.4$$

Tabla 8.2.1- Coeficiente para el límite superior del periodo máximo calculado

$F_{as} \cdot a_0$	C_u
≥ 0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
≤ 0.1	1.7

8.2.1.6 Periodo fundamental aproximado (T_a)

Tabla 8.2.2 - Coeficientes para el cálculo del periodo aproximado

Tipo de estructura	C_t	x
Marcos resistentes a momentos en los que los marcos resisten el 100% de la fuerza sísmica y que no estén ligados a componentes rígidos que impidan o restrinjan su desplazamiento lateral.		
• Marcos de acero resistentes a momentos.	0.0724	0.80
• Marcos de concreto reforzados resistentes a momentos.	0.0466	0.90
Marcos de acero arriostrados excéntricamente.	0.0731	0.75
Marcos de acero arriostrados con pandeo restringido.	0.0731	0.75
Todos los demás sistemas estructurales.	0.0488	0.75

Donde

$$C_t := 0.0724$$

$$h_n := 13$$

$$x := 0.80$$

$$T_a := C_t \cdot h_n^x = 0.563$$

$$T_{lim} := C_u \cdot T_a = 0.789$$

8.2.1.3 Coeficiente Sismico (C_s)

El periodo sera el minimo entre(T_{Fund} y T_{lim}) $T_1=0.283 \text{ s}$ $T_2=0.336 \text{ s}$ $T_{lim}=0.789$

$$T:=T_2=0.336 \text{ s} \quad T_c=0.3 \text{ s} \quad FS_{Tc} \cdot T_c=0.4 \text{ s} \quad T_d=2 \text{ s} \quad p=0.8 \quad A_0=0.477$$

$$C_s = \begin{cases} \frac{\beta A_0}{R_0} & 0 \leq T \leq FS_{Tc} \cdot T_c \\ \frac{\beta A_0}{R_0} \left(\frac{FS_{Tc} \cdot T_c}{T} \right)^p & FS_{Tc} \cdot T_c \leq T \leq T_d \\ \frac{\beta A_0}{R_0} \left(\frac{FS_{Tc} \cdot T_c}{T} \right)^p \left(\frac{T_d}{T} \right)^q & T_d \leq T \end{cases} \quad (8.2-2)$$

$$C_{sx} := \frac{\beta \cdot A_0}{R_0} \cdot \left(\frac{FS_{Tc} \cdot T_c}{T_1} \right)^p = 0.233$$

$$C_{sy} := \frac{\beta \cdot A_0}{R_0} \cdot \left(\frac{FS_{Tc} \cdot T_c}{T_2} \right)^p = 0.203$$

8.2.1.4 Coeficiente sismico minimo C_{smin}

C_s tiene que ser mayor a C_{smin}

$$C_{smin} := FS_{Tc} \cdot \beta \cdot \frac{A_0}{2 R_0} = 0.118$$

8.2.1.2 Cortante Basal Estatico V_b

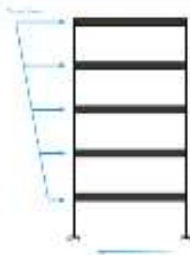
$$W := 867.724 \text{ ton} \quad \text{Obtenido del Robot}$$

$$V_{bx} := C_{sx} \cdot W = 202.048 \text{ ton}$$

$$V_{by} := C_{sy} \cdot W = 176.122 \text{ ton}$$

8.2.1.7 Distribucion vertical de las fuerzas sismicas

$$T=0.336 \text{ s} \quad K=1 \quad \text{Ya que } T \leq 0.5 \text{ s} \quad K:=1$$



$$F_x = C_{vx} \cdot V_b$$

$$C_{vx} = \frac{w_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i^k}$$

Figura 8.2-1 Distribución triangular de la fuerza vertical

Nivel	H(m)	W (Ton)	WH ^k	Cv(xy)	FSx(Ton)	FSy(Ton)	Vx(Ton)	Vy(Ton)
4	13	123.585	1606.605	0.2489061	50.323767	43.844312	50.323767	43.844312
3	10	242.1	2421	0.3750777	75.833101	66.069182	126.15687	109.91349
2	6.6	241.333	1592.7978	0.246767	49.891283	43.467513	176.04815	153.38101
1	3.2	260.706	834.2592	0.1292491	26.131542	22.766965	202.17969	176.14797
Sumatoria		867.724	6454.662		202.17969	176.14797		

8.2.2.6 Valores del cortante basal modal y cortante estatico

Vt: Cortante basal Dinamico

Vb: Cortante basal Estatico

Cortantes Dinamicos obtenidos de Robot

$V_{tx} := 50.705 \text{ ton}$

$V_{ty} := 67.217 \text{ ton}$

8.2.2.7 Escalado de fuerzas

8.2.2.7 Escalado de fuerzas

Cuando el periodo fundamental excede $C_u T_u$ en una direccion dada, debera utilizarse $C_u T_u$ en lugar de T en tal direccion.

Cuando la respuesta combinada para el cortante basal modal V , resulte menor que el 100% del cortante basal V_b calculado con la ecuación (8.2-1) de la [sección 8.2.1.2](#), debe realizarse una corrección incrementando las fuerzas mediante el siguiente factor de escala:

$$\text{Factor de escala} = \frac{V_b}{V_t} \quad (8.2-14)$$

$$FE_x := \frac{V_{bx}}{V_{tx}} = 3.985$$

$$FE_y := \frac{V_{by}}{V_{ty}} = 2.62$$

Cortantes Dinamicos por piso amplificados en "X"

Nivel	H(m)	FSx(Ton)
4	13	200.65957
3	10	302.37478
2	6.6	198.9351
1	3.2	104.19617
		806.16562

Cortantes Dinamicos por piso amplificados en "Y"

Nivel	H(m)	FSy(Ton)
4	13	114.89782
3	10	173.14002
2	6.6	113.91038
1	3.2	59.662805
		461.61102

CAPITULO 10: DEFORMACIONES Y DERIVAS DE PISO

10.2 Determinacion de la deriva de piso (Δ_i) desplazamientos inelasticos

Desplazamiento del centro de masa en "X" por Sismo Dinamico
Desplazamientos elasticos obtenidos del Robot

Nivel	hi(cm)	Ux (cm)
4	300	4.7367255
3	340	3.5591781
2	340	2.0308062
1	320	0.620685

Desplazamiento del centro de masa en "Y" por Sismo Dinamico
Desplazamientos elasticos obtenidos del Robot

Nivel	hi(cm)	Uy (cm)
4	300	2.5223023
3	340	2.1352367
2	340	1.4608897
1	320	0.5838533

Desplazamientos inelasticos

Story	Eleva	X-Dir (cm)	Y-Dir (cm)
4	13	26.05199	13.872663
3	10	19.57548	11.743802
2	6.6	11.169434	8.0348934
1	3.2	3.4137675	3.2111932

$$\delta_i = \frac{C_d \delta_{ie}}{I}$$

Deriva de piso Δ_i

Story	Eleva	X-Dir (cm)	Y-Dir (cm)
4	13	6.4765107	2.1288608
3	10	8.4060455	3.7089085
2	6.6	7.7556666	4.8237002
1	3.2	3.4137675	3.2111932

10.4 Distorsion de piso y sus limitaciones

$$Y_{\max} = 0.025$$

Story	hi (cm)	X-Dir	Condicion	Y-Dir	Condicion
4	300	0.0215884	CUMPLE	0.0070962	CUMPLE
3	340	0.0247237	CUMPLE	0.0109086	CUMPLE
2	340	0.0228108	CUMPLE	0.0141874	CUMPLE
1	320	0.010668	CUMPLE	0.010035	CUMPLE

$$\gamma_i = \frac{\Delta_i}{h_i}$$

Se cumple por distorsion de colapso en "X" e "Y"

CAPITULO 9: CRITERIOS DE MODELADO ESTRUCTURAL

9.5 Efectos P-Δ

Debe tenerse en cuenta explícitamente en el análisis los efectos geométricos de segundo orden (P-Δ), debido a las cargas verticales al obrar en estructura desplazada lateralmente ya que producen un incremento en las fuerzas internas, momentos, fuerzas axiales, cortantes y derivas de piso.

Los efectos P-Δ se deberán tomar en cuenta en las dos direcciones principales de la estructura para determinar el factor de incremento y la evaluación de la estabilidad global de la estructura.

No se considerará en el análisis cuando el coeficiente de estabilidad (θ) determinado por la siguiente expresión sea igual o menor que 0.1

$$\theta = \frac{P_i \Delta_i I}{V_i h_i C_d} \quad (9.5-1)$$

Cuando θ es mayor que θ_{lim}, la estructura es potencialmente inestable y debe ser rediseñada.

Cuando los efectos de P-Δ son incluidos en un análisis automático, la ecuación (9.5-2).

Debe ser satisfecha, sin embargo, cuando se usan los resultados del análisis P-Δ, el valor de θ calculado según ecuación (9.5-1).

Puede dividirse por (1 - θ) antes de ser comparada con θ_{lim}.

Para la implementación del análisis P-Δ mediante un análisis racional automático, la combinación de carga vertical a usarse será de 1.2CM+CV y la carga lateral en consideración.

Se recomienda que la discretización de los elementos estructurales sean lo suficiente para capturar mejor la deformación de segundo orden provocada por la curvatura de los elementos.

Dónde:

P_i = Suma de la carga vertical total sin mayorar, incluyendo el peso muerto y carga viva, del piso i y de todos los pisos localizados sobre el piso i

Δ_i = deriva del piso i calculada según la [sección 10.2](#).

I = Factor de importancia de la [sección 5.2](#).

V_i = Cortante sísmico del piso i

h_i = Altura del piso i

C_d = Coeficiente de deflexión según [sección 5.5](#)

El coeficiente de estabilidad no debe ser mayor que:

$$\theta_{\max} = \frac{0.5}{\beta_{pd} + C_d} \leq 0.25 \quad (9.5-2)$$

Siendo β_{pd} la relación entre la demanda y la capacidad a cortante para el piso entre los niveles i y i - 1. Conservadoramente esta relación puede tomarse igual a 1.

Cuando el coeficiente de estabilidad es mayor que 0.10 y menor o igual que θ_{lim}, el incremento relacionado a los efectos P-Δ sobre los desplazamientos y fuerzas será determinado por un análisis racional. Alternativamente, se permite multiplicar los desplazamientos y fuerzas por $\frac{1}{(1 - \theta)}$.

$$\theta = \frac{P_i \Delta_i I}{V_i h_i C_d}$$

Story	hi (cm)	Wx (Ton)	Vbx (Ton)	x max	Condicion	Vby (Ton)	y max	Condicion
4	300	123.585	50.323767	0.0096394	CUMPLE	43.844312	0.0036368	CUMPLE
3	340	365.685	126.15687	0.0130301	CUMPLE	109.91349	0.0065987	CUMPLE
2	340	607.018	176.04815	0.0143004	CUMPLE	153.38101	0.0102087	CUMPLE
1	320	867.724	202.17969	0.0083246	CUMPLE	176.14797	0.0089879	CUMPLE

11.2.2. Memoria de cálculo diseño de elementos estructurales

Special Moment Frame NORMAS ANSI/AISC 360 , 341-22

Propiedades de los materiales (acero ASTM A992-50)

$F_{yb} := 345 \text{ MPa}$ Tensión cedente de la viga principal

$F_{yc} := 345 \text{ MPa}$ Tensión cedente de la columna

$F_{yp} := 250 \text{ MPa}$ Tensión cedente de planchas

S

$E := 200000 \text{ MPa}$ Módulo de elasticidad

$F_{ub} := 450 \text{ MPa}$ Tensión última de la viga principal

$F_{ys} := 250 \text{ MPa}$ Tensión cedente de la viga transversal

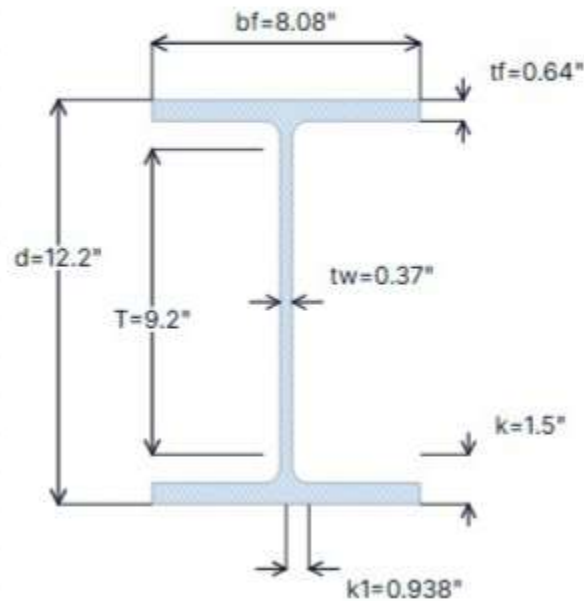
TABLE A3.2
 R_y and R_t Values for Steel and
Steel Reinforcement Materials

Application	R_y	R_t
Hot-Rolled Structural Shapes and Bars		
• ASTM A36/A36M	1.5	1.2
• ASTM A529 Gr. 50 [345]	1.2	1.2
• ASTM A529 Gr. 55 [380]	1.1	1.2
• ASTM A572/A572M Gr. 50 [345], or 55 [380]	1.1	1.1
• ASTM A588/A588M	1.1	1.1
• ASTM A709/A709M Gr. 36 [250]	1.5	1.2
• ASTM A709/A709M Gr. 50 [345]	1.1	1.1
• ASTM A709/A709M Gr. 50S [345S]	1.1	1.1
• ASTM A709/A709M Gr. 50W [345W]	1.1	1.1
• ASTM A709/A709M QST 50 [QST 345], A709/A709M QST 50S [QST 345S], A709/A709M QST 65 [QST 450], or A709/A709M QST 70 [QST 485]	1.1	1.1
• ASTM A913/A913M Gr. 50 [345], 60 [415], 65 [450], or 70 [485]	1.1	1.1
• ASTM A992/A992M	1.1	1.1

$R_{yb} := 1.1$ Factor de sobre-resistencia de la viga principal

$R_{yc} := 1.1$ Factor de sobre-resistencia de la columna

Viga principal SMF
Cálculo Propiedades geométricas



W12X50

$d_b := 310 \text{ mm}$	Altura de la sección	$A_b := 94.20 \text{ cm}^2$	Área gruesa
$b_{bf} := 205 \text{ mm}$	Ancho del ala	$S_{xb} := 1050 \text{ cm}^3$	Módulo elástico X
$t_{bf} := 16.3 \text{ mm}$	Espesor del ala	$Z_{xb} := 1180 \text{ cm}^3$	Módulo plástico X
$t_{bw} := 9.4 \text{ mm}$	Espesor del alma	$I_{xb} := 16300 \text{ cm}^4$	Inercia en X
$r_b := 18 \text{ mm}$	Radio de curvatura	$I_{yb} := 2340 \text{ cm}^4$	Inercia en Y

$J_b := 71.2 \text{ cm}^4$ Constante torsional de St.Venant

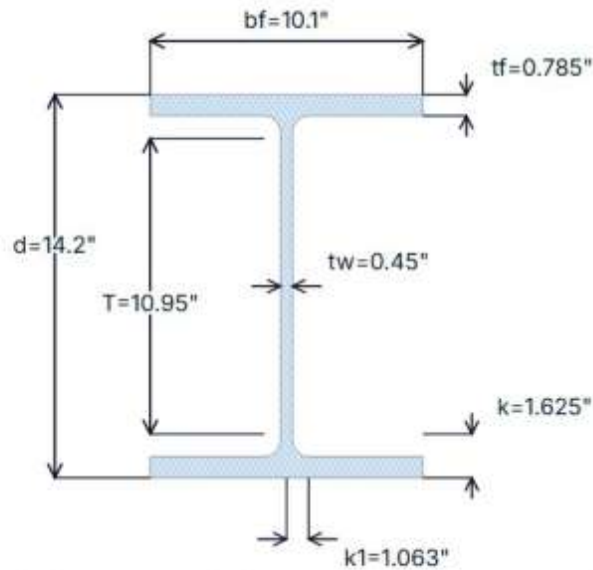
Propiedades geométricas, sección viga W AISC 15

$r_{xb} := \sqrt{\frac{I_{xb}}{A_b}} = 13.154 \text{ cm}$	Radio de giro x	$k_b := t_{bf} + r_b = 34.3 \text{ mm}$	Espesor equivalente de ala + curvatura
$r_{yb} := \sqrt{\frac{I_{yb}}{A_b}} = 4.984 \text{ cm}$	Radio de giro y	$h_{ob} := d_b - t_{bf} = 293.7 \text{ mm}$	Separación centroides en alas

$C_{wb} := t_{bf} \cdot h_{ob}^2 \cdot \frac{b_{bf}^3}{24} = 504714.57 \text{ cm}^6$ Constante de torsión de alabeo

$h_b := d_b - 2 \cdot k_b = 241.4 \text{ mm}$ Altura libre del alma

Columna principal SMF
Propiedades geométricas



$d_c := 361 \text{ mm}$	Altura de la sección	$A_c := 141 \text{ cm}^2$	Área gruesa
$b_{cf} := 257 \text{ mm}$	Ancho del ala	$S_{xc} := 1840 \text{ cm}^3$	Módulo elástico X
$t_{cf} := 19.9 \text{ mm}$	Espesor del ala	$Z_{xc} := 2060 \text{ cm}^3$	Módulo plástico X
$t_{cw} := 11.4 \text{ mm}$	Espesor del alma	$I_{xc} := 33100 \text{ cm}^4$	Inercia en X
$r_c := 20 \text{ mm}$	Radio de curvatura	$I_{yc} := 5580 \text{ cm}^4$	Inercia en Y

$$J_c := 161 \text{ cm}^4 \quad \text{Constante torsional de St.Venant}$$

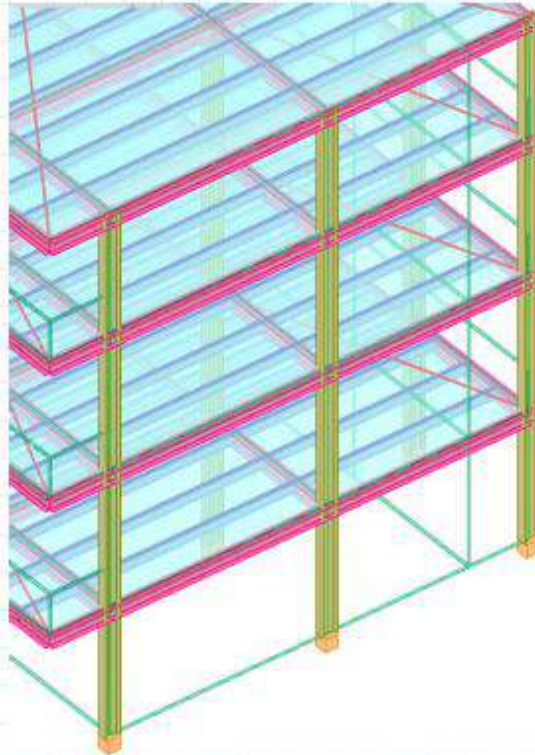
$$r_{xc} := \sqrt{\frac{I_{xc}}{A_c}} = 15.322 \text{ cm} \quad \text{Radio de giro x} \quad k_c := t_{cf} + r_c = 39.9 \text{ mm} \quad \text{Espesor equivalente de ala + curvatura}$$

$$r_{yc} := \sqrt{\frac{I_{yc}}{A_c}} = 6.291 \text{ cm} \quad \text{Radio de giro y} \quad h_{oc} := d_c - t_{cf} = 341.1 \text{ mm} \quad \text{Separación centroides en alas}$$

$$C_{wc} := t_{cf} \cdot h_{oc}^2 \cdot \frac{b_{cf}^3}{24} = 1637587.99 \text{ cm}^6 \quad \text{Constante de torsión de alabeo}$$

$$h_c := d_c - 2 \cdot k_c = 281.2 \text{ mm} \quad \text{Altura libre del alma}$$

Determinación zona para diseño de SMF (ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS)



Diseño de la edificación modelada en robot structural bajo combinaciones LRFD

Factor de ajuste Load and resistance factor
design (LRFD) ϕ_s

$$\phi_s := 1.00$$

Diseño sismoresistente de vigas según AISC 341-22

Verificación alta ductilidad mediante:

AISC 341-22 Table D1.1a Limiting Width-to-Thickness Ratios for
Compression Elements for Moderately Ductile
and Highly Ductile Members

Revisión ala de la viga principal

$$\lambda_{ala} := \frac{b_{bf}}{2 \cdot t_{bf}} = 6.288$$

Esbeltez del ala de la viga

$$\lambda_{ala_max} := 0.30 \cdot \sqrt{\frac{E}{R_{yb} \cdot F_{yb}}} = 6.887$$

Esbeltez máxima del ala de la viga

if $(\lambda_{ala} \leq \lambda_{ala_max}, \text{"Ok"}, \text{"Verificar sección"}) = \text{"Ok"}$

Revisión alma de la viga principal

For I-shaped beams in SMF systems, where C_a is less than or equal to 0.114, the limiting ratio h/t_w shall not exceed:

$$2.57 \cdot \sqrt{\frac{E}{R_{yb} \cdot F_{yb}}}$$

$$\lambda_{alma} := \frac{h_b}{t_{bw}} = 25.681$$

Esbeltez del alma de la viga

$$\lambda_{alma_max} := 2.57 \cdot \sqrt{\frac{E}{R_{yb} \cdot F_{yb}}} = 58.999 \text{ Esbeltez máxima del alma de la viga}$$

$$\text{if } (\lambda_{alma} \leq \lambda_{alma_max}, \text{"Ok"}, \text{"Verificar sección"}) = \text{"Ok"}$$

Chequeo estabilidad en arriostramiento de vigas según:

AISC341-22 2b.Highly Ductile Members

CHAPTER D GENERAL MEMBER AND CONNECTION DESIGN REQUIREMENTS

Numero de soporte lateral para viga (Viguetas Losa cero) $N_{sl} := 5$ $L := 5.3 \text{ m}$

$$L_b := \frac{L}{(N_{sl} + 1)} = 0.883 \text{ m}$$

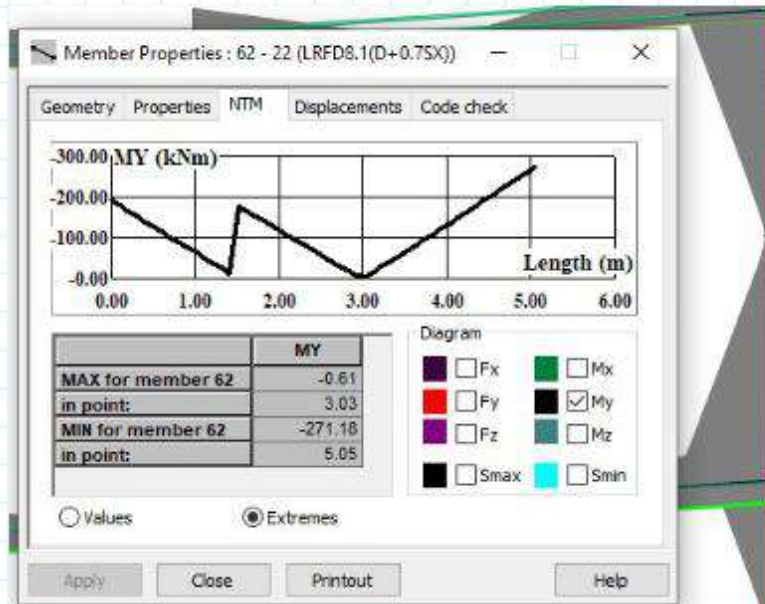
$$L_{b_max} := 0.086 \cdot r_{yb} \cdot \sqrt{\frac{E}{R_{yb} \cdot F_{yb}}} = 2.259 \text{ m}$$

$$\text{if } (L_b \leq L_{b_max}, \text{"Ok"}, \text{"RevisarLb"}) = \text{"Ok"}$$

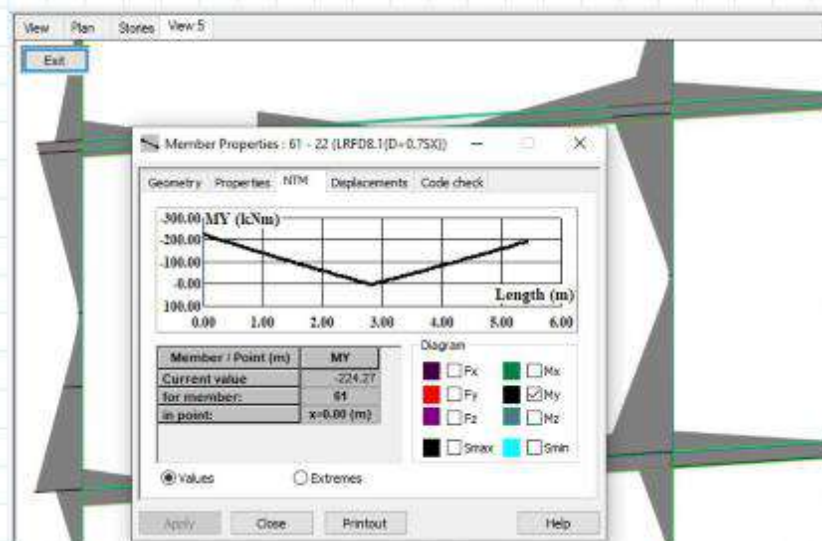
Determinación solicitaciones en vigas

Momentos últimos bajo combinaciones LRFD, mediante sismo generado por análisis modal espectral (Combinación más crítica) , extraído de software

ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS



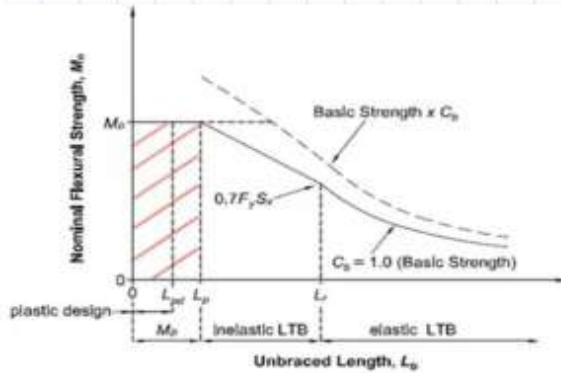
$$M_{u_v1} := 272.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



$$M_{u_v2} := 192.31 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Revisión de las vigas por flexión

Para garantizar el comportamiento adecuado del pórtico considerado como SMF, se deberá alcanzar la condición plástica en las vigas de alta ductilidad, por lo tanto, la longitud no arriostrada "Lb" debe ser menor o igual a la longitud límite de comportamiento Plástico "Lp", de modo que se debe satisfacer:



$$L_b \leq L_p$$

$$L_b = 0.883 \text{ m}$$

$$L_p := 1.76 \cdot r_{yb} \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yb}}} = 2.112 \text{ m}$$

if ($L_b \leq L_p$, "Cumple", "Revisar Lb") = "Cumple"

Resistencia minorada a flexión en laviga

$$M_p := Z_{xb} \cdot F_{yb} = 407.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_n := M_p$$

$$\phi := 0.90$$

Factor de seguridad

$$\phi \cdot M_n = 366.39 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Relación D/C Viga

$$\frac{M_{u_v1}}{\phi \cdot M_n} = 0.743$$

$$\frac{M_{u_v2}}{\phi \cdot M_n} = 0.525$$

if $\left(\frac{M_{u_v1}}{\phi \cdot M_n} \leq 1, \text{"Ok"}, \text{"Rediseño"} \right) = \text{"Ok"}$

if $\left(\frac{M_{u_v2}}{\phi \cdot M_n} \leq 1, \text{"Ok"}, \text{"Rediseño"} \right) = \text{"Ok"}$

Diseño sismoresistente de columnas según AISC 341-22

Revisión del pandeo local en la columna

Verificación alta ductilidad mediante:

AISC 341-22 Table D1.1a Limiting Width-to-Thickness Ratios for
Compression Elements for Moderately Ductile
and Highly Ductile Members

Revisión ala de la viga principal

$$\lambda_{ala} := \frac{b_{cf}}{2 \cdot t_{cf}} = 6.457$$

Esbeltez del ala de la viga

$$\lambda_{ala_max} := 0.30 \cdot \sqrt{\frac{E}{R_{yc} \cdot F_{yc}}} = 6.887$$

Esbeltez máxima del ala de la viga

if $(\lambda_{ala} \leq \lambda_{ala_max}, \text{"Ok"}, \text{"Verificar sección"}) = \text{"Ok"}$

Revisión carga última a compresión para análisis del alma en columna W

$$P_{yc_dis} := R_{yc} \cdot F_{yc} \cdot A_c = 5350.95 \text{ kN}$$

Resistencia cedente axial en la columna

$\phi = 0.9$ Factor de seguridad

$$\lambda_{alma} := \frac{h_c}{t_{cw}} = 24.667$$

Esbeltez en alma de la columna

$$C_a ; \frac{P_{uc_max}}{\phi \cdot P_{yc_dis}}$$

Relación entre la resistencia requerida y la resistencia cedente axial disponible en la columna

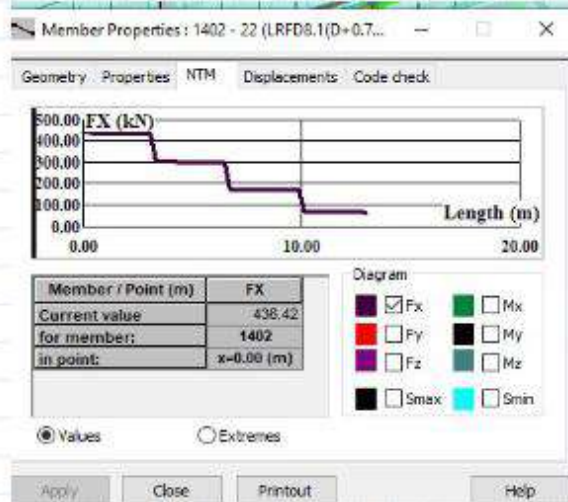
Casos de relación C_a

Caso 1) $C_a \leq 0.114$ $\frac{h_c}{t_{cw}} \leq 2.57 \cdot \sqrt{\frac{E}{R_{yc} \cdot F_{yc}}} \cdot (1 - 1.04 \cdot C_a)$

Caso 2) $C_a > 0.114$ $\frac{h_c}{t_{cw}} \leq 0.88 \cdot \sqrt{\frac{E}{R_{yc} \cdot F_{yc}}} \cdot (2.68 - C_a) \geq 1.57 \cdot \sqrt{\frac{E}{R_{yc} \cdot F_{yc}}}$

Esfuerzo axial crítico extraído del software ROBOT
STRUCTURAL ANALYSIS, Bajo combinaciones LRFD

$$P_{uc_max_c1} := 436 \text{ kN}$$



$$C_a := \frac{P_{uc_max_c1}}{\phi \cdot P_{yc_dis}} = 0.091$$

Revisando en caso 1) $C_a \leq 0.114$

$$\lambda_{alma_max_1} := 2.57 \cdot \sqrt{\frac{E}{R_{yc} \cdot F_{yc}}} \cdot (1 - 1.04 \cdot C_a) = 53.444$$

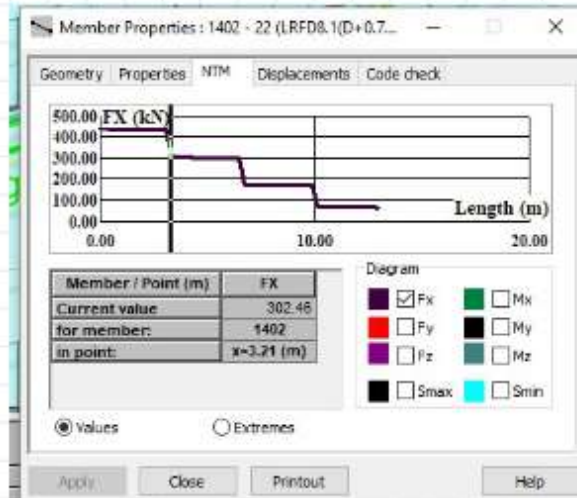
Revisando en caso 2) $C_a > 0.114$

$$\lambda_{alma_max_2} := \max \left(0.88 \cdot \sqrt{\frac{E}{R_{yc} \cdot F_{yc}}} \cdot (2.68 - C_a), 1.57 \cdot \sqrt{\frac{E}{R_{yc} \cdot F_{yc}}} \right)$$

$$\lambda_{alma_max} := \text{if} (C_a \leq 0.114, \lambda_{alma_max_1}, \lambda_{alma_max_2}) = 53.444$$

$$\text{if} (\lambda_{alma} \leq \lambda_{alma_max}, \text{"Ok"}, \text{"No cumple"}) = \text{"Ok"}$$

$$P_{uc_max_c2} := 305 \text{ kN}$$



$$C_a := \frac{P_{uc_max_c2}}{\phi \cdot P_{yc_dis}} = 0.063$$

Revisando en caso 1) $C_a \leq 0.114$

$$\lambda_{alma_max_1} := 2.57 \cdot \sqrt{\frac{E}{R_{yc} \cdot F_{yc}}} \cdot (1 - 1.04 \cdot C_a) = 55.113$$

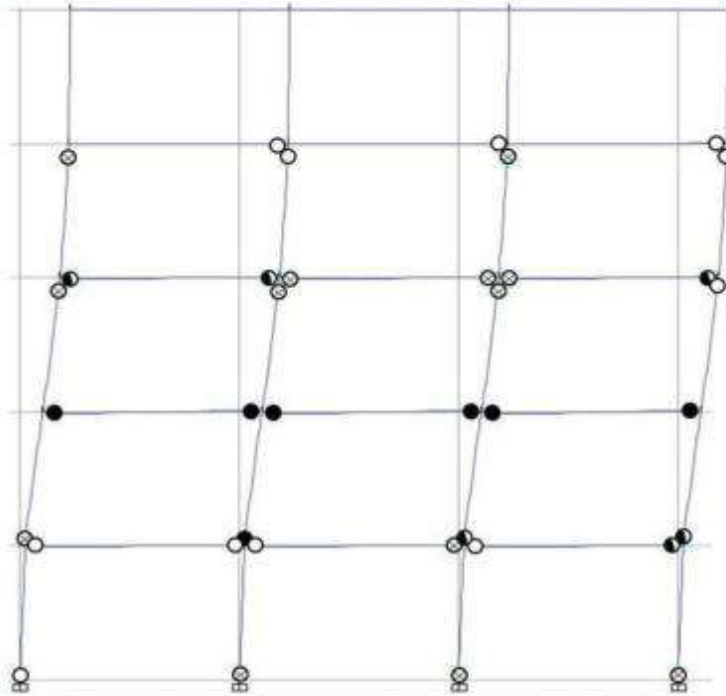
Revisando en caso 2) $C_a > 0.114$

$$\lambda_{alma_max_2} := \max \left(0.88 \cdot \sqrt{\frac{E}{R_{yc} \cdot F_{yc}}} \cdot (2.68 - C_a), 1.57 \cdot \sqrt{\frac{E}{R_{yc} \cdot F_{yc}}} \right)$$

$$\lambda_{alma_max} := \text{if} (C_a \leq 0.114, \lambda_{alma_max_1}, \lambda_{alma_max_2}) = 55.113$$

$$\text{if} (\lambda_{alma} \leq \lambda_{alma_max}, \text{"Ok"}, \text{"No cumple"}) = \text{"Ok"}$$

Definición de rótulas plásticas



$$C_{pr} := \min \left(\frac{F_{yb} + F_{ub}}{2 \cdot F_{yb}}, 1.2 \right) = 1.152$$

Factor de endurecimiento por
deformación del acero utilizado
en la viga

$$M_{pr} := C_{pr} \cdot R_{yb} \cdot Z_{xb} \cdot F_{yb} = 515.955 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento máximo esperado en
la rótula plástica

5.7. DESIGN PROCEDURE

Step 1. Choose trial values for the beam sections, column sections, and RBS dimensions a , b , and c (Figure 5.1) subject to the following limits:

$$0.5b_{bf} \leq a \leq 0.75b_{bf} \quad (5.7-1)$$

$$0.65d \leq b \leq 0.85d \quad (5.7-2)$$

$$0.1b_{bf} \leq c \leq 0.25b_{bf} \quad (5.7-3)$$

where

a = horizontal distance from face of column flange to start of an RBS cut, in. (mm)

b = length of RBS cut, in. (mm)

b_{bf} = width of beam flange, in. (mm)

c = depth of cut at center of reduced beam section, in. (mm)

d = depth of beam, in. (mm)

Step 4. Compute the distance of the plastic hinge from the face of the column, S_h :

$$S_h = a + \frac{b}{2} \quad (5.7-5)$$

$$a := \frac{1}{2} \cdot (0.5 \cdot b_{bf} + 0.75 \cdot b_{bf}) = 12.813 \text{ cm}$$

$$b := \frac{1}{2} (0.65 \cdot d_b + 0.85 \cdot d_b) = 23.25 \text{ cm}$$

$$c := \frac{1}{2} (0.1 \cdot b_{bf} + 0.25 \cdot b_{bf}) = 3.588 \text{ cm}$$

$$S_h := a + \frac{b}{2} = 0.244 \text{ m}$$

Distancia donde ocurre la rótula plástica en la viga,
medida desde la cara de la columna, si se asume conexión
RBS

L es longitud entre cada tramo

$$L := 5.05 \text{ m}$$

$$L_h := L - 2 \cdot S_h - d_c = 4.2 \text{ m}$$

Logitud entre rótulas plásticas

$$V_p := 2 \cdot \frac{M_{pr}}{L_h} = 245.678 \text{ kN}$$

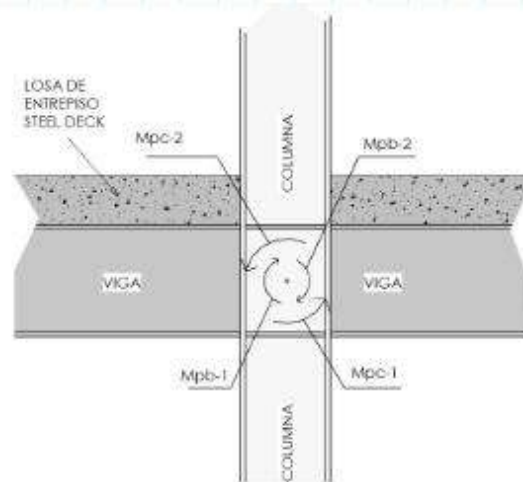
Corte por capacidad en la rótula plástica

$$Q := 39.32 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Carga distribuida en la viga

$$V_g := Q \cdot \frac{L_h}{2} = 82.577 \text{ kN}$$

Relación de Momentos en la conexión Viga-Columna E-3-1 (AISC 341-22)



4. System Requirements

4a. Moment Ratio

The following relationship shall be satisfied at beam-to-column connections:

$$\frac{\Sigma M_{pc}^*}{\Sigma M_{be}} > 1.0 \quad (E3-1)$$

where

ΣM_{pc}^* = sum of the projections of the nominal flexural strengths of the columns (including haunches where used) above and below the joint to the beam centerline with a reduction for the axial force in the column, kip-in. (N-mm). It is permitted to determine ΣM_{pc}^* as follows:

$$\Sigma M_{pc}^* = \Sigma Z_c (F_{yc} - \alpha_s P_r / A_g) \quad (E3-2)$$

Calculando máximos momentos probables en las vigas

$$V_{ub_1} := V_p + V_g = 328.255 \text{ kN}$$

Cortante resistente en la rótula plástica de v1

$$V_{ub_2} := V_p - V_g = 163.101 \text{ kN}$$

Cortante resistente en la rótula plástica v2

$$M_{pr_1} := M_{pr} = 515.955 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento resistente en la rótula plástica v1

$$M_{pr_2} := M_{pr} = 515.955 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento resistente en la rótula plástica v2

$$S_{h_1} := S_h = 0.244 \text{ m}$$

Distancia a la rótula plástica v1

$$S_{h_2} := S_h = 0.244 \text{ m}$$

Distancia a la rótula plástica v2

$$M_{pb_1} := M_{pr_1} + \alpha_s \cdot V_{ub_1} \cdot (S_{h_1} + 0.5 \cdot d_c) = 655.422 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Momento máximo proable v1}$$

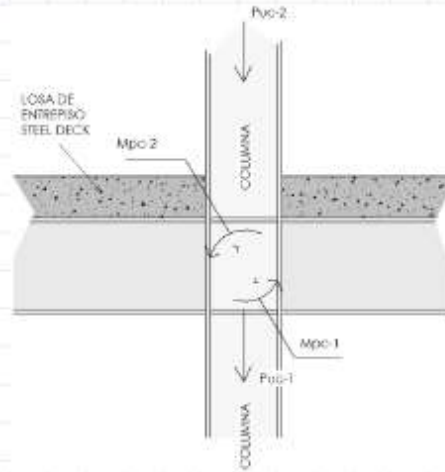
$$M_{pb_2} := M_{pr_1} + \alpha_s \cdot V_{ub_2} \cdot (S_{h_1} + 0.5 \cdot d_c) = 585.253 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Momento máximo proable v2}$$

$$M_{pb_R} := M_{pb_1} + M_{pb_2} = 1240.675 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Sumatoria de momentos máximos probables de vigas}$$

Calculando máximos momentos probables en las columnas

$$P_{umax_c1} := 436 \text{ kN}$$

$$P_{umax_c2} := 305 \text{ kN}$$



$$M_{pc_1} := Z_{xc} \cdot \left(F_{yc} - \alpha_s \cdot \frac{P_{umax_c1}}{A_c} \right) = 647.001 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

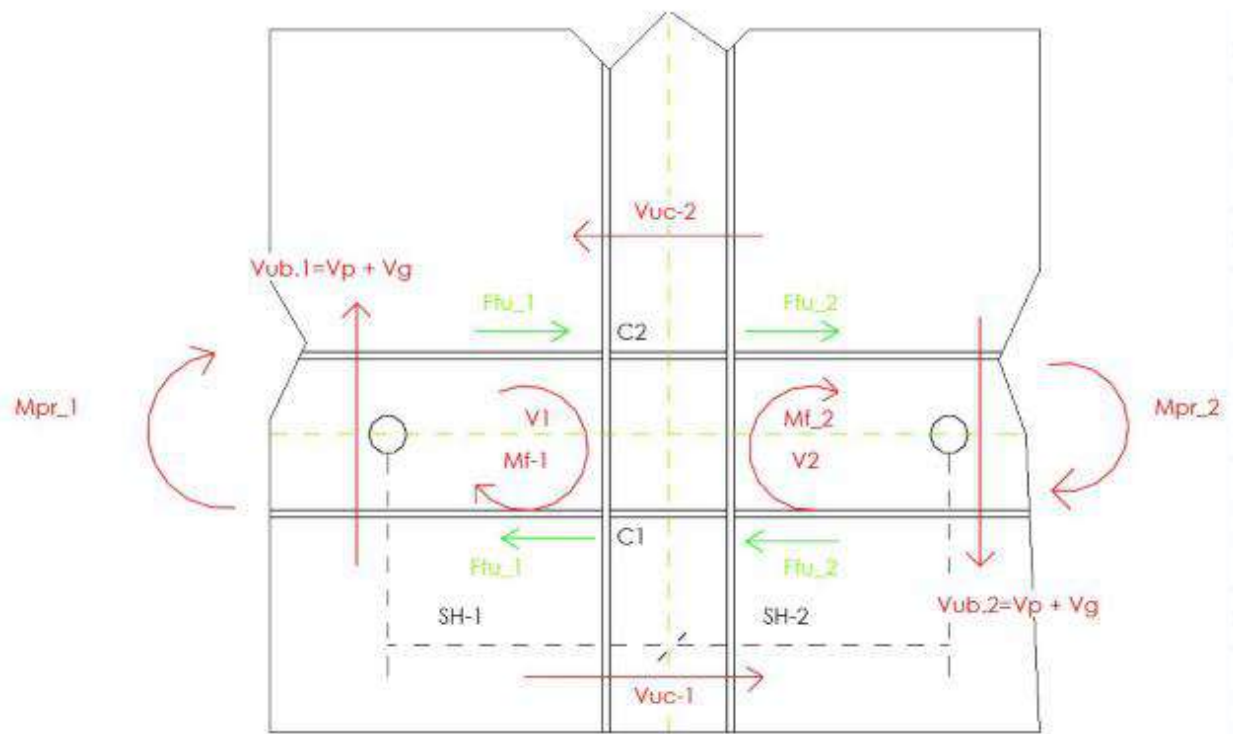
$$M_{pc_2} := Z_{xc} \cdot \left(F_{yc} - \alpha_s \cdot \frac{P_{umax_c2}}{A_c} \right) = 666.14 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{pc_R} := M_{pc_1} + M_{pc_2} = 1313.14 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Sumatoria de momentos máximos probables de las columnas (sup e inferior)}$$

Revisando provisión sísmica según AISC 341-22 E3, 4a.Moment Ratio (E3-1)

$$\frac{\sum M_{pc}}{\sum M_{be}} > 1.0$$

$$\text{if} \left(\frac{M_{pc_R}}{M_{pb_R}} > 1, \text{"Ok"}, \text{"No cumple"} \right) = \text{"Ok"}$$



11.3. Instrumentos de Recolección de Datos

11.3.1. Propuesta de entrevista a profesionales BIM



Área de Conocimiento de Ingeniería y Afines

Tesis de Grado: "DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE ACERO (SMF) DE CUATRO NIVELES MEDIANTE ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL EN LA CIUDAD DE MANAGUA EN BASE A LA NORMATIVA NSCM-22, APLICANDO EL PROGRAMA CON ENFOQUE BIM ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS."

FORMULARIO DE ENTREVISTA

Entrevistador:

Fecha de la Entrevista:

Entrevistado:

Modalidad: [Virtual / Presencial]

Perfil Profesional del Entrevistado:

Duración Aproximada:

Años de experiencia del entrevistado:

Consentimiento Informado: Autorizo la grabación y transcripción para fines académicos exclusivamente.

Firma:

Adopción y Estado Actual del BIM en Nicaragua

- 1. ¿Cómo describiría el nivel actual de adopción de BIM en el sector de la construcción en Nicaragua?**

Respuesta:

2. En su experiencia, ¿cuáles son los principales problemas o limitantes que persisten en el proceso de diseño y construcción tradicional (2D/CAD) en proyectos nicaragüenses?

Respuesta:

3. ¿Qué problemas específicos ha visto resolver o mitigar el uso de BIM en proyectos locales (por ejemplo, errores de coordinación, retrabajos en obra, sobrecostos o detección de interferencias), y cuáles son los beneficios más tangibles que ha experimentado u observado al implementar BIM en tales proyectos (como reducción de tiempos, costos o mejora en la calidad sísmica)?

Respuesta:

4. ¿Cómo considera la importancia de que los futuros egresados se familiaricen con las herramientas y metodologías BIM desde sus estudios universitarios, y qué recomendaciones daría a profesionales jóvenes, empresas o instituciones educativas para acelerar su implementación efectiva en Nicaragua?

Respuesta:

5. **¿Cuáles son las principales barreras (técnicas, económicas, culturales o de resistencia al cambio) que enfrentan los profesionales nicaragüenses para adoptar BIM de forma plena?**

Respuesta:

6. **¿Qué software BIM se utiliza con mayor frecuencia en proyectos nicaragüenses (por ejemplo, Revit, ArchiCAD, Navisworks o Tekla), y qué factores influyen en esa preferencia?**

Respuesta:

7. **¿Ha utilizado o conoce el uso de Robot Structural Analysis integrado con Revit u otras plataformas BIM en proyectos locales? De haberlo utilizado: ¿Cómo**

evalúa su interoperabilidad en el contexto nicaragüense (por ejemplo, en la transferencia de modelos, aplicación de cargas sísmicas o resultados de análisis modal espectral)?

Respuesta:

- 8. ¿Qué iniciativas se han intentado para implementar BIM en Nicaragua, como el Foro BIM de 2019, su seguimiento, o la existencia de otros foros, cursos o impulsos institucionales, mediante normativas, incentivos o guías?**

Respuesta:

- 9. ¿Qué aspectos relevantes destacaría del uso de BIM en su experiencia profesional en la construcción nicaragüense, como anécdotas, opiniones sobre la metodología o razones por las que considera importante su implementación?**

Respuesta:

Notas Adicionales del Entrevistador:

Preguntas adicionales

¿Podría describir la experiencia inicial de implementar BIM en un país o empresa que no lo había utilizado previamente? En particular, ¿cómo se gestionó la transición de un enfoque tradicional a uno basado en BIM? ¿Fue este proceso gradual y lento? ¿Qué desafíos implicó la adaptación, en términos de costos y tiempo? Además, ¿cómo se abordaron las limitaciones relacionadas con la disponibilidad y capacitación de profesionales en la empresa?

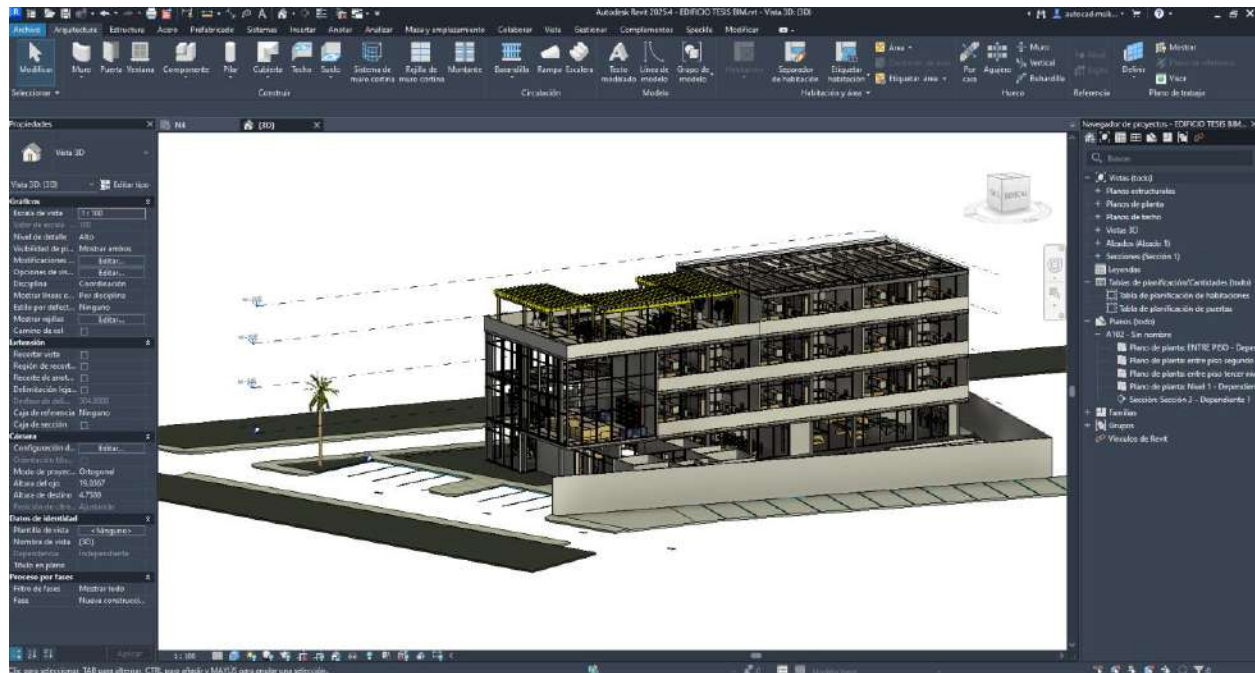
Firma del Entrevistador: _____

Firma del Entrevistado: _____

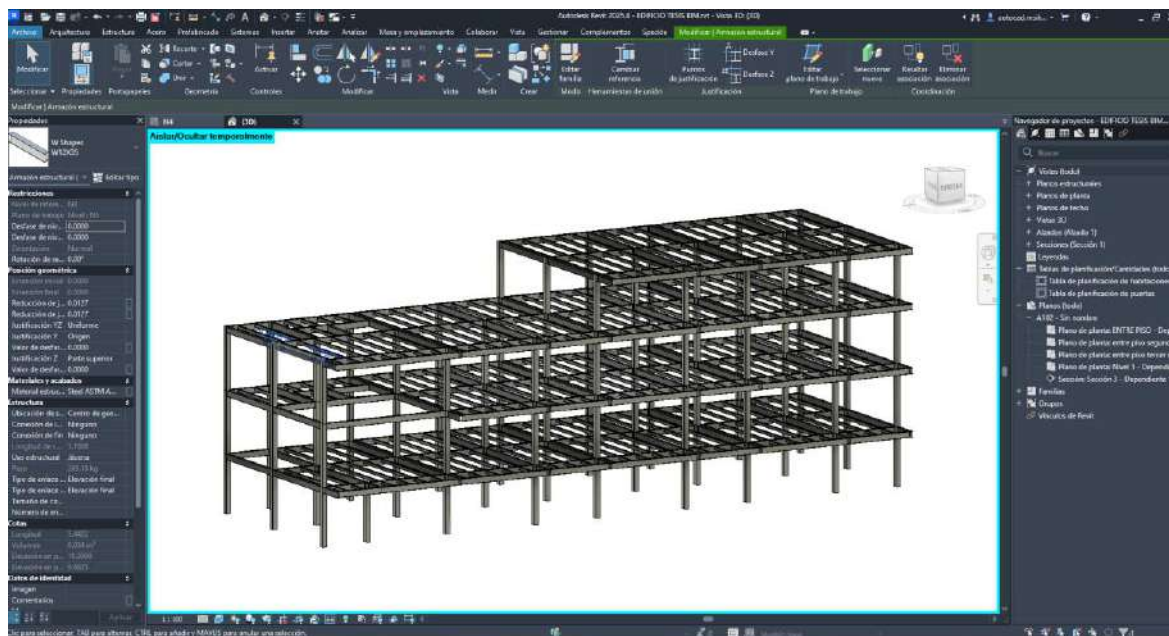
11.4. Prototipos y Capturas de Software

11.4.1. Guía para el uso de Robot Structural Analysis y Navisworks

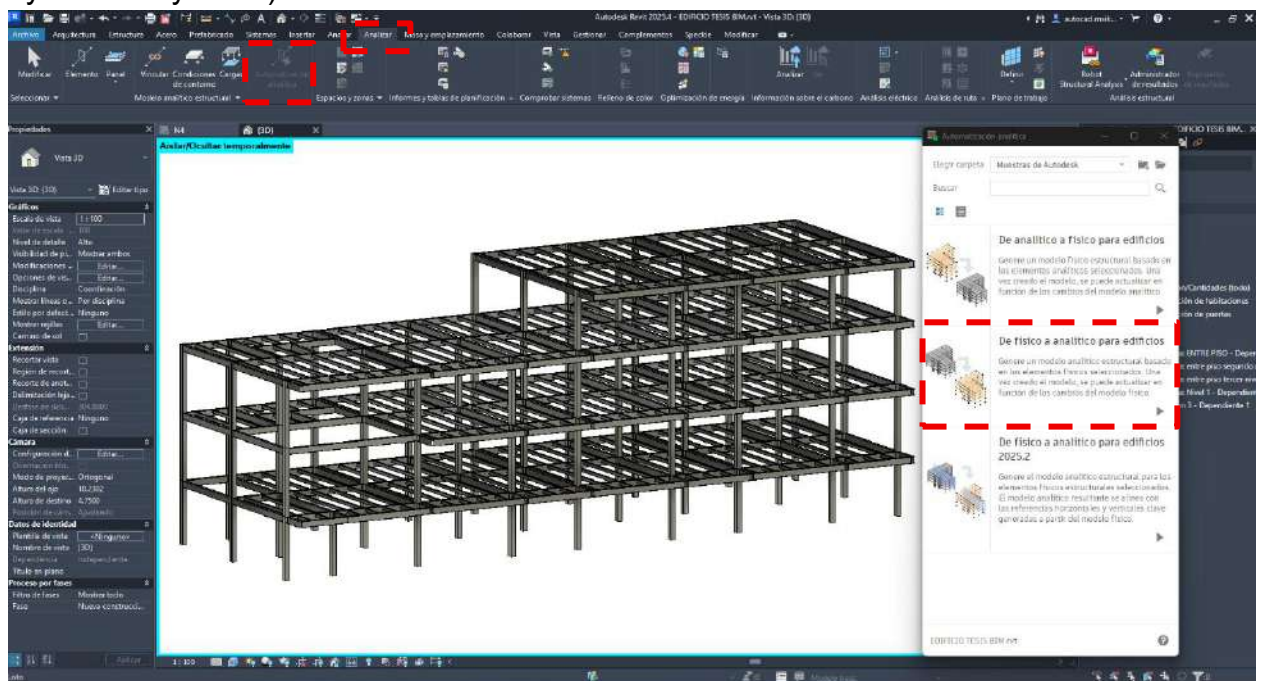
1. Propuesta arquitectónica, uso de la edificación: Habitacional.



2. Se realizó la propuesta estructural con perfiles metálicos, respetando propuesta arquitectónica; donde usamos perfiles “W”, Para columnas: W 10X77, Vigas principales W 12X35, Vigas secundarias W 6X16

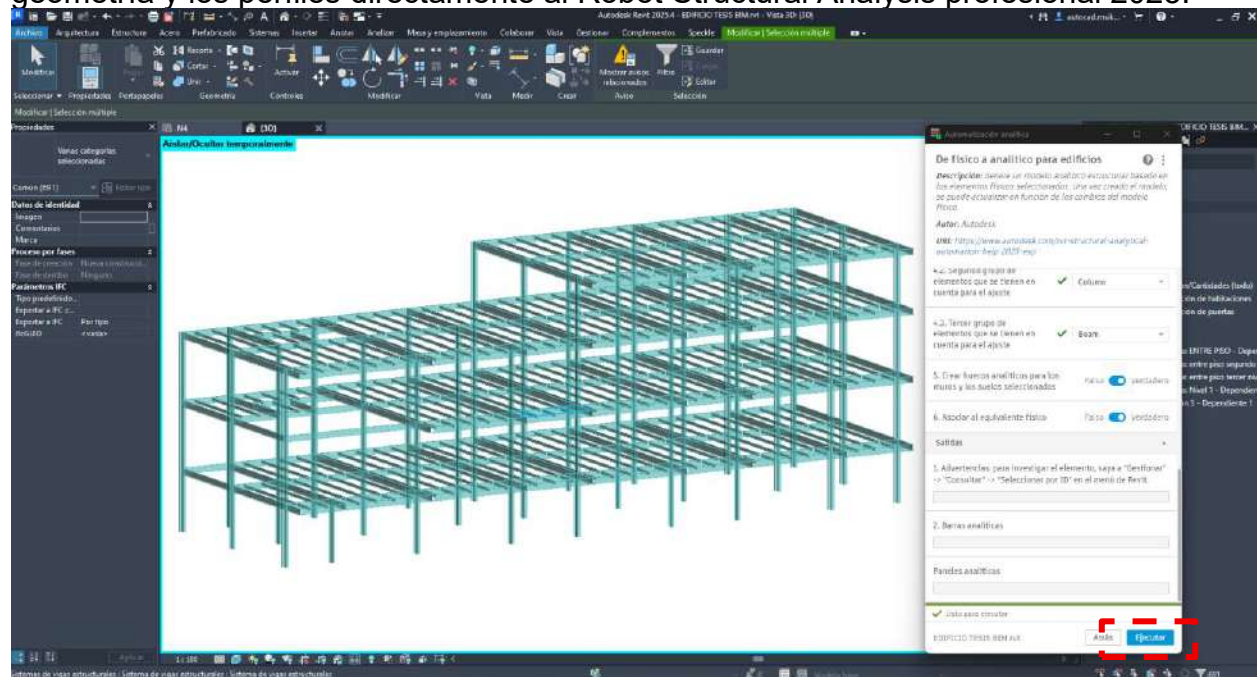


3. Una vez teniendo la propuesta estructural respetando propuesta arquitectónica, hay que convertir el modelo físico de Revit a un Modelo analítico (Mediante la ayuda de Dynamo).

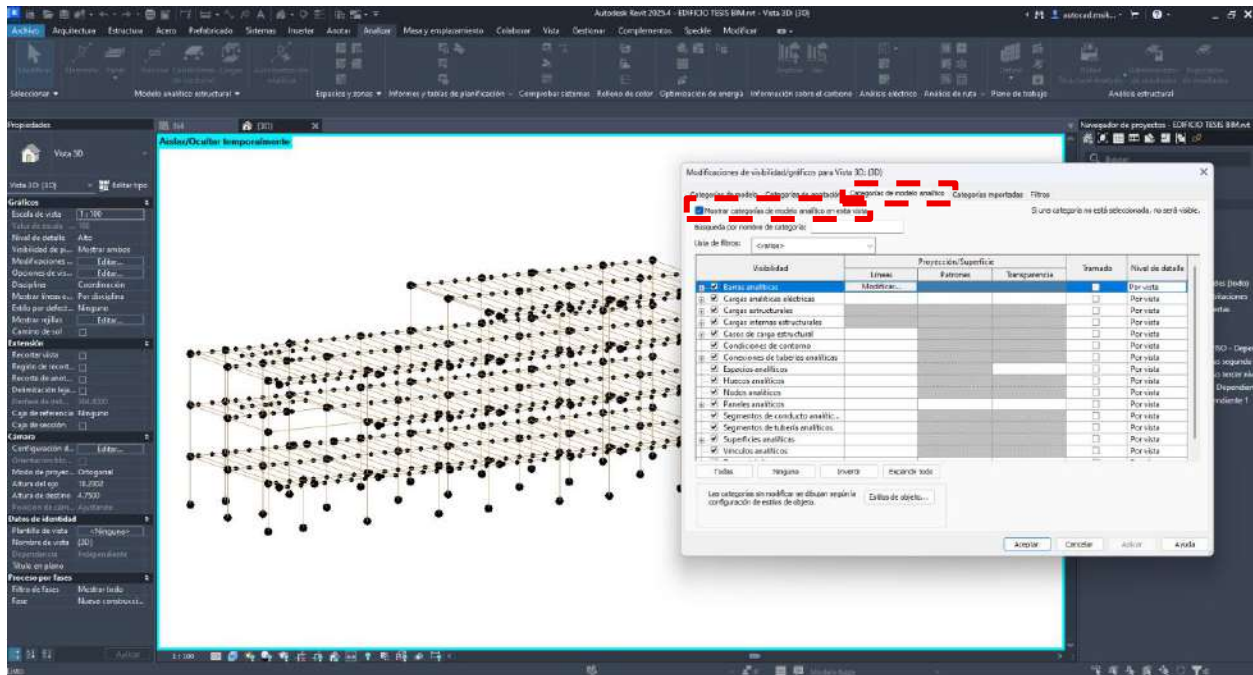


Seguimos la siguiente secuencia; pestaña “analizar” → automatización analítica
→ De físico a analítico para edificios.

Seleccionamos todos los elementos estructurales propuestos y ejecutamos la automatización analítica para convertirlo en modelo analítico, esto con el fin de pasar la geometría y los perfiles directamente al Robot Structural Analysis profesional 2025.



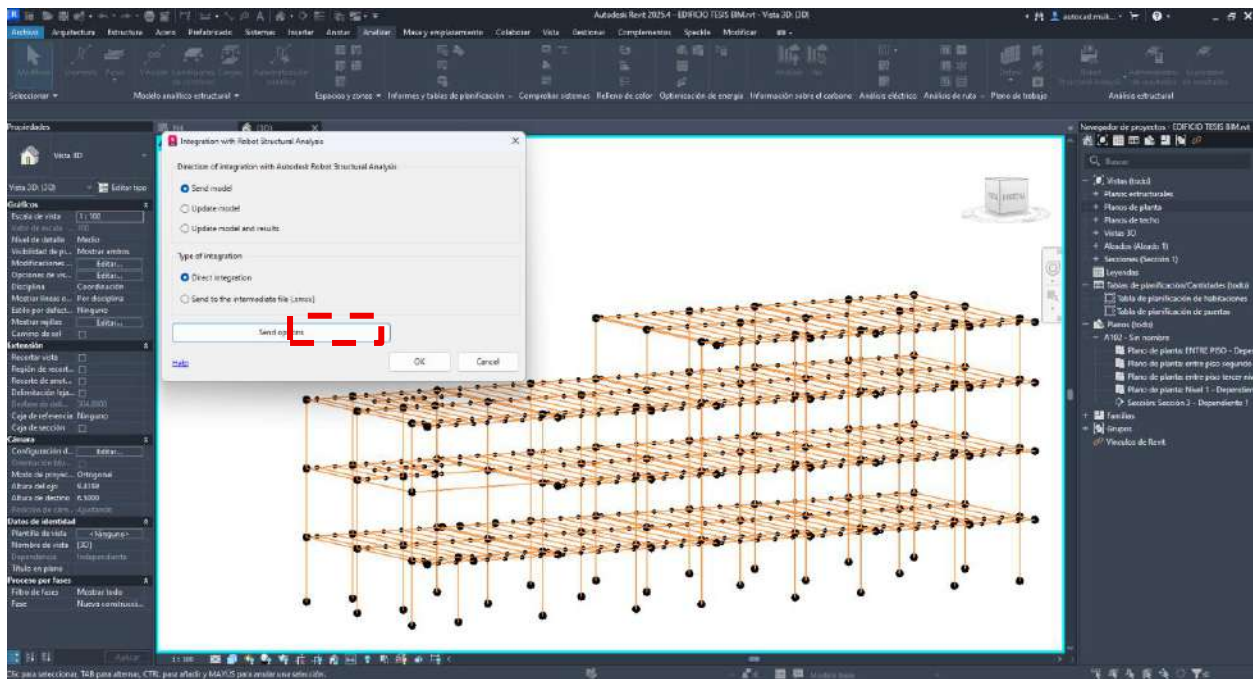
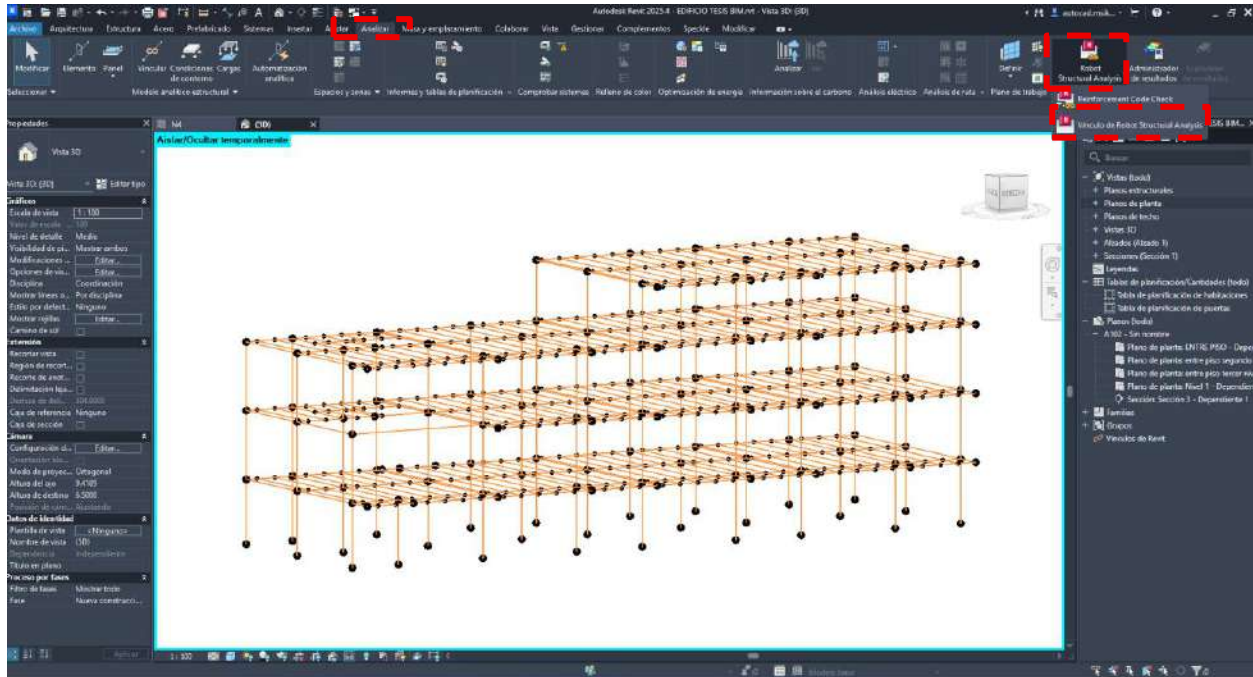
- Finalizado la ejecución, usar comando “VV (Modificaciones de visibilidad)” para ocultar los perfiles → Apartado Categorías de modelo analítico → activamos mostrar categorías de modelo analítico en esta vista.



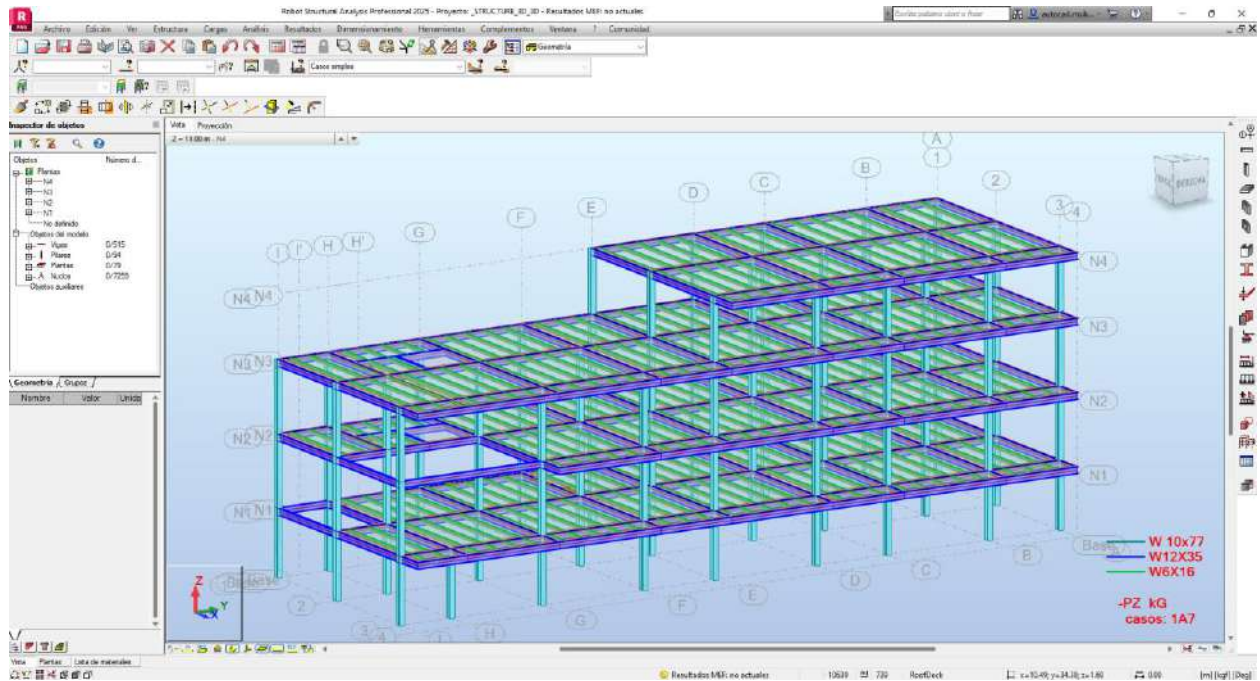
Robot Structural 2025, este se encuentra en el apartado de productos y servicios →

Cuenta	Hogar	Productos y servicios	Facturación y pedidos	Informes	Apoyo
Herramientas de interoperabilidad: Configurador del verificador de modelos v10.0.9.4966 para Revit (2023-2026) y herramienta de validación					
			11 de septiembre de 2025	11,59 MB	Descargar >
Herramientas de interoperabilidad v10.0.9.4966 para Revit 2025					
			11 de septiembre de 2025	15,51 MB	Descargar >
Publicar el complemento NWC v1.2 para Revit 2025					
			28 de abril de 2025	2,63 MB	Descargar >
Actualización de RealDWG Shared 2025.1.2					
			6 de abril de 2025	682,37 MB	Descargar >
Análisis de iluminación v2 para Revit 2025					
			1 de abril de 2025	15,82 MB	Descargar >
Administrador de complementos de Revit Admin 2025					
			10 de diciembre de 2024	3,39 MB	Descargar >
Limpieza del registro ASHRAE para Revit					
			22 de mayo de 2024	2,27 MB	Descargar >
Punto de referencia compartido para Autodesk Revit 2025					
			7 de mayo de 2024	2,38 MB	Descargar >
Perspectivas para Revit 2025					
			21 de abril de 2024	3,26 MB	Descargar >
Extensión de Integración para Revit y Robot Structural Analysis 2025					
			02 de abril de 2024	3,5 MB	Notas de la versión Descargar >
Extensión Advance Steel para Revit 2025					
			02 de abril de 2024	37,27 MB	Descargar >
Actualizador de Revit InfraWorks 2025					
			02 de abril de 2024	11,04 MB	Descargar >

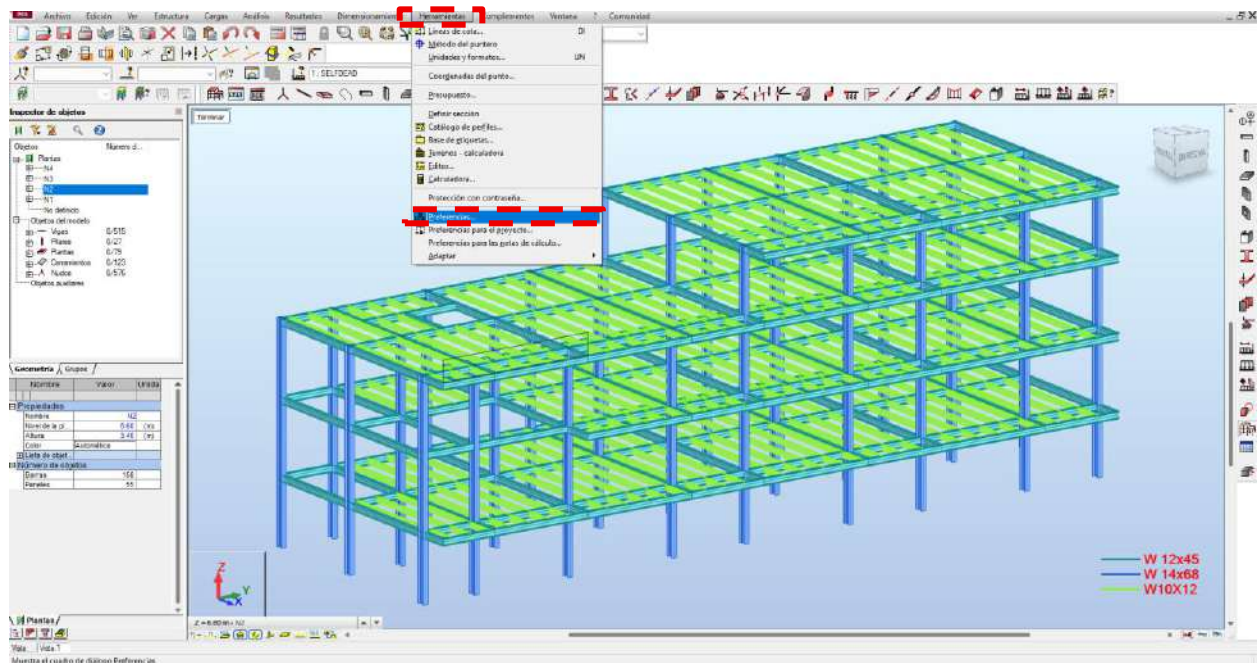
5. Una vez descargado e instalado la extensión, ir a la pestaña de “Analizar” → Robot Structural → Vinculo de Robot Structural

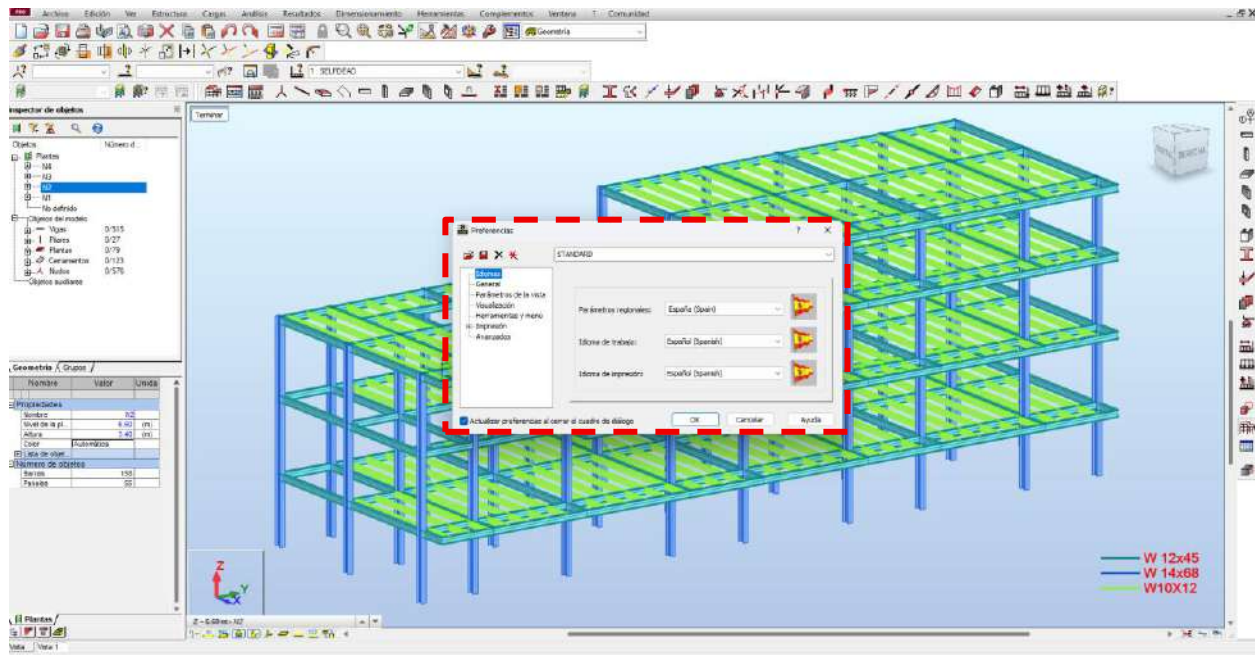


6. Automáticamente se abrirá el modelo en Robot Structural con la geometría y los perfiles asignados en el Revit.

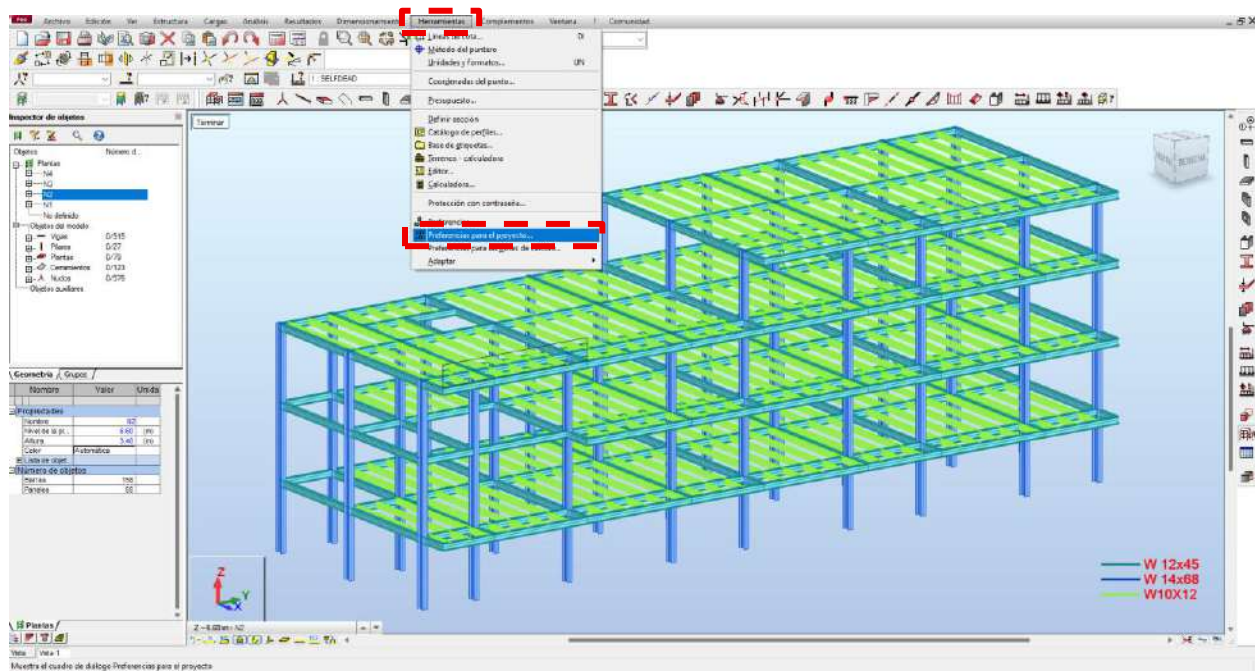


7. Modificaremos las preferencias en el modelo. Herramientas → Preferencias





8. Modificamos la siguiente ventana, Herramientas → preferencias del proyecto



En esta ventana modificaremos los siguientes apartados:

- Unidades y formatos

Preferencias para el proyecto

CONFIGNSCM-22

Unidades y formatos

- Dimensiones
- Esfuerzos
- Otros
- Edición de unidades
- Materiales
- Catálogos
- Normas de diseño
- Análisis de la estructura
- Parámetros de trabajo
- Mallado

Dimensiones de la estructura: m 0.21 E

Dimensiones de la sección: cm 0.1 E

Características de la sección: mm 0.21 E

Uniones de acero (dimensiones): mm 0. E

Diámetros de armaduras: mm 0.1 E

Área de sección del armado: m2 0.21 E

Anchura de fisuras: mm 0.1 E

Cargar los parámetros predeterminados

Guardar los parámetros actuales como predeterminados

OK Cancelar Ayuda

- Materiales

Preferencias para el proyecto

CONFIGNSCM-22

Unidades y formatos

- Dimensiones
- Esfuerzos
- Otros
- Edición de unidades
- Materiales
- Catálogos
- Normas de diseño
- Análisis de la estructura
- Parámetros de trabajo
- Mallado

Materiales: American

Modificar

Conjunto básico

Acero: STEEL

Hormigón: CONCR

Aluminio: ALUM

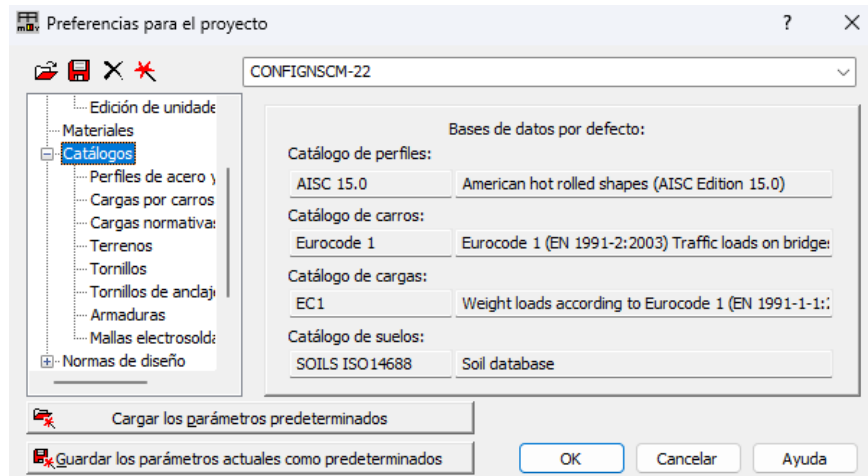
Madera: ALASKA CEDAR No.

Cargar los parámetros predeterminados

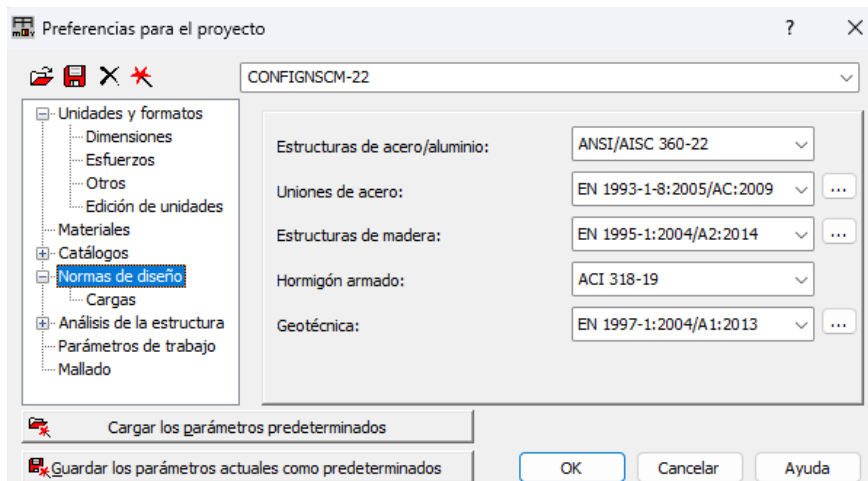
Guardar los parámetros actuales como predeterminados

OK Cancelar Ayuda

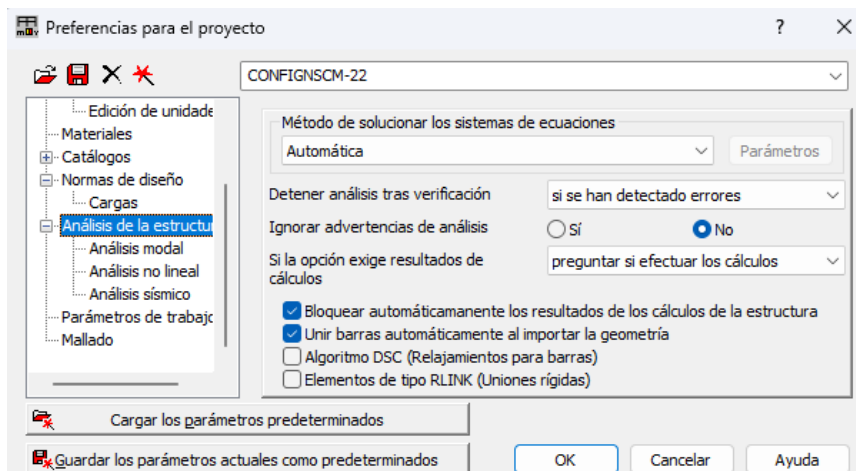
- Catálogos



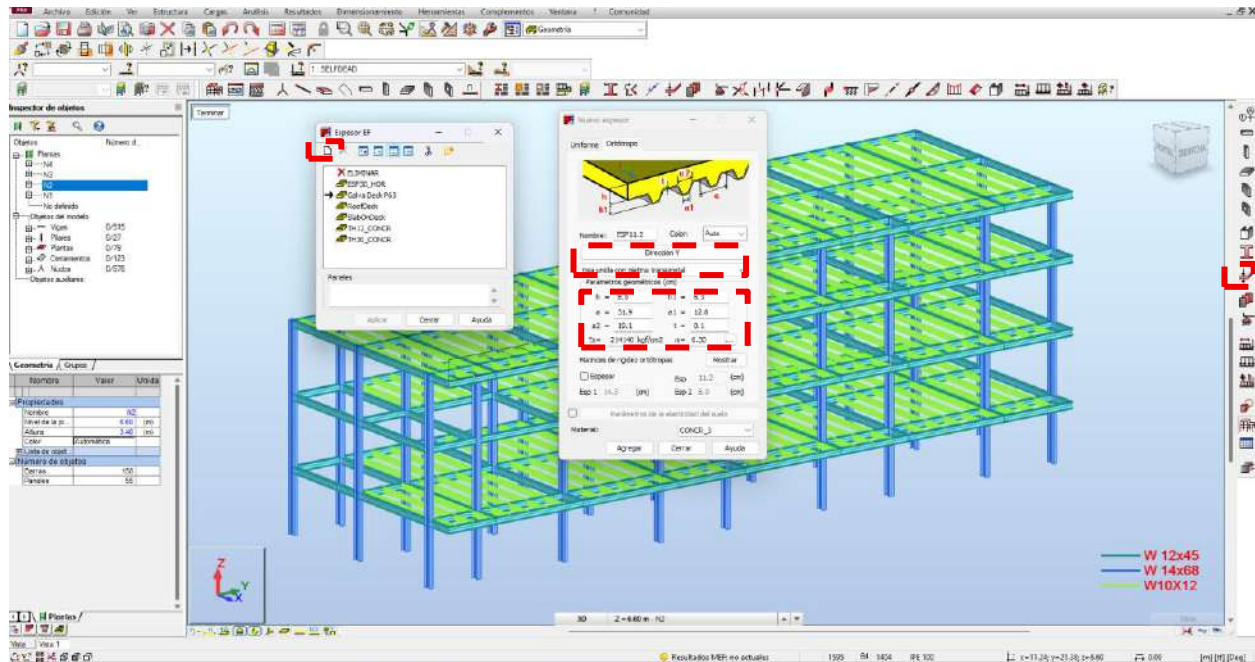
- Normas de Diseño



- Análisis de la estructura



9. Gracias a la metodología de trabajo que estamos utilizando ya tenemos cargado la geometría y la información en el Robot. Ahora crearemos la losa de entrepiso. Espesor → Nuevo espesor con nombre (Galva Deck P63) → Ortótropo → Losa unida con pletina trapezoidal, y configuramos los parámetros de la losa.



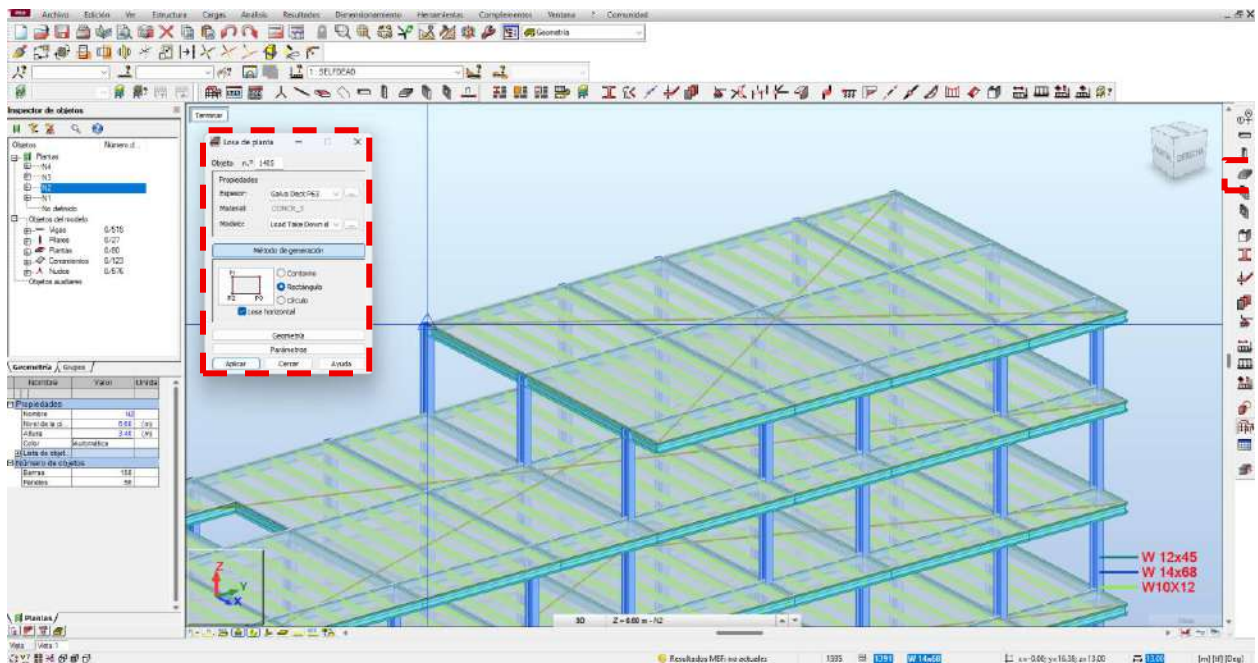
Lamina de entrepiso a utilizar



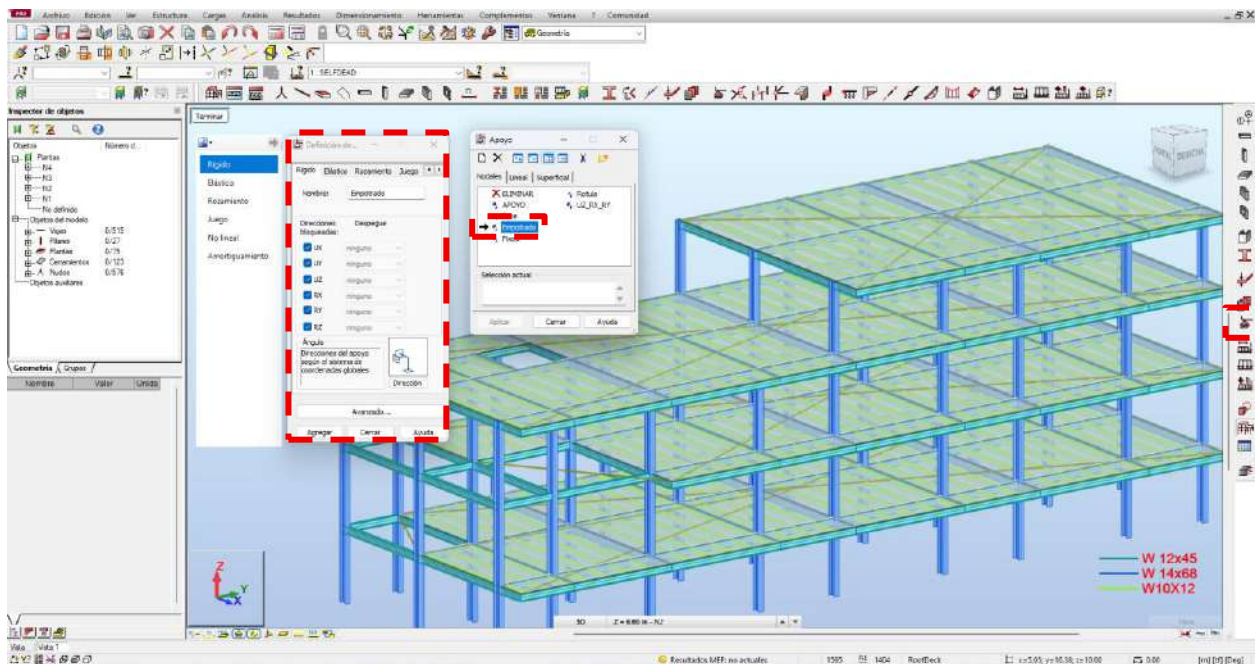
Rendimiento de materiales GalvaDeck P63								
Longitud de entrepiso metálico por área	Calibre, C	Espesor de concreto, hc	Volumen de concreto		Área de acero por temperatura	Recomendación Mallamás.		
m/m²	(mm)	(cm)	(m³/m)	(m³/m²)	(cm²/m²)	Calibre	(cm²/m²)	(pliego/m²)
1.0438	24 (0.57)	5	0.077	0.0812	0.6091	10/10	0.6160	0.0802
		6	0.0874	0.0912	0.6841	9/9	0.7561	
		8	0.1065	0.1112	0.8341	8/8	0.8845	
		10	0.1257	0.1312	0.9841	7/7	1.0603	
		12	0.1449	0.1512	1.1341	6/6	1.2469	
	22 (0.71)	5	0.0777	0.0811	0.6086	10/10	0.6160	
		6	0.0873	0.0911	0.6836	9/9	0.7561	
		8	0.1065	0.1111	0.8336	8/8	0.8845	
		10	0.1256	0.1311	0.9836	7/7	1.0603	
	20 (0.86)	5	0.0777	0.0811	0.6080	10/10	0.6160	
		6	0.0872	0.0911	0.6830	9/9	0.7561	
		8	0.1064	0.1111	0.8330	8/8	0.8845	
		10	0.1256	0.1311	0.9830	7/7	1.0603	
		12	0.1447	0.1511	1.1330	6/6	1.2469	

Nota: Las áreas de acero por temperatura recomendadas con malla electrosoldada no se consideran como refuerzo negativo de la losa de entrepiso

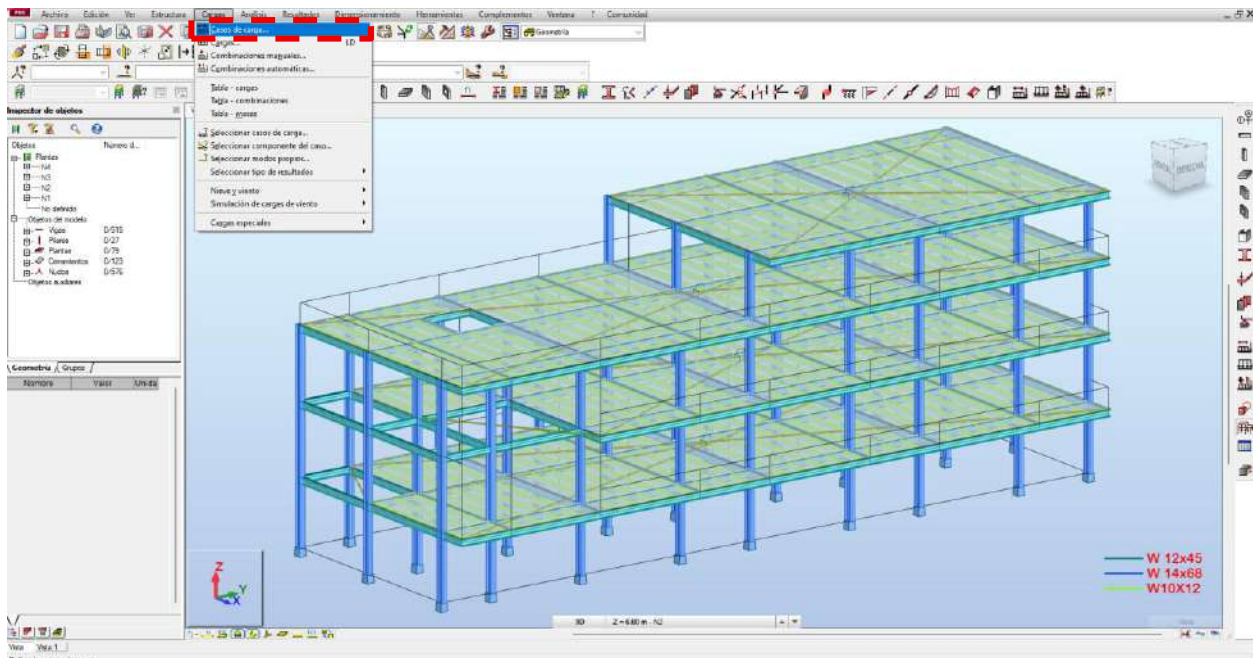
10. Modelamos la losa en cada uno de los pisos, losas de planta → Espesor (Galva Deck P63) → Modelo (Load Take Down Slab) → Método de generación (Rectángulo).



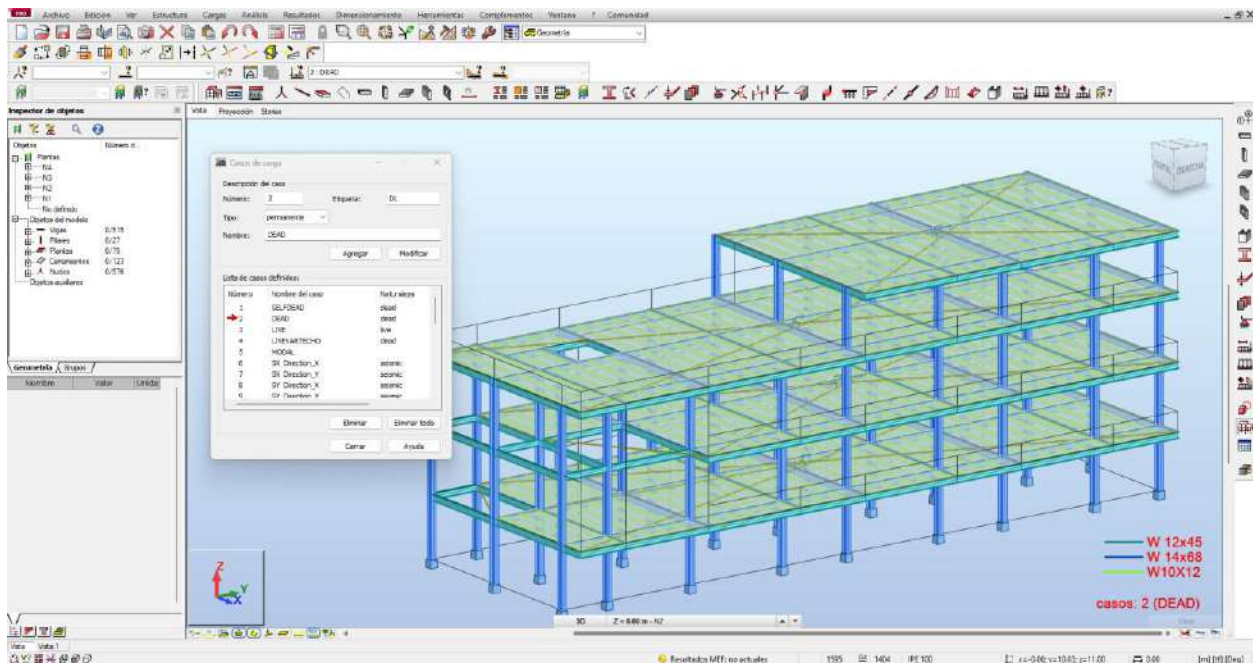
11. Seleccionamos los nodos en la parte inferior de la estructura y asignamos apoyos de tipo: Empotrado



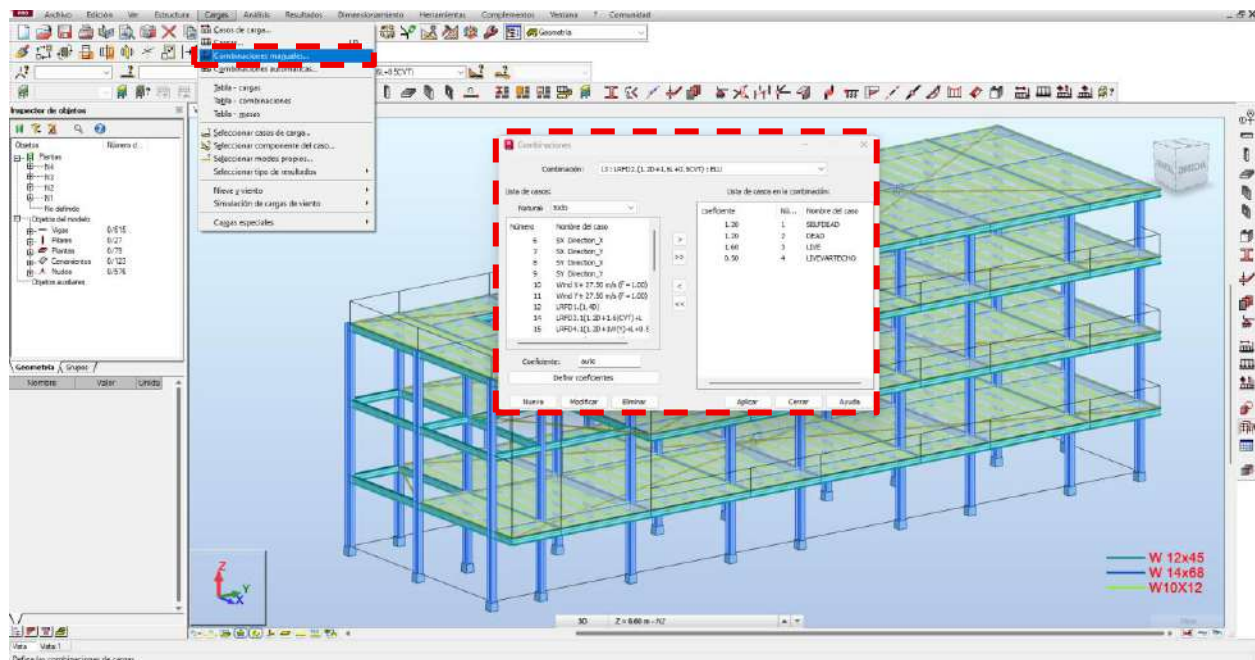
12. Luego de modelar los apoyos de tipo empotrado → cargas → casos de carga



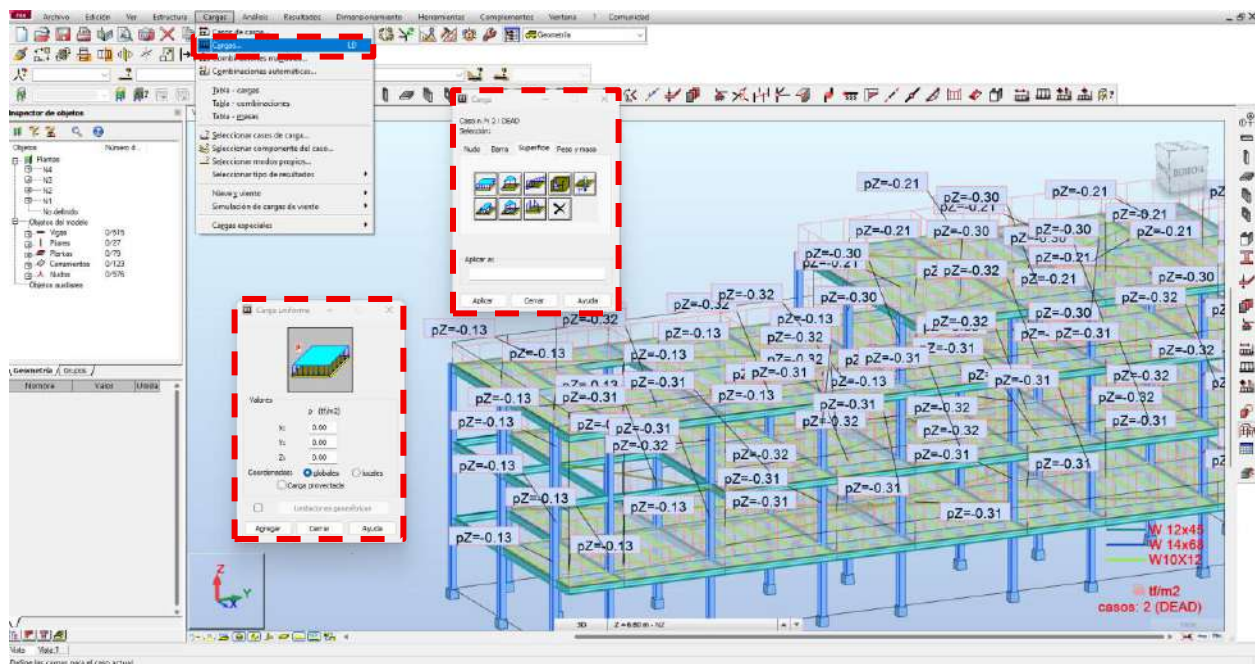
Vamos creando casos de carga: Nombre (Dead), Tipo (Permanente), Etiqueta (DL); Nombre (Live), Tipo (Explotación), Etiqueta (LL) y así sucesivamente para los demás casos de carga necesarios para el análisis por FLE.



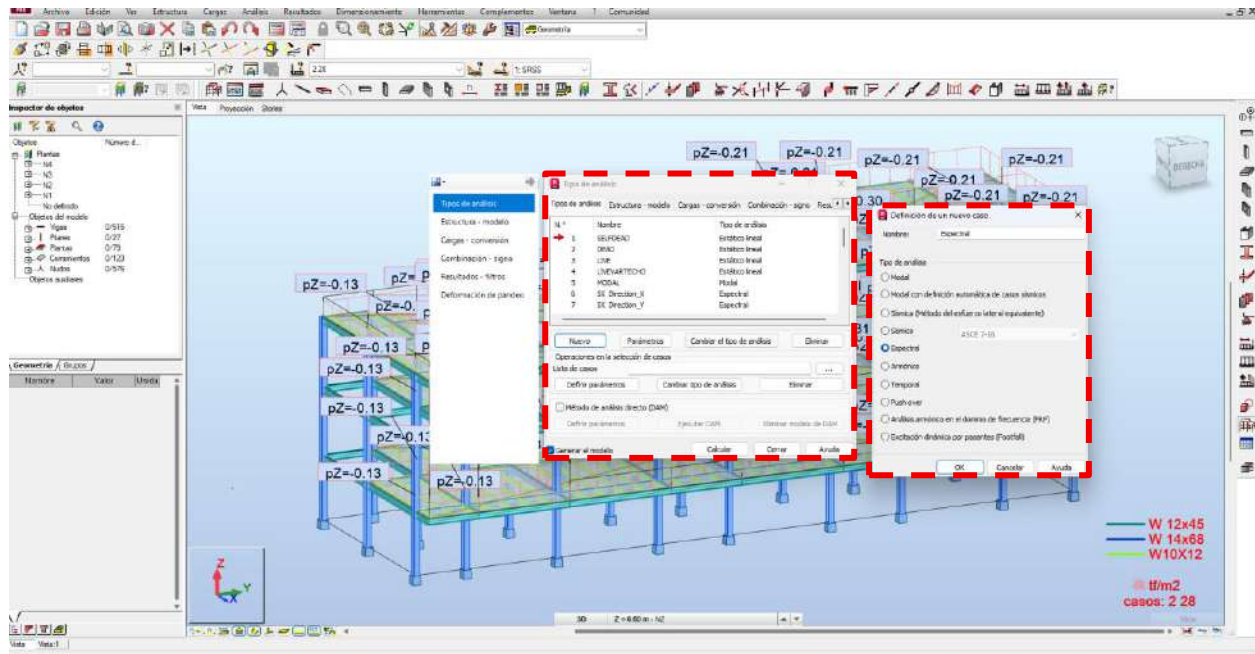
13. Definición de las combinaciones de carga estipuladas en la normativa



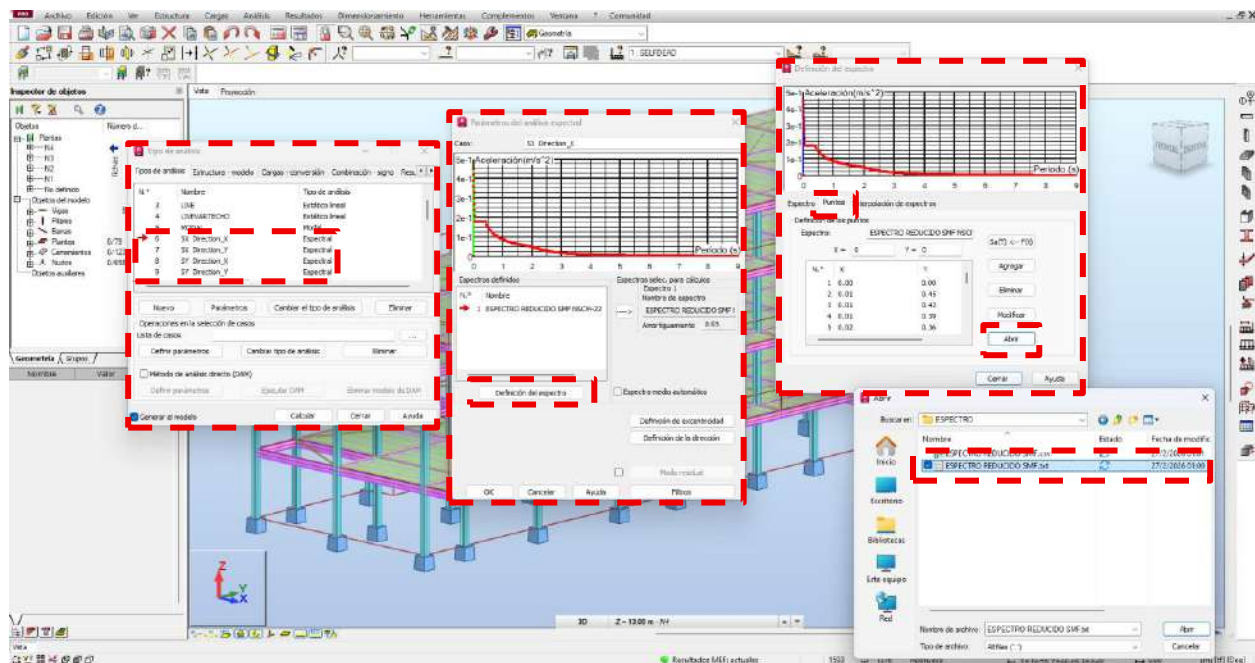
14. Una vez definido todos los casos y combinaciones de carga, por cada caso de carga creado, asignaremos la carga correspondiente. Cargas → Superficie → Carga uniforme → en dirección -z → Aplicar a (las losas correspondientes).



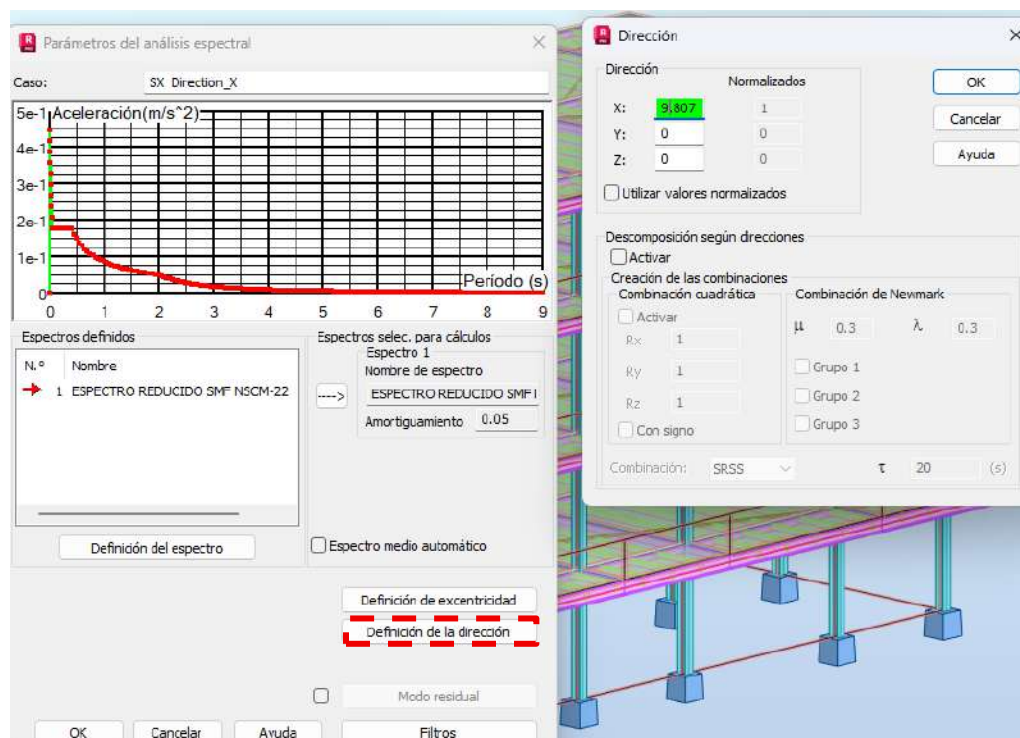
15. Una vez finalizado el análisis estático, empezamos con el Dinámico; con la siguiente ruta: Análisis → Tipo de análisis → Nuevo → Espectral → OK.



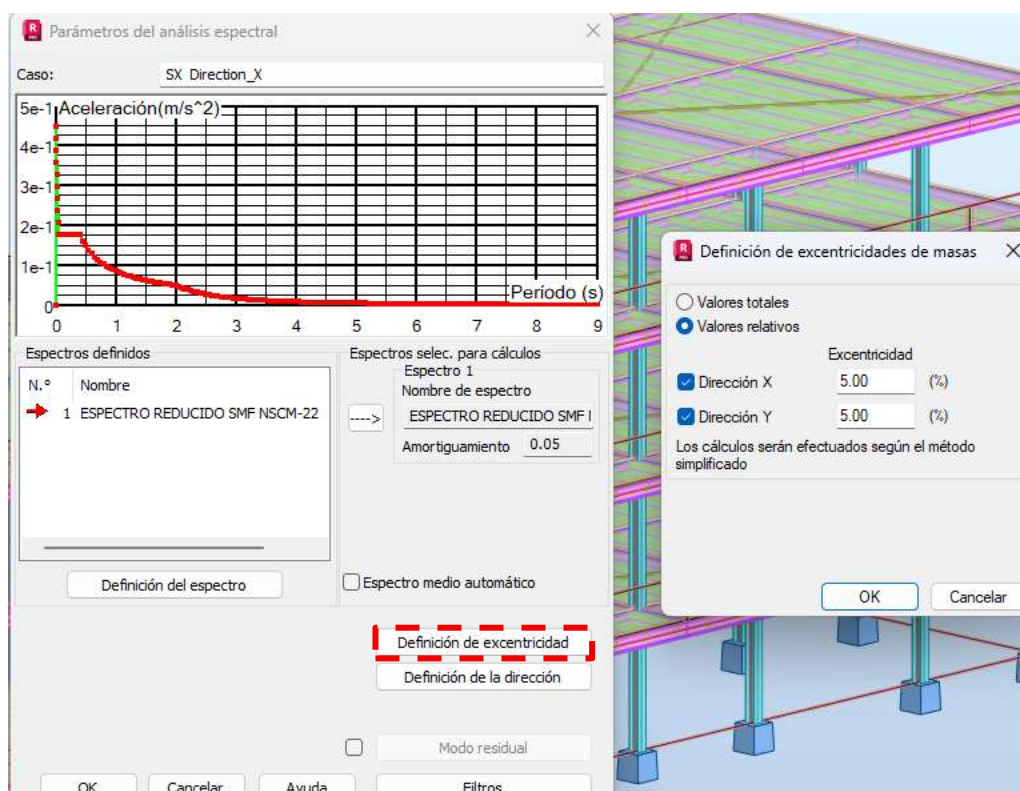
16. Definición del espectro de respuesta; Caso (SX Direction_X) → Definición del espectro → Puntos → Abrir → Buscamos el espectro previamente calculado en Excel y se carga en formato TxT. Así mismo para los otros 3 modos espectrales.



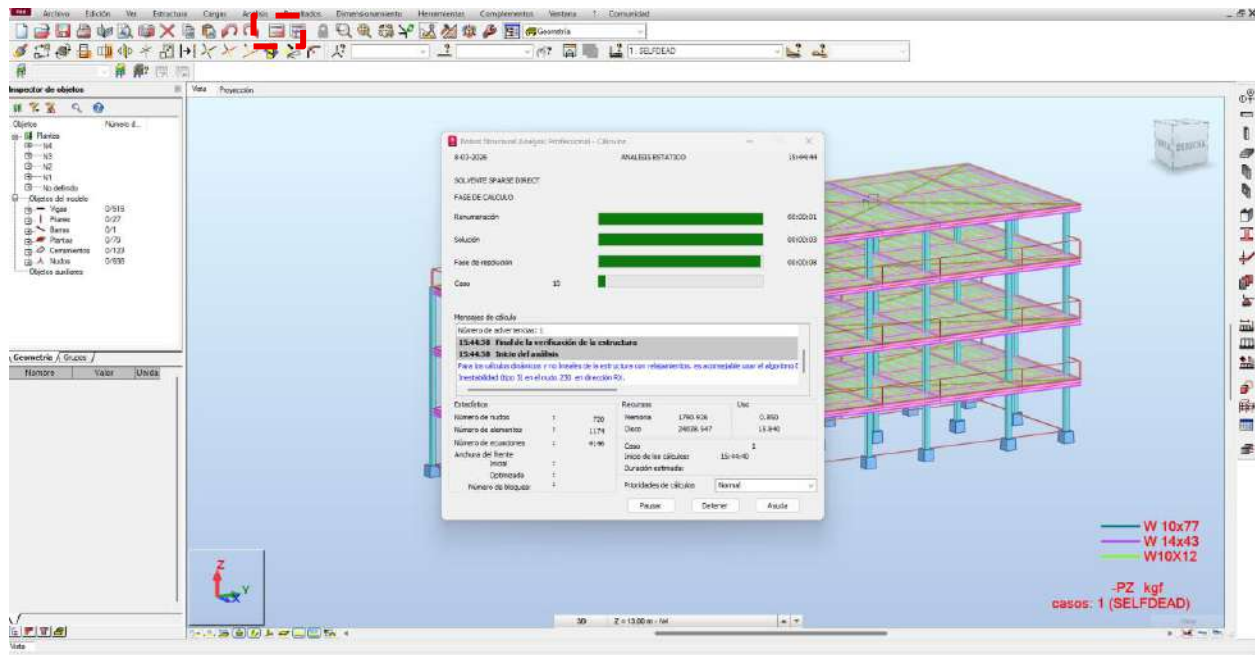
En definición de la dirección usaremos el valor de la Gravedad y usando un amortiguamiento del 5%



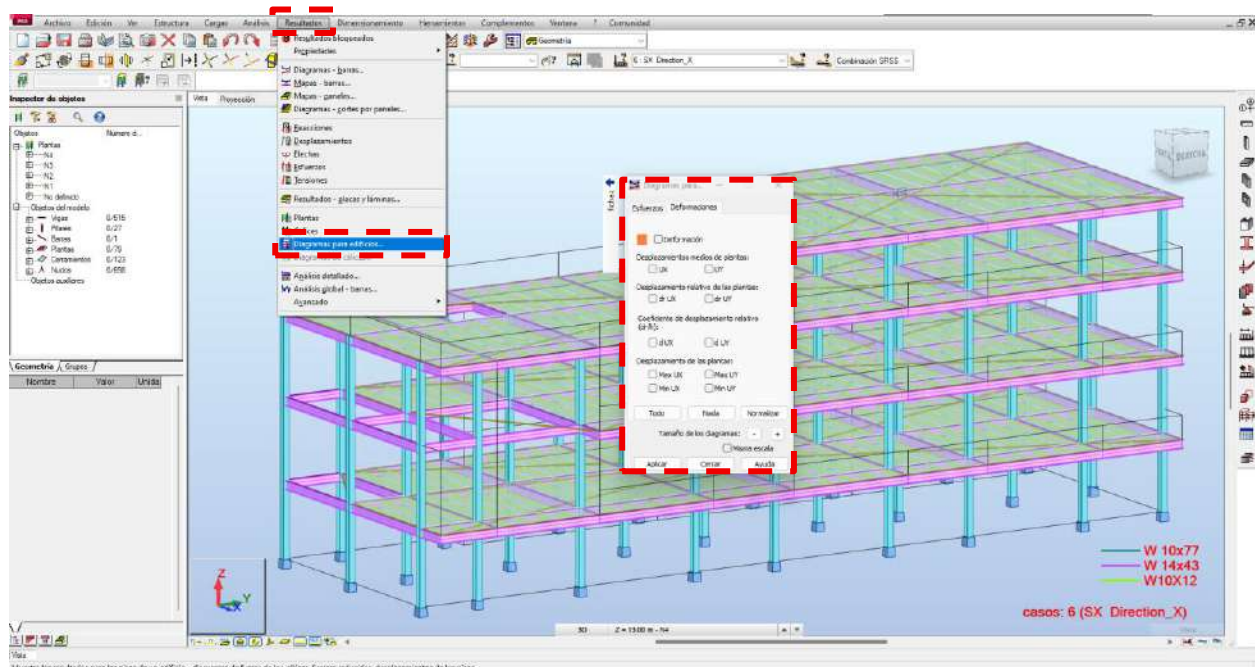
Y en Definición de excentricidades de masas el 5% en cada dirección.



17. Finalizado todos los ajustes para el análisis modal espectral, corremos el software para obtener los resultados, en el apartado calcular

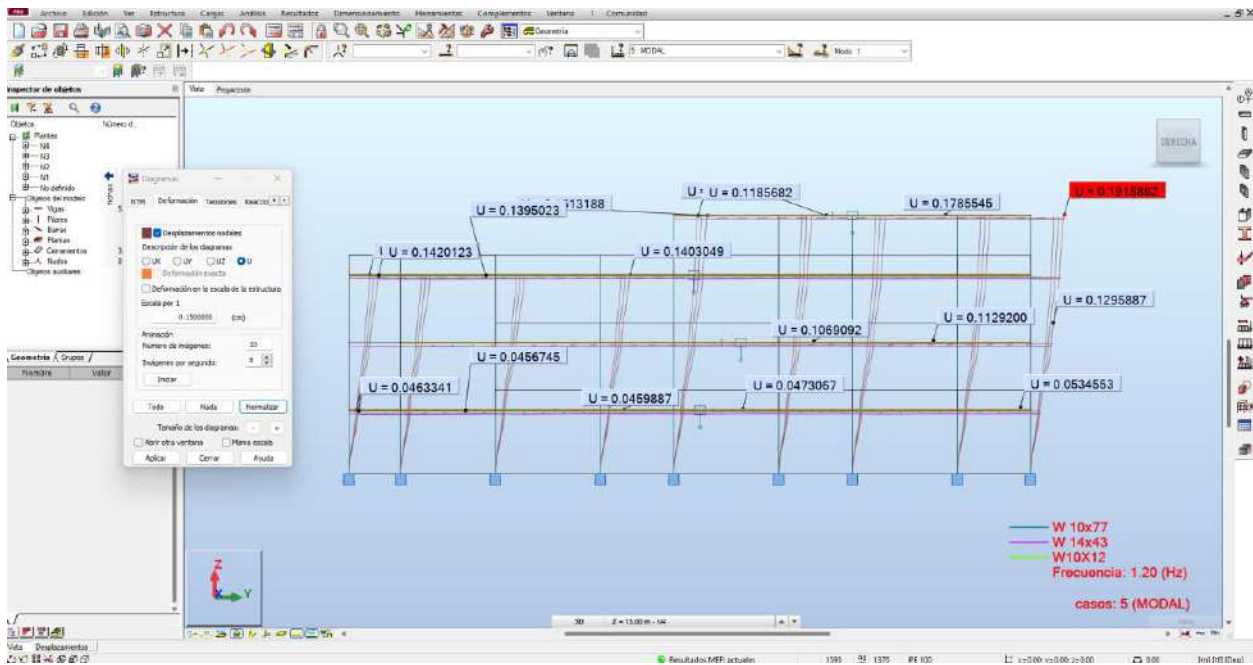


18. Para revisar las derivas → Resultados → Diagrama para edificios → Max U_x → Aplicar, hay que seleccionar el caso S_x Direction_X

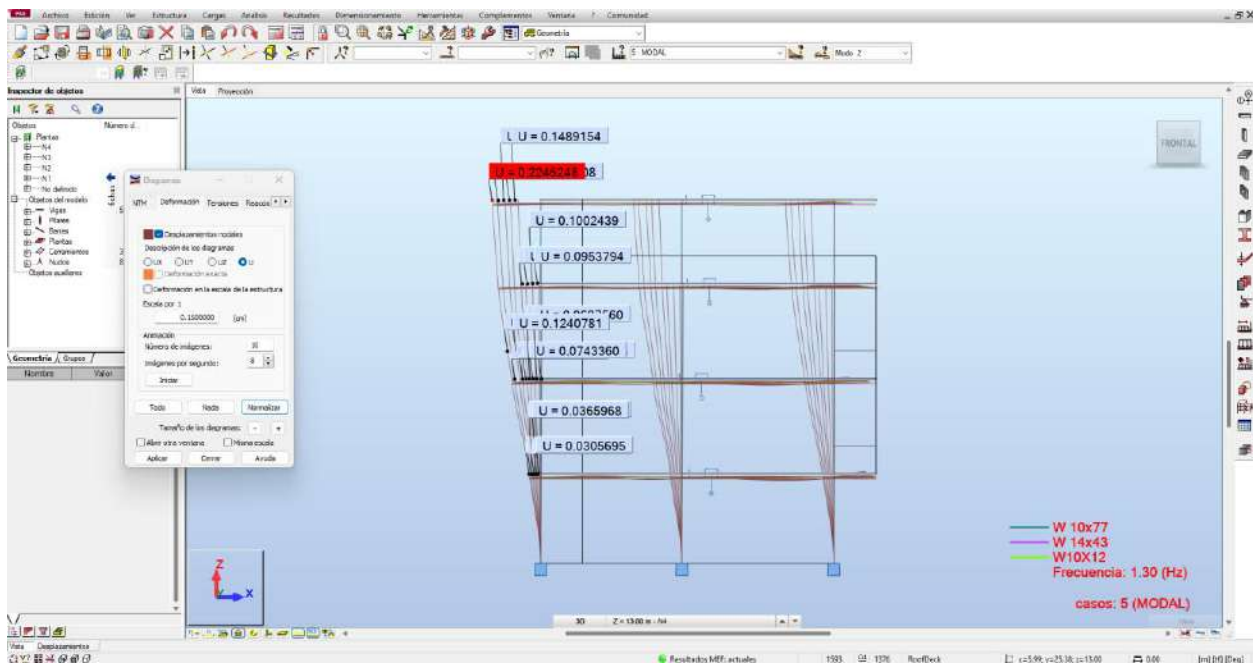


19. Revisión de los modos de vibración.

- Modo 1



- Modo 2



Factor de amplificación en espectro para sismo dinámico dirección X, (X)

Analysis Parameters

SX Direction_X

Direction

Direction	Normalized
X: 39.079	1
Y: 0	0
Z: 0	0

☐ Use normalized values

Resolution of a force into directions

☐ Active

Combination creation

Quadratic combination

☐ Active

Rx 1

Ry 1

Rz 1

☐ Signed

Newmark combination

μ 0.3 λ 0.3

☐ Group 1

☐ Group 2

☐ Group 3

Combination: SRSS τ 20 (s)

OK

Cancel

Help

Factor de amplificación en espectro para sismo dinámico dirección X, (Y)

Direction

Direction	Normalized
X: 0	0
Y: 11.723	1
Z: 0	0

☐ Use normalized values

Resolution of a force into directions

☐ Active

Combination creation

Quadratic combination

☐ Active

Rx 1

Ry 1

Rz 1

☐ Signed

Newmark combination

μ 0.3 λ 0.3

☐ Group 1

☐ Group 2

☐ Group 3

Combination: SRSS τ 20 (s)

OK

Cancel

Help

Factor de amplificación en espectro para sismo dinámico dirección Y, (X)

Direction [X]

Direction	Normalized
X: 7.7080	1
Y: 0	0
Z: 0	0

☐ Use normalized values

Resolution of a force into directions

☐ Active

Combination creation

Quadratic combination

☐ Active

Rx: 1
Ry: 1
Rz: 1

☐ Signed

Newmark combination

μ : 0.3 λ : 0.3

☐ Group 1
☐ Group 2
☐ Group 3

Combination: SRSS τ : 20 (s)

OK Cancel Help

Factor de amplificación en espectro para sismo dinámico dirección Y, (Y)

Direction [X]

Direction	Normalized
X: 0	0
Y: 25.693	1
Z: 0	0

☐ Use normalized values

Resolution of a force into directions

☐ Active

Combination creation

Quadratic combination

☐ Active

Rx: 1
Ry: 1
Rz: 1

☐ Signed

Newmark combination

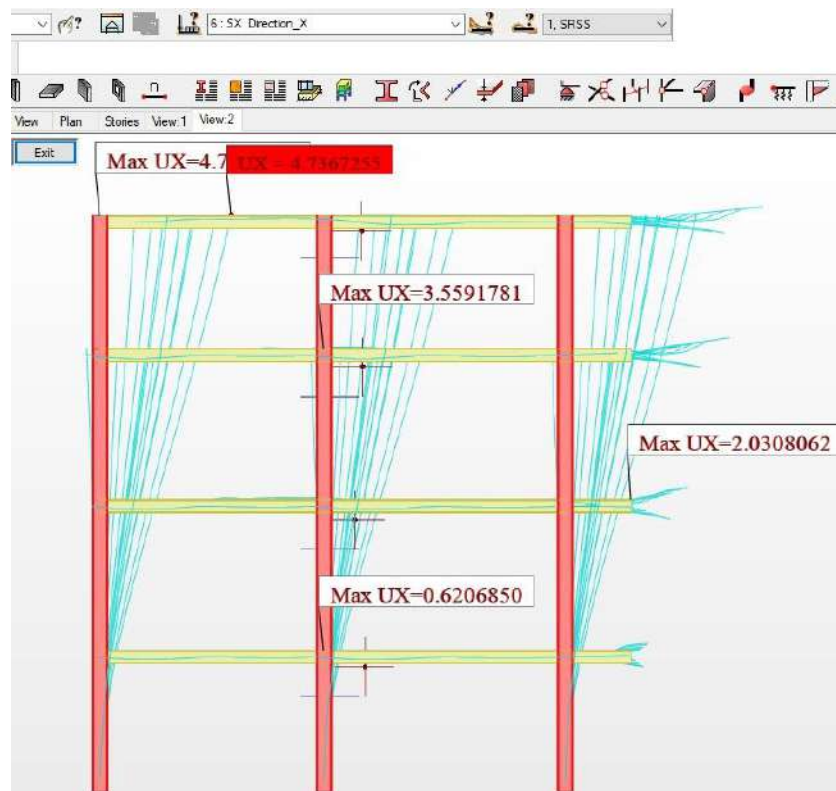
μ : 0.3 λ : 0.3

☐ Group 1
☐ Group 2
☐ Group 3

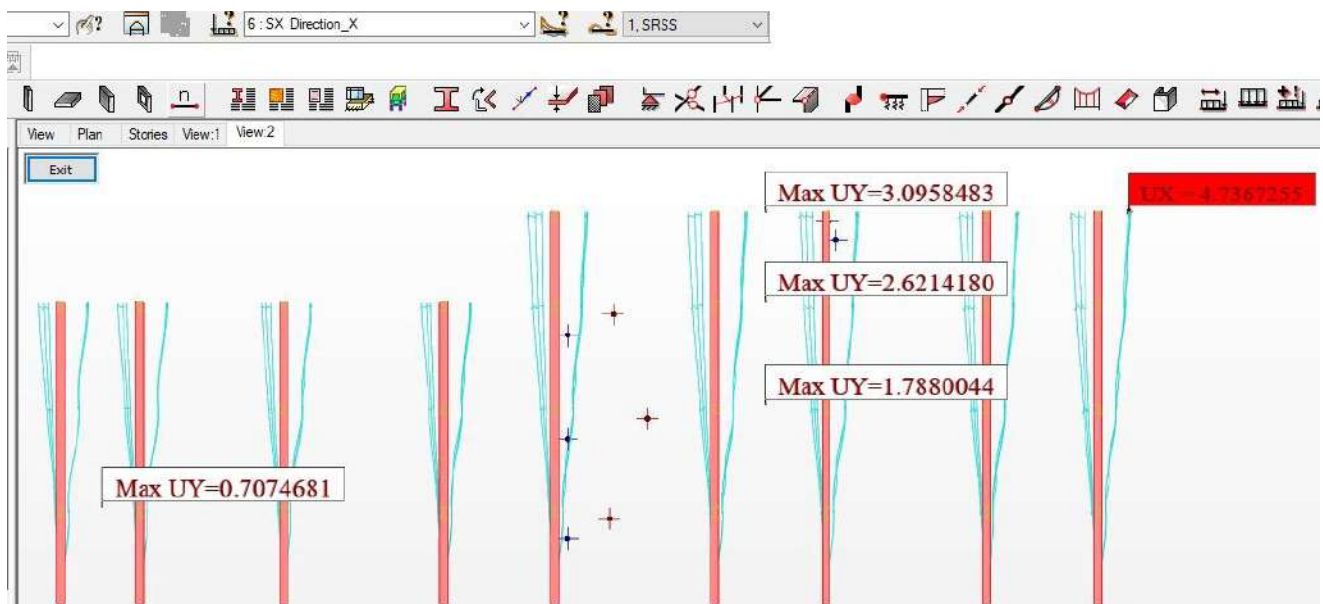
Combination: SRSS τ : 20 (s)

OK Cancel Help

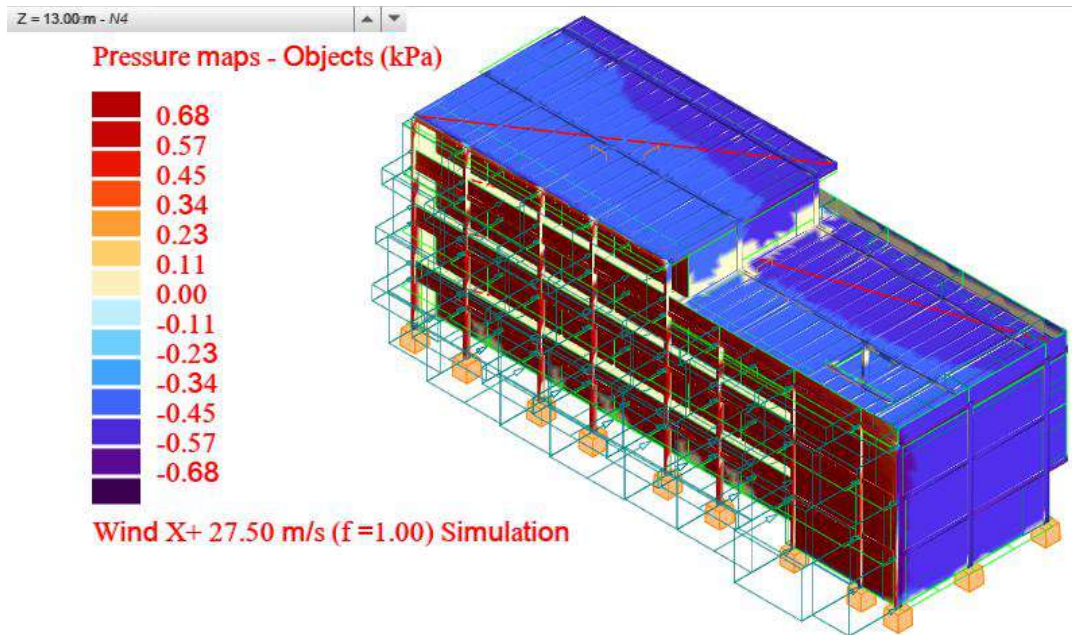
Desplazamientos elásticos en "X" mediante sismo dinámico



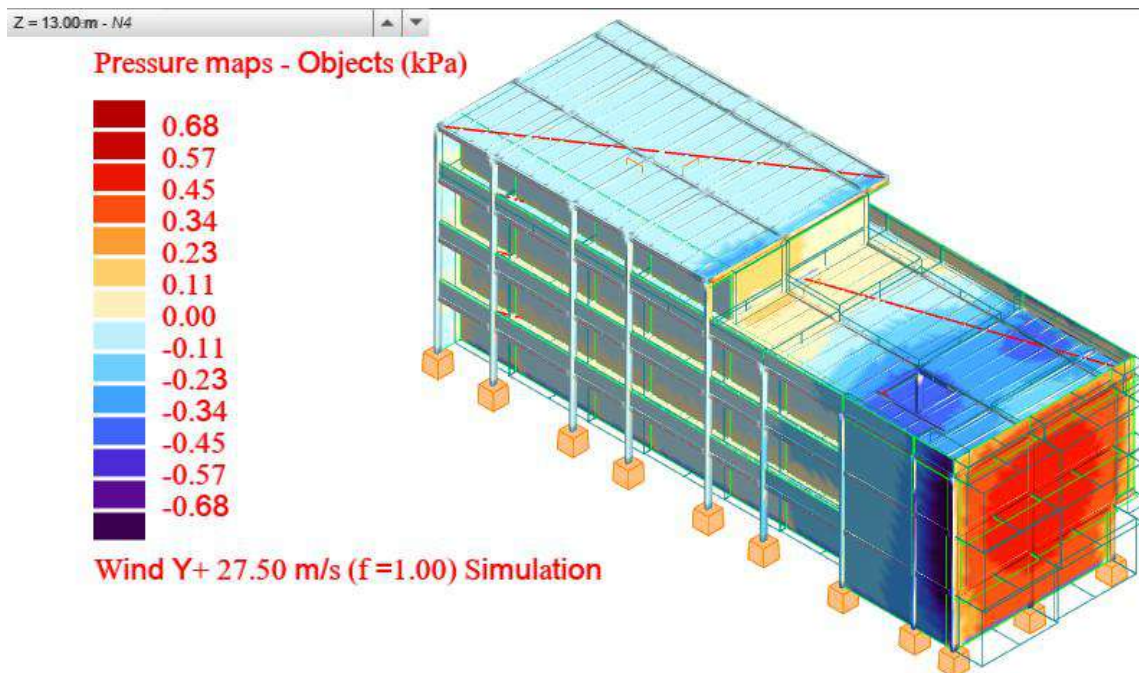
Desplazamientos elásticos en "Y" mediante sismo dinámico



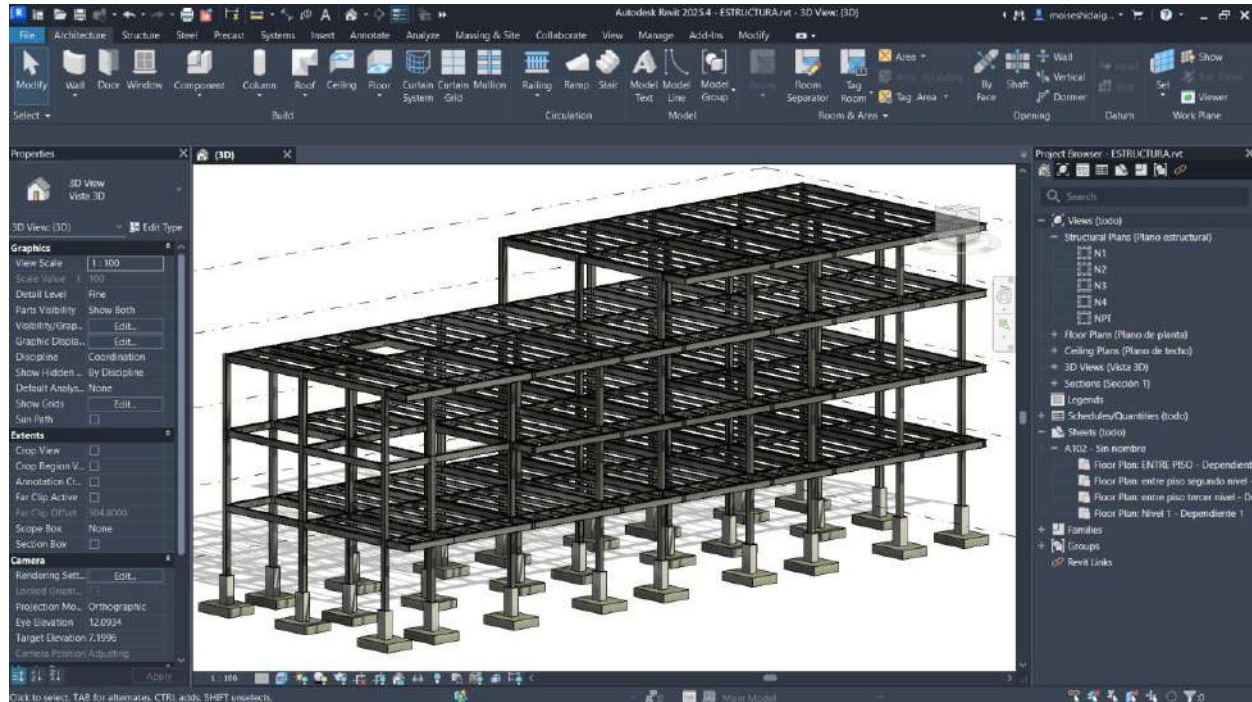
Asignación de simulación CFD, según velocidad de diseño WIND(X)



Asignación de simulación CFD, según velocidad de diseño WIND(Y)



20. Una vez teniendo el diseño de los elementos estructurales exportados desde el Robot a Revit. Haremos la implementación de la metodología BIM de Revit a Naviswork



21. Descargaremos el Plugin Naviswork Freedom, lo encontramos en la página de Autodesk, descargaremos la versión 2025 para este caso.

Navisworks

Contact Sales

Download free trial

See pricing options

Viewers

Applications without needing a licensed seat for Navisworks: The nwc exporter works with a range of products, including AutoCAD and Revit software, as well as 3ds Max, Bentley MicroStation, and Graphisoft ArchiCAD software. The NWC file format supports transfer of both object geometry and associated metadata.

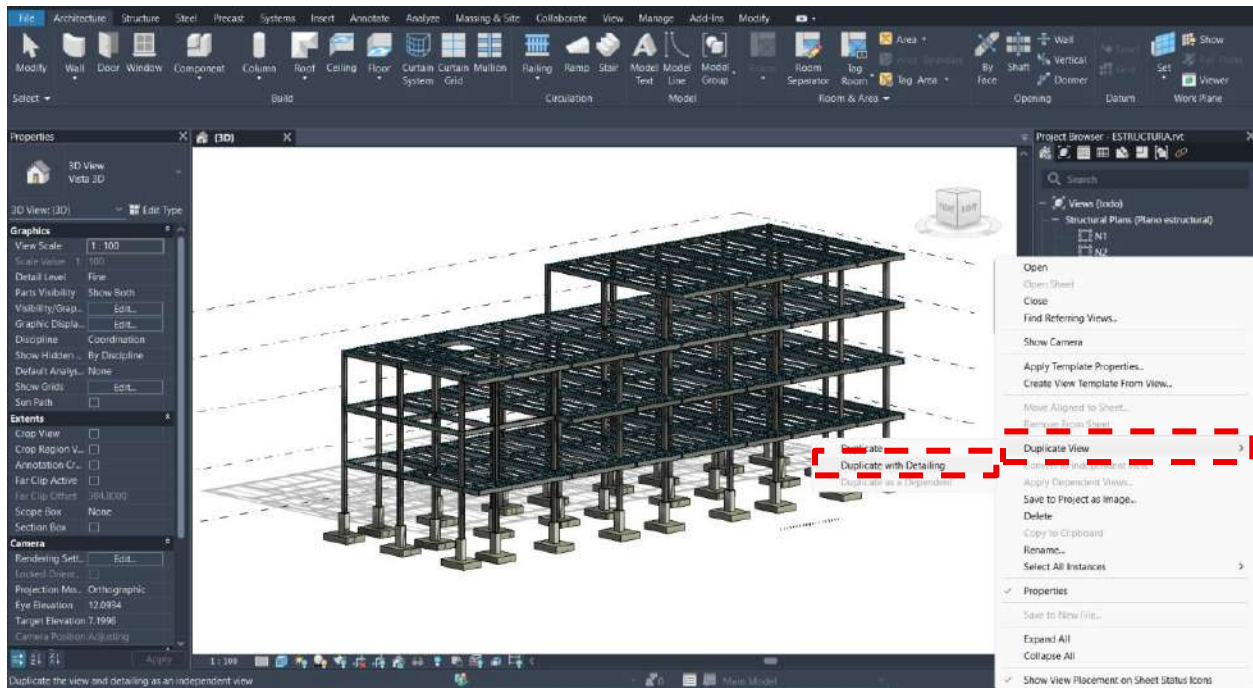
Download

1. Download Navisworks NWC File Export Utility
 - 2026: [NavisworksExporters2026.exe](#)
 - 2025: [NavisworksExporters2025.exe](#)
 - 2024: [NavisworksExporters2024.exe](#)
 - 2023: [NavisworksExporters2023.exe](#)
 - 2022: [NavisworksExporters2022.exe](#)
 - 2021: [NavisworksExporters2021.exe](#)
 - 2020: [NavisworksExporters2020.exe](#)
 - 2019: [NavisworksExporters2019.exe](#)
 - 2018: [NavisworksExporters2018.exe](#)
 - 2017: [NavisworksExporters2017.exe](#)
 - 2016: [NavisworksExporters2016.exe](#)
2. Install

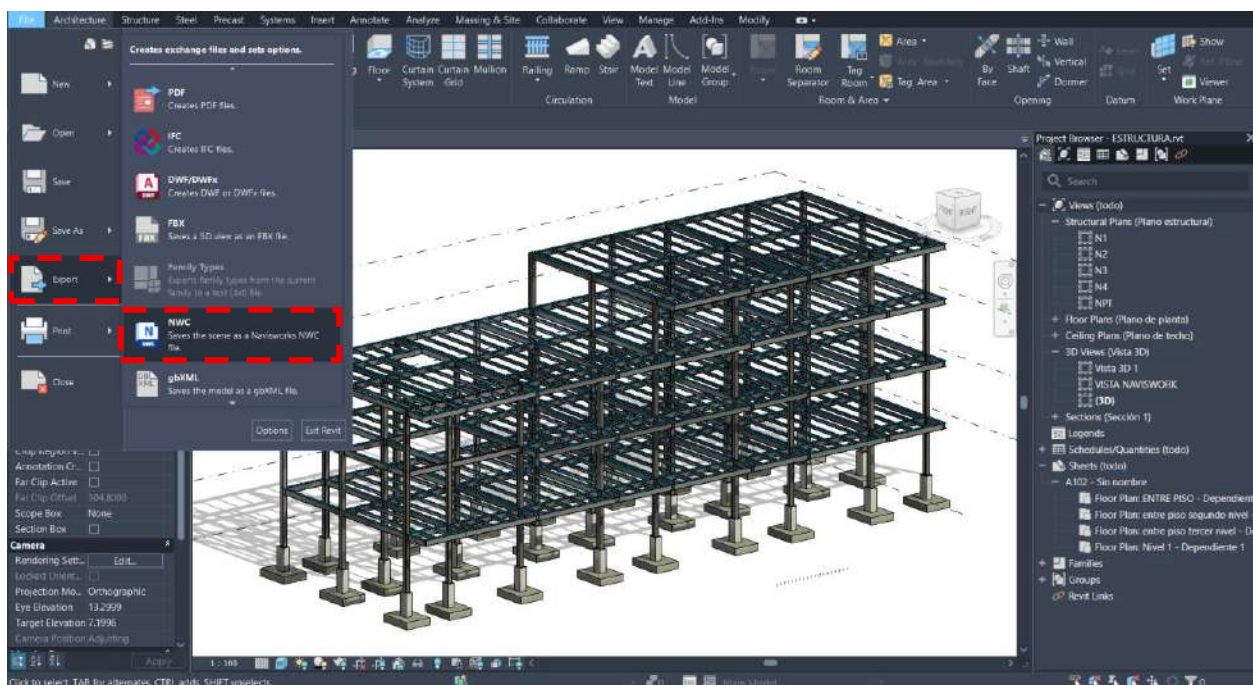
Run the downloaded executable to unpack the NWC Export Utility installer to a location of your choice and to begin the installation process. Note that administration rights are needed to install this product.
3. Learn more

A Readme, Installation Guide, and other important documentation are accessible from within the installer. Navisworks NWC Export Utility includes a comprehensive help

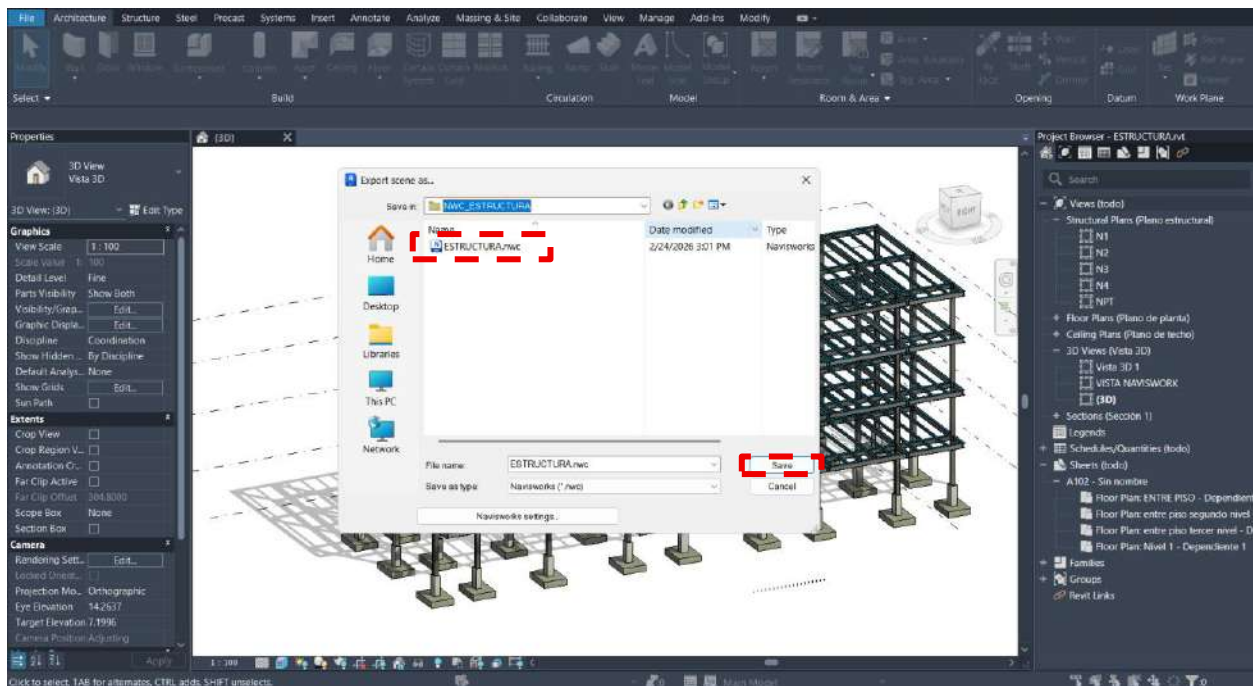
22. Una vez en Revit hacemos una copia de la vista 3D llamada “Vista Naviswork”, ya que esta es la que se exportara al software Naviswork



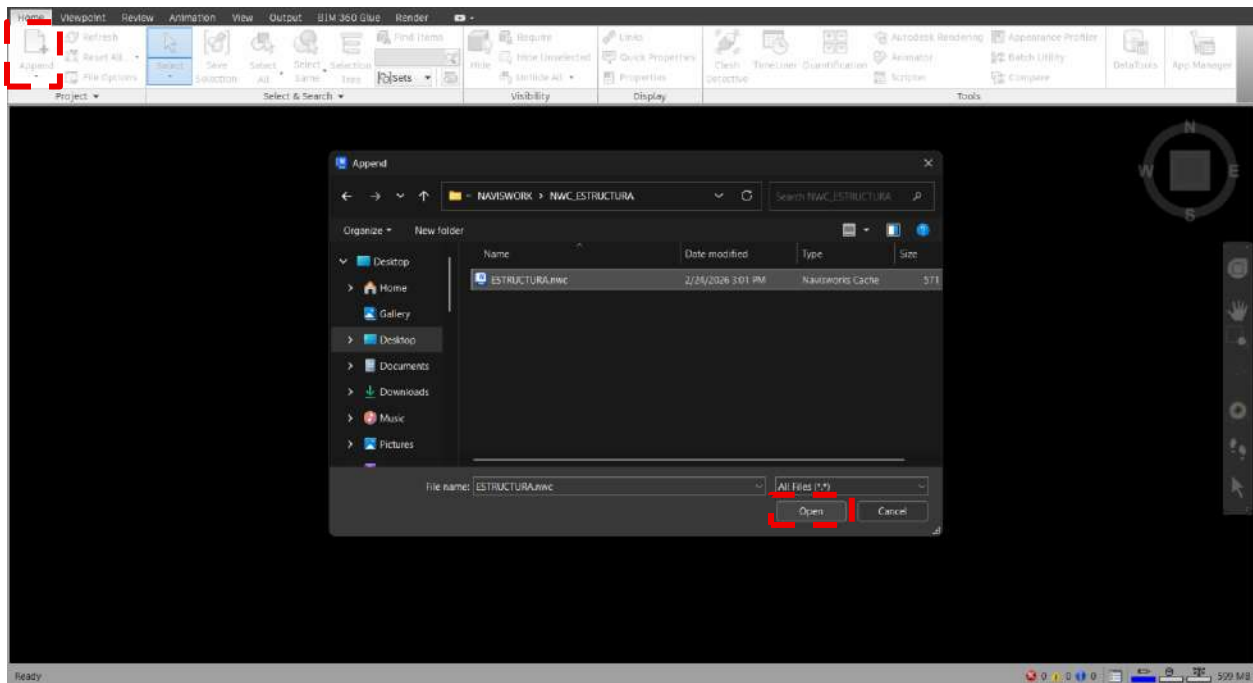
23. Exportamos el modelo de Revit a Naviswork, con la siguiente ruta: File → Export → NWC



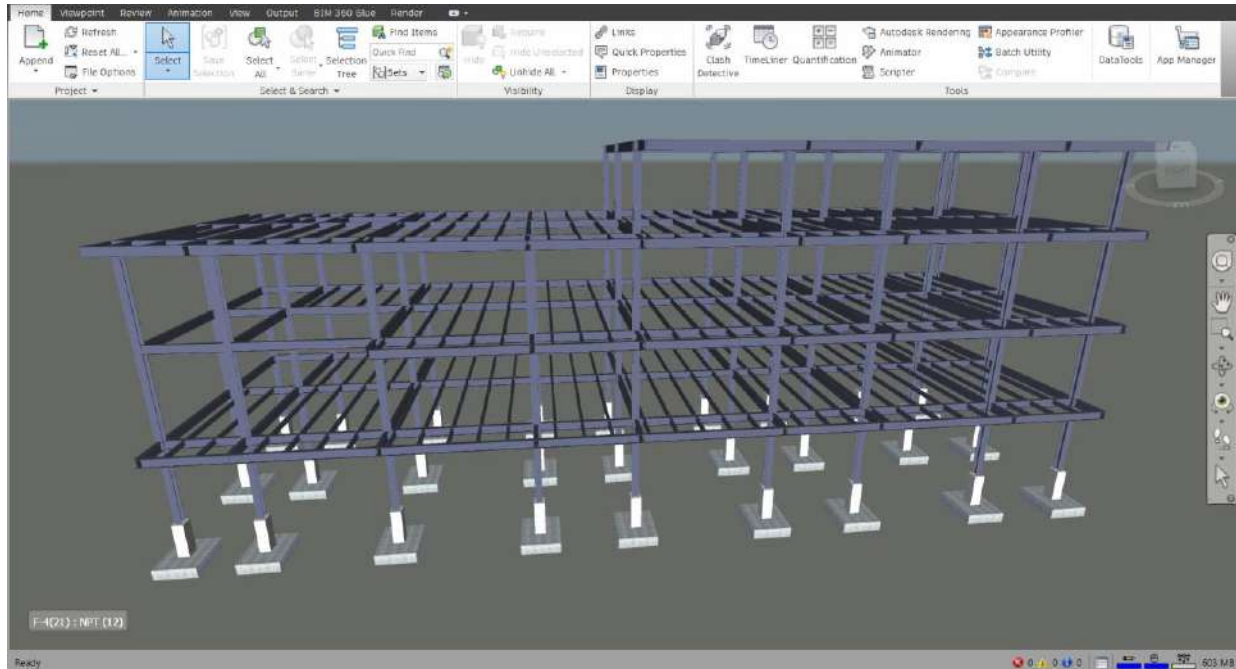
24. Creamos una nueva carpeta llamada Naviswork → NWC_ESTRUCTURA



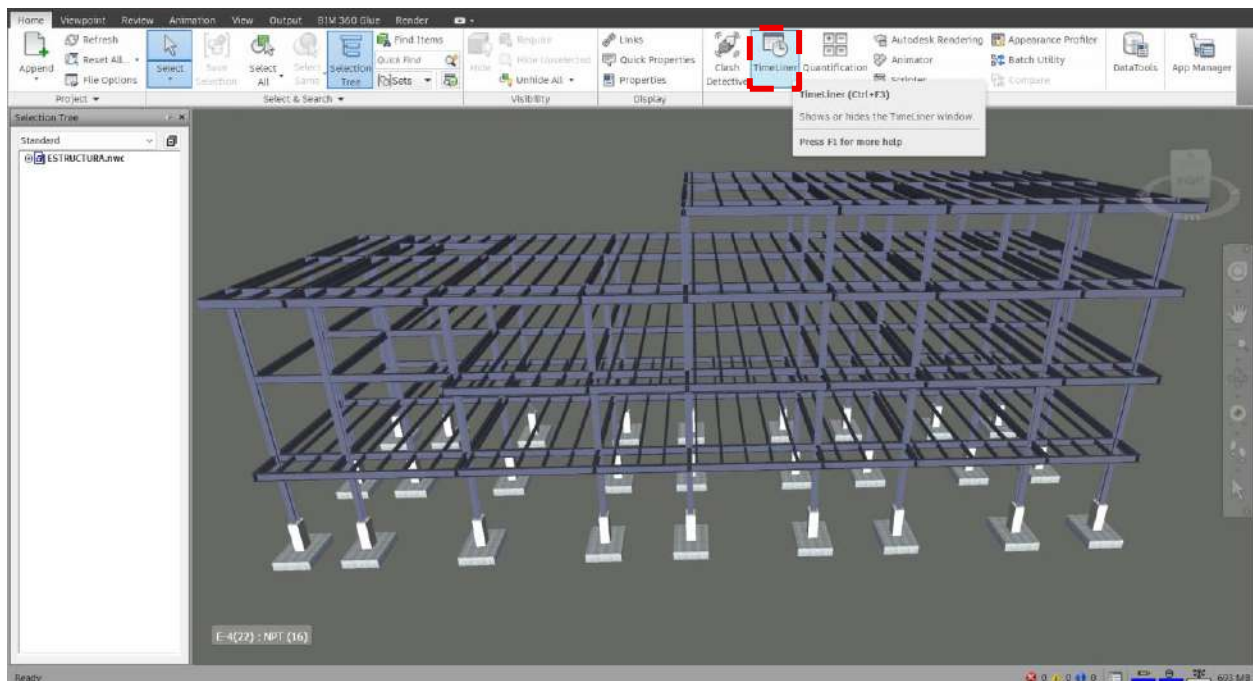
25. Abrimos Naviswork Manage 2025 Append → Buscamos el archivo previamente guardado con extensión NWC y abrimos.



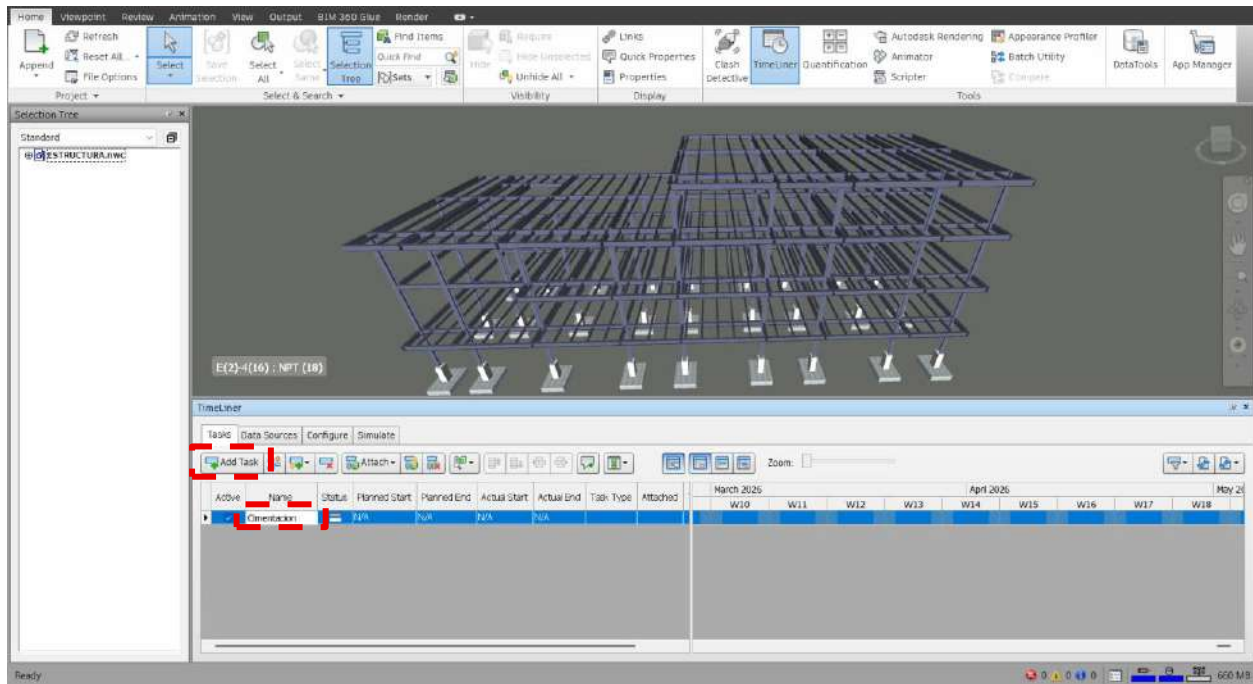
26. Modelo importado en software Naviswork, para este caso se agregó zapatas de dimensiones (2.00 x 1.50 x 0.40) m y pedestales de (50 x 40) cm con un desplante de 1.70m, esto de manera demostrativa para la realización de la simulación constructiva.



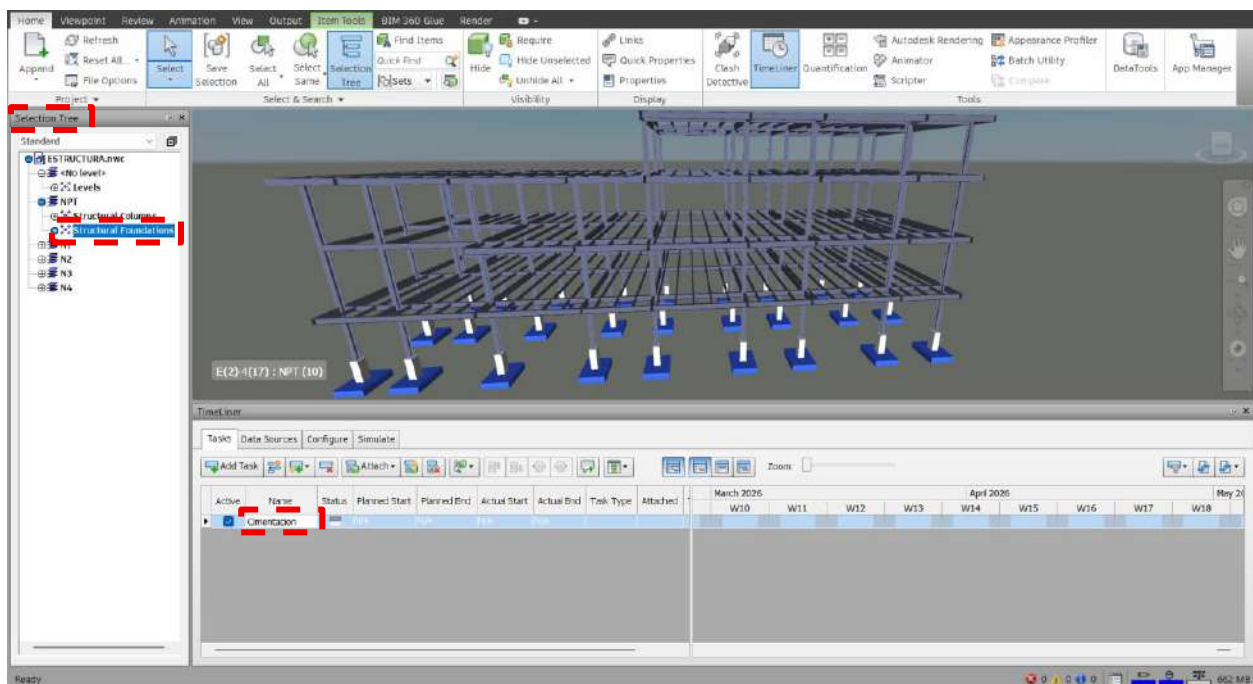
27. Para este proyecto únicamente se realizará el TimeLiner, para la demostración de la simulación constructiva mediante un cronograma de obra con su diagrama de Gantt realizado dentro del software



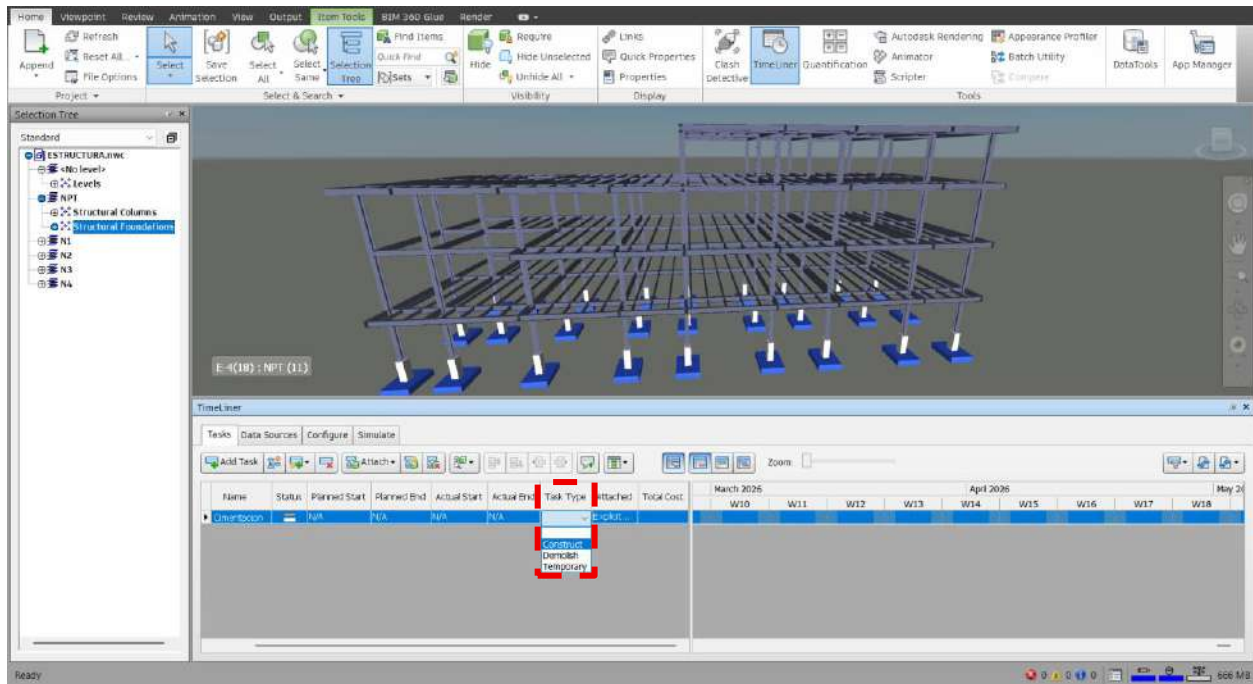
28. En la ventana de Timeliner, acá crearemos una tarea para cada nivel, en este caso llamado “Cimentacion” (Esta interfaz es la misma que Microsoft Project)



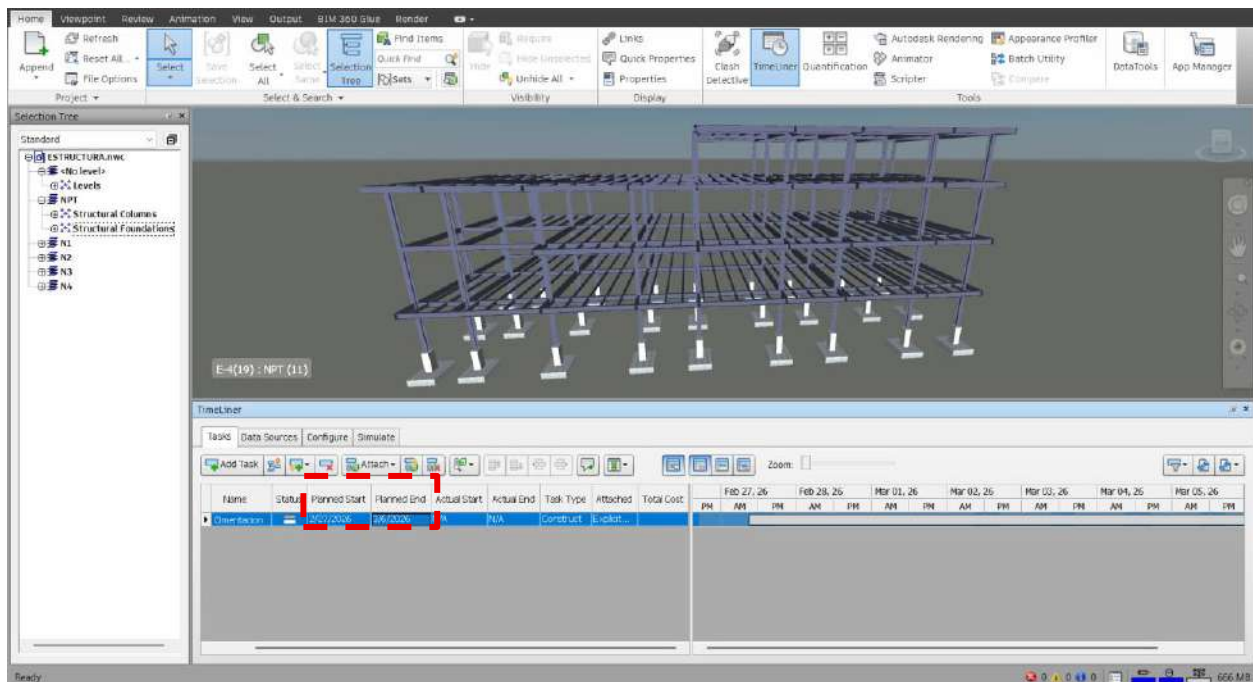
29. Del árbol de selección, tocamos todas las fundaciones y desde el modelo 3D arrastramos las fundaciones y se lleva a la tarea “Cimentacion”



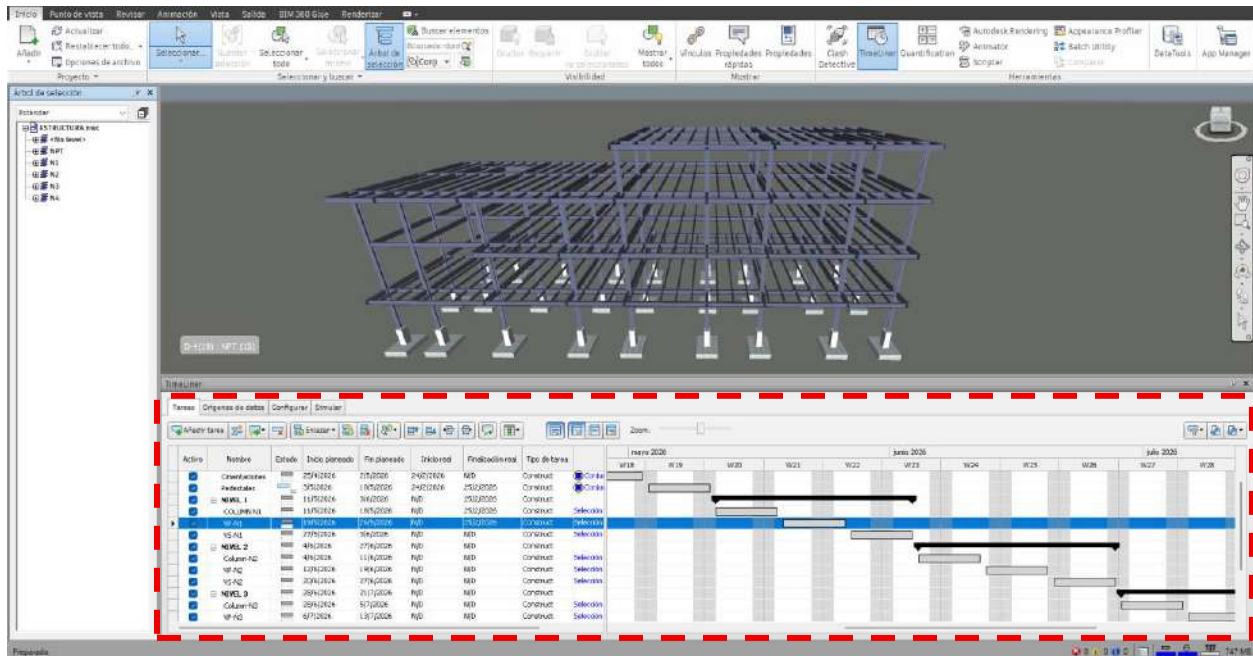
30. Una vez añadido la selección a la tarea, nos vamos a tipo de tarea y damos en construcción



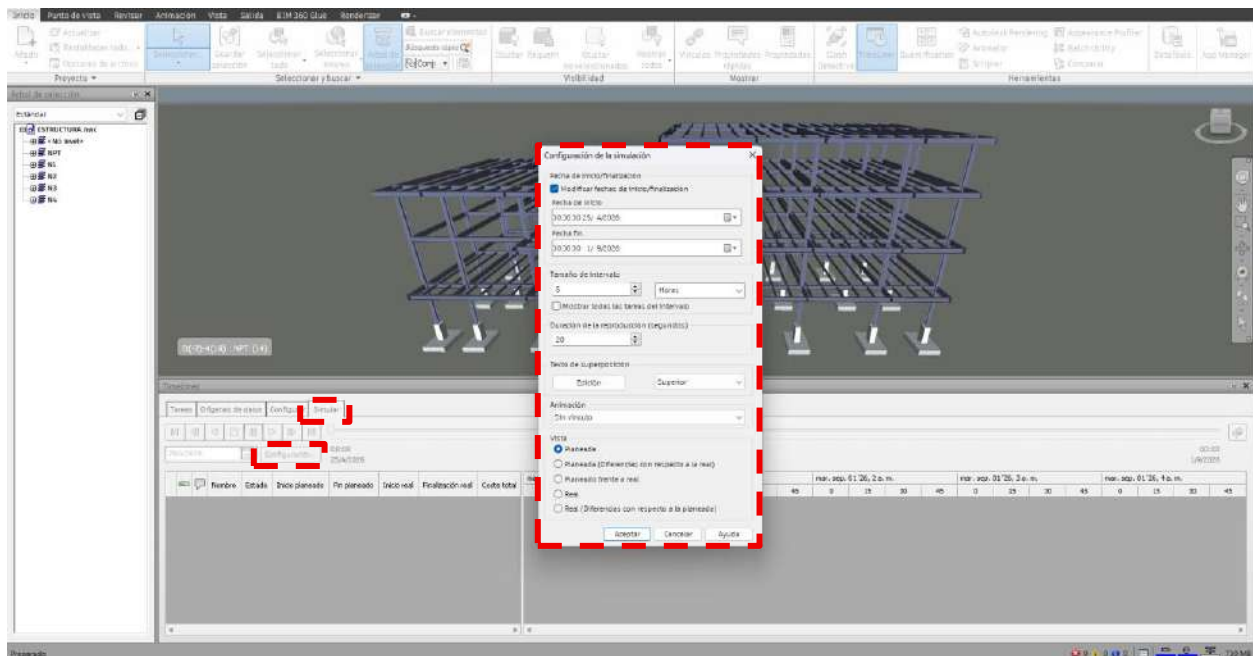
31. En este apartado añadiremos las fechas tomaremos tiempos teóricos. En inicio planeado y fin planeado



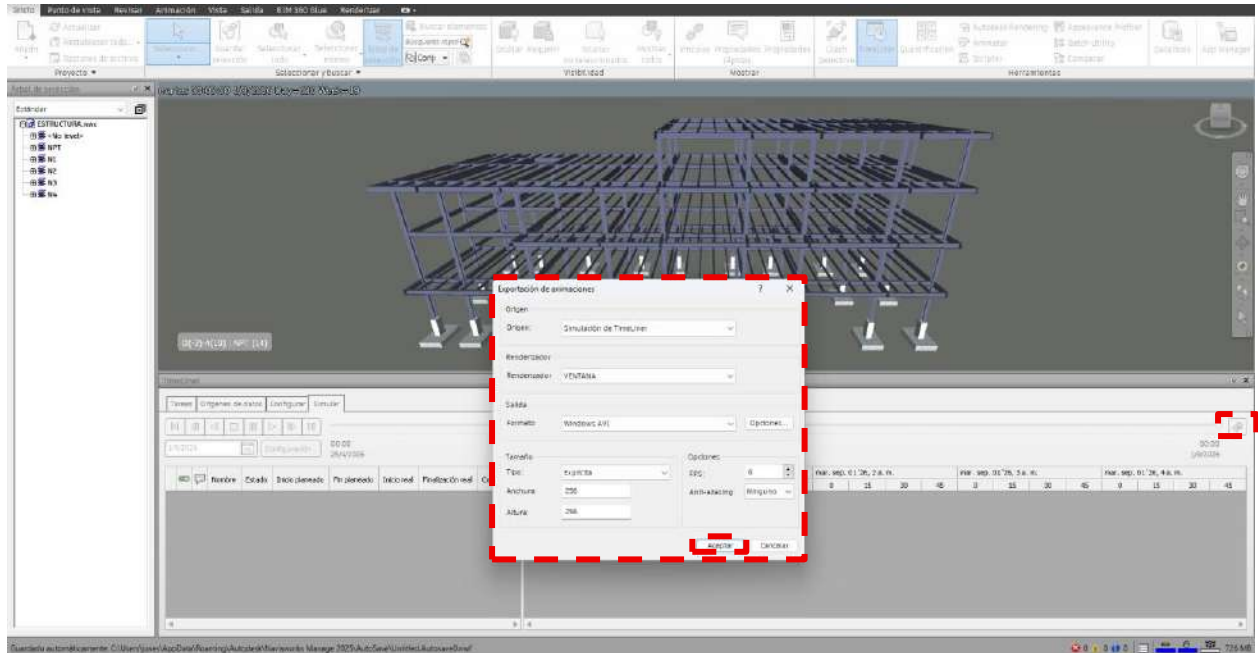
32. Así sucesivamente para los demás elementos, siempre respetando un orden cronológico de la construcción



33. Terminado de crear las tareas con los tiempos, seguimos la ruta; Simular → Configuración → y adecuamos la ventana de configuración de la simulación a como se presenta.



34. Listo, se ha creado la simulación constructiva y ahora para exportarlo será: icono de exportar → configuramos de la siguiente manera la ventana de exportación de animaciones → Aceptar y disfrutar del video de la simulación constructiva.



Soportes Académicos



Secretaría Académica
DACAC

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del AREA DE CONOCIMIENTO
ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN hace constar que:

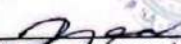
SUAZO JUNES JOSÉ STEVEN

Carné: 2020-0001U Turno: Diurno Plan de Asignatura: 2015 de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERIA CIVIL**, en el año 2024 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los cinco días del mes de noviembre del año dos mil veinte y cinco.

Atentamente,




MSc. Beatriz de los Angeles Tórrez Rodríguez
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA

Teléfono (505) 83798981

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 05-nov-2025

Recinto Universitario Somo Bello
Avenida Universitaria
Managua, Nicaragua

beatriz.torrez@uca.edu.ni
www.uca.edu.ni

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 1

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	6C9D1720		
NOMBRE	SUAZO JONES JOSÉ STEVEN		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN ÁREA DE CONOCIMIENTO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN		
CARRERA	Ingeniería Civil		
TURNO	Diurno	SEXO	M
AÑO MATRICULADO	6	GRUPO	D1FCE-CIV-S
SIT. ESC	REINGRESO	AÑO ING. EDUC. SUP	2020

AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
6	D1FCE-CI	FORMA DE CULMINACIÓN DE ESTUDIOS

LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.
Para Consultar Informe de Calificaciones en <https://singu.setec.edu.ni/>

Correo:
Clave:

FECHA: 16/03/2026 11:13:54

Creado Por: ISOZA
Actualizado Por:

INICIO DE CLASES:

-- NUEVO INGRESO 2026:

- PRESENCIAL: LUNES 2 DE FEBRERO
- SABATINO: SÁBADO 31 DE ENERO
- DOMINICAL: DOMINGO 1 DE FEBRERO

--REINGRESO 2026:

- CARRERAS DE CIENCIAS DE LA SALUD (II AÑO - VI AÑO): LUNES 26 DE ENERO.
- PRESENCIAL: 9 DE MARZO
- SABATINO: 7 DE MARZO
- DOMINICAL: 8 DE MARZO



Secretaría Académica
DACAC

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del AREA DE CONOCIMIENTO
ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN hace constar que:

HIDALGO HERNÁNDEZ MOISÉS AARÓN

Carné: 2020-0123U Turno: Diurno Plan de Asignatura: 2015 de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de INGENIERIA CIVIL, en el año 2025 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los cinco días del mes de noviembre del año dos mil veinte y cinco.

Atentamente,



MSc. Beatriz de los Angeles Tórrez Rodríguez
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA

Teléfono (505) 83798901

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 05-nov-2025

Recinto Universitario Sindo Bolívar
Avenida Universitaria,
Managua, Nicaragua.

beatriz.torrez@unledu.ni
www.unledu.ni

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 1

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	6BE93AA8		
NOMBRE	HIDALGO HERNÁNDEZ MOISÉS AARÓN		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN ÁREA DE CONOCIMIENTO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN		
CARRERA	Ingeniería Civil		
TURNO	Diurno	SEXO	M
AÑO MATRICULADO	6	GRUPO	D1FCE-CIV-S
SIT. ESC	REINGRESO	AÑO ING. EDUC. SUP	2020

AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
6	D1FCE-CI	FORMA DE CULMINACIÓN DE ESTUDIOS

LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.
Para Consultar Informe de Calificaciones en <https://singu.setec.edu.ni/>

Correo:
Clave:

FECHA: 07/04/2026 11:18:11

Creado Por: ISOZA
Actualizado Por:

INICIO DE CLASES:

-- NUEVO INGRESO 2026:

- PRESENCIAL: LUNES 2 DE FEBRERO
- SABATINO: SÁBADO 31 DE ENERO
- DOMINICAL: DOMINGO 1 DE FEBRERO

--REINGRESO 2026:

- CARRERAS DE CIENCIAS DE LA SALUD (II AÑO - VI AÑO): LUNES 26 DE ENERO.
- PRESENCIAL: 9 DE MARZO
- SABATINO: 7 DE MARZO
- DOMINICAL: 8 DE MARZO



Secretaría Académica
DACAC

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del AREA DE CONOCIMIENTO
ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN hace constar que:

MIRANDA RIVERA HASLY SARAÍ

Carné: 2019-0443I Turno: Diurno Plan de Asignatura: 2015 de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de INGENIERIA CIVIL, en el año 2024 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los cuatro días del mes de noviembre del año dos mil veinte y cinco.



MSC. Beatriz de los Angeles Tórrez Rodríguez
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA

Teléfono (505) 83798901

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 04-nov-2025

Recinto Universitario Simón Bolívar,
Avenida Universitaria,
Managua, Nicaragua.

beatriz.torrez@unleu.edu.ni
www.unleu.edu.ni

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 1

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	24100168		
NOMBRE	MIRANDA RIVERA HASLY SARAI		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN ÁREA DE CONOCIMIENTO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN		
CARRERA	Ingeniería Civil		
TURNO	Diurno	SEXO	F
AÑO MATRICULADO	6	GRUPO	D1FCE-CIV-S
SIT. ESC	REINGRESO	AÑO ING. EDUC. SUP	19

AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
6	D1FCE-CI	FORMA DE CULMINACIÓN DE ESTUDIOS

LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.

Para Consultar Informe de Calificaciones en <https://singu.setec.edu.ni/>

Correo:

Clave:

FECHA: 07/04/2026 09:35:52

Creado Por: ISOZA

Actualizado Por:

INICIO DE CLASES:

-- NUEVO INGRESO 2026:

--PRESENCIAL: LUNES 2 DE FEBRERO

--SABATINO: SÁBADO 31 DE ENERO

--DOMINICAL: DOMINGO 1 DE FEBRERO

--REINGRESO 2026:

-- CARRERAS DE CIENCIAS DE LA SALUD (II AÑO - VI AÑO): LUNES 26 DE ENERO.

--PRESENCIAL: 9 DE MARZO

--SABATINO: 7 DE MARZO

--DOMINICAL: 8 DE MARZO