

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Diseño Sísmico de Edificio de Hormigón Armado con Muros
Estructurales**

Daniel Alejandro Salvador Montalvo

Ingeniería Civil

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniería Civil

Quito, 12 de diciembre de 2022

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Diseño Sísmico de Edificio de Hormigón Armado con Muros Estructurales

Daniel Alejandro Salvador Montalvo

Nombre del profesor, Título académico

Pablo Torres Rodas, PhD

Quito, 12 de diciembre de 2022

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Daniel Alejandro Salvador Montalvo

Código: 00200772

Cédula de identidad: 1724767619

Lugar y fecha: Quito, 12 de diciembre de 2022

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

En Ecuador existe una creciente demanda de diseños de estructuras sísmo resistentes debido al crecimiento vertical de las principales ciudades y de la peligrosidad sísmica que afecta al país. En los últimos años el país ha sufrido tanto sismos pequeños como de gran magnitud que han afectado, deteriorado y hasta destruido diferentes edificaciones a lo largo y ancho del territorio nacional, llevándose consigo vidas inocentes. Por esta razón, es necesario que todas las estructuras que se construyan en el país cuenten con un diseño adecuado, que cumpla con la normativa ecuatoriana y que sea segura para todos los usuarios. En el presente trabajo, se va a realizar el proceso de diseño de un edificio de cinco pisos de alto, hecho de hormigón armado y que cuenta con muros estructurales, además, se calculará las dimensiones para una zapata aislada para una columna y una zapata corrida para un muro. También se incluye los principales aspectos y pasos para el diseño del edificio en el software ETABS. Finalmente se presentan los resultados obtenidos en la simulación y se comprueba si el edificio cumple con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), al igual con las recomendaciones de instituciones internacionales de diseño como lo es el Instituto Americano de Hormigón (ACI). El trabajo tiene la finalidad de ser una primera aproximación a un proceso de diseño de una estructura de hormigón armado, que sirva como pauta para ingenieros que, pese a poseer conocimientos teóricos no saben cómo llevarlos a la práctica, y para dar recomendaciones para el diseño de este tipo de estructuras bajo la normativa ecuatoriana.

Palabras clave: Edificio, diseño sismorresistente, hormigón armado, muro estructural, zapata aislada, zapata corrida.

ABSTRACT

In Ecuador, there is a growing demand for designs of seismic-resistant structures due to the vertical growth of the main cities and the seismic danger that affects the country. In recent years, the country has suffered many small and large earthquakes that have affected, deteriorated, and even destroyed different buildings throughout the national territory, taking innocent lives with them. For this reason, all structures built in the country must have an adequate design that complies with Ecuadorian regulations and is safe for all users. In the present work, the design process of a five-story building, made of reinforced concrete and with structural walls, will be carried out. In addition, the dimensions for an isolated footing for a column and a continuous footing for a wall will be calculated. The main aspects and steps for the design of the building in the ETABS software are also included. Finally, the results obtained in the simulation are presented and it is verified if the building complies with the Ecuadorian Construction Standard (NEC), as well as with the recommendations of international design institutions such as the American Concrete Institute (ACI). The purpose of the work is to be a first approximation to a design process of a reinforced concrete structure, which serves as a guideline for engineers who, despite having academic knowledge, do not know how to put it into practice and to give advice for the design of structures under Ecuadorian regulations.

Key words: Building, seismic-resistant structure, reinforced concrete, structural wall, isolated footing, continuous footing.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	10
Desarrollo del Tema.....	12
Sección 1: Prediseño	12
Consideraciones para el diseño.....	12
Procedimiento de prediseño.....	13
Resumen de materiales y secciones del Prediseño.....	15
Sección 2: Diseño de muro estructural.....	17
Datos para el diseño del muro	17
Cargas de diseño.....	18
Espesor de muro y verificación de esbeltez	18
Diseño a flexión.....	19
Diseño por corte en el alma del muro	21
Diseño final.....	21
Sección 3: Diseño de zapata aislada para columna	22
Cargas de diseño y datos para el diseño de la zapata.....	22
Dimensionamiento y verificación de presión	23
Verificación de cortante y punzonamiento.....	24
Diseño del refuerzo longitudinal y transversal	24
Detalle final de la zapata aislada.....	25
Sección 4: Diseño de zapata corrida para muro estructural	26
Cargas de diseño y datos para el diseño de la zapata.....	26
Dimensionamiento de la zapata y revisión por cortante	27
Momento flexionante, acero longitudinal y transversal.....	28
Detalle final de la zapata corrida	28
Sección 5: Diseño en Software ETABS.....	30
Definición de materiales	30
Diseño de columnas	32
Diseño de vigas.....	33
Diseño de los muros estructurales	35
Definición del espectro de respuesta.....	36
Definición de patrones de carga, casos de carga y combinaciones de carga	36
Modelado del edificio	39
Aplicación de cargas	40
Vista del modelo del edificio	40
Sección 6: Resultados de diseño y comprobación de cumplimiento de la NEC.....	44
Demanda - Capacidad.....	44
Deformaciones de la estructura	45
Comprobaciones de cumplimiento de la NEC	46
Conclusiones.....	49
Referencias bibliográficas.....	52
ANEXO A: MEMORIA DE CÁLCULO EN EXCEL PARA DISEÑO DE MURO ESTRUCTURAL CON ELEMENTOS DE BORDE.....	53
ANEXO B: MEMORIA DE CÁLCULO EN EXCEL PARA DISEÑO DE ZAPATA AISLADA PARA COLUMNAS.....	56
ANEXO C: MEMORIA DE CÁLCULO EN EXCEL PARA DISEÑO DE ZAPATA CORRIDA PARA MURO ESTRUCTURAL	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de cargas para prediseño.....	14
Tabla 2: Parámetros para Espectro de Diseño	14
Tabla 3: Propiedades del material para prediseño	16
Tabla 4: Geometría de la viga.....	16
Tabla 5: Geometría de la columna.....	16
Tabla 6: Acero longitudinal de la columna.....	16
Tabla 7: Datos para diseño de muro estructural.....	17
Tabla 8: Cargas de diseño para muro estructural.....	18
Tabla 9: Diseño por flexo-compresión de muro estructural	20
Tabla 10: Cantidad de acero colocado en los elementos de borde por piso	20
Tabla 11: Cargas y propiedades de los materiales para diseño de zapata aislada.....	23
Tabla 12: Cargas de diseño para zapata corrida.....	26
Tabla 13: Propiedades de los materiales para diseño de zapatas corridas	27
Tabla 14: Cargas aplicadas en el diseño de ETABS.....	40
Tabla 15: Relación Demanda/Capacidad de columnas.....	45
Tabla 16: Tipo de participación modal de masa	46
Tabla 17: Relación entre la respuesta estática y dinámica.....	47
Tabla 18: Deriva de piso (20 valores mayores) – ETABS.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Vista en planta del edificio	13
Ilustración 2: Espectro sísmico según NEC	15
Ilustración 3: Tabla R18.10.1 del ACI 318-19	19
Ilustración 4: Diagrama de Interacción del muro	21
Ilustración 5: Diseño final del muro estructural	22
Ilustración 6: Cargas para diseño de zapata aislada.....	22
Ilustración 7: Detalle final de la zapata aislada	25
Ilustración 8: Carga axial para diseño de zapata corrida	26
Ilustración 9: Vista longitudinal y transversal para el diseño de zapata corrida.....	27
Ilustración 10: Detalle final de la zapata corrida	29
Ilustración 11: Propiedades del hormigón f'c 280.....	30
Ilustración 12: Resistencia a la compresión del hormigón f'c 280.....	31
Ilustración 13: Propiedades del acero para varillas de refuerzo	31
Ilustración 14: Sección de columnas 65x45.....	32
Ilustración 15: Factores de modificación para columnas.....	32
Ilustración 16: Acero de refuerzo	33
Ilustración 17: Sección de viga 30x40	34
Ilustración 18: Factores de modificación para vigas.....	34
Ilustración 19: Section Designer - Vista del diseño del muro estructural.....	35
Ilustración 20: Espectro de respuesta importado a ETABS	36
Ilustración 21: Patrones de carga	37
Ilustración 22: Casos de carga	37
Ilustración 23: Combinaciones de carga según la NEC.....	38
Ilustración 24: Combinaciones de carga en ETABS.....	38
Ilustración 25: Propiedades de la sección de losa tipo waffle	39
Ilustración 26: Vista en planta del modelo – ETABS.....	41
Ilustración 27: Vista extruida en elevación del modelo en el eje A – ETABS.....	42
Ilustración 28: Vista extruida en elevación del modelo en el eje B – ETABS	42
Ilustración 29: Vista tridimensional del edificio – ETABS	43
Ilustración 30: Vista tridimensional del edificio extruida – ETABS.....	44
Ilustración 31: Vista deformada del edificio.....	45

INTRODUCCIÓN

Ecuador actualmente está teniendo un desarrollo vertical urbano muy importante en las principales ciudades del país; y al estar ubicado en una zona de alta peligrosidad sísmica, (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014) es necesario realizar diseños estructurales adecuados para precautelar la vida de los usuarios de las distintas edificaciones. Para esto todas las construcciones deben cumplir con los lineamientos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y de los artículos referidos en la misma.

En este trabajo, se realizará el procedimiento para el diseño estructural de un edificio de 5 pisos con la utilización de muros estructurales, bajo ciertas delimitaciones arquitectónicas y en condiciones sísmicas. Para ello, se va a utilizar el programa Excel para realizar una Hoja de cálculo que mediante un proceso iterativo permita realizar el dimensionamiento de diferentes secciones de muros estructurales, zapatas aisladas y zapatas corridas y el programa ETABS para el modelado de la edificación.

El trabajo consta de 6 secciones distribuidas de la siguiente manera: Primero se realiza el **Prediseño**: basado en una Hoja de Cálculo ya existente se obtienen las dimensiones de vigas y columnas para la edificación tomando en consideración cargas verticales y horizontales. Segundo se realiza el **Diseño de muro estructural**: en esta sección se busca dimensionar y detallar la sección de un muro estructural con áreas de confinamiento para resistir las cargas verticales producto de un sismo y las cargas axiales dadas por el peso de la estructura y cargas adicionales. Tercero se realiza el **Diseño de zapata aislada para columna**: con los resultados obtenidos del modelo en ETABS se toman las reacciones en la base del de las columnas y se realiza el diseño de una zapata aislada que pueda soportar las cargas aplicadas mediante un proceso iterativo. La cuarta sección trata sobre el **Diseño de zapata corrida para muros**: en esta sección se busca encontrar las dimensiones para que una zapata corrida pueda soportar la carga del muro estructural que va a poseer el edificio. En esta sección, al igual que en la

anterior, se utilizan las propiedades mecánicas del suelo en las que se va a implantar el edificio. La quinta etapa es la referente al **Diseño en software ETABS**: aquí se tiene como finalidad la de indicar los principales pasos mediante los cuales se puede modelar el edificio en el programa ETABS con las secciones calculadas anteriormente y con las consideraciones de diseño especificadas en las Normas de Construcción. Finalmente, la última sección es la de **Análisis de resultados**: aquí se van a tomar los resultados obtenidos en el programa ETABS y se va a comparar con las recomendaciones y requisitos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción para conocer si el diseño es correcto y cumple con la demanda de las cargas verticales y horizontales y ver si es que su diseño es óptimo o se encuentra sobredimensionado.

Pese a que el edificio no es real, se asumen ciertas consideraciones para la construcción de este, lo que permite tener en cuenta datos para el cálculo estructural. Una de estas es la ubicación del edificio que se tiene planeada para el sector de La Carolina en la ciudad de Quito, Ecuador.

Además, cabe destacar que este diseño no pretende ser el óptimo; sino que tiene como función el mostrar el procedimiento realizado durante las 3 primeras fases de diseño y cálculo estructural, que serían el prediseño, el modelado mediante el uso de software y el análisis de los resultados obtenidos. Por esta razón se va a utilizar muros estructurales en una sola dirección pese a que no es lo más recomendado. También, se considera las secciones de vigas y columnas obtenidas del prediseño pese a que éstas podrían estar sobredimensionadas.

El principal objetivo de este trabajo es el de ofrecer una guía para aquellos estudiantes de Ingeniería Civil que posean conocimientos teóricos de las diferentes ramas de la carrera, pero que desconocen el procedimiento práctico para realizar un diseño y cálculo estructural mediante el uso de diferentes programas como lo son Excel y ETABS. De esta manera se ofrece una pauta que incentive al estudio del diseño y cálculo estructural en las futuras generaciones de ingenieros civiles a fin de construir edificaciones seguras y económicamente viables.

DESARROLLO DEL TEMA

El presente trabajo trata sobre el diseño de un edificio de hormigón armado con muros estructurales. El edificio cuenta con cinco pisos que deben resistir los esfuerzos provocados por cargas sísmicas, según especifica la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y cumpliendo con las recomendaciones del Instituto de Hormigón Armado (ACI) en su Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19).

Sección 1: Prediseño

Consideraciones para el diseño

Para el diseño se tienen ciertas restricciones que se deben cumplir y las cuales van a regir el diseño estructural. Se parte de la premisa de que se desea construir un edificio de oficinas de cinco pisos en la ciudad de Quito, Ecuador, sector La Carolina. Esta estructura se implanta en un terreno que siguiendo las regulaciones municipales tiene 9.50 m de frente, 17.00 m de fondo y 3.00 m de entrepiso.

Se desea colocar un muro estructural en los Ejes A y D entre 3 y 4 (como se detallará a continuación), ya que este cumplirá una función estructural y es parte del diseño arquitectónico. La cubierta del edificio no es accesible, pero debe soportar las cargas de granizo además de la carga viva recomendada por la NEC.

También se requiere que todas las vigas y todas las columnas en todos los pisos sean de las mismas dimensiones.

El edificio no posee subsuelos y la planta baja se encuentra a nivel de suelo y el terreno no presenta ningún tipo de inclinación.

El hormigón que se va a utilizar para el diseño de la estructura y todos sus componentes debe poseer una resistencia $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$. El resto de las consideraciones se irán explicado a medida que se desarrolle el diseño.

En la siguiente ilustración se muestra una vista en planta del diseño deseado:

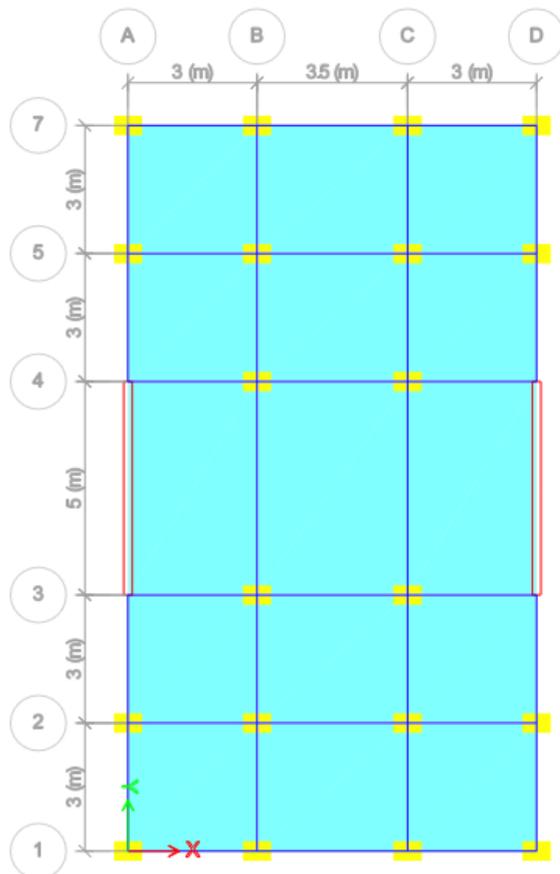


Ilustración 1: Vista en planta del edificio

Procedimiento de prediseño

El prediseño o predimensionamiento de una estructura puede realizarse por diferentes métodos, algunos ingenieros utilizan cargas de diseño y áreas tributarias, otros se basan en la experiencia o en construcciones similares, pero para efectos de cálculo de este trabajo procede a utilizarla Hoja de Cálculo realizada por el Ingeniero Iván Moreno para su proyecto de titulación “Análisis y Diseño de una Edificación en Hormigón Armado” con fecha 07 de diciembre de 2021 (Bonilla, 2021).

En esta sección se va a tomar y explicar los puntos principales de esta hoja de cálculo, mas no se va a hondar en los cálculos que se utilizan para obtener los resultados.

Primero se necesitan colocar las cargas de diseño que se va a utilizar, estas permitirán calcular el cortante basal de la estructura. Para el prediseño se consideró lo siguiente:

Tabla 1: Tipos de cargas para prediseño

TIPOS DE CARGAS (kgf/m ²)	
Cargas permanentes (cargas muertas)	300
Carga Viva	240
Carga Viva de Cubierta	70
Cargas de granizo	100
Cargas de viento	0

Las cargas permanentes son un valor aproximado mientras que el resto de las cargas se obtuvieron de la NEC. La carga viva al igual que la carga viva de cubierta se obtuvo de la Tabla 9 de la NEC-SE-CG. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014). La carga de granizo por otro lado se obtuvo de la sección 3.2.5. Cargas de granizo (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014), donde se menciona que para cubiertas con pendientes menores del 5% (que es el caso ya que la cubierta es plana); se debe considerar una carga de granizo mínima de 1.0 kN/m² o en este caso su equivalente. Cabe mencionar que no se tomaron en cuenta las cargas de viento por considerarse despreciables.

El siguiente paso consiste en evaluar el Espectro de Diseño, basándose en la NEC. Los parámetros de diseño son obtenidos de la NEC y para el caso de estudio son los siguientes:

Tabla 2: Parámetros para Espectro de Diseño

PARAMETROS		
Provincia	Pichincha	
Ciudad	Quito	
Zona Sísmica	V	
Factor z	0.4	g
Tipo de suelo	D	
n	2.48	
r	1	

Como se mencionó el edificio se encuentra en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha, por lo que se encuentra en una Zona de peligrosidad sísmica V, según la Sección 10.2. Poblaciones

ecuatorianas y valor del factor Z de la NEC-SE-DS Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014).

El tipo de suelo corresponde a un Suelo tipo D según la Tabla 2 de la normativa antes mencionada ya que este es el tipo de suelo más común en este sector de la ciudad.

El resto de los factores se obtienen de acuerdo con la Sección 3.2 y 3.3. Además, el detalle de cómo se calcula el Espectro Sísmico se detalla en la Sección 3.3. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014) Los resultados obtenidos se traducen en el siguiente gráfico. Cabe mencionar que el factor de Reducción de Resistencia Sísmica (R) tiene un valor de 8 para la estructura y un coeficiente de Importancia (I) de 1, ya que el uso del edificio es de oficinas.

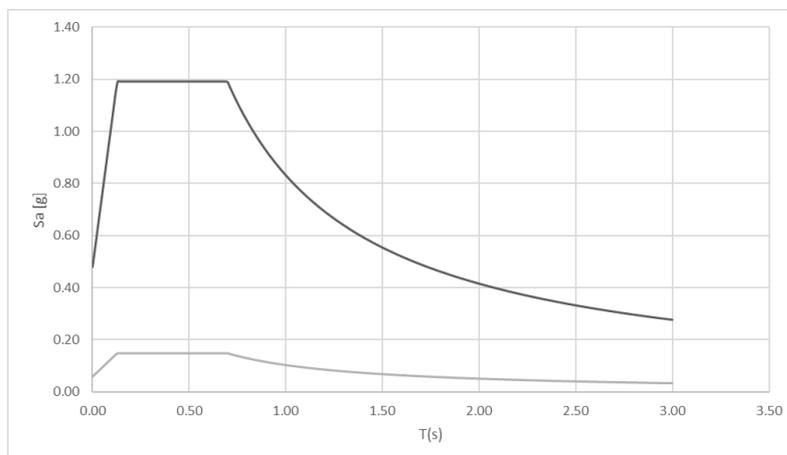


Ilustración 2: Espectro sísmico según NEC

Finalmente, la hoja de cálculo utiliza el espectro sísmico para calcular el cortante basal y hacer las respectivas comprobaciones. En la siguiente parte del documento se mostrarán los resultados obtenidos de la hoja de cálculo, con el detalle de que todas estas secciones cumplen con los criterios de diseño analizados.

Resumen de materiales y secciones del Prediseño

Para los materiales de las vigas se tiene los siguientes valores:

Tabla 3: Propiedades del material para prediseño

Propiedades del Material		
Criterio	Valor	Unidades
f_c	280	[kg/cm ²]
f^*c	224	[kg/cm ²]
$f'c$	190.4	[kg/cm ²]
β_1	0.85	-
ϕ	0.9	-
f_y	4200	[kg/cm ²]
E_c	252671.33	[kg/cm ²]

Siendo los más importantes la resistencia a compresión del hormigón $f'c=280$ kg/cm²; el módulo de elasticidad del hormigón $E_c=252671.33$ kg/cm² y el límite de fluencia del acero $f_y=4200$ kg/cm². Estas propiedades son comunes en los materiales de la región.

Esto da como resultado las siguientes dimensiones:

Tabla 4: Geometría de la viga

Geometría de viga		
h	40	[cm]
b	30	[cm]

Siendo h el peralte de la viga y b el ancho. Por lo que se tiene una viga rectangular. Para las columnas el predimensionamiento arrojó los siguientes resultados:

Tabla 5: Geometría de la columna

Geometría de la columna		
hy	65	[cm]
bx	45	[cm]

Y el acero longitudinal calculado da lo siguiente:

Tabla 6: Acero longitudinal de la columna

Acero Longitudinal		
Número de varillas x	8	-
Número de varillas y	8	-
Número de varillas	28	-
Diámetro de varillas	20	[mm]

Las dimensiones de las secciones se especificarán a mayor detalle cuando se explique el diseño en ETABS.

Sección 2: Diseño de muro estructural

Para el análisis y diseño del muro se procedió a crear una Hoja de Cálculo en Excel que mediante un proceso iterativo permita calcular las dimensiones, al igual que las áreas de confinamiento, el acero necesario, y el alma del muro con su acero longitudinal y transversal.

En esta sección se explicará brevemente cada paso para el diseño resaltando los puntos importantes para el cálculo

Datos para el diseño del muro

Como se muestra en la imagen en planta se desea colocar muros estructurales entre los ejes 3 y 4 de la edificación, por lo que se tiene una longitud de 5.00 m para el muro. Las propiedades de materiales que se utilizan para el diseño del muro coinciden con las utilizadas para el diseño de vigas y columnas.

Adicionalmente para el diseño de muro se calcula el área tributaria aproximada, asumiendo una forma rectangular, teniendo la longitud de 5.0 m del muro multiplicado por la mitad del ancho de la losa que va hacia el muro. Dando un total de 7.50 m^2 . W_i es la carga gravitacional aproximada por metro cuadrado a la que estará sometida la estructura. Esto servirá para conocer la carga axial a la que se somete el muro en cada piso. También es necesario conocer las fuerzas laterales obtenidas en la sección de cortante basal de la Hoja de Cálculo.

Tabla 7: Datos para diseño de muro estructural

Datos para diseño de muro estructural		
Lw	5.00	m
hw	3	m
# de pisos	5	---
f'c	280	kg/cm ²

fy	4200	kg/cm2
E acero	2.10E+06	kg/cm2
fy estribo	4200	kg/cm2
Área planta	161.5	m2
Área trib.	7.5	m2
V max	12.11	Ton
Wi	0.72	Ton/m2

Cargas de diseño

Las cargas de diseño se obtienen para cada piso, las necesarias para el cálculo son las cargas axiales (Pu) y el momento (Me) que se obtiene al multiplicar el cortante por la altura del entrepiso más el momento del piso superior. La excentricidad se obtiene al dividir el momento para el cortante y este dato es importante para conocer el comportamiento del muro.

Tabla 8: Cargas de diseño para muro estructural

Piso	Cargas de diseño			Excentricidad
	Pu (Ton)	Ve (Ton)	Me (Ton.m)	e (m)
5	5	12.1	36.3	6.73
4	11	9.7	101.7	9.42
3	16	7.3	188.9	11.66
2	22	4.8	290.6	13.45
1	27	2.4	399.6	14.80
0	32	0.0	508.5	15.70

Espesor de muro y verificación de esbeltez

Para el espesor del muro se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 1

$$bw = \frac{Ve}{Lw \times 0.53 \times \sqrt{f'c}}$$

Debido a que el edificio tiene 5 plantas los esfuerzos laterales a los que se ve sometida la estructura es baja por lo que el espesor del muro dará un valor pequeño. Pero las

recomendaciones de diseño sugieren que el espesor mínimo para un muro estructural sea de 20 cm (ACI Committee 318, 2019). Por lo que para el diseño se usa el espesor mínimo espesor.

Para conocer el comportamiento del muro se debe consultar la tabla R18.10.1 y la sección 18.10.2 del ACI 318-19 (ACI Committee 318, 2019).

Table R18.10.1—Governing design provisions for vertical wall segments^[1]

Clear height of vertical wall segment/length of vertical wall segment, (h_w/ℓ_w)	Length of vertical wall segment/wall thickness (ℓ_w/b_w)		
	$(\ell_w/b_w) \leq 2.5$	$2.5 < (\ell_w/b_w) \leq 6.0$	$(\ell_w/b_w) > 6.0$
$h_w/\ell_w < 2.0$	Wall	Wall	Wall
$h_w/\ell_w \geq 2.0$	Wall pier required to satisfy specified column design requirements; refer to 18.10.8.1	Wall pier required to satisfy specified column design requirements or alternative requirements; refer to 18.10.8.1	Wall

^[1] h_w is the clear height, ℓ_w is the horizontal length, and b_w is the width of the web of the wall segment.

Ilustración 3: Tabla R18.10.1 del ACI 318-19

Para el diseño del muro se tiene que este se comportará como muro y no como marchón de muro dados los parámetros de la tabla R18.10.1.

En cuanto a la esbeltez del muro, para que este cumpla con la condición se espera que la relación entre el alto del muro y su espesor no supere un valor de 16. El actual diseño tiene un valor de 15 por lo que cumple con el criterio de esbeltez.

Diseño a flexión

Para el diseño a flexión del muro se utiliza el método descrito en el libro Concreto Armado: Comportamiento y Diseño de Luis Bernardo Fargier Gabaldón. (Gabaldón, 2010). Este método se conoce como el método de flexo compresión y consiste en realizar el cálculo de acero como si el muro fuese una columna con excentricidades muy grandes. Se asume que todo el acero se encuentra concentrado a 50 cm del borde. Debido a las grandes excentricidades se va a presentar falla por tracción (Gabaldón, 2010), por lo que se asume un $\phi=0.90$.

De esta manera se llena la siguiente tabla iterando el valor de c hasta que P_u sea igual a P_u calculado.

Tabla 9: Diseño por flexo-compresión de muro estructural

Nivel	Mu/φ	Pu/φ	c	a	ε _s (T)	f _{st}	ε _s (C)	f _{cs}	C _c = K [*] a	x _c = (h-a)/2	As=As'	Pu/φ calc
	Ton*/m	Ton	cm	cm	-	kg/cm ²	-	kg/cm ²	kg	cm	cm ²	Ton
5	40	6	7.09	6.03	-0.198	-4200	-0.008	-15906	28697	247	1.16	6
4	153	12	15.29	12.99	-0.090	-4200	-0.002	-4003	61850	244	6.22	12
3	363	18	23.19	19.71	-0.058	-4200	0.000	-493	93811	240	16.54	18
2	686	24	30.41	25.85	-0.044	-4200	0.001	1121	123040	237	32.94	24
1	1130	30	36.78	31.27	-0.036	-4200	0.001	2018	148828	234	55.84	30
0	1574	36	41.32	35.13	-0.031	-4200	0.001	2489	167196	232	78.77	36

Al obtener el área de acero necesaria para que $P_u = P_u$ calc. se puede conocer el número de varillas y el diámetro necesario para los elementos de borde. El siguiente cuadro resume el acero colocado por piso. Cabe mencionar que en los niveles del 2 al 5 se colocó una cantidad mayor de acero a la requerida. Esto tiene como objetivo el que se genere una articulación plástica en la base del muro y que se mantenga elástico en los niveles superiores. (Gabaldón, 2010)

Tabla 10: Cantidad de acero colocado en los elementos de borde por piso

Nivel	As requerida	db	# Varillas	As calc	Cumple
	(cm ²)	(mm)		(cm ²)	
5	6.22	25.0	4	19.63	OK
4	16.54	25.0	4	19.63	OK
3	32.94	25.0	18	88.36	OK
2	55.84	25.0	18	88.36	OK
1	78.77	25.0	18	88.36	OK

Posteriormente la hoja de cálculo realiza ciertas comprobaciones e indica información adicional como el número de ramas para el acero de confinamiento (estribos), que en el diseño actual correspondería a 4 ramas.

Diseño por corte en el alma del muro

Para el diseño por corte en el alma del muro se utiliza el diagrama de interacción de carga-momento del muro obtenido de ETABS.

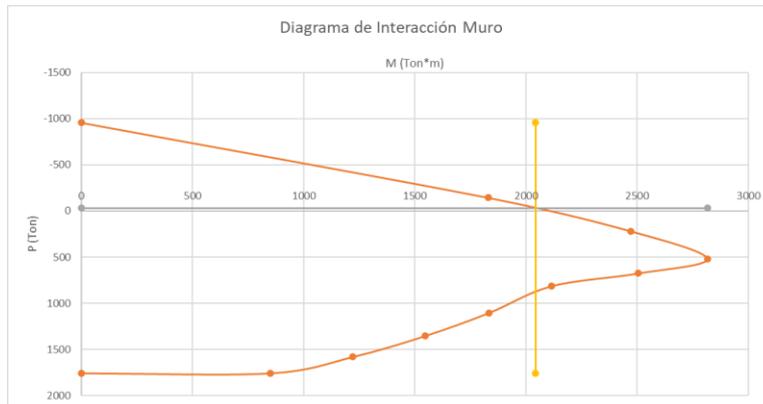


Ilustración 4: Diagrama de Interacción del muro

Con el momento último obtenido del diagrama, se procede a verificar si la cuantía asumida para a sección cumple con las condiciones de diseño y en caso de ser verificadas, se indica el acero vertical y el acero horizontal en el alma del muro.

Para más información acerca de la hoja de cálculo para el diseño de muro estructural consultar el ANEXO A: MEMORIA DE CÁLCULO EN EXCEL PARA DISEÑO DE MURO ESTRUCTURAL CON ELEMENTOS DE BORDE.

Diseño final

Para el diseño final del muro se tiene un espesor de 20 cm, con elementos de borde de 50 cm desde los extremos, que cuentan con 18 varillas de 25 mm de diámetro. Mientras que el alma del muro es de 4.0 m de longitud, y posee una malla de varillas verticales y horizontales siendo 24 varillas de diámetro 20 mm en ambas direcciones.

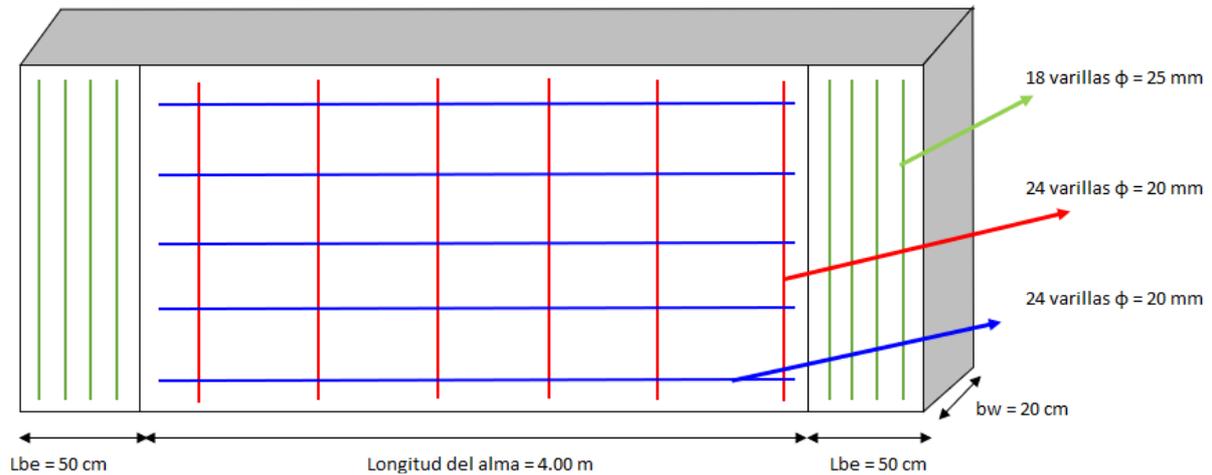


Ilustración 5: Diseño final del muro estructural

Sección 3: Diseño de zapata aislada para columna

En esta sección se hará un repaso del procedimiento usado para calcular una zapata aislada que funciona como cimentación para las columnas. Este diseño se realizó para la combinación de cargas más crítica en la columna que soporta mayor cantidad de cargas y momentos. En este caso es la columna B4, pero debido a la simetría del edificio este caso se repite en las columnas B3, C4 y C3.

Cargas de diseño y datos para el diseño de la zapata

La zapata aislada se va a realizar bajo la siguiente combinación de cargas que se obtuvo del modelo de ETABS:

Point Object	10	Story Level	BASE
	1	2	3
Force, tonf	-4.7202	-1.6825	93.4388
Moment, tonf-m	2.6686	-10.6885	-0.0085

Ilustración 6: Cargas para diseño de zapata aislada

Para el diseño de la zapata se mantienen las mismas propiedades para el hormigón y el acero, adicionalmente se requieren datos del suelo en el que se va a colocar la zapata. Las dos

propiedades del suelo son Q_{adm} que representa la capacidad de carga admisible por el suelo y γ suelo que representa la densidad del suelo.

Para esto se buscaron datos de los suelos presentes en la ciudad de Quito cerca de la locación donde se planea la construcción del proyecto. Para ello se consultó el estudio realizado por Ana María Guerrón Andrade y Lizbeth Johana Tacuri Silva, “Análisis de la influencia del porcentaje de finos en la capacidad de carga admisible de la cangahua en la ciudad de Quito, Ecuador”. Según este documento en el sector de la Av. 6 de Diciembre existe un suelo de cangahua cuya densidad es de 1.59 g/cm^3 y tienen una carga admisible de 28.51 ton/m^2 (Guerrón Andrade & Tacuri Silva, 2012).

Por lo tanto, se tienen estos datos para el diseño de la zapata aislada:

Tabla 11: Cargas y propiedades de los materiales para diseño de zapata aislada

P	93.43	Ton
M	10.69	Ton*m
f_c	280	kg/cm ²
f_y	4200	kg/cm ²
Q_{adm}	28.5	Ton/m ²
γ suelo	1.59	Ton/m ³
df	1.50	m

Donde df es la distancia de desplante de la zapata.

Dimensionamiento y verificación de presión

Primero lo que se hace es obtener un peralte para la zapata, cuyo valor se debe iterar hasta que la Hoja de Cálculo indique que las dimensiones escogidas cumplen con los criterios de diseño. En este caso la zapata tiene un peralte de 60 cm, y una longitud y ancho de 2.00 m y 2.25 m respectivamente. La forma de cálculo se basa en hallar la capacidad portante del terreno que es la presión máxima que este puede soportar sin llegar a fallar por corte o tener asentamientos excesivos, dando un resultado de 25.63 ton/m^2 para las dimensiones detalladas. Con este valor

ya se puede conocer un área aproximada para la zapata dividiendo la carga puntual P para la capacidad portante.

Para la verificación de presión se calcula los esfuerzos por flexo compresión ocasionados por las cargas P y M mediante la ecuación:

Ecuación 2

$$\sigma = \frac{P}{Azapata} \pm \frac{M \times c}{I} = 27.89 \frac{ton}{m^2}$$

Debido a que este valor de 27.89 Ton/m² es menor a la resistencia del suelo de 28.5 Ton/m² se tiene que el diseño cumple con el criterio.

Verificación de cortante y punzonamiento

Estas verificaciones se realizan como un análisis similar al análisis por cortante de una viga, pero de gran tamaño donde en puntos específicos de la cimentación se calculan los esfuerzos que esta debe soportar. Además, se calcula la resistencia de la sección de hormigón y se compara que los esfuerzos que debe soportar la zapata sean menores a los esfuerzos que tiene la capacidad de resistir.

La verificación por punzonamiento tiene la misma lógica que el punto anterior, donde se busca comprobar si la sección es capaz de soportar el tipo de esfuerzo que se esté analizando. En este caso las presiones se dan a lo largo de un perímetro de falla dentro del área de la zapata, debido a las cargas punzantes o cargas verticales y a los momentos flectores. Para este análisis la sección cumple correctamente con las solicitaciones.

Diseño del refuerzo longitudinal y transversal

El diseño del acero necesario para la zapata se realiza de la misma manera en que se calcularía el acero de una viga ancha. Primero se calcula el momento último al que va a estar sometida la

sección tanto en una dirección como en la otra. Debido a que el edificio no es simétrico en ambas direcciones y que los lados de la zapata tampoco lo son, estos momentos serán diferentes para cada dirección por lo que es necesario verificar que la zapata sea capaz de soportar los momentos en ambas direcciones. En el caso de estudio el momento último en el sentido longitudinal es mayor al momento último en el sentido transversal por lo que en el primero habrá mayor cantidad de acero.

Tras realizar los respectivos cálculos se obtuvo que para el sentido longitudinal se requiere 16 varillas de ϕ 16 mm, separadas 13 cm y 14 varillas de ϕ 16 mm, separadas 13 cm para el sentido transversal. En la siguiente sección se mostrará de manera más visual el detalle del acero.

Detalle final de la zapata aislada

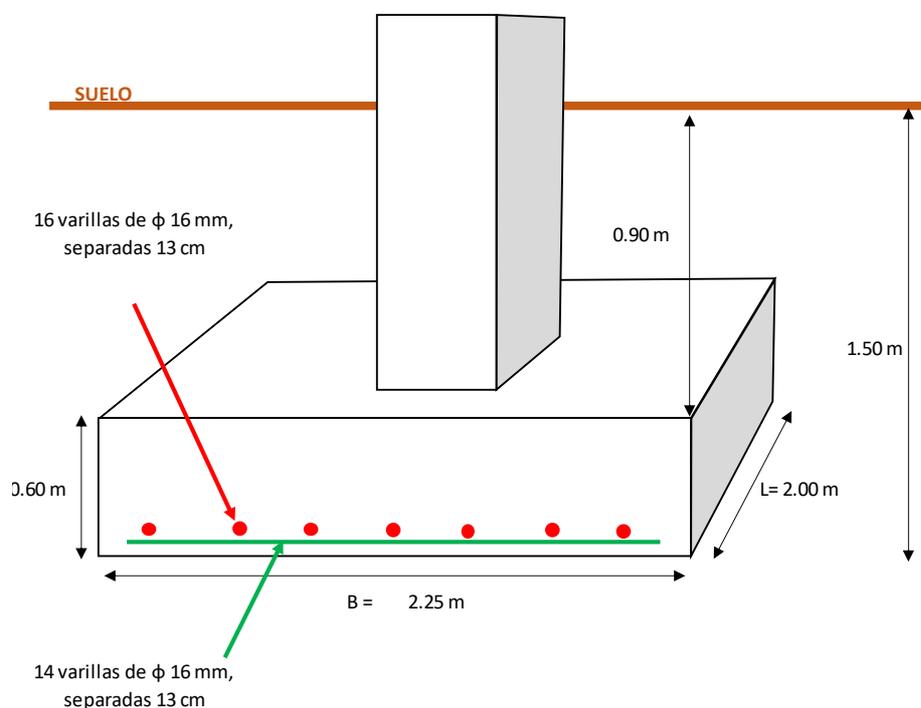


Ilustración 7: Detalle final de la zapata aislada

En la Ilustración se puede apreciar las dimensiones que cumplen con los criterios de diseño para una zapata aislada. Los valores que se obtuvieron para el detalle final vienen de un proceso

iterativo en la Hoja de Cálculo en la que se varían 3 valores que son largo y ancho de la zapata y la distancia de desplante o la profundidad a la que esta está enterrada.

Sección 4: Diseño de zapata corrida para muro estructural

Cargas de diseño y datos para el diseño de la zapata

Las cargas de diseño para la zapata corrida se obtienen del programa ETABS, para esto se busca la carga axial que transmite el muro hacia el suelo. En este se utiliza la carga axial máxima que según el programa es la siguiente:

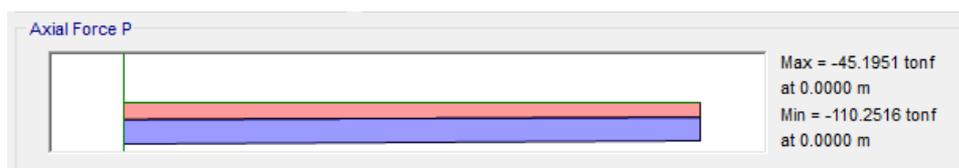


Ilustración 8: Carga axial para diseño de zapata corrida

El valor que arroja el programa corresponde a una carga puntual P en el eje del muro por lo que para diseñar de manera óptima este tipo de zapata se procede a dividir esta carga puntual para el largo del muro, que según restricciones de diseño y gracias al cálculo estructural es de 3.00 m. De esto se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 12: Cargas de diseño para zapata corrida

Fuerza Axial concentrada máxima	110.25	Ton
Largo del muro	3.00	m
Wu (Carga uniforme distribuida)	36.75	Ton/m

Para el diseño de este tipo de zapatas se utilizan las mismas propiedades tanto para los materiales de construcción como para las propiedades del suelo:

Tabla 13: Propiedades de los materiales para diseño de zapatas corridas

f_c	280	kg/cm ²
f_y	4200	kg/cm ²
E_y	2100000	kg/cm ²
Q adm	28.5	Ton/m ²
γ suelo	1.59	Ton/m ³
df	1.50	m

El ancho del muro viene dado por el diseño de este y es un dato que considerar para el cálculo de la zapata. En el diseño se tiene que este es de 20 cm de espesor.

Dimensionamiento de la zapata y revisión por cortante

Para el dimensionamiento de la zapata se parte de un valor que se debe iterar hasta que se cumpla con las condiciones de diseño. Este es el peralte de la zapata. El diseño de la zapata corrida para el muro se hace en el sentido longitudinal y el sentido transversal por lo que se debe verificar en ambos sentidos el correcto diseño.

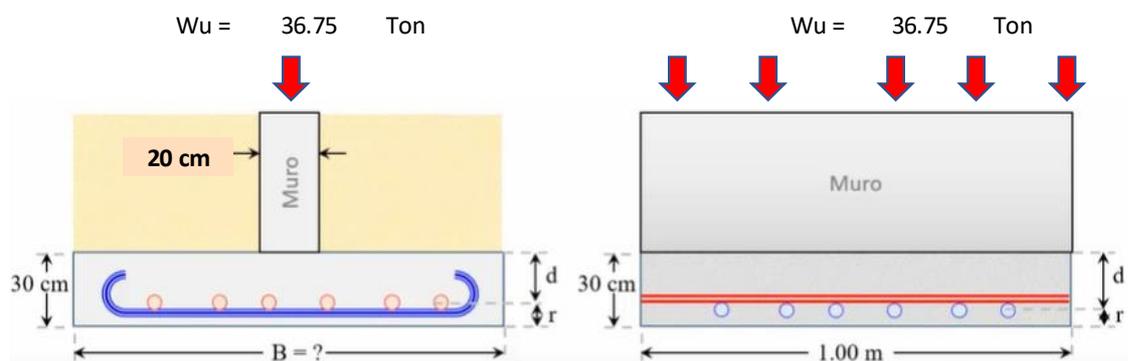


Ilustración 9: Vista longitudinal y transversal para el diseño de zapata corrida

En el sentido transversal del muro se desea saber el ancho de la zapata para que esta pueda aguantar las cargas provenientes del edificio. En el sentido longitudinal se busca cumplir con el diseño para un metro de zapata y luego poder extrapolar a la dimensión completa del muro.

El primer cálculo que se necesita obtener es el de la capacidad de carga del suelo, para este caso se obtiene un valor de 25.87 ton/m², y con este valor se puede obtener el ancho de la zapata de 1.40 m.

Ya con este dato se puede conocer el esfuerzo producido por las cargas externas que la cimentación va a tener que soportar. La revisión por cortante se realiza en base a este esfuerzo y se busca que el hormigón sea capaz de resistirlo. En caso de que esto se dé, se puede continuar con las siguientes comprobaciones de diseño. En caso de que el cortante sea mayor a la resistencia de la sección se deberá aumentar el espesor de la zapata hasta que se cumpla.

Momento flexionante, acero longitudinal y transversal

El momento flexionante parte de la idea de que la sección debe soportar el momento producido por las cargas externas, y de manera similar a una viga, comprobar si las dimensiones y la cantidad de acero son suficientes. Para el caso presentado, la sección requiere $5.85 \text{ cm}^2/\text{m}$ de acero, pero el ACI indica que el acero mínimo que se debe colocar en la sección es de $7.30 \text{ cm}^2/\text{m}$. por esta razón es este último valor el que controlará el diseño.

Para el acero longitudinal se propone utilizar 7 varillas de 12 mm de diámetro lo que da $7.92 \text{ cm}^2/\text{m}$; siendo mayor al mínimo y cumpliendo con la condición. Para la verificación se calcula el momento nominal que resistirá la sección (incluyendo el coeficiente de minoración), donde se obtiene que las dimensiones de la zapata al igual que la cantidad de acero es correcta.

Para el acero transversal o acero por contracción y temperatura, se utiliza una cuantía mínima de 0.0018 (ACI Committee 318, 2019), y en base a eso se calcula la cantidad de varillas necesarias teniendo en cuenta que ancho en el que se podrán colocar será igual al ancho de la base (1.40 m en este caso).

Detalle final de la zapata corrida

A continuación, se presenta una imagen en la que se detalla el resumen del diseño de la zapata aislada.

Como se puede apreciar el ancho del muro se mantiene hasta llegar a la zapata. El desplante o la profundidad de la zapata se puede ir variando en base a las propiedades de los materiales y del terreno al igual que las condiciones para su construcción.

Cabe destacar que el detalle final de la zapata se muestra el número total de varillas del acero longitudinal, ya que como se mencionó previamente este se había calculado de manera unitaria (para un metro de muro), pero en la realidad este muro era de 3 metros por lo que pasó de 7 varillas de 12 mm a 27.

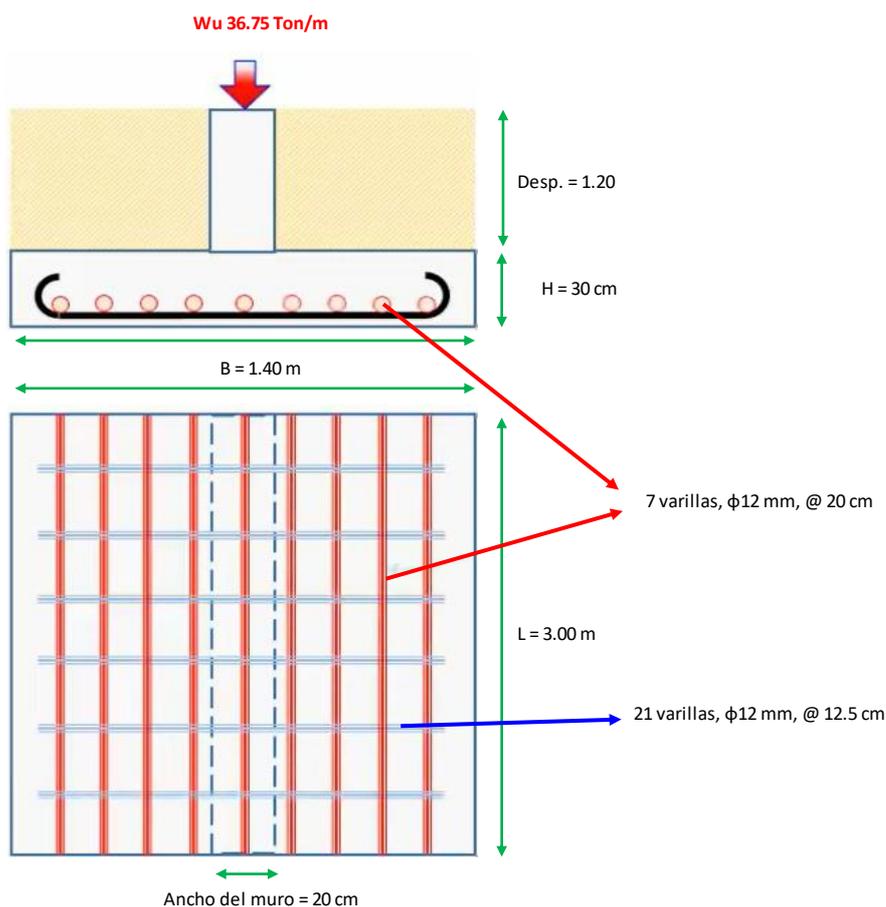


Ilustración 10: Detalle final de la zapata corrida

Con este detalle de la zapata aislada ya se podría realizar la cimentación tanto para el muro del eje A como el muro del eje D, ya que como se mencionó previamente por la simetría del edificio los esfuerzos serán similares para ambos muros siendo el calculado el caso crítico.

Sección 5: Diseño en Software ETABS

Para el diseño en ETABS se va a partir de las propiedades de materiales y las dimensiones detalladas en la sección del prediseño. El edificio se modelará en base a los criterios arquitectónicos expuestos en los planos y se comprobará si el prediseño propuesto cumple con los criterios expuestos en la NEC.

Definición de materiales

Para el hormigón, durante el prediseño se escogió que este tuviera una resistencia $f'c = 280$ kg/cm², el programa ETABS ya tiene por defecto un hormigón con similares características (hormigón $f'c$ 4000 psi) por lo que se parte de este como base y se le realizan las modificaciones necesarias.

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for a material named 'f'c 280'. The properties are organized into three sections:

- General Data:**
 - Material Name: f'c 280
 - Material Type: Concrete
 - Directional Symmetry Type: Isotropic
 - Material Display Color: (Color swatch) Change...
 - Material Notes: Modify/Show Notes...
- Material Weight and Mass:**
 - Specify Weight Density Specify Mass Density
 - Weight per Unit Volume: 2.4028 tonf/m³
 - Mass per Unit Volume: 0.245014 tonf-s²/m⁴
- Mechanical Property Data:**
 - Modulus of Elasticity, E: 2526713.3 tonf/m²
 - Poisson's Ratio, U: 0.2
 - Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C
 - Shear Modulus, G: 1052797.21 tonf/m²

Ilustración 11: Propiedades del hormigón $f'c$ 280

El principal valor al que se le da importancia es al esfuerzo a la compresión que se modifica para que coincida con lo establecido:

Material Property Design Data

Material Name and Type

Material Name: f'c 280

Material Type: Concrete, Isotropic

Grade: f'c 4000 psi

Design Properties for Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f'c: 2800 tonf/m²

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor: [Empty]

Ilustración 12: Resistencia a la compresión del hormigón f'c 280

En cuanto al acero para las varillas de refuerzo se utiliza acero de $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ o acero de grado 60. Este material ya se encuentra definido en el programa ETABS por lo que para este material se mantienen las propiedades por defecto.

Material Property Data

General Data

Material Name: fy 4200

Material Type: Rebar

Directional Symmetry Type: Uniaxial

Material Display Color: [Blue] Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

Specify Weight Density Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 7.849 tonf/m³

Mass per Unit Volume: 0.80038 tonf-s²/m⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 20389019.16 tonf/m²

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000117 1/C

Ilustración 13: Propiedades del acero para varillas de refuerzo

Estos dos materiales son suficientes para realizar el diseño del edificio en ETABS ya que todas las secciones, tanto vigas, columnas, muros y losas usarán estos materiales.

Diseño de columnas

Para el diseño de columnas se parte de las dimensiones dadas por el prediseño. En este caso se tienen columnas de 45x65 cm. Las columnas son de concreto reforzado con los materiales previamente definidos.

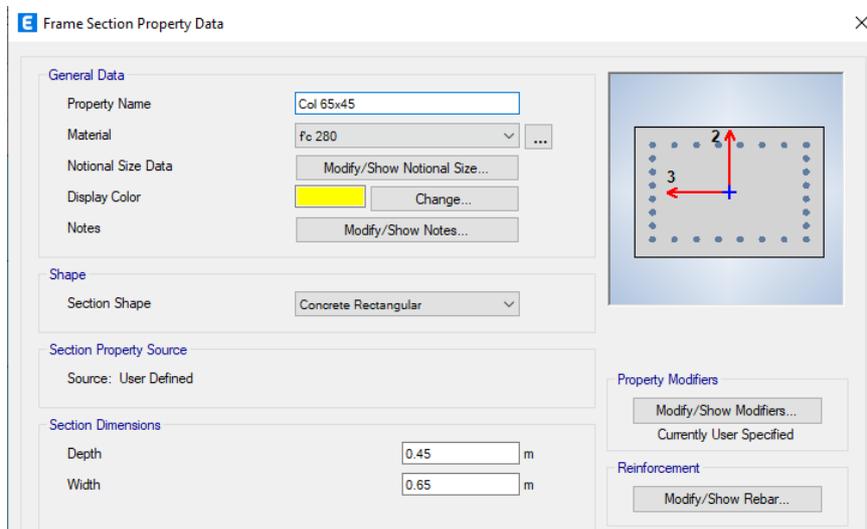


Ilustración 14: Sección de columnas 65x45

Además, la NEC indica en la sección 6.1.8. que para considerar el agrietamiento de columnas es necesario multiplicar la inercia de la columna por un factor de 0.8 (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014). Debido a que en ETABS no se puede colocar el factor directamente a la inercia, se castiga al momento de inercia tal como se muestra en la imagen.

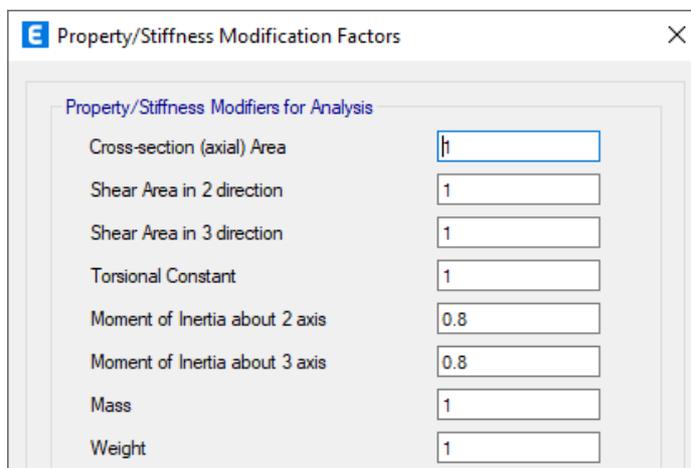


Ilustración 15: Factores de modificación para columnas

Para el acero de refuerzo se ingresan los datos según se especificó en el prediseño, tanto para el acero longitudinal como para el acero transversal o estribos.

Para el acero longitudinal se usaron varillas de 20 mm de diámetro, mientras que sol estribos utilizan varillas de diámetro 12 mm.

Ilustración 16: Acero de refuerzo

Cabe mencionar que las vigas se colocaron de tal manera que su lado largo se encuentre paralelo a la dirección X debido a que los muros que se van a colocar ya generan suficiente rigidez en la estructura en el sentido Y. Por lo que, las columnas colocadas de esta manera ayudarán a rigidizar la estructura en el en la dirección X.

Diseño de vigas

Para el diseño de vigas se utilizan los mismos materiales que para el resto de las secciones. Para las dimensiones se usan las proporcionadas por la Hoja de Cálculo para el prediseño, dando como resultado:

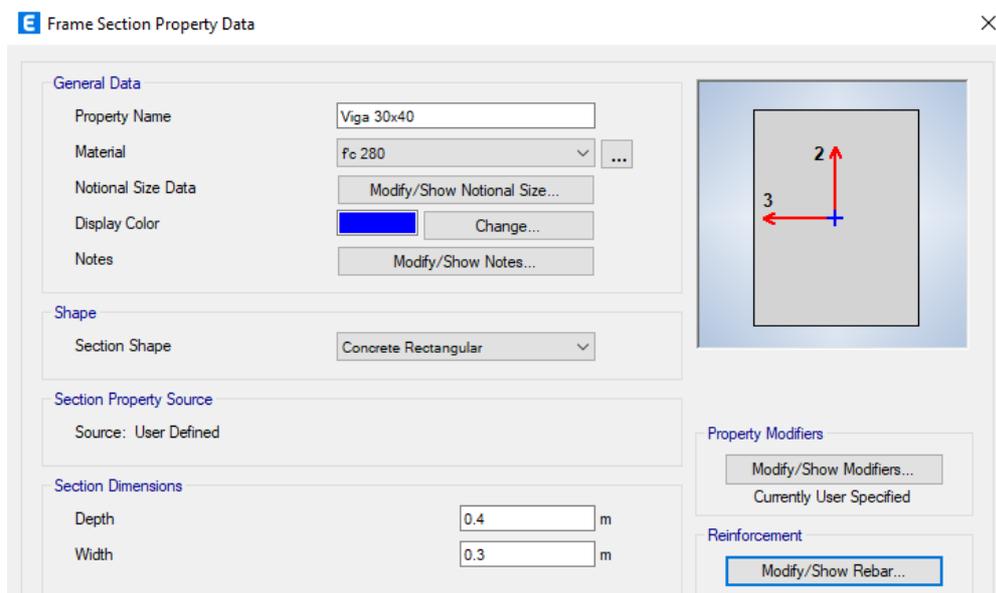


Ilustración 17: Sección de viga 30x40

Al igual que en columnas, las vigas también tienen un factor por agrietamiento que corresponde a 0.5 (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014). Ingresando este factor para el momento de inercia de las vigas se tiene:

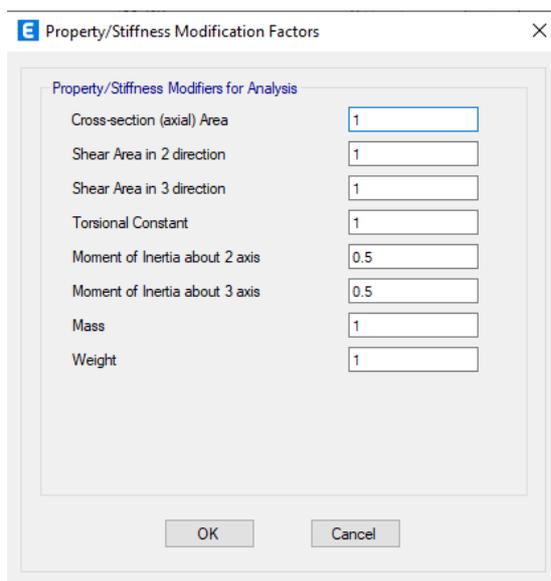


Ilustración 18: Factores de modificación para vigas

En cuanto al refuerzo de vigas solo es necesario colocar la opción de vigas de ETABS para que el programa haga el análisis considerando esta sección como viga, ya que por defecto se considera columna.

Diseño de los muros estructurales

El diseño de muros estructurales en ETABS es un tanto más complicado que las secciones de vigas o columnas ya que el programa no cuenta con una sección donde se pueda diseñar muros con áreas confinadas. Para esto toca ir al apartado “Section Designer” de ETABS y crear los muros parte por parte. En este caso se muestra el proceso para los muros del piso 1 al 3 y este proceso se replica para el muro de los pisos 4 al 5, ya que como muestra la Hoja de Cálculo para muros estructurales, hay dos tipos de muros que difieren en la cantidad de acero colocado. Lo primero que se debe hacer es colocar una sección de hormigón rectangular del tamaño del muro visto en planta. Después se debe empezar a colocar las zonas de acero confinadas con sus respectivos estribos en los extremos del muro. Finalmente se colocan las zonas de acero no confinado con su acero vertical y horizontal. Debido a que esta sección se crea por el usuario depende del diseñador la exactitud con la que realice el diseño del muro.

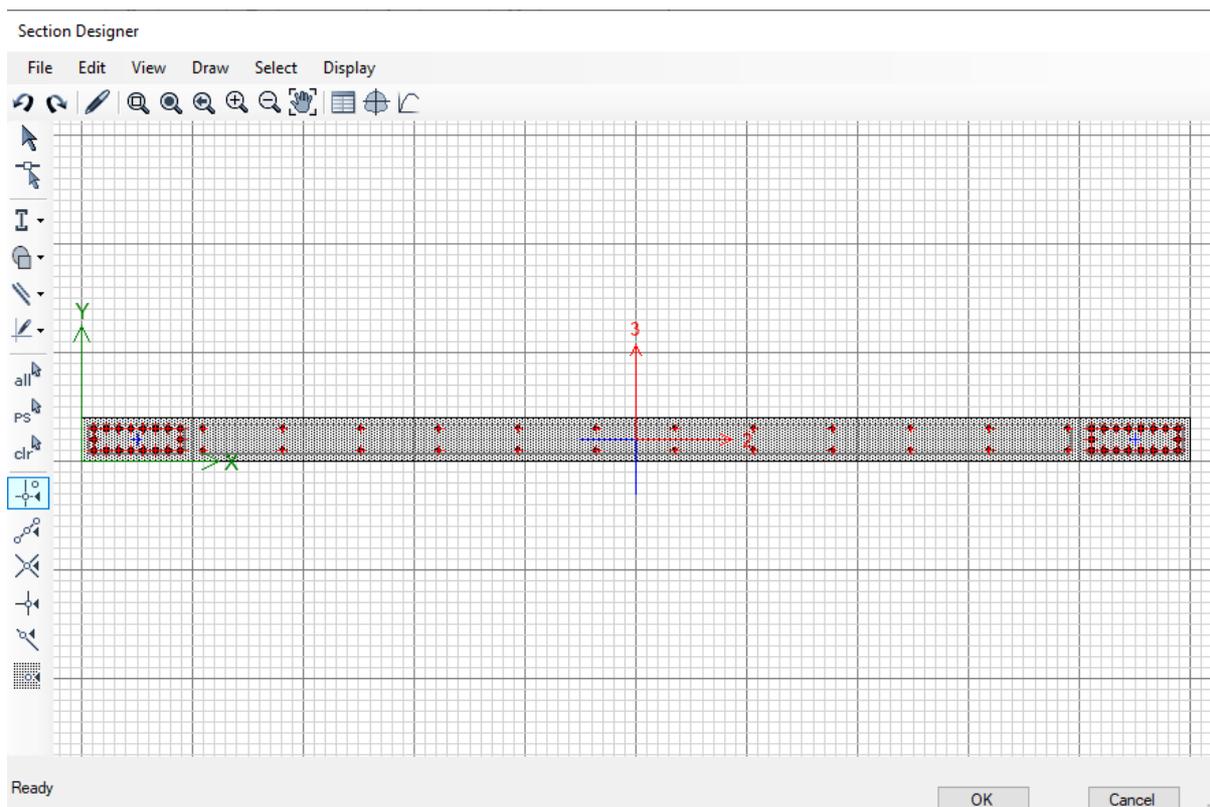


Ilustración 19: Section Designer - Vista del diseño del muro estructural

Definición del espectro de respuesta

El espectro de respuesta puede ser ingresado a ETABS de dos maneras, una es usar el código de construcción ecuatoriano que viene integrado en el programa, o la otra es importar los datos. Debido a que en el prediseño ya se calcula el Espectro de respuesta según los parámetros de la NEC simplemente se importan los valores del Espectro dividido para el factor de reducción que depende del tipo de edificación que se esté realizando. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014)

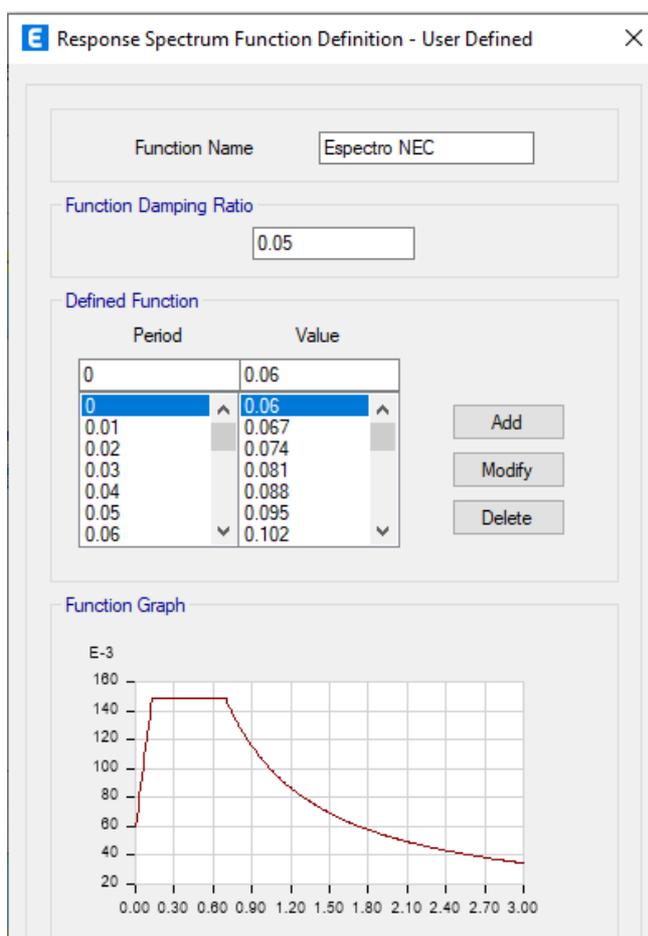


Ilustración 20: Espectro de respuesta importado a ETABS

Definición de patrones de carga, casos de carga y combinaciones de carga

Para los patrones de carga se utilizan aquellos que se encuentran en las combinaciones de carga de la NEC. En este caso se definieron los siguientes patrones:

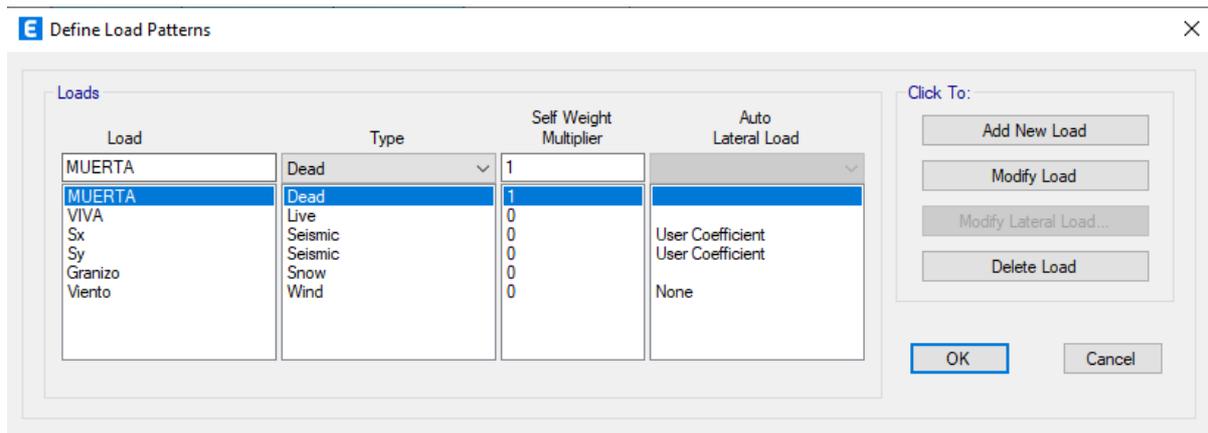


Ilustración 21: Patrones de carga

En cuanto a los casos de carga se definió adicionalmente los casos de la respuesta del espectro sísmico para poder realizar el análisis dinámico de la estructura.

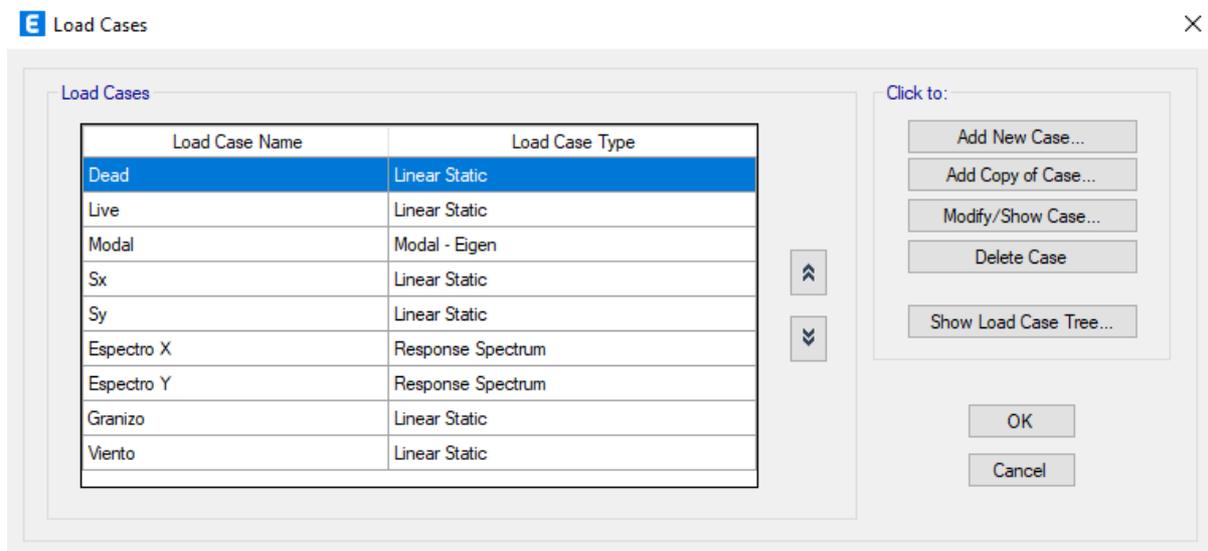


Ilustración 22: Casos de carga

Para las combinaciones de carga se agregaron los 7 casos que indica la NEC.

Donde cada letra simboliza lo siguiente:

- D: Carga permanente
- L: Carga viva (sobrecarga viva)
- E: Carga de sismo

- Lr: Sobrecarga de cubierta
- S: Carga de granizo
- W: Carga de viento

En el presente diseño no se consideró carga de viento.

Combinación 1

1.4 D

Combinación 2

1.2 D + 1.6 L + 0.5max[L_r ; S ; R]

Combinación 3*

1.2 D + 1.6 max[L_r ; S ; R] + max[L ; 0.5W]

Combinación 4*

1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 max[L_r ; 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

Ilustración 23: Combinaciones de carga según la NEC

Adicionalmente, en el programa ETABS, se creó una combinación de carga envolvente para todas las combinaciones de carga presentadas anteriormente.

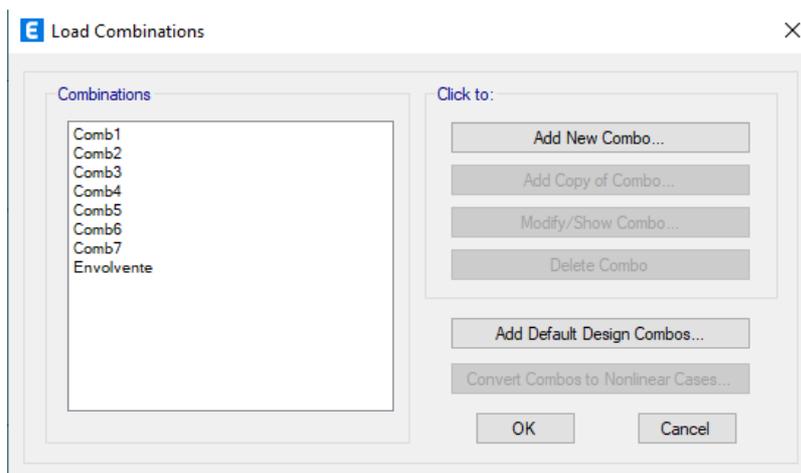


Ilustración 24: Combinaciones de carga en ETABS

Modelado del edificio

Para el modelado del edificio se procedió a colocar las vigas, columnas y muros en las secciones donde los planos indicaban.

Adicionalmente se diseñó una losa alivianada o losa tipo *waffle*, con medidas generales que no es parte del objetivo de diseño del presente trabajo. Esto se realizó debido a que las losas generan gran parte de los pesos muertos sobre el edificio y era necesario para un correcto análisis.

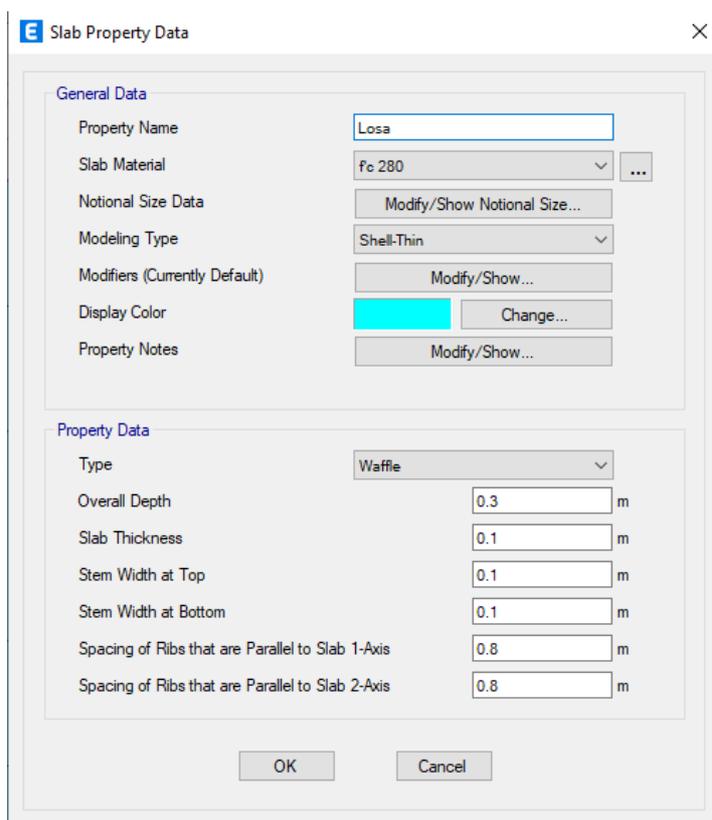


Ilustración 25: Propiedades de la sección de losa tipo waffle

Todo el diseño se replicó para cada piso y se colocaron los diferentes tipos de muros según el prediseño.

También se colocaron los diafragmas de cada piso, la consideración de la rigidez en las conexiones, la fuente de masa que según la NEC solo se considera la Carga Muerta; y demás aspectos de diseño.

Aplicación de cargas

Para las cargas verticales se colocaron los siguientes valores:

Tabla 14: Cargas aplicadas en el diseño de ETABS

Tipo de Carga	Carga Uniforme (Tonf / m²)
Sobrecarga Muerta	0.20
Carga Viva	0.24
Carga de Granizo*	0.10

*La carga de granizo solo se colocó en la cubierta del edificio.

Las cargas sísmicas no se colocan ya que estas son calculadas por el programa debido a que se ingresó el espectro.

La sobrecarga muerta no considera el peso propio de los elementos estructurales, esta sobrecarga muerta considera mampostería, acabados, instalaciones y demás.

La carga viva corresponde al valor mínimo propuesto por la NEC en su libro de cargas no sísmicas para oficinas.

Vista del modelo del edificio

Ya con el diseño finalizado, se puede ver el modelado final tanto en dos dimensiones como en tres dimensiones. La vista en planta muestra la posición y colocación de vigas, columnas, losas y muros de cada piso. Debido a la simetría en altura y planta del edificio todas las vistas de los pisos son iguales.

El programa ETABS permite tener varias vistas del edificio, tanto por elementos tipo línea como por elementos extruidos que sería una representación tridimensional del volumen real de cada sección.

A continuación, se presentarán diferentes imágenes del modelo con diferentes características.

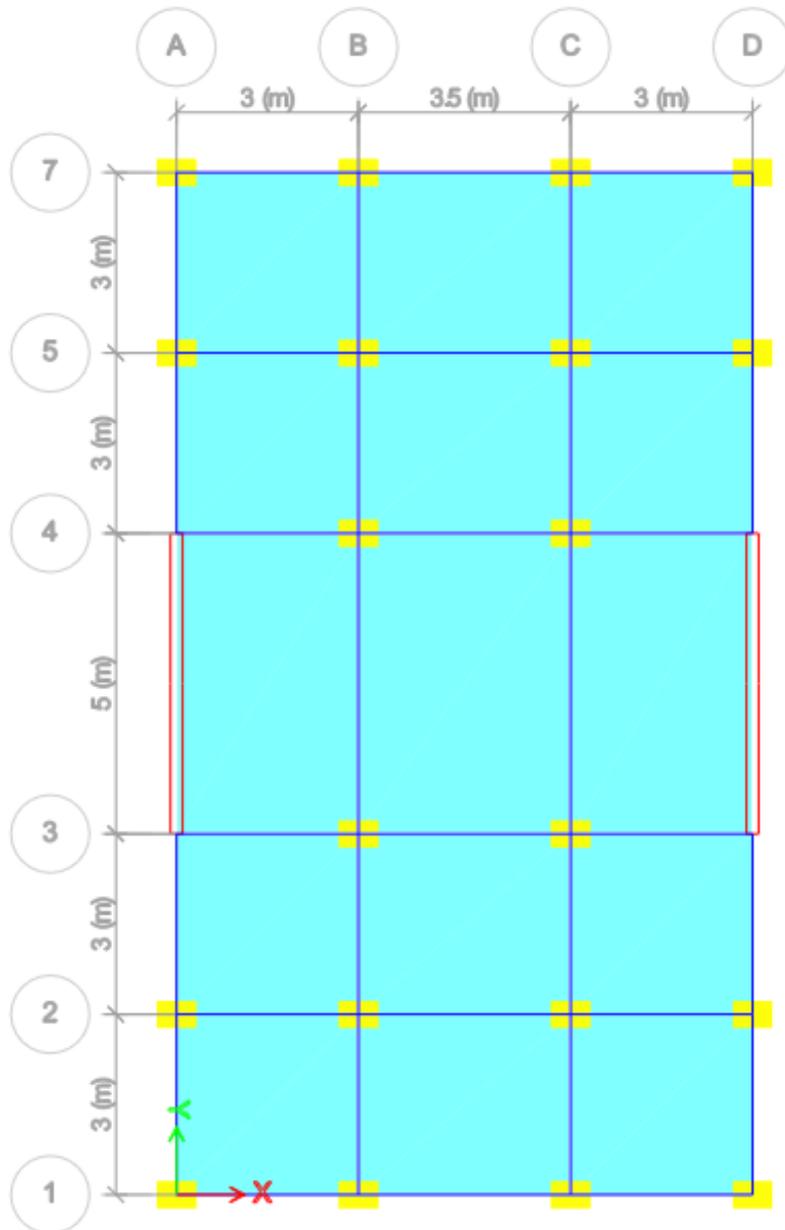


Ilustración 26: Vista en planta del modelo – ETABS

En la imagen se puede ver la vista en planta del piso 5 del edificio, como se mencionó previamente esta vista es igual para el resto de plantas.

En las siguientes imágenes se presentan las vistas en elevación del edificio tanto para el eje A donde se puede ver el muro estructural (en color rojo). Al igual que a la vista a lo largo del eje B donde se pueden apreciar todas las columnas.

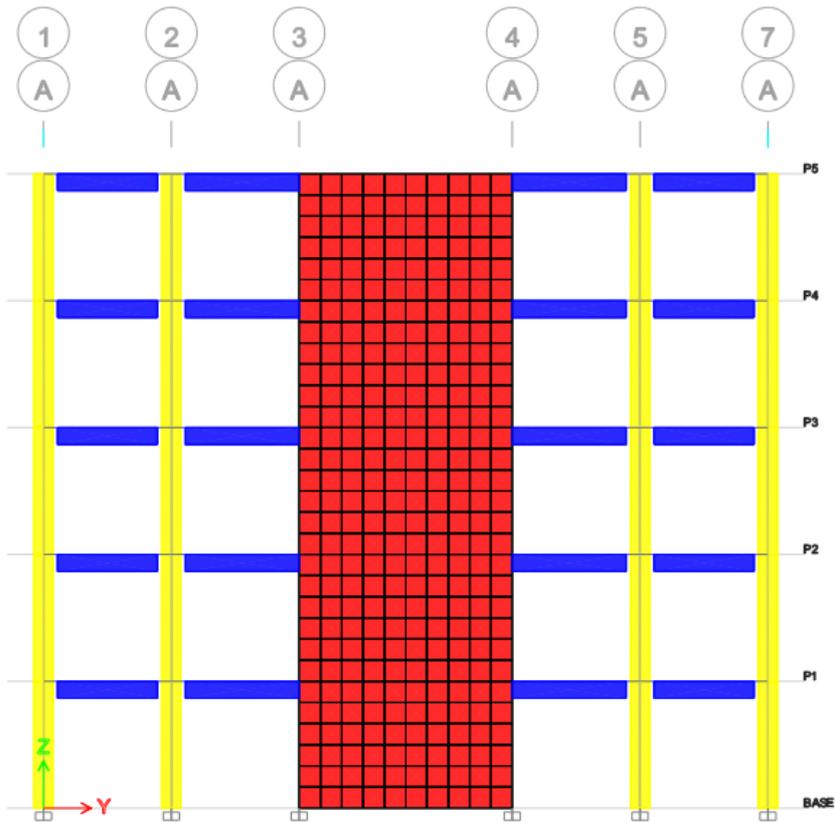


Ilustración 27: Vista extruida en elevación del modelo en el eje A – ETABS

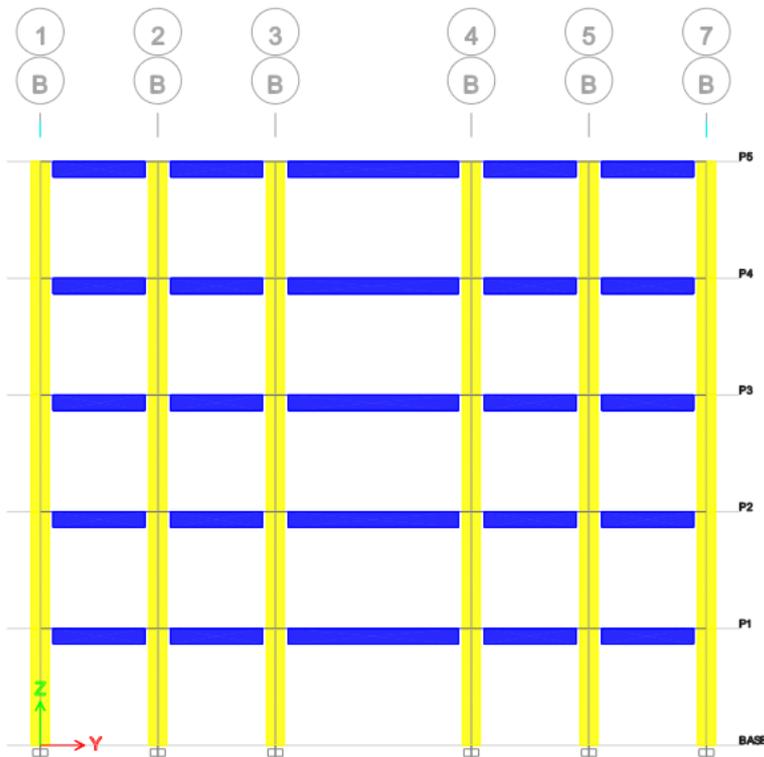


Ilustración 28: Vista extruida en elevación del modelo en el eje B – ETABS

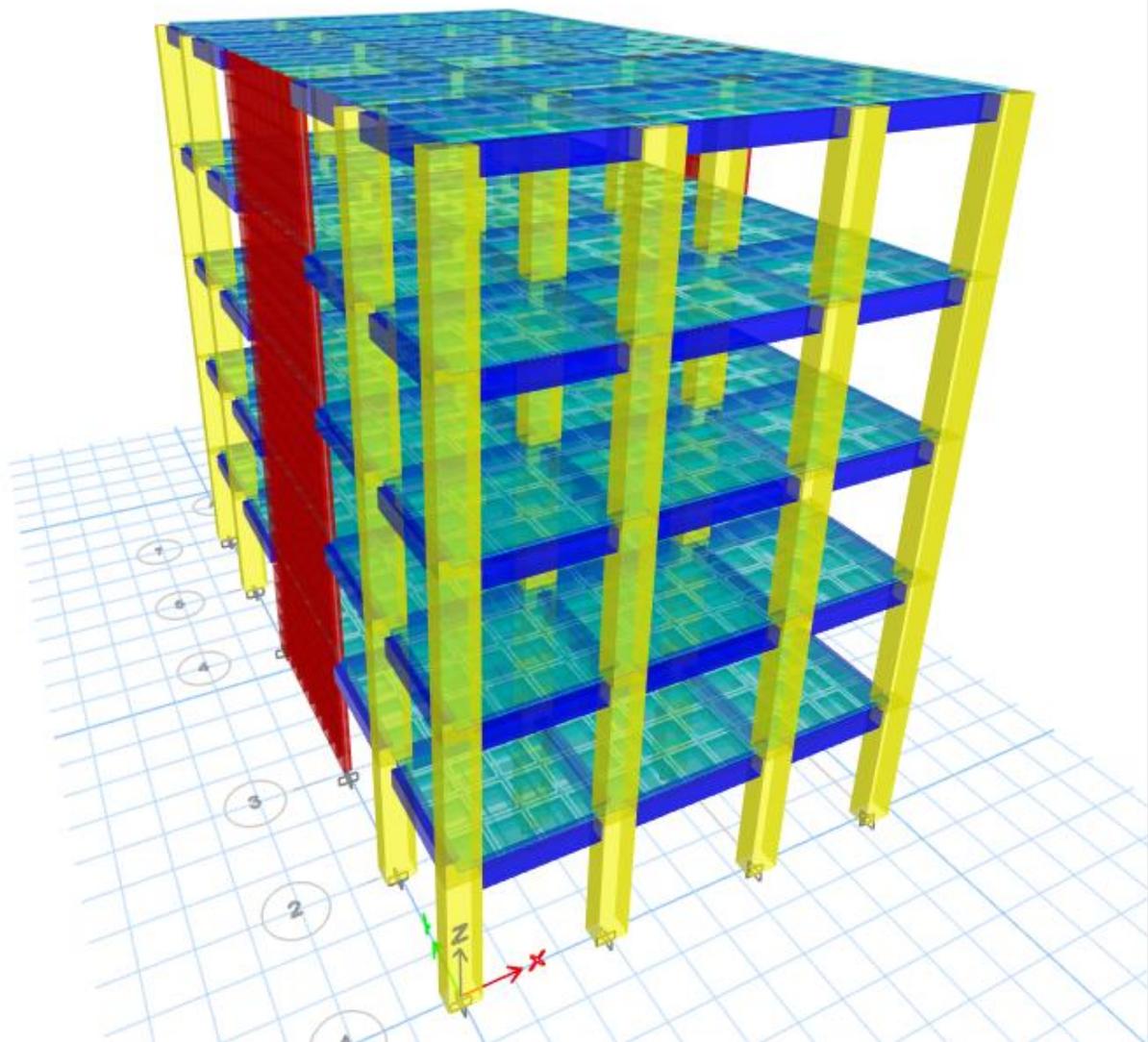


Ilustración 30: Vista tridimensional del edificio extruida – ETABS

Sección 6: Resultados de diseño y comprobación de cumplimiento de la NEC

Demanda – Capacidad

El coeficiente de demanda capacidad muestra que porcentaje de la resistencia de una sección está siendo utilizada bajo las cargas. Normalmente se busca que los valores estén cerca del 1 o 100% ya que esto significa que la sección se encuentra bien optimizada. Por otro lado, si los valores son muy bajos (inferiores al 50%) se entiende que la sección está sobredimensionada lo cual tiene implicaciones económicas negativas y podría causar problemas estructurales.

Tabla 15: Relación Demanda/Capacidad de columnas

Piso	Columna	P Tonf	M max Tonf - m	M min Tonf - m	Combinación de cargas	Demanda / Capacidad
P1	C15	93.6512	-2.7794	-10.995	Envolvente	0.226
P1	C10	93.6512	2.7794	-10.9303	Envolvente	0.225
P1	C9	93.6512	-2.7794	-10.6237	Envolvente	0.223
P1	C16	93.6512	2.7794	-10.6884	Envolvente	0.223
P1	C14	71.4316	2.1401	-11.0926	Envolvente	0.197
P1	C17	71.4316	2.2035	-11.0524	Envolvente	0.197
P1	C8	71.4316	2.2126	-10.9151	Envolvente	0.196

En la tabla se indican las columnas cuya relación demanda capacidad es la mayor, como se espera estos valores son mayores en el primer piso.

Pero como se puede apreciar ninguna sección pasa del 23% lo que indica un sobredimensionamiento.

Deformaciones de la estructura

Las deformaciones del edificio son producidas por el peso propio de la estructura, las cargas vivas y muertas adicionales y la presencia de sismo.

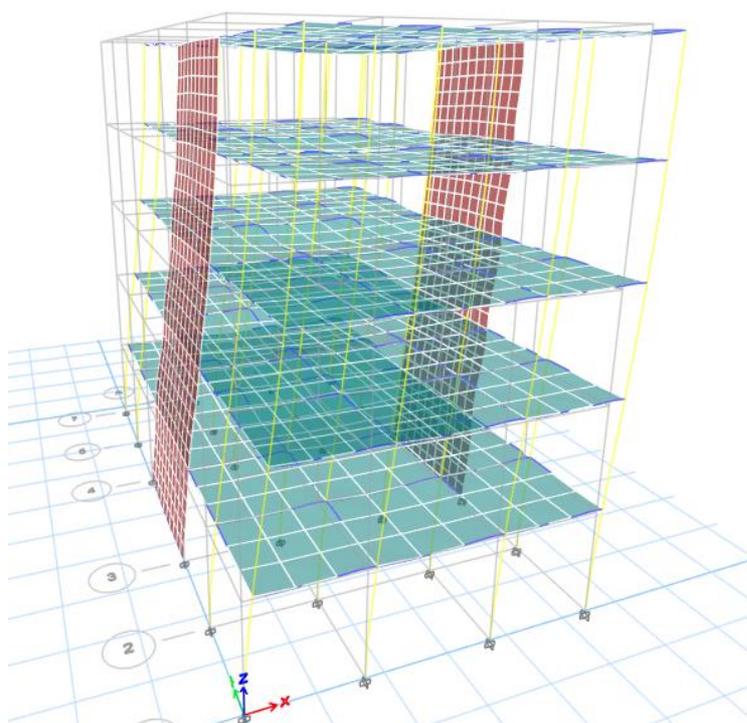


Ilustración 31: Vista deformada del edificio

Si se analiza los desplazamientos máximos de las conexiones entre elementos, se puede ver que tanto se va a deformar el edificio bajo la combinación de cargas.

Comprobaciones de cumplimiento de la NEC

La Norma Ecuatoriana de la Construcción indica que se deben hacer ciertas comprobaciones al modelo para ver si es que cumple con los criterios de diseño.

Participación modal de las masas

La participación modal de las masas indica cual será el comportamiento esperado de cada modo de vibración del análisis sísmico. La Norma Ecuatoriana de la construcción recomienda que los dos primeros modos de vibración deben ser traslacionales por lo que la relación entre la participación modal total respecto a Z (RZ) y la participación modal respecto al máximo en X o Y debe ser menor al 30%.

El tercer modo de vibración debe ser torsional por lo que la relación previamente mostrada debe ser mayor al 30%.

Tabla 16: Tipo de participación modal de masa

Modo	UX	UY	RZ	RZ/max(UX;UY)	Tipo
1	0.802	0	0	0%	Traslacional
2	0.001	0	0.7679	76790%	Torsional
3	0	0.7528	0	0%	Traslacional

Debido a que el segundo modo de vibración es torsional se puede inferir que el edificio no es simétrico y posee mayor rigidez en un sentido en comparación al otro.

Esto se da por la presencia de muros solo en la dirección Y por lo que una posible solución sería la de colocar muros estructurales en el sentido X; o retirar los muros o cambiarlos por elementos menos rígidos permitiendo una mayor simetría para la estructura.

Cumplimiento de la relación entre la respuesta estática y dinámica

La NEC indica que la relación entre la respuesta dinámica y estática para estructura no simétricas debe ser de al menos 85% y no mayor al 100%. En un inicio este valor es de 121.03% para los cortantes en X por lo que se debe corregir este factor. Para Y este valor es de 114.28%. Tras realizar las correcciones se tiene:

Tabla 17: Relación entre la respuesta estática y dinámica

Caso de Carga	Cortante (tonf)	Relación dinámica/estático
Espec X	75.37	88.93%
Sx	84.753	
Espec Y	75.87	89.53%
Sy	84.74	

Revisión de derivas

Las derivas máximas para edificios de hormigón armado según la NEC son del 2% para cada piso según la sección 5.1. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014). En el siguiente análisis se va a verificar si el edificio cumple con esta condición de diseño. Para obtener la deriva real se debe multiplicar el valor obtenido de deriva de ETABS por 0.75 y por el factor de Reducción (R) que se utilizó en el espectro de diseño, que para este caso es de 8.

Tabla 18: Deriva de piso (20 valores mayores) – ETABS

Piso	Combinaciones de carga	Dirección	Deriva	Deriva real
P2	Sx	X	0.000781	0.47%
P2	Sx	X	0.000781	0.47%
P2	Comb5	X	0.000769	0.46%
P2	Comb7	X	0.000769	0.46%
P2	Envolvente	X	0.000769	0.46%
P2	Sx	X	0.000758	0.45%
P2	Comb5	X	0.000755	0.45%
P2	Comb7	X	0.000755	0.45%

Piso	Combinaciones de carga	Dirección	Deriva	Deriva real
P3	Sx	X	0.000745	0.45%
P3	Sx	X	0.000745	0.45%
P3	Comb5	X	0.000732	0.44%
P3	Comb7	X	0.000732	0.44%
P3	Envolvente	X	0.000732	0.44%
P3	Sx	X	0.000721	0.43%
P3	Comb5	X	0.000718	0.43%
P3	Comb7	X	0.000718	0.43%
P2	Espectro X	X	0.000678	0.41%
P3	Espectro X	X	0.000644	0.39%
P4	Sx	X	0.000581	0.35%
P4	Sx	X	0.000581	0.35%
P4	Comb5	X	0.000568	0.34%

En la tabla se aprecia las derivas de piso son máximas en el piso 2 bajo la combinación de carga estática Sx. Además, todas estas derivas se dan en la dirección X por lo que sabemos que la dirección Y es más rígida.

De igual manera se puede ver que las derivas no pasan del 0.45% lo que indica un sobredimensionamiento de las secciones que conforman el edificio. En este caso se debería realizar una nueva iteración con secciones de menor tamaño, con el fin de optimizar el edificio.

Conclusiones

En el presente trabajo se realizó el proceso de prediseño y diseño de un edificio de hormigón armado con muros estructurales. Para esto se usó la herramienta de Excel como Hoja de Cálculo y el software ETABS para hacer las simulaciones y el modelado en tres dimensiones. El edificio posee 5 plantas, y al estar ubicado en la ciudad de Quito, se tiene que realizar el diseño sísmico del mismo siguiendo la NEC. La importancia de este trabajo radica en la necesidad de los estudiantes de Ingeniería Civil de poder realizar diseños estructurales completos y en base a las diferentes normativas, tomando en consideración la presencia sísmica de la región. Además, resulta muy útil el poder utilizar diferentes programas/software para realizar cálculos y comprobaciones estructurales durante el proceso de diseño.

La primera sección del trabajo comprende el predimensionamiento de vigas y columnas, esto se basó en el trabajo del Ingeniero Iván Moreno, donde partiendo de esta base, se tienen secciones de hormigón armado con resistencias de 280 kg/cm^2 para el hormigón y 4200 kg/cm^2 para el acero de refuerzo. Las dimensiones obtenidas mediante este método, para las vigas son de $30 \times 40 \text{ cm}$; mientras que para las columnas se tenían dimensiones de $65 \times 45 \text{ cm}$. Se llegó a la conclusión de que, pese a que la Hoja de Cálculo arroja dimensiones para el prediseño que cumplen con las condiciones de diseño del ACI y la NEC, esta no considera la presencia de elementos rigidizadores en la edificación como lo son los muros estructurales. Por lo que en base a las relaciones de demanda capacidad, y los esfuerzos de las secciones, se tiene que los elementos se encuentran sobredimensionados, sobre todo en las columnas que se encuentran más alejadas del centro del edificio y más cerca de los muros estructurales.

La siguiente sección del trabajo consiste en el diseño de muros estructurales, zapatas aisladas y zapatas corridas. Para esto se utilizaron diferentes métodos de cálculo llevando una memoria de estos en Excel. Todos se basan en un proceso iterativo en el que se puede ir variando las

dimensiones de las secciones de tal manera que se cumpla con las cargas de diseño. Esto a su vez da paso a que sea el diseñador quien decida las dimensiones finales que arroja la Hoja de Cálculo. Por ejemplo, la base de la zapata aislada es rectangular de 2.00 m x 2.25 m, pero una zapata de cuadrada de 2.10 m x 2.10 m también cumpliría con las diferentes verificaciones de resistencia. Esto es muy útil ya que permite que el diseño sea dinámico y se pueda adaptar de manera sencilla a factores externos que limiten las opciones de diseño.

Tras tener todas las secciones dimensionadas, se procedió con el modelado del edificio en ETABS, para ello se usan las principales herramientas que el programa tiene para el diseño de estructuras de hormigón. En esta parte se pone a prueba la edificación diseñada bajo las cargas vivas, muertas y sísmicas, siguiendo las recomendaciones y requisitos de las normas como las combinaciones de carga. Gracias a que el programa posee una amplia cantidad de tablas de resultados se puede analizar el comportamiento de la estructura. De esto se concluye y se reafirma que las secciones del prediseño se encuentran sobredimensionadas, pues estas están trabajando por debajo del 25% de su capacidad como se puede apreciar en la Tabla 15. Esto por el lado de la seguridad es muy positivo ya que el edificio podría aguantar mucha más carga para lo que fue diseñado, pero por la parte económica sería un gasto muy alto ya considerando que no es necesario que el edificio sea tan resistente.

Finalmente se realizaron las comprobaciones pertinentes del diseño en base a la NEC. Aquí se compara los resultados obtenidos con los requerimientos de la Norma. En cuanto al tipo de participación modal de la masa, aunque la Norma no lo prohíbe, si es un indicador de la falta de simetría (en la rigidez) que el segundo modo de vibración sea torsional. Por lo que se procede a comprobar las derivas de piso que de igual manera se encuentran lejos del límite permitido por la NEC 2%, siendo el máximo alcanzado por la estructura de 0.47%, como se puede ver en la Tabla 18. También se puede ver que las derivas más altas se encuentran en la

dirección X. En base a esto se puede concluir dos cosas, la primera es que la estructura posee una rigidez muy grande debido a la dimensión de las secciones y del material utilizado, por lo que se podría realizar un redimensionamiento a fin de optimizar mejor el diseño; y la segunda es que el edificio posee mucha más rigidez en el sentido Y, por lo que se aprecia que no existe simetría respecto a la rigidez en el otro sentido.

Para estudios posteriores se sugiere complementar el diseño del edificio con el cálculo de losas, ya que en este proyecto no se realizó este proceso y solamente se colocó una losa con dimensiones estándar para considerar el peso de esta en el cálculo de fuerzas. Además, se recomienda realizar el proceso de iteración para el redimensionamiento de las secciones a fin de optimizar el diseño. Esto no se realizó debido a que, al no optimizar el diseño, se pueden apreciar las sobre estimaciones, cuáles serían sus posibles efectos y que medidas se podrían tomar para mitigar los efectos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI Committee 318. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete : (ACI 318-19) ; and Commentary (ACI 318R-19)*. Farmington Hills: MI :American Concrete Institute.
- Bonilla, I. A. (2021). *Análisis y Diseño de una Edificación en Hormigón Armado*. Quito: USFQ.
- Gabaldón, L. B. (2010). *Concreto Armado: Comportamiento y Diseño*. Mérida: Editor Independiente.
- Guerrón Andrade, A. M., & Tacuri Silva, L. J. (2012). *Análisis de la influencia del porcentaje de finos en la capacidad de carga admisible de la Cangahua en la ciudad de Quito, Ecuador*. Quito. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6166/1/CD-4818.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). *Cargas (No sísmicas)*. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI. Obtenido de https://cicp-ec.com/documentos/NEC_2015/NEC_SE_CG_Cargas_Sismicas.pdf
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construcción Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente*. Quito. Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/04/MTOP_NEC-SE-DS.pdf

ANEXO A: MEMORIA DE CÁLCULO EN EXCEL PARA DISEÑO DE MURO ESTRUCTURAL CON ELEMENTOS DE BORDE

Muros Estructurales												
Datos												
Lw	5.00	m	* longitud del muro									
hw	3	m	* altura del entrepiso									
# de pisos	5											
f'c	280	kg/cm ²										
fy	4200	kg/cm ²										
E acero	2.10E+06	kg/cm ²										
fy estribo	4200	kg/cm ²										
Área planta	161.5	m ²	* área en planta del edificio									
Área trib.	7.5	m ²	* área tributaria aproximada del muro									
V max	12.11	Ton	* cortante máximo									
Wi	0.72	Ton/m ²										
Cargas de diseño												
	Cargas de diseño			Excentricidad								
Piso	Pu (Ton)	Ve (Ton)	Me (Ton.m)	e (m)								
5	5	12.1	36.3	6.73								
4	11	21.8	138.0	12.78								
3	16	29.1	326.9	20.18								
2	22	33.9	617.5	28.59								
1	27	36.3	1017.0	37.67								
Base	32	---	1416.6	43.72								
---	---	---	---	---								
---	---	---	---	---								
---	---	---	---	---								
---	---	---	---	---								
---	---	---	---	---								
---	---	---	---	---								
Espeor del muro												
bw calc.	8.19	cm	* espesor del muro calculado									
bw diseño	20	cm	* espesor del muro de diseño									
bw diseño	0.20	m										
Verificación de esbeltez												
Lw/bw	25	Comportamiento de										
hw/Lw	3.00	Muro										
hs/e muro	15.00	Cumple con criterio de esbeltez										
Diseño a flexión del muro												
ϕ asumido =	0.90											
d1 =	25 cm	* distancia hacia el punto de concentración del acero a compresión										
d2 =	475 cm	* distancia hacia el punto de concentración del acero a tensión										
x =	-225 cm	* distancia del centroide del acero al CL del muro										
x' =	225 cm	* distancia del centroide del acero al CL del muro										
CALCULAR TABLA												
Nivel	Mu/ ϕ (Ton*m)	Pu/ ϕ (Ton)	c (cm)	a (cm)	Es (T)	fst (kg/cm ²)	Es (C)	fcs (kg/cm ²)	Cc=K*a (kg)	xc=(h-a)/2 (cm)	As=As' (cm ²)	Pu/ ϕ calc. (Ton)
5	40	6	7.09	6.03	-0.198	-4200	-0.008	-15906	28697	247	1.16	6
4	153	12	15.29	12.99	-0.090	-4200	-0.002	-4003	61850	244	6.22	12
3	363	18	23.19	19.71	-0.058	-4200	0.000	-493	93811	240	16.54	18
2	686	24	30.41	25.85	-0.044	-4200	0.001	1121	123040	237	32.94	24
1	1130	30	36.78	31.27	-0.036	-4200	0.001	2018	148828	234	55.84	30
Base	1574	36	41.32	35.13	-0.031	-4200	0.001	2489	167196	232	78.77	36
Resumen de Diseño												
Nivel	As requerida (cm ²)	db (mm)	# Varillas	As calc (cm ²)	Cumple							
5	6.22	25.0	4	19.63	OK							
4	16.54	25.0	4	19.63	OK							
3	32.94	25.0	18	88.36	OK							
2	55.84	25.0	18	88.36	OK							
1	78.77	25.0	18	88.36	OK							

Dimensión del elemento de borde

Proyección vertical de los elementos de borde

$Mu / 4 * Vu = 10.93 \text{ m}$

Controla 10.93 m

$Lw = 5.00 \text{ m}$

Colocar elementos de borde en los primeros 4 pisos

$h = 12 \text{ m}$ *altura confinada

Proyección horizontal de los elementos de borde

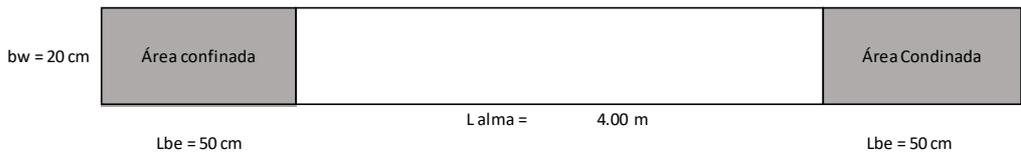
$c - Lw / 20 = -8.68 \text{ cm}$

Controla 20.66 cm

$c / 2 = 20.66 \text{ cm}$

Ancho del elemento de borde 50 cm

$Lw = 5.00 \text{ m}$



Acero de confinamiento en el elemento de borde (Estribos)

- $r = 3 \text{ cm}$ *recubrimiento
- $db = 25 \text{ mm}$ * diámetro de varilla
- $dbe = 10 \text{ mm}$ * diametro del estribo

$\frac{Ash}{S * bc} = 0.010$

Separación máxima	
S max =	6.67 cm
S diseño =	5 cm

Número de ramas	
bc =	47 cm
Ash =	2.44 cm ²
N° ramas =	4 -

* bc = ancho confindo

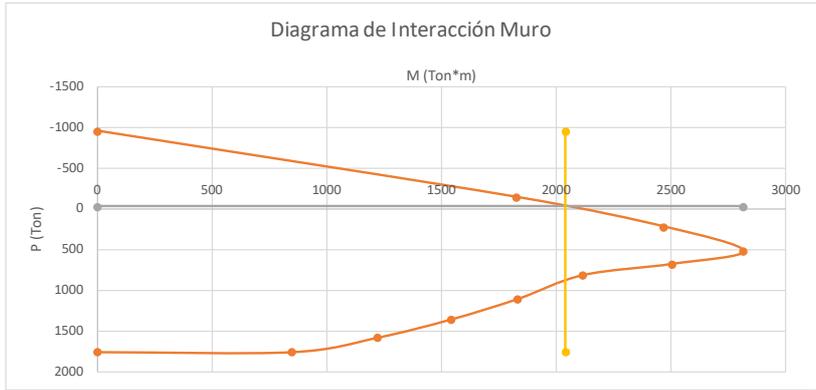
Diseño por corte en el alma del muro

- $p_v = 0.006$ *Cuantía de acero de refuerzo vertical asumida en el alma del muro
- $p_h = 0.006$ *Cuantía de acero de refuerzo horizontal asumida en el alma del muro
- $\alpha C = 0.53$
- $\phi \text{ corte} = 0.75$

$Vn = 34.07 \text{ kg/cm}^2$

Diagrama de interacción ETABS			
Pn	Mn	ϕPn	ϕMn
Ton	Ton*m	Ton	Ton*m
0	0	1759	0
0	0	1759	851
0	0	1583	1222
0	0	1357	1546
0	0	1106	1834
0	0	815	2117
0	0	677	2506
0	0	517	2817
0	0	218	2471
0	0	-144	1831
0	0	-957	0

Point	P tonf	M2 tonf-m	M3 tonf-m
1	1759.4672	0	0
2	1759.4672	0	851.1145
3	1582.9546	0	1221.6346
4	1356.6523	0	1545.6907
5	1105.9962	0	1834.3546
6	814.9961	0	2116.5206
7	676.7738	0	2506.0238
8	517.2341	0	2817.1151
9	217.8132	0	2470.647
10	-143.8105	0	1830.7089
11	-957.2383	0	0



Pu =	-32.40 Ton
Mu =	2044 Ton*m

* Hallar de la gráfica del diagrama de interacción

1.25 M =	2555 Ton*m
----------	------------

Vu =	255.5 Ton
Vu/φ =	340.7 Ton

vu/φ =	34.07 kg/cm ²
vn muro	34.07 kg/cm ²
vc =	8.87 kg/cm ²

SI CUMPLE LA CUANTÍA
 SI CUMPLE LA CUANTÍA
 Si $vu/\phi < vn$ y $vu/\phi > vc$ cumple

SI CUMPLE LA CUANTÍA

Acero vertical	
s vert. max =	45 cm
s vert. Dise. =	15 cm
As vert. =	48.00 cm ²
d varilla =	20 mm
# varillas =	24 -
As vert. Calc=	48.00 cm ²
393 cm	≤ 400 cm
SI CUMPLE	

* separación máxima
 * separación de diseño

* Área de acero requerida
 * Diámetro de varilla
 * Número de varillas
 * Área de acero calculada

* Distancias en las que se puede colocar las varillas

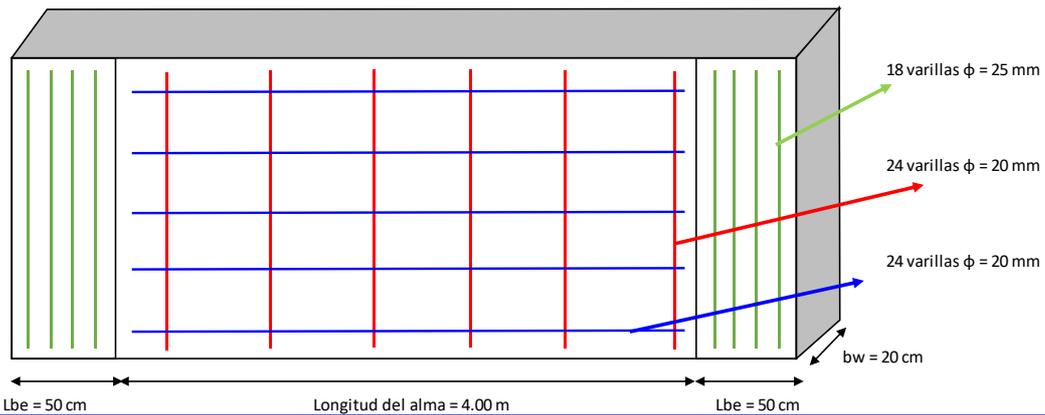
Acero Horizontal	
s hori. max =	45 cm
s hori. Dise. =	10 cm
As h =	48.00 cm ²
d varilla =	20 mm
# varillas =	24 -
As vert. Calc=	48.00 cm ²
278 cm	≤ 294 cm
SI CUMPLE	

* separación máxima
 * separación de diseño

* Área de acero requerida
 * Diámetro de varilla
 * Número de varillas
 * Área de acero calculada

* Distancias en las que se puede colocar las varillas

Diseño final



ANEXO B: MEMORIA DE CÁLCULO EN EXCEL PARA DISEÑO DE ZAPATA AISLADA PARA COLUMNAS

Diseño de Zapata Aislada para Columnas																						
Cargas																						
P	93.43 Ton	* Carga axial	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Point Object</th> <th>10</th> <th>Story Level</th> <th>BASE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Force, tonf</td> <td>-4.7202</td> <td>-1.6825</td> <td>93.4388</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Moment, tonf-m</td> <td>2.6686</td> <td>-10.6885</td> <td>-0.0085</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Point Object	10	Story Level	BASE			1	2	3	Force, tonf	-4.7202	-1.6825	93.4388		Moment, tonf-m	2.6686	-10.6885	-0.0085	
Point Object	10	Story Level		BASE																		
		1	2	3																		
Force, tonf	-4.7202	-1.6825	93.4388																			
Moment, tonf-m	2.6686	-10.6885	-0.0085																			
M	10.69 Ton*m	* Momento																				
f'c	280 kg/cm ²																					
f _y	4200 kg/cm ²																					
Q adm	28.5 Ton/m ²	* Capacidad de carga admisible del suelo																				
γ suelo	1.59 Ton/m ³	* Densidad del suelo																				
df	1.50 m	* Distancia del desplante																				
Datos de la columna																						
		# varillas	db																			
b col	45 cm	8	20																			
t col	65 cm	8	20																			
Dimensionamiento																						
Área del acero de la columna																						
db	2.0 cm																					
A _b	3.14 cm ²																					
Cálculo del peralte																						
Ld1	40.2 cm																					
Ld2	33.6 cm																					
Ld3	20 cm																					
Ld max	40.2 cm																					
Ld asumido	40.0 cm																					
Ld	50.0 cm																					
h	60.0 cm	* Altura de la zapata																				
Capacidad portante del terreno																						
q _n	25.629 Ton/m ²																					
Área de la zapata																						
A zapata	3.65 m ²																					
L calc	2.01 m																					
B calc	1.81 m																					
Longitud y ancho de zapata para diseño																						
L	2.00 m																					
B	2.25 m																					
A zapata	4.50 m ²																					

Verificación de presión ($q_{max} < q_a$)

c	1 m
Inercia	1.5 m ⁴
q max	27.89 Ton/m

SI CUMPLE

Cargas de diseño

Pu	93.43 Ton
Mu	10.69 Ton*m
e	0.11 m
L/6	0.33 m

Forma Trapezoidal

Presiones para el diseño

q1	27.89 Ton/m ²
q'	25.99 Ton/m ²
q2	13.64 Ton/m ²

Verificación por cortante ($V_u < \phi V_c$)

d	50.0 cm	* Peralte efectivo
Vu	18.18 Ton	
Vc	99.77 Ton	
ϕV_c	84.81 Ton	

SI CUMPLE

Verificación por punzonamiento ($V_u < \phi V_c$)

bo	4.2 m	* Perímetro de punzonamiento
Bo	1.4444	* Relación de lados de columna
Ap	1.0925 m ²	* Área de punzonamiento
Ap'	3.41 m ²	* Área de punzonamiento exterior
q''	17.12 Ton/m ²	* Presión de corte izquierdo
q'''	24.40 Ton/m ²	* Presión de corte derecho

Vu	70.75 Ton
Vc	453.84 Ton
ϕV_c	385.77 Ton

SI CUMPLE

Diseño de refuerzo Longitudinal

Distancia	1.45 m
q'''	22.82 Ton/m ²
F1	18.26 Ton/m
x de F1	0.400 m
F2	2.03 Ton/m
x de F2	0.53 m

Mu	8.38 Ton*m
----	------------

ρ min	0.00279	* Cuantía de acero mínimo
As min	13.94 cm ²	
ρ balanceada	0.02833	* Cuantía de acero balanceado
As balanceada	141.67 cm ²	
ρ max	0.01417	* Cuantía de acero máximo
As max	70.83 cm ²	
w1	1.6815	
w2	0.0134	
ρ diseño	0.00089	* Cuantía de acero de diseño
As diseño	4.47 cm ²	

Acero a usar

As a usar	13.94	
db	16 mm	
Ab	2.01 cm ²	
# varillas	16	
S	13 cm	* Distancia de separación en varillas

16 varillas de ϕ 16 mm, separadas 13 cm

Diseño de refuerzo Transversal

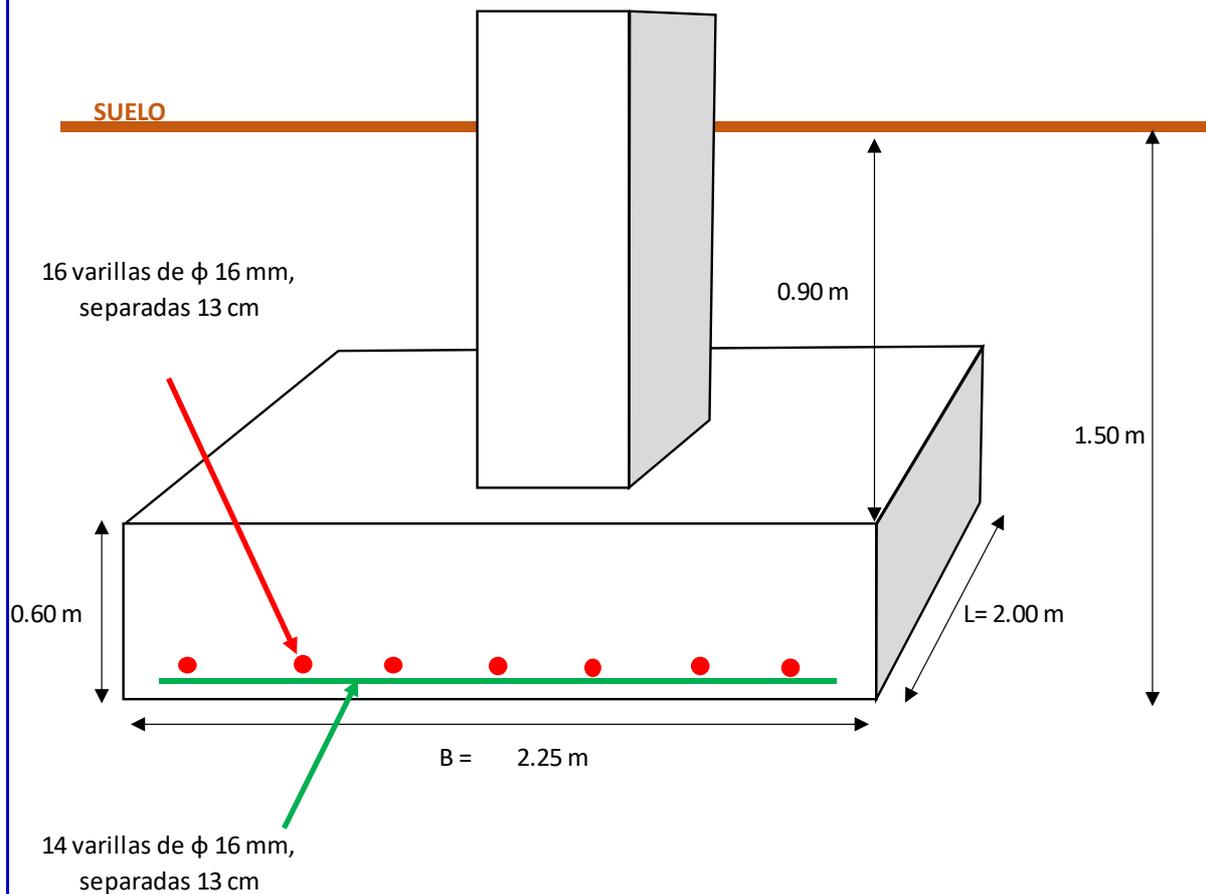
Distancia	1.225 m
q''''	21.40 Ton/m ²
Mu	6.43 Tom*m

ρ min	0.00279	* Cuantía de acero mínimo
As min	13.94 cm ²	
ρ balanceada	0.02833	* Cuantía de acero balanceado
As balanceada	141.67 cm ²	
ρ max	0.01417	* Cuantía de acero máximo
As max	70.83 cm ²	
w1	1.6847	
w2	0.0103	
ρ diseño	0.00068	* Cuantía de acero de diseño
As diseño	3.42 cm ²	

Acero a usar

As a usar	13.94
db	16 mm
Ab	2.01 cm ²
# varillas	14
S	13 cm

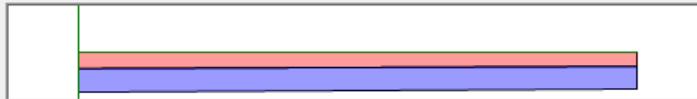
* Distancia de separación en varillas

14 varillas de ϕ 16 mm, separadas 13 cm**Detalle Final de Zapata Aislada para Columnas**

ANEXO C: MEMORIA DE CÁLCULO EN EXCEL PARA DISEÑO DE ZAPATA CORRIDA PARA MURO ESTRUCTURAL

Diseño de Zapata Corrida para Muro

Axial Force P



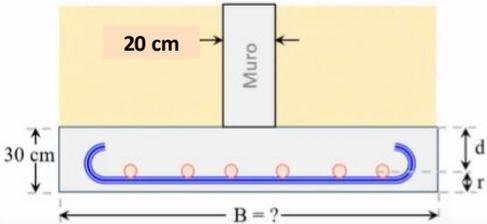
Max = -45.1951 tonf at 0.0000 m
Min = -110.2516 tonf at 0.0000 m

Fuerza Axial concentrada máxima	110.25 Ton
Largo del muro	3.00 m
Wu (Carga uniforme distribuida)	36.75 Ton/m

f'c	280 kg/cm ²	
f _y	4200 kg/cm ²	
E _y	2100000 kg/cm ²	
Q _{adm}	28.5 Ton/m ²	* Capacidad de carga admisible del suelo
γ _{suelo}	1.59 Ton/m ³	* Densidad del suelo
d _f	1.50 m	* Distancia del desplante

b	0.20 m	* Ancho del muro
---	--------	------------------

Wu = 36.75 Ton



20 cm

Muro

30 cm

B = ?

Wu = 36.75 Ton



Muro

30 cm

1.00 m

Sentido Transversal al muro

H	30 cm	* Peralte de la zapata
d _b	12 mm	* Diámetro de varilla
r	9.3 cm	
d	20.7 cm	

Sentido Longitudinal al muro

r	8.1 cm
d	21.9 cm

Capacidad de carga

q _e	25.872 Ton/m ²
q _u	26.25 Ton/m ²

Ancho de zapata

B calculado	1.42 m
B diseño	1.40 m

Revisión de fuerza cortante (Vu < φVc)

V _u	10.00 Ton
V _c	27.19 Ton
φ	0.75 -
φV _c	20.39 Ton

Momento flexionante

Mu	4.73 Ton*m
----	------------

Acero de refuerzo para resistir Mu

h	30 cm
b	100 cm
r	8.1 cm
d	21.9 cm
ϕ	0.9 -
ρ	0.00267 -
As min	7.30 cm ²
As requerido	5.85 cm ²

Acero longitudinal propuesto

db	1.2 cm
# varillas	7 -
As propuesto	7.92 cm ²
S calculado	14.29 cm
S diseño	12.50 cm

Verificación de diseño

a	1.40 cm
β_1	0.85 -
c	1.19 cm
ϵ_t	0.052325 -
T	33.25 Ton
Mn	7.05 Ton*m
ϕM_n	6.34 Ton*m

SI CUMPLE

Acero por contracción y temperatura

ρ_{min}	0.0018
As	7.56 cm ²
db	1.2 cm
# varillas	7 -
As propuesto	7.92 cm ²
S calculado	20.83 cm
S diseño	20 cm

Resumen de Diseño de Zapata Corrida para Muro

