

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**DESARROLLO Y APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM PARA  
LA PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN DE UN PROYECTO  
INMOBILIARIO EN LA CIUDAD DE QUITO**

**MODELADO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL CON HERRAMIENTAS  
BIM**

**TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCION DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**ALEX EDISON AÑILEMA APUGLLON**

**alex.anilema.a@gmail.com**

**DIRECTOR: MSC. PABLO ALEJANDRO PINTO GAIBOR**

**pablo.pinto@epn.edu.ec**

**DMQ, febrero 2024**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, ALEX EDISON AÑILEMA APUGLLON declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

**ALEX EDISON AÑILEMA APUGLLON**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por ALEX EDISON AÑILEMA APUGLLON, bajo mi supervisión.

---

**PABLO ALEJANDRO PINTO GAIBOR**  
**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

ALEX EDISON AÑILEMA APUGLLON

PABLO ALEJANDRO PINTO GAIBOR

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres, Arturo Añilema y María Apugllon, cuyo apoyo incondicional ha sido el pilar fundamental a lo largo de toda mi formación académica. Su constante respaldo y motivación han sido la fuerza impulsora que me ha permitido perseverar y superar los desafíos. A ustedes les debo mi éxito y estoy profundamente agradecido por todo lo que han hecho por mí.

## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar un profundo agradecimiento a mis padres y a mi hermano por su constante apoyo a lo largo de las diferentes etapas de mi vida académica. A mi madre, María, y a mi padre, Arturo, les agradezco por ser mi fuente de energía y por guiarme con sabiduría a lo largo de este viaje académico.

Asimismo, deseo expresar mi más sincero agradecimiento, aprecio y gratitud a María Chicaiza y María Cando, cuyo apoyo, orientación y motivación fueron fundamentales para culminar el presente trabajo. En los momentos más desafiantes, su aliento, consejos y dirección fueron un pilar fundamental para la finalización exitosa de este trabajo.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutora de carrera, la Ing. María Belén Correa, por su generosidad al compartir su tiempo, apoyo constante y profunda sabiduría durante la realización de este trabajo. Asimismo, deseo extender mi gratitud al Ing. Pablo Pinto, mi tutor de TIC, por introducirme al fascinante mundo del BIM. Su enseñanza ha despertado un gran interés en mí por este campo y cómo su aplicación en el mercado ecuatoriano podría acarrear numerosos beneficios.

Por último, quiero extender mi agradecimiento a todos mis amigos: Esteban, Andrea, Las Marías, Doris, Valeria, Jessica, Pamela, Jefferson, Luis y Sebastián. Su constante apoyo, compañerismo y alegría contribuyeron significativamente a soportar los momentos más desafiantes de la etapa universitaria. Espero que siempre estén presente los buenos momentos y éxitos en nuestro camino.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

1	DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1	Objetivo general.....	2
1.2	Objetivos específicos.....	2
1.3	Alcance .....	2
1.4	Marco teorico .....	3
	BIM (Building information Modeling).....	3
	Metodología BIM en la Industria de la Construcción en Ecuador .....	3
	Interoperabilidad en archivos BIM .....	4
	Clases de modelo de Información .....	7
	Sistema estructural.....	8
	Materiales.....	9
	Análisis de cargas .....	10
	Combinación de Cargas.....	11
	Normativa de diseño estructural .....	12
2	METODOLOGÍA .....	12
2.1	Descripción del Proyecto .....	14
	Ubicación del proyecto .....	14
	Configuración arquitectónica .....	15
	Consideraciones estructurales .....	16
2.2	Predimensionamiento Estructural.....	17
	Propiedades de los materiales .....	17
	Secciones con Inercia agrietada <i>I<sub>g</sub></i> .....	17
	Predimensionamiento de la losa .....	18
	Cargas Gravitacionales .....	18
	Predimensionamiento de vigas .....	20
	Predimensionamiento de columnas.....	20
	Combinación de cargas.....	21

Espectro de aceleración .....	22
Cortante basal de diseño .....	24
Secciones para la modelación estructural .....	25
2.3    Modelado en Robot Analysis Structural Profesional .....	26
Interoperabilidad Revit – Robot Structural .....	26
Configuración inicial y Chequeo de información en Robot Structural .....	31
Análisis Sismorresistente .....	33
2.4    Modelado ETABS .....	38
3    RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	44
3.1    Resultados .....	44
Periodo Estructural y Porcentaje de participación de Masas .....	44
Validación de Análisis Estático – Dinámico .....	46
Reacciones y momentos .....	49
Armado estructural .....	52
3.2    Conclusiones .....	55
3.3    Recomendaciones .....	57
4    REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58
5    ANEXOS .....	59
ANEXO I Planos Arquitectónicos .....	60
ANEXO II Peso de Mampostería .....	65
ANEXO III Predimensionamiento de Losa Alivianada .....	66
ANEXO IV Cargar ultima para predimensionamiento .....	67
ANEXO V Predimensionamiento de vigas .....	68
ANEXO VI Predimensionamiento de Columnas .....	74
ANEXO VII Criterios de Predimensionamiento .....	75
ANEXO VIII Planta Arquitectónica Modificada .....	75
ANEXO IX Cortante Basal .....	76
ANEXO X Configuración de Robot Structural .....	78
ANEXO XI Diseño estructural .....	81

ANEXO XII Armado Estructural en Robot .....	86
ANEXO XIII Armado Teórico en Elementos Estructurales.....	95
ANEXO XIV Informe de diseño .....	99



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ciclo de vida de un proyecto BIM .....	3
Figura 1.2 Flujo de interoperabilidad en archivos BIM .....	4
Figura 1.3 Extensión complementaria para Revit (CADS Rebar Extension) .....	5
Figura 1.4 Interoperabilidad bidireccional mediante direct link.....	6
Figura 1.5 Interoperabilidad unidireccional mediante Indirect link.....	6
Figura 1.6 Clases de modelo presentes en un proyecto .....	7
Figura 2.1 Flujo de trabajo BIM para el diseño y análisis estructural .....	13
Figura 2.2 Ubicación del Proyecto inmobiliario sostenible .....	14
Figura 2.3 Implantación general del proyecto.....	14
Figura 2.4 Vista en Planta.....	15
Figura 2.5 Vista Frontal.....	15
Figura 2.6 Modelo Arquitectónico .....	16
Figura 2.7 Modelo Arquitectónico del bloque de 5 pisos .....	16
Figura 2.8 Tabla de planificación de mampostería en Revit.....	19
Figura 2.9 Espectro de respuesta elástico de aceleración .....	22
Figura 2.10 Modelo arquitectónico (Cambios en Revit).....	26
Figura 2.11 Creación de Plantilla estructural .....	27
Figura 2.12 Vinculación de elementos estructurales .....	27
Figura 2.13 Definición de vigas en el modelo estructural.....	28
Figura 2.14 Definición del modelo analítico .....	28
Figura 2.15 Modelo Analítico .....	29
Figura 2.16 Vinculación de Revit a Robot Structural .....	29
Figura 2.17 Transferencia de información .....	30
Figura 2.18 Modelo estructural vinculado en Robot Structural.....	30
Figura 2.19 Definición de materiales en Robot Structural .....	31
Figura 2.20 Secciones e inercia agrietada en elementos estructurales .....	31

Figura 2.21 Definición de Losa alivianada en Robot Structural.....	32
Figura 2.22 Definición de cargas .....	32
Figura 2.23 Parámetros de Análisis modal .....	33
Figura 2.24 Ingreso Espectro de aceleración NEC-SE-DS .....	33
Figura 2.25 Dirección del análisis espectral .....	34
Figura 2.26 Dinámico en dirección X y Y .....	34
Figura 2.27 Conversión de Cargas .....	35
Figura 2.28 Definición de cargas Fictias (Cortante Basal) .....	35
Figura 2.29 Definición de análisis estático.....	36
Figura 2.30 Combinación de carga muerta y explotación .....	36
Figura 2.31 Combinaciones en Robot Structural.....	37
Figura 2.32 Definición de todos los tipos de análisis.....	37
Figura 2.33 Creación de los ejes para el modelo en ETABS 21 .....	38
Figura 2.34 Ejes en el modelo .....	38
Figura 2.35 Características de los Materiales.....	39
Figura 2.36 Definición de la Viga 45x25 y la inercia agrietada.....	39
Figura 2.37 Definición de la columna 35x35 y la inercia agrietada .....	40
Figura 2.38 Definición de Losa alivianada en ETABS 21 .....	40
Figura 2.39 Determinación del análisis estático en dirección X .....	41
Figura 2.40 Definición del espectro de aceleración.....	41
Figura 2.41 Análisis dinámico en dirección X en ETABS 21 .....	42
Figura 2.42 Masa participante de la estructura.....	42
Figura 2.43 Definición de las combinaciones de carga .....	43
Figura 2.44 Rigidización de los nudos en ETABS 21 .....	43
Figura 3.1 Tabla de reacciones de la estructura.....	46
Figura 3.2 Tabla con fuerzas actuantes en planta baja.....	46
Figura 3.3 Deriva máxima obtenidas en ETABS .....	47

Figura 3.4 Tabla con derivas obtenidas en Robot Structural.....	48
Figura 3.5 Reacciones en la base del edificio .....	50
Figura 3.6 Reacciones en la base del edificio .....	50
Figura 3.7 Momentos en Eje C (ETABS) .....	51
Figura 3.8 Momentos en Eje C (Robot Structural).....	51
Figura 3.9 Armado teórico en Robot Structural .....	52
Figura 3.10 Cantidad de acero en <i>cm</i> <sup>2</sup> en el portico C – ETABS 21 .....	52
Figura 3.11 Comprobación de Columna fuerte – Viga Débil .....	53
Figura 3.12 Armado estructural de viga – Robot Structural.....	53
Figura 3.13 Armado estructural de columna – Robot Structural .....	54
Figura 3.14 Armado estructural del edificio vinculado de Robot Structural a Revit	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Tipos de flujo en archivos BIM.....	4
Tabla 1.2 Clasificación de edificios de hormigón armado .....	8
Tabla 1.3 Tipos de Elementos Estructurales .....	9
Tabla 1.4 Características del Acero de refuerzo.....	10
Tabla 1.5 Tipos de cargas.....	11
Tabla 1.6 Combinación de cargas .....	11
Tabla 2.1 Inercia agrietada en elementos estructurales.....	17
Tabla 2.2 Altura mínima de viga .....	20
Tabla 2.3 Combinación de cargas .....	21
Tabla 2.4 Coeficientes para el espectro de respuesta elástico de aceleración	22
Tabla 2.5 Coeficiente de ampliación del suelo (Tipo B) y (Zona V) .....	23
Tabla 2.6 Coeficiente de acuerdo con el tipo de edificio .....	23
Tabla 2.7 Coeficiente K.....	25
Tabla 2.8 Secciones de los elementos estructurales .....	25
Tabla 3.1 Porcentaje de masas participantes para el modo de vibración - Robot Structural .....	44
Tabla 3.2 Chequeo de masas participantes en Robot Structural .....	44
Tabla 3.3 Porcentaje de masas participantes para el modo de vibración (ETABS)	45
45	
Tabla 3.4 Chequeo de masas participantes en ETABS .....	45
Tabla 3.5 Comparación de periodos obtenidos .....	45
Tabla 3.6 Chequeo de cortante Estático - Dinámico .....	47
Tabla 3.7 Chequeo de Deriva Máxima .....	48
Tabla 3.8 Diferencia porcentual entre programas .....	48
Tabla 3.9 Resumen de masas por piso (Robot Structural).....	49
Tabla 3.10 Resumen de masas por piso (ETABS).....	49

Tabla 3.11 Masa estructural.....	49
Tabla 3.12 Reacciones máximas en base .....	50

## RESUMEN

La ingeniería civil está constantemente evolucionando en respuesta a los cambios y avances tecnológicos en el mundo actual. En este contexto, la implementación de la metodología BIM (Modelado de Información de Construcción) se destaca como una herramienta fundamental para optimizar proyectos estructurales en las fases de diseño, planificación y construcción.

El objetivo principal de este trabajo es la implementación de la metodología y herramientas BIM en las diferentes etapas de diseño del proyecto inmobiliario "San Francisco", ubicado en el norte de Quito, Ecuador. Se empleó la interoperabilidad entre "REVIT" para el modelado tridimensional y "Robot Analysis Structural Professional" para el análisis estructural, logrando un diseño estructural que cumple con la normativa ecuatoriana de diseño NEC-2015. Este enfoque de diseño se compara con el método tradicional de diseño y análisis estructural, ETABS, ampliamente utilizado en Ecuador.

Se realizaron análisis detallados utilizando las herramientas BIM y ETABS, comparando resultados como periodos, reacciones, momentos y masa participante. La comparación y validación de los resultados se llevó a cabo para asegurar la precisión y fiabilidad de los modelos y métodos de diseño.

Este proyecto busca destacar la eficiencia y precisión del diseño estructural mediante la implementación de la metodología BIM en el proyecto "San Francisco". Este enfoque representa un avance significativo en la ingeniería civil, mejorando la calidad y seguridad de las estructuras construidas.

**PALABRAS CLAVE:** BIM, modelación estructural, estructura de hormigón armado, Revit, Robot Structural, ETABS, NEC.

## **ABSTRACT**

Civil engineering is constantly evolving in response to changes and technological advancements in the modern world. In this context, the implementation of Building Information Modeling (BIM) methodology stands out as a fundamental tool to optimize structural projects in the phases of design, planning, and construction.

The main objective of this work is the implementation of BIM methodology and tools in the different stages of design of the real estate project "San Francisco," located in the northern part of Quito, Ecuador. Interoperability between "REVIT" for three-dimensional modeling and "Robot Analysis Structural Professional" for structural analysis was employed, achieving a structural design that complies with Ecuadorian design regulations NEC-2015. This design approach is compared with the traditional method of structural design and analysis, ETABS, widely used in Ecuador.

Detailed analyses were conducted using BIM and ETABS tools, comparing results such as periods, reactions, moments, and participating mass. Result comparison and validation were carried out to ensure the accuracy and reliability of the models and design methods.

This project seeks to highlight the efficiency and precision of structural design through the implementation of BIM methodology in the "San Francisco" project. This approach represents a significant advancement in civil engineering, improving the quality and safety of constructed structures.

**KEYWORDS:** BIM, structural modeling, reinforced concrete structure, Revit, Structural Robot, ETABS, NEC.

# 1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

El presente trabajo tiene como objetivo comparar dos métodos de análisis y diseño estructural en la estructura del proyecto inmobiliario "San Francisco". Se plantea la implementación de herramientas BIM (Building Information Modeling) y la metodología de diseño ampliamente utilizado en el análisis y diseño estructural en Ecuador, ETABS.

El tema central es la implementación de las herramientas BIM (Building Information Modeling) en las diferentes etapas de diseño del proyecto inmobiliario "San Francisco" ubicado al norte de Quito, Ecuador. El uso de herramientas BIM para el diseño y análisis estructural pretende mejorar la eficiencia, diseño y planificación de un proyecto inmobiliario en comparación con la metodología tradicional.

El proyecto inmobiliario "San Francisco" consta de 18 edificios con las mismas características arquitectónicas y estructurales que se repetirán a lo largo del proyecto. La edificación principal empleada en el proyecto inmobiliario contiene 2 bloques de departamentos unidos mediante escaleras exteriores. Para simplificar el análisis y debido a la concentración de rigidez, se analizarán los bloques de departamentos y escaleras por separado. Se analizará el bloque de departamentos con mayor cantidad de pisos y se replicará el diseño en el bloque de departamentos con menor cantidad de pisos. Los bloques departamentales serán de hormigón armado y emplearán un sistema aporticado con vigas peraltadas. Por otro lado, las escaleras serán en estructura metálica, separadas de las estructuras principales mediante juntas sísmicas.

El análisis y diseño mediante herramientas BIM, se ejecutará mediante el empleo de "REVIT" para el modelado tridimensional de la estructura y por otro lado, para el análisis estructural "Robot Analisis Structural Profesional". La elección de los dos programas es debido a la interoperabilidad existente entre estos dos programas. Por el método tradicional se empleare el software de mayor uso en el ámbito del diseño estructural en el país, ETABS, y debido a la cantidad de documentación y manuales técnicos en el uso del software para el diseño estructural.

Por último, La validación de los resultados obtenidos se verificará mediante una comparación entre los periodos obtenidos, reacciones, momentos, masa participante y peso estructural obtenidos en los dos casos de diseño. Finalizando en el diseño estructural empleando "Robot Analisis Structural" para el armado tridimensional que se empleara para la construcción.



## 1.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar y diseñar la estructura de hormigón armado del proyecto inmobiliario “San Francisco” mediante el empleo de herramientas BIM como “*REVIT*” y “*Robot Analysis Structural Profesional*”, cumpliendo la normativa ecuatoriana de diseño NEC-15.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Emplear la interacción entre herramientas BIM para la ejecución del análisis y diseño de la estructura de hormigón armado.
- Comparar los resultados obtenidos de la estructura de hormigón armado con vigas peraltadas mediante el uso de herramientas BIM y software de análisis estructural como ETABS, para validar y optimizar el diseño estructural.
- Garantizar que el análisis y diseño de la estructura de hormigón armado mediante herramientas BIM cumple con los requisitos y parámetros establecidos en la normativa ecuatoriana de diseño NEC-2015, asegurando la seguridad sísmica y estructural de la edificación.

## 1.3 ALCANCE

El presente componente se central en la implementación de la metodología y herramientas BIM en la ejecución del análisis y diseño estructural empleando y cumpliendo con la normativa ecuatoriana de diseño NEC-2015 en una estructura de hormigón armado con vigas peraltadas de 5 pisos. El objetivo primordial es promover e implementar el uso de la metodología y herramientas BIM en el diseño estructural en el país, la implementación del “Building Information Modeling” en el mercado ecuatoriano pretende mejorar la eficiencia, diseño y planificación aparte de ayudar y facilitar la detección y resolución de conflictos y errores de diseño entre las diferentes especialidades como arquitectura, ingeniería y otras profesiones.

## 1.4 MARCO TEORICO

### BIM (Building information Modeling)

El Building Information Modeling (BIM), o Modelado de Información para la Construcción en español, es una metodología colaborativa que recopila y permite la interacción de la información de un proyecto en sus diferentes etapas de la construcción y elementos, tales como la estructura, instalaciones sanitarias, sistemas eléctricos, entre otros. El enfoque colaborativo de la metodología permite a los profesionales del área de la construcción, ingeniería y arquitectura la planificación, diseño, construcción y gestión del proyecto (Felipe, Soler S., & González M., 2014).



**Figura 1.1** Ciclo de vida de un proyecto BIM

**Fuente:** (Meana, Bello, & García, 2019)

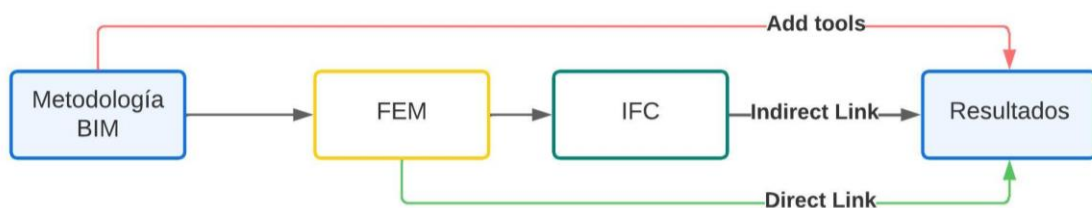
### Metodología BIM en la Industria de la Construcción en Ecuador

En la actualidad, la industria de la construcción en Ecuador carece de una normativa o un plan claro para la implementación de la metodología BIM. Sin embargo, parte del sector privado y académico está enfocándose en explorar esta metodología en diversas áreas de la construcción, ingeniería y arquitectura (AEC) (Alianza BIM, 2022). El método tradicional de la construcción y la incompatibilidad en la compartición de información entre diferentes proyectos conlleva, en la mayoría de los casos, a problemas que resultan en aumentos en costos y plazos de ejecución.

Mediante la acogida de la metodología BIM durante el proceso de diseño y planificación enfoca su principal objetivo en la reducción en los costos y plazos debido a la interoperabilidad de la información que la metodología permite en las diferentes etapas en la industria de la construcción. Implementar la metodología puede reducir significativamente los errores comunes en la construcción actual, lo que generalmente conlleva costos adicionales, cambios, aumento de residuos y retrasos en el cronograma. (López V., 2016).

## Interoperabilidad en archivos BIM

La interoperabilidad de los archivos BIM se refiere a la capacidad de diferentes softwares y herramientas BIM para compartir y utilizar los datos de manera efectiva. La interrelación de la información permite garantizar que los modelos y la información se puedan intercambiar, facilitando la integración de datos entre distintos equipos y a lo largo del ciclo o fases del proyecto. La interoperabilidad efectiva permite una colaboración más fluida entre los profesionales involucrados en el proyecto. Este concepto ha despertado un gran interés en las últimas décadas, ya que puede mejorar la eficacia del trabajo y la calidad de la construcción, además de reducir los gastos y los activos (Liu, 2016).

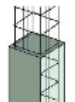




**Figura 1.2** Flujo de interoperabilidad en archivos BIM

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

La interoperabilidad de la información en los archivos entre los diferentes softwares BIM se produce mediante tres tipos de flujos ilustrados en la **Figura 1.2**, y una breve descripción en la **Tabla 1.1**.

**Tabla 1.1.** Tipos de flujo en archivos BIM

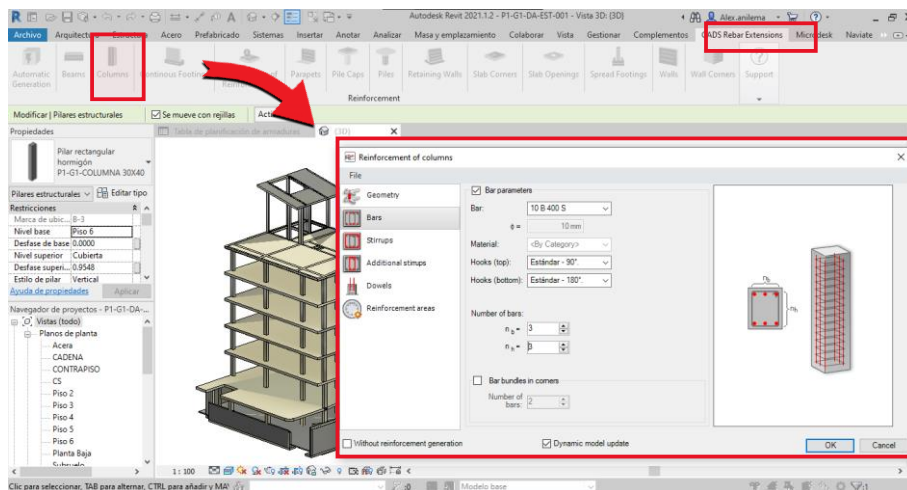
Tipos de flujos	Descripción de Métodos	Ejemplos
Add tools	Herramientas o funciones que permiten agregar elementos o información a un modelo de construcción digital.	Extensiones en Revit – InstaBar  InstaBar SO: Win64 InstaBar
Direct Link	Conexión directa entre dos softwares permitiendo la transferencia de datos en tiempo real sin importar o exportar información.	Vinculación entre Robot - Revit 
Indirect Link	Método que emplea la estandarización y uso de formatos para el intercambio de datos y garantizar la coherencia.	Importación y exportación IFC. 

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

## Add tools

La interoperabilidad de la información por Add tools, se refiere al empleo de herramientas o funciones que permiten agregar elementos o información a un modelo de construcción digital. Estas herramientas pueden incluir la capacidad de insertar componentes, crear geometría, asignar propiedades o cualquier otra función que permita la incorporación de datos al modelo BIM. Estas herramientas son fundamentales para el desarrollo y la evolución de un modelo BIM preciso y detallado.

Al utilizar Add tools, los profesionales de la construcción pueden trabajar de manera más eficiente, reducir los errores y conflictos, y garantizar una mayor coherencia en todo el proceso de diseño y construcción. La capacidad de compartir y colaborar en tiempo real a través de estas herramientas es fundamental para optimizar la gestión de proyectos en el ámbito del BIM, lo que a su vez conduce a una mayor eficiencia y calidad en la ejecución de proyectos de construcción.



**Figura 1.3** Extensión complementaria para Revit (CADS Rebar Extension)

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

## Direct Link

La interoperabilidad de información por Direct Link es considerada como el método más eficiente y de fácil uso para demostrar la gran capacidad de interoperabilidad del programa con otro software. Este método permite una transferencia bidireccional de datos, lo que significa que los datos exportados pueden ser posteriormente importados y/o actualizados de manera sencilla. Esta funcionalidad garantiza una alta compatibilidad de datos bidireccionales, lo que facilita la colaboración y el intercambio de información entre diferentes plataformas de software BIM. (Aldegeily., 2018)

La eficiencia del Direct Link se destaca por su capacidad para sincronizar automáticamente los cambios realizados en los modelos, lo que reduce el riesgo de errores y asegura que los involucrados obtengan acceso a los últimos cambios o datos más actualizados. Además, su facilidad contribuye a una mayor fluidez en los flujos de trabajo colaborativo en proyectos colaborativos.



**Figura 1.4** Interoperabilidad bidireccional mediante direct link

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

Indirect link

La interoperabilidad de información por Indirect Link, a diferencia del Direct Link, permite la transferencia de información entre distintos desarrolladores de software BIM mediante la importación y exportación de información en formato IFC o formatos de archivos permitidos por la metodología BIM. Este método posibilita compartir la geometría del modelo estructural, las secciones de los perfiles y las propiedades de los materiales. Sin embargo, es importante destacar que las cargas, combinaciones y condiciones de frontera no pueden transferirse mediante este método. La transferencia de la información es Unidireccional, lo que imposibilita actualizar la información en tiempo real.

Indirect Link, permite la transferencia de información mediante archivos IFC (Industry Foundation Classes), los cuales son un estándar de intercambio de datos abierto y registrado por ISO para BIM. El objetivo del IFC es garantizar la interoperabilidad de la información entre los diferentes programas BIM, permitiendo que los datos puedan ser compartidos y utilizados de manera efectiva en todo el proceso de diseño, construcción y gestión de edificaciones.

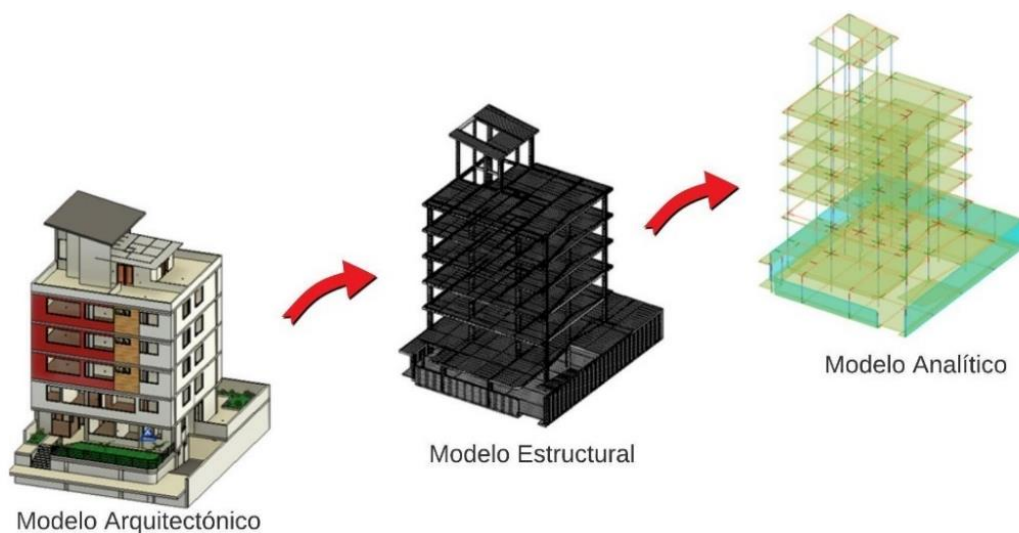


**Figura 1.5** Interoperabilidad unidireccional mediante Indirect link

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

## Clases de modelo de Información

En una estructura o edificio en el ámbito de la arquitectura, los profesionales emplean visualizaciones bidimensionales para representar los elementos presentes en el proyecto. A través de la metodología BIM, se utilizan modelos de información que cubren todos los aspectos reflejados mediante vistas especializadas. Un modelo BIM abarca las principales disciplinas de la construcción: arquitectura, estructura, instalaciones, control de costos, presentación y diseño energético. Este modelo consta de un conjunto de elementos parametrizados que contienen parámetros de acuerdo con la naturaleza del elemento y su relación con el resto. Esta parametrización de los elementos presentes en un modelo permite las interrelaciones y posibilita que los elementos de diferentes disciplinas puedan interactuar entre sí, permitiendo la coordinación multidisciplinaria (Coloma Pico, 2008).



**Figura 1.6** Clases de modelo presentes en un proyecto

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

Se revisarán los modelos de información presentados en la **Figura 1.6**, siendo el modelo arquitectónico, el modelo estructural y el modelo analítico.

### Modelo Arquitectónico

Un modelo arquitectónico es una representación tridimensional de los elementos que conforman un proyecto arquitectónico, como puertas, paredes, ventanas, pisos, techo, columnas y otros elementos arquitectónicos. En este modelo, los elementos están interconectados, lo que permite visualizar los cambios al añadir, eliminar o modificar algún elemento en el modelo (Coloma Pico, 2008).

### Modelo Estructural

Es la representación visual de los elementos estructurales de un proyecto, como columnas, vigas, losas, muros, cimentaciones y otros componentes que conforman la parte estructural del edificio. Este modelo permite la visualización de la conexión entre los diversos elementos para la transmisión de cargas o esfuerzos. Además, facilita el análisis estructural al permitir la verificación de la estabilidad y resistencia de las secciones definidas. Mediante este modelo, es posible analizar la interacción entre los diferentes componentes y garantizar la seguridad y eficiencia del diseño estructural.

### Modelo Analítico

El modelo analítico es la representación tridimensional simplificada de un modelo físico estructural. Por cada elemento en el modelo estructural, existe un modelo analítico que se genera simultáneamente, el cual representa las características físicas de dicho elemento, así como su conexión física con el resto. Este modelo está compuesto por los componentes, la geometría, las secciones y propiedades de materiales, las cargas estructurales, así como la posición y ubicación relativa del elemento estructural en el plano de proyecto, y las propiedades físicas y mecánicas del elemento (Autodesk, 2021).

### **Sistema estructural**

En ingeniería, el sistema estructural se refiere al conjunto de elementos (columnas, vigas, losas, muros, etc.) que están interconectados para resistir y transferir las cargas dentro de una estructura. Según la NEC-SE-HM, los sistemas estructurales se clasifican de acuerdo a la **Tabla 1.2**.

**Tabla 1.2** Clasificación de edificios de hormigón armado

<b>Sistema estructural</b>	<b>Elementos que resisten sismo</b>	<b>Ubicación de rotulas plásticas</b>	<b>Objetivo del detallamiento</b>
Portico Especial	Columnas y vigas descolgadas	En los extremos de las vigas y la base de las columnas	Columna fuerte, nudo fuerte, viga fuerte a corte, pero débil en flexión.
Portico con Vigas banda	Columnas y vigas banda	En los extremos de las vigas y la base de las columnas del 1er piso.	Columna fuerte, nudo fuerte, viga fuerte a corte y punzonamiento, pero débil en flexión.
Muros Estructurales	Columnas y muros estructurales	En la base de los muros y columnas del primer piso.	Muro fuerte en corte, débil en flexión. Columna no falla por corte.
Muros estructurales Acoplados	Columnas, muros estructurales y vigas de acople	En los extremos de las vigas y la base de los muros y columnas del primer piso.	Muro fuerte en corte, débil en flexión. Columna no falla por corte. Viga de acople fuerte en corte, débil en flexión.

**Fuente:** Table 2 de la NEC-SE-HM (MIDUVI, 2014)

## Elementos estructurales

Una estructura está formada por diversos elementos, donde cada uno posee una función dentro del sistema estructural. Estos elementos se clasifican en verticales y horizontales, según se observa en la **Tabla 1.3**.

Esta parametrización de los elementos presentes en un modelo permite las interrelaciones y posibilita que los elementos de diferentes disciplinas puedan interactuar entre sí, permitiendo la coordinación multidisciplinaria (Coloma Pico, 2008)

**Tabla 1.3** Tipos de Elementos Estructurales

Elementos estructurales	Definición	Elementos comunes
Elementos verticales	Importantes en la estabilidad y resistencia de las edificaciones. Estos componentes trabajan principalmente sometidos a fuerzas de compresión, soportando cargas verticales, y en ocasiones también a fuerzas de flexión.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Columnas</li><li>• Muros</li></ul>
Elementos Horizontales	Son componentes estructurales apoyados en sus extremos, trabajan a flexión y soportan cargas a lo largo de toda su longitud. Estos elementos distribuyen eficazmente las cargas verticales a lo largo de la estructura.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Losas</li><li>• Vigas</li><li>• Cimentación</li></ul>

**Fuente:** NEC-SE-DS (MIDUVI, 2014)

## Materiales

Los materiales empleados en la construcción deben cumplir con la normativa y requisitos mínimos conforme a lo establecido por la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN) y el Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE INEN) vigentes en el país.

### Hormigón

Material compuesto resultado de la mezcla de cemento pórtland, agregados fino, agregados grueso y agua, con o sin aditivo. La resistencia a compresión del hormigón ( $f'c$ ), es una de sus propiedades mecánicas obtenidas mediante el ensayo de probetas cilíndricas. La NEC-SE-HM-Hormigón Armado definición los valores mínimos y máximos de resistencia a compresión del material en la sección 3.3.1:

- Valor mínimo para el hormigón normal:  $f'c = 21$  MPa
- Valor máximo para elementos de hormigón liviano:  $f'c = 35$  MPa



El módulo de elasticidad del hormigón, según la NEC-SE-HM definida en el capítulo 3.3.3 y empleada para las acciones sísmicas según los métodos de la NEC-SE-DS, se calcula mediante la **Ecuación 1.1** para hormigones de densidad normal:

$$E_c = 4.7 * \sqrt{f'c}$$

**Ecuación 1.1** Modulo de elasticidad del Hormigón

Donde:

$f'c$  = Resistencia a compresión del hormigón [MPA]

$E_c$  = Modulo de elasticidad del hormigón [GPA]

Acero de Refuerzo

El acero de refuerzo utilizado en los diversos elementos estructurales debe ser corrugado, a excepción de en espirales o elementos pretensados, donde se puede optar por aceros lisos. Según la NEC-SE-HM en su capítulo 3.4, se permite la utilización de conectores para soportar las fuerzas de corte, perfiles estructurales de acero y fibras como alternativa al acero de refuerzo.

En estructuras de hormigón armado el acero de refuerzo debe poseer las siguientes características:

**Tabla 1.4** Características del Acero de refuerzo

Características del Acero	
Módulo de elasticidad del acero de refuerzo y acero estructural	$E_s = 200000$ [MPA]
Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo	$F_y$ [MPA]
Resistencia efectiva a la fluencia del refuerzo	$f'_{ye}$ [MPA]
Resistencia especificada a la fluencia $f_y$ del refuerzo transversal	$f'_{yt}$ [MPA]

**Fuente:** Capitulo 3.4 de NEC-SE-HM (MIDUVI, 2014)

**Análisis de cargas**

La NEC-SE-CG constituye un marco que clasifica las cargas en permanentes, variables y accidentales las que deben ser consideradas por los calculistas y diseñadores para el cálculo y diseño de cualquier estructura. La norma ecuatoriana indica en su sección 2.2.2 que existen cargas que no son tratadas para el diseño estructural como son las cargas temporales, las cargas dinámicas producto del viento y cargas provocadas por aceleración de vehículos o fenómenos naturales.

La NEC-SE-CG Cargas No Sísmicas, establece un marco que clasifica las cargas en permanentes, variables y accidentales. Estas cargas deben ser consideradas por los calculistas y diseñadores al calcular y diseñar cualquier estructura. Esta norma ecuatoriana, en su sección 2.2.2, indica que existen cargas que no son tenidas en cuenta para el diseño estructural. Estas incluyen cargas temporales, cargas dinámicas generadas por efectos del viento y cargas provocadas por la aceleración de vehículos o fenómenos naturales.

**Tabla 1.5** Tipos de cargas

NEC-SE-CG No Sísmicas	Permanentes	Materiales	Combinación para el diseño por última resistencia [NEC-SE-CG 3.4.3]
		Instalaciones	
		Cargas geológicas	
	Variables	Cargas Vivas	
		Cargas Climáticas	
	Accidentales	Cargas Sísmicas	
		Cargas Accidentales	

**Fuente:** NEC-SE-CG (MIDUVI, 2014)

### Combinación de Cargas

La resistencia de una estructura debe tener la capacidad suficiente para superar los efectos de la combinación más desfavorable de cargas. La resistencia de diseño de la estructura debe igualar o exceder los efectos de la combinación de cargas indicados en la **Tabla 1.6**.

**Tabla 1.6** Combinación de cargas

COMBINACIONES DE CARGAS	
Combinación 1	1.4 D
Combinación 2	1.2 D + 1.6 L + 0.5max [Lr ; S ; R]
Combinación 3	1.2 D + 1.6 [Lr ; S ; R] + max [L ; 0.5 W]
Combinación 4	1.2 D + 1.0 W + max [Lr ; S ; R]
Combinación 5	1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S
Combinación 6	0.9 D + 1.0 W
Combinación 7	0.9 D + 1.0 E

**Fuente:** Sección 3.4.3 de la NEC-SE-CG (MIDUVI, 2014)

Donde las expresiones en la tabla representan:

Símbolo	Definición
D	Carga permanente
E	Carga de sismo
L	Sobrecarga (Carga viva)
LR	Lr Sobrecarga cubierta (Carga viva)
S	Carga del granizo
W	Carga del viento

## **Normativa de diseño estructural**

El diseño de los elementos estructurales de hormigón debe cumplir con las especificaciones del código ACI-318, por otro lado, el diseño sísmico, se cumplirá la normativa:

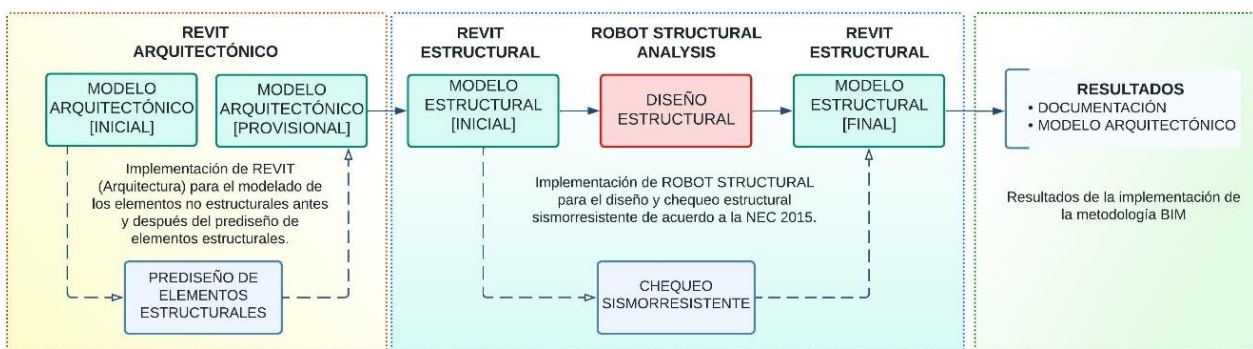
- **NEC-SE-CG:** Cargas (no sísmicas)
- **NEC-SE-DS:** Peligro Sísmico, diseño sísmo resistente
- **NEC-SE-HM:** Estructuras de Hormigón Armado

Mediante las mencionadas normas se controla la seguridad estructural de las edificaciones en Ecuador. Las estructuras deben cumplir con los parámetros de periodo estructural, derivada máxima y cortante basal establecidos por las regulaciones vigentes. Estos criterios son fundamentales para garantizar la resistencia sísmica y la estabilidad de las construcciones ante posibles eventos sísmicos. Además, se consideran otros aspectos como la resistencia de materiales, la capacidad de carga y la adecuada distribución de esfuerzos para asegurar la integridad estructural y la seguridad de los ocupantes de los edificios

## 2 METODOLOGÍA

En el presente trabajo se empleará el flujo de trabajo de la metodología BIM para el diseño y análisis estructural del edificio tipo del proyecto inmobiliario. Debido a que no existe una normativa o estandarización ecuatoriana que regularice y controle la implementación de herramientas BIM para el proceso de modelado y diseño estructural, se tomará en cuenta las recomendaciones y referencias de las normas ISO 19650, y el flujo de trabajo de acuerdo con lo representado en la **Figura 2.1**, que indica el mínimo de pasos que se requieren ejecutar en el flujo de trabajo BIM para el diseño y análisis estructural de una edificación.

El diseño de los elementos estructurales de hormigón deberá cumplir con las especificaciones de la última versión del código ACI-318, y en relación con el diseño sismorresistente, se seguirá la normativa NEC-SE-DS Peligro Sísmico.



**Figura 2.1** Flujo de trabajo BIM para el diseño y análisis estructural

**Fuente:** (Cotohuanca, 2023)

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

Para el modelado arquitectónico y estructural se empleará el Software BIM *Revit 2023* y para la comprobación y diseño estructural el Software *Robot Structural Analysis Professional 2023*, ambos softwares de la desarrolladora Autodesk. El flujo de trabajo para el diseño estructural empleando la metodología BIM, parte del modelo arquitectónico, donde se le ingresan los elementos estructurales predimensionados y se comprueba que cumplan la norma sismorresistente en el Software estructural. Por último, se verificarán los resultados obtenidos a través del software *Robot Structural*, con el software diseño comercial de mayor uso en el país, ETABS, para garantizar la precisión y comprobación de los resultados obtenidos.

## 2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

### Ubicación del proyecto

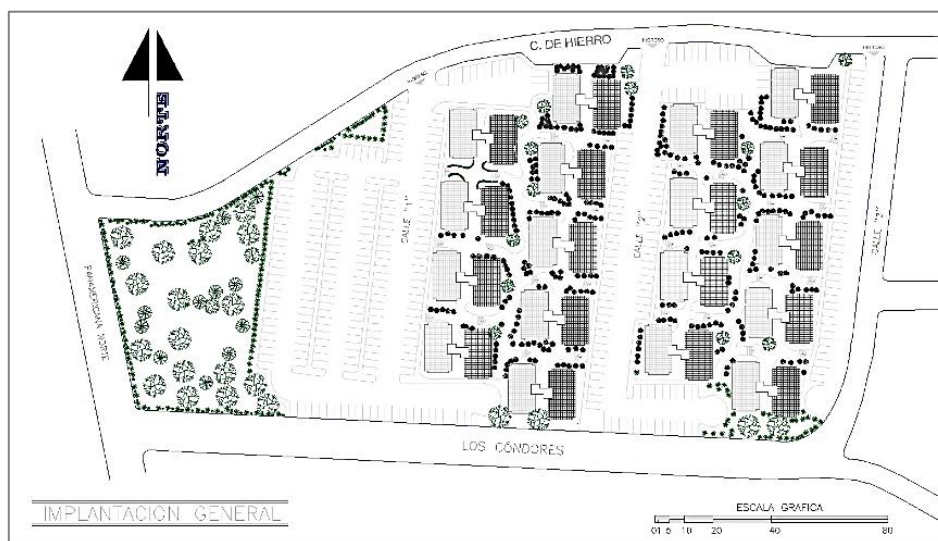
El proyecto inmobiliario “San Francisco” se encontrará ubicado al Norte de Quito, Sector Carcelén, entre la avenida Panamericana Norte y las calles C. del Hierro y los Cóndores, cerca del intercambiador de Carcelén y el Portal Shopping. Las coordenadas del proyecto inmobiliario con Latitud 0° 6'15.97"S y Longitud 78°27'44.20"O



**Figura 2.2** Ubicación del Proyecto inmobiliario sostenible

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

El terreno con un área aproximada de 28 341 m<sup>2</sup>, contará con 18 edificios con la misma características y configuración arquitectónica. La **Figura 2.3** y **ANEXO I** señala la ubicación de cada uno de los edificios que estarán presentes en el proyecto.



**Figura 2.3** Implantación general del proyecto

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

## Configuración arquitectónica

El proyecto inmobiliario “San Francisco” emplea una edificación típica en toda su implantación general señalada en la **Figura 2.3**. El edificio común empleado en todo el proyecto comparte la misma configuración arquitectónica donde en la vista en planta de la **Figura 2.4** muestra dos bloques idénticos conectados por una escalera exterior. El área de construcción en planta en cada uno de los bloques es de  $160\text{ m}^2$ .



**Figura 2.4** Vista en Planta

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

La **Figura 2.5** muestra una vista lateral de la estructura donde el bloque a la izquierda posee 4 pisos y el bloque derecho 5 pisos con terrazas accesibles en ambos bloques, la altura de los entrepisos es similar en ambos bloques, garantizando la ausencia de patologías como piso blando y discontinuidad estructural.

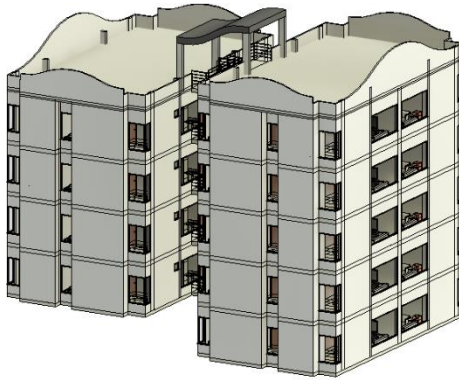


**Figura 2.5** Vista Frontal

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

## Consideraciones estructurales

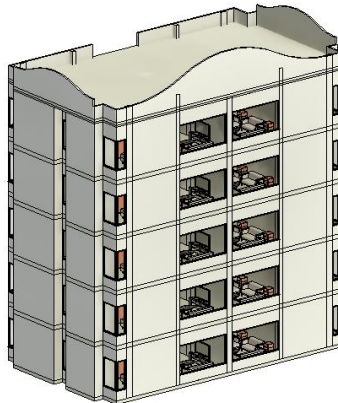
El proyecto inmobiliario “San Francisco” contempla 18 edificios con las mismas características arquitectónicas y estructurales, donde cada edificio se divide en dos bloques unidos por escaleras exteriores que unen las diferentes plantas de cada bloque. Debido a la cantidad de edificios se analiza el tipo de sistema estructural y los costos estimados debido al sistema a emplear. Se compara los costos y el cumplimiento de la normativa de diseño estructural entre un sistema aporticado y un sistema estructural con muros estructurales, donde el portico con vigas descolgadas es el sistema estructural que cumple con los criterios económicos y cumplimiento de la normativa de diseño estructural. El sistema seleccionado se empleará en el prediseño de los 2 bloques presentes en los 18 edificios proyecto inmobiliario.



**Figura 2.6** Modelo Arquitectónico

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

En cuanto al diseño y análisis estructural, debido a las escaleras exteriores y los efectos sísmicos que se podrían provocar, se plantea dividir la estructura en 3 estructuras independientes. Siendo dos bloques independientes unidos por escaleras en su parte externa por juntas de 5 cm. Para el prediseño y análisis se empleará el bloque de 5 pisos.



**Figura 2.7** Modelo Arquitectónico del bloque de 5 pisos

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

## 2.2 PREDIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURAL

En base a los planos arquitectónicos de la **Figura 2.4** y **Figura 2.5**, se procede a predimensionar los diferentes elementos estructurales presentes en el proyecto como son las losas, vigas y columnas. Las propiedades mecánicas de los materiales se calculan de acuerdo con las indicaciones de la NEC-SE-HM. Todos los elementos estructurales emplearán los mismos materiales con las mismas características mecánicas y solo varían en su inercia de agrietamiento de acuerdo con el tipo de elemento.

### Propiedades de los materiales

La resistencia a la compresión del hormigón será de  $240 \text{ kgf/cm}^2$  y el módulo de elasticidad del hormigón se determina con la **Ecuación 1.1** según la NEC-SE-HM.

- Resistencia del hormigón:  $f'c = 240 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$
- Módulo de elasticidad:  $Ec = 234791.734 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$
- Peso específico:  $Y = 2.4 \text{ [T/m}^3\text{]}$

El acero de refuerzo empleado en los elementos estructurales debe ser de grado 60 y debe tener las siguientes características mecánicas.

- Esfuerzo de fluencia:  $fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad:  $Es = 2100000 \text{ kgf/cm}^2$

### Secciones con Inercia agrietada $I_g$

En estructuras de hormigón armado, se emplea los valores de inercia agrietada para el cálculo de la rigidez estructural y las derivas máximas recomendados por la NEC-SE-DS en su capítulo 6.1.6 (b). Las inercias agrietadas son aplicadas a cada una de las secciones y dependerán del tipo de elemento, donde se tiene que:

**Tabla 2.1** Inercia agrietada en elementos estructurales

Inercia ( $I_g$ )	Elemento estructural
$0.5 I_g$	Vigas
$0.8 I_g$	Columnas
$0.6 I_g$	Muros estructurales

**Fuente:** Sección 6.1.6 (b) NEC-SE-DS

Las propiedades de los materiales como las inercias agrietadas serán empleadas en el predimensionamiento de los elementos estructurales, así como para el modelado de la estructura en los softwares de análisis estructural.



## Predimensionamiento de la losa

La losa empleada en la estructura será una losa alivianada que empleará casetones de poliestireno en lugar de los tradicionales bloques aligerados. El diseño de la losa alivianada será por control de deformaciones, y tomando en cuenta las luces entre vanos presente en la planta del proyecto. Se selecciona el tipo de losa que se empleará en el proyecto de acuerdo con el criterio de la **Ecuación 2.1**, de donde con una luz de 3.5 [m] y 3.6 [m] se tiene que la losa será bidireccional.

$$\beta = \frac{\text{Luz larga}}{\text{Luz corta}} > 2 \quad \therefore \text{Losa unidireccional}$$

$$\beta = \frac{\text{Luz larga}}{\text{Luz corta}} \leq 2 \quad \therefore \text{Losa bidireccional}$$

### Ecuación 2.1 Criterios para la dirección de la losa

Se determina el espesor o altura mínima de la losa maciza. La altura se determinó mediante la **Ecuación 2.2** de la tabla 8.3.1.2 de la ACI 318-19, de donde se obtiene una losa maciza de 10.5 [cm].

$$h_{min} = \frac{l_n \left( 0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$$

### Ecuación 2.2 Espesor mínimo de losa

Mediante el cálculo y comparación de inercias se selecciona una losa alivianada de 19 [cm] de altura que iguala y supera la inercia de una losa maciza de 10.5 [cm]. El peso de la losa alivianada con espesor de 19 [cm] y casetones de poliestireno será de 168 [kgf/m<sup>2</sup>]. El predimensionamiento de la losa, se muestra en el **ANEXO III**.

## Cargas Gravitacionales

La losa es el único elemento estructural diseñado por control de deformaciones, las vigas y columnas son los elementos estructurales que serán diseñados por capacidad, por lo que estos elementos deben ser capaces de resistir las cargas por estructura y explotación, así como las cargas vivas debido a su uso.

### Carga muerta

Se considera el área de mampostería presente en la planta para cuantificar la carga muerta presente debido a mampostería. La **Figura 2.8** representa la tabla de planificación que proporciona Revit Arquitectura sobre la cantidad mampostería presente en planta baja.

Descripción	Alto	Ancho	Material	Longitud	Área
Muro básico	0.10 m	1.05 m	PB	1.05 m	1 m²
Muro básico	0.10 m	1.05 m	PB	1.05 m	1 m²
Muro básico	0.10 m	3.20 m	PB	3.20 m	9 m²
Muro básico	0.10 m	2.35 m	PB	2.35 m	7 m²
Muro básico	0.10 m	2.90 m	PB	2.90 m	9 m²
Muro básico	0.10 m	2.95 m	PB	2.95 m	9 m²
Muro básico	0.10 m	2.20 m	PB	2.20 m	7 m²
Muro básico	0.10 m	1.30 m	PB	1.30 m	2 m²
Muro básico	0.10 m	3.80 m	PB	3.80 m	8 m²
Muro básico	0.10 m	4.00 m	PB	4.00 m	11 m²
Muro básico	0.10 m	2.30 m	PB	2.30 m	6 m²
Muro básico	0.10 m	0.70 m	PB	0.70 m	2 m²
Muro básico	0.10 m	2.50 m	PB	2.50 m	8 m²
Muro básico	0.10 m	1.40 m	PB	1.40 m	4 m²
Muro básico	0.10 m	2.90 m	PB	2.90 m	9 m²
<b>01 ARQ-PB-ALB-Muro Simple-10cm: 58</b>				<b>111.50 m</b>	<b>295 m²</b>
<b>01 ARQ-PB-ALB-Muro Simple-20cm</b>					
Muro básico	0.20 m	1.70 m	PB	1.70 m	5 m²
Muro básico	0.20 m	2.60 m	PB	2.60 m	8 m²
Muro básico	0.20 m	3.10 m	PB	3.10 m	10 m²
<b>01 ARQ-PB-ALB-Muro Simple-20cm: 3</b>				<b>7.40 m</b>	<b>24 m²</b>

**Figura 2.8** Tabla de planificación de mampostería en Revit

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

Se obtiene la carga muerta al multiplicar los metros cuadrados de mampostería y el peso de mampostería de acuerdo con el tipo de espesor, revisar **ANEXO II**. El resultado se divide para el área del bloque. La carga muerta por mampostería resultante será ingresada tanto a *Robot Structural* y *ETABS* para el diseño y análisis estructural, esta carga no toma en cuenta el peso de la losa, debido a que esta será modelada y el software tomará en cuenta el peso de cada elemento estructural.

$$WD_{mamposteria} = 266.61 \text{ [kgf/m}^2\text{]}$$

La carga obtenida se le incrementa la carga obtenida por el peso de la losa alivianada, esta carga será empleada para el predimensionamiento de las vigas y columnas del proyecto, siendo la carga muerta de:

$$WD = 434.6 \text{ [kgf/m}^2\text{]}$$

### Carga Viva

La carga viva depende del tipo de uso y ocupación de la edificación, esta carga está conformado por personas, muebles, equipos y diferentes cargas que varíen durante el ciclo de vida del edificio. El valor de carga viva se determina mediante la NEC-SE-CG (2014) en la sección 4.2., donde para edificaciones destinadas a viviendas se toma en cuenta:

$$Wl = 200 \text{ [kgf/m}^2\text{]}$$

## Carga ultima

Se tomará en cuenta la carga muerta y la carga viva presentes en la planta y esta carga será la misma en todos los pisos debido a tener una misma distribución. La carga ultima con la que se predimensionan los elementos diseñados por capacidad será de:

$$W_u = 841.48 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

Los cálculos tanto de carga muerta tomando en cuenta o no el peso de la losa, así como la carga ultima se detallan en el ANEXO IV.

## Predimensionamiento de vigas

El predimensionamiento de la viga será en base al ACI318-19, donde mediante la tabla 9.3.1.1 se establece la altura mínima para las vigas. Los materiales empleados son un concreto de densidad normal y un acero con un esfuerzo de fluencia de 420 MPa.

**Tabla 2.2** Altura mínima de viga

Condiciones de apoyo	Altura mínima, h
Simplemente apoyado	$l/16$
Con un extremo continuo	$l/18.5$
Ambos extremos continuos	$l/21$
En voladizo	$l/8$

**Fuente:** Tabla 9.3.1.1 (ACI 318-19)

La base de la columna se definirá con la sección 18.5.2.1 del ACI 318-19, en donde se determina la base mínima de la columna como el mayor valor entre 25 cm y 30% de la altura de la viga.

$$b_{w_{min}} = \max(25\text{cm}; 30\% * H)$$

## Ecuación 2.3 Ancho minimo en viga

Se analizarán las vigas más críticas siendo las vigas de los ejes 3 y D, para posteriormente comparan y seleccionar la viga con la mayor sección. Esta sección de viga critica se empleará en todo el proyecto por motivos de facilidad constructiva. El cálculo de la sección de viga en los ejes 3 y D se muestran en el ANEXO V.

## Predimensionamiento de columnas

El predimensionamiento de la columna comienza con la identificación y selección de la columna más cargada presente en el proyecto, basándose en la **Figura 2.4**. Por facilidad constructiva se empleará la misma sección en todas las columnas del proyecto.

Las dimensiones de la columna se obtienen de un proceso iterativo, donde se compara la compresión máxima calculada y la resistencia axial nominal de la sección ( $P_0$ ). La resistencia axial nominal se determina con la **Ecuación 2.4** de acuerdo con la sección 22.4.2.2, del ACI318-19.

$$P_0 = 0.85 * f'c * (A_g - A_{st}) + fy * A_{st}$$

#### **Ecuación 2.4** Resistencia axial nominal en columnas

El  $A_{st}$  corresponde al área total del refuerzo longitudinal no preesforzado y  $A_g$  es el área total de la columna. El capítulo 4.3.3 de la NEC-SE-HM proporciona un rango para la cuantía de refuerzo longitudinal entre:

$$1\% < \frac{A_{st}}{A_g} < 3\%$$

#### **Ecuación 2.5** Cuantía balanceada permitido NEC-SE-DS

Por último, se chequea que las dimensiones de la columna obtenidas no sean menores de 30 cm y la relación entre caras no sea menor a 0.4, de acuerdo con la sección 18.7.2.1 del ACI318-19. El procedimiento del predimensionamiento de la columna se muestra en el ANEXO VI.

### **Combinación de cargas**

La resistencia de diseño de una estructura debe igualar o exceder los efectos de la combinación de cargas, de acuerdo con el capítulo 3.4.3 de la NEC-SE-CG. Se toma en cuenta la carga permanente (D), la Viva (L) y la Sísmica en sus dos direcciones (S). La

**Tabla 2.3** contiene las combinaciones de carga que se ingresaran en el software.

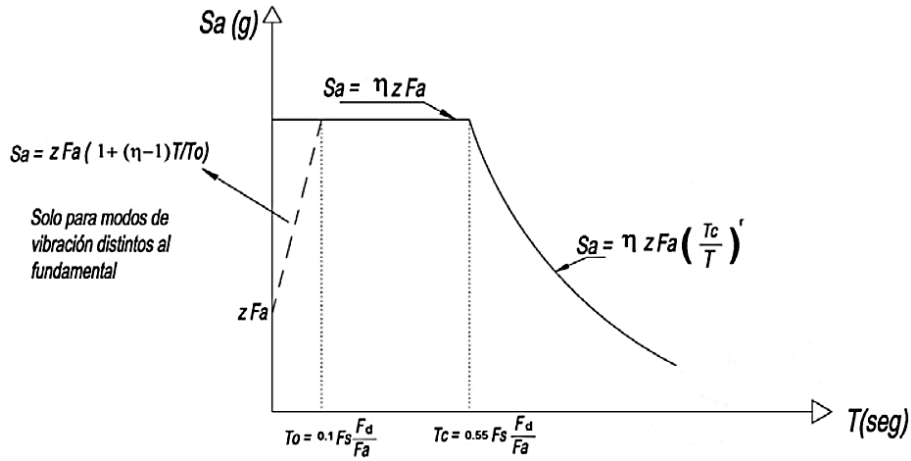
**Tabla 2.3** Combinación de cargas

<b>Combinaciones Empleadas</b>	
Combo 1:	$1.4 * D$
Combo 2:	$1.2 * D + 1.2 * L$
Combo 3:	$1.2 * D + 1.0 * L + 1.0 * Sx$
Combo 4:	$1.2 * D + 1.0 * L - 1.0 * Sx$
Combo 5:	$1.2 * D + 1.0 * L + 1.0 * Sy$
Combo 6:	$1.2 * D + 1.0 * L - 1.0 * Sy$
Combo 7:	$0.9 * D + 1.0 * Sx$
Combo 8:	$0.9 * D - 1.0 * Sx$
Combo 9:	$0.9 * D + 1.0 * Sy$
Combo 10:	$0.9 * D - 1.0 * Sy$

**Fuente:** Sección 3.4.3 NEC-SE-CG

## Espectro de aceleración

La NEC-SE-DS en su sección 3.3.1, establece el espectro de aceleración elástico, **Figura 2.9**, como un fragmento de la aceleración de la gravedad el cual depende de los coeficientes enlistados en la **Tabla 2.4**.



**Figura 2.9** Espectro de respuesta elástico de aceleración

**Fuente:** Figura 3, NEC-SE-DS

El significado de cada terminología empleado en la **Figura 2.9** se determina la **Tabla 2.4**.

**Tabla 2.4** Coeficientes para el espectro de respuesta elástico de aceleración

Descripción	Símbolo
Espectro de respuesta elástico de aceleraciones	$S_a$
Periodo fundamental de vibración de la estructura	$T$
Periodos límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que represente el sismo de diseño	$T_0, T_c$
Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño	$Z$
Facto de acuerdo con la ubicación del proyecto	$r$
Coefficientes de amplificación del suelo	$F_a, F_d, F_s$
Razón entre la aceleración espectral $S_a$ y el PGA.	$\eta$

**Fuente:** Sección 3.3.1, NEC-SE-DS

El proyecto se ubicará al norte de Quito en un suelo Tipo B, en una zona sísmica V, con un factor de zona sísmica  $Z = 0.4g$ , de acuerdo con la NEC-SE-DS de acuerdo con la sección 3.1.1. Los coeficientes de amplificación del suelo  $F_a$ ,  $F_d$  y  $F_s$ , para un perfil de suelo tipo B de acuerdo con las Tablas de la sección 3.2.2 se tienen los siguientes valores indicados en la **Tabla 2.5**. El PGA ( $\eta$ ) para una provincia de la sierra será de 2.48 y un  $r = 1$  por ser un suelo tipo B.

**Tabla 2.5** Coeficiente de ampliación del suelo (Tipo B) y (Zona V)

Descripción	Coeficiente	Valor
Coeficiente de ampliación del suelo en la zona de periodo corto	Fa	1
Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca	Fd	1
Comportamiento no lineal de los suelos.	Fs	0.75

**Fuente:** Tablas 3, 4, 5 NEC-SE-DS

### Periodo fundamenta de vibración

El periodo de la estructura se obtiene mediante la **Ecuación 2.6** del capítulo 6.3.3 de acuerdo a la NEC-SE-DS, correspondiente al método 1.

$$T_a = C_t * h_n^\alpha$$

### **Ecuación 2.6** Periodo fundamental de la estructura

Donde la terminología empleada en la **Ecuación 2.6** es.

símbolo	Descripción
hn	Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros
Ta	Periodo de vibración
Ct	Coeficiente que depende del tipo de edificio

Los valores del coeficiente que dependen del tipo de estructura empleados en la **Ecuación 2.6** serán de  $C_t = 0.055$  y  $\alpha = 0.09$ . Se emplea la altura del módulo de mayor altura, siendo 16 m correspondiente a la medida desde la base a terraza.

**Tabla 2.6** Coeficiente de acuerdo con el tipo de edificio

Tipos de Estructura	Ct	$\alpha$
<b>Estructura de Acero</b>		
Sin arriostramiento	0.072	0.8
Con arriostramiento	0.073	0.75
<b>Porticos Especiales de Hormigón armado</b>		
Sin muro estructural ni diagonales rigidizadores	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadores y para otras estructuras basadas en muros y mampostería estructurales	0.055	0.75

**Fuente:** Sección 6.3.3 NEC-SE-DS

El periodo obtenido mediante el análisis modal mediante los softwares de diseño estructural no debe superar la **Ecuación 2.6** del capítulo 6.3.3 de la NEC-SE-DS.

$$T_{modal} < 1.3 * T_a$$

**Ecuación 2.7** Rango de periodo admisible por la NEC-SE-DS

Mediante la Ecuación 2.6, se tiene un periodo fundamental para la estructura de 0.667 [s]. Los cálculos y valores ingresados se pueden verificar en el ANEXO IX, donde se calcula el cortante basal y el espectro de aceleración de la estructura.

**Cortante basal de diseño**

La cortante basal representa la fuerza lateral correspondiente a la acción sísmica aplicada en la base del edificio. La NEC-SE-DS determinar la expresión de la **Ecuación 2.8** para el cálculo del valor de cortante basal.

$$V = \frac{I * S_a(T_a)}{R * \phi_p * \phi_e} * W$$

**Ecuación 2.8** Cortante Basal

Donde cada termino significa:

Símbolo	Descripción
Sa (Ta)	Espectro de diseño en aceleración
φp y φe	Coeficiente de configuración en planta y elevación
R	Coeficiente que depende del tipo de edificio
I	Coeficiente de importancia
W	Carga sísmica reactiva

El coeficiente de importancia I, dependerá de la categoría de uso estructural, que esta especificado en el capítulo 4.1 de la NEC-SE-DS, siendo la “Otras estructuras” la categoría que más identifica a la estructura. Debido a la categoría en la que la estructura se encuentra, esta será de 1 de acuerdo con los coeficientes “I” indicados en la tabla encontrada en el antes mencionada.

Los coeficientes de planta y elevación dependerán en base a lo características estructurales y patologías indicadas en el capítulo 5.2.1 (a) de la NEC-SE-DS. Se tomo en cuenta que la estructura, tanto en planta como en elevación no presenta irregularidades por lo que los factores de planta y elevación serán de 1.

Por otro lado, el factor de reducción indicado por la sección 6.3.4, menciona que para estructuras aporticadas de hormigón con vigas peraltadas resistentes a momentos será de 8.

Se determina el coeficiente relacionado con el periodo de vibración de la estructura T, k

**Tabla 2.7** Coeficiente K

Valores de T (s)	K
$\leq 0.5$	1
$0.5 < T \leq 2.5$	$0.75 + 0.5 T$
$> 2.5$	2

**Fuente:** Sección 6.3.5 NEC-SE-DS

Mediante la **Ecuación 2.8** se obtiene el porcentaje de cortante basal que se aplicará en la base de la estructura, en este caso se analiza el módulo más crítico que tiene 5 plantas. Los cálculos realizados se indican en el ANEXO IX.

### Secciones para la modelación estructural

La modelación de la estructura será mediante el empleo de dos softwares de diseño estructural como son Robot Analysis Structural Profesional 2023 y ETABS 21. Se tomará en cuenta las secciones estructurales predimensionadas y resumidas en la **Tabla 2.8**.

**Tabla 2.8** Secciones de los elementos estructurales

Elementos	Sección
Vigas	25x25 cm
	25x45 cm
Columnas	35x35
Losa	19 cm

Las secciones predimensionadas se emplearán en todo el proyecto debido a facilidad constructiva en las diferentes plantas presentes en el módulo más cargado con 5 plantas y se replicara en el módulo de 4 pisos. Se modificará el plano arquitectónico, **Figura 2.4** y **Figura 2.5**, con los elementos predimensionados de la **Tabla 2.8**, manteniendo la configuración arquitectónica y evitando cambios en la misma. Revisar ANEXO VII.

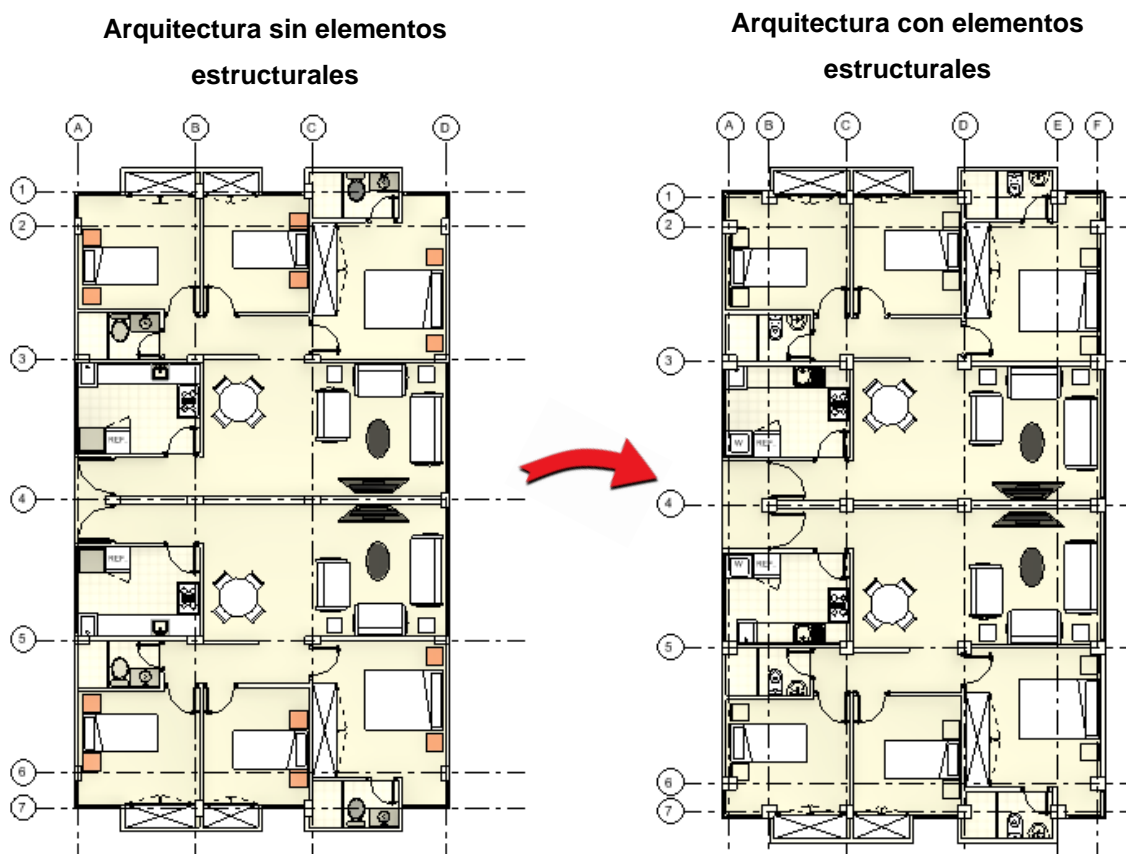


## 2.3 MODELADO EN ROBOT ANALYSIS STRUCTURAL PROFESIONAL

Se procede a diseñar y analizar la estructura del proyecto inmobiliario en Robot Analysis Structural y para la verificación de los resultados y comparación en ETABS 21.

### Interoperabilidad Revit – Robot Structural

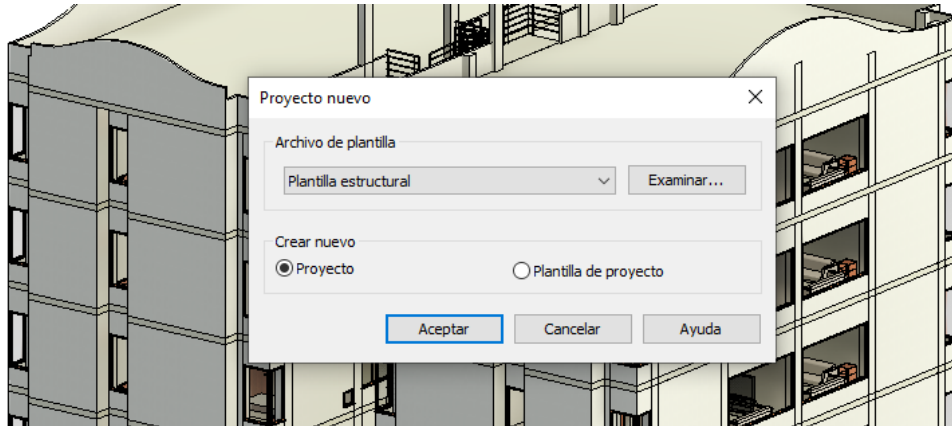
La interoperabilidad entre los archivos de diferentes softwares permite transferir la información de un modelo a otro. Mediante los planos arquitectónicos en planta y elevación, **Figura 2.4** y **Figura 2.5** se realiza el modelo arquitectónico en Revit 2023, **Figura 2.6**. Modelado el diseño arquitectónico de acuerdo con los planos arquitectónicos, se modifica la estructura de acuerdo con las secciones de la estructura indicados en la **Tabla 2.8**. En Revit Arquitectónico solo se modelarán las columnas y las losas como losas macizas de 19 [cm].



**Figura 2.10** Modelo arquitectónico (Cambios en Revit)

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

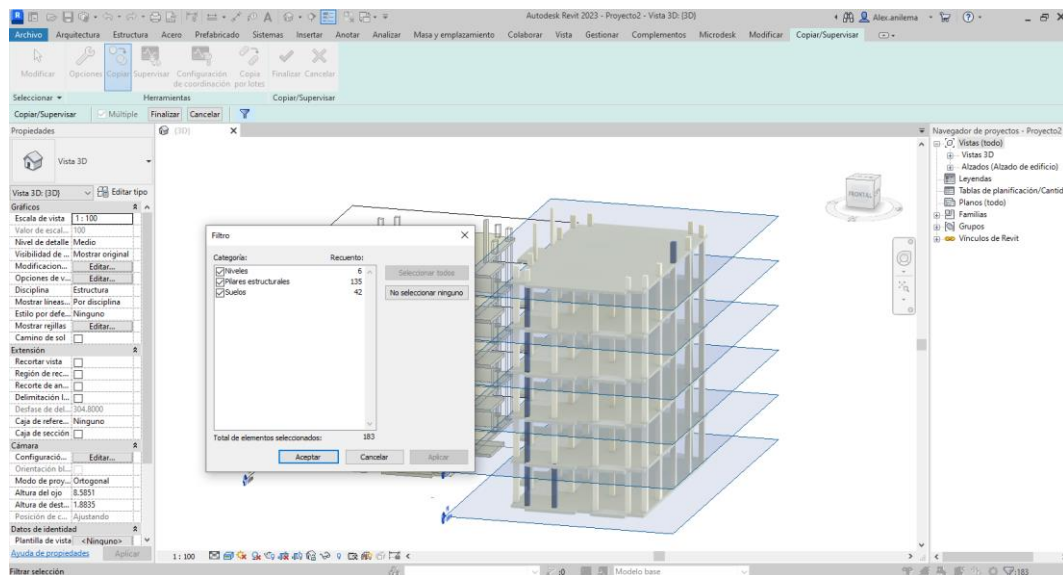
Finalizado las modificaciones de las secciones estructurales en el modelo arquitectónico central, se procede a crear una plantilla estructural, donde se vinculará y añadirán los elementos estructurales faltantes. En la **Figura 2.11** se evidencia la creación de la plantilla estructural.



**Figura 2.11** Creación de Plantilla estructural

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

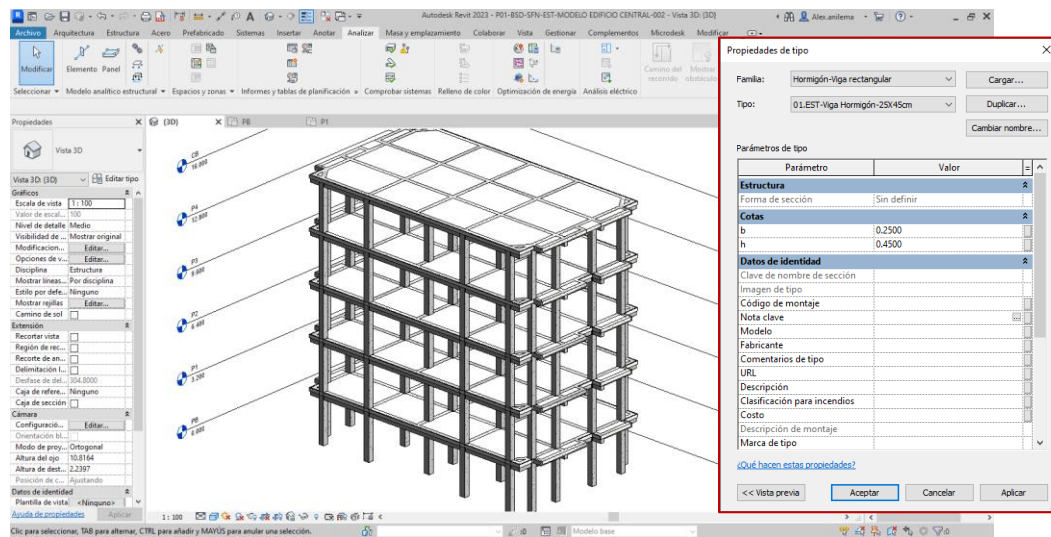
En la plantilla estructural de Revit, se vincula el modelo arquitectónico que contiene los elementos estructurales, como las columnas y losas. Para el análisis y diseño estructural, solo se seleccionan los elementos necesarios que se vincularán en el modelo estructural.




**Figura 2.12** Vinculación de elementos estructurales

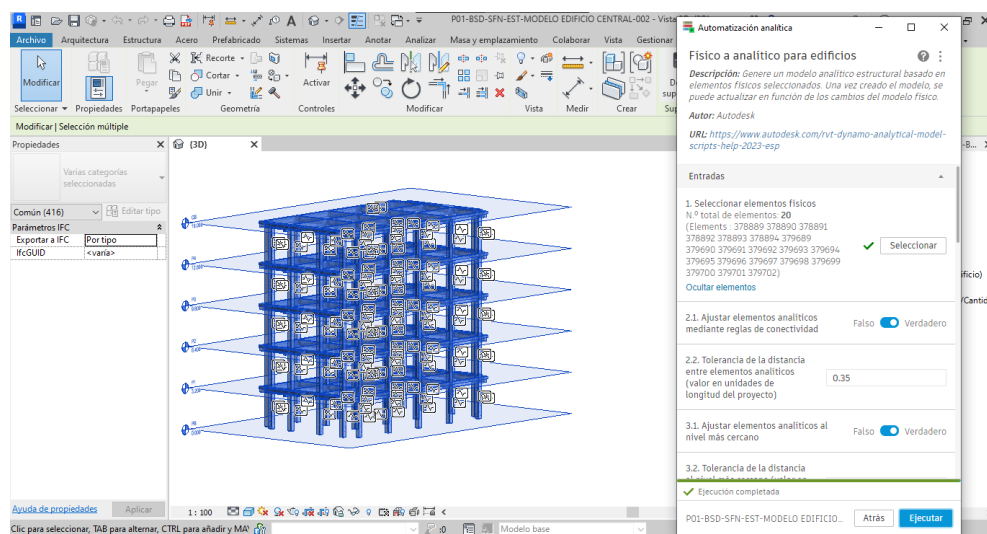
**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

Una vez finalizada la vinculación de los elementos estructurales del modelo arquitectónico, se obtiene el modelo estructural que contiene las losas y columnas. Se definen las secciones de las vigas y se modelan en toda la estructura.



**Figura 2.13** Definición de vigas en el modelo estructural

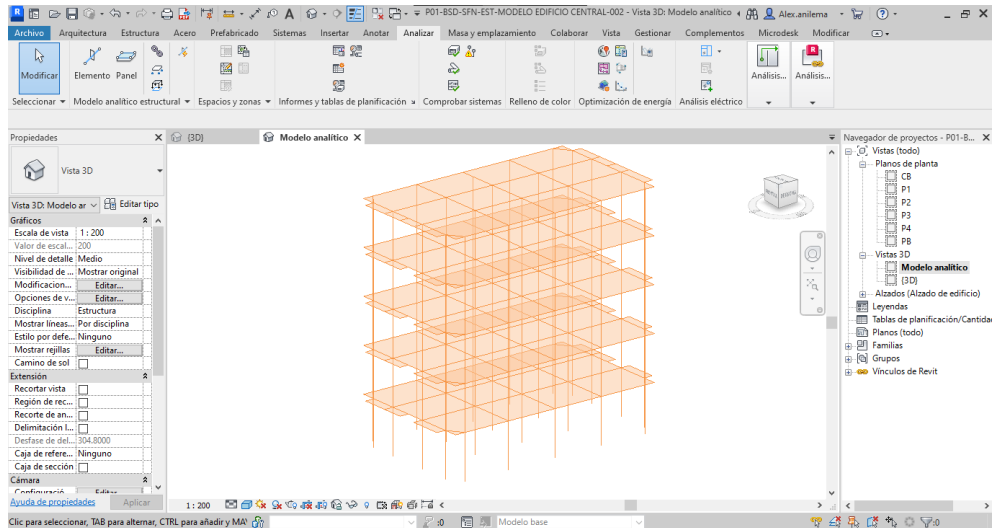
Definido el modelo estructural que contiene las columnas, vigas y losas, se procede a la generación del modelo analítico. En versiones anteriores a Revit 2023, el modelo analítico se generaba automáticamente al colocar los elementos estructurales en el modelo. Sin embargo, para la versión 2023, es necesario generar el modelo manualmente. Para esta tarea, es necesario ubicarse en la pestaña "Analizar" y seleccionar el icono  correspondiente al modelo analítico estructural. Posteriormente, se seleccionan todos los elementos del modelo estructural y se ejecuta la automatización analítica.



**Figura 2.14** Definición del modelo analítico


**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

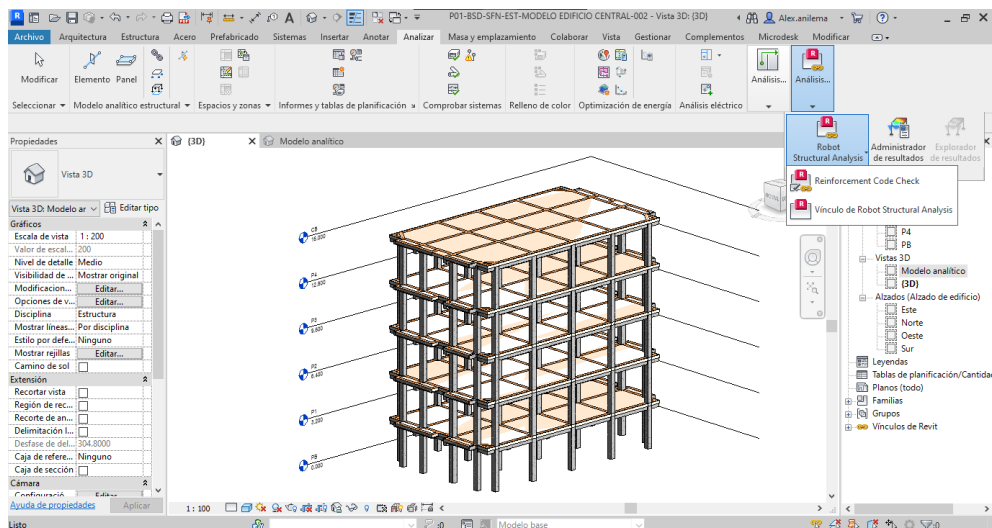
Una vez finalizada la ejecución del modelo analítico, en la pestaña "Navegador de Proyectos" se generará el modelo analítico en las Vistas 3D. En este punto, se recomienda la revisión detallada del modelo analítico, especialmente en los nudos donde se unen los elementos, ya que el modelo analítico representa las uniones de los diferentes elementos estructurales. La **Figura 2.15** representa el modelo analítico para la estructura del proyecto.



**Figura 2.15** Modelo Analítico

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

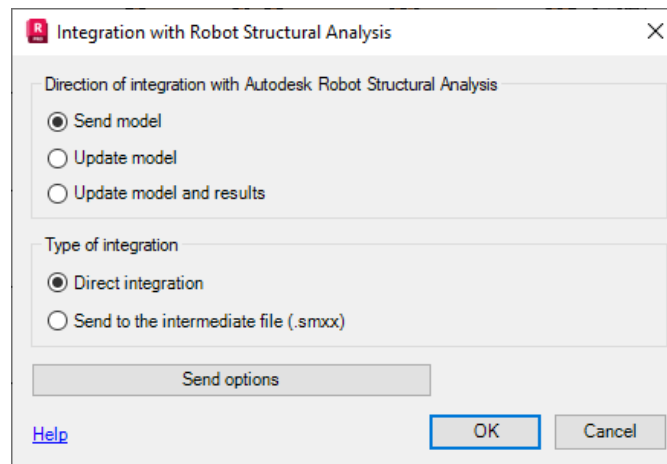
Continuando en la pestaña "Analizar", se selecciona el icono  y se genera la vinculación de la información del modelo estructural entre Revit y Robot Structural.



**Figura 2.16** Vinculación de Revit a Robot Structural

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

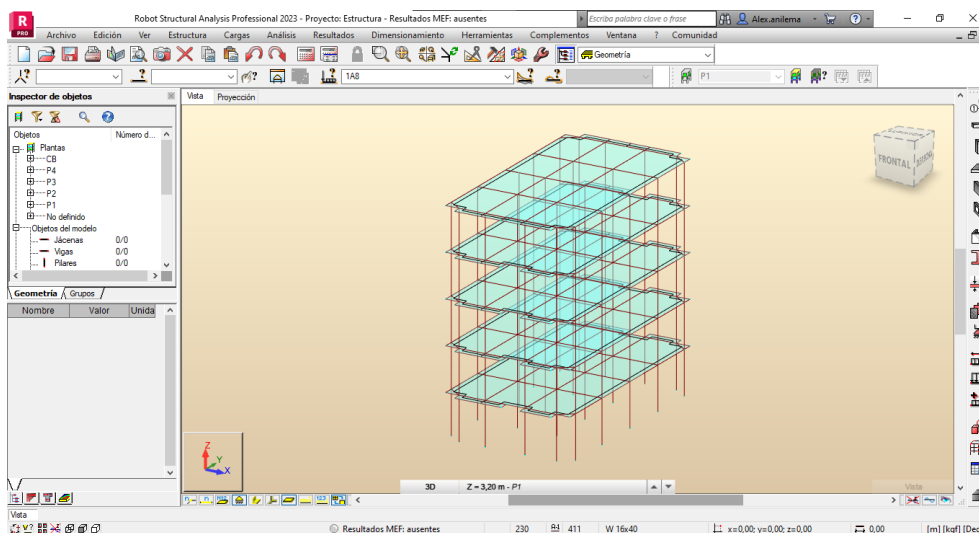
En la **Figura 2.17**, se definen las características de la integración que se generará entre *Revit* con *Robot Structural Analysis*. A través de la ventana correspondiente, es posible enviar información de Revit a Robot, actualizar el modelo bidireccionalmente y especificar el tipo de integración de la información. Para la vinculación, únicamente se enviará la información y la interoperabilidad de la información será directa.



**Figura 2.17** Transferencia de información

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

Finalizado el envío del modelo desde Revit, Robot Structural se ejecutará en segundo plano. En la **Figura 2.18** muestra el modelo estructural vinculado en Robot Structural. Es importante verificar que la información importada del modelo estructural sea adecuada; de lo contrario, será necesario corregir el modelo en Revit y repetir el procedimiento.

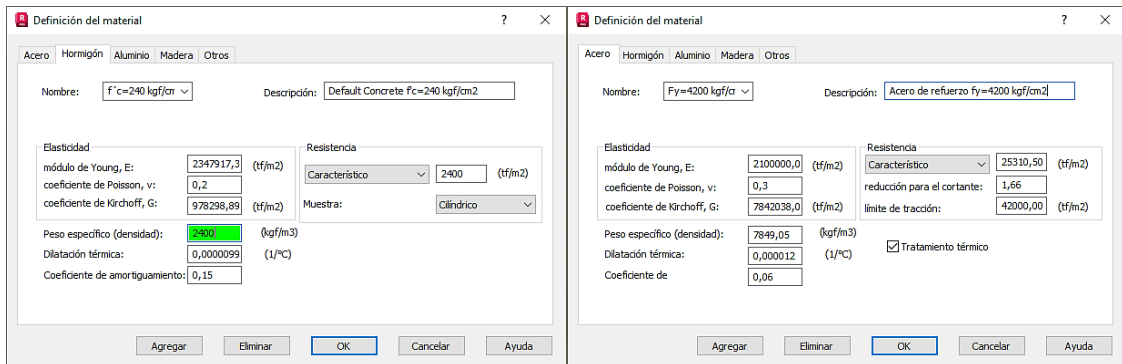


**Figura 2.18** Modelo estructural vinculado en Robot Structural

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

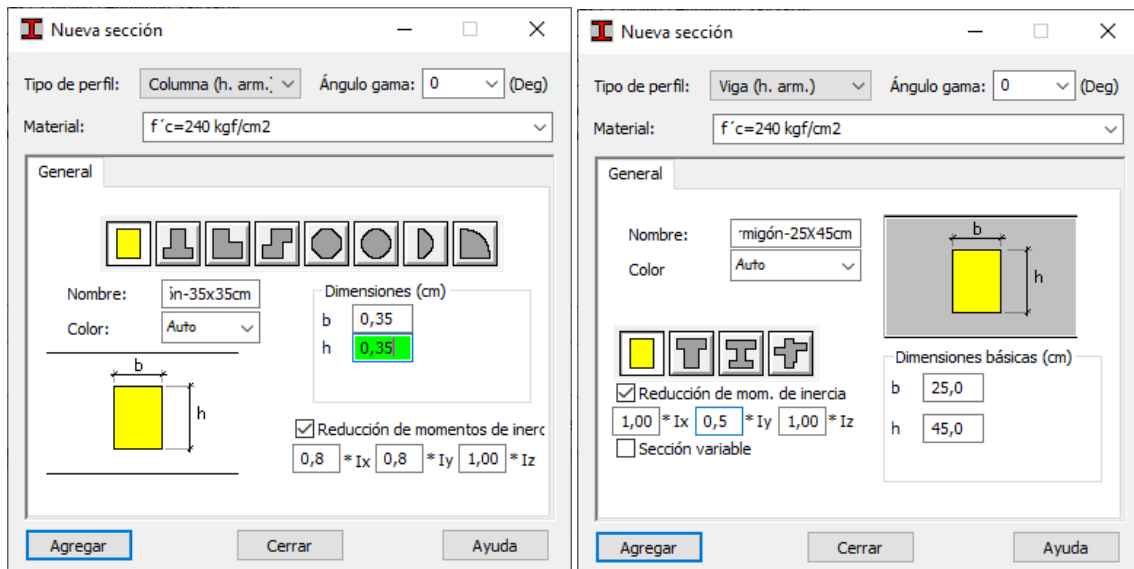
## Configuración inicial y Chequeo de información en Robot Structural

Una vez finalizada la vinculación del modelo estructural desde Revit a Robot Structural, es necesario configurar los parámetros con los que se desea trabajar en el programa. Estos parámetros incluyen el idioma, las unidades, los códigos y las normativas de diseño. En esta ocasión, trabajaremos con la interfaz en español, unidades métricas y el código de diseño ACI 318-19. Además, definimos las propiedades mecánicas de los materiales, como el módulo de elasticidad y la resistencia, tanto para el hormigón como para el acero de refuerzo, tal como se indica en la **Figura 2.19**. Se recomienda revisar la configuración empleada en *Robot Structural* en el ANEXO X.



**Figura 2.19** Definición de materiales en Robot Structural

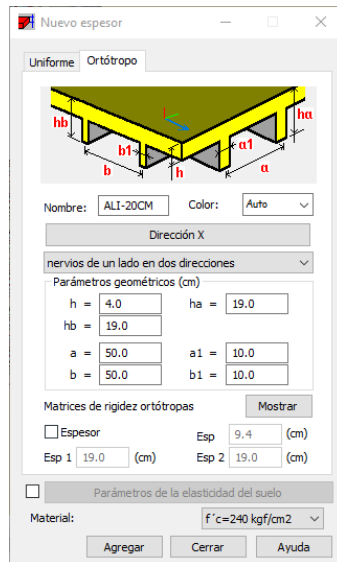
En el apartado de las secciones de los elementos, se verifican las dimensiones de las vigas y las columnas importadas de Revit, según lo indicado en la **Tabla 2.8**. Además, se asignará el tipo de material y las inercias de agrietamiento para cada uno de los elementos de acuerdo con lo especificado en la **Tabla 2.1**.



**Figura 2.20** Secciones e inercia agrietada en elementos estructurales

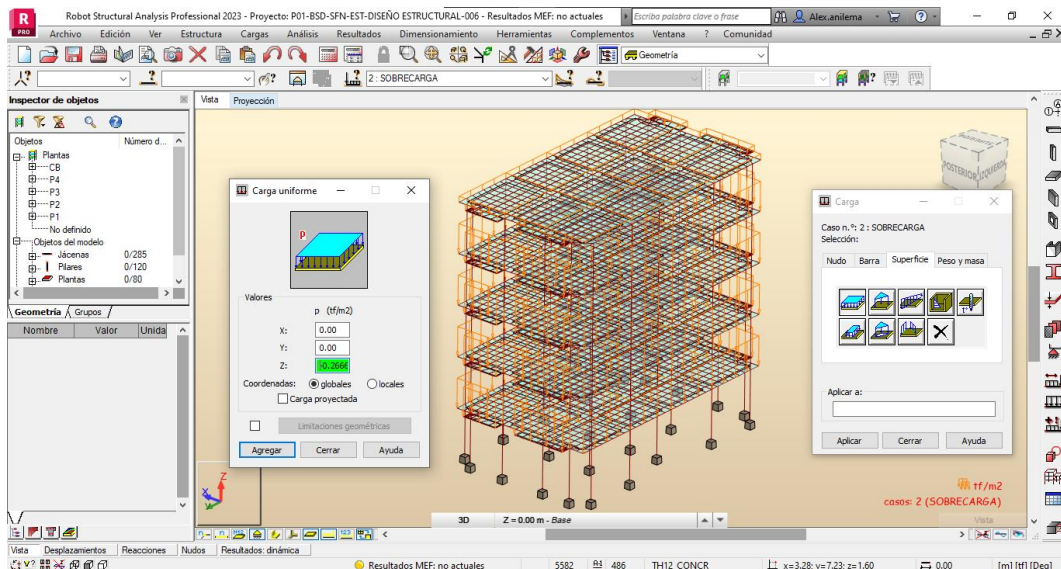
Elaborado por: Alex Edison Añilema

En Robot Structural, se define la losa alivianada con todas las dimensiones de acuerdo con lo especificado en el ANEXO III y la **Tabla 2.8**. Una vez creada la sección de losa alivianada, se reemplazan todas las losas macizas del modelo por la losa alivianada recién definida. Además, se establece que el comportamiento de la losa en la estructura sea de tipo membrana o laminar.



**Figura 2.21** Definición de Losa alivianada en Robot Structural

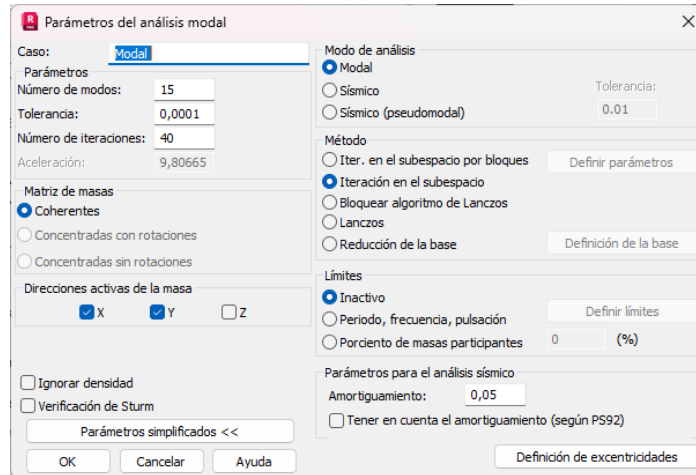
Se definen los casos de cargas y se ingresan los valores de las cargas vivas, muertas y de sobrecarga. Tanto la sobrecarga como la carga viva serán aplicadas en la losa y estas, a su vez, se distribuirán a los diferentes elementos, como las vigas y columnas. La carga muerta propia de cada una de las secciones será automáticamente tomada en cuenta por el programa.



**Figura 2.22** Definición de cargas

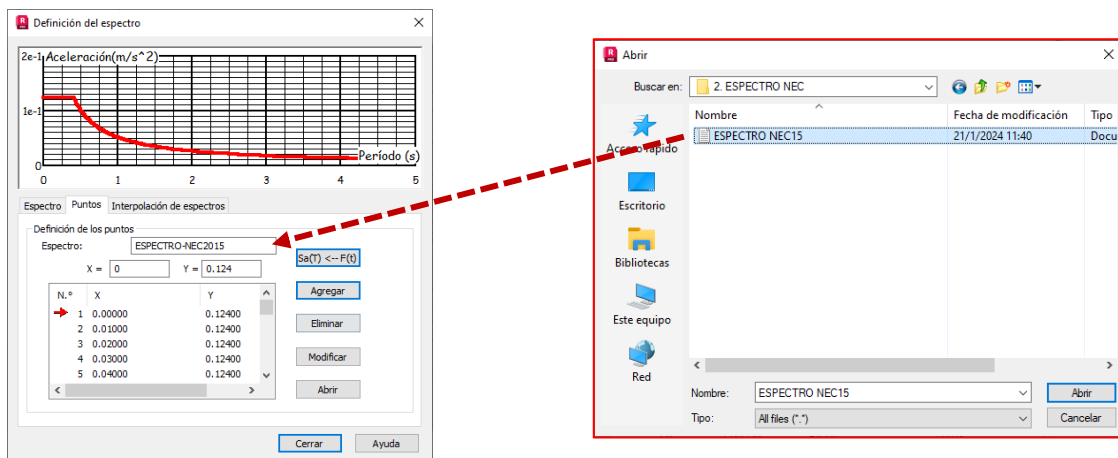
## Análisis Sismorresistente

En Robot Structural, para iniciar el análisis sismorresistente, es necesario generar el análisis modal. Este análisis permite definir los diferentes períodos de vibración de la estructura en diversas direcciones. La **Figura 2.23**, indica la configuración y los parámetros empleados en la generación del análisis modal. El número de modos se define al multiplicar el número de pisos por 3, siendo este el número de direcciones. Las masas activas solo se tendrán en cuenta en las direcciones "X" y "Y". El amortiguamiento de la estructura se establecerá en un 5%, es decir, 0.05.



**Figura 2.23** Parámetros de Análisis modal

Para el análisis espectral, se requiere ingresar el espectro para el análisis lineal dinámico. De acuerdo con el ANEXO IX, se define el espectro inelástico y se genera un documento en formato ".txt" que contiene todos los puntos del espectro. El ingreso de la información se puede observar en la **Figura 2.24**, donde se muestra cómo se importan todos los puntos del espectro inelástico.

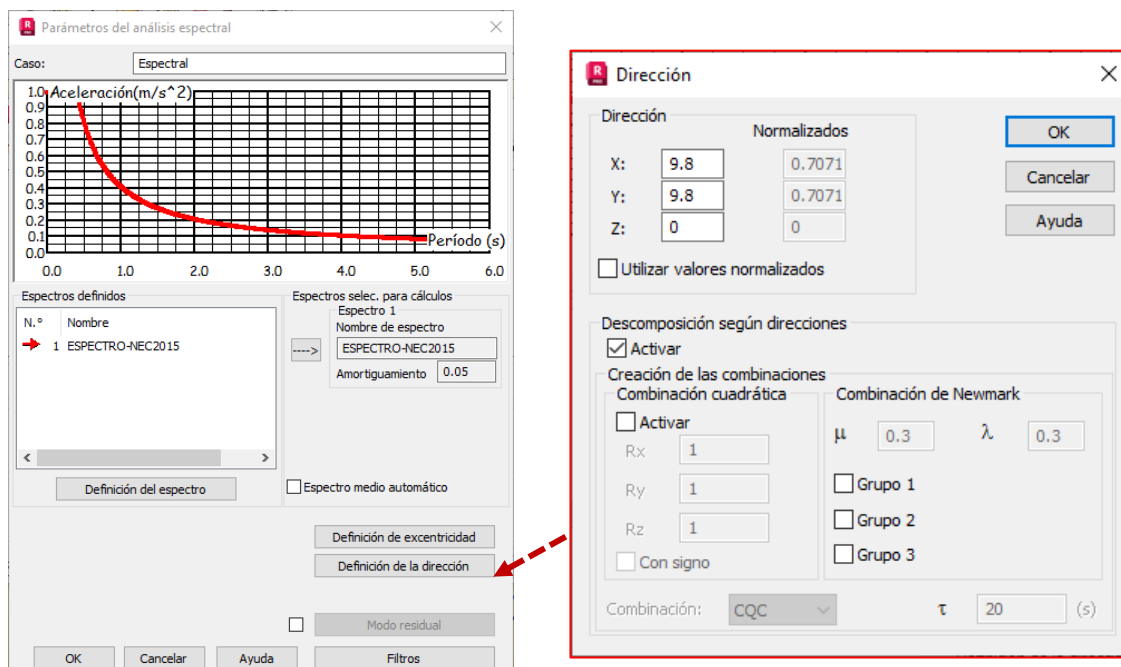


**Figura 2.24** Ingreso Espectro de aceleración NEC-SE-DS

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

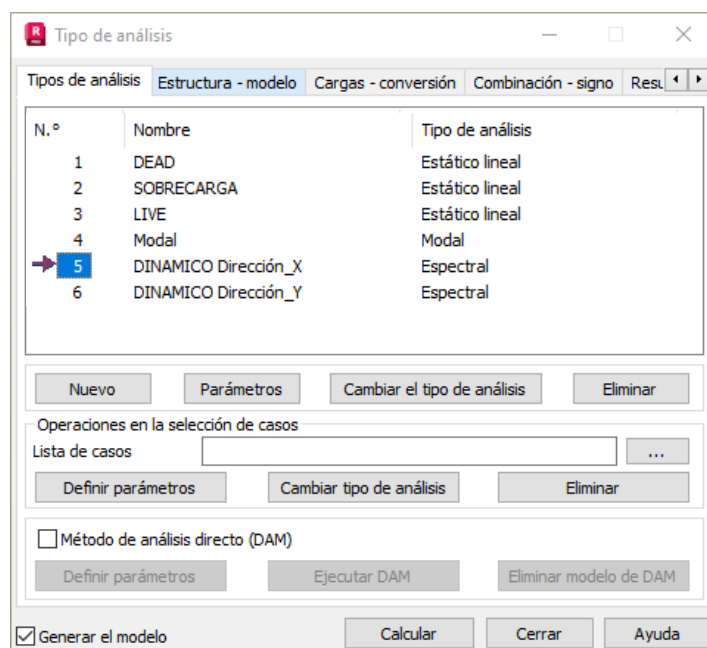


En el eje de las abscisas se representará el período, mientras que en el eje de las ordenadas se mostrará la aceleración. Además, se considerará un amortiguamiento del 5% para la estructura. En la definición de la "Dirección", se ingresarán los valores de la gravedad en ambas direcciones, "X" y "Y".



**Figura 2.25** Dirección del análisis espectral

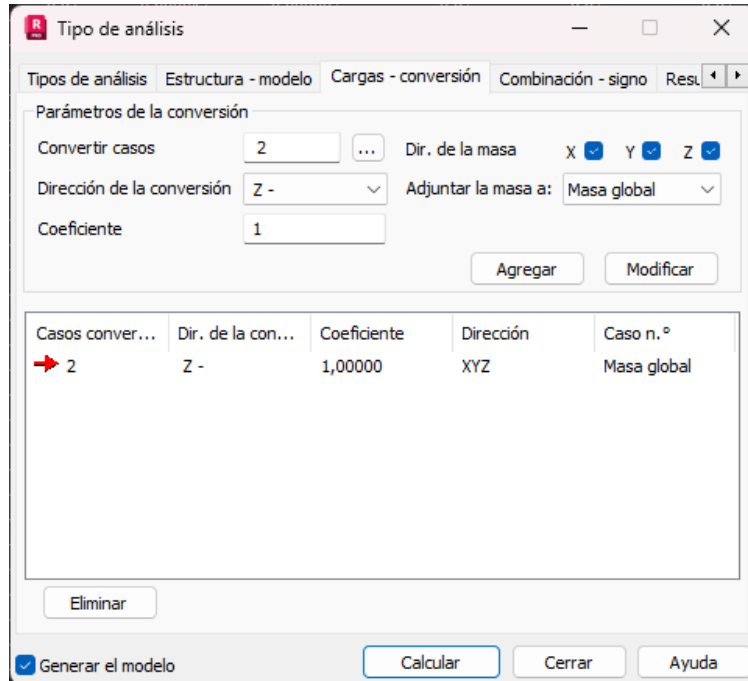
Una vez definido el análisis dinámico con el espectro de aceleración, se obtienen los análisis dinámicos en dirección "X" y "Y", tal como se indica en la **Figura 2.26**.



**Figura 2.26** Dinámico en dirección X y Y

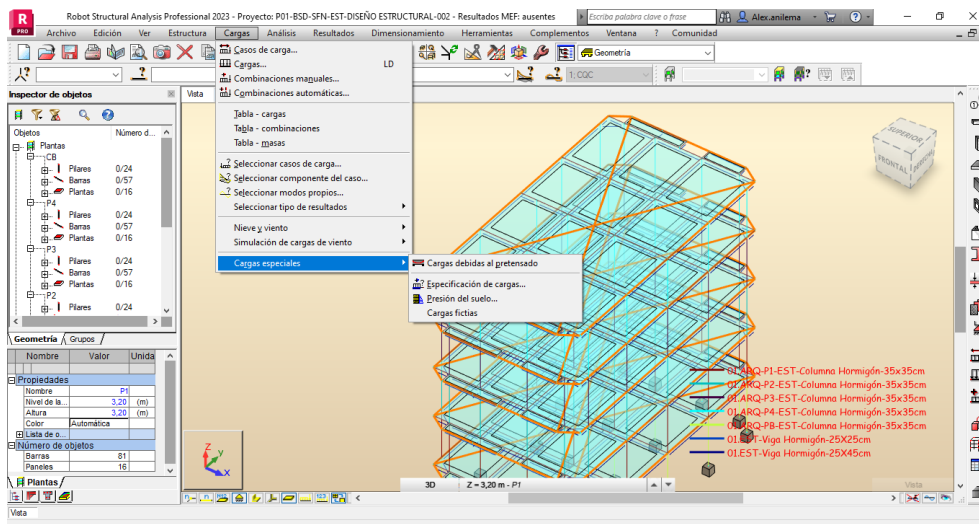
Elaborado por: Alex Edison Añilema

En la ventana “Tipo de análisis”, en la pestaña “Cargas-Conversion” se selecciona el caso que contiene la sobrecarga de la estructura y se la convierte en todas las direcciones. Este paso es crucial ya que define la diferencia en los resultados que se obtendrán en el análisis modal.



**Figura 2.27** Conversión de Cargas

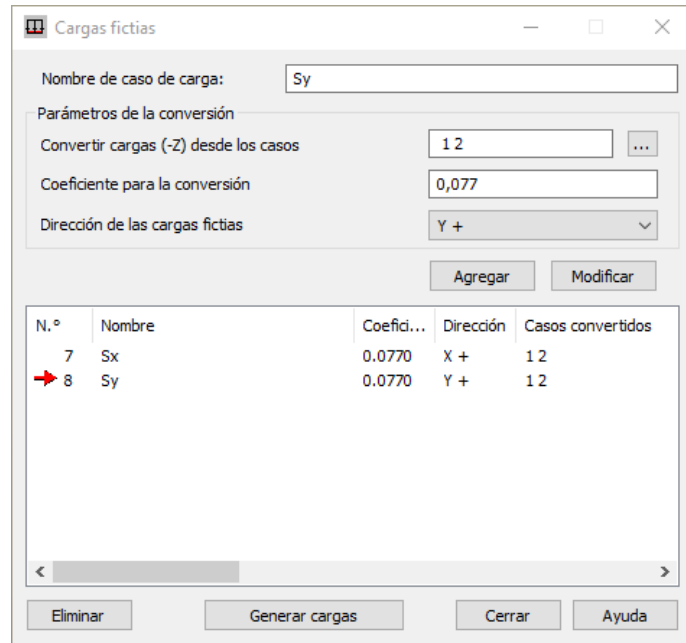
Se definirá el análisis estático en la estructura, para lo cual es necesario definir las cargas “fictias” o “notionales” en Robot Structural. La **Figura 2.28** muestra los pasos la creación de la carga fictia.



**Figura 2.28** Definición de cargas Fictias (Cortante Basal)

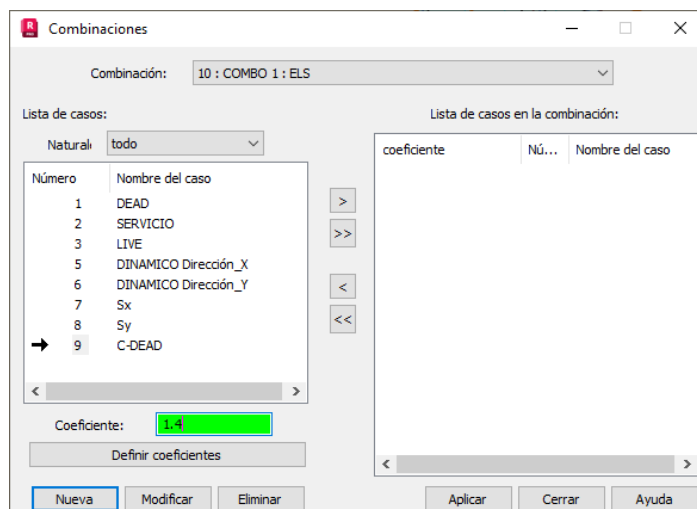
**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

Se definen los casos "Sx" y "Sy", los cuales representan la fuerza lateral ejercida por el sismo. Estos dos casos requieren los valores de la carga muerta y sobrecarga presentes en las estructuras, así como el porcentaje de cortante basal. En el análisis estático de edificios según la NEC-SE-DS, solo se tiene en cuenta la carga muerta para el cálculo del coeficiente del cortante basal. Por lo tanto, los casos "Sx" y "Sy" solo tendrán en cuenta la carga muerta y la sobrecarga.



**Figura 2.29** Definición de análisis estático

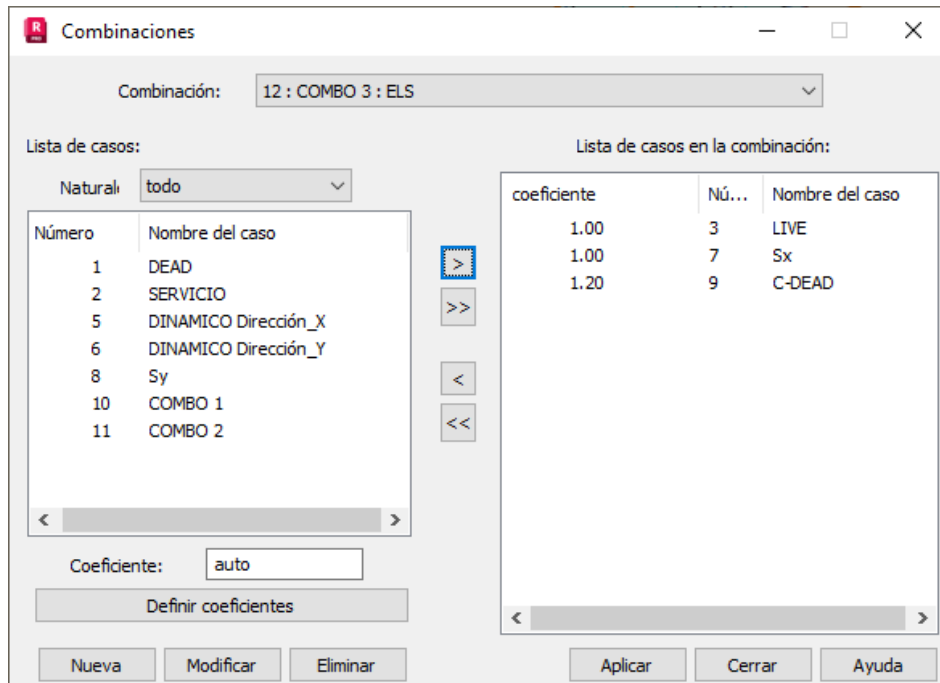
Una vez definido el análisis estático y dinámico, se procede a definir las combinaciones de cargas para la estructura. Se inicia con la creación de "C-DEAD", el cual es un caso que contiene los valores de la carga muerta "DEAD" y la sobrecarga "Sobrecarga".



**Figura 2.30** Combinación de carga muerta y explotación

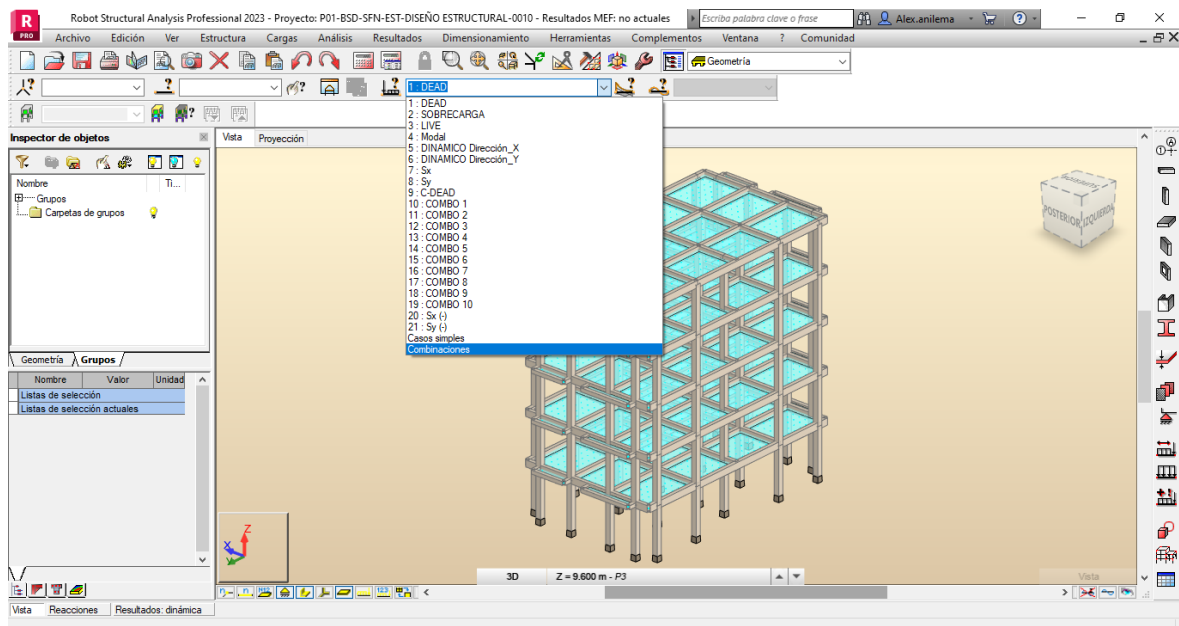
**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

A continuación, se llevan a cabo todas las combinaciones definidas en la **Tabla 2.3**. La figura **Figura 2.31** ilustra cómo se define el "Combo 3" con los casos de carga muerta, carga sísmica y carga viva, junto con sus respectivos coeficientes. Este mismo procedimiento se emplea para la ejecución de las demás combinaciones.



**Figura 2.31** Combinaciones en Robot Structural

Una vez finalizada la creación de todos los casos dinámicos, sísmicos y las combinaciones de carga, se procede a ejecutar el análisis estructural y realizar su posterior chequeo, revisión y corrección.



**Figura 2.32** Definición de todos los tipos de análisis

## 2.4 MODELADO ETABS

Para verificar los resultados obtenidos mediante la metodología BIM (Building Information Modeling) utilizando la interoperabilidad de Revit y Robot Analysis Structural, es necesario recurrir a métodos tradicionales de diseño y análisis estructural. En este contexto, se ha seleccionado ETABS en su versión 21 como el software adecuado para llevar a cabo esta comprobación.

Se procederá a modelar la estructura en ETABS 21, lo que implica la creación de ejes, secciones y propiedades de materiales. Aunque es posible importar esta información desde Revit mediante interoperabilidad utilizando IFC, se ha decidido construir el modelo en ETABS 21 desde cero. Esto asegurará una mejor comprensión del proceso y permitirá una verificación independiente de los resultados obtenidos a través de la metodología BIM.

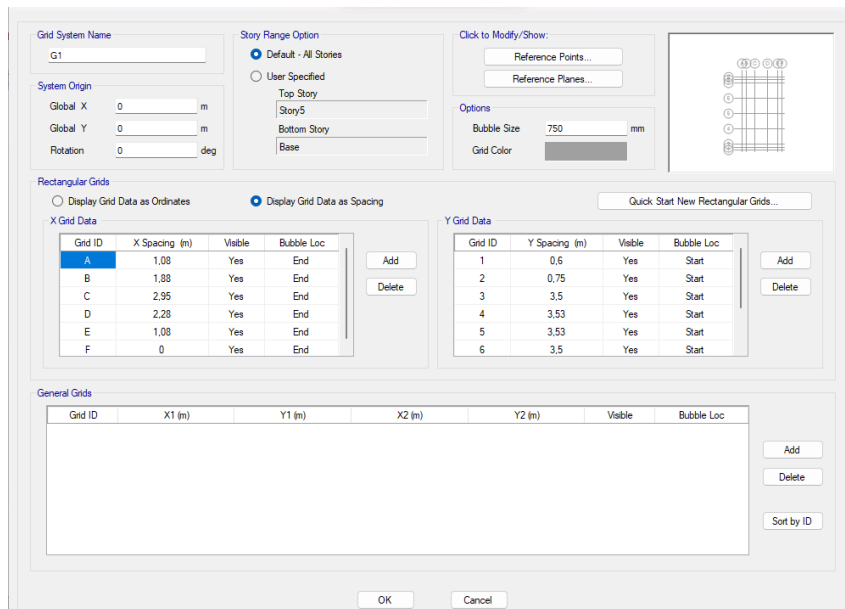


Figura 2.33 Creación de los ejes para el modelo en ETABS 21

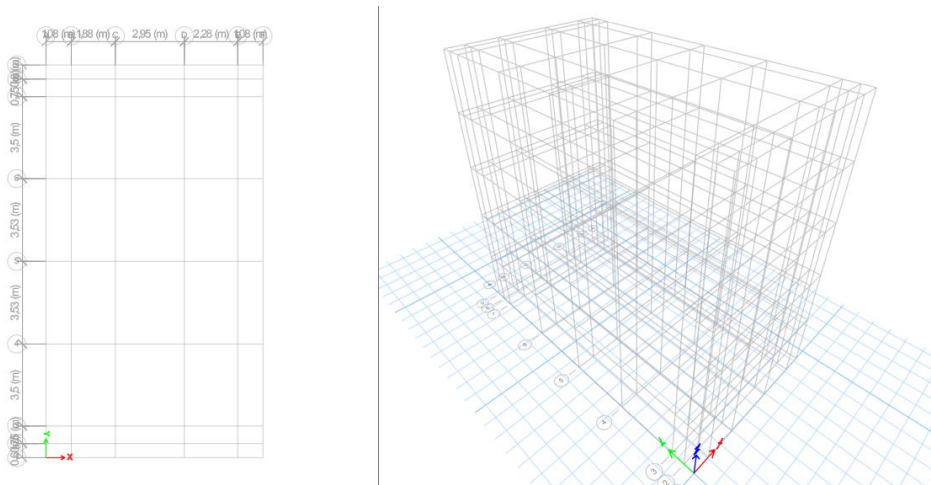
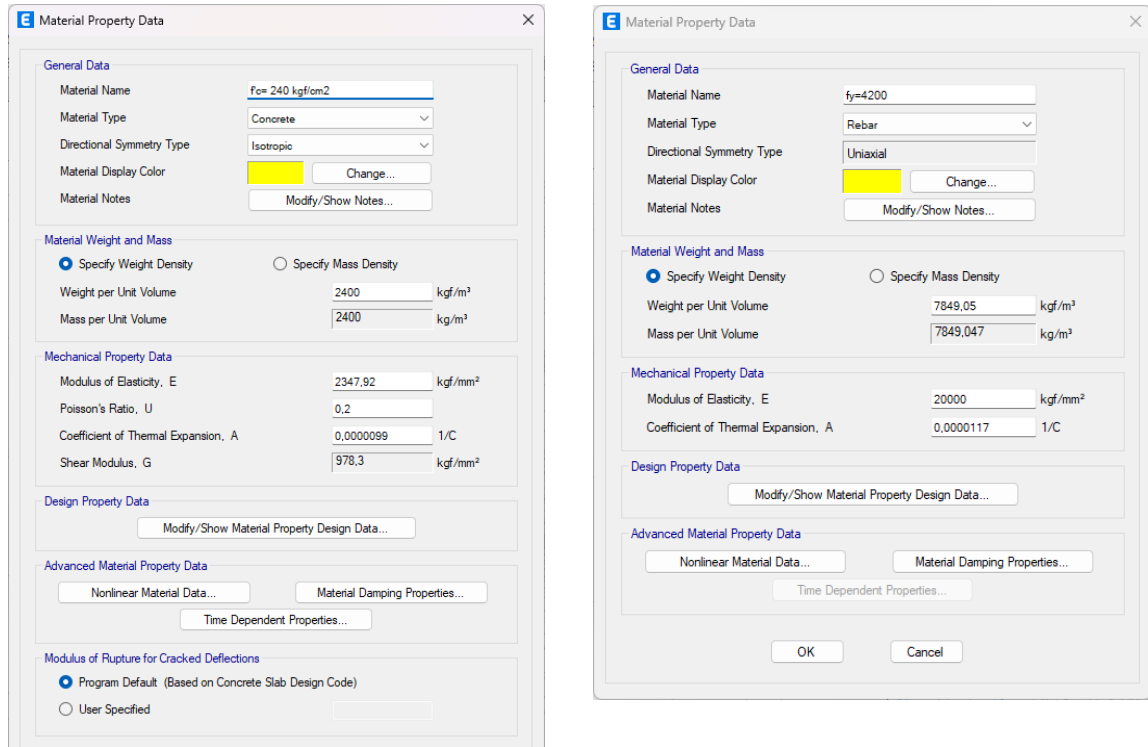


Figura 2.34 Ejes en el modelo

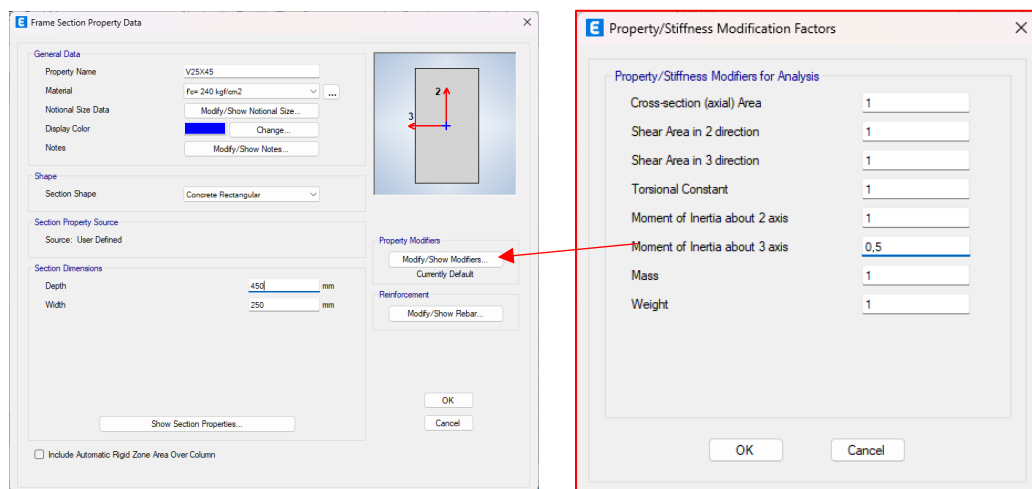
En ETABS 21, también se definen las propiedades mecánicas de los materiales, tales como el módulo de elasticidad y la resistencia, tanto para el hormigón como para el acero de refuerzo. Estas propiedades son similares a las establecidas en Robot Structura en la **Figura 2.19**.



**Figura 2.35** Características de los Materiales

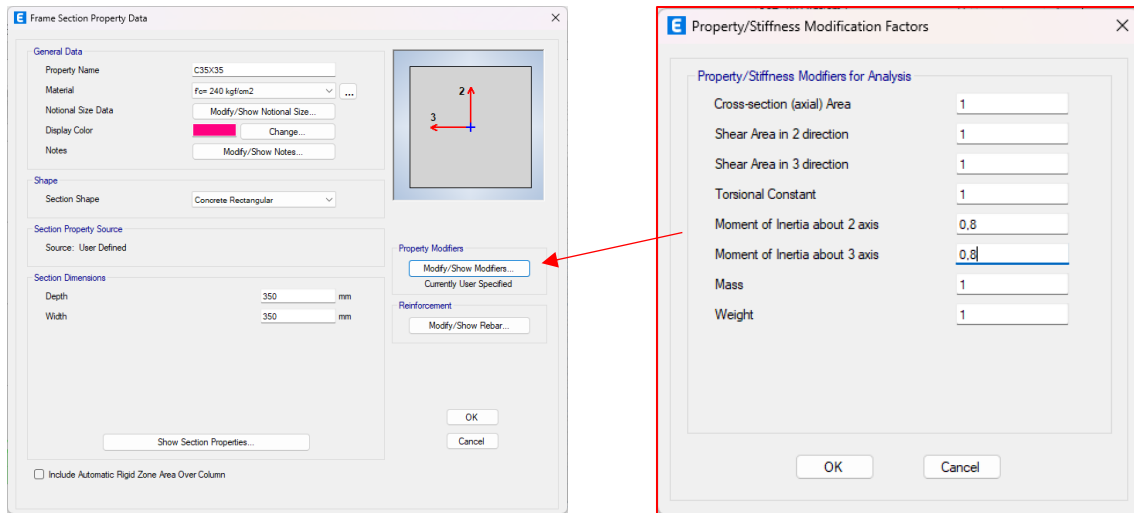
Elaborado por: Alex Edison Añilema (ETABS 21)

Se definen las secciones de los elementos estructurales en base a la **Tabla 2.8** y se emplean las inercias agrietadas de acuerdo con lo especificado en la **Tabla 2.1**.



**Figura 2.36** Definición de la Viga 45x25 y la inercia agrietada

Elaborado por: Alex Edison Añilema (ETABS 21)

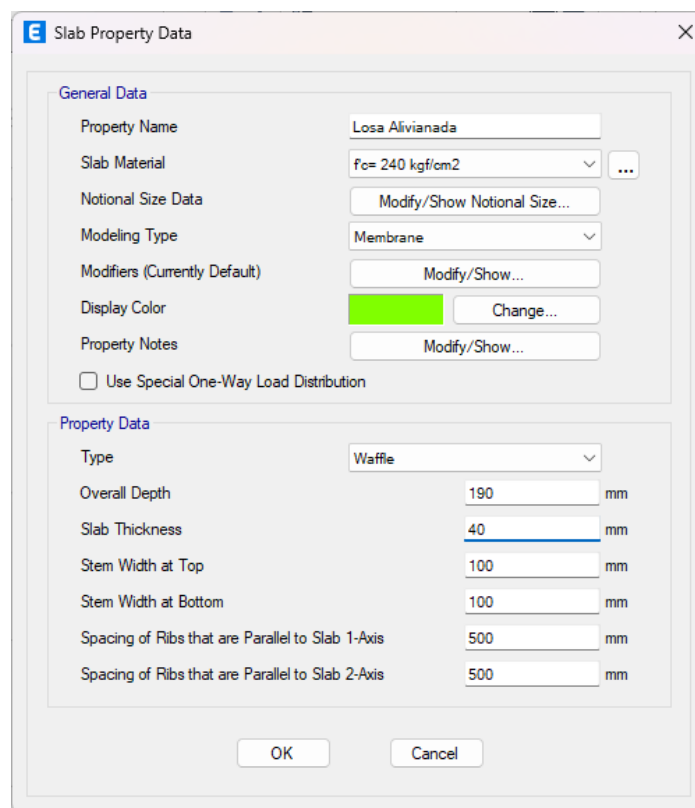


**Figura 2.37** Definición de la columna 35x35 y la inercia agrietada

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema (ETABS 21)

En ETABS 21, también se define la losa alivianada con todas las dimensiones de acuerdo con el

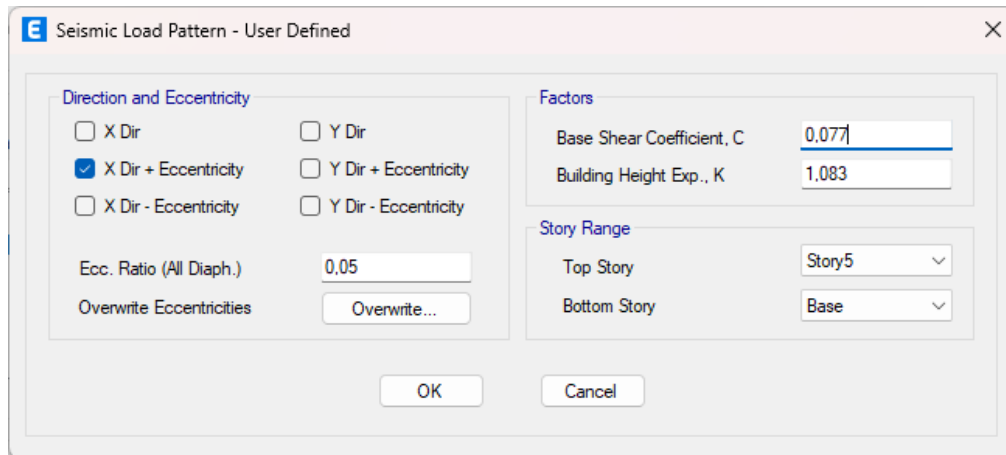
ANEXO III y la Tabla 2.8. Esta sección se configurará como tipo "Membrana", dado que su función será la distribución de las cargas superficiales a los elementos estructurales.



**Figura 2.38** Definición de Losa alivianada en ETABS 21

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

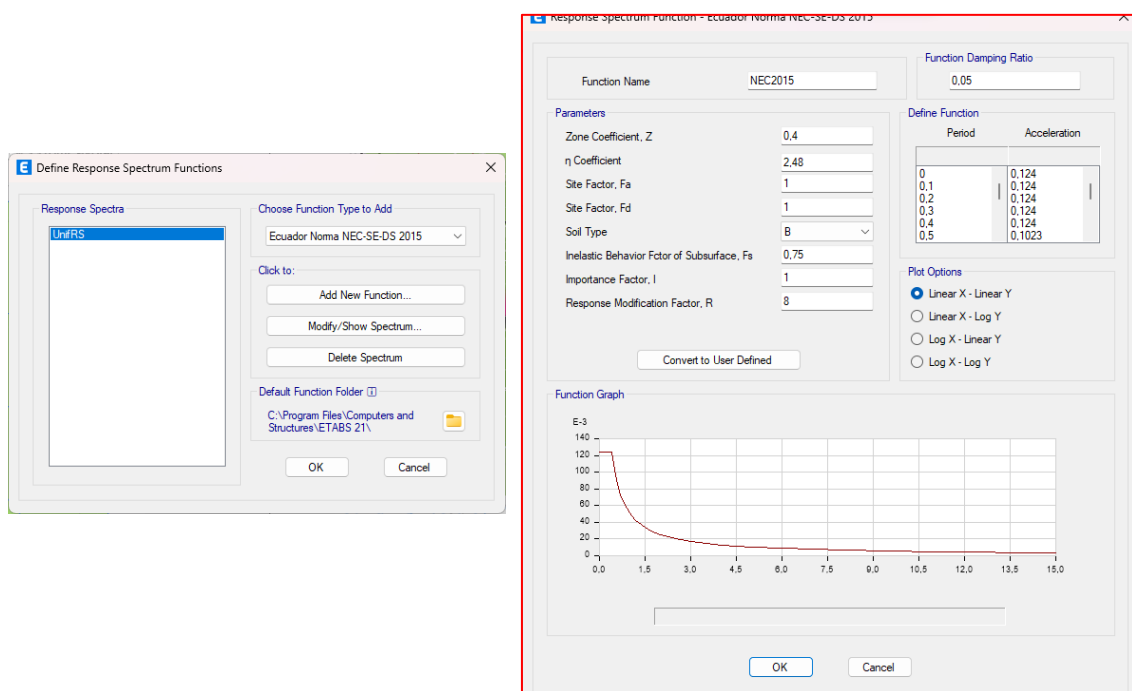
Se define el análisis estático empleando el cortante basal del ANEXO IX. Se repite el mismo procedimiento para el análisis estático en dirección "Y", de manera similar a lo ilustrado en la **Figura 2.39**.



**Figura 2.39** Determinación del análisis estático en dirección X

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema (ETABS 21)

Se define el análisis dinámico, para lo cual es necesario definir el espectro en ETABS 21. Este software permite definir el espectro de acuerdo con la NEC-SE-DS 2015, en la cual solo es necesario ingresar todos los valores empleados en la creación del espectro de aceleración inelástico.

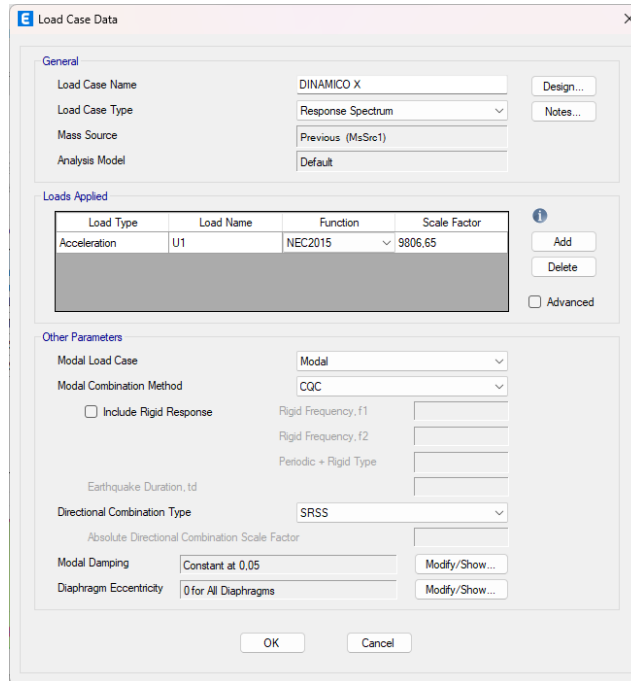


**Figura 2.40** Definición del espectro de aceleración

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema (ETABS 21)



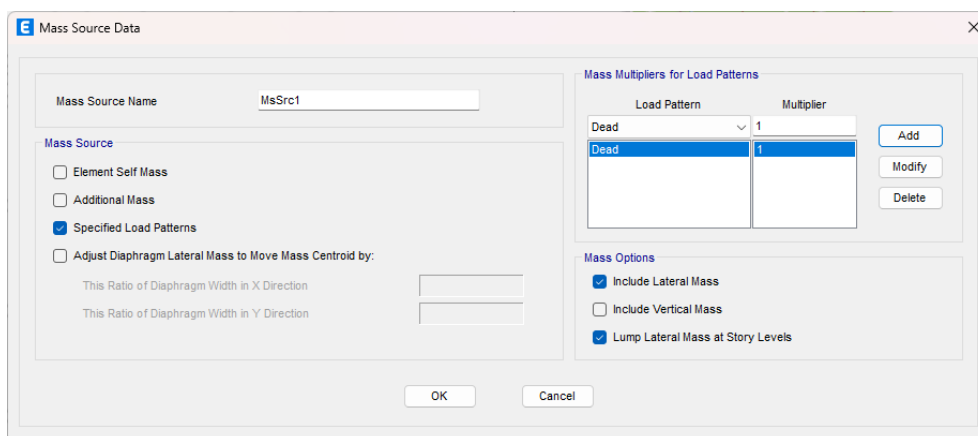
Una vez definido el espectro de aceleración en ETABS 21, se procede a crear los análisis dinámicos en dirección "X" y "Y". La configuración utilizada para la definición del análisis dinámico en "X" se muestra en la **Figura 2.41**. Se repite el mismo procedimiento en la dirección "Y".



**Figura 2.41** Análisis dinámico en dirección X en ETABS 21

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

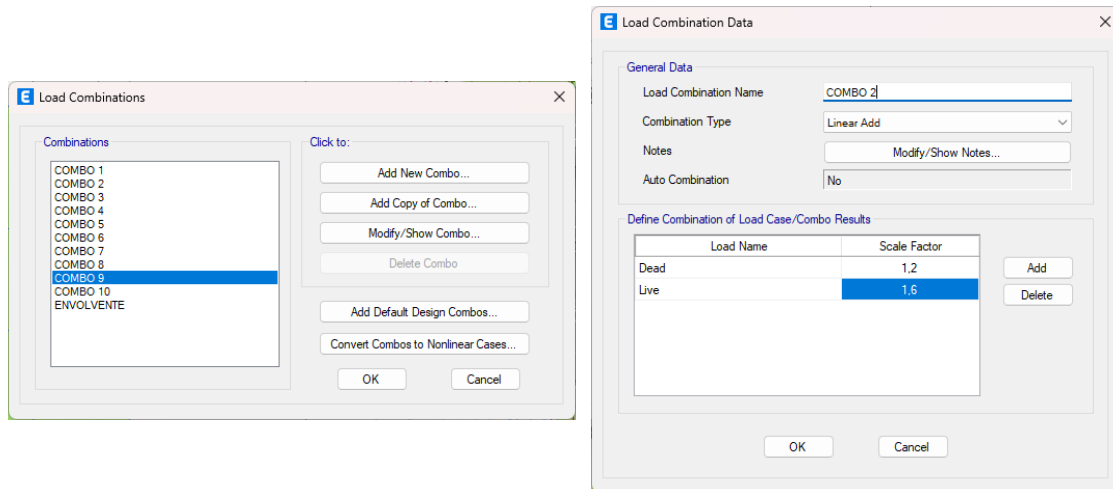
En ETABS 21, se especifica al programa la masa participante que se tomará en cuenta para el análisis modal. Se verifica la selección de "Specific Load Patterns" y se elige la carga "Dead", que incluye el peso propio de la estructura y la sobrecarga, los cuales se consideran al 100%, razón por la cual se establece el factor "1".



**Figura 2.42** Masa participante de la estructura

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

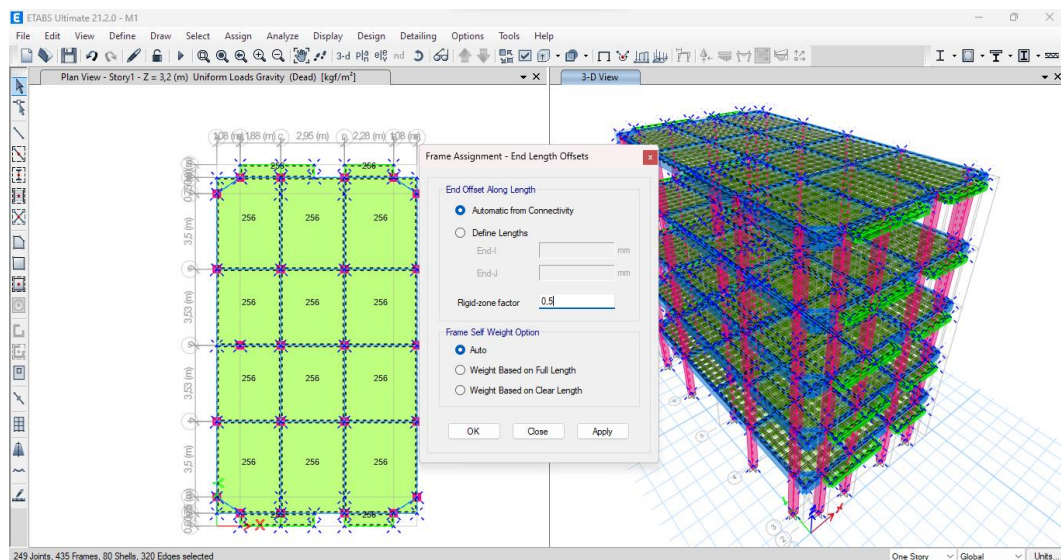
Por último, se definen las combinaciones de **Tabla 2.3** de igual forma en ETABS. Se definen todos los casos presentes en la tabla y, finalmente, se genera la "Envolvente", la cual debe considerar todas las 10 combinaciones.



**Figura 2.43** Definición de las combinaciones de carga

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema (ETABS 21)

Con el modelo definido, se ingresa el factor de rigidez en los nudos de 0.5. Con este paso completado, procedemos a ejecutar el análisis de la estructura y posteriormente a comparar los resultados con los obtenidos mediante Robot Structural.



**Figura 2.44** Rigidización de los nudos en ETABS 21

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

### 3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1 RESULTADOS

Se llevará a cabo un análisis comparativo de resultados entre las dos metodologías empleadas para el diseño de la estructura. Se chequearán el período estructural, las derivas máximas, la masa participante, las reacciones y momentos, así como el armado estructural.

#### Periodo Estructural y Porcentaje de participación de Masas

Los resultados del porcentaje de participación de masas en los modos de vibración se encuentran en la **Tabla 3.1** para Robot Structural y en la **Tabla 3.3** para ETABS. Posteriormente, se realiza el chequeo del límite permisible de masas participantes para estructuras regulares, tal como se detalla en la **Tabla 3.2** y **Tabla 3.4**.

**Tabla 3.1** Porcentaje de masas participantes para el modo de vibración - Robot Structural

Modo	Frecuencia	Periodo (s)	Ux	Uy	Uz	Masas Ux	Masas Uy	Masas Uz	Total masas Ux	Total masas Uy	Total masas Uz
1	1.345	0.743	0.114	82.964	0.000	0.114	82.964	0.000	617.958	617.958	0.000
2	1.512	0.661	75.835	83.250	0.000	75.722	0.286	0.000	617.958	617.958	0.000
3	1.854	0.539	83.668	83.583	0.000	7.832	0.333	0.000	617.958	617.958	0.000
4	4.178	0.239	83.693	93.396	0.000	0.026	9.813	0.000	617.958	617.958	0.000
5	4.681	0.214	92.889	93.445	0.000	9.195	0.049	0.000	617.958	617.958	0.000
6	5.706	0.175	93.834	93.483	0.000	0.946	0.039	0.000	617.958	617.958	0.000
7	7.312	0.137	93.857	96.764	0.000	0.023	3.281	0.000	617.958	617.958	0.000
8	8.151	0.123	96.750	96.805	0.000	2.893	0.041	0.000	617.958	617.958	0.000
9	9.846	0.102	97.030	96.814	0.000	0.280	0.008	0.000	617.958	617.958	0.000
10	10.512	0.095	97.076	98.055	0.000	0.046	1.241	0.000	617.958	617.958	0.000
11	11.535	0.087	98.121	98.128	0.000	1.045	0.073	0.000	617.958	617.958	0.000
12	13.189	0.076	98.152	98.396	0.000	0.031	0.268	0.000	617.958	617.958	0.000
13	13.738	0.073	98.254	98.408	0.000	0.102	0.012	0.000	617.958	617.958	0.000
14	14.364	0.070	98.473	98.481	0.000	0.219	0.073	0.000	617.958	617.958	0.000
15	16.663	0.060	98.493	98.483	0.000	0.020	0.002	0.000	617.958	617.958	0.000

**Fuente:** Alex Edison Añilema (Robot Structural)

**Tabla 3.2** Chequeo de masas participantes en Robot Structural

Dirección	Porcentaje	Chequeo ( $\sum U \geq 85\%$ )
X	98.466	OK
Y	98.483	OK

**Tabla 3.3** Porcentaje de masas participantes para el modo de vibración (ETABS)

Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		sec												
Modal	1	0.75	0	0.838	0	0.000	0.838	0	0.18	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00
Modal	2	0.675	0.843	0	0	0.843	0.838	0	0.00	0.18	0.00	0.18	0.18	0.00
Modal	3	0.568	0	0.001	0	0.843	0.839	0	0.00	0.00	0.85	0.18	0.18	0.85
Modal	4	0.242	0	0.104	0	0.843	0.943	0	0.66	0.00	0.00	0.84	0.18	0.85
Modal	5	0.221	0.106	0	0	0.950	0.943	0	0.00	0.67	0.00	0.84	0.85	0.85
Modal	6	0.187	0	0.000	0	0.950	0.943	0	0.00	0.00	0.11	0.84	0.85	0.95
Modal	7	0.139	0	0.037	0	0.950	0.980	0	0.07	0.00	0.00	0.92	0.85	0.95
Modal	8	0.129	0.034	0	0	0.983	0.980	0	0.00	0.07	0.00	0.92	0.93	0.95
Modal	9	0.111	0	2E05	0	0.983	0.980	0	0.00	0.00	0.03	0.92	0.93	0.99
Modal	10	0.098	0	0.016	0	0.983	0.995	0	0.07	0.00	0.00	0.99	0.93	0.99
Modal	11	0.094	0.013	0	0	0.996	0.995	0	0.00	0.06	0.00	0.99	0.99	0.99
Modal	12	0.082	0	5E06	0	0.996	0.995	0	0.00	0.00	0.01	0.99	0.99	1.00

**Fuente:** Alex Edison Añilema (ETABS)

**Tabla 3.4** Chequeo de masas participantes en ETABS

Dirección	Porcentaje	Chequeo ( $\sum U \geq 85\%$ )
X	0.996	OK
Y	0.995	OK

**Fuente:** Alex Edison Añilema (ETABS)

En ambos casos, se obtienen valores de masas participantes similares que superan el límite permisible del 85%. Este resultado valida la consistencia de los resultados de las tablas en los dos programas de análisis estructural.

**Tabla 3.5** Comparación de periodos obtenidos

Programa	Periodo (s)
<i>Robot Structural</i>	0.743
<i>ETABS</i>	0.75

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

Se comparan los períodos estructurales obtenidos en los dos programas en la **Tabla 3.5**, donde se observa que el mayor período de vibración se obtiene por ETABS y el menor por *Robot Structural*. La diferencia entre los dos programas es de 0.007 segundos, lo que equivale a un 0.88%.

## Validación de Análisis Estático – Dinámico

Para validar los análisis Estático y Dinámico, es necesario comprobar que el cortante dinámico sea mayor o igual al 80% del cortante estático. El chequeo se lleva a cabo mediante la filtración de información de los cortantes dinámicos y estáticos, como se muestra en la **Figura 3.1** en Robot Structural y en la **Figura 3.2** en ETABS.

Nudo/Caso/Modo	FX (tf)	FY (tf)	FZ (tf)	MX (tfm)	MY (tfm)	MZ (tfm)
Caso	5 - DINAMICO Dirección_X					
Modo CQC						
Suma final	40,03	7,22	113,58	13,15	75,76	1,94
Suma de reacciones <	38,12	2,18	0,55	24,06	413,58	92,65
Suma de esfuerzos	38,12	2,18	0,56	24,06	413,60	92,66
Verificación	76,24	4,35	1,11	48,12	827,18	185,31
Precisión:	1,53831e-02	4,61943e-04				
Caso	6 - DINAMICO Dirección_Y					
Modo CQC						
Suma final	5,27	38,23	71,76	73,80	9,39	0,60
Suma de reacciones <	2,29	38,20	0,96	410,31	24,51	295,18
Suma de esfuerzos	2,29	38,20	0,96	410,31	24,51	295,19
Verificación	4,58	76,41	1,92	820,62	49,01	590,37
Precisión:	1,53831e-02	4,61943e-04				
Caso	7 - Sx					
Modo						
Suma final	-47,66	-0,00	-0,00	0,07	-88,22	-0,01
Suma de reacciones <	-47,66	-0,00	-0,00	-0,00	-431,25	-23,30
Suma de esfuerzos	47,66	-0,00	0,00	0,00	431,25	23,30
Verificación	0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,00
Precisión:	2,84814e-08	4,22401e-14				
Caso	8 - Sy					
Modo						
Suma final	-0,00	-47,66	-0,00	89,79	-0,09	0,05
Suma de reacciones <	-0,00	-47,66	-0,00	431,25	0,00	-327,81
Suma de esfuerzos	0,00	47,66	0,00	-431,25	0,00	327,81
Verificación	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,00	-0,00
Precisión:	8,98985e-08	8,56650e-13				

**Figura 3.1** Tabla de reacciones de la estructura

**Fuente:** Alex Edison Añilema (Robot Structural)

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Step Label	Location	P tonf	VX tonf	VY tonf	T tonf-m	MX tonf-m
Story1	Sx	LinStatic				Top	0	-47.963	0	442.1231	0
Story1	Sx	LinStatic				Bottom	0	-47.963	0	442.1231	0
Story1	Sy	LinStatic				Top	0	0	-47.963	-243.1669	395.1927
Story1	Sy	LinStatic				Bottom	0	0	-47.963	-243.1669	548.6743
Story1	DINAMICO X	LinRespSpec	Max			Top	0	40.9659	0	343.2941	0
Story1	DINAMICO X	LinRespSpec	Max			Bottom	0	40.9659	0	343.2941	0
Story1	DINAMICO Y	LinRespSpec	Max			Top	0	0	38.3933	170.489	297.5849
Story1	DINAMICO Y	LinRespSpec	Max			Bottom	0	0	38.3933	170.489	414.1528

**Figura 3.2** Tabla con fuerzas actuantes en planta baja

**Fuente:** Alex Edison Añilema (ETABS)

Se chequea el cumplimiento de la **Ecuación 3.1** con la información de las **Figura 3.1** y **Figura 3.2**.

$$V_{Dinamico} \geq 80\% * V_{Estatico}$$

**Ecuación 3.1** Chequeo Dinámico – Estático en estructuras regulares

**Tabla 3.6** Chequeo de cortante Estático - Dinámico

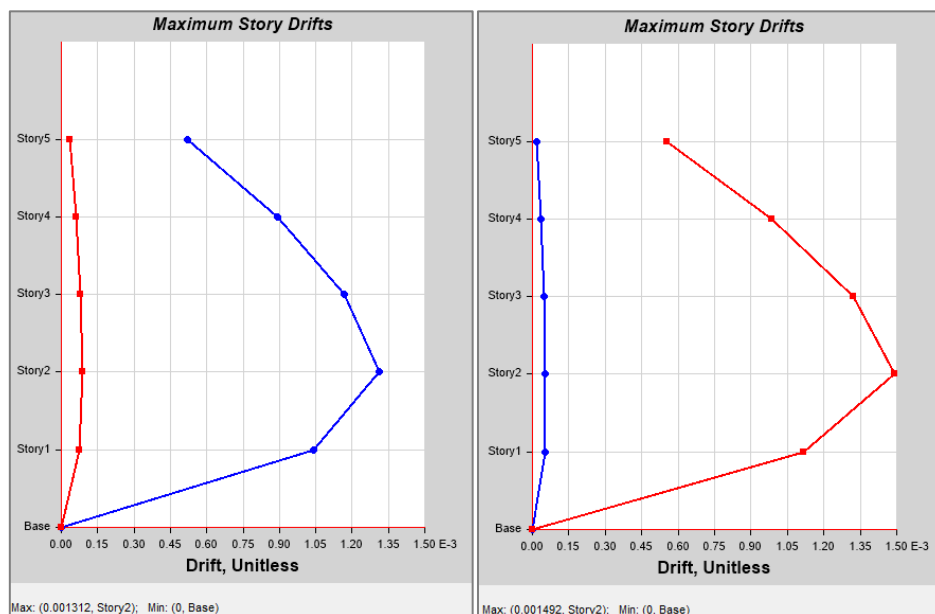
Programa	Caso	Cortante Estático [Tonf]	Caso	Cortante Dinámico [Tonf]	$V_{Dinámico} \geq 80\%V_{Estático}$	Chequeo
ETABS	Sx	47.963	Dinámico X	40.965	$40.965 \geq 38.37$	OK
	Sy	47.963	Dinámico Y	38.393	$38.393 \geq 38.37$	OK
ROBOT STRUCTURAL	Sx	47.660	Dinámico X	40.030	$40.03 \geq 38.12$	OK
	Sy	47.660	Dinámico Y	38.230	$38.23 \geq 38.12$	OK

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

En ETABS como en Robot Structural se cumple la **Ecuación 3.1**, debido a estos resultados y la similitud en los mismos, se comprueba la validación del análisis estático y dinámico en los dos programas.

**Chequeo de Derivas máximas**

Se comparan las derivas obtenidas con Robot Estructural y ETABS, y se verifican que se encuentren dentro del rango admisible de la NEC-SE-DS. La **Figura 3.3** y **Figura 3.4** permitirán la identificación de la deriva máxima obtenida de la estructura.



**Figura 3.3** Deriva máxima obtenidas en ETABS

Caso/Planta	UX (cm)	UY (cm)	dr UX (cm)	dr UY (cm)	d UX	d UY	Max UX (cm)	Max UY (cm)	Min UX (cm)	Min UY (cm)
9 (C)/1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.00001	-0.00000	-0.0	0.0	-0.0	-0.0
9 (C)/2	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.00001	-0.00000	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0
9 (C)/3	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.00001	-0.00000	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0
9 (C)/4	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.00001	-0.00000	-0.0	0.0	-0.0	-0.0
9 (C)/5	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.00001	0.00000	-0.0	0.0	-0.0	-0.0
10 (C)/	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.00001	-0.00000	-0.0	0.0	-0.0	-0.0
10 (C)/	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.00001	-0.00000	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0
10 (C)/	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.00001	-0.00000	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0
10 (C)/	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.00001	-0.00000	-0.0	0.0	-0.0	-0.0
10 (C)/	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.00001	0.00000	-0.0	0.0	-0.0	-0.0
11 (C)/	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.00001	-0.00000	-0.0	0.0	-0.0	-0.0
11 (C)/	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.00001	-0.00000	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0
11 (C)/	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.00001	-0.00000	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0
11 (C)/	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.00001	-0.00000	-0.0	0.0	-0.0	-0.0
11 (C)/	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.00001	-0.00000	-0.0	0.0	-0.0	-0.0
12 (C)/	0.3	0.0	0.3	0.0	0.00085	0.00000	0.3	0.0	0.3	-0.0
12 (C)/	0.0	0.0	0.3	0.0	0.00087	0.00000	0.6	0.0	0.5	-0.0
12 (C)/	0.0	0.0	0.2	0.0	0.00068	0.00000	0.8	0.0	0.8	-0.0
12 (C)/	0.0	0.0	0.1	0.0	0.00045	0.00000	0.9	0.0	0.9	0.0
12 (C)/	0.0	0.0	0.1	-0.0	0.00023	-0.00000	1.0	0.0	1.0	-0.0
13 (C)/	-0.3	-0.0	-0.3	-0.0	-0.00087	-0.00000	-0.3	0.0	-0.3	-0.0
13 (C)/	0.0	0.0	-0.3	-0.0	-0.00090	-0.00000	-0.6	0.0	-0.6	-0.0
13 (C)/	0.0	0.0	-0.2	-0.0	-0.00069	-0.00000	-0.8	-0.0	-0.8	-0.0
13 (C)/	0.0	0.0	-0.1	-0.0	-0.00047	-0.00000	-0.9	-0.0	-0.9	-0.0
13 (C)/	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.00025	0.00000	-1.0	-0.0	-1.0	-0.0
14 (C)/	-0.0	0.4	-0.0	0.4	-0.00001	0.00112	0.0	0.4	-0.0	0.4
14 (C)/	0.0	0.0	-0.0	0.4	-0.00001	0.00119	0.0	0.7	-0.0	0.7
14 (C)/	0.0	0.0	-0.0	0.3	-0.00001	0.00091	0.0	1.0	-0.0	1.0
14 (C)/	0.0	0.0	-0.0	0.2	-0.00001	0.00060	0.0	1.2	-0.0	1.2
14 (C)/	0.0	0.0	-0.0	0.1	-0.00001	0.00030	0.0	1.3	-0.0	1.3
15 (C)/	-0.0	-0.4	-0.0	-0.4	-0.00001	-0.00112	0.0	-0.4	-0.0	-0.4

**Figura 3.4** Tabla con derivas obtenidas en Robot Structural

**Fuente:** Alex Edison Añilema (Robot Structural)

En Etabs las derivas se identificarán gracias a las gráficas e indicación de la deriva máxima obtenida, mientras que en Robot Structural, será necesario filtrar la mayor deriva obtenida en la tabla con derivas y desplazamientos. Las derivas obtenidas con Robot Estructural y ETABS son menores al 2% en sus dos direcciones por lo que se cumple con la normativa de diseño.

**Tabla 3.7** Chequeo de Deriva Máxima

Programa	Cargas actuantes	Deriva elástica	Deriva plástica	Deriva Máxima 2% (NEC-SE-DS)	Chequeo
ETABS	Sx	0.0013	0.0079	$0.00787 \leq 0.02$	OK
	Sy	0.0015	0.0090	$0.00895 \leq 0.02$	OK
ROBOT STRUCTURAL	General	0.0016	0.0095	$0.00948 \leq 0.02$	OK
	General	0.0017	0.0105	$0.01049 \leq 0.02$	OK

Se compara las derivas de los dos programas y se calculó una diferencia porcentual, encontrándose en el rango de 20% y 10%.

**Tabla 3.8** Diferencia porcentual entre programas

Sentido	ROBOT ESTRUCTURAL	ETABS	DIFERENCIA
X	0.0061	0.0090	19.71%
Y	0.0080	0.0105	11.26%

**Elaborado por:** Alex Edison Añilema

## Reacciones y momentos

### Masa estructural

Se compara las masas estructurales con el cual realizan el análisis estructural siendo **Tabla 3.9** las masas para cada piso en Robot Structural y **Tabla 3.10** el resumen de masas para ETABS.

**Tabla 3.9** Resumen de masas por piso (Robot Structural)

Nombre	Masa (ton)	G (x, y, z) (m)	R (x, y, z) (m)	Ix ( $kgm^2$ )	Iy ( $kgm^2$ )	Iz ( $kgm^2$ )
CB	103.543	6.879 -0.487 15.650	6.858 -0.500 15.591	2763355	959827	3632010
P4	128.558	6.881 -0.489 12.518	6.858 -0.500 12.391	3322776	1139786	4366448
P3	128.619	6.881 -0.489 9.318	6.858 -0.500 9.191	3322709	1139790	4366385
P2	128.619	6.881 -0.489 6.118	6.858 -0.500 5.991	3322709	1139790	4366385
P1	128.619	6.882 -0.489 2.919	6.858 -0.500 2.791	3320560	1138964	4363625

**Tabla 3.10** Resumen de masas por piso (ETABS)

Story	UX	UY	UZ
	ton	ton	ton
Story5	95.41	95.41	0
Story4	131.87	131.87	0
Story3	131.87	131.87	0
Story2	131.87	131.87	0
Story1	131.87	131.87	0
Base	11.29	11.29	0

En la **Tabla 3.11** se muestra la masa total de las estructuras en los dos casos, donde en ETABS se obtiene una mayor masa estructural. La diferencia entre los dos programas es de 3.963 [tonf] que equivale a un 0.6%.

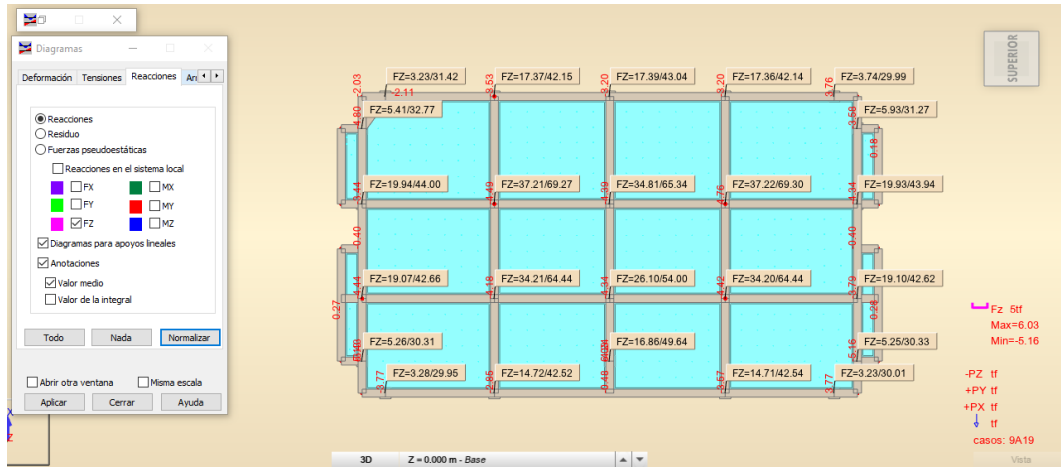
**Tabla 3.11** Masa estructural

Programa	Masa Total [Ton]
ETABS	622.896
Robot Structural	618.933

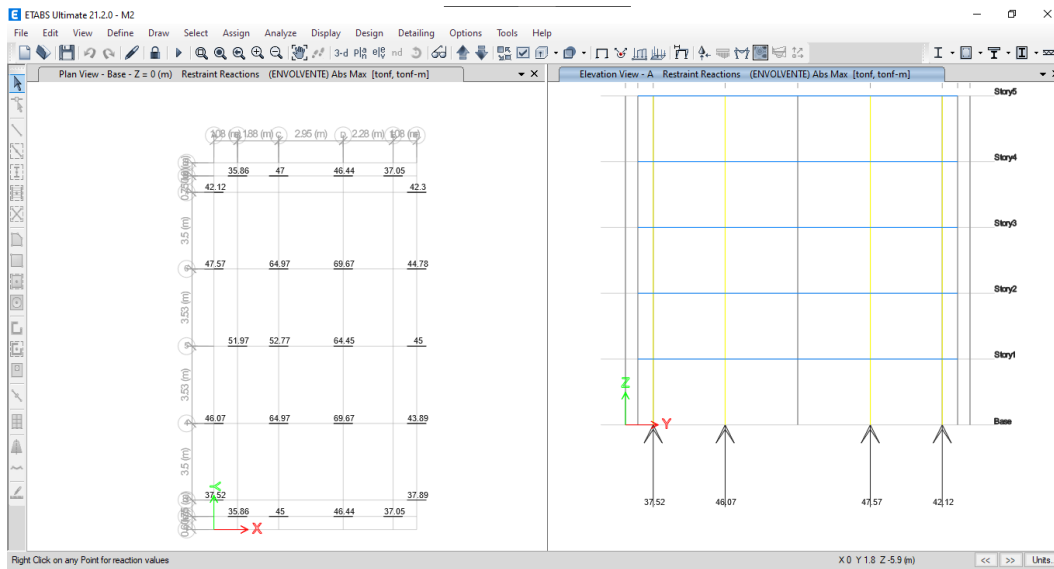


## Fuerzas en base

En una vista en planta en la **Figura 3.5** para Robot Structural y **Figura 3.6** para ETABS 21, se muestran las reacciones que se presentan en las bases de las columnas.



**Figura 3.5** Reacciones en la base del edificio  
Fuente: Alex Edison Añilema (Robot Structural)



**Figura 3.6** Reacciones en la base del edificio  
Fuente: Alex Edison Añilema (ETABS)

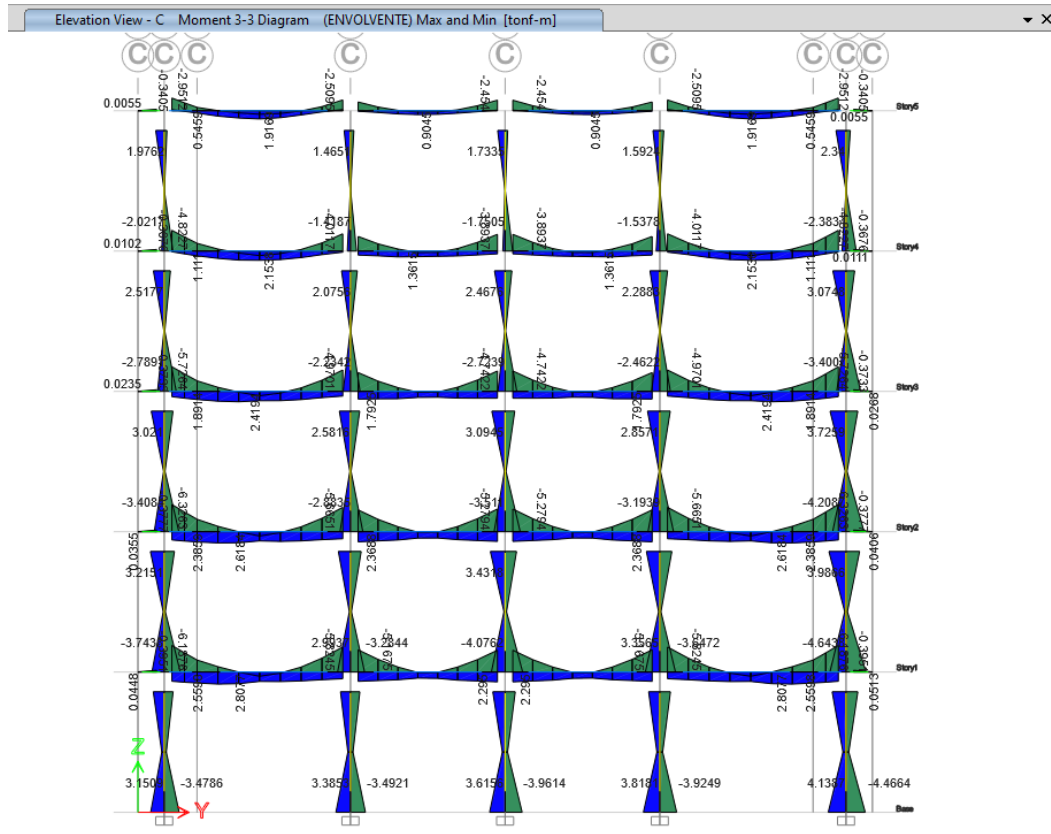
Se compara las máximas reacciones obtenidas en base de las dos estructuras en la **Tabla 3.12**, donde ETABS tiene una mayor reacción con 69.67 [ton], con una diferencia de 0.37 [tonf] en comparación con Robot Structural.

**Tabla 3.12** Reacciones máximas en base

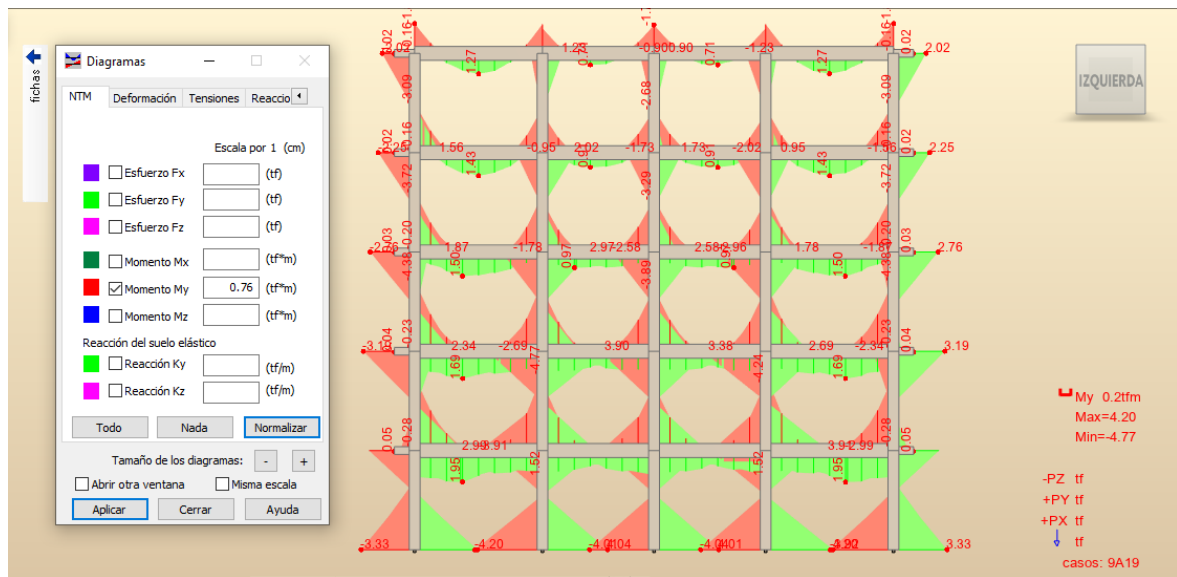
Programa	Reacción en base [ton]
ETABS	69.67
Robot Structural	69.30

## Envolvente en Eje C

Los momentos máximos representados por la envolvente en el portico más cargado del eje C se muestran a continuación en las figuras **Figura 3.7** y **Figura 3.8**.



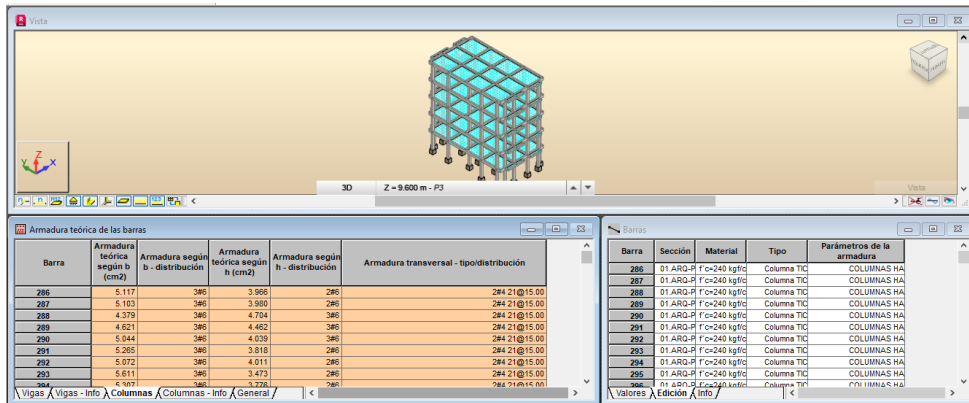
**Figura 3.7** Momentos en Eje C (ETABS)



**Figura 3.8** Momentos en Eje C (Robot Structural)

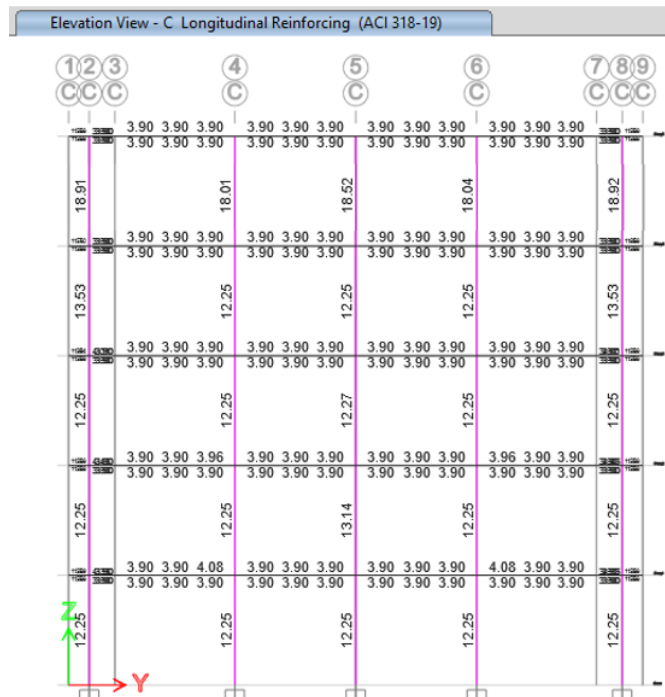
## Armado estructural

Revisado el periodo, las reacciones, las masas y en los dos casos validado el análisis Estático – Dinámico, procedemos a diseñar el armado estructural de los elementos del edificio. En Robot Structural como en ETABS, al diseñar una estructura de hormigón permite observar la cantidad de acero necesario o el armado requerido. Robot Structural permite observar el armado teórico necesario **Figura 3.9**, el ANEXO XIII, el cual contiene el armado teórico recomendado para las columnas.



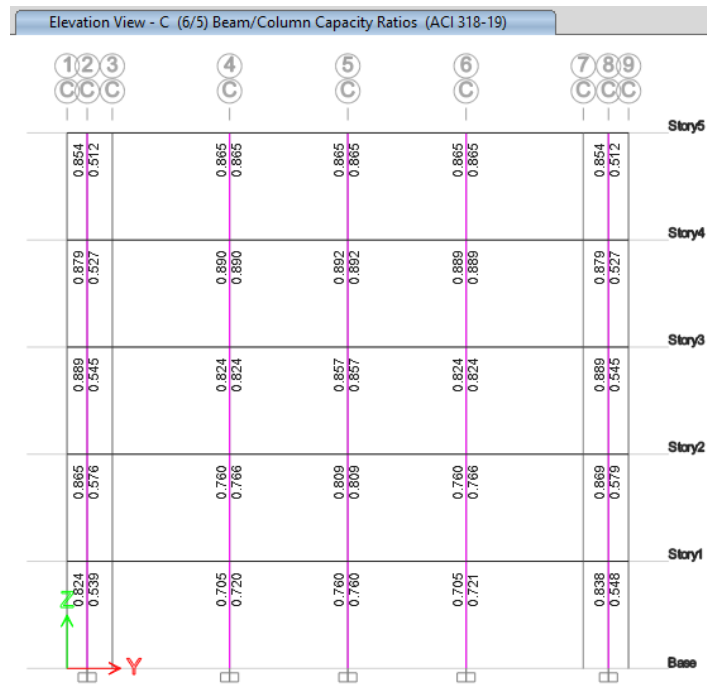
**Figura 3.9** Armado teórico en Robot Structural

ETABS por otro lado proporciona la información como la cantidad de acero necesario para cada elemento estructural, **Figura 3.10**. Lo cual es útil para seleccionar el armado ideal.



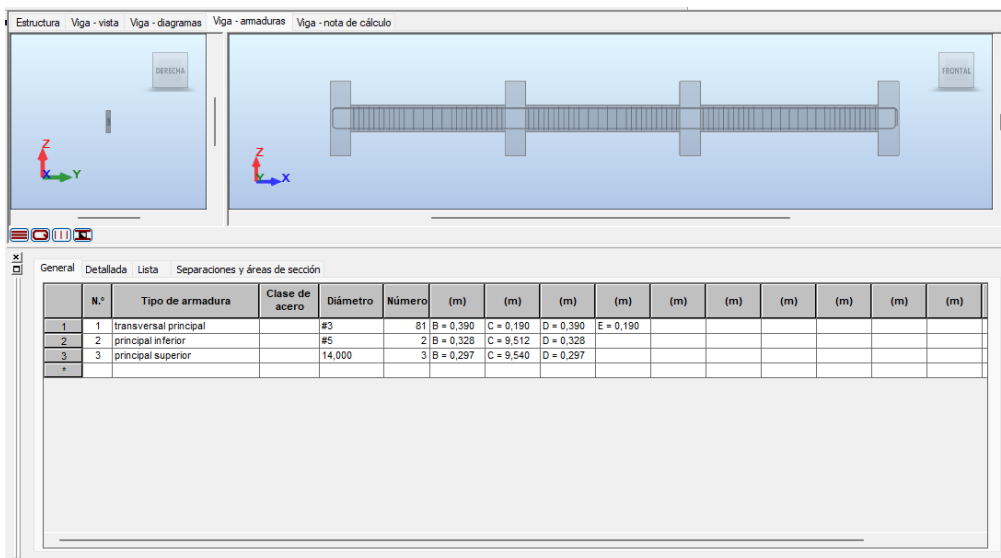
**Figura 3.10** Cantidad de acero en cm<sup>2</sup> en el portico C – ETABS 21

En Robot Structural como en ETABS, también se permite el chequeo de Columnas fuerte - Viga Debil. La **Figura 3.11** comprueba que la estructura cumple el criterio de diseño.



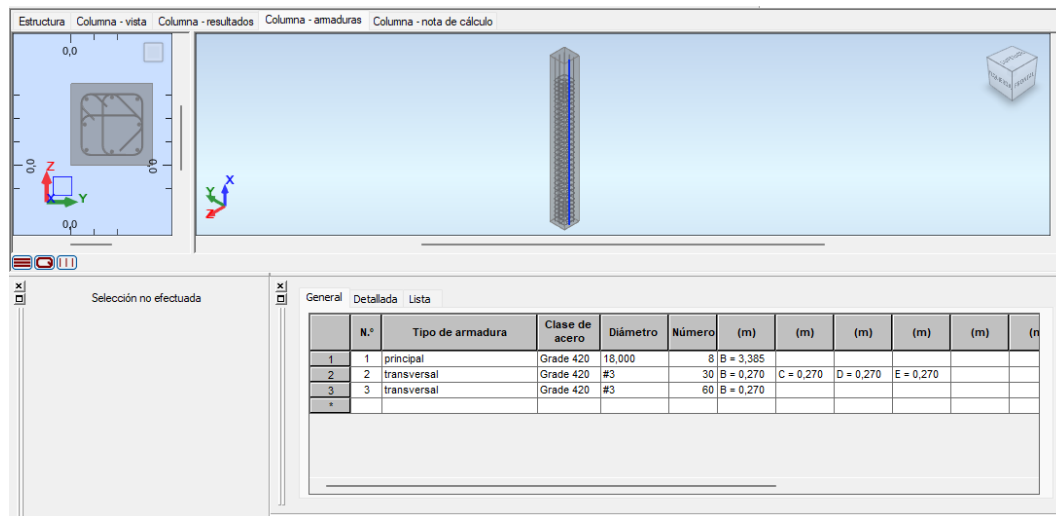
**Figura 3.11** Comprobación de Columna fuerte – Viga Débil

Mediante la información del armado teórico ANEXO XIII, así como el acero recomendado por **Figura 3.10**, y el ANEXO XI. Se realiza el armado estructural del elemento, en el caso de las vigas se tiene la **Figura 3.12**, donde se muestra el armado, la sección y una planilla del elemento estructural.



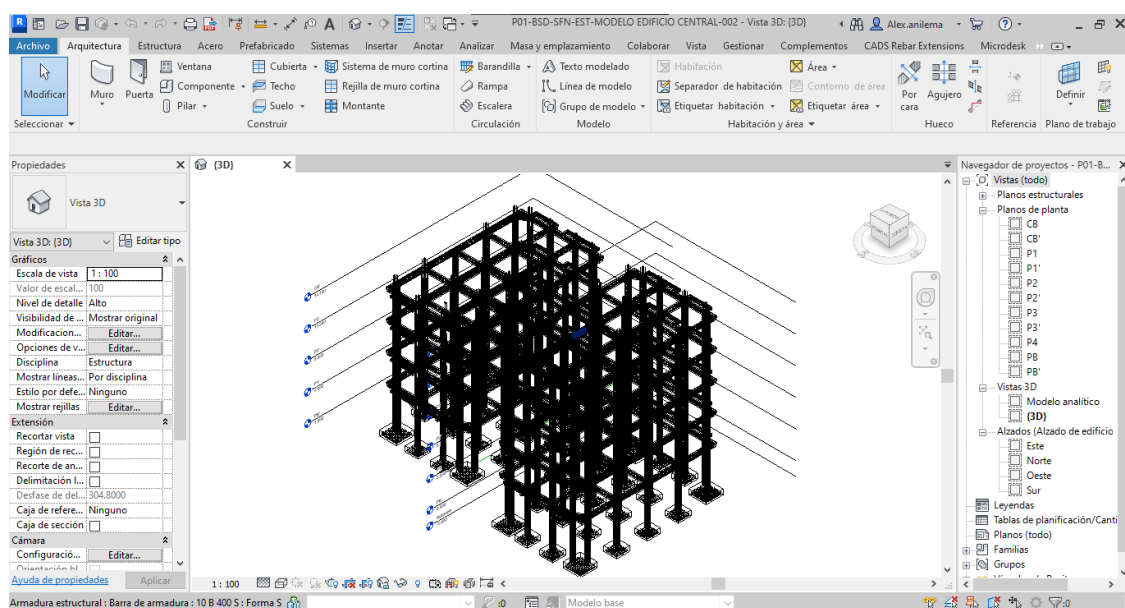
**Figura 3.12** Armado estructural de viga – Robot Structural

Para el armado en el caso de las columnas en la **Figura 3.13**, se puede observar cómo es el armado en la sección de la columna, así como la separación de estribos mostrado en la planilla y en la visualización tridimensional de la columna.



**Figura 3.13** Armado estructural de columna – Robot Structural

El proceso de diseño estructural y armado estructural en *Robot AnalySys Structural* son indicados en los ANEXO XI y ANEXO XII donde se puede evidenciar los pasos y cálculos realizados para el armado de la viga en la **Figura 3.12** y la columna en la **Figura 3.13**. La verificación de la resistencia de la viga y la columna diseñada con anterioridad puede verificarse en los informes de diseño de Robot Structural en el ANEXO XIV. Se repite el mismo procedimiento de armado de los anexos antes mencionados en todos los elementos presentes de la estructura. Finalizado el armado de los elementos estructurales se renvía esta información a REVIT como la **Figura 3.14**.



**Figura 3.14** Armado estructural del edificio vinculado de Robot Structural a Revit

## 3.2 CONCLUSIONES

El presente trabajo ha culminado de manera exitosa con la implementación de herramientas BIM para el análisis y diseño de la estructura principal empleada a lo largo del proyecto inmobiliario "San Francisco". A través de la interoperabilidad de la información entre "REVIT" para el modelado tridimensional de la estructura y "Robot Analysis Structural Professional" para el análisis estructural, se ha logrado obtener un diseño estructural que cumple con la normativa ecuatoriana de diseño NEC-2015.

En Ecuador, la industria de la construcción carece de una normativa o un plan claro para la implementación de las herramientas BIM, en comparación con países vecinos como Perú, Chile y Brasil que han tenido avances significativos en la adopción del BIM en la industria de la construcción. El uso de herramientas BIM para el diseño, planificación y ejecución de proyectos solo es adoptado por el sector privado y académico que se enfocan en la exploración de esta metodología en las diversas áreas de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción. Este proyecto ha permitido observar la implementación de las herramientas BIM en el campo de la ingeniería estructural, cumpliendo con la normativa de diseño ecuatoriana y comparándola con la metodología tradicional de diseño.

El método tradicional de diseño estructural emplea un diseño en 2D, el cual está limitado a los planos en planta, vista y sección. Por otro lado, la fase de diseño con el método tradicional de diseño no permite la interacción de las diferentes disciplinas, lo cual puede implicar posibles correcciones en la fase de ejecución debido a la falta de coordinación entre disciplinas.

En el trabajo se menciona las ventajas de la adopción del BIM en el diseño, mejorar la eficiencia, diseño y planificación, por otro lado, permite la detección y resolución de conflictos y errores de diseño entre las diferentes especialidades debido a que permite la interacción de las disciplinas. Mediante el presente trabajo, se comprueba esta interacción al vincular el modelo estructural desde el modelo central arquitectónico, los elementos cambiados en la disciplina estructural se deben actualizar en el arquitectónico y viceversa esto debido y gracias a la interoperabilidad de la información entre las disciplinas. Esta interacción e interoperabilidad de la información entre programas permitirán la detección de problemas de diseño y mejorando su planificación una vez puesta en marcha.

Para la ejecución del análisis sísmico y diseño estructural empleando la NEC-SE-DS, debido a la falta de documentación y a la carencia de manuales que empleen la normativa ecuatoriana para el modelado en estructuras de hormigón armado en Robot Structural, se empleó la documentación y manuales que emplean la normativa peruana (E-030 Diseño sismorresistente). Mediante la documentación e información de diferentes foros se ejecuta el análisis estructural, empleando las recomendaciones y especificaciones de la NEC-SE-DS.

Para una verificación del diseño estructural empleando Robot Structural, se usó el programa ampliamente utilizado en el análisis y diseño estructural en Ecuador, ETABS. ETABS a diferencia de Robot Structural, posee amplia documentación y manuales que emplean la normativa ecuatoriana por lo que permitió una mejor comprobación de los resultados.

La comparación entre los resultados obtenidos por los programas de análisis estructural "Robot Analysis Structural" y "ETABS" se obtienen resultados que varían en rangos similares. Para el módulo departamental de 5 pisos, siendo una estructura aporticada de hormigón armado con vigas peraltadas, se presentan diferencias entre 0.5% y 1% en los valores de los periodos, reacciones en la base y masa estructural total. En los dos casos de análisis sísmico y estructural de la edificación, se cumplen los criterios recomendados por la NEC, como la validación del análisis estático y dinámico, derivas máximas inferiores al 2% y periodos que no superen el 30% del periodo fundamental. Debido a los resultados obtenidos en los dos casos y a la baja diferencia, se confirma la seguridad sísmica y estructural de la edificación.

Por último, para el diseño estructural mediante ETABS se comprueba la capacidad y resistencia del nudo y se obtienen la cantidad de acero recomendado por el programa. Mientras que por el lado de Robot Structural, este programa proporciona un armado teórico el cual es una recomendación del armado estructural calculado por programa empleando refuerzo de acero ASTM. Se intentó cambiar, crear y modificar el catálogo de refuerzo de acero con los diámetros de acero y propiedades del material existentes en el país, pero sin resultados exitosos, debido a esto el modelado del armado de los elementos estructurales emplearon los diámetros del catálogo ASTM.

### 3.3 RECOMENDACIONES

Para la ejecución del presente trabajo se emplea herramientas BIM como “REVIT” para el modelado tridimensional y “Robot Analisis Structural” para el análisis estructural para el adecuado del flujo de trabajo en BIM, se recomienda una formación y capacitación adecuada debido a distintos parámetros que llegan a utilizar cada uno de los programas, así como la norma de diseño de la que disponen y utilizan.

Para facilitar la comparación de resultados, se recomienda mantener los mismos nombres de las secciones, cargas y análisis a lo largo de las diferentes etapas del análisis en ambos programas de diseño utilizados. Esto facilitará la identificación de los parámetros a comparar o revisar. Es importante tener en cuenta que, en la mayoría de los casos, Robot Structural proporciona tablas generales o informes con una gran cantidad de información, lo que requiere la identificación y filtrado de datos pertinentes. Por otro lado, ETABS ofrece tablas más específicas y, en algunos casos, incluso gráficos, como es el caso de las derivas.

Es crucial evitar depositar una confianza absoluta en el uso exclusivo de software o herramientas de diseño estructural. Siempre se deben complementar con comprobaciones manuales de los resultados obtenidos. La verificación manual es esencial para detectar posibles errores y anomalías que podrían no ser evidentes en los resultados generados por el software. Al realizar comprobaciones manuales, los ingenieros pueden identificar inconsistencias, validar suposiciones y asegurarse de que los resultados del análisis sean precisos y confiables. Esta práctica garantiza un diseño estructural robusto y seguro, mitigando el riesgo de fallas y optimizando el rendimiento de la estructura en su conjunto.

El software de análisis Robot Structural ofrece el armado o refuerzo teórico calculado por el programa, el cual utiliza las dimensiones del acero de refuerzo del catálogo ASTM metric. Sin embargo, es importante destacar que existe una discrepancia entre las características del acero de refuerzo incluidas en este catálogo y las variedades de aceros comerciales disponibles en nuestro país. Por lo tanto, se recomienda realizar una investigación exhaustiva para adaptar y, en su caso, crear un catálogo que refleje con precisión las propiedades y dimensiones de los aceros comerciales utilizados localmente. Esta iniciativa permitirá una mejor alineación entre el software y las prácticas de diseño y construcción vigentes en nuestra región, mejorando así la precisión y la eficacia de los análisis estructurales realizados con Robot Structural.



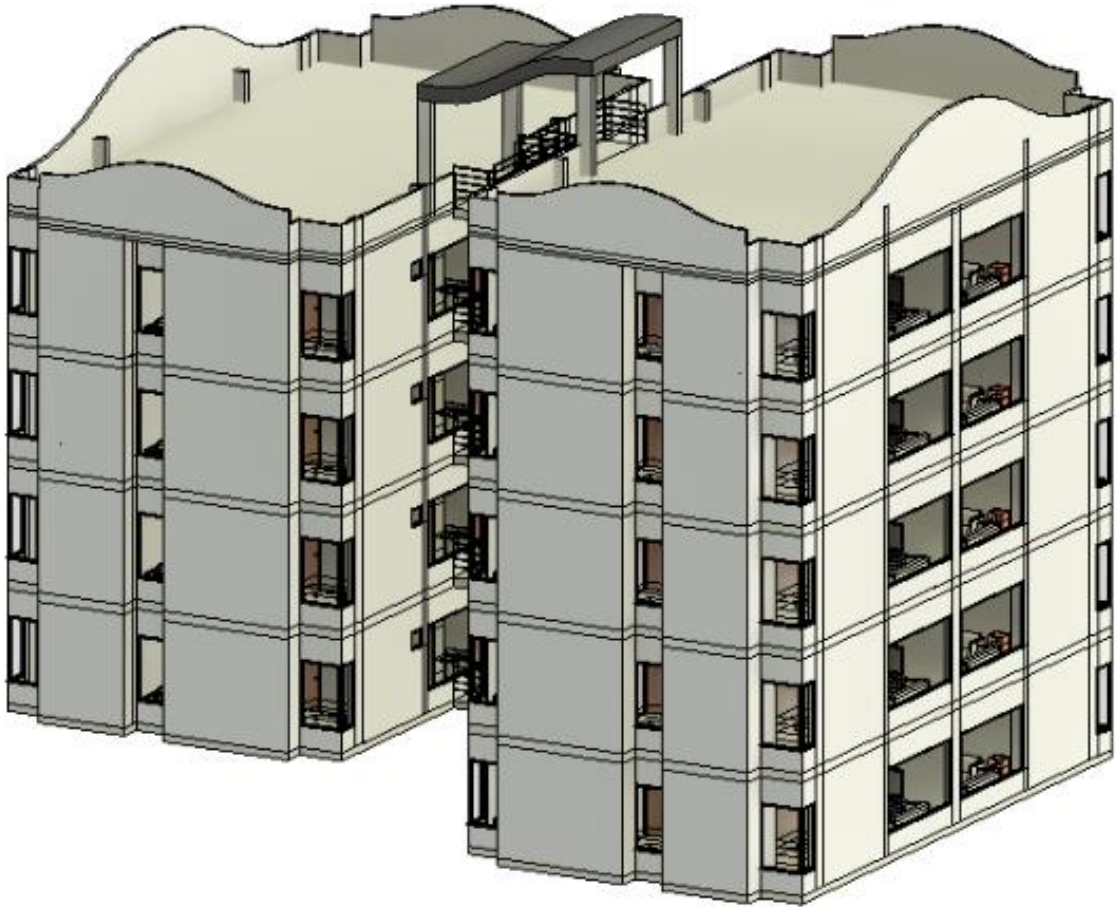
## 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alianza BIM. (2022). BIM en Ecuador: ¿Para cuándo un estándar nacional?
- American Concrete Institute. (2019). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19).
- Autodesk. (2021). Acerca del modelo analítico estructural. Autodesk Revit 2022.
- Coloma Pico, O. (2008). INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA BIM. Barcelona: Departament d'Expressió Gràfica Arquitectònica I.
- Cotohuanca, L. C. (07 de 07 de 2023). BIM enfocado en la Ingeniería estructural. KONSTRUEDU.
- Felipe, C. G., Soler S., M., & González M., R. (2014). Introducción a la metodología BIM. Spanish Journal of building information modelling.
- Liu, Z. Z. (2016). *The Building Information Modeling and its Use for Data*. Journal of Applied Science and Engineering. doi:<https://doi.org/10.6180/jase.2016.19.3.05>
- López V., A. (2016). Una (r)evolución llamada BIM. Revista Técnica CEMENTO HORMIGÓN.
- Meana, V., Bello, A., & García, R. (2019). Análisis de la implantación de la metodología BIM en los grados de ingeniería industrial en España bajo la perspectiva de las competencias. Santiago: Revista ingeniería de construcción, 34(2), 169-180.
- MIDUVI. (2014). Norma Ecuatoriana de Construcción: Cargas (no sísmicas). Quito.
- MIDUVI. (2014). Norma Ecuatoriana de Construcción: Estructuras de Hormigón Armado. Quito.
- MIDUVI. (2014). Norma Ecuatoriana de Construcción: Peligro Sísmico, diseño sísmo resistente. Quito

## 5 ANEXOS

## ANEXO I Planos Arquitectónicos

- **Plano 000** Implantación general del Proyecto
- **Plano 001** Planta General
- **Plano 002** Fachada Frontal
- **Plano 003** Planta Departamento Tipo



- **Ilustración 1:** Modelo Arquitectónico



IMPLANTACION GENERAL



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

ESCIENTIA HOMINIS SALUS

DESCRIPCIÓN:  
**PLANOS ARQUITECTÓNICOS**

PROYECTO:  
**PROYECTO INMOBILIARIO**

DESCRIPCIÓN:  
**PLANTA GENERAL**

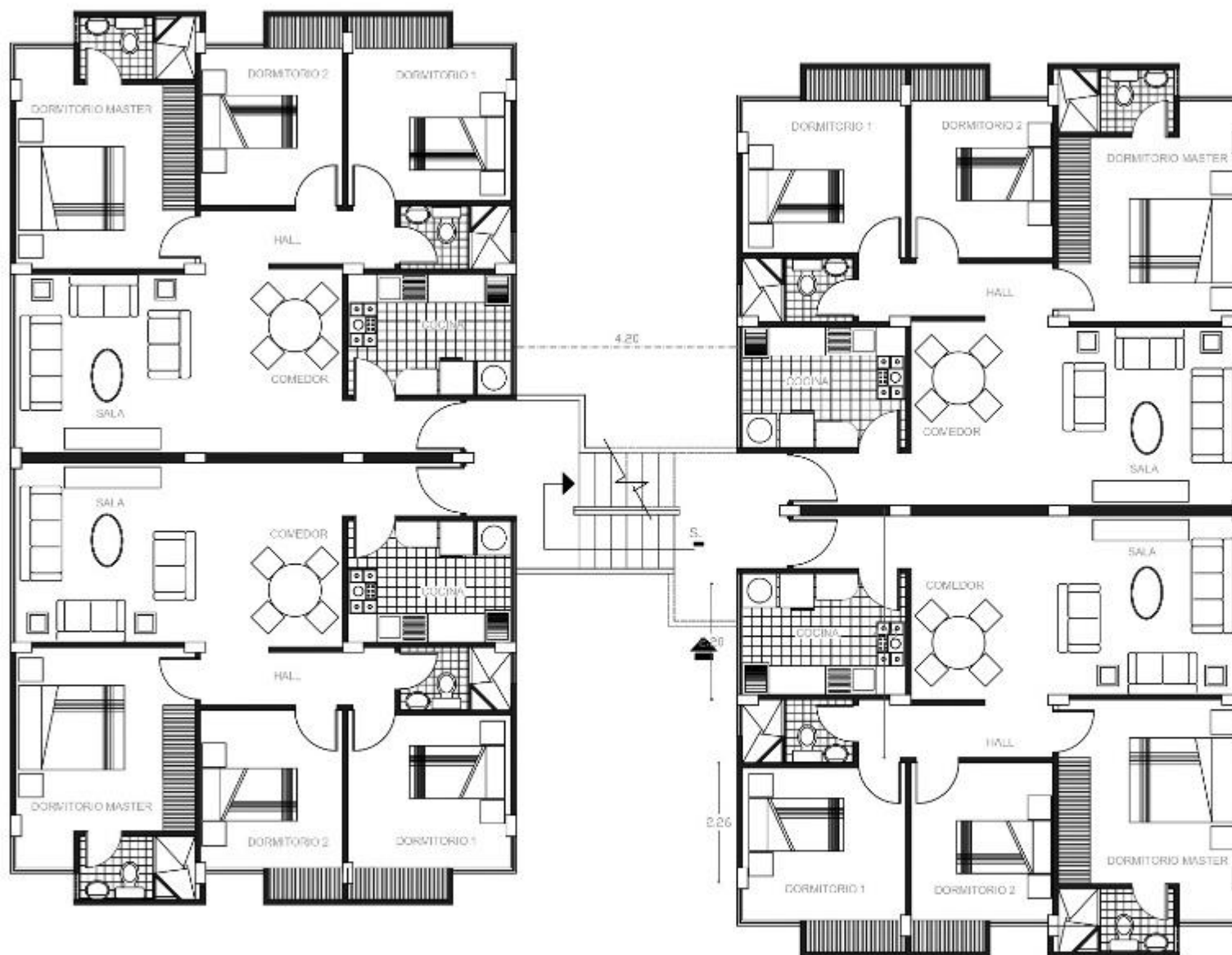
REVISADO POR:  
**ING. PABLO PINTO**

ELABORADO POR:  
**ALEX EDISON AÑILEMA A.**

FECHA: 06/02/2024      ESCALA: INDICADAS

ID PLANO:  
**A-000**

SELLOS:



## PLANTA GENERAL DE UN BLOQUE

ESCALA 1:-----100

DESCRIPCIÓN:

**PLANOS ARQUITECTÓNICOS**

PROYECTO:

**PROYECTO INMOBILIARIO**

DESCRIPCIÓN:

**PLANTA GENERAL**

REVISADO POR:

**ING. PABLO PINTO**

ELABORADO POR:

**ALEX EDISON AÑILEMA A.**

FECHA:

06/02/2024

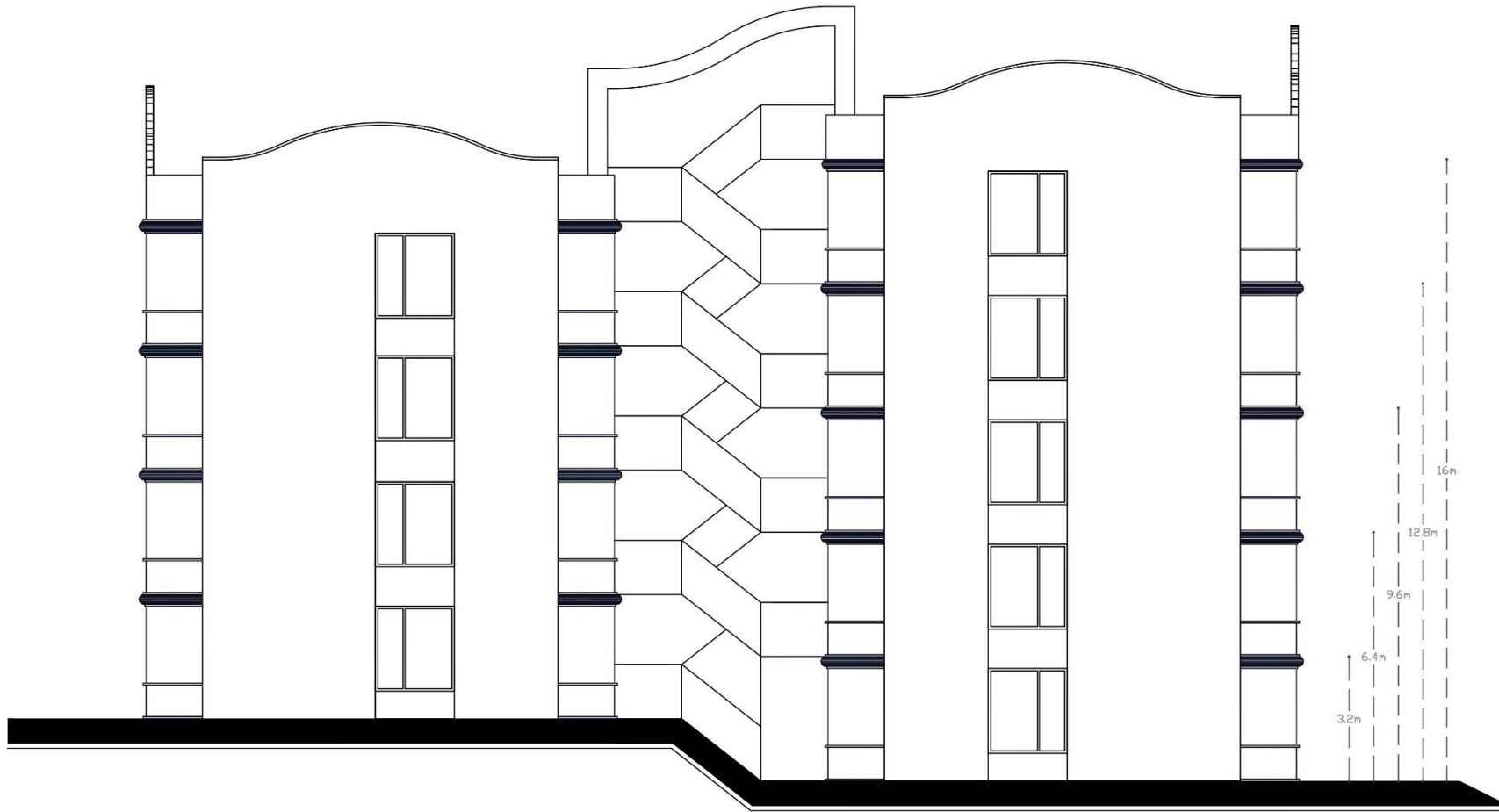
ESCALA:

INDICADAS

ID PLANO:

**A-001**

SELLOS:



**FACHADA FRONTAL**  
ESCALA 1:-----100

DESCRIPCIÓN:

**PLANOS ARQUITECTÓNICOS**

PROYECTO:  
**PROYECTO INMOBILIARIO**

DESCRIPCIÓN:  
**FACHADA FRONTAL**

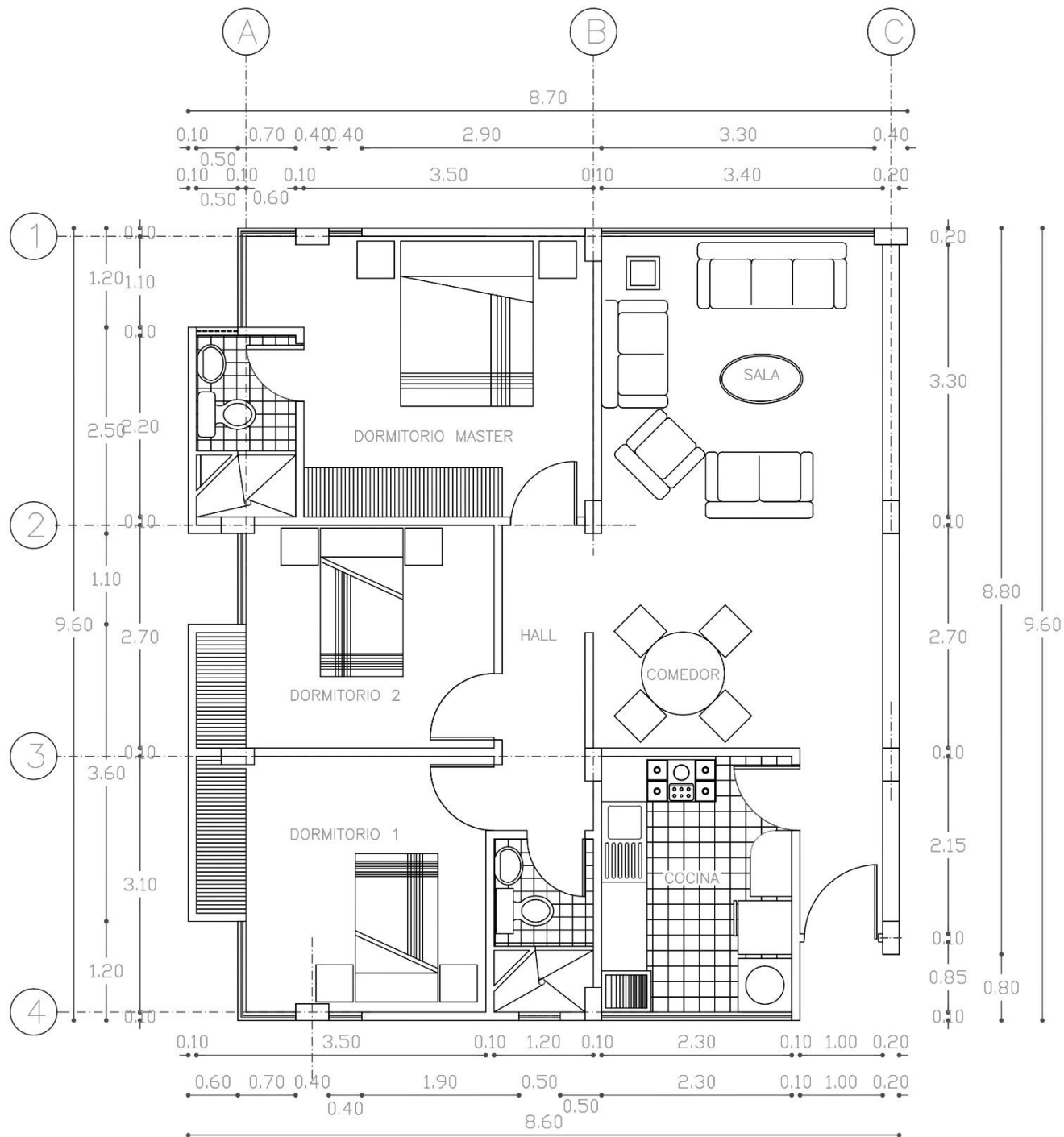
REVISADO POR:  
**ING. PABLO PINTO**

ELABORADO POR:  
**ALEX EDISON AÑILEMA A.**

FECHA: 06/02/2024 ESCALA: INDICADAS

ID PLANO:  
**A-002**

SELLOS:



PLANTA DEPARTAMENTO TIPO

ESCALA 1-----100

DESCRIPCIÓN:

**PLANOS ARQUITECTÓNICOS**

PROYECTO:

**PROYECTO INMOBILIARIO**

DESCRIPCIÓN:

**PLANTA DEPARTAMENTO**

REVISADO POR:

**ING. PABLO PINTO**

ELABORADO POR:

**ALEX EDISON AÑILEMA A.**

FECHA: 06/02/2024 ESCALA: INDICADAS

ID PLANO:

**A-003**

SELLOS:

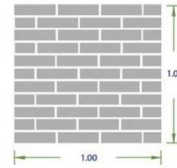
## ANEXO II Peso de Mampostería

### PESO DE MAMPOSTERÍA

#### Bloque 10 cm

[PL-9]

<i>Peso</i>	$p := 7 \text{ kgf}$
<i>Ancho</i>	$e := 9 \text{ cm}$
<i>Base</i>	$b := 0.39 \text{ m}$
<i>Altura</i>	$h := 0.19 \text{ m}$
<i>Enlucido</i>	$i := 0.5 \text{ cm}$
	$ie := 2 \text{ cm}$



#### ¿Cuántos Bloques hay en una pared?

Numero de Bloques por m2:

$$Nb := \frac{1}{(b + ie) \cdot (h + ie)} = 11.614 \frac{1}{m^2}$$

**Peso de Bloque por m2:**

$$Pb := Nb \cdot p \cdot m^2 = 81.301 \text{ kgf}$$

Área mampostería:

$$Am := (1 - Nb \cdot b \cdot h) \cdot m^2 = 0.13937 \text{ m}^2$$

Volumen de Mortero por Bloque:

$$Vm := Am \cdot e = 0.01254 \text{ m}^2 \cdot \frac{1}{m^2} \cdot m^3$$

**Peso de mortero en Bloques:**

$$Pm := Vm \cdot 2200 \frac{\text{kgf}}{m^3} = 27.596 \text{ kgf}$$

Volumen Enlucido:

$$Vi := 2 \cdot i \cdot 1 \text{ m}^2 = 0.01 \text{ m}^3$$

**Peso del enlucido:**

$$Pi := Vi \cdot 2200 \frac{\text{kgf}}{m^3} = 22 \text{ kgf}$$

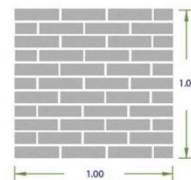
¿Cuánto Pesa un  $m^2$  de pared?

$$P_{mam\_10cm} := \frac{(Pb + Pm + Pi)}{m^2} = 130.897 \frac{\text{kgf}}{m^2}$$

#### Bloque 15 cm

[PL-14]

<i>Peso</i>	$p := 9.2 \text{ kgf}$
<i>Ancho</i>	$e := 14 \text{ cm}$
<i>Base</i>	$b := 0.39 \text{ m}$
<i>Altura</i>	$h := 0.19 \text{ m}$
<i>Enlucido</i>	$i := 0.5 \text{ cm}$
	$ie := 2 \text{ cm}$



#### ¿Cuántos Bloques hay en una pared?

Numero de Bloques por m2:

$$Nb := \frac{1}{(b + ie) \cdot (h + ie)} = 11.614 \frac{1}{m^2}$$

**Peso de Bloque por m2:**

$$Pb := Nb \cdot p \cdot m^2 = 106.852 \text{ kgf}$$

Área mampostería:

$$Am := (1 - Nb \cdot b \cdot h) \cdot m^2 = 0.13937 \text{ m}^2$$

Volumen de Mortero por Bloque:

$$Vm := Am \cdot e = 0.01951 \text{ m}^2 \cdot \frac{1}{m^2} \cdot m^3$$

**Peso de mortero en Bloques:**

$$Pm := Vm \cdot 2200 \frac{\text{kgf}}{m^3} = 42.927 \text{ kgf}$$

Volumen Enlucido:

$$Vi := 2 \cdot i \cdot 1 \text{ m}^2 = 0.01 \text{ m}^3$$

**Peso del enlucido:**

$$Pi := Vi \cdot 2200 \frac{\text{kgf}}{m^3} = 22 \text{ kgf}$$

¿Cuánto Pesa un  $m^2$  de pared?

$$P_{mam\_15cm} := \frac{(Pb + Pm + Pi)}{m^2} = 171.779 \frac{\text{kgf}}{m^2}$$



## ANEXO III Predimensionamiento de Losa Alivianada

### PREDIMENSIONAMIENTO DE LOSA ALIVIANADA

#### I). Losa en 1 o 2 direcciones

$$L_{largo} := 3.6 \text{ m}$$

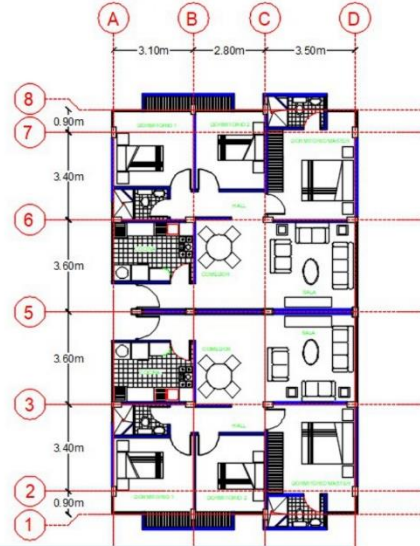
$$L_{corto} := 3.5 \text{ m}$$

$$\beta := \frac{L_{largo}}{L_{corto}} = 1.029$$

**Nota:** Se selecciona el caso más desfavorable.

if ( $\beta > 2$ , "Losa 1D", "Losa 2D") = "Losa 2D"

Se diseñará a losa en dos direcciones.



#### II). Altura mínima de losa (ACI 318-19, 8.3.1.2)

$$l_n := 4.3 \text{ m} \quad f_y := 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$h_{min} := \frac{l_n \cdot \left( 0.8 + \frac{f_y}{1400} \frac{9.81 \text{ cm}^2}{100 \text{ kg}} \right)}{36 + 9 \cdot \beta} = 10.397 \text{ cm}$$

∴ La losa alivianada será de una altura mínima de 10.5 cm en losa maciza

#### III). Maciza a alivianada

Mediante una hoja Excel se calcula la inercia de la losa alivianada y se compara con la inercia de la losa maciza.



Si bien una losa alivianada de 19 cm duplica la inercia de una losa maciza, debido a las posibles cargas que se presentes y a temas constructivos se selecciona una losa alivianada con 19 cm de espesor.

Peso de la losa alivianada

$$P_{losa} := 700 \cdot \text{cm}^2 \cdot 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^4}$$

$$P_{losa} = 168 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Altura de la losa alivianada

$$h_{losa} := 19 \text{ cm}$$

## ANEXO IV Cargar ultima para predimensionamiento

### CARGA ULTIMA PARA PREDIMENSIONAMIENTO

#### I) Carga muerta

Peso mampostería de 10 cm:  $p_{mam_{10cm}} = 130.897 \frac{kgf}{m^2}$

Área mampostería de 10 cm:  $A_{10_{mam}} := 282.8 m^2$

Peso mampostería de 15 cm:  $p_{mam_{15cm}} = 171.779 \frac{kgf}{m^2}$

Área mampostería de 15 cm:  $A_{15_{mam}} := 24 m^2$

Área de Losa:  $A_{losa} := 160.32 m^2$

Instalaciones edificio  $I_{edificio} := 10 \frac{kgf}{m^2}$

Carga muerta por mampostería:  $W_{Dm} := \frac{p_{mam_{10cm}} \cdot A_{10_{mam}} + p_{mam_{15cm}} \cdot A_{15_{mam}}}{A_{losa}} + I_{edificio} = 266.613 \frac{kgf}{m^2}$

Carga muerta incluida peso de losa  $W_D := W_{Dm} + P_{losa} = 434.613 \frac{kgf}{m^2}$

#### II) Carga viva para vivienda

Carga viva de acuerdo a edificación para vivienda  $W_L := 200 \frac{kgf}{m^2}$

#### III) Carga ultima

Carga ultima calculada  $W_u := 1.2 W_D + 1.6 \cdot W_L = 841.536 \frac{kgf}{m^2}$

# ANEXO V Predimensionamiento de vigas

## PREDIMENSIONAMIENTO DE VIGAS

### Vigas diseñadas por control de deflexiones

Definimos la altura mínima de las vigas de acuerdo a ACI 9.3.1.1

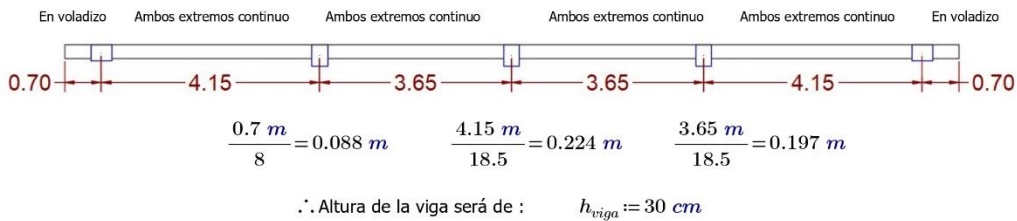
Altura mínima de vigas no preesforzadas

Condición de apoyo	Altura mínima, $h$ <sup>[1]</sup>
Simplemente apoyada	$l/16$
Con un extremo continuo	$l/18.5$
Ambos extremos continuos	$l/21$
En voladizo	$l/8$

<sup>[1]</sup> Los valores son aplicables al concreto de peso normal y  $f_c = 420 \text{ MPa}$ .

ACI: 9.3.1.1

Se identifica cada uno de los tipos de apoyos



Definimos el ancho de las vigas

**Caso 1:**  $bw := 0.3 \cdot h_{viga} = 9 \text{ cm}$

**Caso 2:**  $bw := 25 \text{ cm}$

$$bw := \max(25 \text{ cm}, 0.3 \cdot h_{viga})$$

$$bw = 0.25 \text{ m}$$

∴ El ancho mínimo de la viga será de 25 cm

### Carga triangular/Trapezoidal a carga distribuida

**Nota:** Debido a la simetría de la estructura solo se calculará hasta la mitad de la viga y se replicarán los resultados en la otra mitad

$l1 := 0.7 \text{ m}$

$l2 := 4.15 \text{ m}$

$l3 := 3.65 \text{ m}$

**longitud eje 4-3**

$lv1 := 2.9 \text{ m}$

**Longitud eje 3-2**

$lv2 := 3.4 \text{ m}$

Voladizo

$$q1 := Wu \cdot l1 = 0.842 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

Vano de los ejes A-B

$$q2 := \frac{Wu \cdot lv1}{3} \cdot \left( 3 - \left( \frac{lv1}{l2} \right)^2 \right) = 1.022 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

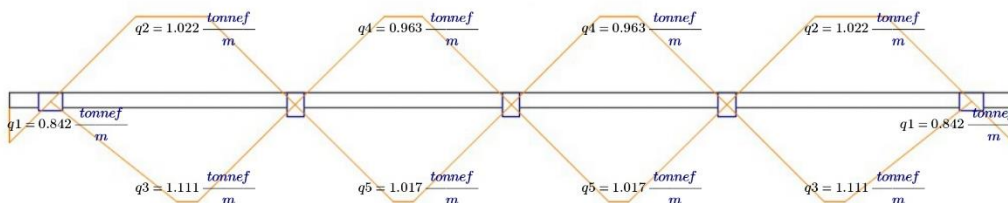
$$q3 := \frac{Wu \cdot lv2}{3} \cdot \left( 3 - \left( \frac{lv2}{l2} \right)^2 \right) = 1.111 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

Vano de los ejes B-C

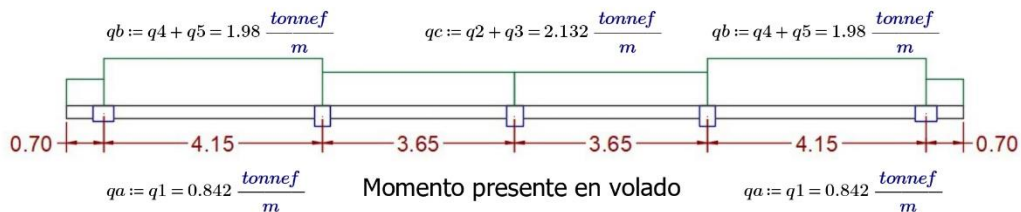
$$q4 := \frac{Wu \cdot lv1}{3} \cdot \left( 3 - \left( \frac{lv1}{l3} \right)^2 \right) = 0.963 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

$$q5 := \frac{Wu \cdot lv2}{3} \cdot \left( 3 - \left( \frac{lv2}{l3} \right)^2 \right) = 1.017 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

*Distribución de cargas presentes en la viga del eje 3*



### Distribución de cargas uniformes



### Análisis Estructural Simplificado

Voladizo

$$\frac{q_a \cdot l_1^2}{2} = 0.206 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Vano de los ejes A-B

$$\frac{q_b \cdot l_2^2}{11} = 3.101 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Vano de los ejes B-C

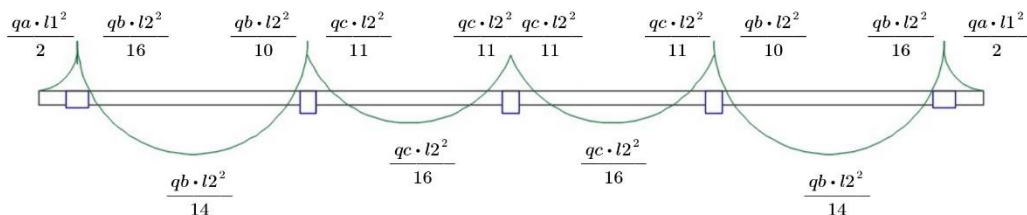
$$\frac{q_c \cdot l_3^2}{11} = 2.582 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$\frac{q_b \cdot l_2^2}{16} = 2.132 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$\frac{q_c \cdot l_3^2}{16} = 1.775 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$\frac{q_b \cdot l_2^2}{10} = 3.411 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

### Momento aproximado obtenidos



∴ Se tiene que el momento último aproximado será

$$M_u := \frac{q_b \cdot l_2^2}{10} = 3.411 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

### Diseño de viga por capacidad

#### Cálculo de acero mínimo

Resistencia a compresión del concreto [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_c := 240$

Resistencia a fluencia del acero [kgf/cm<sup>2</sup>]  $f_y := 4200$

Peralte de la viga sin el recubrimiento  $d := h_{viga} - 6 \text{ cm} = 0.24 \text{ m}$

$$A_{s_{min}} := \frac{0.8 \cdot \sqrt{f_c}}{f_y} \cdot b_w \cdot d = 1.771 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_{min}} := \frac{14}{f_y} \cdot b_w \cdot d = 2 \text{ cm}^2$$

### Cálculo de acero máximo

Acero máximo

$$\beta := 0.85$$

Cuantía balanceada

$$P_b := 0.85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c}{f_y} \left( \frac{6300}{6300 + f_y} \right) = 0.025$$

Acero máximo

$$A_{s_{max}} := 0.5 \cdot P_b \cdot b_w \cdot d = 7.431 \text{ cm}^2$$

### Momento de diseño

Resistencia a compresión del concreto

[kgf/cm<sup>2</sup>]

$$f_c := f_c \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Resistencia a fluencia del acero

[kgf/cm<sup>2</sup>]

$$f_y := f_y \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Factor de reducción de resistencia en vigas

$$\phi := 0.9$$

Momento de diseño máximo

$$\phi M_{n_{max}} := \phi \cdot A_{s_{max}} \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{A_{s_{max}} \cdot f_y}{1.7 f_c \cdot b_w} \right) = 5.882 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Momento de diseño mínimo

$$\phi M_{n_{min}} := \phi \cdot A_{s_{min}} \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{A_{s_{min}} \cdot f_y}{1.7 f_c \cdot b_w} \right) = 1.752 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

if ( $M_u < \phi M_{n_{max}}$ , "Ok", "Rediseñar") = "Ok"

## PREDIMENSIONAMIENTO DE VIGAS

### Vigas diseñadas por control de deflexiones

Definimos la altura mínima de las vigas de acuerdo a ACI 9.3.1.1

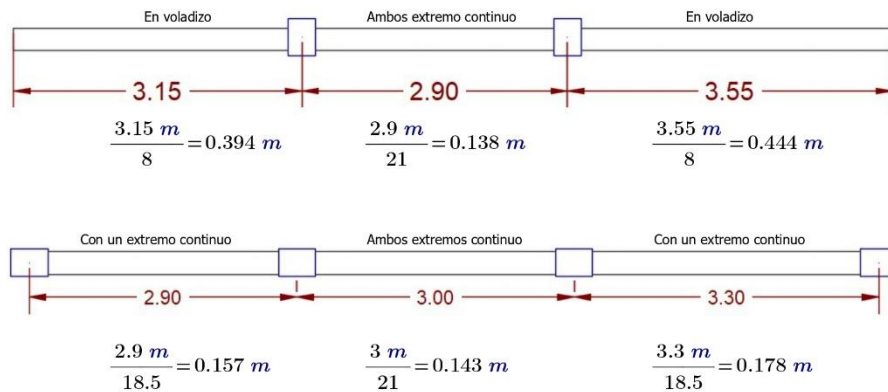
Altura mínima de vigas no preesforzadas

Condición de apoyo	Altura mínima, $h$ <sup>[1]</sup>
Simplemente apoyada	$l/16$
Con un extremo continuo	$l/18.5$
Ambos extremos continuos	$l/21$
En voladizo	$l/8$

<sup>[1]</sup> Los valores son aplicables al concreto de peso normal y  $f_y = 420$  MPa.

ACI: 9.3.1.1

Se identifica cada uno de los tipos de apoyos



∴ Altura de la viga será de :  $h_{viga} := 45\text{ cm}$

Definimos el ancho de las vigas

**Caso 1:**  $bw := 0.3 \cdot h_{viga} = 13.5\text{ cm}$

**Caso 2:**  $bw := 25\text{ cm}$

$$bw := \max(25\text{ cm}, 0.3 \cdot h_{viga})$$

$$bw = 0.25\text{ m}$$

∴ El ancho mínimo de la viga será de 25 cm

### Carga triangular/Trapezoidal a carga distribuida

**Nota:** Debido a la simetría de la estructura solo se calculará hasta la mitad de la viga y se replicaran los resultados en la otra mitad

$l1 := 2.9\text{ m}$

$l2 := 3\text{ m}$

$l3 := 3.30\text{ m}$

**longitud eje 4-3**

$lv1 := 3.65\text{ m}$

**Longitud eje 3-2**

$lv2 := 4.25\text{ m}$

Vano de los ejes A-B

$$q1 := \frac{Wu \cdot l1}{3} = 0.813 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

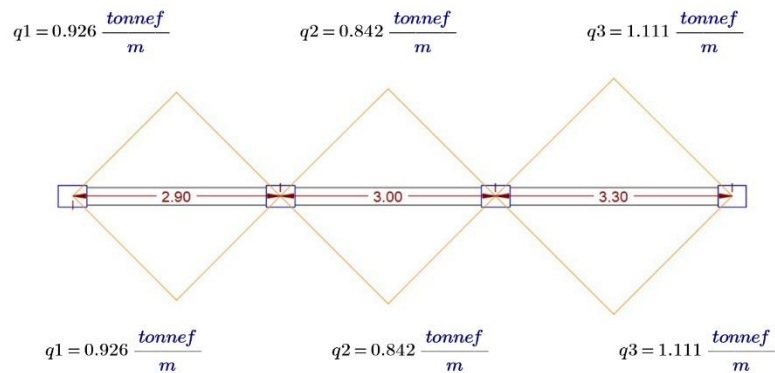
Vano de los ejes B-C

$$q2 := \frac{Wu \cdot l2}{3} = 0.842 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

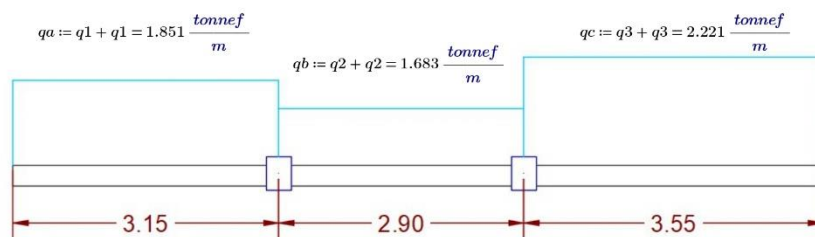
Vano de los ejes C-D

$$q1 := \frac{Wu \cdot l3}{3} = 0.926 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

Distribución de cargas presentes en la viga del eje 3



Distribución de cargas uniformes



Análisis Estructural Simplificado

Voladizo

$$\frac{q_a \cdot l_1^2}{16} = 0.973 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$\frac{q_b \cdot l_1^2}{14} = 1.011 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$\frac{q_b \cdot l_1^2}{10} = 1.415 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Vano de los ejes A-B

$$\frac{q_b \cdot l_2^2}{11} = 1.377 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$\frac{q_b \cdot l_2^2}{16} = 0.947 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

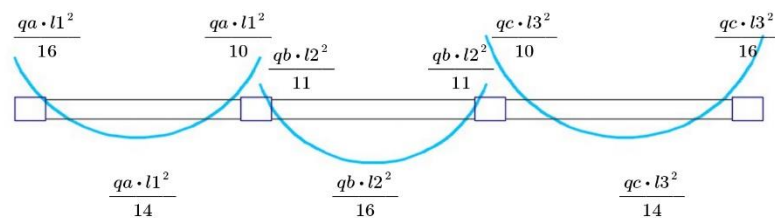
Vano de los ejes B-C

$$\frac{q_c \cdot l_3^2}{10} = 2.419 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$\frac{q_c \cdot l_3^2}{14} = 1.728 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$\frac{q_c \cdot l_3^2}{16} = 1.512 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

**Momento aproximado obtenidos**



∴ Se tiene que el momento último aproximado será

$$M_u := \frac{q_c \cdot l_3^2}{10} = 2.419 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

## Vigas diseñadas por Capacidad

### Cálculo de acero mínimo

Resistencia a compresión del concreto	[kgf/cm <sup>2</sup> ]	$f_c := 240$
Resistencia a fluencia del acero	[kgf/cm <sup>2</sup> ]	$f_y := 4200$
Peralte de la viga sin el recubrimiento		$d := h_{viga} - 6 \text{ cm} = 0.39 \text{ m}$

$$A_{s_{min}} := \frac{0.8 \cdot \sqrt{f_c}}{f_y} \cdot bw \cdot d = 2.877 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_{min}} := \frac{14}{f_y} \cdot bw \cdot d = 3.25 \text{ cm}^2$$

### Cálculo de acero máximo

Acero máximo	$\beta := 0.85$
Cuantía balanceada	$P_b := 0.85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c}{f_y} \left( \frac{6300}{6300 + f_y} \right) = 0.025$
Acero máximo	$A_{s_{max}} := 0.5 \cdot P_b \cdot bw \cdot d = 12.076 \text{ cm}^2$

### Momento de diseño

Resistencia a compresión del concreto [kgf/cm <sup>2</sup> ]	[kgf/cm <sup>2</sup> ]	$f_c := f_c \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$
Resistencia a fluencia del acero [kgf/cm <sup>2</sup> ]	[kgf/cm <sup>2</sup> ]	$f_y := f_y \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$
Factor de reducción de resistencia en vigas		$\phi := 0.9$
Momento de diseño máximo		$\phi M n_{max} := \phi \cdot A_{s_{max}} \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{A_{s_{max}} \cdot f_y}{1.7 f_c \cdot bw} \right) = 15.533 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$
Momento de diseño mínimo		$\phi M n_{min} := \phi \cdot A_{s_{min}} \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{A_{s_{min}} \cdot f_y}{1.7 f_c \cdot bw} \right) = 4.627 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$

if ( $Mu < \phi M n_{max}$ , "Ok", "Rediseñar") = "Ok"

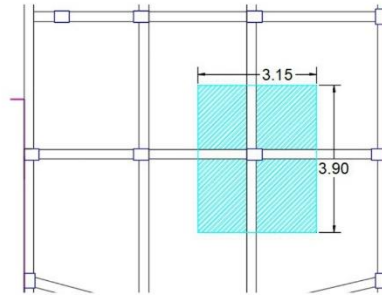


## ANEXO VI Predimensionamiento de Columnas

### PREDIMENSIONAMIENTO DE COLUMNA

#### Diseño de columna C3:

Número de pisos:	$N_{pisos} := 5$
Área aportante:	$A_{tr} := 12.285 \text{ m}^2$
Carga ultima:	$W_u = 0.842 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$



#### Peso soportado por columna

$$P_u := W_u \cdot A_{tr} \cdot N_{pisos} = 51.691 \text{ tonnef}$$

#### Pre-diseño columna:

Cuantía balanceada en columnas	$P_{st} := 0.015$
	$1.2 \cdot P_u < P_b \quad P_b := \frac{P_u}{3}$
	$P_o := 0.85 \cdot f_c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}$
	$A_{st} := P_{st} \cdot A_g$

\* Se reemplaza y despeja el área bruta

Área bruta de columna	$A_g := \frac{1.2 \cdot P_u \cdot 3}{0.85 \cdot f_c \cdot (1 - P_{st}) + f_y \cdot P_{st}} = 705.042 \text{ cm}^2$
-----------------------	--

Columna cuadrada [b=h]	$b := \sqrt[2]{A_g} = 0.266 \text{ m}$
------------------------	--

#### Dimensión de columna:

\* Seleccionamos una columna cuadrada con dimensiones de 35 x 35

Base y altura de columna:	$h := 35 \text{ cm}$
Área bruta con dimensión seleccionada:	$A_{gc} := 35 \text{ cm} \cdot 35 \text{ cm} = 1225 \text{ cm}^2$

if ( $A_g < A_{gc}$ , "Ok", "Rediseñar") = "Ok"

## ANEXO VII Criterios de Predimensionamiento

### CRITERIOS DE PREDIMENSIONAMIENTO

Las secciones resisten las cargas de servicio o sobrecarga a las que sean solicitadas. Por facilidad constructiva y criterios de diseño sismorresistente, se incrementan las secciones de los elementos y se emplean las mismas secciones en todos los elementos.

#### Dimensiones de las vigas:

Vigas 25x45

$h_{viga} := 45 \text{ cm}$

$bw := 25 \text{ cm}$

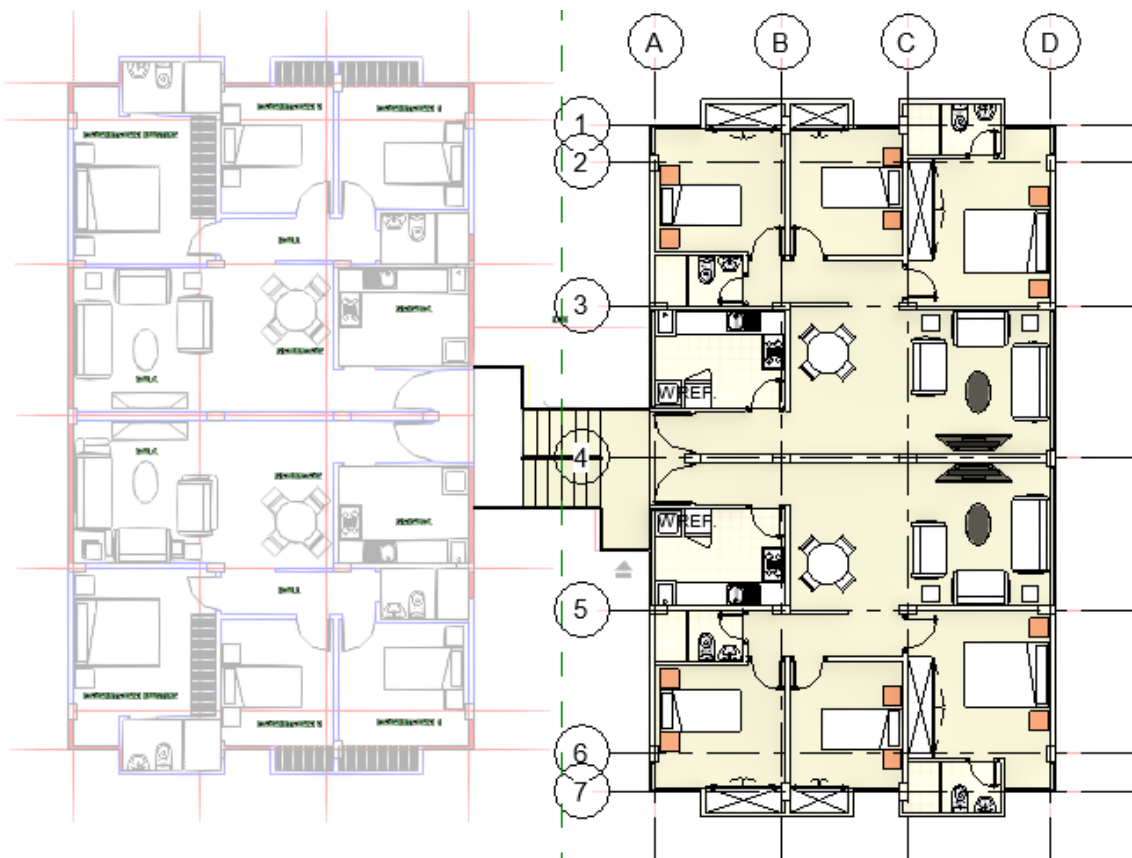
#### Dimensiones de las columnas:

Columna 35x35

$h := 35 \text{ cm}$

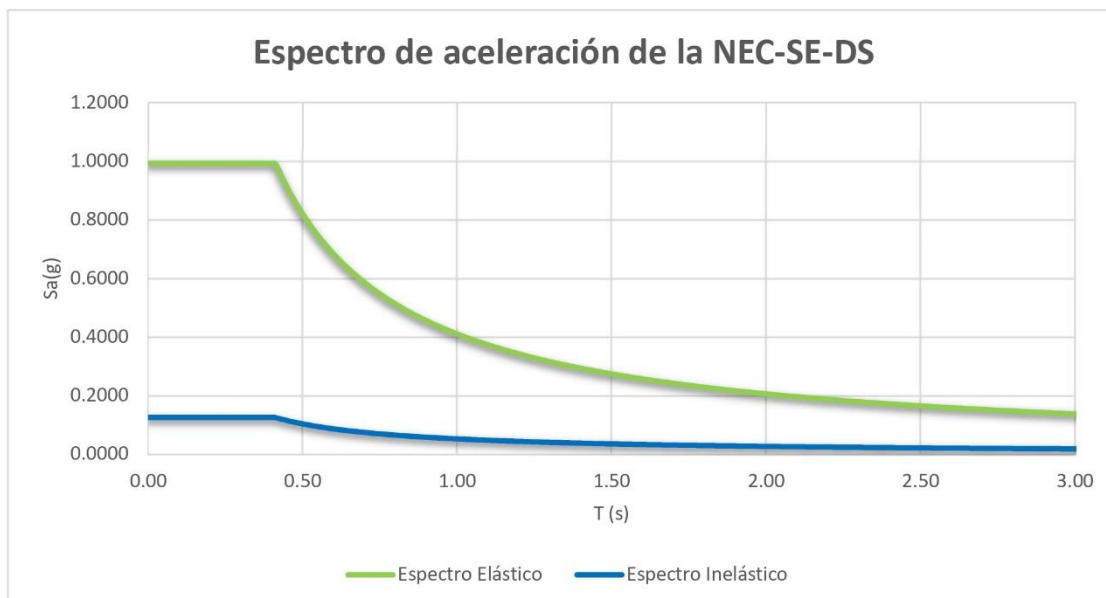
$b := 35 \text{ cm}$

## ANEXO VIII Planta Arquitectónica Modificada



## ANEXO IX Cortante Basal

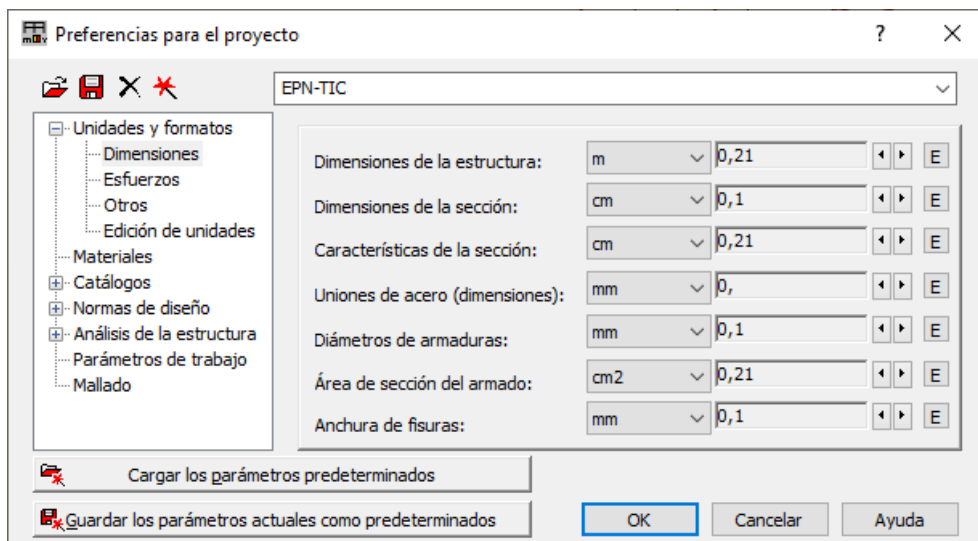
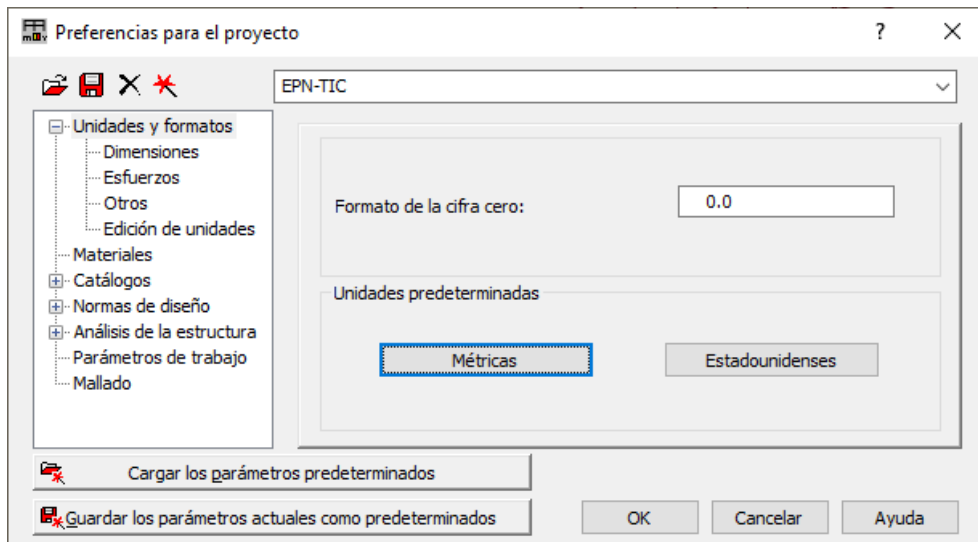
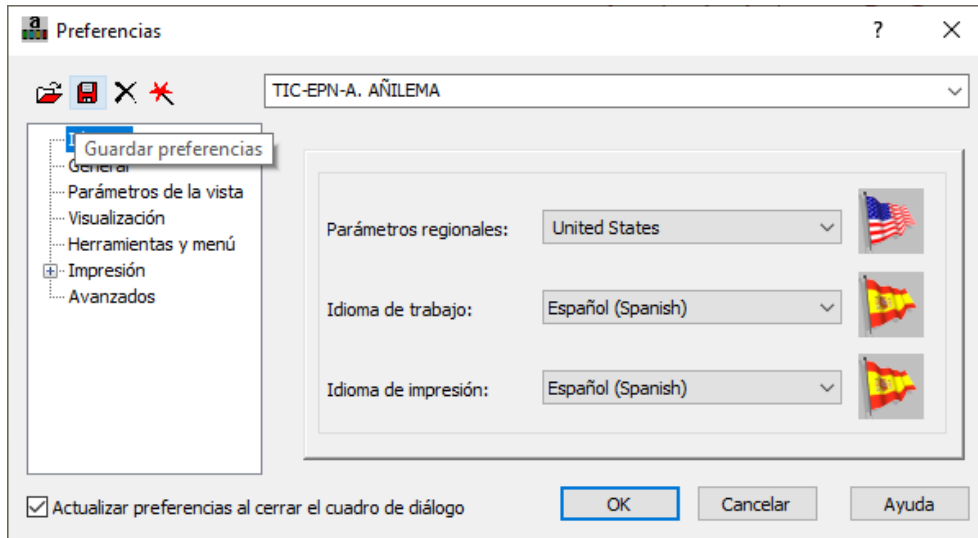
ESPECTRO DE ACCELERACIÓN - NEC 15			
<b>Zonificación sísmica y Geología Local</b>			
Zona Sísmica		V	3.1.1
Factor de Zona Sísmica	z	0.4	3.1.1
Tipo de Suelo		B	3.2.1
<b>Coefficientes de Perfil de Suelo</b>			
Zona de período corto	Fa	1	3.2.2.a
Amplificación de las ordenadas	Fd	1	3.2.2.b
Comportamiento no lineal de los suelos	Fs	0.75	3.2.2.c
<b>Espectro Elástico de Diseño</b>			
Razón entre la aceleración espectral	$\eta$	2.48	3.3.1
Factor usado en el espectro de diseño elástico	r	1	3.3.1
Período límite de vibración en el espectro Sa	Tc	0.4125	3.3.1
<b>6.3.3. Determinación del período de vibración T</b>			
Coefficiente de Tipo de Estructura	Ct	0.055	6.3.3.a
Coefficiente de Tipo de Estructura	$\alpha$	0.9	6.3.3.a
Altura Máxima	h	16	
Período de Vibración	Ta	0.667	6.3.3.a
<b>6.3.2 Cortante basal de diseño V</b>			
Factor de Importancia	I	1	4.1
Coefficientes de configuración en elevación	$\phi_e$	1	5.2
Coefficientes de configuración en planta	$\phi_p$	1	5.2
Factor de reducción de resistencia sísmica	R	8	6.3.4
Espectro de diseño en aceleración	Sa(Ta)	0.614	3.3.1
Coefficiente de cortante Basal	V	0.077	3.3.2





## ANEXO X Configuración de Robot Structural

Se muestra la configuración de Software Robot Analysis Structural Profesional.



**Preferencias para el proyecto** [?] [X]

EPN-TIC

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

Fuerza: kgf 0,21 E

Momento: tf\*m 0,21 E

Tensión: tf/m2 0,21 E

Cargar los parámetros predeterminados

Guardar los parámetros actuales como predeterminados

OK Cancelar Ayuda

**Definición del material** [?] [X]

Acero Hormigón Aluminio Madera Otros

Nombre: Fy=4200 kgf/cm<sup>2</sup> Descripción: Acero de refuerzo fy=4200 kgf/cm<sup>2</sup>

Elasticidad

módulo de Young, E: 2100000,0 (tf/m<sup>2</sup>)

coeficiente de Poisson, v: 0,3

coeficiente de Kirchoff, G: 7842038,0 (tf/m<sup>2</sup>)

Resistencia

Característico 25310,50 (tf/m<sup>2</sup>)

reducción para el cortante: 1,66

límite de tracción: 42000,00 (tf/m<sup>2</sup>)

Peso específico (densidad): 7849,05 (kgf/m<sup>3</sup>)

Dilatación térmica: 0,000012 (1/°C)

Coeficiente de: 0,06

Tratamiento térmico

Agregar Eliminar OK Cancelar Ayuda

**Definición del material** [?] [X]

Acero Hormigón Aluminio Madera Otros

Nombre: f'c=240 kgf/cm<sup>2</sup> Descripción: Default Concrete f'c=240 kgf/cm<sup>2</sup>

Elasticidad

módulo de Young, E: 2347917,3 (tf/m<sup>2</sup>)

coeficiente de Poisson, v: 0,2

coeficiente de Kirchoff, G: 978298,89 (tf/m<sup>2</sup>)

Resistencia

Característico 2400 (tf/m<sup>2</sup>)

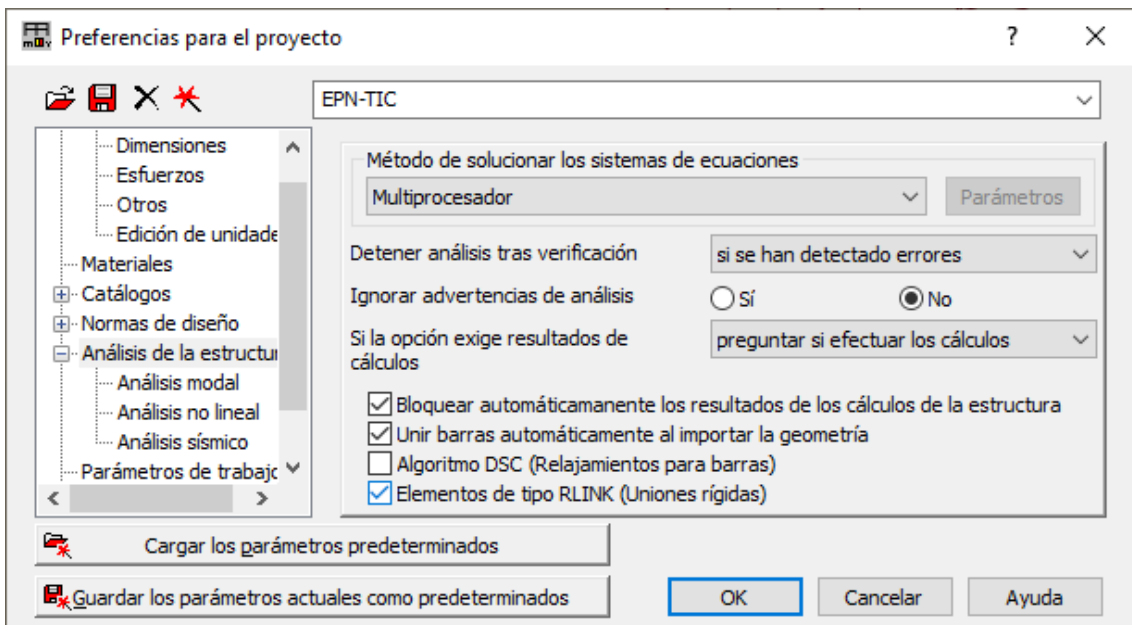
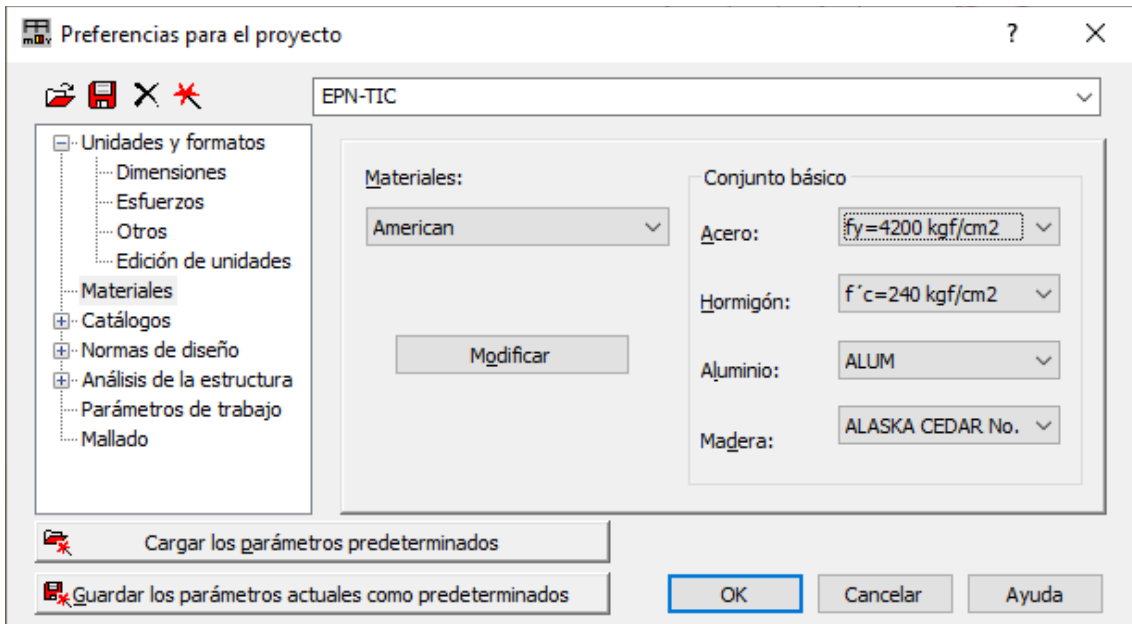
Muestra: Cilíndrico

Peso específico (densidad): 2400 (kgf/m<sup>3</sup>)

Dilatación térmica: 0,0000099 (1/°C)

Coeficiente de amortiguamiento: 0,15

Agregar Eliminar OK Cancelar Ayuda



## ANEXO XI Diseño estructural

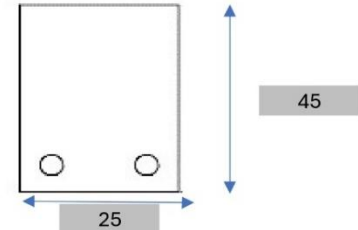
### Armado Estructural de Vigas y Columnas

# DISEÑO DE VIGA 25X45

#### DATOS

Ingresar datos	
Valores constructivos	
Resultados	

$f_y$	4200	[kg/cm <sup>2</sup> ]
$f'_c$	240	[kg/cm <sup>2</sup> ]
V	25	b [cm]
	45	h [cm]
d	39.2	[cm]
$\phi$ corte	0.75	
$\phi$ flexión	0.9	
$\beta_1$	0.85	
C	35	b [cm]
	35	h [cm]



#### LONGITUD REAL [m]

3.4	3.6	3.6	3.4
-----	-----	-----	-----

#### LONGITUD [m]

3.05	3.25	3.25	3.05
------	------	------	------

#### Mu [T.m] \*Momentos obtenidos por envolvente

6.32	5.66	5.06	5.27	5.27	5.06	5.66	6.32				
2.4	2.2	1.64	2.36	1.48	2.25	2.25	1.48	2.36	1.64	2.2	2.4

#### DISEÑO A FLEXION

Mn [T.m]	$Mu \leq \phi Mn \rightarrow Mu = \phi Mn \rightarrow Mn = \frac{Mu}{\phi}$											
7.02	6.29	5.62	5.86	5.86	5.62	6.29	7.02					
2.67	2.44	1.82	2.62	1.64	2.50	2.50	1.64	2.62	1.82	2.44	2.67	

$$Mn = As \cdot fy \cdot \left( d - \frac{As \cdot fy}{1.7 \cdot f'_c \cdot b} \right)$$

$$As = \frac{30.32 \cdot Mu [T \cdot m]}{d [cm]}$$

#### As cal [cm<sup>2</sup>]

4.89	4.38	3.91	4.08	4.08	3.91	4.38	4.89					
1.86	1.70	1.27	1.83	1.14	1.74	1.74	1.14	1.83	1.27	1.70	1.86	



## REVISIONES

$$As_{min} = \frac{14}{f_y} \cdot b \cdot d$$

$$As_{max} = 0.5 \cdot \left( 0.85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f'_c}{f_y} \left( \frac{6300}{6300 + f_y} \right) \right) \cdot b \cdot d$$

1- Asmin 3.267

2- As max 12.138

ACI 18.6.: 3- pmax 0.012

ACI 18.6.: 4- As positivo en la carga del nudo debe ser al menos la mitad del As negativo en el mismo nudo  
As colocado debe ser mayor a 1/4 del As de la zona mas armada

## As corregido [cm<sup>2</sup>]

4.89	4.38	3.91	4.08	4.08	3.91	4.38	4.89
3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27

φsup	16	[mm]	Nvarillas	2
φinf	12	[mm]	Nvarillas	3

As base 4.02124 [cm<sup>2</sup>]

As base 3.39292 [cm<sup>2</sup>]

Refuerzos

φsup	12	[mm]
φinf		[mm]

N varillas [u]

1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
------	------	------	------	------	------	------	------

As colocado [cm<sup>2</sup>]

5.15	5.15	5.15	5.15	5.15	5.15	5.15	5.15
3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39

Revision

ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok

7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22
4.85	4.85	4.85	4.85	4.85	4.85	4.85	4.85

Ld = Longitud de corte con envolvente y 12db o d

## DISEÑO A CORTE

Vcv [T]

\*CON MODELO

$$Vu = 1.2Vd + 1.6Vv$$

2.87	2.61	5.05	5.05	3.16	3.14	2.62	2.88
------	------	------	------	------	------	------	------

Mpr [T.m]

$$Mpr = As * 1.4 * fy * (d - \frac{As * 1.4 * fy}{1.7 * f'c * b})$$

10.98	10.98	10.98	10.98	10.98	10.98	10.98	10.98
7.43	7.43	7.43	7.43	7.43	7.43	7.43	7.43

Vhip [T]

6.03	6.03	5.66	5.66	5.66	5.66	6.03	6.03
------	------	------	------	------	------	------	------

Vu [T]

8.90	10.71	8.82	8.91
------	-------	------	------

Vc [T]

$$Vc = 0.53 * \lambda * \sqrt{f'c} * b * d$$

-	-	-	-
---	---	---	---

Vs [T]

11.87	14.28	11.76	11.89
-------	-------	-------	-------

### REVISIONES

$$Vs < 2.2 * \sqrt{f'c} * b * d$$

Ok	Ok	Ok	Ok
----	----	----	----

S-lo 7.2 cm

Av min [1] = 0.15

S-lo 14.4 cm

Av min [2] = 0.13279

Av [cm2]

0.52	0.62	0.51	0.52
------	------	------	------

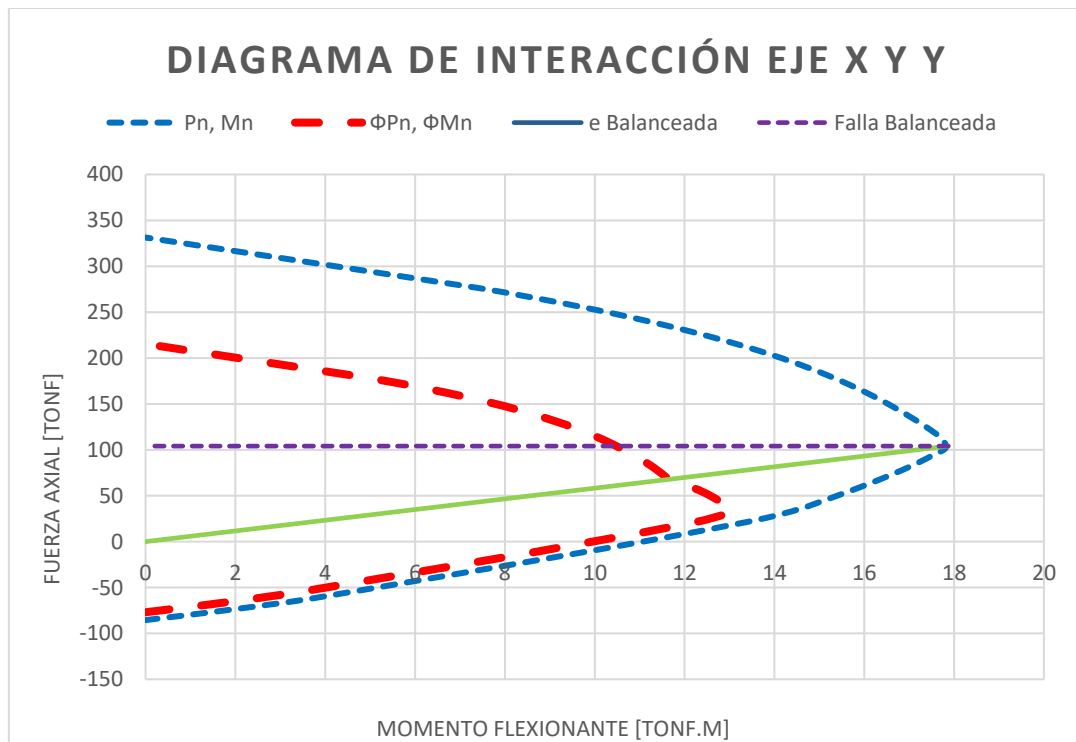
Estribo 10 mm

Ramales

0.66	0.80	0.66	0.66
------	------	------	------

Estribo





### Diseño de columnas 35X35

$f'_c$	240	kg/cm <sup>2</sup>
$f_y$	4200	kg/cm <sup>2</sup>
$\beta_1$	0.85	
$\Phi_{corte}$	0.75	
$E_s$	2100000	kg/cm <sup>2</sup>

N. Varillas	14	
$\Phi$	1.8	cm
$\Phi_{estribo}$	1.2	cm
r	4	cm

h	35	cm
b	35	cm
dx	28.9	cm
dy	28.9	cm
$A_g$	1225	cm <sup>2</sup>
$A_{ch}$	729	cm <sup>2</sup>
hn	3	m

Mbxx	17.870	
------	--------	--

Vu	11.913	Ton
Vc	8.305	Ton
Vs	7.579	Ton

Lo	45	cm
So	8.75	cm
S1	10.80	cm
$A_{vmin}$	0.310	cm <sup>2</sup>
$A_v$	0.546	cm <sup>2</sup>

Pu	80.000	ton
Pd	88.200	ton
Ash (A)	0.012	
Ash (B)	0.005	
Ash	2.756	cm <sup>2</sup>

Ash <sub>max</sub>	2.756	cm <sup>2</sup>
--------------------	-------	-----------------

ramales	2.436	
# ramales	3.000	

Mbyy	17.870	
------	--------	--

Vu	11.913	Ton
Vc	8.305	Ton
Vs	7.579	Ton

Lo	45	cm
So	8.75	cm
S1	10.80	cm
$A_{vmin}$	0.310	cm <sup>2</sup>
$A_v$	0.546	cm <sup>2</sup>

Pu	80.000	ton
Pd	88.200	ton
Ash (A)	0.012	
Ash (B)	0.005	
Ash	2.756	cm <sup>2</sup>

Ash <sub>max</sub>	2.756	cm <sup>2</sup>
--------------------	-------	-----------------

ramales	2.436	
# ramales	3.000	

## ANEXO XII Armado Estructural en Robot

### Armado estructural en Robot Analysis Structural Profesional

**Armadura de la viga**

File Help

- Geometría
- Estribos
- Distribución de estribos
- Barras - principales
- Barras - adicionales superiores
- Barras - adicionales inferiores
- División de barras

Tramos  
 Número del tramo: 2 Longitud del tramo:  $l_s = 3.050$  m

Distribución de estribos principales

Tipo de distrib.:

Distribución de estribos encima de apoyos extremos

Apoyo izquierdo  Apoyo derecho

$a_L =$    $a_R =$    
 $s_L =$    $s_R =$

$s_1 = 8.500$  cm  $l_1 = 0.900$  m  
 $s_2 = 17.000$  cm  $l_2 = 1.250$  m  
 $s_3 = 8.500$  cm  $l_3 = 0.900$  m  
 $s =$    
 $d_L = 5.000$  cm  $d_R = 5.000$  cm

Aceptar Cancelar

**Armadura de la viga**

File Help

- Geometría
- Estribos
- Distribución de estribos
- Barras - principales
- Barras - adicionales superiores
- Barras - adicionales inferiores
- División de barras

Barra inferior

Barra: No.16  
 $\phi = 15.870$  mm  
 Material: Grade 300  
 Ganch.: Ausente  
 $n = 2$   
 $l = 15.666$  m  
 $l_a = 0.330$  m  
 $l_b = 0.330$  m

Barra superior

Barra: No.13  
 $\phi = 12.700$  mm  
 Material: Grade 420  
 Ganch.: Ausente  
 $n = 3$   
 $l = 15.666$  m  
 $l_a = 0.290$  m  
 $l_b = 0.290$  m

Aceptar Cancelar

Armadura de la viga
✕

File Help

- Geometría
- Estribos
- Distribución de estribos
- Barras - principales**
- Barras - adicionales superiores
- Barras - adicionales inferiores
- División de barras

**Barra inferior**



Barra: No.16

$\phi = 15.870$  mm

Material: Grade 300

Ganch.: Ausente

n = 2

L = 15.666 m

$l_a = 0.330$  m

$l_b = 0.330$  m

**Barra superior**



Barra: No.13

$\phi = 12.700$  mm

Material: Grade 420

Ganch.: Ausente

n = 3

L = 15.666 m

$l_a = 0.290$  m

$l_b = 0.290$  m



L = 15.700 m

Aceptar Cancelar

Estructura
Viga - vista
Viga - diagramas
Viga - armaduras
Viga - nota de cálculo



DERECHA



FRONTAL

General
Detallada
Lista
Separaciones y áreas de sección

N.º	Tipo de armadura	Clase de acero	Díámetro	Número	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
5	10	principal superior	#4	6	B = 4,135								
6	11	principal superior	#4	3	B = 4,235								
7	13	principal superior	#4	3	B = 2,108								
8	1	transversal principal	#3	134	B = 0,416	C = 0,216	D = 0,416	E = 0,216					
9	5	principal inferior	#3	2	B = 1,233	C = 0,255							
10	15	principal superior	#3	2	B = 1,733	C = 0,255							
11	16	principal superior	#4	3	B = 1,378	C = 0,296							
12	2	principal inferior	#5	2	B = 1,216	C = 0,338							
13	3	principal superior	#4	2	B = 0,296	C = 0,787							
14	4	principal superior	#4	1	B = 0,296	C = 0,787							
15	17	principal inferior	#3	2	B = 0,255	C = 1,233							
16	14	principal inferior	#5	2	B = 0,338	C = 1,658							
17	8	principal superior	#3	2	L1 = 0,250	L2 = 1,728							
*													

**Armadura de la viga**

File Help

- Geometría
- Estribos**
- Distribución de estribos
- Barras - principales
- Barras - adicionales superiores
- Barras - adicionales inferiores
- División de barras

**Parámetros de los estribos**

Barra: No.10  
 $\phi = 9.525$  mm  
 Material: Grade 420  
 Gancho 1: 135.0°  
 Gancho 2: 135.0°  
 c = 3.000 cm  
 a =

**Tipo de estribos:**

**Amaduras contra el retiro**

Amaduras contra el retiro

Barra:   
 $\phi =$    
 Material:   
 Estribos:   
 $\phi =$    
 Material:   
 Ganch. barr.:

Distribución de marcos contra el retiro  
 Otro que para las principales  $s_a =$

Aceptar Cancelar

**Armadura de la viga**

File Help

- Geometría
- Estribos
- Distribución de estribos**
- Barras - principales
- Barras - adicionales superiores
- Barras - adicionales inferiores
- División de barras

**Tramos**

Número del tramo: 1 Longitud del tramo:  $l_s = 2.600$  m

**Distribución de estribos principales**

**Tipo de distrib.:**

**Distribución de estribos encima de apoyos extremos**

Apoyo izquierdo  Apoyo derecho

$a_L =$   $a_R =$   
 $s_L =$   $s_R =$

$s_1 = 8.500$  cm  $l_1 = 0.900$  m  
 $s_2 = 17.000$  cm  $l_2 = 0.800$  m  
 $s_3 = 8.500$  cm  $l_3 = 0.900$  m  
 $s =$   
 $d_L = 5.000$  cm  $d_R = 5.000$  cm


Aceptar Cancelar

**Armadura de la viga**

File Help

- Geometría
- Estribos
- Distribución de estribos
- Barras - principales
- Barras - adicionales superiores
- Barras - adicionales inferiores
- División de barras


**Barra inferior**



Barra: No.16  
 $\phi = 15.870$  mm  
 Material: Grade 420  
 Ganch.: Ausente

n = 2  
 l = 9.540 m  
 $l_a = 0.320$  m  
 $l_b = 0.320$  m

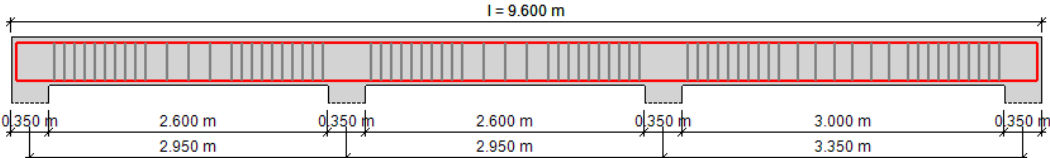
**Barra superior**



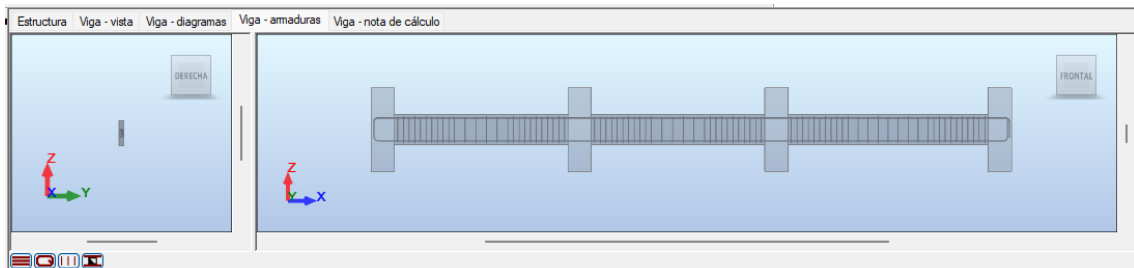
Barra: No.14  
 $\phi = 14.000$  mm  
 Material: Grade 420  
 Ganch.: Ausente

n = 3  
 L = 9.540 m  
 $l_a = 0.290$  m  
 $l_b = 0.290$  m

**l = 9.600 m**



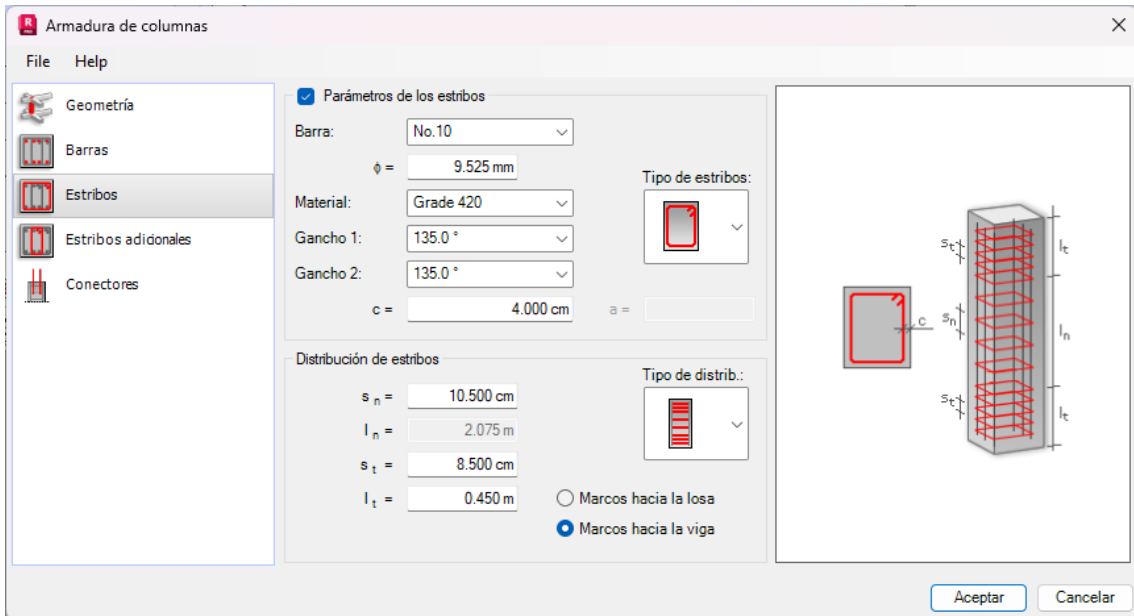
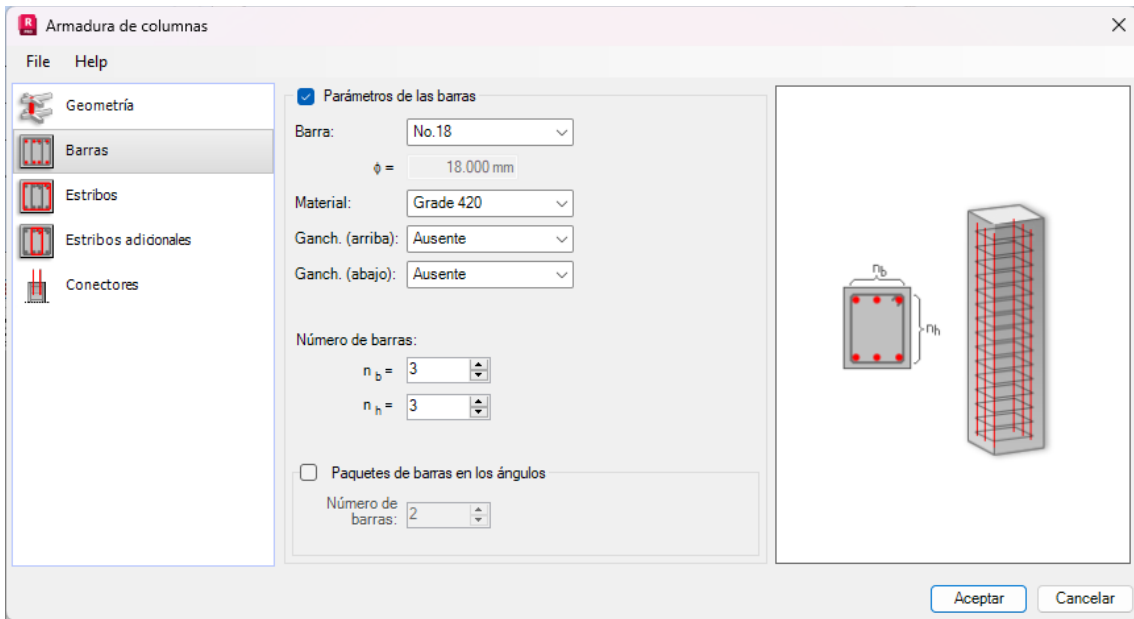
Aceptar Cancelar



General Detallada Lista Separaciones y áreas de sección

N.º	Tipo de armadura	Clase de acero	Diámetro	Número	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1	transversal principal		#3	81	B = 0,390	C = 0,190	D = 0,390	E = 0,190					
2	principal inferior		#5	2	B = 0,328	C = 9,512	D = 0,328						
3	principal superior		14,000	3	B = 0,297	C = 9,540	D = 0,297						
*													





**Armadura de columnas**

File Help

- Geometría
- Barras
- Estribos
- Estribos adicionales
- Conectores

Plantilla de armadura

Tabla de estribos definidos

	Tipo	Barra inicial	Vinculado	Gancho 1	Gancho 2
1		1	1	135.0 °	90.0 °
2		A	1	135.0 °	90.0 °

Añadir... Modificar... Eliminar Aceptar Cancelar

Estructura Columna - vista Columna - resultados Columna - armaduras Columna - nota de cálculo

Selección no efectuada

General Detallada Lista

N.º	Tipo de armadura	Clase de acero	Diámetro	Número	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1	1 principal	Grade 420	18,000	8	B = 3,385					
2	2 transversal	Grade 420	#3	30	B = 0,270	C = 0,270	D = 0,270	E = 0,270		
3	3 transversal	Grade 420	#3	60	B = 0,270					
*										

Robot Structural Analysis Professional 2023 - Proyecto: P01-BSD-SFN-EST-DISEÑO ESTRUCTURAL-001 - Nivel: P1 - Resultados: actuales - A...

Inspector de objetos

- Objetos
  - P3
  - P2
  - P1
    - Vigas 0/54
    - Pilares 1/24
    - Plantas 0/16
  - No definido
  - Objetos del modelo
    - Vigas 0/270
    - Pilares 1/120
    - Plantas 0/80
    - Nudos 1/3452

Geometría / Grupos

Nombre	Valor	Unidad
Lista de barras	307	

General

Nombre: Columna TIC  
Tipo: Columna TIC  
Objeto co...: Pilar  
Planta: P1

Modelo

Distribución: **descuidar**  
Componentes: 307  
Tipo de el.: viga

Geometría

Longitud: 3,200 (m)  
Nudos: 227  
Nudo 2: 25  
Tipo de el.: cartesianas

Características

Barras / Nudos / Plantas

General Fuste de la columna Optimización

Tipo de cimentación: **Forma**

Tipo de pilar: **Forma**

Dimensiones básicas (m)

A: 1.500  Fijo a: 0.350  
B: 1.500  Fijo b: 0.350  
h1: 0.600  Fijo ex: 0.000  Fijo  
h2: 1.500  Fijo ey: 0.000  Fijo  
h4: 0.050

Número de elementos: 1

Aplicar Cerrar Ayuda

Norma: ACI Regulación: ACI 318-14/19 Geotechnic, ACI 318-14/19 CONCR\_3.5 Grade 420 (Nervur) Grade 420 (Nervur) Resultados: actuales

Robot Structural Analysis Professional 2023 - Proyecto: P01-BSD-SFN-EST-DISEÑO ESTRUCTURAL-001 - Nivel: P1 - Resultados: actuales - A...

Inspector de objetos

- Objetos
  - P3
  - P2
  - P1
    - Vigas 0/54
    - Pilares 1/24
    - Plantas 0/16
  - No definido
  - Objetos del modelo
    - Vigas 0/270
    - Pilares 1/120
    - Plantas 0/80
    - Nudos 1/3452

Geometría / Grupos

Nombre	Valor	Unidad
Lista de barras	307	

General

Nombre: Columna TIC  
Tipo: Columna TIC  
Objeto co...: Pilar  
Planta: P1

Modelo

Distribución: **descuidar**  
Componentes: 307  
Tipo de el.: viga

Geometría

Longitud: 3,200 (m)  
Nudos: 227  
Nudo 2: 25  
Tipo de el.: cartesianas

Características

Barras / Nudos / Plantas

Cargas

Cargas globales:

Estado	Nombre	Descripción
1	ELU	CALC. 1 N=70.00 My=5.00 Fx=5.00
2	ELU	CALC. 1 N=70.00 My=5.00 Fx=5.00

Cargas de combinación:

Carga límite  
Superficie de contacto  
Hundimiento medio  
Diferencia de hundimientos  
Estabilidad al vuelco

Cargas de combinación:

Cerrar Ayuda

Tipo de carga: Carga sobre la cimentación  
Naturaleza: de cálculo  
Subnaturaleza:

Armadura de la cimentación aislada

File Help

Geometría

Barras inferiores

Barras superiores

Conectores

Estribos en el cáliz

Definición del armado

c = 5,000 cm

Barras longitudinales

Barra: No.19  
 $\phi$  = 19,050 mm  
Material: Grade 420  
Ganch.: Ausente  
s<sub>l</sub> = 20,000 cm  
c<sub>l</sub> = 5,000 cm

Barras transversales

Barra: No.19  
 $\phi$  = 19,050 mm  
Material: Grade 420  
Ganch.: Ausente  
s<sub>b</sub> = 20,000 cm  
c<sub>b</sub> = 5,000 cm

Aceptar Cancelar

**Armadura de la cimentación aislada**


File Help

- Geometría
- Barras inferiores
- Barras superiores
- Conectores**
- Estribos en el cáliz

Definición de conectores:  
 Esperas  $c =$

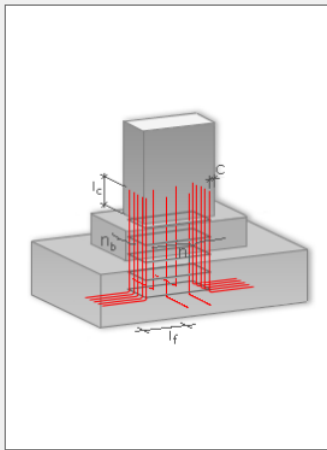
Parámetros y tipos de barras

Barra:   
 $\phi =$    
 Material:   
 Ganch. (arriba):   
 Ganch. (abajo):

Conectores: 

Número de barras  
 $n_b =$    
 $n_l =$

Longitud del anclaje  
 en el pilar:   $\cdot \phi$   
 $l_c =$    
 en la cimentac.:   $\cdot \phi$   
 $l_f =$



Aceptar Cancelar

**Armadura de la cimentación aislada**


File Help

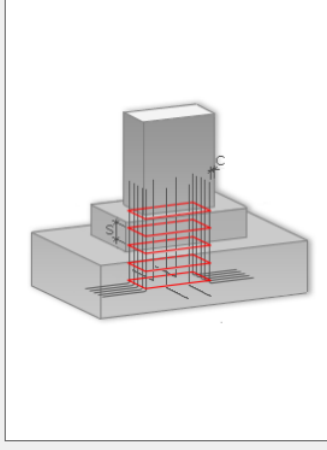
- Geometría
- Barras inferiores
- Barras superiores
- Conectores
- Estribos en el cáliz**

Definición del armado  
 Estribos del cáliz de la cimentación  $c =$

Parámetros y tipo de los estribos

Barra:   
 $\phi =$    
 Material:   
 Ganch.:   
 $s =$

Tipo de estribos: 



Aceptar Cancelar

Robot Structural Analysis Professional 2023 - Proyecto: P01-BSO-SFN-EST-DISEÑO ESTRUCTURAL-001 - Nivel: P1 - Resultados: actuales - A...

Inspector de objetos

Objetos

- P3
- P2
- P1
  - Vigas 0/54
  - Pilares 1/24
  - Plantas 0/16
- Objetos del modelo
  - Vigas 0/270
  - Pilares 1/120
  - Plantas 0/80
  - Nudos 1/3452
  - Nudo 1

Geometría / Grupos

Nombre	Valor	Unidad
Lista de barras	307	
<b>General</b>		
Nombre	Columna TIC	
Tipo	Columna TIC	
Objeto co...	Pilar	
Planta	P1	
<b>Modelo</b>		
Distribución	descuidar	
Componen...	307	
Tipo de el.	viga	
<b>Geometría</b>		
Longitud	3,200	(m)
Nudos	227	
Nudo 2	25	
Tipo de el.	cartesianas	
<b>Características</b>		
Barras	Nudos	Plantas

Barra

Tipo: Acero Grade 420 (Nervurado)

Parámetros de la armadura

Díametro

Parámetros de la forma

Forma

Código de la f...

B (m)

Extremo izquierdo

Gancho

Longitud del ...

Norma: ACI Regulación: ACI 318-14/19 Geotechnic, ACI 318-14/19 CONCR\_3.5 Grade 420 (Nervur Grade 420 (Nervur Resultados: actuales A=1.500 B=1.500 h1=0.600 x=-1.387 y=-1.002 z=0.000 (m)

Robot Structural Analysis Professional 2023 - Proyecto: P01-BSO-SFN-EST-DISEÑO ESTRUCTURAL-001 - Nivel: P1 - Resultados: actuales - A...

Inspector de objetos

Objetos

- P3
- P2
- P1
  - Vigas 0/54
  - Pilares 1/24
  - Plantas 0/16
- Objetos del modelo
  - Vigas 0/270
  - Pilares 1/120
  - Plantas 0/80
  - Nudos 1/3452
  - Nudo 1

Geometría / Grupos

Nombre	Valor	Unidad
Lista de barras	307	
<b>General</b>		
Nombre	Columna TIC	
Tipo	Columna TIC	
Objeto co...	Pilar	
Planta	P1	
<b>Modelo</b>		
Distribución	descuidar	
Componen...	307	
Tipo de el.	viga	
<b>Geometría</b>		
Longitud	3,200	(m)
Nudos	227	
Nudo 2	25	
Tipo de el.	cartesianas	
<b>Características</b>		
Barras	Nudos	Plantas

Cimentación aislada - nota de cálculo

## 1 Cimentación aislada: Cimentación3

Número de elementos idénticos: 1

### 1.1 Datos básicos

#### 1.1.1 Hipótesis

- Norma para los cálculos geotécnicos : ACI
- Norma para los cálculos de hormigón armado : ACI 318-19
- Forma de la cimentación : cuadrada

#### 1.1.2 Geometría:

A = 1.500 (m) a = 0.350 (m)

B = 1.500 (m) b = 0.350 (m)

h1 = 0.600 (m) e<sub>x</sub> = 0.000 (m)

h2 = 1.500 (m) e<sub>y</sub> = 0.000 (m)

h4 = 0.050 (m)

a' = 35.00 (cm)

b' = 35.00 (cm)

c1 = 5.08 (cm)

## **ANEXO XIII Armado Teórico en Elementos Estructurales**

Armado Teórico en Elementos Estructurales

### **TITULO DEL PROYECTO**

**Proyecto: P01-BSD-SFN-EST-DISEÑO ESTRUCTURAL-001**

**Autor:**

## Armadura teórica de las barras

## Columnas

1

Filtrar	Barra
Lista completa	1A5 286A513 515A751
Selección	286A405
Número total	390
Número seleccionado	120

Barra	Armadura teórica según b (cm2)	Armadura según b - distribución	Armadura teórica según h (cm2)	Armadura según h - distribución	Armadura transversal - tipo/distribución
28	5,117	3#6	3,966	2#6	2#4 21@15.00
28	5,103	3#6	3,980	2#6	2#4 21@15.00
28	4,379	3#6	4,704	3#6	2#4 21@15.00
28	4,621	3#6	4,462	3#6	2#4 21@15.00
29	5,044	3#6	4,039	3#6	2#4 21@15.00
29	5,265	3#6	3,818	2#6	2#4 21@15.00
29	5,072	3#6	4,011	2#6	2#4 21@15.00
29	5,611	3#6	3,473	2#6	2#4 21@15.00
29	5,307	3#6	3,776	2#6	2#4 21@15.00
29	5,307	3#6	3,776	2#6	2#4 21@15.00
29	5,423	3#6	3,660	2#6	2#4 21@15.00
29	3,596	2#6	5,487	3#6	2#4 21@15.00
29	5,307	3#6	3,776	2#6	2#4 21@15.00
29	5,602	3#6	3,481	2#6	2#4 21@15.00
30	5,307	3#6	3,776	2#6	2#4 21@15.00
30	5,307	3#6	3,776	2#6	2#4 21@15.00
30	5,412	3#6	3,671	2#6	2#4 21@15.00
30	3,026	2#6	6,057	4#6	2#4 21@15.00
30	5,551	3#6	3,532	2#6	2#4 21@15.00
30	5,619	3#6	3,464	2#6	2#4 21@15.00
30	4,405	3#6	4,678	3#6	2#4 21@15.00
30	4,644	3#6	4,439	3#6	2#4 21@15.00
30	5,562	3#6	3,521	2#6	2#4 21@15.00
30	5,650	3#6	3,433	2#6	2#4 21@15.00
31	6,934	4#6	2,804	2#6	2#4 21@15.00
31	6,904	4#6	2,834	2#6	2#4 21@15.00
31	3,300	2#6	6,438	4#6	2#4 21@15.00
31	3,597	2#6	6,141	4#6	2#4 21@15.00
31	6,749	4#6	2,989	2#6	2#4 21@15.00
31	7,095	4#6	2,643	2#6	2#4 21@15.00
31	6,928	4#6	2,810	2#6	2#4 21@15.00
31	7,122	4#6	2,615	2#6	2#4 21@15.00
31	5,635	3#6	4,103	3#6	2#4 21@15.00
31	7,156	4#6	2,582	2#6	2#4 21@15.00
32	7,265	4#6	2,473	2#6	2#4 21@15.00
32	4,282	3#6	5,456	3#6	2#4 21@15.00
32	5,635	3#6	4,103	3#6	2#4 21@15.00
32	7,131	4#6	2,607	2#6	2#4 21@15.00
32	5,635	3#6	4,103	3#6	2#4 21@15.00

Barra	Armadura teórica según b (cm2)	Armadura según b - distribución	Armadura teórica según h (cm2)	Armadura según h - distribución	Armadura transversal - tipo/distribución
32	7,154	4#6	2,584	2#6	2#4 21@15.00
32	7,249	4#6	2,489	2#6	2#4 21@15.00
32	2,691	2#6	7,047	4#6	2#4 21@15.00
32	3,627	2#6	6,111	4#6	2#4 21@15.00
32	3,291	2#6	6,447	4#6	2#4 21@15.00
33	3,298	2#6	6,440	4#6	2#4 21@15.00
33	3,619	2#6	6,118	4#6	2#4 21@15.00
33	3,695	2#6	6,043	4#6	2#4 21@15.00
33	3,551	2#6	6,186	4#6	2#4 21@15.00
33	7,216	4#6	2,522	2#6	2#4 21@15.00
33	7,215	4#6	2,522	2#6	2#4 21@15.00
33	3,524	2#6	6,213	4#6	2#4 21@15.00
33	3,809	2#6	5,929	3#6	2#4 21@15.00
33	7,058	4#6	2,680	2#6	2#4 21@15.00
33	6,930	4#6	2,808	2#6	2#4 21@15.00
34	7,223	4#6	2,515	2#6	2#4 21@15.00
34	6,950	4#6	2,788	2#6	2#4 21@15.00
34	5,978	3#6	3,760	2#6	2#4 21@15.00
34	7,053	4#6	2,685	2#6	2#4 21@15.00
34	7,089	4#6	2,649	2#6	2#4 21@15.00
34	4,699	3#6	5,039	3#6	2#4 21@15.00
34	5,635	3#6	4,103	3#6	2#4 21@15.00
34	6,956	4#6	2,781	2#6	2#4 21@15.00
34	5,960	3#6	3,777	2#6	2#4 21@15.00
34	6,961	4#6	2,776	2#6	2#4 21@15.00
35	7,076	4#6	2,661	2#6	2#4 21@15.00
35	3,322	2#6	6,416	4#6	2#4 21@15.00
35	2,906	2#6	6,832	4#6	2#4 21@15.00
35	2,958	2#6	6,780	4#6	2#4 21@15.00
35	3,522	2#6	6,215	4#6	2#4 21@15.00
35	3,827	2#6	5,910	3#6	2#4 21@15.00
35	2,905	2#6	6,833	4#6	2#4 21@15.00
35	3,217	2#6	6,521	4#6	2#4 21@15.00
35	7,089	4#6	2,649	2#6	2#4 21@15.00
35	7,087	4#6	2,650	2#6	2#4 21@15.00
36	4,393	3#6	5,345	3#6	2#4 21@15.00
36	4,823	3#6	4,915	3#6	2#4 21@15.00
36	6,900	4#6	2,838	2#6	2#4 21@15.00
36	5,800	3#6	3,937	2#6	2#4 21@15.00
36	7,105	4#6	2,633	2#6	2#4 21@15.00
36	6,167	4#6	3,571	2#6	2#4 21@15.00
36	6,598	4#6	3,140	2#6	2#4 21@15.00
36	6,173	4#6	3,565	2#6	2#4 21@15.00
36	6,473	4#6	3,264	2#6	2#4 21@15.00
36	4,874	3#6	4,864	3#6	2#4 21@15.00
37	5,410	3#6	4,328	3#6	2#4 21@15.00
37	6,139	4#6	3,599	2#6	2#4 21@15.00
37	6,597	4#6	3,141	2#6	2#4 21@15.00
37	6,151	4#6	3,587	2#6	2#4 21@15.00
37	6,466	4#6	3,272	2#6	2#4 21@15.00



Barra	Armadura teórica según b (cm2)	Armadura según b - distribución	Armadura teórica según h (cm2)	Armadura según h - distribución	Armadura transversal - tipo/distribución
37	4,373	3#6	5,365	3#6	2#4 21@15.00
37	2,739	2#6	6,999	4#6	2#4 21@15.00
37	2,883	2#6	6,854	4#6	2#4 21@15.00
37	4,401	3#6	5,337	3#6	2#4 21@15.00
37	4,787	3#6	4,950	3#6	2#4 21@15.00
38	2,734	2#6	7,004	4#6	2#4 21@15.00
38	3,161	2#6	6,577	4#6	2#4 21@15.00
38	6,007	3#6	3,731	2#6	2#4 21@15.00
38	6,007	3#6	3,731	2#6	2#4 21@15.00
38	5,624	3#6	4,113	3#6	2#4 21@15.00
38	6,019	3#6	3,719	2#6	2#4 21@15.00
38	5,809	3#6	3,929	2#6	2#4 21@15.00
38	4,196	3#6	5,542	3#6	2#4 21@15.00
38	5,958	3#6	3,780	2#6	2#4 21@15.00
38	4,543	3#6	5,195	3#6	2#4 21@15.00
39	6,436	4#6	3,301	2#6	2#4 21@15.00
39	5,504	3#6	4,234	3#6	2#4 21@15.00
39	5,044	3#6	4,693	3#6	2#4 21@15.00
39	4,892	3#6	4,846	3#6	2#4 21@15.00
39	4,891	3#6	4,847	3#6	2#4 21@15.00
39	4,525	3#6	5,212	3#6	2#4 21@15.00
39	6,437	4#6	3,300	2#6	2#4 21@15.00
39	5,515	3#6	4,223	3#6	2#4 21@15.00
39	5,045	3#6	4,693	3#6	2#4 21@15.00
39	5,635	3#6	4,103	3#6	2#4 21@15.00
40	4,449	3#6	5,289	3#6	2#4 21@15.00
40	4,596	3#6	5,141	3#6	2#4 21@15.00
40	5,619	3#6	4,119	3#6	2#4 21@15.00
40	5,991	3#6	3,746	2#6	2#4 21@15.00
40	4,440	3#6	5,298	3#6	2#4 21@15.00
40	4,737	3#6	5,000	3#6	2#4 21@15.00

## ANEXO XIV Informe de diseño

### Informe de resultados de diseño en Vigas - Robot Structural

#### 1 Nivel:

- Nombre : P1
- Cota de nivel : ---
- Tipo de ambiente : F0
- Resistencia al fuego : 0 (h)

#### 2 Viga: Viga507...509

OK

##### 2.1 Característica de los materiales:

- Hormigón: :  $f_c=240 \text{ kgf/cm}^2$   $f_c = 2396,33 \text{ (tf/m}^2\text{)}$
- Densidad : 2,40 (tf/m<sup>3</sup>)
- Armaduras longitudinales :  $f_y = 42184,17 \text{ (tf/m}^2\text{)}$
- Armaduras transversales :  $f_y = 42184,17 \text{ (tf/m}^2\text{)}$
- Armadura adicional: :  $f_y = 42184,17 \text{ (tf/m}^2\text{)}$

##### 2.2 Geometría:

Número de elementos idénticos: 1

2.2.1	Tramo	Posición	Ap. Izq. (m)	L (m)	Ap. Der. (m)
	<b>P1</b>	<b>Tramo</b>	<b>0,350</b>	<b>2,600</b>	<b>0,350</b>
	Longitud de cálculo:		$L_o = 2,950 \text{ (m)}$		
	Sección		de 0,000 a 2,600 (m) 25,00 x 45,00 (cm) Sin losa izquierda Sin losa izquierda		
2.2.2	Tramo	Posición	Ap. Izq. (m)	L (m)	Ap. Der. (m)
	<b>P2</b>	<b>Tramo</b>	<b>0,350</b>	<b>2,600</b>	<b>0,350</b>
	Longitud de cálculo:		$L_o = 2,950 \text{ (m)}$		
	Sección		de 0,000 a 2,600 (m) 25,00 x 45,00 (cm) Sin losa izquierda Sin losa izquierda		
2.2.3	Tramo	Posición	Ap. Izq. (m)	L (m)	Ap. Der. (m)
	<b>P3</b>	<b>Tramo</b>	<b>0,350</b>	<b>3,000</b>	<b>0,350</b>
	Longitud de cálculo:		$L_o = 3,350 \text{ (m)}$		
	Sección		de 0,000 a 3,000 (m) 25,00 x 45,00 (cm) Sin losa izquierda Sin losa izquierda		

##### 2.3 Opciones de cálculo:

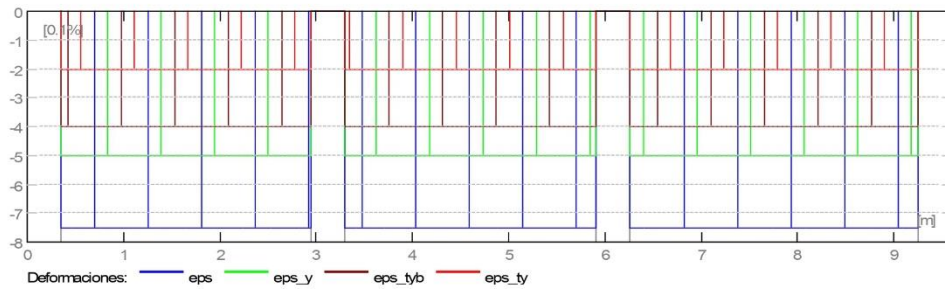
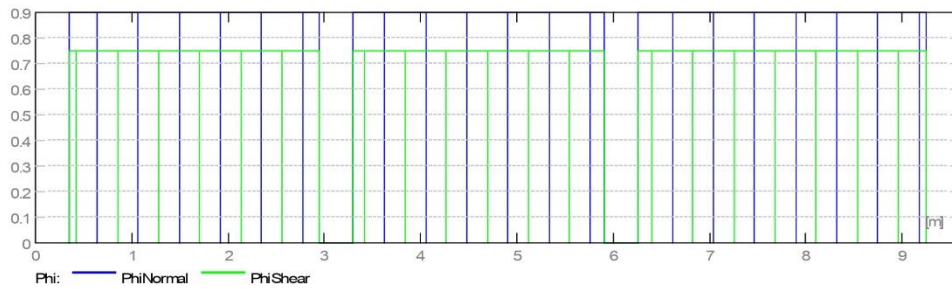
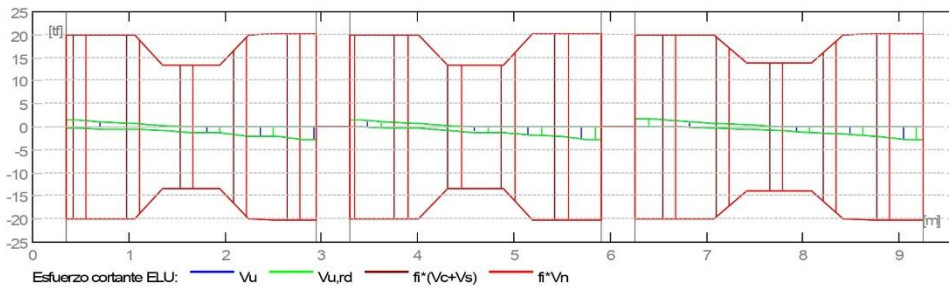
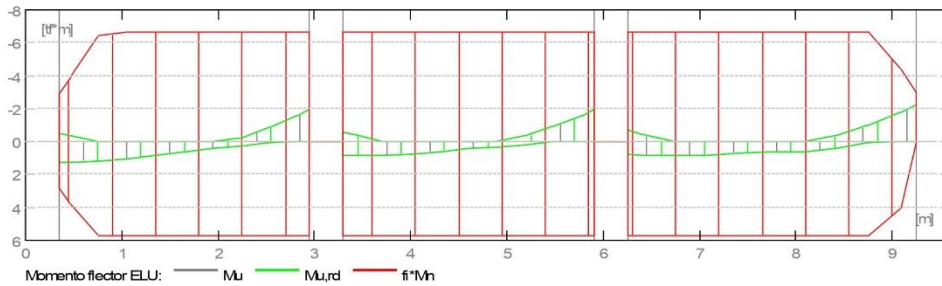
- Regulación de la combinación : ACI 318-14/19
- Cálculos según la norma : ACI 318-19
- Tomando en cuenta la fuerza axial : no
- Considerar la torsión : no
- Considerando la reducción del esfuerzo cortante en la zona de apoyo : no

- Categoría de dimensionamiento sísmico : SDC A
- Recubrimiento de la armadura : Armaduras inferiores  $c = 3,81$  (cm)  
: lateral  $c_1 = 3,81$  (cm)  
: superficial  $c_2 = 3,81$  (cm)

## 2.4 Resultados de los cálculos:

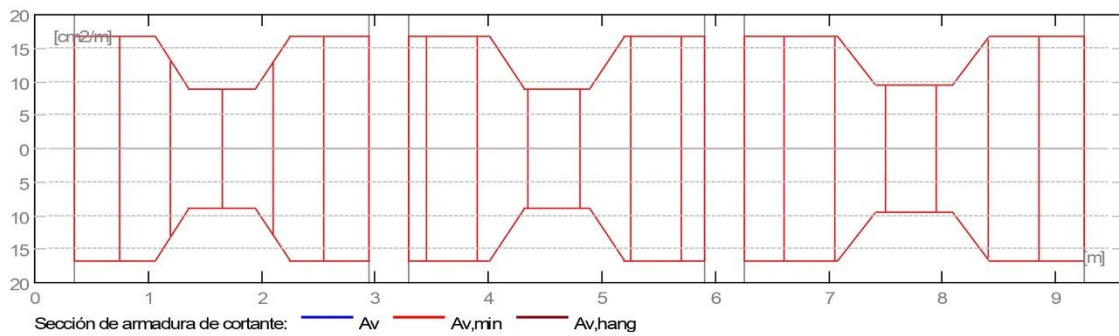
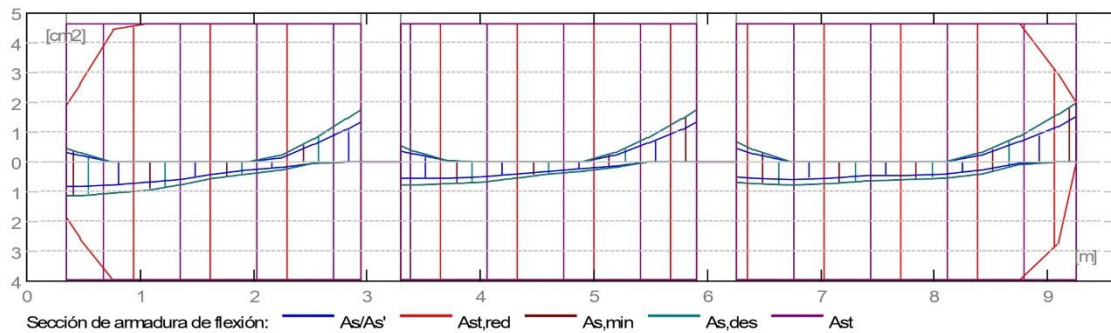
### 2.4.1 Solicitaciones ELU

Tramo	Mu,máx. (tf*m)	Mu,min. (tf*m)	Mu,iz (tf*m)	Mu,d (tf*m)	Vu,iz (tf)	Vu,d (tf)
P1	1,26	-0,25	1,26	-1,93	1,48	-2,87
P2	0,84	-0,36	0,84	-1,92	1,51	-2,70
P3	0,85	-0,34	0,78	-2,20	1,83	-2,83



## 2.4.2 Sección Teórica de Acero

Tramo	Tramo (cm <sup>2</sup> )		Apoyo izquierdo (cm <sup>2</sup> )		Apoyo derecho (cm <sup>2</sup> )	
	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.
P1	0,835	0,000	0,835	0,340	0,000	1,315
P2	0,552	0,000	0,540	0,381	0,000	1,309
P3	0,573	0,000	0,496	0,470	0,000	1,505



## 2.4.3 Flechas

$d_s(D+LS)$  - Flecha instantánea debida a cargas de larga duración

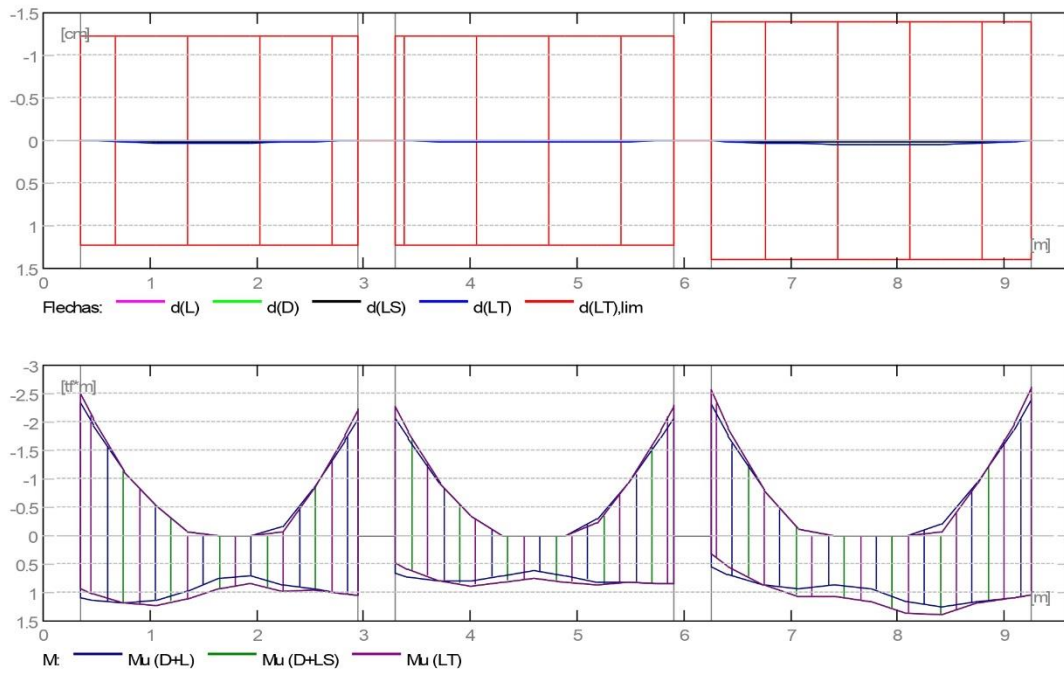
$d_l(D+LS)$  - Flecha diferida debida a cargas de larga duración

$d_s(D+L)$  - Flecha instantánea debida a carga total

$d(LT)$  - flecha inicial total de larga duración

$d(LT),lim$  - flecha admisible

Tramo	$d_s(D+LS)$ (cm)	$d_l(D+LS)$ (cm)	$d_s(D+L)$ (cm)	$d(LT)$ (cm)	$d(LT),lim$ (cm)
P1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2
P2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2
P3	0,0	0,1	0,0	0,1	1,4



## 2.5 Resultados teóricos - detalles:

### 2.5.1 P1 : Tramo de 0,350 a 2,950 (m)

Abscisa (m)	ELU		ELS		As (cm <sup>2</sup> )	As' (cm <sup>2</sup> )
	Mu,máx. (tf*m)	Mu,min. (tf*m)	Mu,máx. (tf*m)	Mu,min. (tf*m)		
0,350	1,26	-0,51	0,94	-2,50	0,835	0,340
0,470	1,24	-0,33	1,03	-2,05	0,827	0,222
0,765	1,17	-0,00	1,18	-1,12	0,791	0,000
1,060	1,04	-0,00	1,22	-0,52	0,704	0,000
1,355	0,84	-0,00	1,11	-0,07	0,570	0,000
1,650	0,60	-0,00	0,92	0,00	0,406	0,000
1,945	0,43	-0,00	0,85	0,00	0,293	0,000
2,240	0,30	-0,25	0,97	-0,06	0,189	0,159
2,535	0,04	-0,85	0,95	-0,82	0,028	0,574
2,830	0,00	-1,58	1,02	-1,77	0,000	1,077
2,950	0,00	-1,93	1,05	-2,23	0,000	1,315

Abscisa (m)	ELU	ELS
	Vu,máx. (tf)	Vu,máx. (tf)
0,350	1,48	3,72
0,470	1,45	3,68
0,765	0,93	2,63
1,060	0,85	2,53
1,355	-0,83	1,58
1,650	-1,31	-1,47
1,945	-1,38	-1,56
2,240	-2,00	-2,53
2,535	-2,07	-2,63
2,830	-2,84	-3,71
2,950	-2,87	-3,75

### 2.5.2 P2 : Tramo de 3,300 a 5,900 (m)

Abscisa (m)	ELU		ELS		As (cm2)	As' (cm2)
	Mu,máx. (tf*m)	Mu,mín. (tf*m)	Mu,máx. (tf*m)	Mu,mín. (tf*m)		
3,300	0,84	-0,59	0,47	-2,26	0,540	0,381
3,420	0,84	-0,41	0,59	-1,83	0,552	0,268
3,715	0,82	-0,04	0,79	-0,92	0,551	0,028
4,010	0,74	-0,00	0,88	-0,34	0,500	0,000
4,305	0,59	-0,00	0,81	0,00	0,399	0,000
4,600	0,44	-0,00	0,76	0,00	0,296	0,000
4,895	0,36	-0,00	0,82	0,00	0,241	0,000
5,190	0,21	-0,36	0,87	-0,23	0,139	0,231
5,485	0,00	-0,91	0,82	-0,94	0,000	0,615
5,780	0,00	-1,60	0,85	-1,85	0,000	1,085
5,900	0,00	-1,92	0,85	-2,29	0,000	1,309

Abscisa (m)	ELU	ELS
	Vu,máx. (tf)	Vu,máx. (tf)
3,300	1,51	3,60
3,420	1,48	3,57
3,715	0,93	2,46
4,010	0,85	2,36
4,305	-0,66	1,39
4,600	-1,14	-1,32
4,895	-1,22	-1,41
5,190	-1,84	-2,38
5,485	-1,91	-2,48
5,780	-2,67	-3,57
5,900	-2,70	-3,61

### 2.5.3 P3 : Tramo de 6,250 a 9,250 (m)

Abscisa (m)	ELU		ELS		As (cm2)	As' (cm2)
	Mu,máx. (tf*m)	Mu,mín. (tf*m)	Mu,máx. (tf*m)	Mu,mín. (tf*m)		
6,250	0,78	-0,74	0,32	-2,56	0,496	0,470
6,410	0,82	-0,44	0,54	-1,89	0,536	0,291
6,745	0,85	-0,00	0,87	-0,79	0,573	0,000
7,080	0,82	-0,00	1,07	-0,12	0,556	0,000
7,415	0,69	-0,00	1,07	0,00	0,468	0,000
7,750	0,66	-0,00	1,15	0,00	0,447	0,000
8,085	0,62	-0,00	1,37	0,00	0,416	0,000
8,420	0,43	-0,34	1,39	-0,07	0,275	0,219
8,755	0,09	-0,98	1,19	-0,92	0,060	0,659
9,090	0,00	-1,75	1,09	-1,99	0,000	1,192
9,250	0,00	-2,20	1,03	-2,61	0,000	1,505

Abscisa (m)	ELU	ELS
	Vu,máx. (tf)	Vu,máx. (tf)
6,250	1,83	4,15
6,410	1,78	4,10
6,745	1,22	2,96
7,080	0,66	1,94
7,415	0,57	1,83
7,750	-0,86	0,93
8,085	-1,37	-1,71
8,420	-1,45	-1,82
8,755	-2,06	-2,79
9,090	-2,79	-3,87
9,250	-2,83	-3,92

## 2.6 Armadura:

### 2.6.1 P1 : Tramo de 0,350 a 2,950 (m)

#### Armaduras longitudinales:

#### Armaduras transversales:

- Armaduras principales ()
  - estribos 26 #3 l = 1,300
  - $e = 1 \cdot 0,050 + 10 \cdot 0,085 + 5 \cdot 0,160 + 10 \cdot 0,085$  (m)

### 2.6.2 P2 : Tramo de 3,300 a 5,900 (m)

#### Armaduras longitudinales:

- Armaduras inferiores ()
  - 2 #5 l = 10,082 de 0,028 a 9,556
- tramo ()
  - 3 14,000 l = 10,058 de 9,584 a 0,030

#### Armaduras transversales:

- Armaduras principales ()
  - estribos 26 #3 l = 1,300
  - $e = 1 \cdot 0,050 + 10 \cdot 0,085 + 5 \cdot 0,160 + 10 \cdot 0,085$  (m)

### 2.6.3 P3 : Tramo de 6,250 a 9,250 (m)

#### Armaduras longitudinales:

#### Armaduras transversales:

- Armaduras principales ()
  - estribos 29 #3 l = 1,300
  - $e = 1 \cdot 0,050 + 10 \cdot 0,085 + 8 \cdot 0,150 + 10 \cdot 0,085$  (m)

## 3 Cuantitativo:

- Volumen del hormigón = 1,080 (m3)
- Superficie de encofrado = 10,915 (m2)
- Acero
  - Peso total = 0,13 (tf)
  - Densidad = 0,12 (tf/m3)
  - Diámetro medio = 11,214 (mm)
  - Lista según diámetros:

Diámetro (mm)	Longitud (m)	Peso (tf)	Número (piezas)	Peso total (tf)
#3	1,300	0,00	81	0,06
14,000	10,058	0,01	3	0,04
#5	10,082	0,02	2	0,03

# Informe de resultados de diseño en Columnas - Robot Structural

## 1 Nivel:

- Nombre :
- Cota de nivel : 0,000 (m)
- Resistencia al fuego : 0 (h)
- Tipo de ambiente : F0

## 2 Columna: Columna300

OK

- $\phi * S_n/U = 2,94451 > 1,00000$
- $\phi * M_n/M_u = 3,64345 > 1,00000$
- $\phi * P_n/P_u = 4,80211 > 1,00000$

U, Mu, Pu - Resistencia requerida

### 2.1 Característica de los materiales:

- Hormigón: :  $f'_c=240$  kgf/cm<sup>2</sup>  $f_c = 2396,33$  (tf/m<sup>2</sup>)
- Densidad : 2,40 (tf/m<sup>3</sup>)
- Armaduras longitudinales : Grade 420  $f_y = 42828,08$  (tf/m<sup>2</sup>)
- Armaduras transversales: Grade 420  $f_y = 42828,08$  (tf/m<sup>2</sup>)
- $\beta_1$  : 0,85000
- $\beta_1 = a/c$ , Coeficiente relativo a la profundidad del bloque de tensión de compresión rectangular equivalente A a la profundidad del eje neutro C
- $\beta_1 = <0,65-0,85>$

### 2.2 Geometría:

Número de elementos idénticos: 1

- 2.2.1 Rectángulo 35,00 x 35,00 (cm)
- 2.2.2 Altura: L = 3,425 (m)
- 2.2.3 Espesor de la losa = 0,094 (m)
- 2.2.4 Altura de la viga = 0,450 (m)
- 2.2.5 Recubrimiento de la armadura = 3,81 (cm)

### 2.3 Opciones de cálculo:

- Cálculos según la norma : ACI 318-19
- Tomar en cuenta la esbeltez : Y
- Estructura intraslacional : Y
- Estribos : hacia la losa
- Número de plantas (contado de arriba a abajo) : n = 1
- Categoría de dimensionamiento sísmico : SDC A

### 2.4 Cargas:

Caso	Natura	Grupo	N (tf)	MyA (tf*m)	MyB (tf*m)	MyC (tf*m)	MzA (tf*m)	MzB (tf*m)	MzC (tf*m)	$\beta$
C-DEAD	de cálculo	300	39,97	0,07	-0,03	0,03	0,05	-0,03	0,02	1,00000
COMBO 1	Dimensionamiento ELS	300	55,95	0,10	-0,05	0,04	0,06	-0,04	0,02	1,00000
COMBO 2	Dimensionamiento ELS	300	66,76	0,13	-0,06	0,05	0,08	-0,04	0,03	1,00000
COMBO 3	Dimensionamiento ELS	300	59,76	0,10	-0,05	0,04	-3,05	3,43	1,24	1,00000
COMBO 4	Dimensionamiento ELS	300	59,66	0,13	-0,06	0,05	3,19	-3,51	-1,25	1,00000
COMBO 5	Dimensionamiento ELS	300	60,35	3,37	-3,65	-1,28	0,08	-0,05	0,03	1,00000
COMBO 6	Dimensionamiento ELS	300	59,06	-3,15	3,54	1,29	0,06	-0,03	0,02	1,00000
COMBO 7	de cálculo	300	36,02	0,05	-0,02	0,02	-3,08	3,44	1,24	1,00000
COMBO 8	Dimensionamiento ELS	300	35,92	0,08	-0,04	0,03	3,17	-3,49	-1,25	1,00000
COMBO 9	Dimensionamiento ELS	300	36,62	3,33	-3,62	-1,28	0,05	-0,03	0,02	1,00000
COMBO 10	Dimensionamiento ELS	300	35,32	-3,19	3,56	1,29	0,03	-0,01	0,01	1,00000



$\beta = <0,1>$  , pieza de cargas axiales sostenidas definidas manualmente

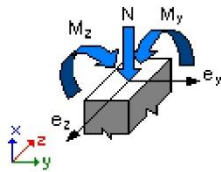
$\beta_{dns}$ , relación para la reducción de la rigidez de los pilares debida a las cargas axiales sostenidas

## 2.5 Lista de combinaciones

C-DEAD  
COMBO 7

## 2.6 Resultados de los cálculos:

### 2.6.1 Análisis ELU



#### Combinación dimensionante: COMBO 7 (B)

Clasificación de la sección: Controlado por compresión

$\phi = 0,65000$  - Coeficiente de reducción de la resistencia,  $\phi = <0,65-0,90>$

$\epsilon_c (*1000) = -3,00000$  - Deformación del hormigón

$\epsilon_t (*1000) = 0,83182$  - Deformación a tracción del extremo de las armaduras

Esfuerzos seccionales:

$N = 36,02$  (tf)     $M_y = -0,02$  (tf\*m)     $M_z = 3,44$  (tf\*m)

Esfuerzos de cálculo:

Nudo inferior

$P_u = 36,02$  (tf)     $M_{yu} = -0,02$  (tf\*m)     $M_{zu} = 3,44$  (tf\*m)     $M_u = 3,44$  (tf\*m)  $U = 0,19569$

#### Coeficiente de seguridad:

U, Mu, Pu - Resistencia requerida

$\phi * S_n / U = 2,94451 > 1,00000$

$\phi * M_n / M_u = 3,64345 > 1,00000$

$\phi * P_n / P_u = 4,80211 > 1,00000$

$\phi * S_n = 0,57622$

$\phi * M_n = 12,54$  (tf\*m)

$\phi * P_n = 172,98$  (tf)

#### 2.6.1.1 Análisis detallado-Dirección Y:

##### 2.6.1.1.1 Esfuerzo crítico

$P_c = 1943,69$  (tf) (6.6.4.4.2)

$k^*l_u = 1,600$  (m)

$EI = 504,160$  (tf\*m<sup>2</sup>) (6.6.4.4.4b)

$\beta_{dns} = 1,00000$

$E_c = 2484117,51$  (tf/m<sup>2</sup>)

$E_s = 20389024,16$  (tf/m<sup>2</sup>)

$I_g = 125052,08$  (cm<sup>4</sup>)

$I_{se} = 1898,22$  (cm<sup>4</sup>)

##### 2.6.1.1.2 Análisis de la esbeltez

Estructura intraslacional

$l_u$  (m)

k

$k^*l_u$  (m)

$$k^*luy/ry = \frac{3,200}{15,83589} < \frac{0,50000}{39,82071} \quad 1,600 \quad \text{Columna poco esbelta} \quad (6.2.5b)(6.2.5c)$$

### 2.6.1.1.3 Análisis de pandeo

$MA = 0,05 \text{ (tf*m)} \quad MB = -0,02 \text{ (tf*m)}$   
 Caso: sección en el extremo del pilar (Nudo inferior), Esbeltez no considerada  
 $M = -0,02 \text{ (tf*m)}$   
 $Mc = M = -0,02 \text{ (tf*m)}$

### 2.6.1.2 Análisis detallado-Dirección Z:

$MA = -3,08 \text{ (tf*m)} \quad MB = 3,44 \text{ (tf*m)}$   
 Caso: sección en el extremo del pilar (Nudo inferior), Esbeltez no considerada  
 $M = 3,44 \text{ (tf*m)}$   
 $Mc = M = 3,44 \text{ (tf*m)}$

## 2.7 Armadura:

<b>Sección de armado:</b>	<b>20,358 (cm2)</b>	<b>1,662 (%)</b>
Armadura mínima (requisito normativo):	12,250 (cm2)	1,000 (%)
Armadura máxima (requisito normativo):	98,000 (cm2)	8,000 (%)

### Barras principales (Grade 420):

- 8 18,000  $l = 3,385$  (m)

### Armaduras transversales (Grade 420):

Estribos	30 #3	$l = 1,220$ (m)
	60 #3	$l = 0,517$ (m)

## 3 Cuantitativo:

- Volumen del hormigón = 0,364 (m3)
- Superficie de encofrado = 4,165 (m2)
- Acero Grade 420
  - Peso total = 0,09 (tf)
  - Densidad = 0,25 (tf/m3)
  - Diámetro medio = 11,949 (mm)
  - Especificación de las armaduras:

Diámetro	Longitud (m)	Peso (tf)	Número (piezas)	Peso total (tf)
#3	0,517	0,00	60	0,02
#3	1,220	0,00	30	0,02
18,000	3,385	0,01	8	0,05