

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Posgrados

Análisis y Diseño de Alternativas para Edificios de Hormigón Armado

Proyecto de Investigación y Desarrollo

Andrea Carolina Peñaherrera Calvopiña

**Pablo Andrés Torres Rodas, PhD
Director de Trabajo de Titulación**

Trabajo de titulación de posgrado presentado como requisito
para la obtención del título de Magíster en Ingeniería Civil, Mención Diseño y Construcción
de Estructuras Sismo Resistentes

Quito, 22 de marzo de 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE POSGRADOS

HOJA DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Análisis y Diseño de Alternativas para Edificios de Hormigón Armado

Andrea Carolina Peñaherrera Calvopiña

Nombre del Director del Programa:	Fernando Romo
Título académico:	Master of Science
Director del programa de:	Maestría en Ingeniería Civil
Nombre del Decano del colegio Académico:	Eduardo Alba
Título académico:	Doctor of Philosophy
Decano del Colegio:	Colegio de Ciencias e Ingenierías
Nombre del Decano del Colegio de Posgrados:	Hugo Burgos
Título académico:	Doctor os Philosophy

Quito, marzo de 2021

© 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.

Nombre del estudiante: Andrea Carolina Peñaherrera Calvopiña

Código de estudiante: 00212838

C.I.: 0503061368

Lugar y fecha: Quito, 22 de marzo de 2021.

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UNPUBLISHED DOCUMENT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 graduation 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>.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres; Marlon, Maru y Carmi, por ser quienes me han enseñado a perseverar y creer en mí.

A mis hermanas; Vicky y Mony, quienes me han llenado de amor y son ejemplo de superación.

A mis sobrinos; David, Toñito y María Rafaela, son mi inspiración para ser siempre mejor.

A Óscar, que con su amor incondicional ha caminado conmigo desde hace muchos años y me ha demostrado que todo es posible si de verdad lo quieres.

A todos los extraordinarios maestros que impartieron sus conocimientos y guiaron en esta nueva etapa.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación detalla la modelación y diseño de dos alternativas para la superestructura de un edificio irregular en planta de 20 pisos, en donde se busca comparar y seleccionar la alternativa idónea para dicha estructura que, al encontrarse en Quito, se deberá prever su elevada actividad sísmica. Como se sabe de antemano, Quito está asentado sobre un sistema de fallas ciegas activas, que en los últimos 500 años no han ocasionado un sismo fuerte (Aguilar, 2013).

Por lo que, se busca encontrar una alternativa idónea que sea aceptada en el medio y brinde un comportamiento adecuado.

El desarrollo del trabajo de titulación se compone de cinco capítulos; el primer capítulo puntualiza los objetivos, alcance y justificación del caso de estudio. El segundo capítulo desarrolla el marco teórico, en donde se definen conceptos importantes que dan contexto a la problemática y posterior solución. En el tercer capítulo se mostrará la modelación de las dos alternativas, para su posterior análisis y diseño. El cuarto capítulo contempla el análisis de resultados y finalmente, el quinto capítulo expone las conclusiones y recomendaciones obtenidas.

Palabras clave: modelación, diseño, actividad sísmica, alternativas.

ABSTRACT

This study shows the modeling and design for two alternatives for the superstructure of a 20-story irregular building, where the aim is to compare and select the most suitable alternative for this structure which, being located in Quito, must foresee its high seismic activity. As it is known beforehand, Quito is located on a system of active blind faults, which in the last 500 years have not caused a strong earthquake (Aguar, 2013).

Therefore, the aim is to find a suitable alternative that is accepted in the society and provides adequate behavior.

This document consists of five chapters; the first chapter specifies the objectives, scope, and justification of the case study. The second chapter develops the theoretical framework, where important concepts that give context to the problem and subsequent solution. The third chapter shows the modeling of the two alternatives, their analysis and design. The fourth chapter includes the analysis of the results. Finally, the fifth chapter presents the conclusions and recommendations.

Key words: modeling, design, seismic activity, alternatives.

TABLA DE CONTENIDO

Agradecimientos	5
Resumen	6
Abstract	7
TABLA DE CONTENIDO	8
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	10
ÍNDICE DE TABLAS	11
CAPÍTULO I	13
INTRODUCCIÓN	13
1.1. Objetivos	14
1.2. Alcance	14
1.3. Justificación	14
CAPÍTULO II	16
MARCO TEÓRICO	16
2.1. Generalidades	16
2.2. Peligro Sísmico	17
2.3. Diseño basado en fuerzas (DBF)	18
2.3.1. Espectro de diseño, Sa(T).	19
2.4. Sistemas estructurales	28
2.4.1. Pórtico especial sismo resistente.	28
2.4.2. Pórtico especial sismo resistente con muros estructurales (sistemas duales). 30	30
2.5. Diseño Estructural	31
2.5.1. Generalidades	31
2.5.2. Vigas.	33
2.5.3. Columnas	33
2.5.4. Conexiones viga – columna	34
2.5.5. Muros	34
CAPÍTULO III	35
METODOLOGÍA	35
3.1. Descripción de las alternativas.	35
3.2. Normativa técnica	38
3.3. Análisis de carga.	39
3.3.1. Combinaciones de carga.	40
3.4. Prediseño de la estructura.	41
3.4.1. Vigas.	41

3.4.2. Columnas.....	41
3.4.3. Losas.....	42
3.4.4. Muros.....	43
3.5. Modelación virtual de la estructura.....	44
3.5.1. Definición de materiales.....	44
3.5.2. Definición de secciones.....	45
3.5.3. Asignación de diafragmas de piso.....	50
3.5.4. Asignación de Cargas.....	50
3.5.5. Análisis del modelo preliminar.	52
3.6. Diseño de los elementos estructurales.....	63
3.6.1. Sistema aporticado.	63
3.6.2. Sistema dual.....	77
CAPÍTULO IV.....	89
RESULTADOS.....	89
4.1. Secciones Finales.....	89
4.2. Cociente altura total / Período primer modo traslacional.....	90
4.3. Coeficiente de estabilidad.	90
4.4. Derivas de Entrepiso.	96
4.5. Deriva global de techo D_u/H	97
4.6. Modos vibratorios.....	101
CAPÍTULO V.....	102
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	102
5.1. Conclusiones.....	102
5.2. Recomendaciones.....	105
Referencias.....	106
ANEXOS.....	107
ANEXO A: SOLICITACIONES: DISEÑO A FLEXOCOMPRESIÓN DE MUROS.....	107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones. (NEC – 15).	20
Ilustración 2 Mapa de zonificación sísmica. (NEC – 15).	20
Ilustración 3 Espectro de Aceleración. Sistema Aporticado. (Peñaherrera, A.)	23
Ilustración 4 Espectro de Aceleración. Sistema Dual. (Peñaherrera, A.)	24
Ilustración 5 Planta tipo del edificio.	26
Ilustración 6 Planta tipo del edificio.	26
Ilustración 7 Elementos típicos de hormigón armado. (Moehle, 2015)	32
Ilustración 8 Definición de materiales. $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$.	44
Ilustración 9 Definición de Materiales. $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$.	45
Ilustración 10 Definición de viga 25x40.	46
Ilustración 11 Definición de viga 25x25.	46
Ilustración 12 Definición de columna 60x60.	47
Ilustración 13 Definición de losa equivalente.	48
Ilustración 14 Definición de muro. $e=25\text{cm}$. Pisos inferiores.	49
Ilustración 15 Definición de muro. $e=25\text{cm}$. Pisos superiores.	49
Ilustración 16 Asignación de diafragmas de piso.	50
Ilustración 17 Carga muerta.	50
Ilustración 18 Carga viva.	51
Ilustración 19 Patrón de cargas.	51
Ilustración 20 Patrón sísmico de carga. Sistema aporticado.	51
Ilustración 21 Patrón sísmico de carga. Sistema dual.	52
Ilustración 22 Combinación de cargas.	52
Ilustración 23 Derivas de piso. Modelo preliminar.	54
Ilustración 24 Derivas de piso. Modelo aporticado final.	55
Ilustración 25 Envolvente de momento pórtico C.	63
Ilustración 26 Cortante pórtico C.	64
Ilustración 27 Vista en elevación, pórtico C.	66
Ilustración 28 Diagrama de interacción, columna 100x100.	68
Ilustración 29 Separación de estribos de columna / Área bruta y confinada.	68
Ilustración 30 Deflexiones losa N+0.00	75
Ilustración 31 Cortante losa.	76
Ilustración 32 Momento losa.	76
Ilustración 33 Envolvente de momento. Pórtico C.	77
Ilustración 34 Envolvente de Cortante. Pórtico C.	77
Ilustración 35 Curva de interacción, columna 50x80.	78
Ilustración 36 Curva de interacción, columna 80x50.	79
Ilustración 37 Cortante en la base del muro.	81
Ilustración 38 Sección de cabezal tipo.	84
Ilustración 39 Esfera de interacción, muro no plano.	84
Ilustración 40 Diagrama de interacción, muro no plano. 0° & 180° .	85
Ilustración 41 Diagrama de interacción, muro no plano. 90° & 270° .	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Secciones agrietadas. (NEC – 15).....	17
Tabla 2 Parámetros del peligro sísmico. (Peñaherrera, A.).....	18
Tabla 3 Procedimiento DBF. (Peñaherrera, A.).....	19
Tabla 4 Valores de Z. (NEC – 15).	21
Tabla 5 Suelo tipo D. (NEC – 15).....	21
Tabla 6 Coeficiente Fa. (NEC – 15).....	21
Tabla 7 Coeficiente Fd. (NEC – 15).	22
Tabla 8 Coeficiente Fs. (NEC – 15).....	22
Tabla 9 Factores Ct & α . (NEC – 15).....	24
Tabla 10 Períodos de vibración. Sistema Aporticado. (ETABS).....	25
Tabla 11 Períodos de vibración. Sistema Dual. (ETABS).	25
Tabla 12 Irregularidad en planta. (NEC – 15).....	26
Tabla 13 Coeficiente R. (NEC – 15).	27
Tabla 14 Coeficiente I. (NEC – 15).	27
Tabla 15 Características del sistema aporticado. (NEC - 15).	29
Tabla 16 Ventajas y desventajas del sistema dual. (NEC - 15).....	29
Tabla 17 Ventajas y desventajas del sistema dual. (NEC - 15).....	30
Tabla 18 Características del sistema dual. (NEC - 15).	30
Tabla 19 Clasificación de edificios de hormigón armado. (NEC - 15).....	31
Tabla 20 Factores de reducción de resistencia. (NEC - 15).....	32
Tabla 21 Altura mínima de vigas no preesforzadas. (ACI 318 - 19).	33
Tabla 22 Arquitectura de Planta Baja.	36
Tabla 23 Arquitectura de Primer Piso.	37
Tabla 24 Arquitectura de Planta Tipo.	38
Tabla 25 Combinaciones de carga. (NEC – 15).....	40
Tabla 26 Altura mínima de vigas no preesforzadas. (ACI 318 - 19).	41
Tabla 27 Espesor mínimo para losas en dos direcciones. (ACI 318 - 19).	42
Tabla 28 Espesor mínimo de muros. (ACI 318 - 19).	43
Tabla 29 Derivas máximas permisibles. (NEC - 15).	52
Tabla 30 Derivas de piso, modelo preliminar.	53
Tabla 31 Derivas de piso, modelo aporticado.	55
Tabla 32 Derivas de piso, modelo dual.	56
Tabla 33 Peso sísmico por piso, sistema aporticado.	58
Tabla 34 Peso sísmico por piso, sistema dual.	59
Tabla 35 Fuerzas por piso, sistema aporticado.	60
Tabla 36 Ajuste de cortante, sistema aporticado.	60
Tabla 37 Fuerzas corregidas por piso, sistema aporticado.	61
Tabla 38 Fuerzas por piso, sistema dual.	61
Tabla 39 Ajuste de cortante, sistema dual.	61
Tabla 40 Fuerzas corregidas por piso, sistema dual.	62
Tabla 41 Acero longitudinal calculado.	63
Tabla 42 Número de varillas.	63
Tabla 43 Cálculo de momentos probables.	64
Tabla 44 Cálculo de cortantes.	64
Tabla 45 Cálculo de estribos por capacidad.	65
Tabla 46 Número de estribos.	65

Tabla 47 Fuerzas en la columna.....	71
Tabla 48 Deflexiones máximas en losa. (ACI 318 – 19).	74
Tabla 49 Acero longitudinal calculado.	77
Tabla 50 Número de varillas.	77
Tabla 51 Cálculo de estribos por capacidad.....	77
Tabla 52 Desplazamientos en el centro de masa.....	87
Tabla 53 Cortante por sismo. Sistema aporticado.....	92
Tabla 54 Fuerza de servicio por piso. Sistema aporticado.	92
Tabla 55 Derivas por piso. Sistema aporticado.....	93
Tabla 56 Coeficiente de estabilidad, Q_i , por piso. Sistema aporticado.....	93
Tabla 57 Cortante por sismo. Sistema dual.....	94
Tabla 58 Fuerza de servicio por piso. Sistema dual.....	94
Tabla 59 Derivas por piso. Sistema dual.....	95
Tabla 60 Coeficiente de estabilidad, Q_i , por piso. Sistema dual.....	95
Tabla 61 Derivas de entrepiso. Sistema aporticado.	96
Tabla 62 Derivas de entrepiso. Sistema dual.	97
Tabla 63 Desplazamientos por sismo, piso 20. Sistema aporticado.....	98
Tabla 64 Derivas elásticas por piso. Sistema aporticado.	99
Tabla 65 Desplazamientos por sismo, piso 20. Sistema dual.....	99
Tabla 66 Derivas elásticas por piso. Sistema dual.	100
Tabla 67 Modos de vibración. Sistema aporticado.	101
Tabla 68 Modos de vibración. Sistema dual.	101

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Ecuador al situarse en el denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, presenta una actividad sísmica alta, por ejemplo, en 1906 se presentó un evento sísmico que alcanzó una magnitud de 8.8, que ha sido considerado entre los más grandes de la historia, lo que constituye una problemática del sector de la construcción, por otro lado, en los hechos más recientes se evidenció lo ocurrido en el sismo del 16 de abril de 2016, en donde existieron muchas afectaciones en todo tipo de estructuras, las que no mostraron un comportamiento adecuado y muchas de ellas quedaron fuera de funcionamiento y otras hasta colapsaron. Pese al no existir cifras oficiales, las primeras estimaciones en Manabí arrojan valores de cerca del 80% de destrucción en las construcciones (Quinde & Reinoso, 2016), una gran cantidad de estructuras pertenecientes al sector turístico colapsaron y mayormente se debió a patologías como pisos blandos o columnas cortas.

Por otra parte, Quito ha experimentado migración y concentración poblacional, lo que obliga a realizar construcciones de uso habitacional y comercial en un espacio limitado. Actualmente, se está viviendo en la era de la transformación de las edificaciones en las zonas urbanas, es así como se presenta la necesidad de construir edificios altos y que, a su vez muestren características deseables en su comportamiento sísmico resistente.

En Ecuador, los materiales predominantes para la construcción en general son el hormigón armado y la mampostería, lo que indica claramente la preferencia por el tipo de sistema estructural aporticado, este documento tiene como finalidad analizar dos alternativas de sistemas estructurales; el aporticado, por ser el más común en el medio y el sistema dual que adiciona la presencia de muros de hormigón armado colocados de acuerdo con la necesidad y siguiendo conceptos de configuración estructural.

1.1.Objetivos

- Modelar en un software estructural los dos sistemas; el sistema aporticado y el sistema dual, además establecer su procedimiento adecuado.
- Diseñar los sistemas estructurales; aporticado y dual, acorde a la normativa nacional.
- Comparar los dos sistemas estructurales y definir el sistema más conveniente que conseguirá que la estructura se desempeñe de manera adecuada frente a una acción sísmica.
- Determinar qué sistema estructural muestra mayores beneficios acorde a las perspectivas estructural y económica.

1.2. Alcance

En el siguiente estudio, se diseñará los dos sistemas estructurales; un sistema aporticado y un sistema dual, para un mismo edificio de 20 pisos, ubicado en la ciudad de Quito. Para iniciar, se modelará las alternativas con los diseños finales y se revisará su comportamiento, es decir, derivas, modos de vibración y períodos; con lo que se establecerá cual es la alternativa más adecuada para sitios con alto riesgo sísmico, tal como nuestro medio exige.

Posteriormente, se diseñarán los elementos estructurales de la superestructura de las dos alternativas, para de la misma forma generar una comparación directa entre los resultados obtenidos.

1.3. Justificación

Se propone diseñar y verificar el comportamiento de los dos sistemas estructurales en hormigón armado para un edificio de 20 pisos. Estas dos alternativas; el sistema aporticado, la primera alternativa, muy común en nuestro medio y el sistema dual, una alternativa no muy practicada pero que puede mostrar beneficios significativos.

La motivación principal para comparar estos dos sistemas se basa en la aceptación de la sociedad, es decir, en Ecuador se prefiere la construcción en hormigón armado con el clásico sistema aporticado, por lo que, la inclusión de muros estructurales, para el sistema dual, significará un aporte importante para el comportamiento sísmo resistente de la estructura. Además, hay que priorizar la necesidad de diseñar y construir edificios con una buena respuesta a la acción sísmica, puesto que Quito se encuentra asentado en la denominada falla de Quito, que acorde a estudios de riesgo sísmico, ésta es susceptible de producir intensidades superiores a VIII grados, considerada como una fuente de alto peligro para la ciudad (Hibsch, Alvarado, Yepes, Sébrier, & Pérez, 1996).

Se prevé la modelación de las dos alternativas con un software estructural, además se considerarán las bases de diseño propuestas por la normativa nacional vigente. Al tratarse de una estructura de uso normal, la norma establece que deberá diseñarse para una resistencia tal que puedan soportar los desplazamientos laterales inducidos por el sismo de diseño.

La filosofía del diseño sísmo resistente establece que la estructura cumpla con tres características (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014):

Tenga la capacidad para resistir las fuerzas especificadas por la norma.

Presente las derivas de piso, inferiores a las admisibles.

Logre disipar energía de deformación inelástica, usando técnicas de diseño por capacidad o por medio de la implementación de dispositivos de control sísmico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC – 15), propone ciertos métodos de diseño acorde a la configuración estructural, para estructuras regulares con coeficientes de regularidad iguales a uno, el procedimiento puede ser estático basado en fuerzas, para las estructuras restantes se utilizará métodos estáticos y pseudo – dinámicos, que permita adicionar efectos torsionales y modos vibratorios distintos al fundamental.

La NEC – 15, usa el Diseño Basado en Fuerzas (DBF) de forma obligatoria para cualquier tipo de estructuras, para lo cual se propone realizar un análisis estático o dinámico espectral o dinámico paso a paso en el tiempo; por lo que es imperativo determinar el espectro en aceleración.

La normativa hace énfasis en que el método estático sea el procedimiento mínimo requerido para cualquier estructura, sin embargo, como en el caso de estudio, al tener una estructura que no es regular en planta, se deberá usar uno de los dos métodos dinámicos antes mencionados. El análisis modal espectral utiliza el espectro sísmico de respuesta elástico en aceleraciones, que se detallará posteriormente y deberá aplicarse de forma obligatoria si la estructura es irregular. Por otro lado, para el análisis paso a paso en el tiempo, es necesario contar con los acelerogramas para el sitio en estudio y que además sean característicos de la zona, sin embargo, este método es obligatorio siempre que en las estructuras se contemplen mecanismos de disipación, por lo que, no es necesario en el caso de estudio.

Cumpliendo con lo especificado en la norma, el cortante basal resultante de cualquier análisis dinámico no debe ser menor al 80% del cortante basal obtenido del método estático

para estructuras regulares y para estructuras irregulares este valor no debe ser menor al 85% del cortante basal obtenido del método estático.

El análisis espectral, debe considerar todos los modos de vibración que contribuyan a la respuesta total, además, en cada dirección horizontal tendrá que involucrar la participación de una masa modal de mínimo el 90% de la masa total de la estructura.

En lo que respecta a la determinación de la carga sísmica, ésta será determinada para un período de retorno de 475 años y no deberá considerar el factor de reducción R. Asimismo, las recomendaciones para el modelo matemático para una estructura irregular es que se deberá modelar a la estructura en tres dimensiones y para establecer las derivas máximas, se deberán considerar los valores de inercias agrietadas de los elementos estructurales.

Las secciones agrietadas para estructuras de hormigón armado serán:

$0.5 \cdot I_g$	Vigas
$0.8 \cdot I_g$	Columnas
$0.6 \cdot I_g$	Muros Estructurales

Tabla 1 Secciones agrietadas. (NEC – 15).

Se debe considerar que las inercias agrietadas de muros, para edificios sin subsuelos, se aplicarán solo en el primer y segundo piso.

2.2. Peligro Sísmico

La definición de peligro sísmico es la probabilidad de excedencia de un valor de la intensidad del movimiento del suelo ocasionado por un movimiento sísmico, en un determinado sitio y durante un período de exposición. La determinación de la peligrosidad sísmica se basa en definir las fuentes, caracterizar su potencial sísmico acorde a la información geológica y sismológica, seleccionar los modelos de predicción de movimiento acorde al sitio de estudio y

si es necesario, aplicar el factor de amplificación para incluir el efecto local (Rivas, Benito, & Gaspar, 2014).

La NEC – 15, define al peligro sísmico del mismo modo como la probabilidad de excedencia, dentro de un lapso y en una región determinada, de movimientos de suelo cuyos parámetros de aceleración, velocidad, desplazamiento, magnitud o intensidad son cuantificados. En un apartado de la norma, ésta define el peligro sísmico para el territorio nacional que será útil en la aplicación del diseño de la estructura. Los parámetros considerados son:

<p>Zona Sísmica</p> <ul style="list-style-type: none"> • Factor de Zona, Z. • Curvas de Peligro Sísmico
<p>Suelo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coeficiente de Amplificación en la zona de período corto, F_a. • Amplificación de las Ordenadas del Espectro Elástico de Desplazamientos en roca, F_d. • Comportamiento no lineal de los suelos, F_s.
<p>Uso de la Estructura</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coeficiente de Importancia, I.
<p>Espectro Elástico en Aceleraciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Razón entre la aceleración espectral y el PGA, η. • Factor que depende de la ubicación geográfica, r.

Tabla 2 Parámetros del peligro sísmico. (Peñaherrera, A.)

2.3. Diseño basado en fuerzas (DBF)

Acorde a lo mencionado anteriormente, se hará referencia al método de diseño basado en fuerzas (DBF), por lo que, las fuerzas sísmicas laterales se determinarán para el análisis estático y análisis dinámico espectral. A continuación, se mostrará una ilustración en donde se muestra el procedimiento general para el DBF.

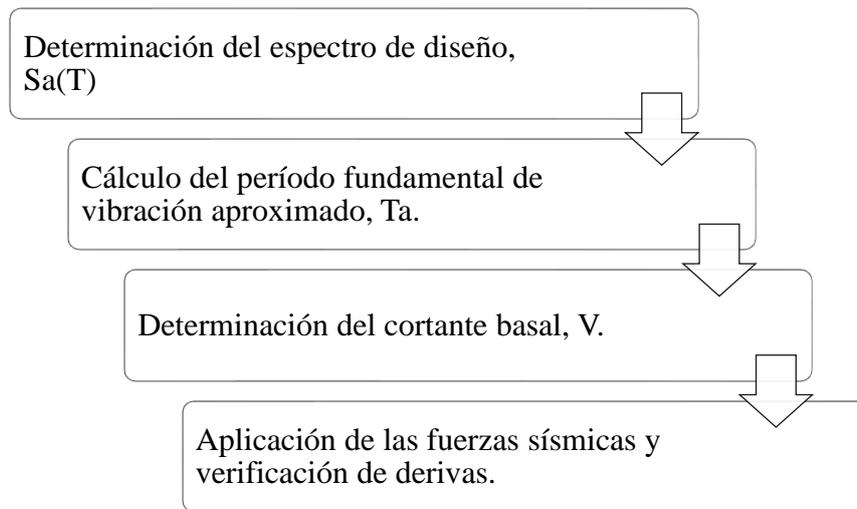


Tabla 3 Procedimiento DBF. (Peñaherrera, A.)

2.3.1. Espectro de diseño, $S_a(T)$.

La NEC – 15 hace una única diferenciación para el cálculo del espectro y depende del uso de la estructura; para estructuras de ocupación normal el espectro se determinará con el factor Z , que depende de la zonificación sísmica, mientras que, para estructuras de ocupación esencial o especial, tendrá que establecerse por medio de las curvas de peligro sísmico puesto se necesita usar diferentes niveles de peligro sísmico. Además, se deberá definir el tipo de suelo en el que la estructura se emplazará y la determinación del período de vibración.

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones depende del modo de vibración o período de la estructura y está expresado en función de la gravedad.

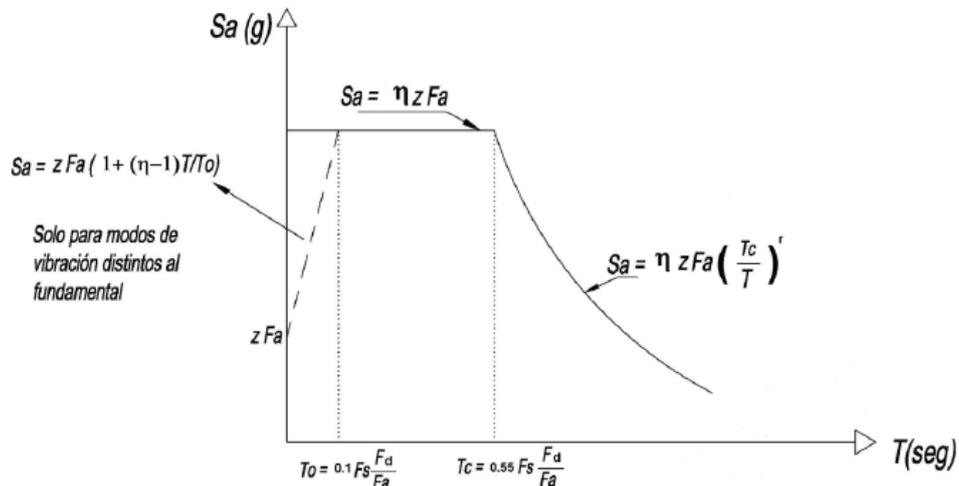


Ilustración 1 Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones. (NEC – 15).

Factor de zona, Z.

La NEC – 15 lo define como la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresado como fracción de la gravedad, y se determinará mediante el mapa de zonificación en donde se muestran las seis zonas sísmicas del Ecuador. El mapa de zonificación sísmica es el resultado del estudio de peligro sísmico para un período de retorno de 475 años o 10% de excedencia en 50 años, considerando que incluye una saturación a 0.5g de los valores en la costa ecuatoriana.

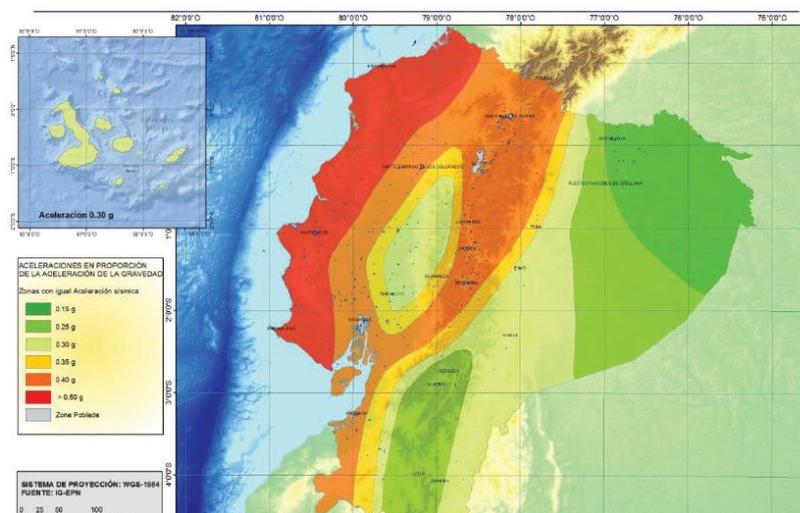


Ilustración 2 Mapa de zonificación sísmica. (NEC – 15).

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	0.50
Caracterización del peligro	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Tabla 4 Valores de Z. (NEC – 15).

Coefficientes de perfil de suelo F_a , F_d , F_s .

Puesto la estructura se encontrará en la ciudad de Quito, se define un suelo tipo D, es decir que, la velocidad de la onda cortante puede ser mayor o igual a 180 m/s y menor que 360 m/s y además que acorde a un ensayo de penetración estándar el número de golpes se encuentre entre 15 y 50, ó la resistencia al corte no drenado varíe entre 50KPa y 100kPa.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$

Tabla 5 Suelo tipo D. (NEC – 15).

Con base a esta definición de la tipología de suelo, los coeficientes de suelo son los siguientes:

- F_a : Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto.

Tipo de suelo y factores de sitio, F_a						
Zona Sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Z_{Suelo}	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1	0.85

Tabla 6 Coeficiente F_a . (NEC – 15).

- F_d : Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca.

Tipo de suelo y factores de sitio, F_d						
Zona Sísmica	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>
Z_{Suelo}	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5

Tabla 7 Coeficiente F_d . (NEC – 15).

- F_s : Comportamiento no lineal de los suelos.

Tipo de suelo y factores de sitio, F_s						
Zona Sísmica	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>
Z / Suelo	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.4
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2

Tabla 8 Coeficiente F_s . (NEC – 15).

Relación de amplificación espectral, η .

Se define como la razón entre la aceleración espectral S_a ($T=0.1s$) y el PGA para el período de retorno seleccionado, además, hay que considerar que este valor varía acorde a la región del país.

$\eta=1.80$: Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas).

$\eta=2.48$: Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos.

$\eta=2.60$: Provincias del Oriente.

Factor usado en el espectro de diseño elástico, r .

El valor correspondiente a r también depende de la ubicación geográfica de la estructura.

$r=1$ para todos los suelos, con excepción del suelo tipo E.

$r=1.5$ para tipo de suelo E.

Períodos límite de vibración, T_C y T_L .

Para la posterior definición del espectro de aceleraciones, es necesario conocer los períodos límite de vibración, que se definen de la siguiente forma:

$$T_C = 0.55 \cdot F_s \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_L = 2.4 \cdot F_d$$

En donde T_C representa el período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño y T_L es el período límite de vibración usado para la definición del espectro de respuesta en desplazamientos.

A continuación, se muestra los espectros elásticos de diseño:

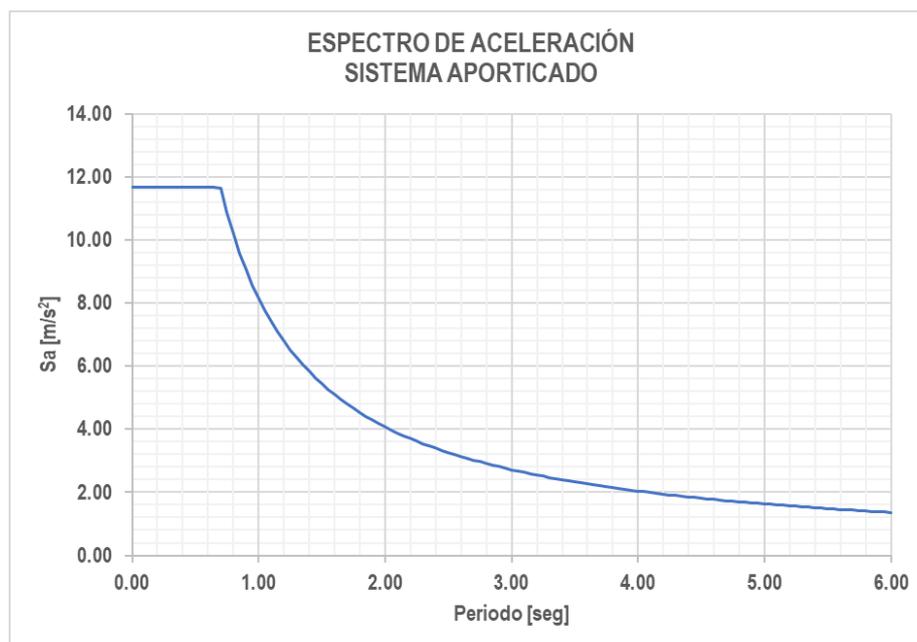


Ilustración 3 Espectro de Aceleración. Sistema Aporcionado. (Peñaherrera, A.)

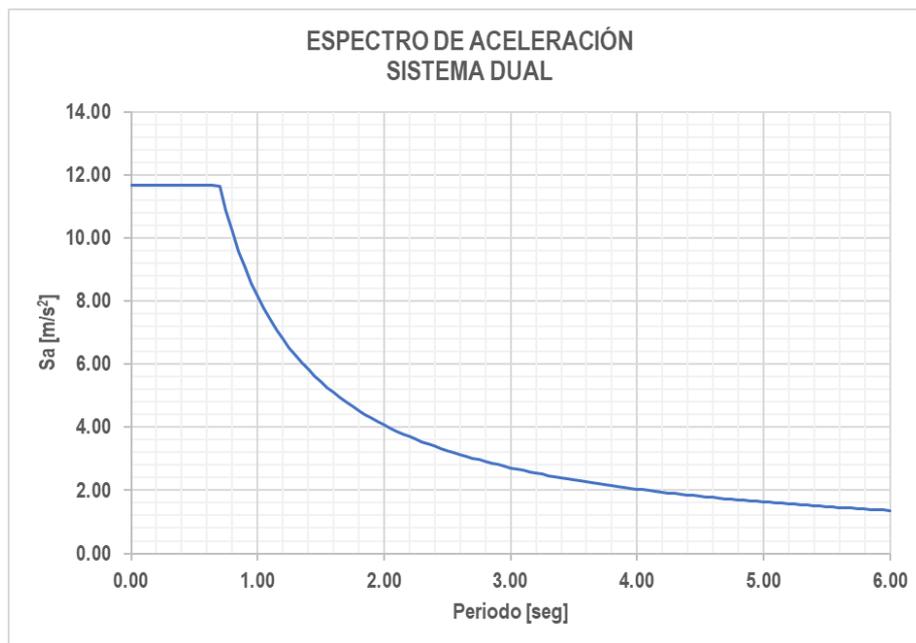


Ilustración 4 Espectro de Aceleración. Sistema Dual. (Peñaherrera, A.)

2.3.2. Período fundamental de vibración, T.

El período fundamental de la estructura será estimado a partir de cualquiera de los dos métodos expuestos por la NEC – 15, este valor es una estimación inicial del período de la estructura y posibilita calcular la fuerza sísmica actuante.

Método 1

$$T = C_t \cdot h_n^\alpha$$

En donde, C_t y α , son factores que dependen del tipo de estructura, h_n es la altura máxima del edificio, medido desde la base y expresada en metros.

Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural.	0.055	0.75

Sistema Aporticado

Sistema Dual

Tabla 9 Factores C_t & α . (NEC – 15).

En donde, el valor de T para el sistema aporticado es de:

$$T = 0.055 \cdot 60^{0.9} = 2.19 \text{ seg}$$

De la misma forma, el valor de T para el sistema dual es de:

$$T = 0.055 \cdot 60^{0.75} = 1.19 \text{ seg}$$

Método 2

Para el método 2, el período se calcula utilizando las propiedades estructurales de los elementos y las características de deformación, estos valores pueden obtenerse mediante la aplicación de la siguiente ecuación o por un análisis modal.

$$T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot \delta_i^2}{g \sum_{i=1}^n f_i \cdot \delta_i}}$$

Mediante el uso de ETABS, se obtiene que:

a. Sistema aporticado.

Caso	Modo	Período	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ
Modal	1	3.189	0.0018	0.7491	0.0018	0.7491	0.0001
Modal	2	3.027	0.7159	0.0021	0.7178	0.7512	0.0288
Modal	3	2.223	0.0271	2.42E-05	0.7448	0.7513	0.7384

Tabla 10 Períodos de vibración. Sistema Aporticado. (ETABS).

b. Sistema dual.

Caso	Modo	Período	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ
Modal	1	1.668	0.0065	0.452	0.0065	0.452	0.2417
Modal	2	1.38	0.6552	0.0223	0.6617	0.4743	0.0106
Modal	3	1.047	0.0243	2.08E-01	0.6859	0.6823	0.4537

Tabla 11 Períodos de vibración. Sistema Dual. (ETABS).

Sin embargo, el valor del período no puede ser mayor al 30% del valor de T calculado mediante el método 1.

$$T = 1.3 \cdot 2.19 = 2.85 \text{ seg} \rightarrow \text{Aporticado}$$

$$T = 1.3 \cdot 1.19 = 1.55 \text{ seg} \rightarrow \text{Dual}$$

Con estos valores de período, proseguimos a calcular el cortante basal para cada sistema, considerando que el valor de coeficiente de configuración estructural en planta es diferente de la unidad, ya que, el edificio tiene irregularidad en planta de tipo 2, retrocesos excesivos en las esquinas.

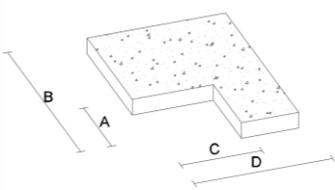
<p>Retrocesos excesivos en las esquinas $\phi_{pi}=0.9$ $A > 0.15B$ y $C > 0.15D$</p> <p>La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</p>	
--	---

Tabla 12 Irregularidad en planta. (NEC – 15).

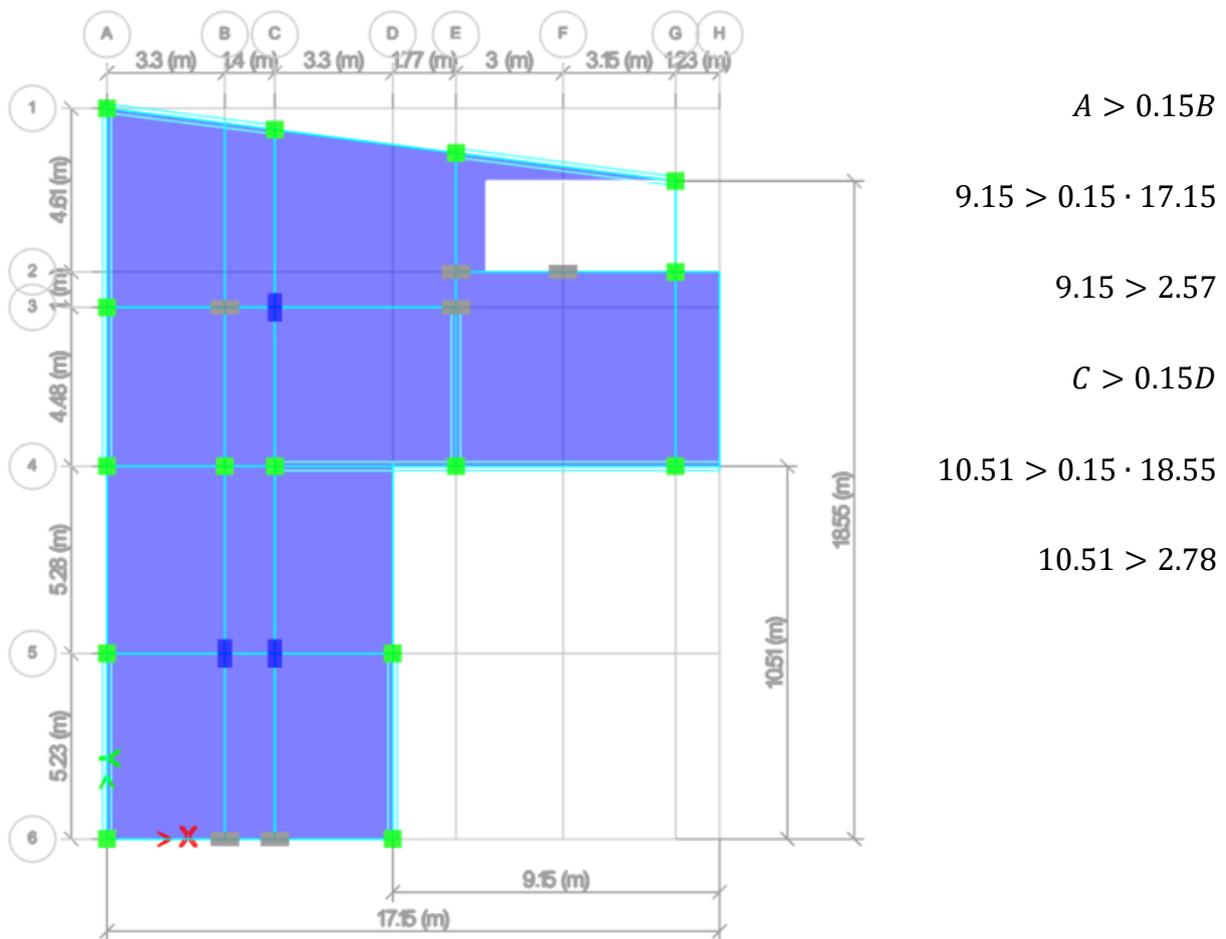


Ilustración 5 Planta tipo del edificio.

Además, hay que tomar en cuenta el factor de reducción de resistencia sísmica, R , que trata de subsanar los criterios de agrupamiento de estructuración, formas de construcción, calidades de los materiales de construcción y, asimismo, penaliza a ciertas estructuras que no permite disponer de ductilidad global para soportar el rango inelástico de deformaciones. La NEC – 15, considera a este factor como constante en el caso el DBF ya que toma en cuenta solo la tipología estructural.

Sistemas Estructurales Dúctiles	R
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras (sistemas duales).	8

Tabla 13 Coeficiente R. (NEC – 15).

Otro de los parámetros considerados para el cálculo del cortante basal, es el factor de importancia I , este factor aumenta la demanda sísmica, conforme su uso o importancia, refiriéndose a la importancia de quedar operativas o sufrir la menor cantidad de daños durante y posterior al evento sísmico. La normativa nacional vigente categoriza a las estructuras en tres grupos; esenciales, de ocupación especial y otras.

Categoría	Sistemas Estructurales Dúctiles	I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, centros de salud o de emergencia sanitaria, instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente.	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores.	1.0

Tabla 14 Coeficiente I. (NEC – 15).

Una vez definidos todos los componentes para el cálculo del cortante basal, se obtiene el valor para cada sistema.

$$V = \frac{I \cdot Sa(Ta)}{R \cdot \phi_P \cdot \phi_E} W$$

ESPECTRO ELASTICO DE DISEÑO - NEC 2015	
Z	0.4
Tipo de Suelo	D
Fa	1.20
Fd	1.19
Fs	1.28
I	1
r	1
R	8
ϕ_p	0.9
ϕ_E	1
hn [m]	60
Tipo de Estructura	Porticos especiales de hormigon armado, sin muros estructurales, sin diagonales rigidizadoras
Ct	0.055
α	0.90
T	2.85
Región	Sierra, Esmeraldas y Galápagos
η	2.48
T_c	0.70
T_L	2.86
Sa	0.29
V	4.05 % W

ESPECTRO ELASTICO DE DISEÑO - NEC 2015	
Z	0.4
Tipo de Suelo	D
Fa	1.20
Fd	1.19
Fs	1.28
I	1
r	1
R	8
ϕ_p	0.9
ϕ_E	1
hn [m]	60
Tipo de Estructura	Porticos especiales de hormigon armado, con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para
Ct	0.055
α	0.75
T	1.54
Región	Sierra, Esmeraldas y Galápagos
η	2.48
T_c	0.70
T_L	2.86
Sa	0.54
V	7.49 % W

2.4. Sistemas estructurales

2.4.1. Pórtico especial sismo resistente.

Acorde a la normativa nacional, el pórtico especial sismo resistente se define como una estructura formada por columnas y vigas peraltadas, que resisten cargas verticales y también la acción sísmica, por lo que, la conexión viga – columna debe ser capaz de resistir dichas fuerzas y además debe contar con un diseño y detallamiento que ofrezca la característica de ductilidad.

Para que las estructuras de hormigón armado presenten un buen desempeño sísmico, es necesario que posean cierta ductilidad. Este criterio ha sido incorporado a las normativas de diseño en los 70's, luego de que varios sismos hayan ocasionado daños considerables (Bonett, Pujades, & Hurtado, 2003).

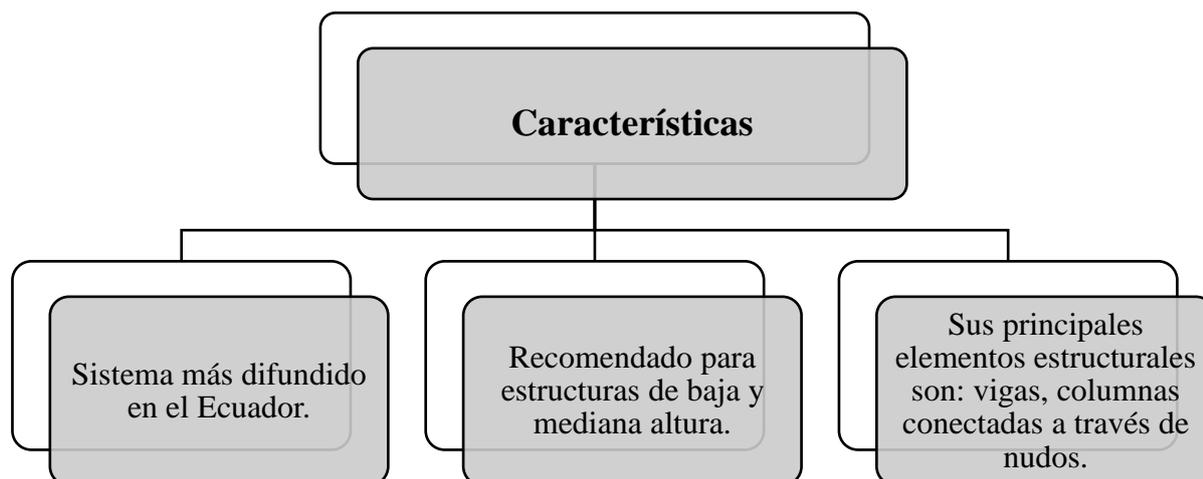


Tabla 15 Características del sistema aporticado. (NEC - 15).

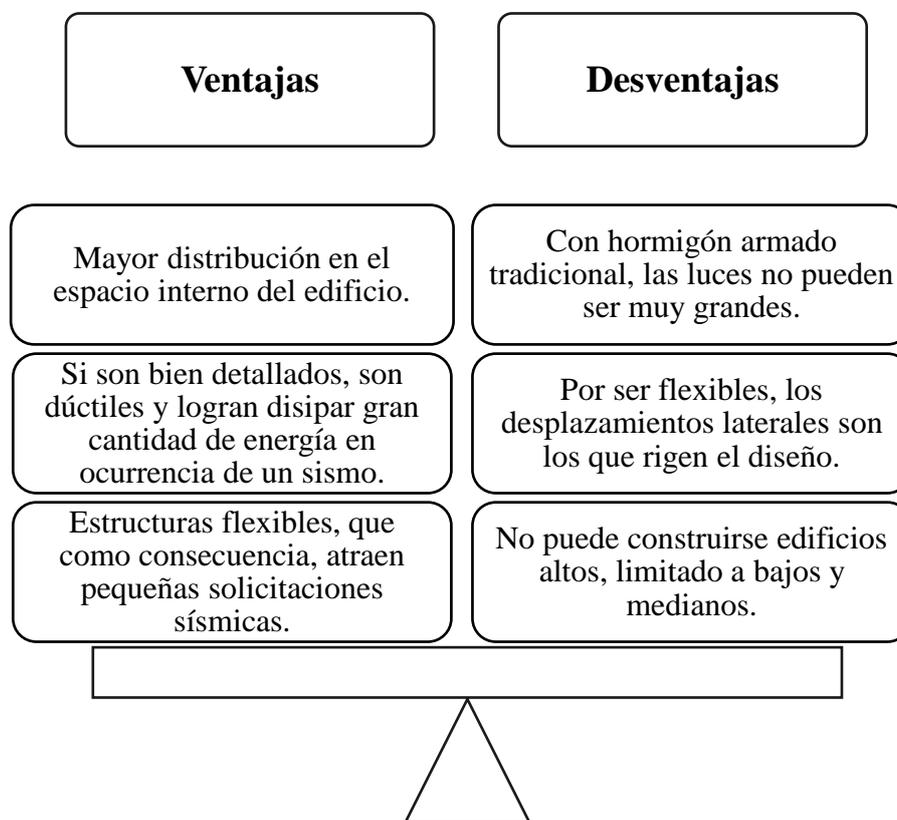


Tabla 16 Ventajas y desventajas del sistema dual. (NEC - 15).

2.4.2. Pórtico especial sismo resistente con muros estructurales (sistemas duales).

El sistema dual es un sistema estructural combinado, es decir, cuenta con pórticos resistentes a momento y muros estructurales. Por lo general se busca que los pórticos resistan la carga vertical, mientras que las fuerzas sísmicas sean resistidas por la combinación de muros estructurales con el pórtico resistente a momentos. Por tanto, el diseño del pórtico resistente a momentos, actuando de manera independiente, debe diseñarse para resistir al menos el 25% del cortante sísmico (Leuro, Quekano, & Nemocon, 2017)

La NEC – 15 para considerar un sistema dual, exige que el 75% del cortante basal sea absorbido por los muros de hormigón armado y adicionalmente mantengan una distribución en lo posible simétrica y mantengan su longitud en planta en todos los niveles de la estructura.

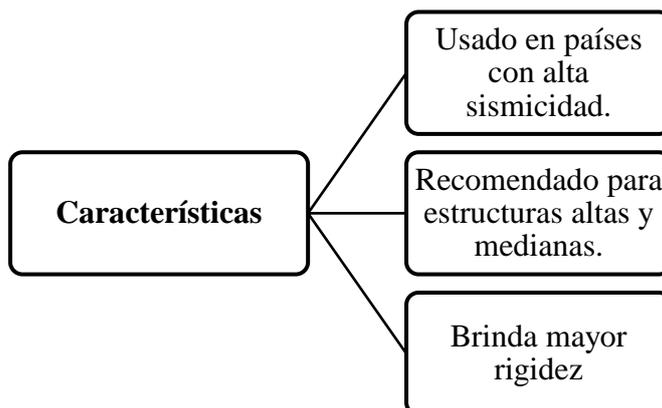


Tabla 18 Características del sistema dual. (NEC - 15).

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Mayor resistencia lateral que un sistema aporticado, mejor para resistir fuerzas sísmicas. • Con una buena distribución de los muros, se tendría mayor espacio en el interior. • Los muros suelen encargarse de toda la demanda sísmica, mientras que los pórticos trabajan a carga gravitacional. 	<ul style="list-style-type: none"> • Hay que tener precaución al colocar los muros, puesto que puede ocasionar concentraciones excesivas de esfuerzos y como consecuencia una mala distribución de esfuerzos a la cimentación.

Tabla 17 Ventajas y desventajas del sistema dual. (NEC - 15).

Clasificación de edificios de hormigón armado			
Sistema estructural	Elementos que resisten sismo	Ubicación de rótulas plásticas	Objetivo del detallamiento
Pórtico especial	Columnas y vigas descolgadas	Extremo de vigas y base de columnas 1er piso	Columna fuerte, nudo fuerte, viga fuerte a corte pero débil en flexión
Pórtico con vigas banda	Columnas y vigas banda	Extremo de vigas y base de columnas 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 1er piso (a nivel de la calle)	Muro fuerte en corte, débil en flexión. Columna no falla por corte.
Muros estructurales acoplados	Columnas, muros estructurales y vigas de acople	En la base de los muros y columnas 1er piso (a nivel de la calle)	Muro fuerte en corte, débil en flexión. Columna no falla por corte. Viga de acople fuerte en corte, débil en flexión.

Tabla 19 Clasificación de edificios de hormigón armado. (NEC - 15).

2.5. Diseño Estructural

2.5.1. Generalidades

En general, el diseño de hormigón armado exige que los elementos tengan una resistencia adecuada, mediante el uso de factores de mayoración de carga y factores de reducción de resistencia, por lo que, todos los elementos del sistema tienen que resistir los efectos máximos generados por las cargas mayoradas (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014). El diseño de las dos alternativas tiene un enfoque sismo resistente, lo que quiere decir que los sistemas deberán disipar energía por deformación inelástica mediante la formación de rótulas plásticas en los sitios previstos, una rótula plástica se mostrará con la aparición de fisuras en presencia de un sismo fuerte (Correa, Machado, Placencia, & Vintimilla, 2016).

El requisito básico para el diseño por resistencia se expresa como: *Resistencia de Diseño* \geq *Resistencia Última*. Los factores de reducción de resistencia están definidos de acuerdo con la sollicitación:

Solicitaciones	Factores de reducción de resistencia ϕ
Secciones controladas por tracción	0.90
Tracción axial	0.90
Secciones controladas por compresión	
- Elementos con refuerzo transversal en espiral	0.75
- Otros elementos reforzados	0.65
Cortante y torsión	0.75
Aplastamiento	0.65

Tabla 20 Factores de reducción de resistencia. (NEC - 15).

Un diseño conceptual se basa en diseñar de forma temprana a los elementos estructurales que forman parte del sistema estructural.

En la siguiente figura, se muestra los elementos típicos de hormigón armado; el sistema de transporte de carga gravitacional comprende el techo y el piso.

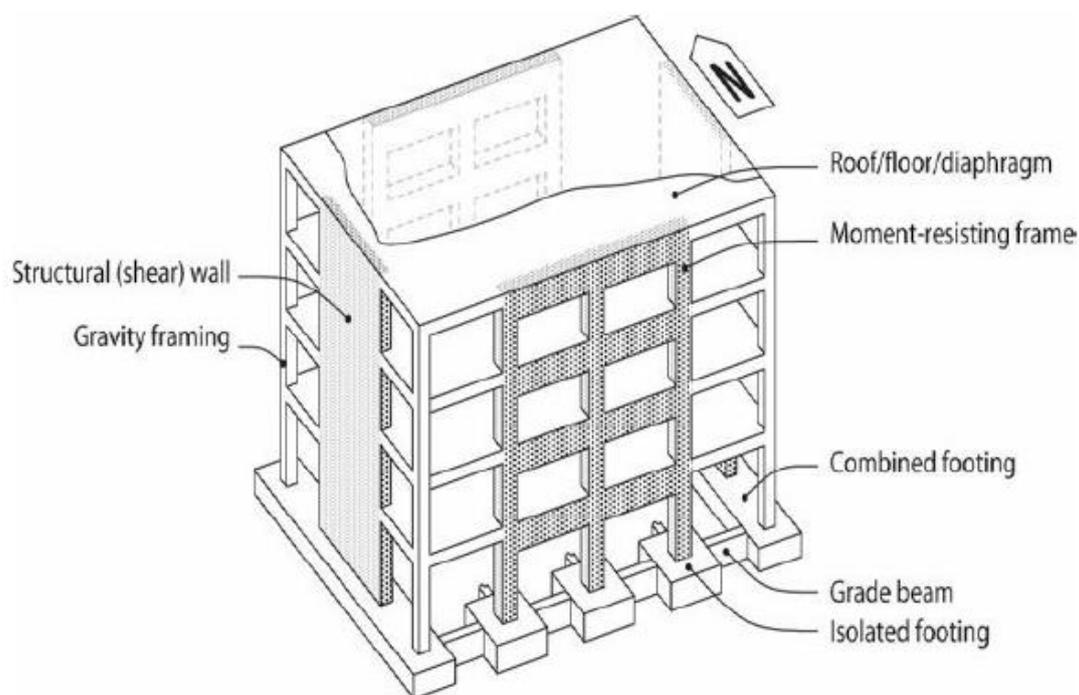


Ilustración 7 Elementos típicos de hormigón armado. (Moehle, 2015)

2.5.2. Vigas.

Las vigas deberán ser parte del sistema de resistencia ante carga sísmica y resistir principalmente por flexión. La NEC – 15 exige tres aspectos importantes, primero que el vano libre sea mayor a 4 veces la altura útil de la sección, el ancho mínimo es de 25cm y el peralte mínimo debe cumplir con lo dispuesto por la Norma Americana de Concreto.

Condición de apoyo	Altura mínima, h
Simplemente apoyada	1/16
Con un extremo continuo	1/18.5
Ambos extremos continuos	1/21
En voladizo	1/8

Tabla 21 Altura mínima de vigas no preesforzadas. (ACI 318 - 19).

Hay que considerar que el cálculo de estribos debe realizarse por capacidad a flexión, es por ello que, se debe considerar el endurecimiento del acero, que acorde a la normativa americana (ACI 318 – 19), debería tomarse un valor de 1.25, sin embargo, en función de la realidad nacional, este valor se tomará como 1.4.

2.5.3. Columnas.

En lo que respecta a las columnas, la cuantía máxima de refuerzo longitudinal varía entre 1 y 3%, debido a que son los elementos encargados del control de derivas, con esto se asegura que las solicitaciones a las que están expuestas las columnas estén dentro de la zona utilizable del diagrama de flexocompresión.

Los requerimientos de la NEC – 15 para columnas de sistemas apertados o similares son:

- *Formar parte del sistema estructural resistente a las cargas laterales.*
- *Soportar fuerzas axiales mayores a $0.1 \cdot f'c \cdot Ag$ en las combinaciones que incluyan sismo.*

- *La dimensión menor y la dimensión mayor de la sección en sentido ortogonal no puede superar a 0.40 ó a su vez, la altura libre debe ser 4 veces mayor a la mayor dimensión de la sección transversal.*
- *La dimensión más pequeña no debe ser menor a 30cm.*

El diseño del refuerzo transversal se lleva a cabo bajo la misma filosofía, siempre y cuando sigan la distribución adecuada y respetando los límites de espaciamiento.

2.5.4. Conexiones viga – columna.

El principal objetivo de las conexiones viga – columna para un sistema de pórticos es asegurarse que la viga fluya, es decir, es necesario que a flexión la viga sea más débil que la columna y que cuando esta trate de fluir no rompa el nudo. Por lo que, se debe verificar dos condiciones:

- Columna fuerte – viga débil
- Nudo fuerte – viga débil

2.5.5. Muros.

Para el diseño de muros, se persigue la misma filosofía, se busca la formación de una rótula plástica en la base del elemento. En los sistemas duales o en los sistemas de muros se buscará que al menos tomen el 75% de la carga lateral.

Es importante notar que la NEC – 15, pide una disminución gradual de la armadura, con lo que se asegura la formación de la rótula en la base. El diseño debe asegurar que la solicitación se encuentre dentro de la curva, pero jamás fuera de ella.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1.Descripción de las alternativas.

Con el afán de definir una alternativa adecuada para un edificio de 20 pisos, de uso residencial; se va a analizar y comparar dos sistemas estructurales en hormigón armado. Para iniciar, se modelará las alternativas y se revisará su comportamiento, es decir, derivas, modos de vibración y períodos. Con lo que se establecerá cual es la alternativa más adecuada para sitios con alto riesgo sísmico, tal como nuestro medio exige.

La primera alternativa se refiere a un sistema de pórticos sismo resistentes, lo que quiere decir que estará formado por columnas, vigas, conexiones y losa. La losa se diseñará únicamente para cargas verticales ya que no es parte del sistema resistente a cargas laterales.

Por otro lado, el sistema dual; aporticado más muros estructurales, es un sistema que se compone de columnas, vigas, muros y losa; de la misma forma, la losa no será parte del sistema resistente a carga lateral. Además, se va a diseñar a los muros para la totalidad del cortante basal, aun así, las columnas se considerarán como parte del sistema de resistencia a carga lateral.

La edificación estará ubicada en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha, que acorde a la normativa nacional se encuentra en la zona sísmica V con una caracterización alta en lo que respecta al peligro sísmico. La estructura es de uso residencial, por lo que el cálculo del cortante basal no debe ser modificado por el factor de importancia.

El cálculo del cortante basal se realizó en el capítulo II, los resultados para cada alternativa fueron de 4.05% W para el caso del sistema de pórticos y 7.49% W correspondiente al sistema dual.

A continuación, se muestra las plantas tipo de la estructura, que cuentan con la misma área por piso.

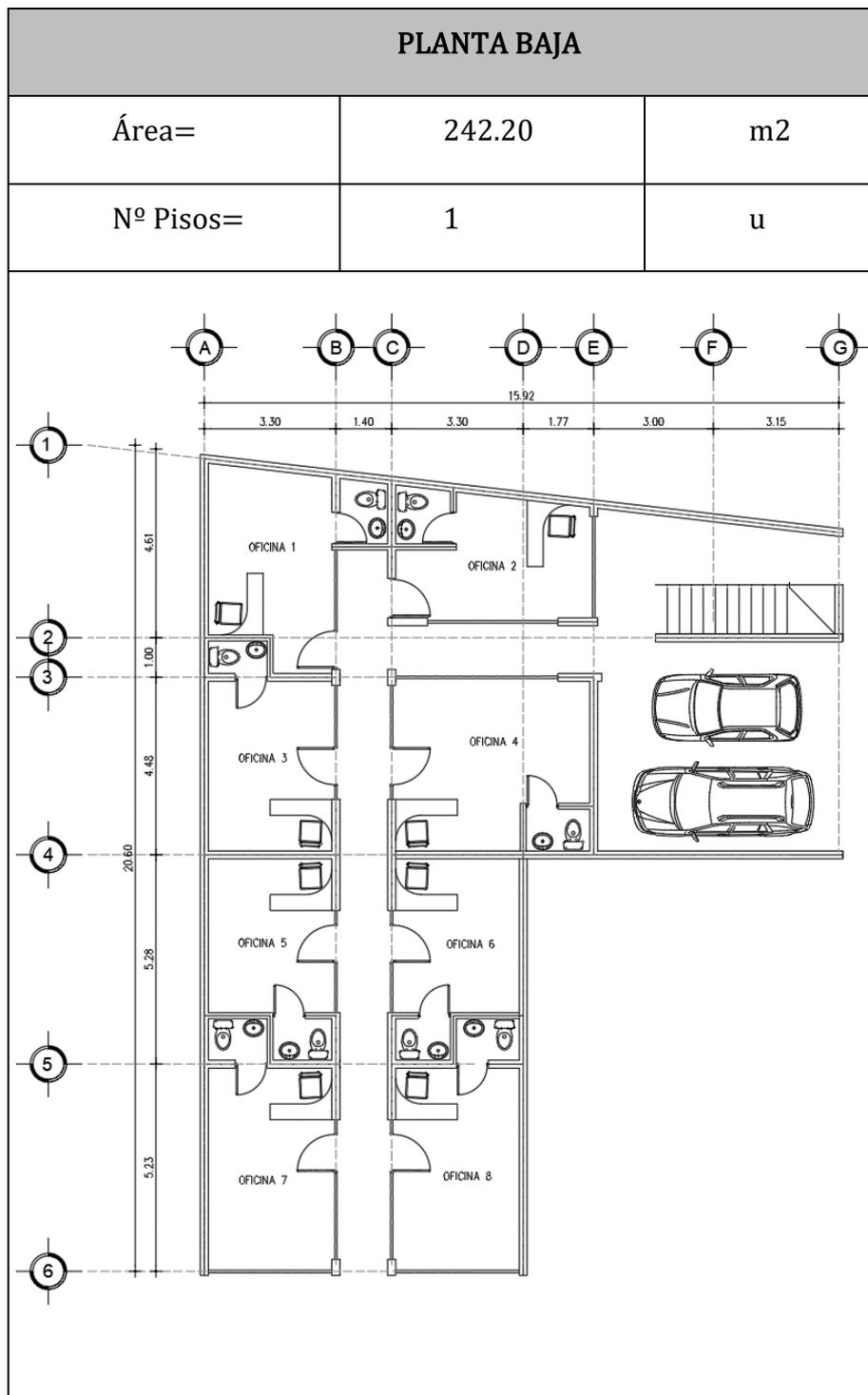


Tabla 22 Arquitectura de Planta Baja.

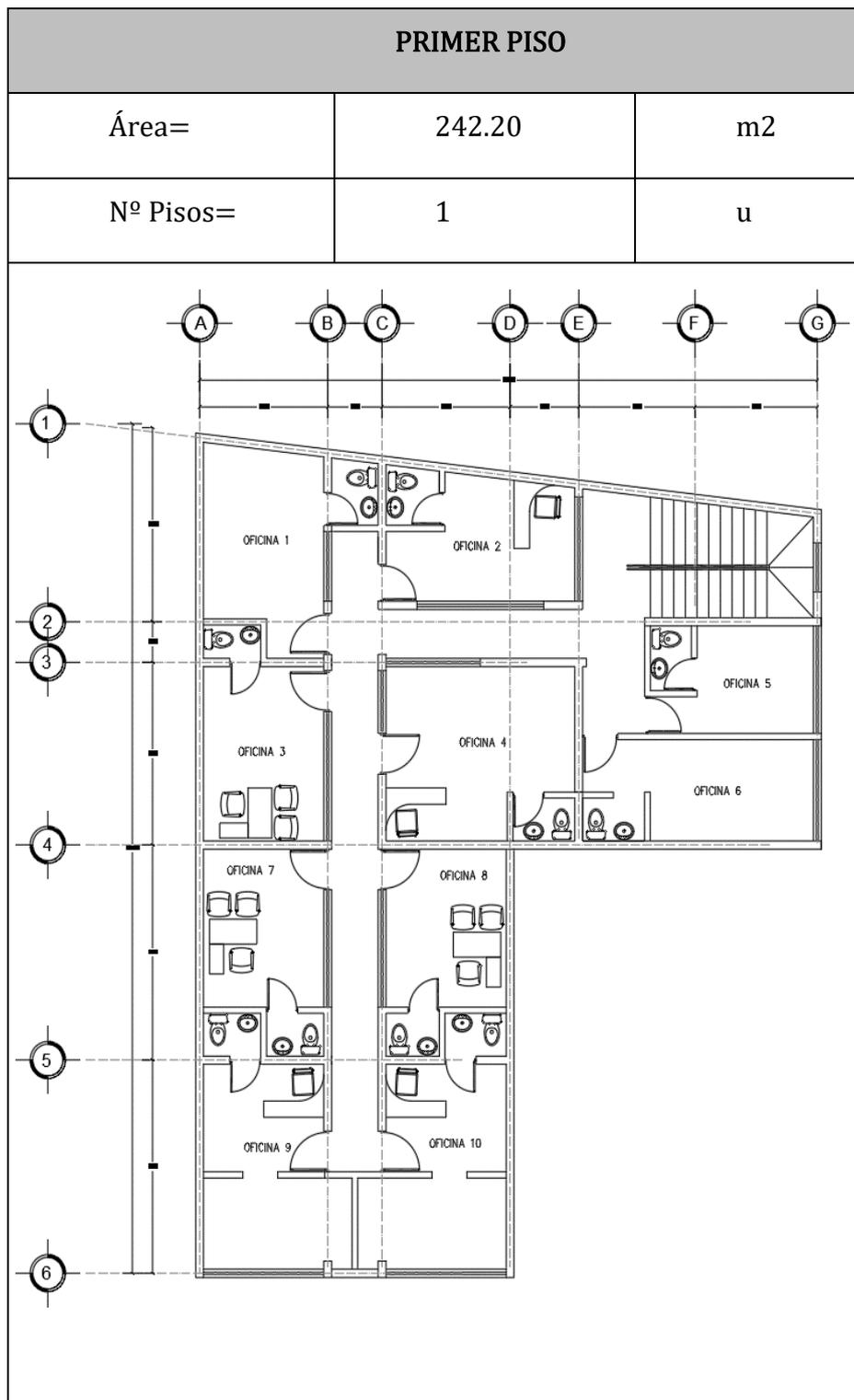


Tabla 23 Arquitectura de Primer Piso.

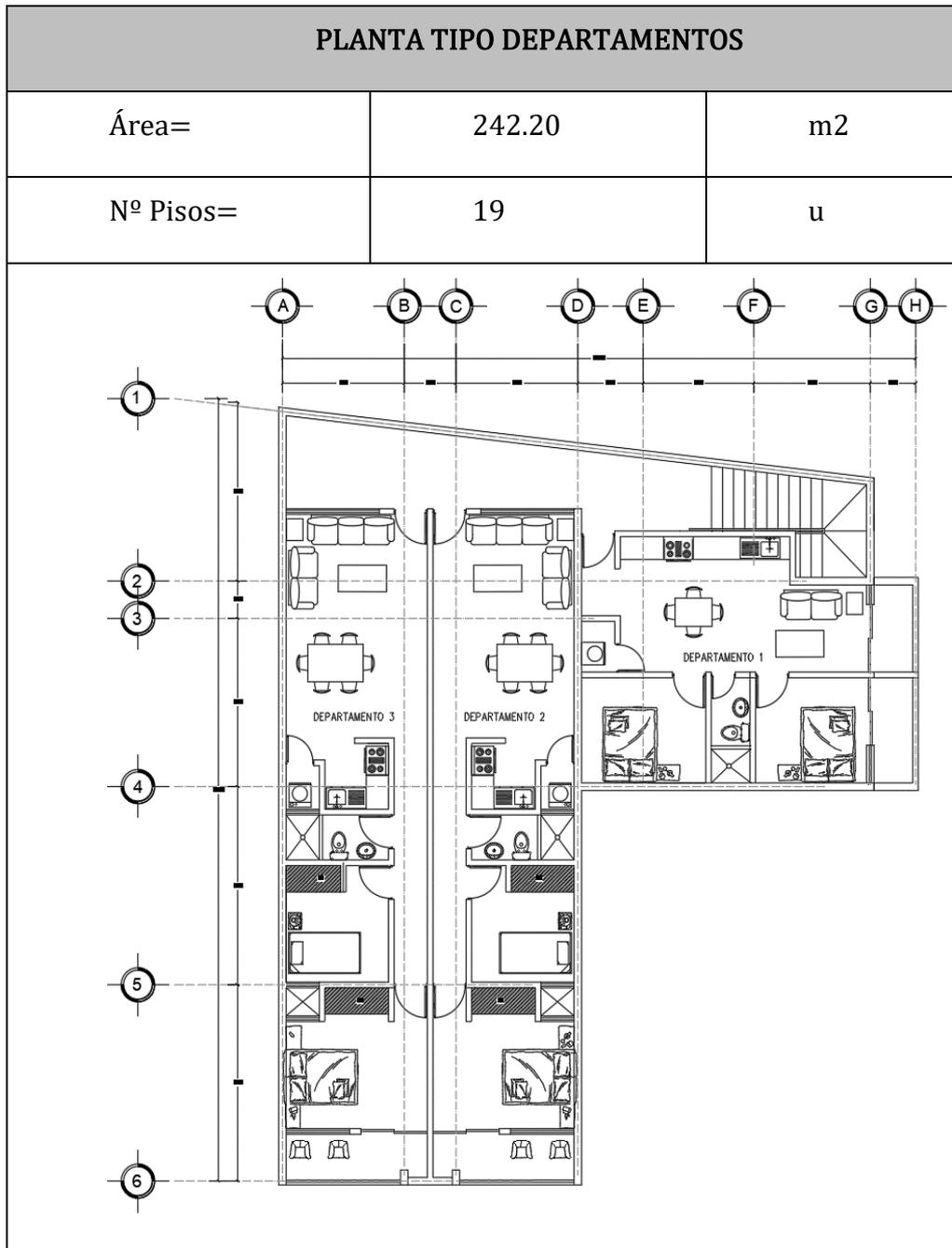


Tabla 24 Arquitectura de Planta Tipo.

3.2. Normativa técnica.

- Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC 2015.

Cargas (No Sísmicas) NEC – SE – CG.

Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente. NEC – SE – DS.

Estructuras de Hormigón Armado. NEC – SE – HM.

Guía práctica para el diseño de estructuras de hormigón armado.

- Building Code Requirements for Structural Concrete, American Concrete Institute, ACI 318 – 19.

3.3. Análisis de carga.

La NEC – 15 tiene una normativa que trata las cargas permanentes y variables y sus combinaciones, además las combinaciones incluyen el efecto sísmico. La carga muerta constituye el peso de los elementos estructurales, tales como muros, paredes, recubrimientos, instalaciones y todo artefacto que se encuentre de forma permanente. La carga viva, es asignada de acuerdo con la ocupación y además por el peso de las personas, muebles o accesorios móviles. A continuación, se muestra el análisis de carga muerta y viva para la edificación:

<u>CARGAS</u>		
<i>CARGA MUERTA</i>		
<i>Instalaciones Varias</i>	10.0	kg/m²
<i>Cielo Falso de Yeso Sobre Listones</i>	20.4	kg/m²
<i>Baldosa Cerámica con Mortero de Cemento (cada cm)</i>	40.0	kg/m²
<i>Losa de Piso</i>	292.8	kg/m²
<i>Paredes de Mampostería PB</i>	235.7	kg/m²
Espesor Paredes	0.20	m
Altura de Entrepiso	3.00	m
Longitud Paredes Total	111.95	m
Densidad de bloque de hormigón	850.00	kg/m ³
Área por planta	242.20	m ²
<i>Paredes de Mampostería 1er PISO</i>	281.0	kg/m²
Espesor Paredes	0.20	m
Altura de Entrepiso	3.00	m
Longitud Paredes Total	133.45	m
Densidad de bloque de hormigón	850.00	kg/m ³
Área por planta	242.20	m ²
<i>Paredes de Mampostería PISOS DPTO</i>	316.3	kg/m²
Espesor Paredes	0.20	m
Altura de Entrepiso	3.00	m
Longitud Paredes Total	150.20	m
Densidad de bloque de hormigón	850.00	kg/m ³
Área por planta	242.20	m ²

CARGA VIVA	
<i>Viviendas (unifamiliares y bifamiliares)</i>	200.0 kg/m²
<i>Cubiertas planas</i>	70.0 kg/m²

3.3.1. Combinaciones de carga.

El diseño de las estructuras debe satisfacer que la resistencia de diseño sea igual o supere los efectos de las cargas mayoradas, acorde a las siguientes combinaciones.

D: Carga Muerta
L: Carga Viva
S: Carga de Sismo

Combinación 1 →	1.4D
Combinación 2 →	1.2D + 1.6L
Combinación 3 →	0.9D + S _x
Combinación 4 →	0.9D + S _y
Combinación 5 →	0.9D - S _x
Combinación 6 →	0.9D - S _y
Combinación 7 →	1.2D + S _x + L
Combinación 8 →	1.2D + S _y + L
Combinación 9 →	1.2D - S _x + L
Combinación 10 →	1.2D - S _y + L

Tabla 25 Combinaciones de carga. (NEC – 15).

El diseño de los elementos se llevará a cabo para la envolvente de las combinaciones de carga, puesto se trataría del caso más desfavorable. La envolvente de diseño no es más que la superposición de todas las combinaciones establecidas anteriormente.

3.4. Prediseño de la estructura.

3.4.1. Vigas.

Acorde a la normativa ACI 318 – 19, se establece la altura mínima para vigas no preesforzadas.

Condición de apoyo	Altura mínima, h
Simplemente apoyada	1/16
Con un extremo continuo	1/18.5
Ambos extremos continuos	1/21
En voladizo	1/8

Tabla 26 Altura mínima de vigas no preesforzadas. (ACI 318 - 19).

$$h = \frac{l}{16} = \frac{620}{16} = 38.75cm \approx 40cm$$

Por tanto, se propone una sección de viga de 25x40.

3.4.2. Columnas.

Para el prediseño de columnas se optará por una ecuación propuesta en la cátedra de diseño de hormigón armado, en donde:

$$A_g = \frac{3P_u}{0.8(0.85 \cdot f'_c + \rho \cdot f_y)}$$

Para el cálculo de P_u se tomó los valores de carga muerta y viva acorde el análisis de carga realizado anteriormente.

PISO	MUERTA [kg/m ²]	VIVA [kg/m ²]	D+L [kg/m ²]	# Pisos	P _u [kg/m ²]	Área Tributaria [m ²]	P _u [kg]
1er PISO	644.21	200.00	844.2	1	844.2	16.3	13777.9
PISOS TIPO	679.48	200.00	879.5	17	14951.1	16.3	244010.4
CUBIERTA	363.20	70.00	433.2	1	433.2	16.3	7070.1
						P_u	264858.4

$$A_g = \frac{3(264858.4)}{0.8(0.85 \cdot 280 + 0.02 \cdot 4200)} = 3084.5 \text{ cm}^2$$

$$b = \sqrt{3084.5} = 56 \text{ cm} \approx 60 \text{ cm}$$

Por tanto, se proponen columnas cuadradas de 60x60 cm.

3.4.3. Losas.

Acorde a la ACI 318 – 19, proponen un espesor mínimo de losas en dos direcciones y con vigas entre apoyos:

α_{fm}	Minimum h, cm.		
$0.2 < \alpha_{fm} \leq 0.2$	Mayor de:	$h = \frac{l_n \left(0.8 + \frac{fy}{14000} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0.2)}$	(b)
		12.5	(c)
$\alpha_{fm} > 2.0$	Mayor de:	$h = \frac{l_n \left(0.8 + \frac{fy}{14000} \right)}{36 + 9\beta}$	(d)
		9	(e)

Tabla 27 Espesor mínimo para losas en dos direcciones. (ACI 318 - 19).

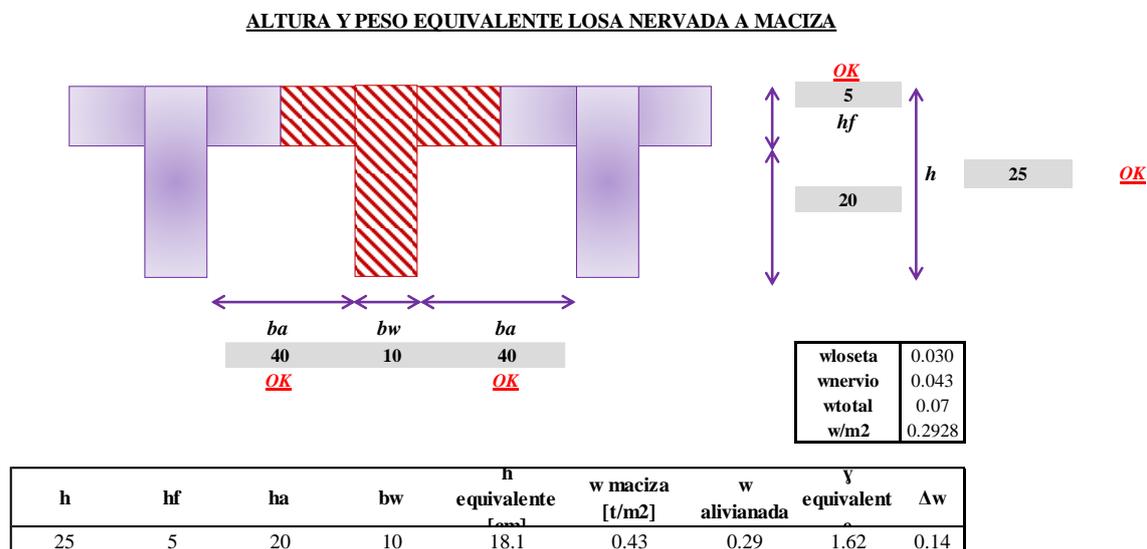
Ya que como parte de la configuración se optará por vigas de mayor peralte que la losa, se asume inicialmente el caso $\alpha_{fm} > 2$, por lo que se utilizará la ecuación 8.3.1.2 (d)

$$h = \frac{\ln \left(0.8 + \frac{fy}{14000} \right)}{36 + 9\beta} \geq 9 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{555}{488} = 1.14$$

$$h = \frac{555 \left(0.8 + \frac{4200}{14000} \right)}{36 + 9 \cdot 1.14} = 13.2 \text{ cm} \geq 9 \text{ cm}$$

La altura de 13.2cm corresponde a la altura equivalente de una losa maciza. Por lo que, seleccionar una losa de altura equivalente de 18.1 cm incluso es mayor al sugerido por el ACI 318-19.



3.4.4. Muros.

Para el pre – dimensionamiento de los muros se usará una ecuación en base a la longitud y altura del muro, propuestas por el ACI 318 – 19:

Tipo de muro	Espesor mínimo del muro, h		
De carga	El mayor de:	100 mm	(a)
		1/25 de la menor entre la longitud y la altura no soportadas.	(b)
No portante	El mayor de:	100 mm	(d)
		1/30 de la menor entre la longitud y la altura no soportadas.	
Exteriores de sótanos y cimentaciones	190 mm		(e)

Tabla 28 Espesor mínimo de muros. (ACI 318 - 19).

$$\frac{1}{25} \cdot 620 \text{ cm} = 24.8 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$$

3.5. Modelación virtual de la estructura.

Para lograr establecer el comportamiento estructural del edificio, se va a utilizar el software computacional ETABS, el análisis estructural se basa en la determinación de los esfuerzos a los que estarán sometidos los elementos estructurales, así también como las secciones mínimas; que procuren la rigidez necesaria y adicional, revisar que las derivas máximas cumplan con lo requerido acorde a la normativa nacional.

3.5.1. Definición de materiales.

Para la definición del hormigón armado se considerará que el módulo de elasticidad del hormigón está definido como $E \approx 120000 \cdot \sqrt{f'c}$, por las características de los materiales de la zona (Alejandro & Gachet, 2014).

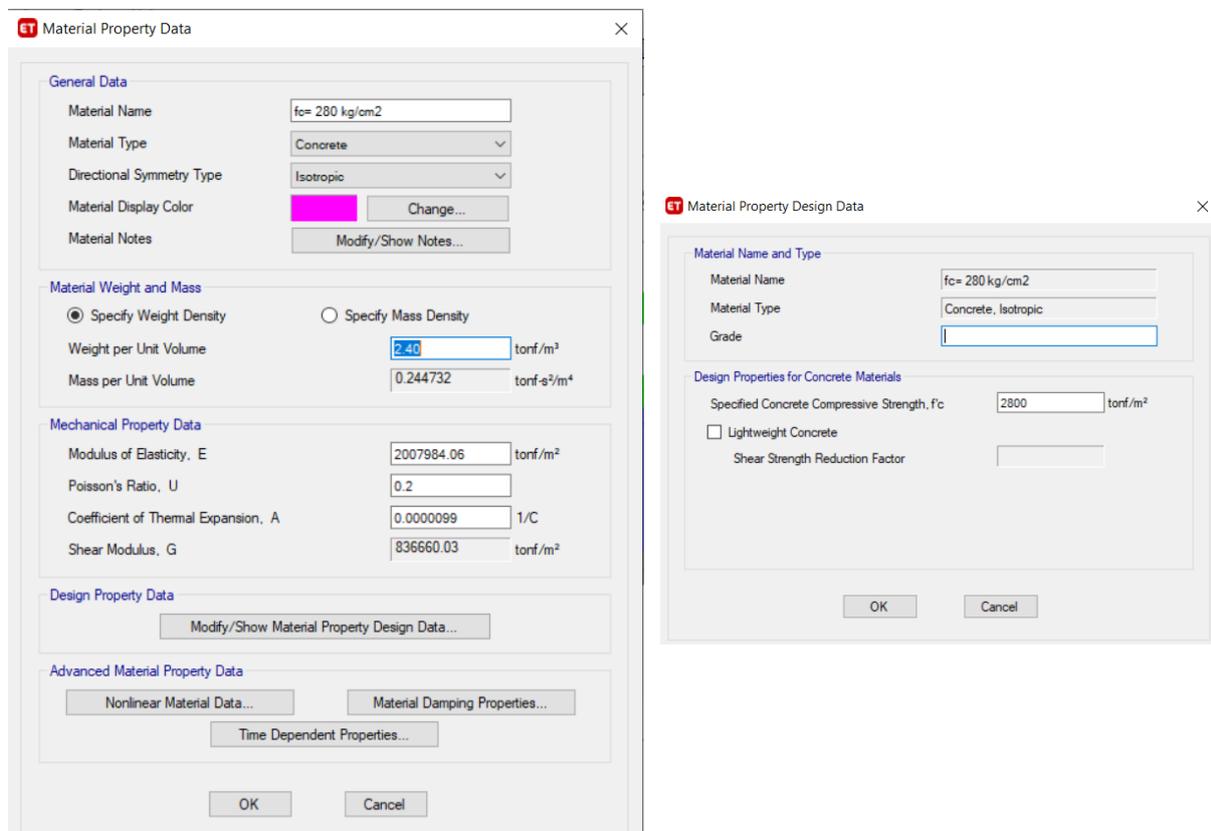


Ilustración 8 Definición de materiales. $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$.

$$E \approx 120000 \cdot \sqrt{280} = 2007984.06 \text{ t/m}^2$$

El hormigón correspondiente a la losa cumple con las mismas características a excepción del peso específico, puesto que la modelación de las losas alivianadas se reemplazará con una losa maciza equivalente, asimismo, el peso específico será la relación entre la carga por m² de losa alivianada y la altura de la losa maciza equivalente. El peso específico equivalente es de 1.62 t/m³, tal como se mostró en el apartado 3.4.3.

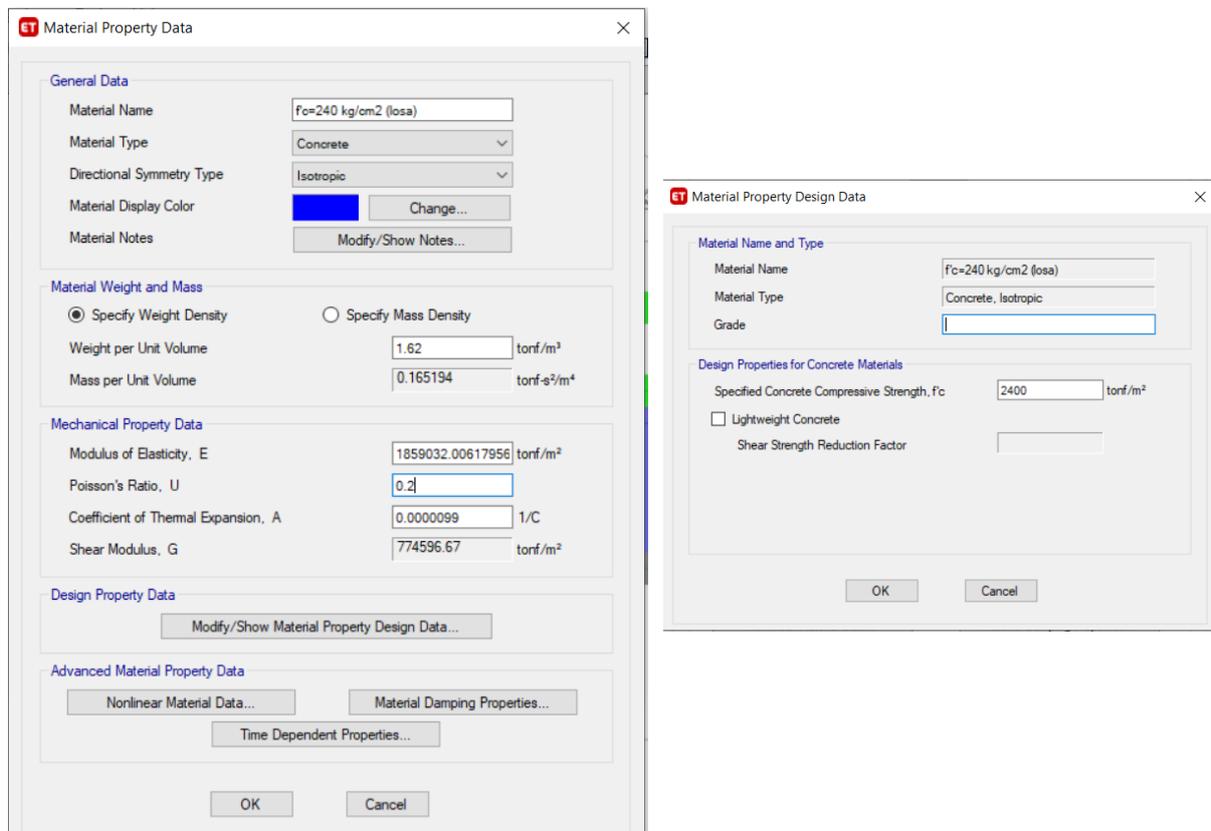


Ilustración 9 Definición de Materiales. $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$.

3.5.2. Definición de secciones.

Vigas.

Se define dos secciones de viga, una de 25x40cm para el sistema aporticado y otra de 25x25cm sobre el eje H, el factor de agrietamiento es de 0.5, como lo especifica la norma.

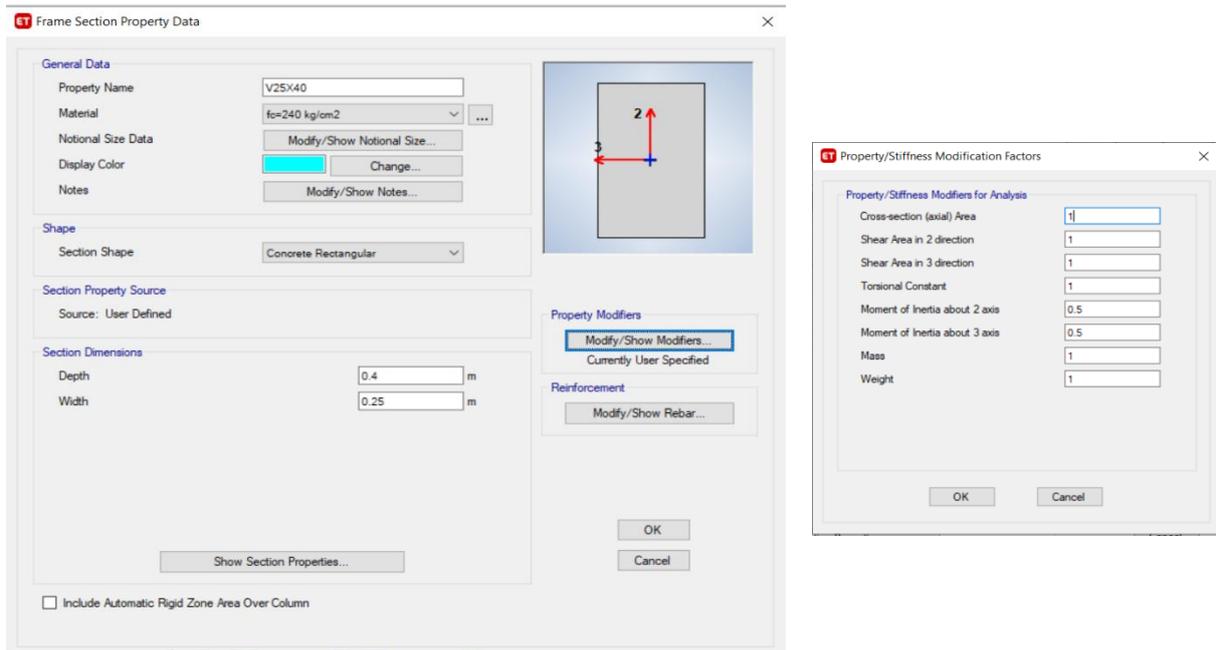


Ilustración 10 Definición de viga 25x40.

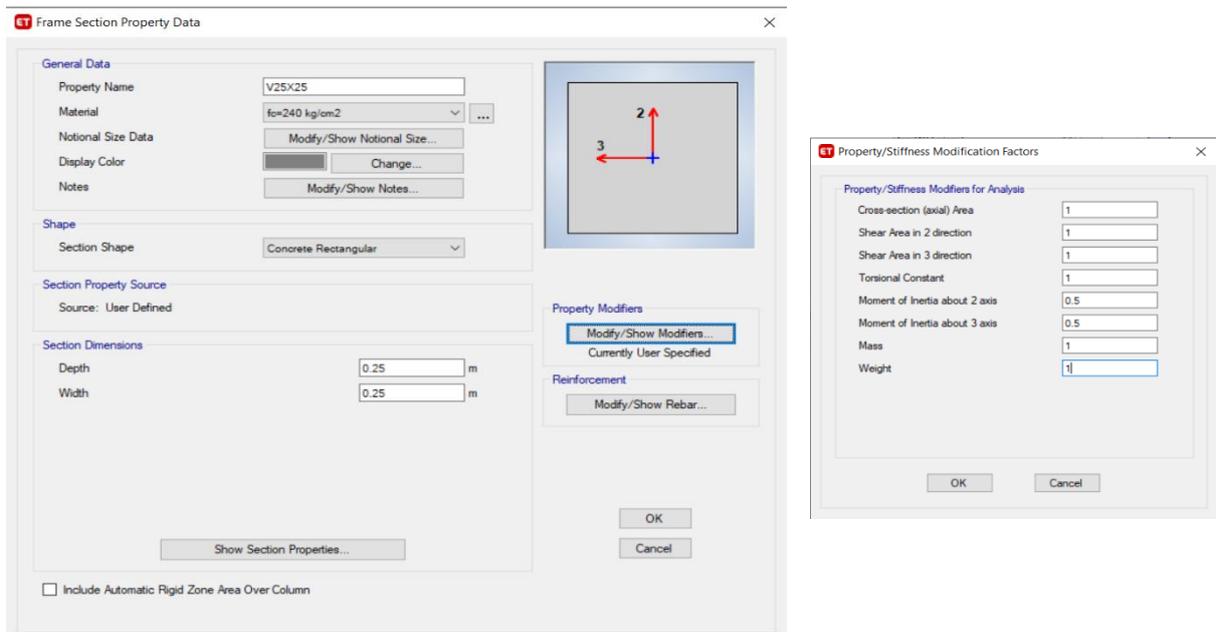


Ilustración 11 Definición de viga 25x25.

Columnas.

Se define la columna de 60x60 cm y acorde a la normativa, se reduce la inercia con un factor de 0.8.

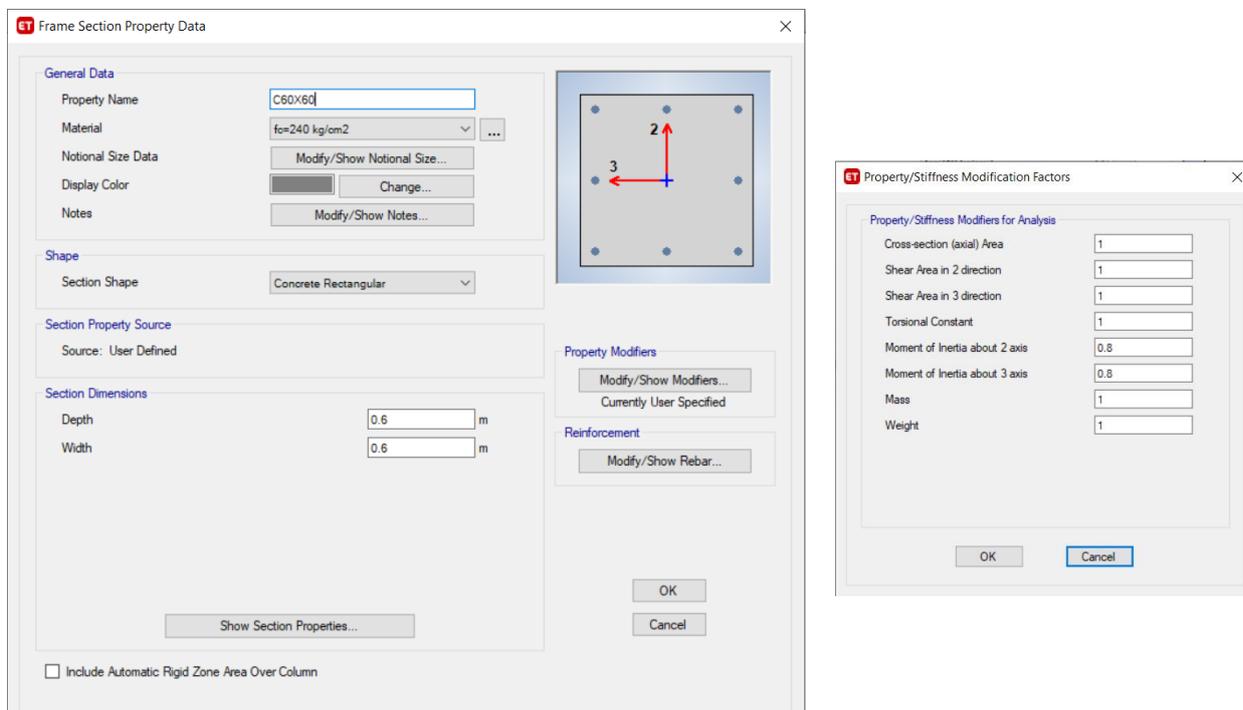


Ilustración 12 Definición de columna 60x60.

Losas.

Se define la sección de la losa maciza equivalente de 18.10 cm y, dado que el peso correspondiente de la losa fue asignado en la carga muerta, se debe definir un factor de cero para que el programa no tome el peso por duplicado.

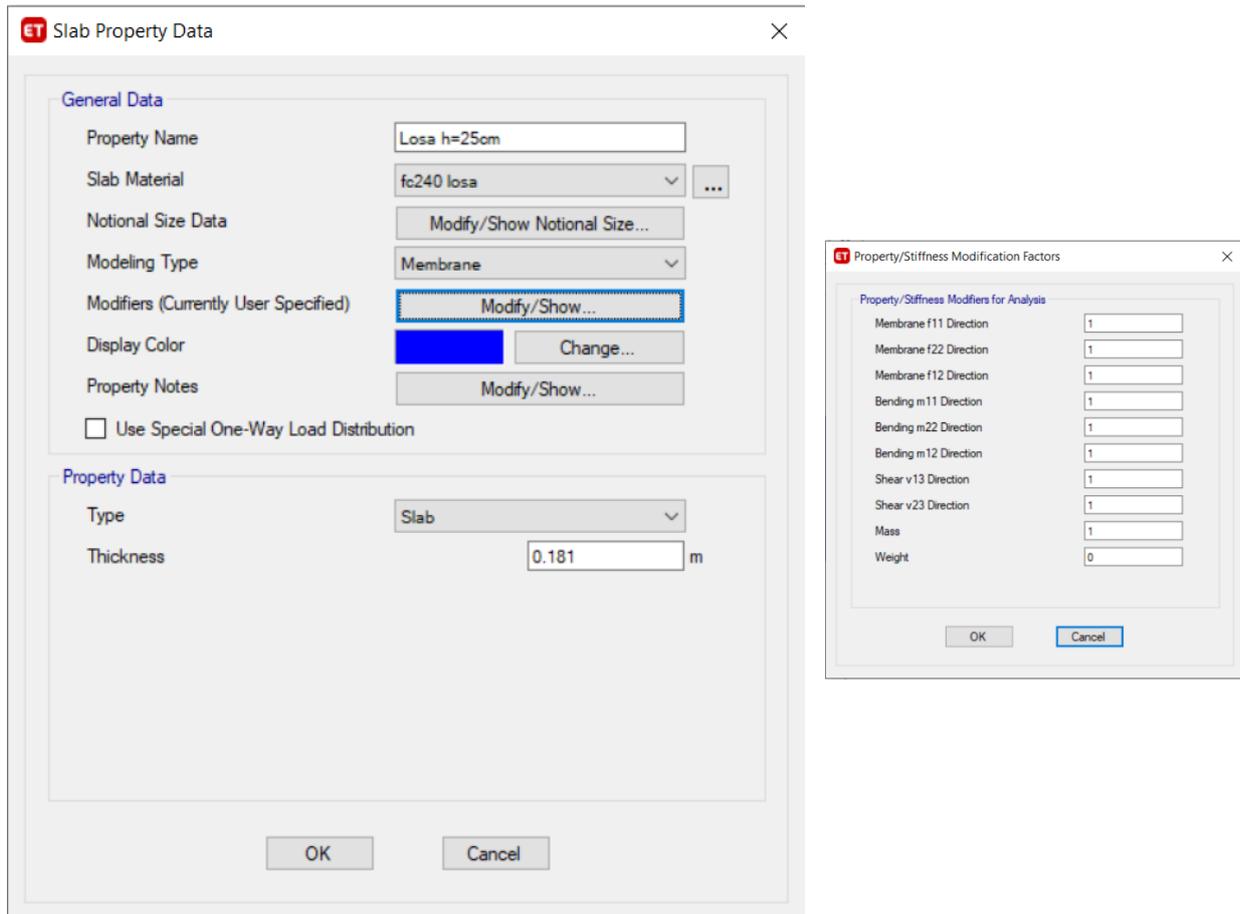


Ilustración 13 Definición de losa equivalente.

Muros.

Se define dos secciones de muro, y esto se debe a que la NEC – 15 recomienda que el factor de agrietamiento sea de 0.6 en los dos primeros pisos de la edificación. Además, también se debe definir un factor de agrietamiento de 0.25 para la inercia fuera del plano y esto se debe a que no se debe confiar en la rigidez fuera del plano de los muros, así se asegura que los muros trabajen en su plano.

ET Wall Property Data

General Data

Property Name: Muro 25cm Bajos

Property Type: Specified

Wall Material: $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Shell-Thick

Modifiers (Currently User Specified): Modify/Show...

Display Color: Change...

Property Notes: Modify/Show...

Property Data

Thickness: 0.25 m

Include Automatic Rigid Zone Area Over Wall

OK Cancel

ET Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Membrane f11 Direction	0.6
Membrane f22 Direction	0.6
Membrane f12 Direction	0.6
Bending m11 Direction	0.25
Bending m22 Direction	0.25
Bending m12 Direction	0.25
Shear v13 Direction	1
Shear v23 Direction	1
Mass	1
Weight	1

OK Cancel

Ilustración 14 Definición de muro. $e=25\text{cm}$. Pisos inferiores.

ET Wall Property Data

General Data

Property Name: Muro 25cm Pisos

Property Type: Specified

Wall Material: $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Shell-Thick

Modifiers (Currently User Specified): Modify/Show...

Display Color: Change...

Property Notes: Modify/Show...

Property Data

Thickness: 0.25 m

Include Automatic Rigid Zone Area Over Wall

OK Cancel

ET Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Membrane f11 Direction	1
Membrane f22 Direction	1
Membrane f12 Direction	1
Bending m11 Direction	0.25
Bending m22 Direction	0.25
Bending m12 Direction	0.25
Shear v13 Direction	1
Shear v23 Direction	1
Mass	1
Weight	1

OK Cancel

Ilustración 15 Definición de muro. $e=25\text{cm}$. Pisos superiores.

3.5.3. Asignación de diafragmas de piso.

Se asignará un diafragma rígido por cada piso, esto es conveniente puesto que requiere que todos los puntos trabajen en conjunto.

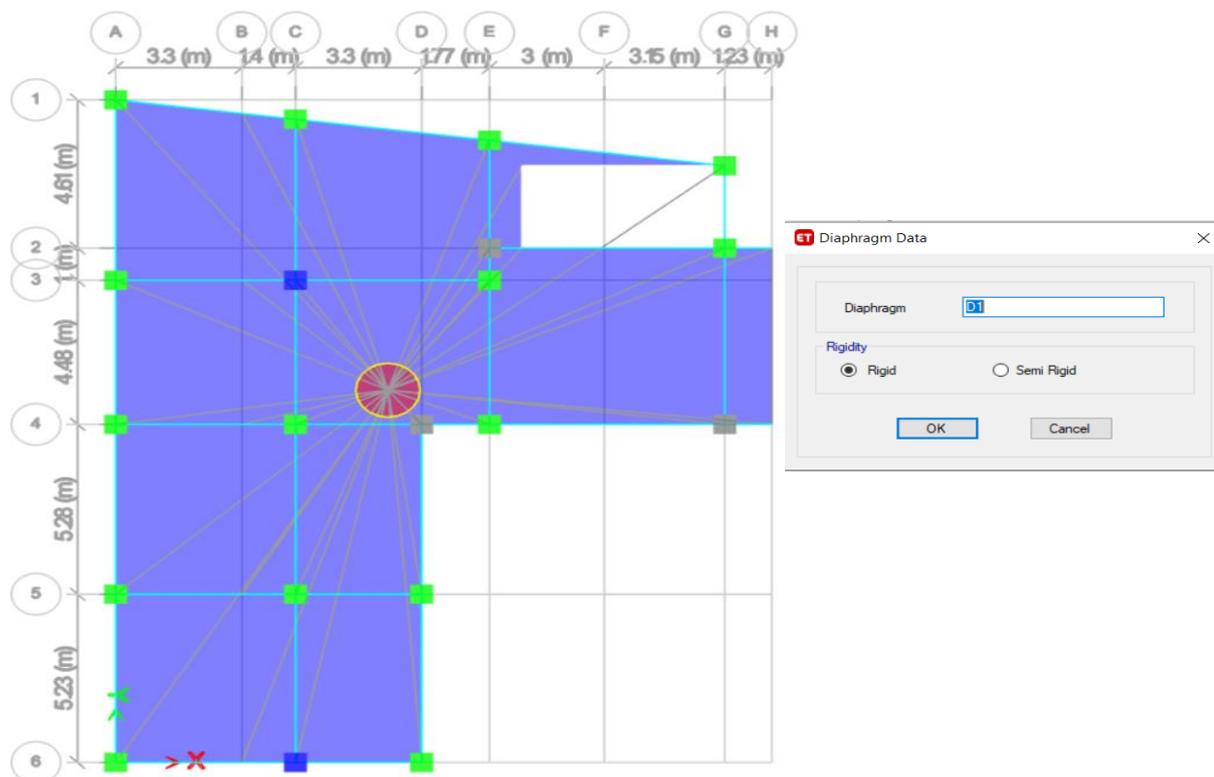


Ilustración 16 Asignación de diafragmas de piso.

3.5.4. Asignación de Cargas

Acorde al análisis de carga descrito en el apartado 3.3. se asignarán las cargas de tipo uniforme a la losa.

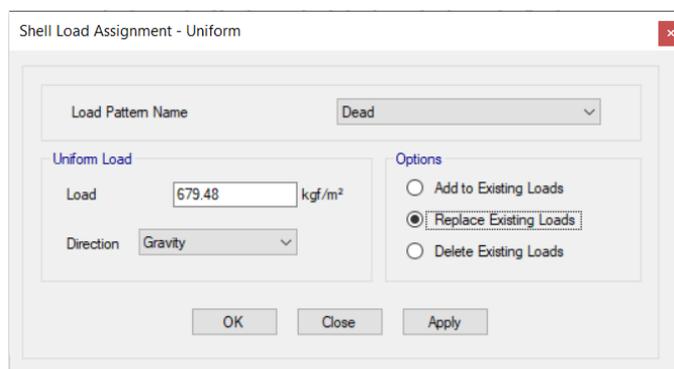


Ilustración 17 Carga muerta.

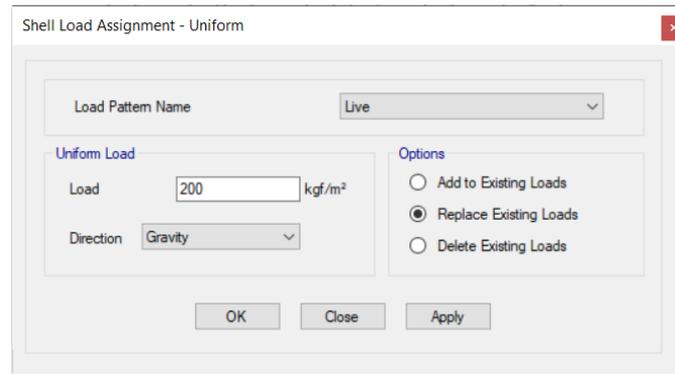


Ilustración 18 Carga viva.

En lo que respecta a la carga sísmica, antes calculada para cada sistema, se define de la siguiente manera:

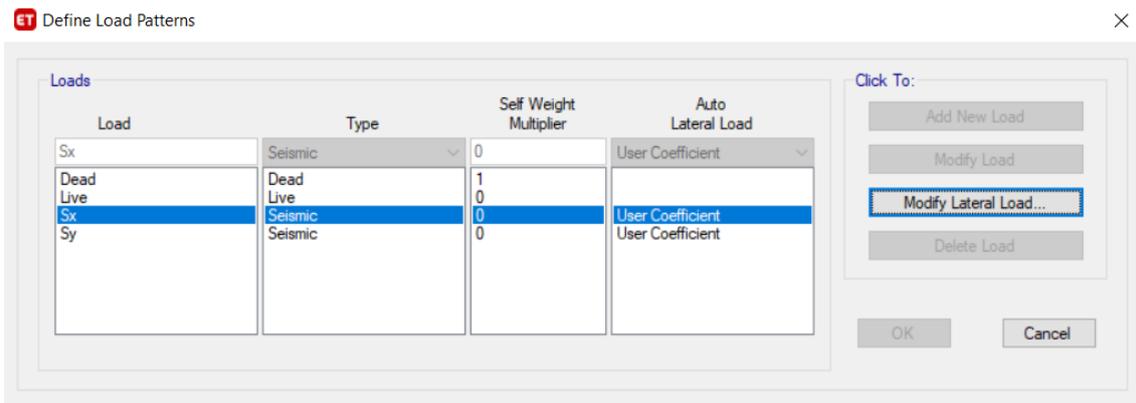


Ilustración 19 Patrón de cargas.

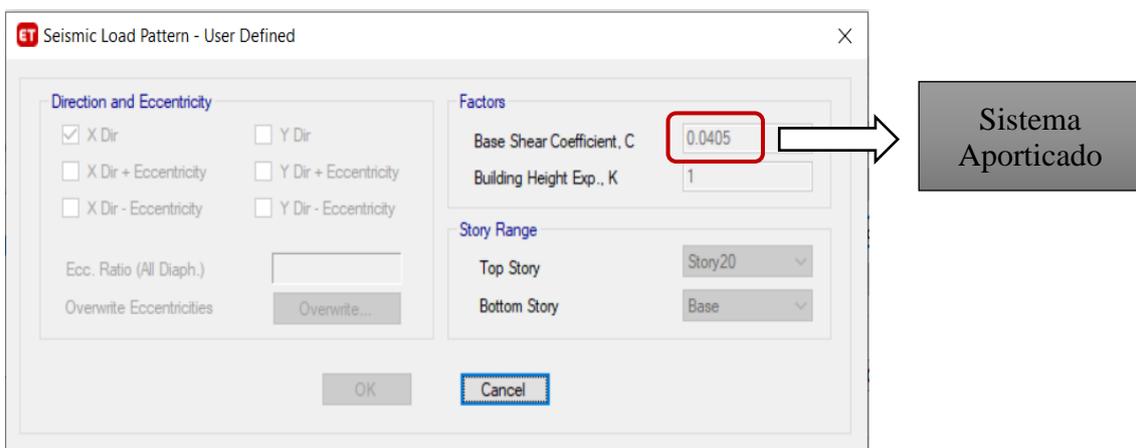


Ilustración 20 Patrón sísmico de carga. Sistema aporticado.

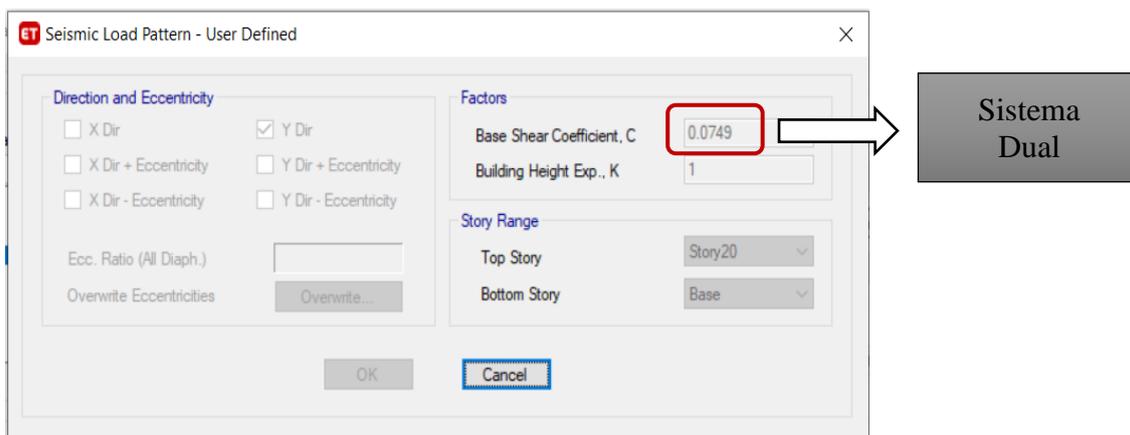


Ilustración 21 Patrón sísmico de carga. Sistema dual.

Luego de establecer las cargas, se puede definir las combinaciones de carga propuestas por la NEC – 15.

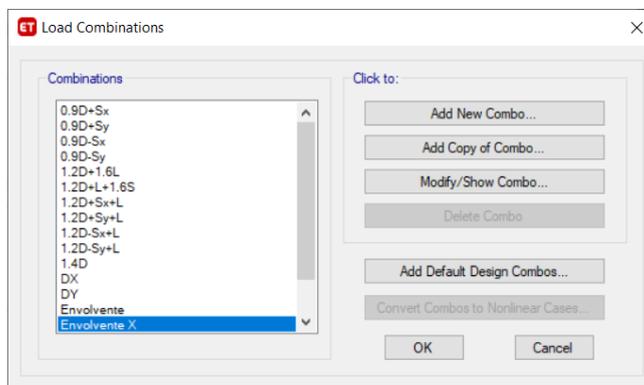


Ilustración 22 Combinación de cargas.

3.5.5. Análisis del modelo preliminar.

Para el análisis preliminar, se revisará únicamente las derivas de piso, puesto esto nos indicará si el sistema aporticado presenta un comportamiento adecuado.

Hay que considerar que la normativa nacional establece los valores límite de derivas permisibles acorde al tipo de estructura, el valor de deriva inelástica para estructuras de hormigón armado, estructuras metálicas y madera es de 2%.

Estructuras de:	ΔM máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera.	0.02
De mampostería	0.01

Tabla 29 Derivas máximas permisibles. (NEC - 15).

Puesto que la deriva del programa se trata de la deriva elástica, se realiza una combinación en la que se incluye los factores que propone la norma. La relación aplicada es:

$$\Delta_M = 0.75 \cdot R \cdot \Delta_E$$

$$\rightarrow 0.75 \cdot 8 = 6$$

La deriva para el sismo en la dirección x es del 6,70%, por tanto, las secciones propuestas son bastante insuficientes.

Story	Output Case	Case Type	Direction	Drift
Story6	DX	Combination	X	0.067025
Story6	DY	Combination	Y	0.063374

Tabla 30 Derivas de piso, modelo preliminar.

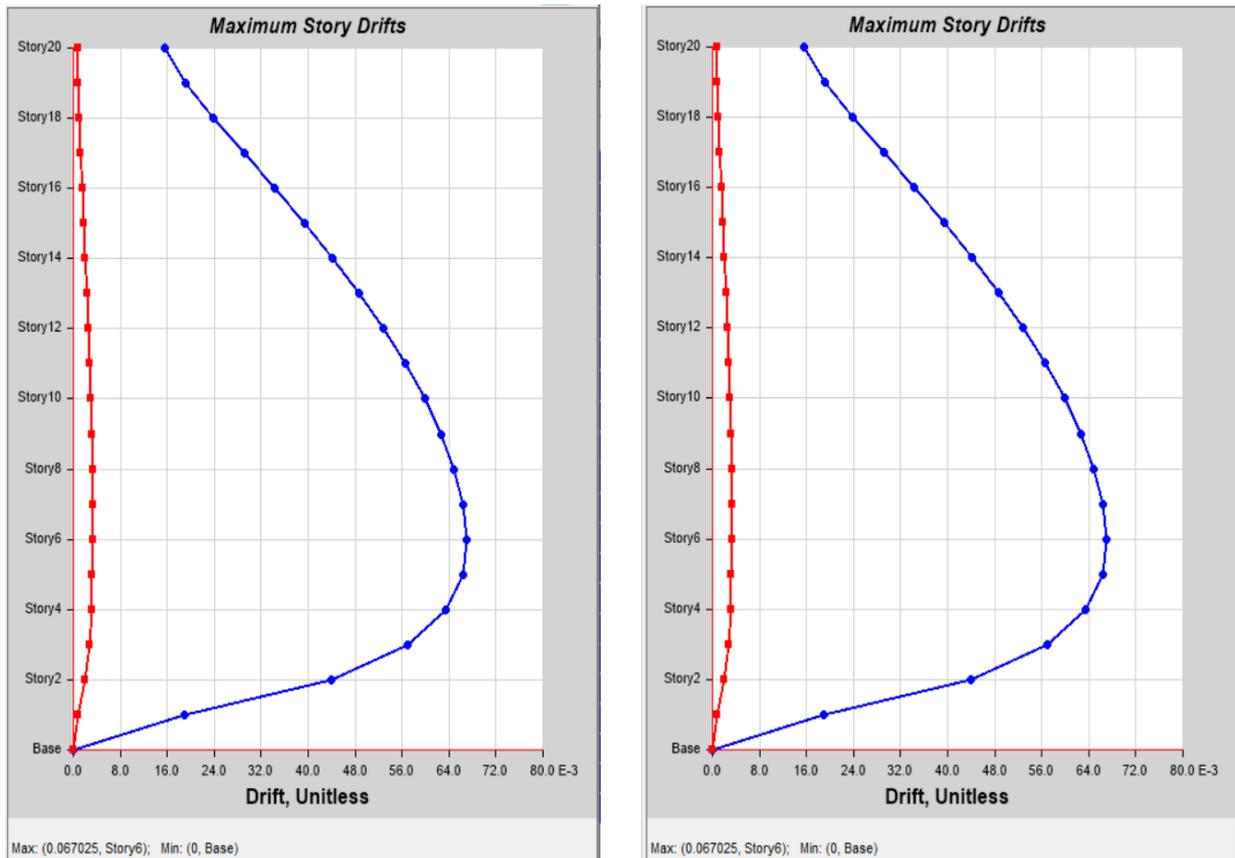
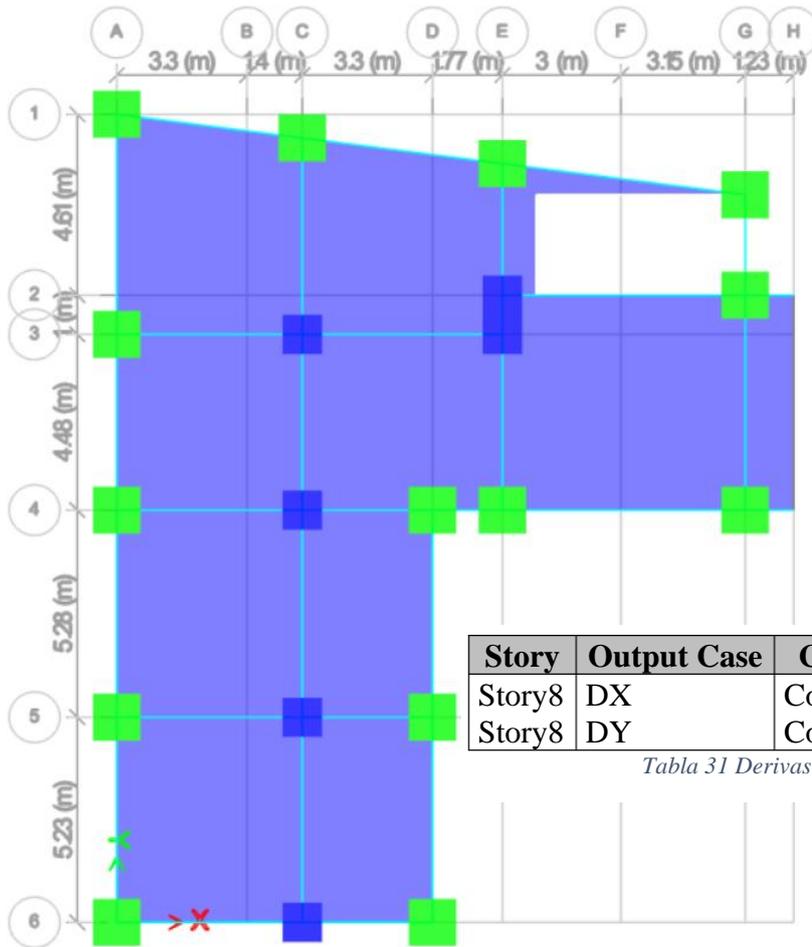


Ilustración 23 Derivas de piso. Modelo preliminar.

Como se puede observar, la estructura no es lo suficientemente rígida, por lo que se busca las dimensiones adecuadas que permitan cumplir con el límite de la deriva.

Luego de realizar varios cambios en las secciones de los elementos para el sistema aporticado, se puede determinar que este tipo de edificio, irregular en planta y de 20 pisos, no puede diseñarse como un sistema de pórticos sismo resistentes, ya que las dimensiones requeridas para no exceder el límite de derivas y presentar modos netamente traslacionales fueron de columnas cuadradas de 120cm en la periferia y 100cm en el interior. Sin embargo, se diseñará el sistema para lograr llevar a cabo una comparación.



Story	Output Case	Case Type	Direction	Drift
Story8	DX	Combination	X	0.021442
Story8	DY	Combination	Y	0.020647

Tabla 31 Derivas de piso, modelo aporcionado.

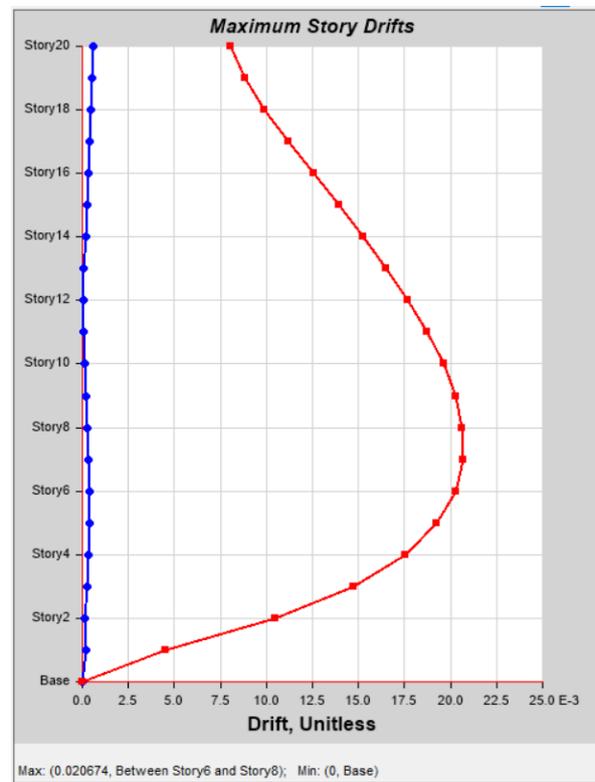
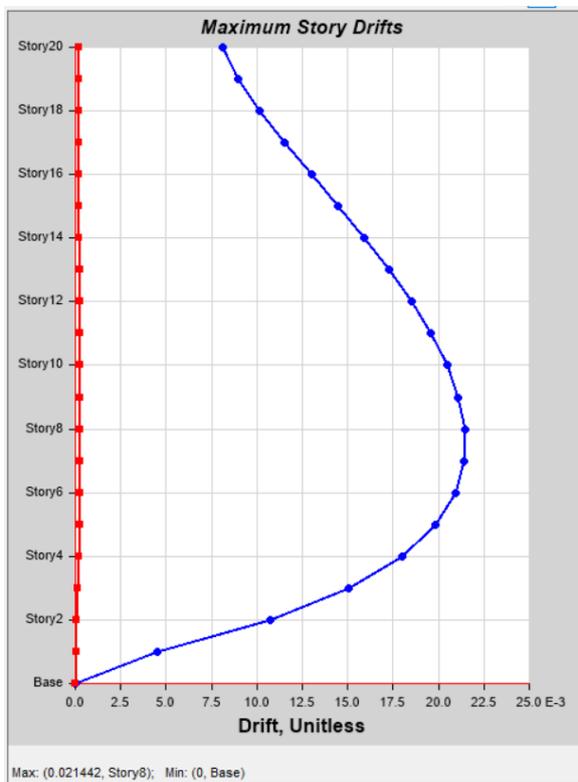
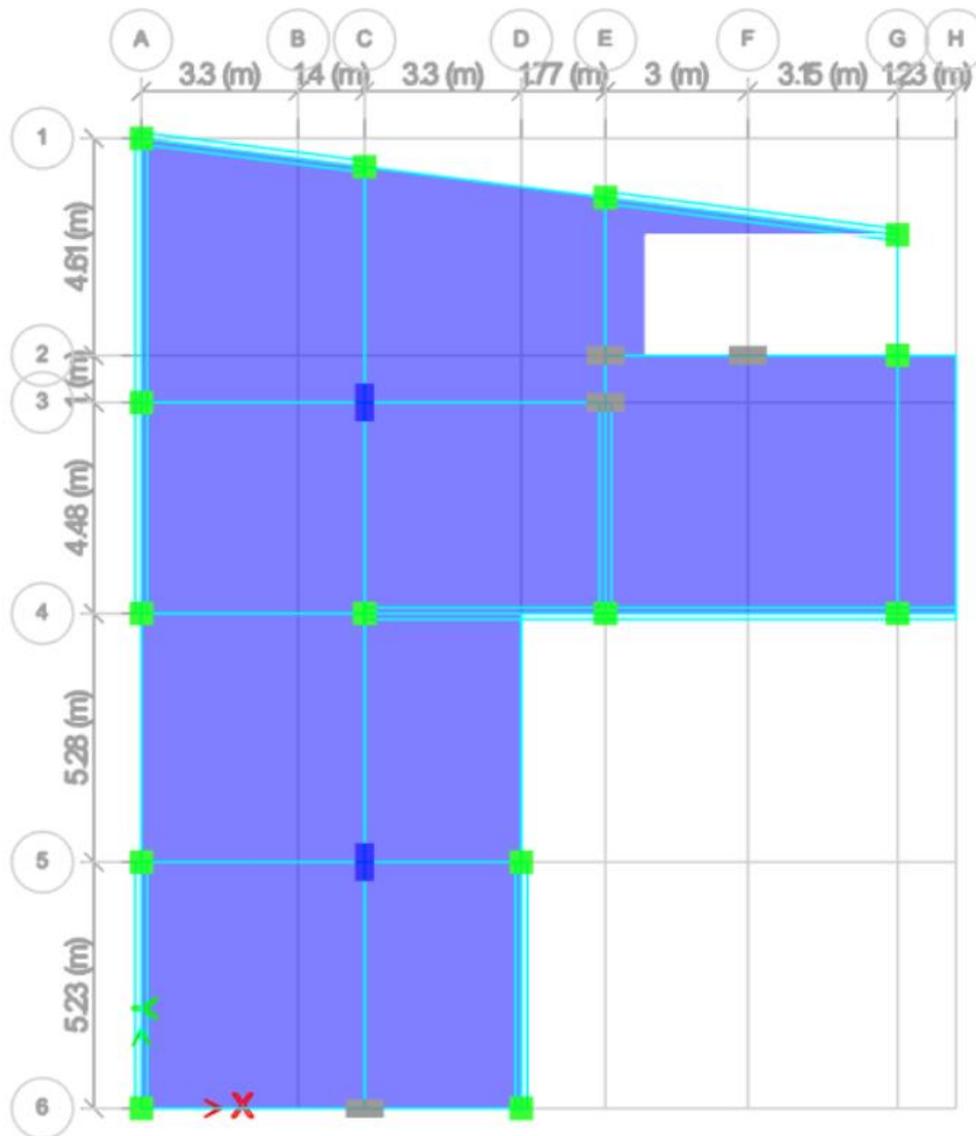


Ilustración 24 Derivas de piso. Modelo aporcionado final.

Por otro lado, el sistema dual logro un comportamiento adecuado con secciones de columnas de 50x80 cm, muros de 25cm de espesor, vigas de 30x60 cm y losa alivianada de 25cm. Cabe mencionar que, la disposición de los muros de hormigón armado es tal que no interrumpe ni perjudica en ninguna forma la arquitectura propuesta.



Story	Output Case	Case Type	Direction	Drift
Story12	DX	Combination	X	0.012447
Story12	DY	Combination	Y	0.015477

Tabla 32 Derivas de piso, modelo dual.

Continuando con las secciones finales de las alternativas, se prosigue a verificar el cortante basal de acuerdo con la disposición de la NEC -15, es decir, cerciorarse que el cortante basal del análisis dinámico no supere el 85% del cortante basal obtenido mediante el método estático. Por lo que, se llevará a cabo un ajuste del cortante dinámico.

Para evitar correr el modelo varias veces, se realiza en el modelo una combinación de carga que no es más que $1/R$ aplicado al sismo dinámico en la dirección correspondiente, como se muestra a continuación:

Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: Sx

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
SxE	0.125

Add

Delete

OK Cancel

Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: Sy

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

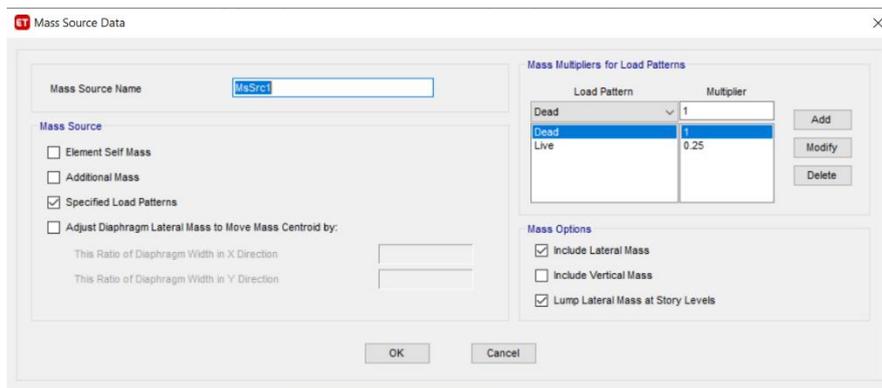
Load Name	Scale Factor
SyE	0.153

Add

Delete

OK Cancel

Para comprobar el valor del cortante basal, primero obtendremos el peso sísmico de la estructura. Para ello es importante notar que la definición de masa sea la carga muerta total de la estructura, sin embargo, como un factor de seguridad, se utilizará adicionalmente el 25% de la carga viva.



El peso sísmico para el sistema aporticado, detallado por piso se muestra en la siguiente

tabla:

Story	UX tonf-s ² /m	UY tonf-s ² /m	UZ tonf-s ² /m
Story20	22.82603	22.82603	0
Story19	39.51656	39.51656	0
Story18	39.51656	39.51656	0
Story17	39.51656	39.51656	0
Story16	39.51656	39.51656	0
Story15	39.51656	39.51656	0
Story14	39.51656	39.51656	0
Story13	39.51656	39.51656	0
Story12	39.51656	39.51656	0
Story11	39.51656	39.51656	0
Story10	39.51656	39.51656	0
Story9	39.51656	39.51656	0
Story8	39.51656	39.51656	0
Story7	39.51656	39.51656	0
Story6	39.51656	39.51656	0
Story5	39.51656	39.51656	0
Story4	39.51656	39.51656	0
Story3	39.51656	39.51656	0
Story2	39.51656	39.51656	0
Story1	38.90292	38.90292	0
Base	8.81035	8.81035	0

Tabla 33 Peso sísmico por piso, sistema aporticado.

En donde, el peso sísmico es la sumatoria de todos los pisos y multiplicado por la gravedad: $781.84 t \cdot s^2/m \cdot 9.81 m/s^2 = 7669.82t$, por lo que el cortante basal es de $0.0405 \cdot 7669.82 t = 310.63 t$.

Siguiendo la disposición de la NEC – 15, el valor mínimo de cortante es de:

$$V_{min} = 0.85 \cdot 310.63 t = 264.03 t$$

Mientras que el peso sísmico por piso para el sistema dual es:

Story	UX tonf-s ² /m	UY tonf-s ² /m	UZ tonf-s ² /m
Story20	21.74317	21.74317	0
Story19	36.50605	36.50605	0
Story18	36.50605	36.50605	0
Story17	36.50605	36.50605	0
Story16	36.50605	36.50605	0
Story15	36.50605	36.50605	0
Story14	36.50605	36.50605	0
Story13	36.50605	36.50605	0
Story12	36.50605	36.50605	0
Story11	36.50605	36.50605	0
Story10	36.50605	36.50605	0
Story9	36.50605	36.50605	0
Story8	36.50605	36.50605	0
Story7	36.50605	36.50605	0
Story6	36.50605	36.50605	0
Story5	36.50605	36.50605	0
Story4	36.50605	36.50605	0
Story3	36.50605	36.50605	0
Story2	36.50605	36.50605	0
Story1	35.89241	35.89241	0
Base	6.8827	6.8827	0

Tabla 34 Peso sísmico por piso, sistema dual.

En donde, el peso sísmico es $721.63 t \cdot s^2/m \cdot 9.81 m/s^2 = 7079.16 t$, lo que resulta en un cortante basal de $0.0749 \cdot 7079.16 t = 530.23 t$.

Siendo su valor mínimo: $V_{min} = 0.85 \cdot 530.23 t = 450.69 t$

Utilizando el software computacional, se obtiene los cortantes dinámicos para los dos sistemas estructurales, en donde:

Sistema aporticado.

Story	Output Case	Case Type	VX	VY
Story1	Sx'	Combination	220.593	7.0499
Story1	Sy'	Combination	7.0499	215.7804

Tabla 35 Fuerzas por piso, sistema aporticado.

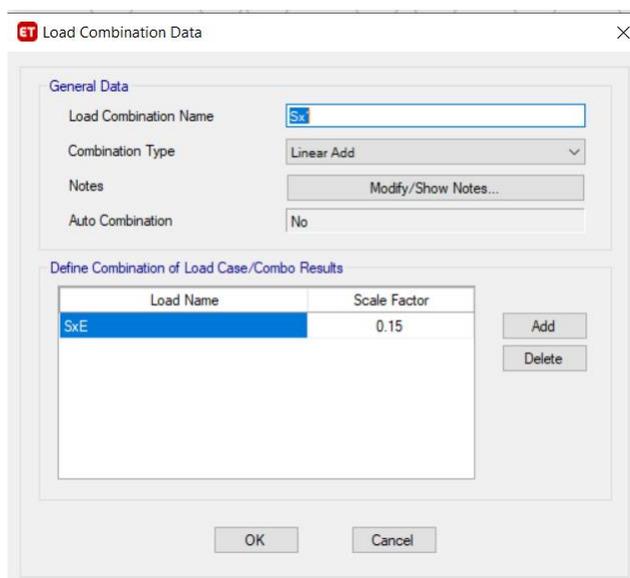
Como se puede observar, es necesario realizar el ajuste del cortante para las dos direcciones, ya que el valor de cortante mínimo es de 264.03 t.

$$factor = \frac{\frac{1}{8} \cdot 264.03}{220.593} = 0.150$$

Combinación	V dinámico	factor
VSx'	220.593	0.150
VSy'	215.7804	0.153

Tabla 36 Ajuste de cortante, sistema aporticado.

Posteriormente este factor puede ser aplicado en las combinaciones creadas anteriormente, de la siguiente forma:



Finalmente, se comprueba que el ajuste sea congruente con el valor mínimo del cortante.

Story	Output Case	Case Type	VX	VY
Story1	Sx'	Combination	264.7116	8.4599
Story1	Sy'	Combination	8.6291	264.1152

Tabla 37 Fuerzas corregidas por piso, sistema aporricado.

De la misma forma se procede con el análisis correspondiente para el sistema dual.

Sistema dual.

Story	Output Case	Case Type	VX	VY
Story1	Sx'	Combination	391.6349	119.3844
Story1	Sy'	Combination	119.3844	288.695

Tabla 38 Fuerzas por piso, sistema dual.

Como se puede observar, es necesario realizar el ajuste del cortante para las dos direcciones, ya que el valor de cortante mínimo es de 450.69 t.

$$factor = \frac{\frac{1}{8} \cdot 450.69}{391.6349} = 0.144$$

Combinación	V _{dinámico}	factor
VSx'	391.635	0.144
VSy'	288.695	0.195

Tabla 39 Ajuste de cortante, sistema dual.

Posteriormente este factor puede ser aplicado en las combinaciones creadas anteriormente, de la siguiente forma:

Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: Sx'

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
SxE	0.144

Add

Delete

OK Cancel

Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: Sy'

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
SyE	0.195

Add

Delete

OK Cancel

Finalmente, se comprueba que el ajuste sea congruente con el valor mínimo del cortante.

Story	Output Case	Case Type	VX	VY
Story1	Sx'	Combination	451.1634	137.5308
Story1	Sy'	Combination	186.2397	450.3642

Tabla 40 Fuerzas corregidas por piso, sistema dual.

3.6. Diseño de los elementos estructurales.

3.6.1. Sistema aporticado.

- Vigas.

Luego de obtener la envolvente de diseño, se mostrará el cálculo manual de una viga intermedia, correspondiente al pórtico C.

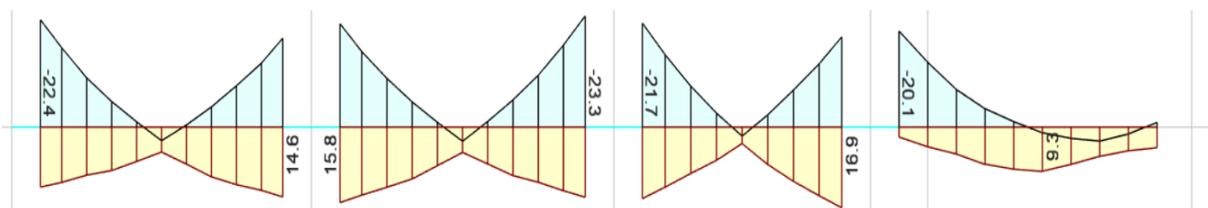


Ilustración 25 Envolvente de momento pórtico C.

$$As_{min}^+ = \frac{14}{f_y} \cdot b \cdot d = \frac{14}{4200} \cdot 30 \cdot 54 \approx 6cm^2$$

$$As_{max}^+ = 0.5 \cdot \rho_b \cdot b \cdot d = 0.5 \cdot 0.0283 \cdot 90 \cdot 54 \approx 39cm^2$$

$$As_{min}^- = 1.3 \cdot As_{min}^+ = 1.3 \cdot 6 \approx 8cm^2$$

$$As_{max}^- = 0.5 \cdot \rho_b \cdot b \cdot d = 0.5 \cdot 0.0283 \cdot 30 \cdot 54 \approx 23cm^2$$

	L [m]	5.23			5.28			4.48			5.61		
		M ⁽⁻⁾ [tm]	M ⁽⁺⁾ [tm]	As ⁽⁻⁾ [cm ²]	M ⁽⁻⁾ [tm]	M ⁽⁺⁾ [tm]	As ⁽⁻⁾ [cm ²]	M ⁽⁻⁾ [tm]	M ⁽⁺⁾ [tm]	As ⁽⁻⁾ [cm ²]	M ⁽⁻⁾ [tm]	M ⁽⁺⁾ [tm]	As ⁽⁻⁾ [cm ²]
Calculado	As ⁽⁻⁾ [cm ²]	13.00	0.00	11.00	12.00	0.00	13.00	13.00	0.00	11.00	12.00	1.00	1.00
	As ⁽⁺⁾ [cm ²]	7.00	3.00	9.00	9.00	3.00	9.00	9.00	2.00	10.00	2.00	5.00	3.00
Diseño	As ⁽⁻⁾ [cm ²]	13.00	8.00	11.00	12.00	8.00	13.00	13.00	8.00	11.00	12.00	8.00	8.00
	As ⁽⁺⁾ [cm ²]	7.00	6.00	9.00	9.00	6.00	9.00	9.00	6.00	10.00	6.00	6.00	6.00

Tabla 41 Acero longitudinal calculado.

# de varillas	As superior	2φ16	-	2φ14	2φ14	-	2φ16	2φ16	-	2φ14	2φ14	-	-
		3φ20											
# de varillas	As inferior	3φ16											
		1φ12	-	2φ14	2φ14	-	2φ14	2φ14	-	2φ16	2φ16	-	-

Tabla 42 Número de varillas.

Para el cálculo del acero transversal, se calcula con base a la capacidad a flexión, y se considera el endurecimiento del hormigón de 1.4, acorde a la siguiente ecuación:

$$M_{pr} = 1.40 \cdot A_{S_{colocado}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{1.40 \cdot A_{S_{colocado}} \cdot f_y}{1.7 \cdot f'_c \cdot b} \right)$$

$$M_{pr} = 1.40 \cdot 20.45^1 \cdot 4200 \cdot \left(54 - \frac{1.40 \cdot 20.45 \cdot 4200}{1.7 \cdot 280 \cdot 30} \right) = 54.80 \text{ t.m}$$

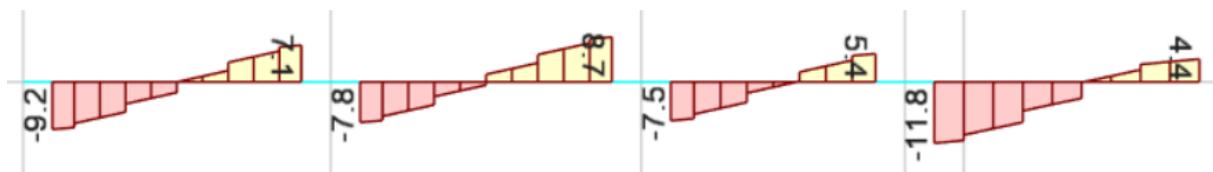


Ilustración 26 Cortante pórtico C.

$Vu_{vert}^{(+)} [t]$	0.00	0.00	7.10	0.00	0.00	8.70	0.00	0.00	5.40	0.00	0.00	4.40
$Vu_{vert}^{(-)} [t]$	9.20	0.00	0.00	7.80	0.00	0.00	7.50	0.00	0.00	11.80	0.00	0.00
As sup real [cm ²]	4.02	0.00	3.08	3.08	0.00	4.02	4.02	0.00	3.08	3.08	0.00	0.00
	9.42	9.42	9.42	9.42	9.42	9.42	9.42	9.42	9.42	9.42	9.42	9.42
As inf real [cm ²]	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03
	1.13	0.00	3.08	3.08	0.00	3.08	3.08	0.00	4.02	4.02	0.00	0.00
Mpr [tm]	54.80		52.72	52.72		54.80	54.80		52.72	52.72		45.62
Mpr [tm]	40.11		44.87	44.87		44.87	44.87		47.11	47.11		37.27

Tabla 43 Cálculo de momentos probables.

La fuerza cortante de diseño, V_{usismo} , se calcula como la suma del cortante de los momentos probables y el cortante correspondiente a carga vertical $1.2D+1.6L$.

$$V_u = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} + Vu_{vert}$$

$$V_u = \frac{54.80 + 44.87}{5.23 - 1} + 9.20 = 32.76 \text{ t}$$

$Vu_{sismo}^{(+)} [t]$			23.07			23.29			28.68			20.11		0.00
$Vu_{sismo}^{(-)} [t]$	23.56			22.80			29.28			19.52			0.00	
$Vu^{(+)} [t]$			30.17			31.99			34.08			24.51		0.00
$Vu^{(-)} [t]$	32.76			30.60			36.78			31.32			0.00	

Tabla 44 Cálculo de cortantes.

¹ Se añade una cantidad de acero correspondiente al acero de la losa.

$$Vu_{sismo} > Vu_{vert} \rightarrow V_c = 0$$

$V_{sismo} > V_{vert}$	$V_c=0$		$V_c=0$									
------------------------	---------	--	---------	---------	--	---------	---------	--	---------	---------	--	---------

$$V_c = 0.53 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$$

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \leq 4 \cdot V_c$$

$$A_v = \frac{V_s \cdot s}{f_y \cdot d}$$

$$V_c = 0.53 \cdot \sqrt{280} \cdot 30 \cdot 54 = 14.37t \rightarrow 4 \cdot V_c = 57.48t$$

$$V_s = \frac{32.76}{0.75} = 43.68t \leq 57.48 \rightarrow Ok$$

$Vu_{sismo}^{(+)} [t]$			23.07			23.29			28.68			20.11
$Vu_{sismo}^{(-)} [t]$	23.56			22.80			29.28			19.52		
$Vu^{(+)} [t]$			30.17			31.99			34.08			24.51
$Vu^{(-)} [t]$	32.76			30.60			36.78			31.32		
$V_{sismo} > V_{vert}$	$V_c=0$		$V_c=0$									
V_s	43.68		40.23	40.80		42.65	49.04		45.45	41.76		32.69
$V_s < 4V_c$	Ok		Ok									
$Av_{L=2H} [cm^2]$	2.31		2.13	2.16		2.26	2.59		2.40	2.21		1.73
$Av_{L>2H} [cm^2]$	4.82		4.43	4.50		4.70	5.41		5.01	4.60		3.60

Tabla 45 Cálculo de estribos por capacidad.

En donde la separación es el valor mínimo entre $\frac{d}{4}$, $6 \cdot \phi_v$, $15cm$.

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{4} = \frac{54}{4} = 13.5cm \\ 6 \cdot \phi_v = 6 \cdot 2 = 12cm \\ 15cm \end{array} \right\}$$

$$A_v = \frac{43.68 \cdot 12}{4.2 \cdot 54} = 2.31 cm^2 @ 12cm$$

$Av_{L=2H} [cm^2]$	2.31		2.13	2.16		2.26	2.59		2.40	2.21		1.73
$Av_{L>2H} [cm^2]$	4.82		4.43	4.50		4.70	5.41		5.01	4.60		3.60
$\phi_s [mm]$	10.00		10.00	10.00		10.00	10.00		10.00	10.00		10.00
$\phi_s [mm]$	10.00		10.00	10.00		10.00	10.00		10.00	10.00		10.00
$A [cm^2]$	0.79		0.79	0.79		0.79	0.79		0.79	0.79		0.79
	0.79		0.79	0.79		0.79	0.79		0.79	0.79		0.79
#	3		3	3		3	3		3	3		2

Tabla 46 Número de estribos.

- *Columnas.*

De la misma forma, se diseñará la columna del pórtico C sobre el eje 4.

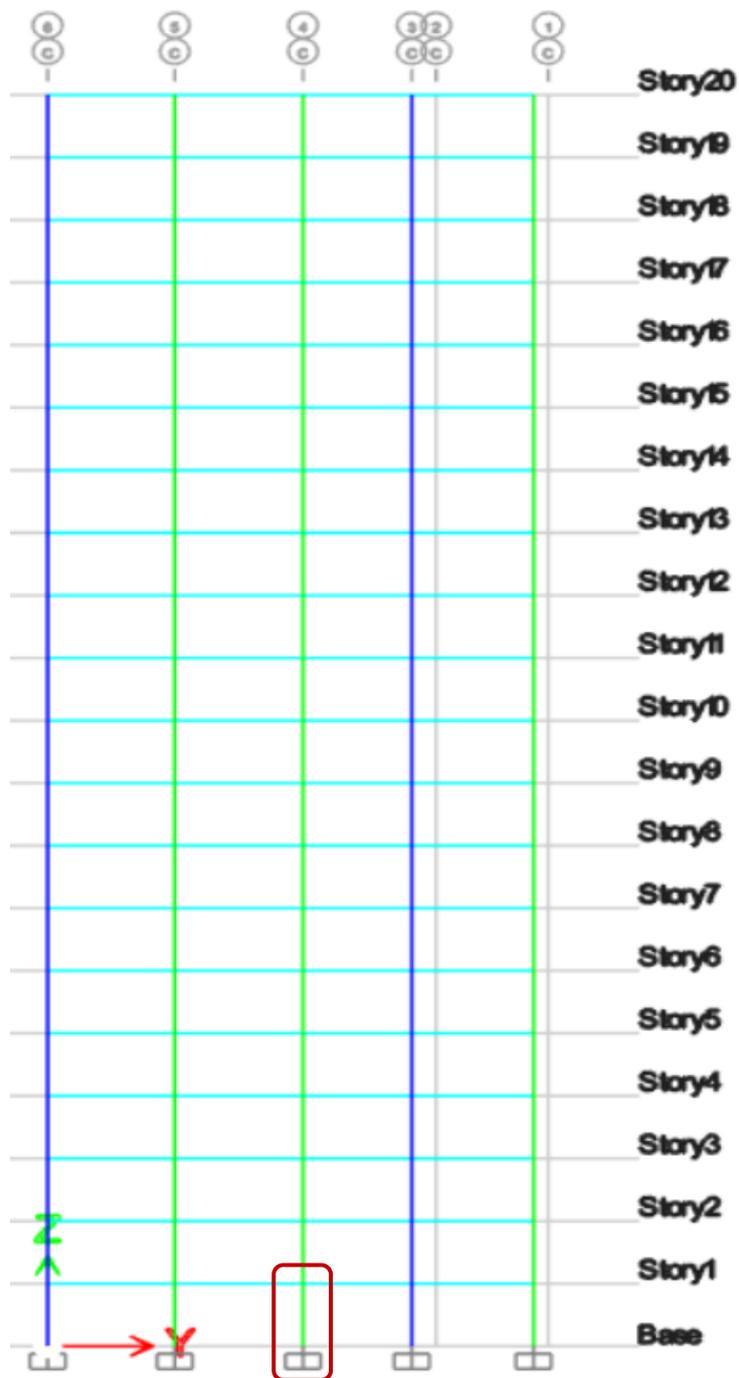


Ilustración 27 Vista en elevación, pórtico C.

Las dimensiones conforme al análisis de derivas fueron de 100cm cuadrada, con una altura de entrepiso de 3m.

Se verifica el diseño a flexo compresión con una sección propuesta. Se deberá verificar que logren soportar cargas axiales mayores a $0.1 \cdot f'c \cdot Ag$ para las combinaciones en las que exista sismo. Con el programa de análisis estructural se obtiene las fuerzas y momentos sobre la columna a analizar.

ET Restraint Reactions			
Point Object	6	Story Level	Base
	1	2	3
Force, tonf	-21.5	-19.2	682.4
Moment, tonf-m	86.3	-90.7	0.9

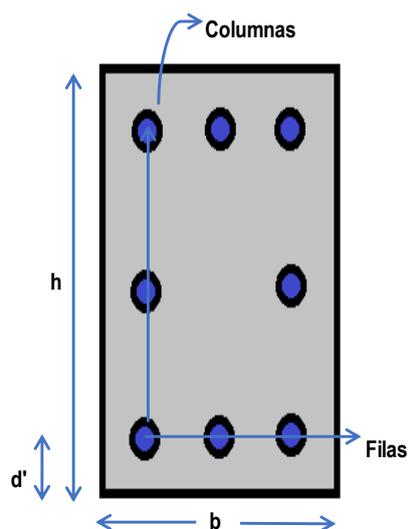


DIAGRAMA DE INTERACCION

h [cm]	100
b [cm]	100
ø [mm]	25

f _c [kg/cm ²]	280
f _y [kg/cm ²]	4200
ε _c	0.003
E [kg/cm ²]	2.10E+06

Número de Filas	5
Número de Columnas	6

N°varillas	18
d' [cm]	6
Separación Mínima	2.5
Separación Varillas Horizontales	17.60
Separación Varillas Verticales	22

$T = As \cdot fy$	
T [t]=	371.10

$Po = 0,85 \cdot f'c \cdot Ag + As \cdot fy$	
Po [t]=	2751.10

Separación Varillas
OK

Punto balanceado			
C [cm]	56.4	a [cm]	47.94

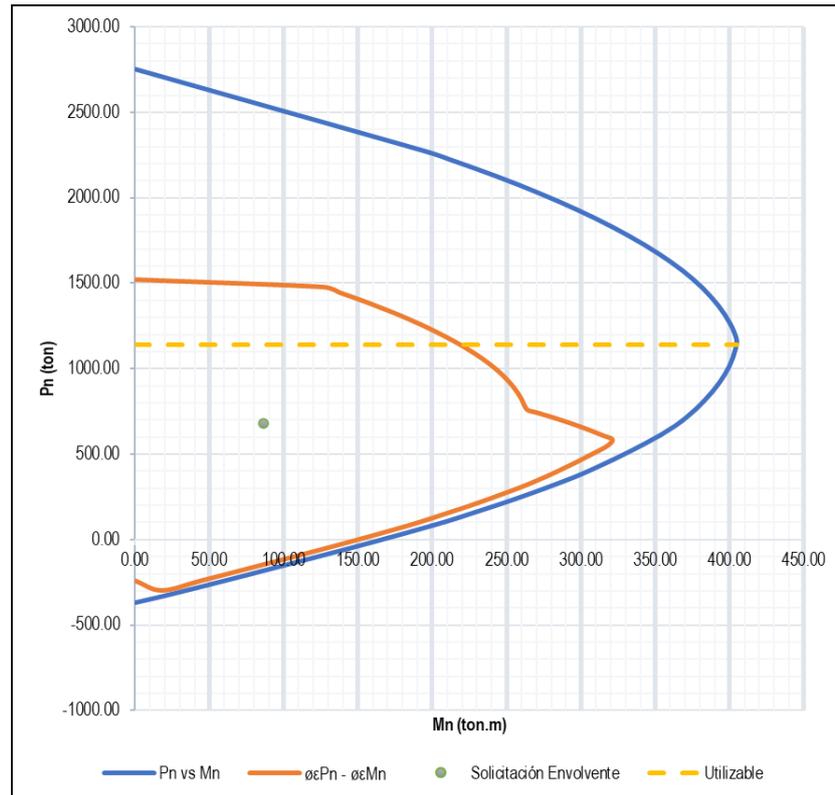


Ilustración 28 Diagrama de interacción, columna 100x100.

El cálculo de estribos viene dado acorde al sitio donde se colocarán, en la longitud l_o , se escogerá el mayor entre A_{sh} y A_v , mientras que fuera de la longitud l_o ; solo requiere estribos por corte. De esta forma, la separación de los estribos viene dado acorde a la necesidad, por ejemplo, en la longitud l_o , se requiere una menor separación.

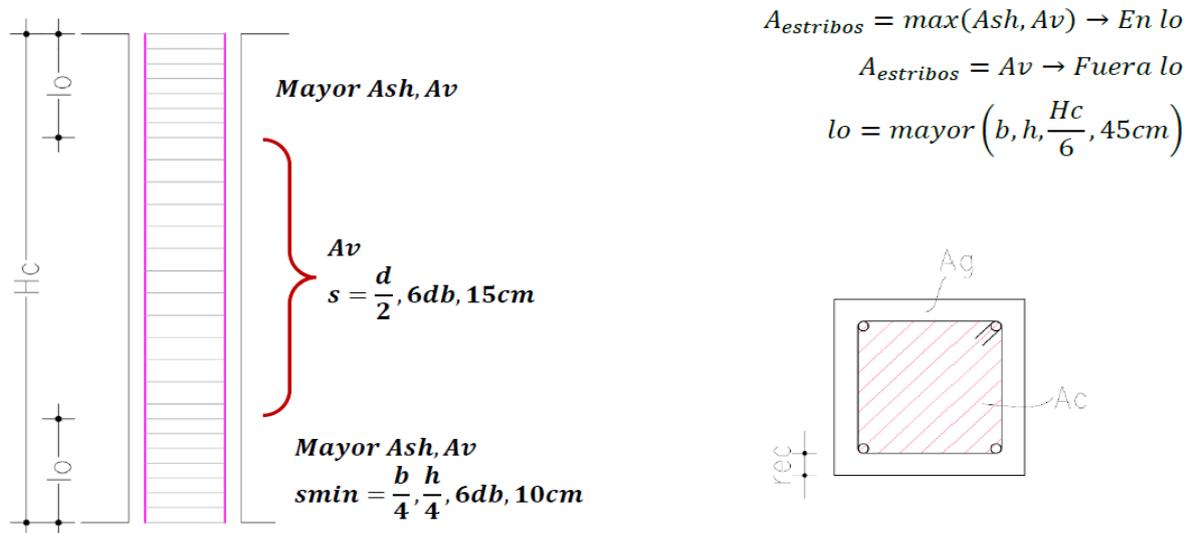


Ilustración 29 Separación de estribos de columna / Área bruta y confinada.

Acorde a la carga axial sometida, el cálculo de estribos por confinamiento debe ser verificada por tres ecuaciones.

$$\text{Si } Pu \leq 0.3 \cdot f'c \cdot Ag \rightarrow Ash = \max(Ash1, Ash2)$$

$$Ash1 = 0.3 \cdot \frac{s \cdot h'' \cdot f'c}{fy} \cdot \left(\frac{Ag}{Ac} - 1 \right)$$

$$Ash2 = 0.09 \cdot \frac{s \cdot h'' \cdot f'c}{fy}$$

$$\text{Si } Pu > 0.3 \cdot f'c \cdot Ag \rightarrow Ash = \max(Ash1, Ash2, Ash3)$$

$$Ash3 = \left(0.2 \cdot kf \cdot kn \cdot \frac{Pu}{fy \cdot Ac} \right) \cdot s \cdot h''$$

$$kf = \frac{f'c}{1750} + 0.6 \geq 1 \rightarrow \text{Factor de resistencia del concreto}$$

$$kn = \frac{nl}{nl - 2} \geq 1 \rightarrow \text{Factor de efectividad de confinamiento}$$

nl: Número de varillas sujetadas con un gancho sísmico

$$682.4 \leq 0.3 \cdot 280 \cdot 10000$$

$$682.4 \leq 0.3 \cdot 280 \cdot 10000/10^3$$

$$682.4 \text{ t} \leq 840 \text{ t}$$

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{b}{4} = \frac{100}{4} = 25\text{cm} \\ 6 \cdot db = 6 \cdot 2.5 = 15\text{cm} \\ 10\text{cm} \end{array} \right\}$$

$$Ash1 = 0.3 \cdot \frac{10 \cdot 94 \cdot 280}{4200} \cdot \left(\frac{10000}{8836} - 1 \right) = 2.48\text{cm}^2$$

$$Ash2 = 0.09 \cdot \frac{10 \cdot 94 \cdot 280}{4200} = 5.64\text{cm}^2$$

$$A_s = 5.64 \text{ cm}^2 \rightarrow 5r\phi 12@10 \text{ cm}$$

Al ser una columna cuadrada, los ramales son los mismos para los dos sentidos.

Mientras que el diseño a corte también se efectúa con base a la capacidad a flexión y se chequea con el momento balanceado.

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$V_u = \frac{2 \cdot 416.47}{2.4} = 347.06 \text{ t}$$

$$V_c = 0.53 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

$$V_c = 0.53 \cdot \sqrt{280} \cdot 100 \cdot 94 = 83.36 \text{ t}$$

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

$$V_s = \frac{347.06 - 0.75 \cdot 83.36}{0.75} = 379.38 \text{ t}$$

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{2} = \frac{94}{2} = 47 \text{ cm} \\ 6 \cdot db = 6 \cdot 2.5 = 15 \text{ cm} \\ 15 \text{ cm} \end{array} \right\}$$

$$A_v = \frac{379.38 \cdot 15}{4.2 \cdot 94} = 14.41 \text{ cm}^2$$

En este punto, es notorio que no se podría colocar esa cantidad de ramales para los estribos a corte, por lo que, el diseño de la columna no es factible.

- **Conexión viga - columna.**

Se procede a revisar el mismo nudo, que corresponde a un nudo interior. La resistencia a la flexión del nudo debe ser $\sum M_{nc} \geq \sum M_{nb}$

$\sum M_{nc}$: Sumatoria de los momentos nominales de flexión de las columnas que llegan al nudo.

$\sum M_{nb}$: Sumatoria de los momentos resistentes a flexión de las vigas que llegan al nudo.

El análisis de columna fuerte – viga débil, se calcula con la capacidad de la columna proveniente del diagrama de interacción para la menor carga axial que pueda tener la columna.

Story	Label	Output Case	FZ
Base	6	Dead	424.1
Base	6	Live	65.9
Base	6	Sx	-107.6

Tabla 47 Fuerzas en la columna.

COLUMNA FUERTE - VIGA DEBIL	
P_D [t]	424.10
P_L [t]	65.90
P_{SIS} [t]	107.60
0.9D+S	489.3
M_{nc} [tm]	333.74
$\sum M_{nc}$ [tm]	667.5

$$M_{pr1} = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{A_s \cdot f_y}{1.7 \cdot f'_c \cdot b} \right)$$

$$M_{n1} = 21.49 \cdot 4200 \cdot \left(54 - \frac{21.49 \cdot 4200}{1.7 \cdot 280 \cdot 30} \right) = 43 \text{ tm}$$

$$M_{n2} = 9.11 \cdot 4200 \cdot \left(54 - \frac{9.11 \cdot 4200}{1.7 \cdot 280 \cdot 30} \right) = 19.6 \text{ tm}$$

$$\sum M_{nb} = 62.6 \text{ tm}$$

$$M_{nc} > M_{nb} \rightarrow 667.5 > 62.6 \rightarrow Ok$$

Para el análisis de columna fuerte – nudo débil, se procede calculando los momentos probables de las vigas.

$$M_{pr1} = A_s \cdot \alpha \cdot f_y \cdot d \cdot \left(d - \frac{A_s \cdot \alpha \cdot f_y}{1.7 \cdot f'_c \cdot b} \right)$$

$$M_{pr1} = 21.49 \cdot 1.4 \cdot 4200 \cdot \left(54 - \frac{21.49 \cdot 1.4 \cdot 4200}{1.7 \cdot 280 \cdot 30} \right) = 57.05 \text{ tm}$$

$$M_{pr2} = 9.11 \cdot 1.4 \cdot 4200 \cdot \left(54 - \frac{9.11 \cdot 1.4 \cdot 4200}{1.7 \cdot 280 \cdot 30} \right) = 26.92 \text{ tm}$$

$$V_{col} = \frac{57.05 + 26.92}{2.4} = 34.99 \text{ t}$$

$$V_j = T1 + T2 - V_{col}$$

$$T1 = 21.49 \cdot 1.4 \cdot 4200 / 10^3 = 126.4 \text{ t}$$

$$T2 = 9.11 \cdot 1.4 \cdot 4200 / 10^3 = 53.6 \text{ t}$$

$$V_j = 126.4 + 53.6 - 34.99 = 145 \text{ t}$$

$$\phi V_n = \phi \cdot \gamma \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_j \cdot h_c$$

$$\text{Si } b_v \geq 0.75 \cdot b_{col} \therefore \gamma = 5.3 \text{ ó } b_v < 0.75 \cdot b_{col} \therefore \gamma = 4$$

$$0.75 \cdot b_{col} = 0.75 \cdot 100 = 75 \text{ cm}$$

$$b_v = 30 \text{ cm}$$

$$30 < 75 \rightarrow \gamma = 4$$

$$\phi V_n = 0.85 \cdot 4 \cdot \sqrt{280} \cdot 100 \cdot 100 = 569 \text{ t}$$

$$V_j < \phi V_n \rightarrow 145 \text{ t} < 569 \text{ t} \therefore Ok$$

El confinamiento, se verificará la condición de carga P_u mediante la combinación 1.2D+L+S.

CONFINAMIENTO	
P_D [t]	424.10
P_L [t]	65.90
P_{SIS} [t]	107.60
1.2D+L+S	682.4
$0.3 \cdot f'_c \cdot A_g$	840.0
CONDICIÓN	Usar Ash1, Ash2

Ramas Horizontales		Ramas Verticales	
s	15	s	15
(Ag/Ac)-1	0.20	(Ag/Ac)-1	0.20
h"	92	h"	92
Ash1 [cm ²]	5.52	Ash1 [cm ²]	5.52
Ash2 [cm ²]	8.28	Ash2 [cm ²]	8.28

Ash [cm ²]	8.28	Ash [cm ²]	8.28
NUDO INTERIOR Ash [cm ²]	8.28	NUDO INTERIOR Ash [cm ²]	4.14

Finalmente, el deterioro de la adherencia se revisa con $h_c \geq 20\phi_v$

$$100 \geq 50 \rightarrow Ok$$

- **Losa.**

Acorde a la normativa NEC – 15 y el ACI 318 – 19, se debe verificar las deflexiones máximas en losas, que varían acorde al tipo de uso de la losa.

Miembro	Condición		Deflexión considerada	Límite de deflexión
Techos planos	Que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes. Deflexión inmediata debida a L.		Deflexión inmediata debida a L_r, S y R .	1/180
Entrepisos			1/360	-
Techos o entrepisos	Soporten o están ligados a elementos no estructurales.	Susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	La parte de la deflexión total que ocurre después de que los elementos no estructurales se ligen (la suma de la deflexión a largo plazo debida a todas las cargas permanentes, y la deflexión inmediata debida a cualquier carga viva adicional.	1/480
		No susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.		1/240

Tabla 48 Deflexiones máximas en losa. (ACI 318 – 19).

La armadura mínima para losas alivianadas, exclusivo para los nervios, se calcula con la misma expresión que el caso de vigas, para el acero máximo, ya que solo se asegura una ductilidad mínima, puesto la losa no deberá resistir sismo, no se podrá armar más que con el 75% de la cuantía balanceada. Por otro lado, el cortante debe ser diseñado con un modelo de falla, tipo viga, producido a una distancia d de la cara interior de las vigas de apoyo.

$$\Delta_{max} = \frac{l}{480} = \frac{528 - 30}{480} = 1.04 \text{ cm} > 0.97 \text{ cm}$$

$$\Delta_{max} = \frac{l}{480} = \frac{738 - 30}{480} = 1.48 \text{ cm} > 1.29 \text{ cm}$$

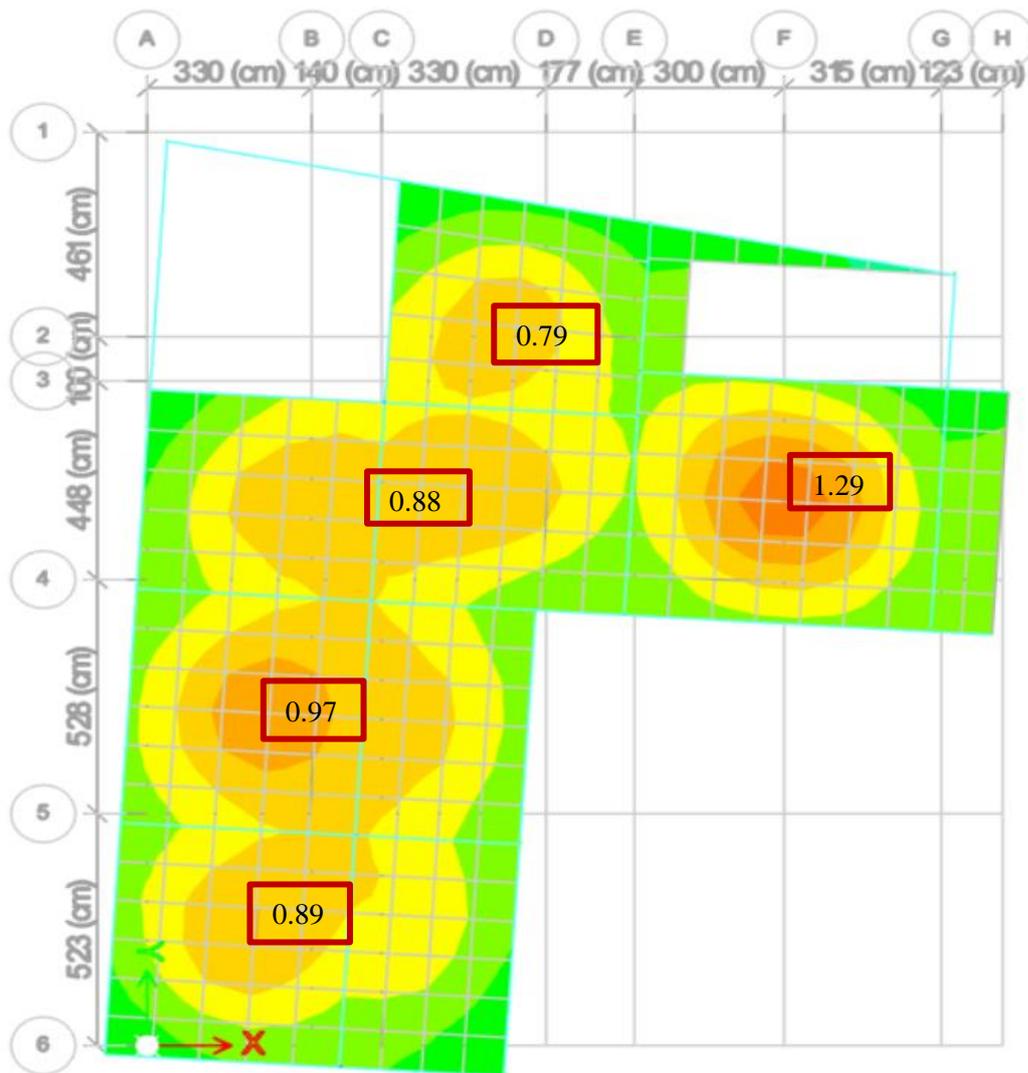


Ilustración 30 Deflexiones losa N+0.00

$$A_{s_{min}} = \frac{14}{f_y} \cdot b \cdot d = \frac{14}{4200} \cdot 20 \cdot 22 = 1.47 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s_{max}} = 0.75 \cdot \rho_{bal} \cdot b \cdot d = 0.75 \cdot 0.0243 \cdot 20 \cdot 22 = 8.02 \text{ cm}^2/\text{m}$$

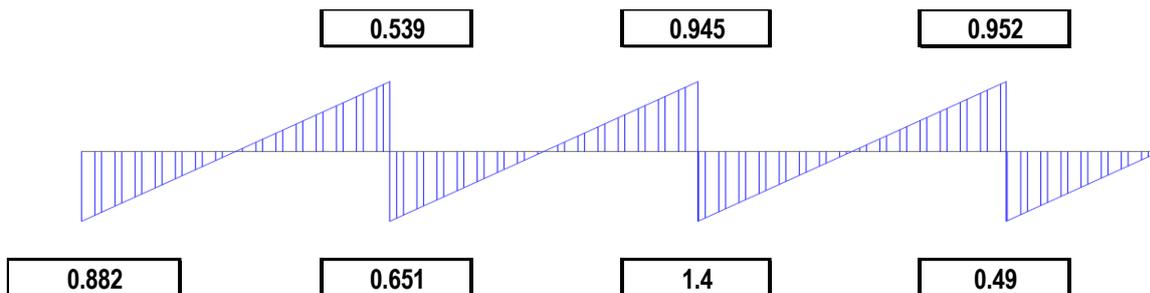


Ilustración 31 Cortante losa.

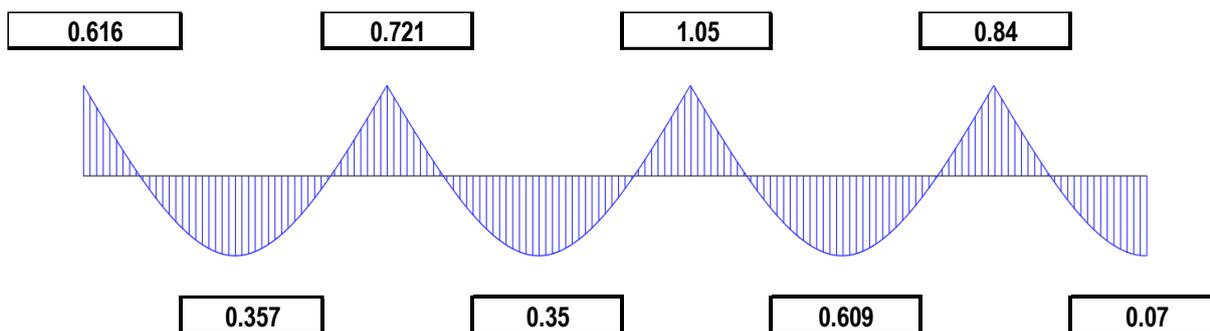


Ilustración 32 Momento losa.

As [cm ²]	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47

La losa se arma únicamente con el acero mínimo, cada nervio se armará con $1\phi 14$.

$$\phi V_c = 0.75 \cdot 0.53 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot bw \cdot d$$

$$\phi V_c = 0.75 \cdot 0.53 \cdot \sqrt{240} \cdot 10 \cdot 22 = 1.35 t$$

Para el valor de cortante de 1.4 t se necesita que el nervio sea más grande, por lo que, se podría considerar aumentar el tamaño de ese nervio y a una distancia de $1/3$ se podría volver al tamaño de 10cm.

3.6.2. Sistema dual.

- Vigas.

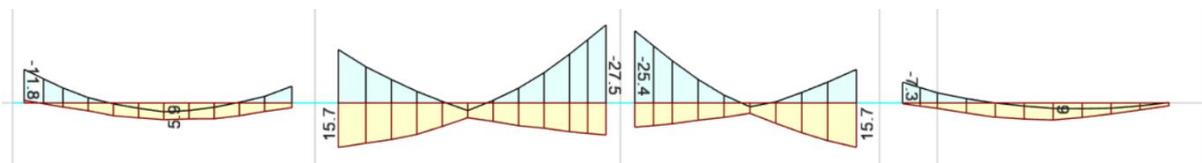


Ilustración 33 Envolvente de momento. Pórtico C.

		L [m]	5.23			5.28			4.48			5.00		
	M ^(c) [tm]	11.80	0.00	5.70	18.40	0.00	26.40	21.40	0.00	13.40	6.70	0.70	18.50	
	M ^(s) [tm]	0.00	5.90	1.60	14.90	5.30	10.80	10.60	3.90	12.50	13.80	1.50	6.80	
Calculado	As ^(c) [cm ²]	7.00	0.00	4.00	11.00	0.00	15.00	12.00	0.00	8.00	4.00	1.00	11.00	
	As ^(s) [cm ²]	0.00	4.00	1.00	9.00	3.00	6.00	6.00	3.00	7.00	8.00	1.00	4.00	
Diseño	As ^(c) [cm ²]	8.00	8.00	8.00	11.00	8.00	15.00	12.00	8.00	8.00	8.00	8.00	11.00	
	As ^(s) [cm ²]	6.00	6.00	6.00	9.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.00	8.00	6.00	6.00	

Tabla 49 Acero longitudinal calculado.

# de varillas	As superior	-	-	1φ14	1φ14	-	2φ18	2φ18	-	-	-	-	1φ14
		3φ20											
As inferior	3φ16	3φ16	3φ16	3φ16	3φ16	3φ16	3φ16	3φ16	3φ16	3φ16	3φ16	3φ16	3φ16
	-	-	2φ14	2φ14	-	-	-	-	1φ16	1φ16	-	-	-

Tabla 50 Número de varillas.

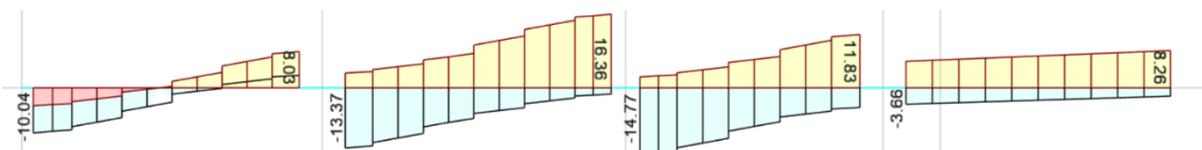


Ilustración 34 Envolvente de Cortante. Pórtico C.

Vu _{vert} ^(c) [t]	0.00	0.00	8.03	0.00	0.00	16.36	0.00	0.00	11.83	0.00	0.00	8.26
Vu _{vert} ^(s) [t]	10.04	0.00	0.00	13.37	0.00	0.00	14.77	0.00	0.00	3.66	0.00	0.00
Assupreal [cm ²]	0.00	0.00	1.54	1.54	0.00	5.09	5.09	0.00	0.00	0.00	0.00	1.54
	9.42	9.42	9.42	9.42	9.42	9.42	9.42	9.42	9.42	9.42	9.42	9.42
As infreal [cm ²]	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03
	0.00	0.00	3.08	3.08	0.00	0.00	0.00	0.00	2.01	2.01	0.00	0.00
Mpr [tm]	45.62		49.23	49.23		57.11	57.11		45.62	45.62		49.23
Mpr [tm]	37.27		44.87	44.87		37.27	37.27		42.28	42.28		37.27
Vu _{sismo} ^(c) [t]			22.25			22.05			25.26			22.88
Vu _{sismo} ^(s) [t]	21.39			20.21				28.56			20.72	
Vu ^(c) [t]			30.28			38.41			37.09			31.14
Vu ^(s) [t]	31.43			33.58			43.33			24.38		
V _{sismo} >Vu _{vert}	Vc=0		Vc=0	Vc=0		Vc=0	Vc=0		Vc=0	Vc=0		Vc=0
Vs	41.91		40.37	44.77		51.21	57.77		49.45	32.51		41.52
AV _{L=2H} [cm ²]	2.22		2.14	2.37		2.71	3.06		2.62	1.72		2.20
AV _{L>2H} [cm ²]	4.99		4.81	5.33		6.10	6.88		5.89	3.87		4.94

Tabla 51 Cálculo de estribos por capacidad.

- *Columnas.*

Restraint Reactions			
Point Object	18	Story Level	Base
	1	2	3
Force, tonf	1.92	-4.98	265.22
Moment, tonf-m	11.1	3.6	0.2

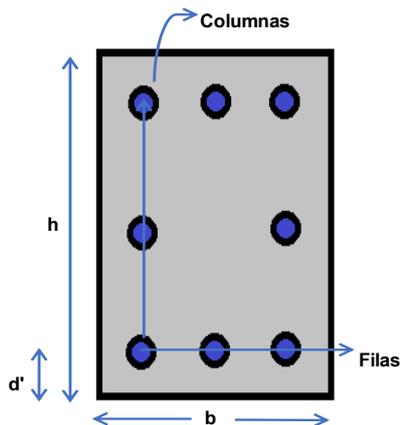


DIAGRAMA DE INTERACCION

h [cm]	80
b [cm]	50
ϕ [mm]	20

f'_c [kg/cm ²]	280
f_y [kg/cm ²]	4200
ϵ_c	0.003
E [kg/cm ²]	2.10E+06

Nºvarillas	14
d' [cm]	6
Separación Mínima	2.5
Separación Varillas Horizontales	12.67
Separación Varillas Verticales	17

Nºvarillas	14
d' [cm]	6
Separación Mínima	2.5
Separación Varillas Horizontales	12.67
Separación Varillas Verticales	17

$T = A_s \cdot f_y$	
T [t]=	184.73

$P_o = 0,85 \cdot f'_c \cdot A_g + A_s \cdot f_y$	
P_o [t]=	1136.73

Separación Varillas	
OK	

Punto balanceado			
C [cm]	44.4	a [cm]	37.74

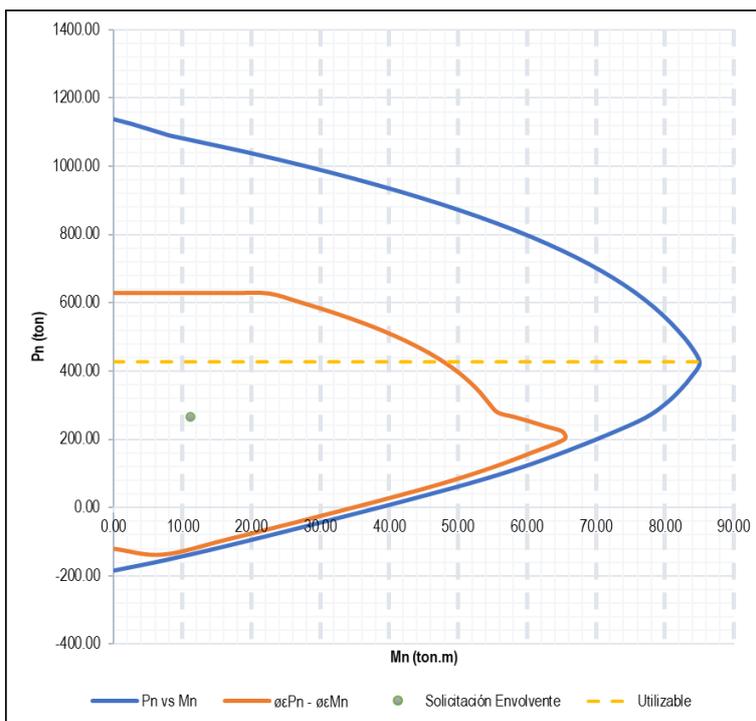


Ilustración 35 Curva de interacción, columna 50x80.

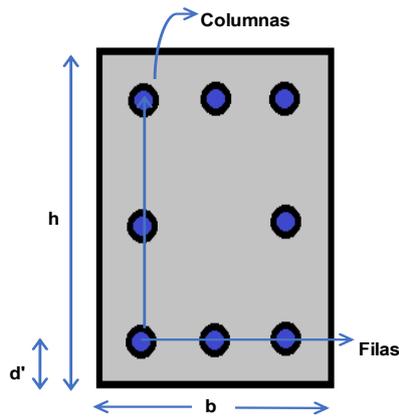


DIAGRAMA DE INTERACCION

h [cm]	50
b [cm]	80
ø [mm]	20

f'c [kg/cm2]	280
fy [kg/cm2]	4200
εc	0.003
E [kg/cm2]	2.10E+06

Número de Filas	4
Número de Columnas	5

N°varillas	14
d' [cm]	6
Separación Mínima	2.5
Separación Varillas Horizontales	17.00
Separación Varillas Verticales	12.6667

T = As*fy	
T [t]	184.73

Po = 0,85*f'c*Ag + As*fy	
Po [t]	1136.73

Separación Varillas	
OK	

Punto balanceado			
C [cm]	26.4	a [cm]	22.44

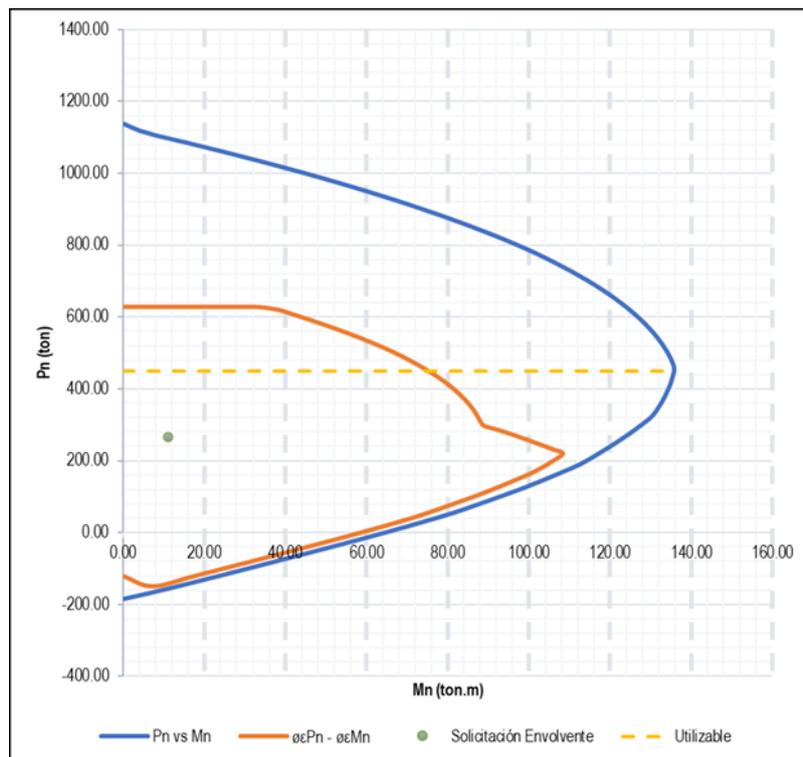


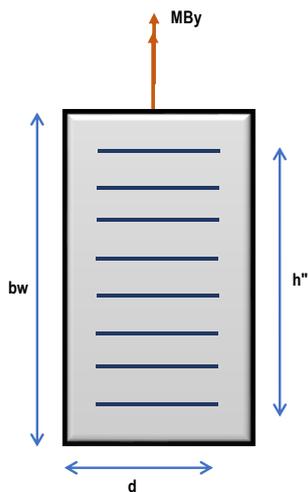
Ilustración 36 Curva de interacción, columna 80x50.

ESTRIBOS RAMALES LARGOS Y CORTOS

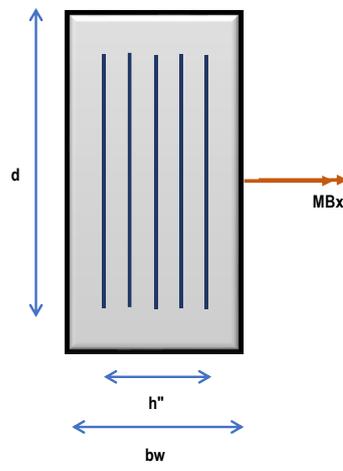
Región	Sierra
l_c [m]	2.4
P_u [t]	265.22
M_{By} [tm]	135.94
M_{Bx} [tm]	85.15
ϕ_e [mm]	12

Rec [cm]	3.00
A_{est} [cm ²]	1.13
l_o [cm]	80.00
$P_u \leq 0.3 * f_c * A_g$	336

MBy	
bw [cm]	80
h" [cm]	74
d [cm]	44
s[cm]: L>lo	12
s[cm]: L=lo	10
Ac [cm ²]	3256
Ag [cm ²]	4000
(Ag/Ac)-1	0.23
kf	1.00
nl	14
kn	1.17
CONFINAMIENTO	
Ash1 [cm ²]	3.38
Ash2 [cm ²]	4.44
Ash3 [cm ²]	3.35
Ash gobernante [cm ²]	4.44
CORTE	
Vu [t]	113.28
Vc [t]	31.22
Vs [t]	119.83
Vs<4Vc	ok
Av [cm ²]	7.78



MBx	
bw [cm]	50
h" [cm]	44
d [cm]	74
s: L>lo	12
s: L=lo	10
Ac [cm ²]	3256
Ag [cm ²]	4000
(Ag/Ac)-1	0.23
kf	1.00
nl	14
kn	1.17
CONFINAMIENTO	
Ash1 [cm ²]	2.01
Ash2 [cm ²]	2.64
Ash3 [cm ²]	1.99
Ash gobernante [cm ²]	2.64
CORTE	
Vu [t]	70.96
Vc [t]	32.81
Vs [t]	61.80
Vs<4Vc	ok
Av [cm ²]	2.39



	Ash [cm2]	4.44	@	10		Ash [cm2]	2.64	@	10
		4	ramas ϕ de	12			3	ramas ϕ de	12
	Asv [cm2]	7.78	@	12		Asv [cm2]	2.39	@	12
		7	ramas ϕ de	12			3	ramas ϕ de	12

- **Muro.**

El diseño a corte de la sección crítica para el muro que se encuentra sobre los ejes E-4, no considerará sobre resistencia a flexión ni amplificación dinámica, además, se escoge este muro para el cálculo manual puesto es el que tiene mayor sollicitación.

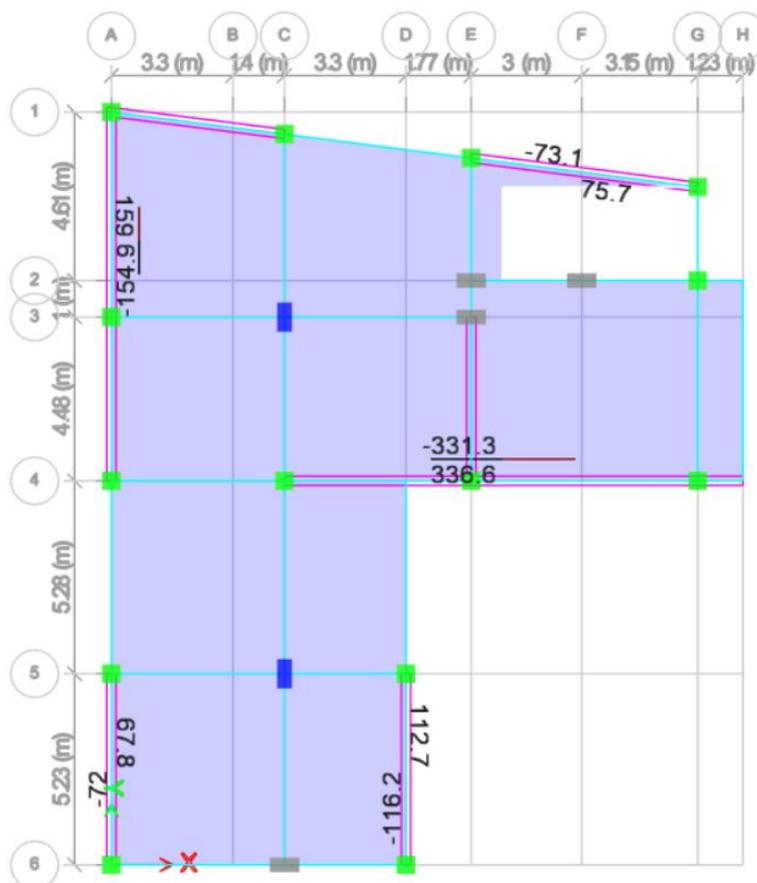


Ilustración 37 Cortante en la base del muro.

La resistencia al corte viene dada por la suma de la resistencia del hormigón más la resistencia del acero: $V_n = A_{cv} \cdot (\alpha_c \sqrt{f'c} + \rho_n \cdot fy)$.

Se llevará a cabo la revisión de cortante máximo, ya que los muros estructurales de hormigón armado no pueden superar dicho valor.

$$V_{n_{max}} = \frac{2}{3} \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'c}$$

- Pier dirección x

$$A_{cv} = l_w \cdot e$$

$$A_{cv} = 12.45 \cdot 0.25 = 3.11m^2$$

$$\phi Vn_{max} = 0.75 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3.11 \cdot \sqrt{\frac{2800}{100}} \cdot 100 = 823.49 t$$

- Pier dirección y

$$A_{cv} = l_w \cdot e$$

$$A_{cv} = 4.48 \cdot 0.25 = 1.12m^2$$

$$\phi Vn_{max} = 0.75 \cdot \frac{2}{3} \cdot 1.12 \cdot \sqrt{\frac{2800}{100}} \cdot 100 = 296.32 t$$

La cuantía horizontal requerida se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\rho_t = \frac{\frac{V_u}{\phi A_{cv}} - \alpha_c \sqrt{f'c}}{f_y}$$

- Pier dirección x

$$\alpha_c = \frac{h_w}{l_w} = \frac{32}{12.45} = 2.57 > 2$$

$$\therefore \alpha_c = 0.17$$

$$\rho_t = \frac{\frac{823.49 \cdot 10^3}{0.75 \cdot 1245 \cdot 25} - 0.17 \sqrt{2800}}{4200} = 0.0077$$

- Pier dirección y

$$\alpha_c = \frac{h_w}{l_w} = \frac{32}{4.48} = 7.14 > 2$$

$$\therefore \alpha_c = 0.17$$

$$\rho_t = \frac{\frac{296.32 \cdot 10^3}{0.75 \cdot 448 \cdot 25} - 0.17\sqrt{280}}{4200} = 0.0077$$

La cuantía mínima acorde a la NEC – 15, es 0.0025, tanto para el eje longitudinal como para el transversal.

$$\rho_{v,n} \geq 0.0025$$

Ya que la cuantía requerida por flexión es mayor a la mínima, entonces se procede a calcular el acero requerido a flexión.

$$Av = \rho_t \cdot e \cdot s$$

Los espaciamientos serán los calculados acorde a los requerimientos del ACI 318 – 19.

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} l_w/5 \\ 3h \\ 45cm \end{array} \right\}$$

No obstante, hay que considerar que, en la práctica, los espaciamientos usados varían entre 10cm y 25cm.

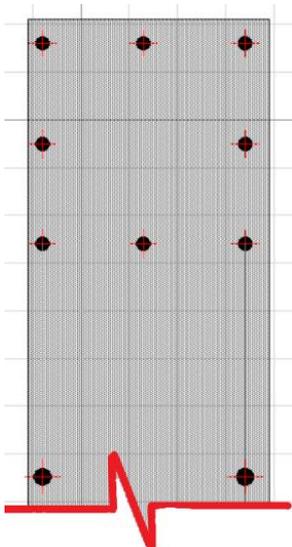
$$Av = 0.0077 \cdot 25 \cdot 25 = 4.81cm^2$$

$$\therefore 2\phi 18@25cm$$

El diseño a flexocompresión se llevan a cabo mediante el uso de los diagramas de interacción para carga axial y flexión, estos diagramas son una representación gráfica de las combinaciones de carga dispuestas por la normativa en una dirección principal.

Después de definir la sección con el armado final, se obtiene mediante el uso de ETABS la esfera de interacción, se mostrará los diagramas correspondientes a las direcciones principales y, asimismo, se muestra que la sollicitación de todas las combinaciones se encuentra dentro de la curva.

En los extremos se definió un armado tipo cabezal, el armado para el cabezal corresponde a una cuantía de alrededor del 2%.



$$A_{s_{cabezal}} = 0.02 \cdot 25 \cdot 25 = 12.5 \text{ cm}^2$$

$$\therefore 8\phi 14$$

Ilustración 38 Sección de cabezal tipo.

Se obtiene las solicitaciones de todas las combinaciones para el muro, que se encuentra en el Anexo A.

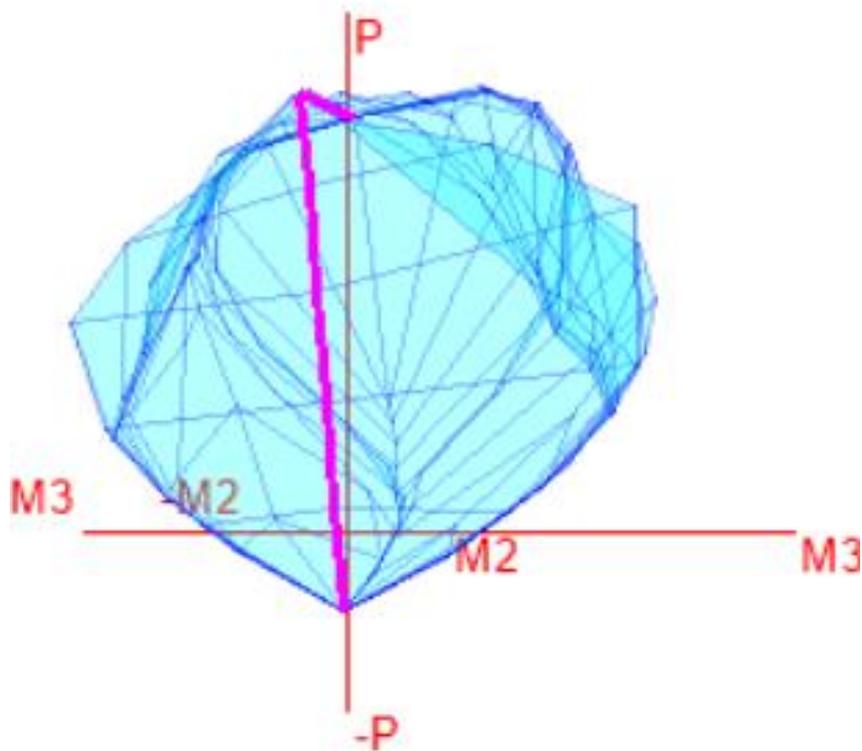


Ilustración 39 Esfera de interacción, muro no plano.

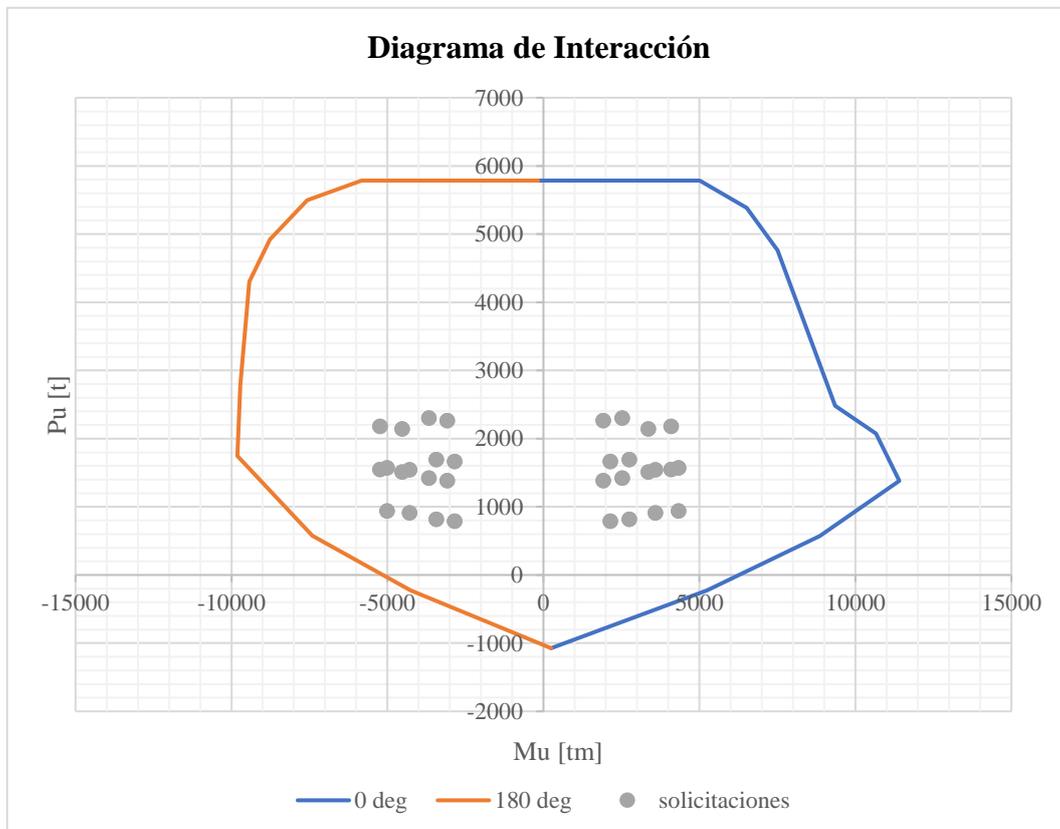
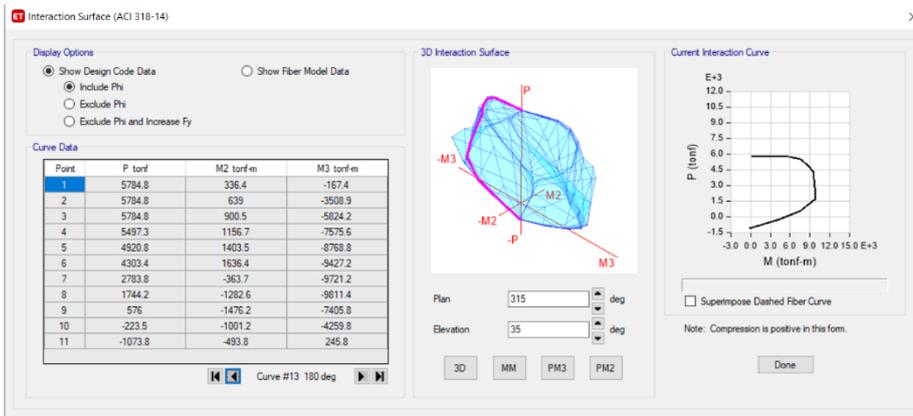
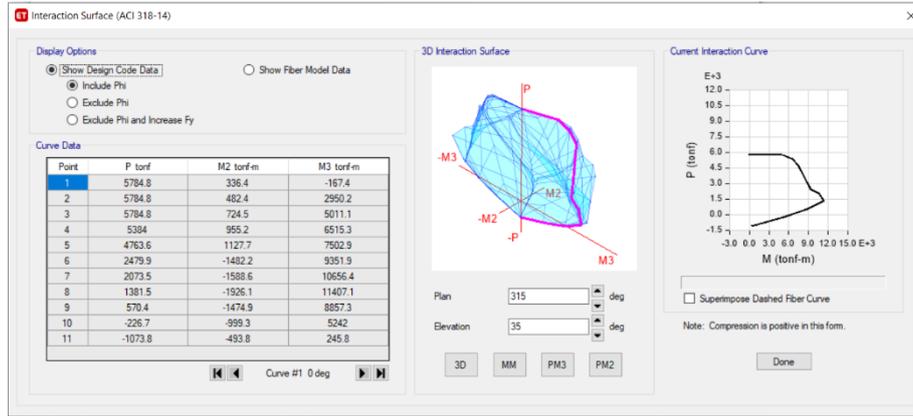


Ilustración 40 Diagrama de interacción, muro no plano. 0° & 180°.

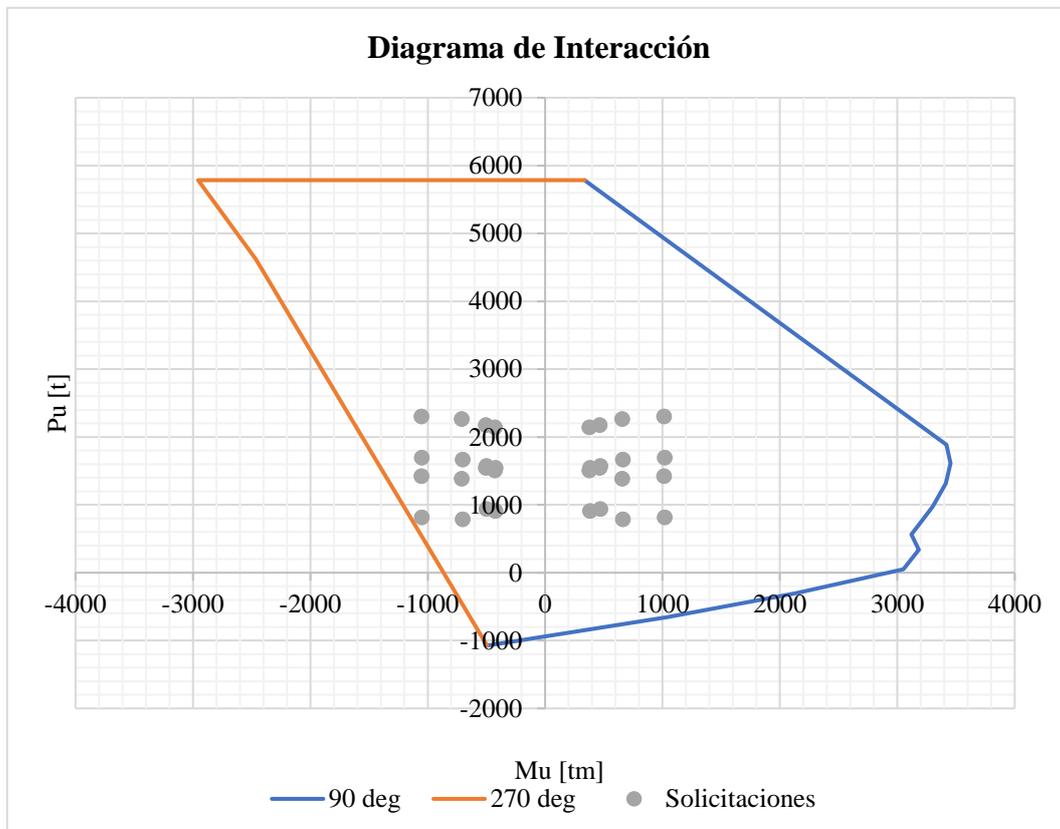
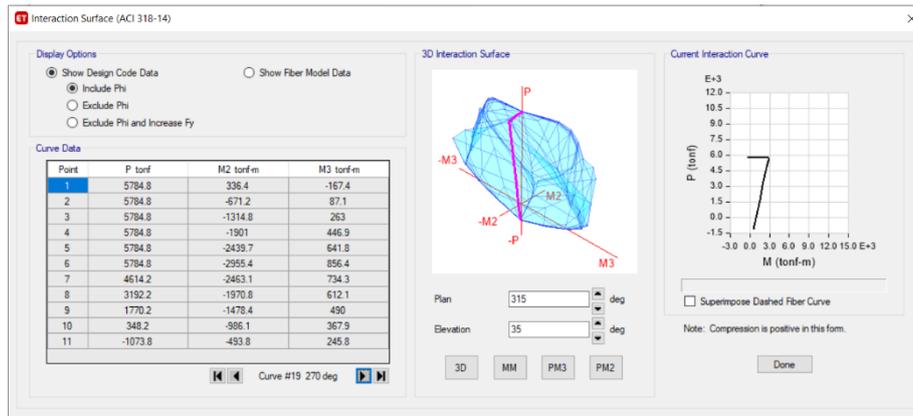
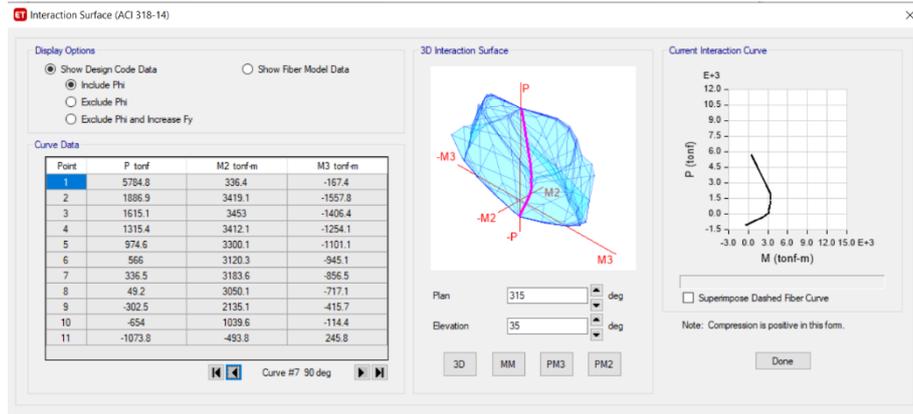


Ilustración 41 Diagrama de interacción, muro no plano. 90° & 270°.

Se observa que todas las solicitaciones se encuentran dentro del diagrama, por lo que, el espesor y el armado propuesto es suficiente para resistir todas las combinaciones de carga.

Como parte de diseño, se debe verificar la necesidad de elementos de borde, los elementos de borde también deben ser diseñados para resistir las cargas verticales y, además, las cargas verticales para resistir el momento de volteo ocasionado por la carga sísmica.

Con la siguiente expresión, se evalúa la necesidad de reforzar las zonas de compresión:

$$c \geq \frac{l_w}{600 \left(\frac{\delta_u}{h_w} \right)}$$

l_w : Longitud o segmento del muro considerado en la dirección de la fuerza cortante.

δ_u : Desplazamiento de diseño.

h_w : Altura del muro o segmento considerado.

Mediante el uso del programa computacional, se obtuvieron los desplazamientos en el centro de masa para las dos direcciones en el último piso.

Story	Diaphragm	Output Case	Case Type	UX m	UY m
Story20	D20	DX	Combination	0.517732	-0.003155
Story20	D20	DY	Combination	0.003571	0.527712

Tabla 52 Desplazamientos en el centro de masa.

$$\frac{\delta_u}{h_w} = \frac{0.5177}{60} = 0.0086$$

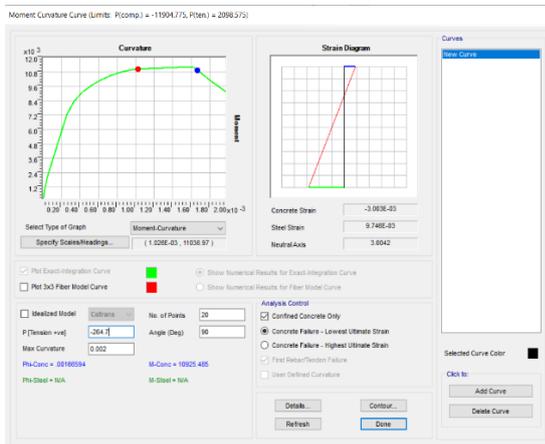
$$c_{lim x} = \frac{12.45}{600 \cdot 0.0086} = 2.40m$$

$$\frac{\delta_u}{h_w} = \frac{0.5277}{60} = 0.0088$$

$$c_{lim y} = \frac{4.48}{600 \cdot 0.0088} = 0.85m$$

Los valores reales de c se definirán con el programa SAP y su módulo de Section Designer, así se comprobará que los valores de c no superen al valor de c límite.

- Dirección x^+



$$\epsilon_{cu} = 0.003$$

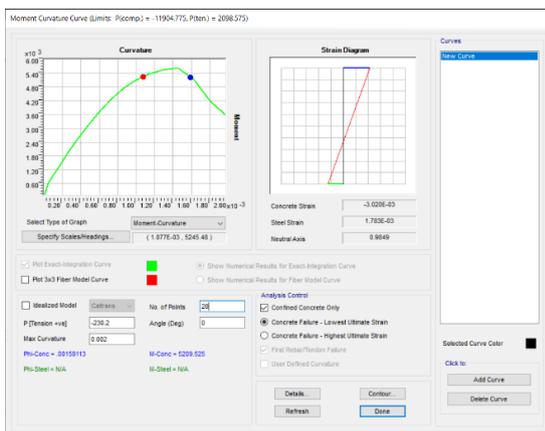
$$\epsilon_{su} = 0.0097$$

$$c_x = \frac{0.003}{0.003 + 0.0097} \cdot 12.45 = 2.93m$$

$$c_{lim\ x} < c_x$$

→ No son necesario los elementos de borde

- Dirección y^+



$$\epsilon_{cu} = 0.003$$

$$\epsilon_{su} = 0.0018$$

$$c_y = \frac{0.003}{0.003 + 0.0018} \cdot 4.48 = 2.81m$$

$$c_{lim\ y} < c_y$$

→ No son necesario los elementos de borde

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En este apartado, se expondrá los resultados obtenidos de los dos sistemas, aporticados y dual. Se mostrará las secciones obtenidas, índices de comportamiento, derivas y modos vibratorios.

4.1.Secciones Finales

Sección	Sistema Aporticado	Sistema Dual
<u>Vigas</u>	b=30cm h=60cm <i>Armado en el primer vano:</i> 3 ϕ 20+2 ϕ 16 - - - 3 ϕ 20+2 ϕ 14 <i>Estribos en el primer vano:</i> 2H: 3r ϕ 10@12cm >2H: 4r ϕ 12@25cm	b=30cm h=60cm <i>Armado en el primer vano:</i> 3 ϕ 20 - - - 3 ϕ 20+1 ϕ 14 <i>Estribos en el primer vano:</i> 2H: 3r ϕ 10@12cm >2H: 4r ϕ 12@25cm
<u>Columnas</u>	b=100cm h=100cm <i>Armado:</i> 18 ϕ 25 <i>Estribos:</i> Asv: 13r ϕ 12@15cm Ash: 5r ϕ 12@10cm	b=80cm h=50cm <i>Armado:</i> 14 ϕ 20 <i>Estribos:</i> Asv: 3r ϕ 12@12cm Ash: 3r ϕ 12@10cm
<u>Losas</u>	Alivianada 40 – 10 – 40 h=25cm	Alivianada 40 – 10 – 40 h=25cm
<u>Muro</u>	-	No plano e=25cm

4.2. Cociente altura total / Período primer modo traslacional

Acorde a los autores chilenos Tomás Guendelman, Mario Guendelman y Jorge Lindenberg y su metodología del Perfil Bio – Sísmico, se puede calificar a la estructura acorde a varios parámetros, entre ellos, el cociente de la altura total y el primer modo traslacional, este factor ha sido considerado como el mejor estimador de rigidez para una estructura, acorde a los 585 edificios reales como parte de un estudio estadístico.

$\frac{H}{T} < 20$	Estructura extremadamente flexible
$20 < \frac{H}{T} < 30$	Estructura flexible
$30 < \frac{H}{T} < 70$	Estructura con rigidez normal
$70 < \frac{H}{T} < 150$	Estructura rígida
$\frac{H}{T} > 150$	Estructura con rigidez lateral excesiva

Sistema aporricado.

$$\frac{60}{2.906} = 20.65 \rightarrow \text{Estructura flexible}$$

Sistema dual.

$$\frac{60}{1.732} = 34.64 \rightarrow \text{Estructura con rigidez normal}$$

4.3. Coeficiente de estabilidad.

Conforme a varias investigaciones experimentales, el ACI 318 – 19 menciona que la probabilidad de falla por inestabilidad crece de forma rápida cuando el índice de estabilidad Q es mayor a 0.2, sin embargo, la normativa nacional limita este valor a 0.30.

Si el coeficiente Q es superior a los admisibles significa que se trata de una estructura inestable y que además necesita rigidez.

Además, para que las fuerzas internas, momentos y derivas de la estructura no sufran de ningún incremento por efectos de segundo orden, se debe asegurar que el valor de Q_i sea menor a 0.1.

El índice de estabilidad se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_i = \frac{P_i \cdot \Delta_i}{V_i \cdot h_i}$$

En donde,

Q_i : Índice de estabilidad del piso.

P_i : Suma de la carga vertical total sin mayorar.

Δ_i : Deriva del piso i calculado en el centro de masa del piso.

V_i : Cortante sísmico del piso i .

h_i : Altura del piso i .

- *Sistema aporticado.*

Story	Output Case	Case Type	P tonf
Story20	Servicio	Combination	131.3753
Story20	Servicio	Combination	319.7273
Story19	Servicio	Combination	538.8514
Story19	Servicio	Combination	727.2034
Story18	Servicio	Combination	946.3274
Story18	Servicio	Combination	1134.6794
Story17	Servicio	Combination	1353.8034
Story17	Servicio	Combination	1542.1554
Story16	Servicio	Combination	1761.2794
Story16	Servicio	Combination	1949.6314
Story15	Servicio	Combination	2168.7554
Story15	Servicio	Combination	2357.1074
Story14	Servicio	Combination	2576.2314
Story14	Servicio	Combination	2764.5834
Story13	Servicio	Combination	2983.7074
Story13	Servicio	Combination	3172.0594
Story12	Servicio	Combination	3391.1835
Story12	Servicio	Combination	3579.5355
Story11	Servicio	Combination	3798.6595
Story11	Servicio	Combination	3987.0115
Story10	Servicio	Combination	4206.1355
Story10	Servicio	Combination	4394.4875
Story9	Servicio	Combination	4613.6115
Story9	Servicio	Combination	4801.9635
Story8	Servicio	Combination	5021.0875
Story8	Servicio	Combination	5209.4395
Story7	Servicio	Combination	5428.5635
Story7	Servicio	Combination	5616.9155
Story6	Servicio	Combination	5836.0395
Story6	Servicio	Combination	6024.3915
Story5	Servicio	Combination	6243.5156
Story5	Servicio	Combination	6431.8676
Story4	Servicio	Combination	6650.9916
Story4	Servicio	Combination	6839.3436
Story3	Servicio	Combination	7058.4676
Story3	Servicio	Combination	7246.8196
Story2	Servicio	Combination	7465.9436
Story2	Servicio	Combination	7654.2956
Story1	Servicio	Combination	7868.0794
Story1	Servicio	Combination	8056.4314

Tabla 54 Fuerza de servicio por piso. Sistema aporticado.

Story	Output Case	VX tonf	VY tonf
Story20	Sx´	29.6033	0.9586
Story20	Sy´	0.9688	30.3652
Story19	Sx´	70.4877	2.1753
Story19	Sy´	2.19	72.4509
Story18	Sx´	100.9894	2.9263
Story18	Sy´	2.9329	104.0015
Story17	Sx´	122.999	3.2611
Story17	Sy´	3.2492	126.9028
Story16	Sx´	139.2942	3.2914
Story16	Sy´	3.2557	143.9412
Story15	Sx´	152.3508	3.1674
Story15	Sy´	3.1112	157.6097
Story14	Sx´	163.4378	3.0256
Story14	Sy´	2.9628	169.2006
Story13	Sx´	172.8645	2.9366
Story13	Sy´	2.887	179.0496
Story12	Sx´	180.9494	2.8964
Story12	Sy´	2.8765	187.5011
Story11	Sx´	188.5457	2.8671
Story11	Sy´	2.8844	195.4333
Story10	Sx´	196.6303	2.8154
Story10	Sy´	2.8684	203.846
Story9	Sx´	205.6005	2.7297
Story9	Sy´	2.8104	213.1547
Story8	Sx´	215.2332	2.6434
Story8	Sy´	2.7397	223.142
Story7	Sx´	225.3239	2.6624
Story7	Sy´	2.7619	233.5946
Story6	Sx´	236.0777	2.921
Story6	Sy´	3.0158	244.6991
Story5	Sx´	247.6186	3.4351
Story5	Sy´	3.5265	256.5589
Story4	Sx´	259.1363	4.06
Story4	Sy´	4.1534	268.3466
Story3	Sx´	268.7995	4.6075
Story3	Sy´	4.7053	278.2136
Story2	Sx´	274.8101	4.9486
Story2	Sy´	5.0495	284.3469
Story1	Sx´	276.808	5.0622
Story1	Sy´	5.1635	286.3871

Tabla 53 Cortante por sismo. Sistema aporticado.

Story	Label	Output Case	Drift X	Drift Y
Story20	6	Sx'	0.001364	0.000047
Story20	6	Sy'	0.000039	0.001341
Story19	6	Sx'	0.001504	0.000051
Story19	6	Sy'	0.000041	0.001487
Story18	6	Sx'	0.001682	0.000057
Story18	6	Sy'	0.000043	0.001672
Story17	6	Sx'	0.001865	0.000061
Story17	6	Sy'	0.000044	0.001863
Story16	6	Sx'	0.002038	0.000064
Story16	6	Sy'	0.000044	0.002045
Story15	6	Sx'	0.002195	0.000066
Story15	6	Sy'	0.000042	0.00221
Story14	6	Sx'	0.002335	0.000068
Story14	6	Sy'	0.00004	0.002359
Story13	6	Sx'	0.002458	0.00007
Story13	6	Sy'	0.000038	0.00249
Story12	6	Sx'	0.002566	0.000072
Story12	6	Sy'	0.000036	0.002606
Story11	6	Sx'	0.00266	0.000074
Story11	6	Sy'	0.000034	0.002709
Story10	6	Sx'	0.002741	0.000077
Story10	6	Sy'	0.000032	0.002798
Story9	6	Sx'	0.002807	0.000081
Story9	6	Sy'	0.000031	0.00287
Story8	6	Sx'	0.002851	0.000085
Story8	6	Sy'	0.000031	0.00292
Story7	6	Sx'	0.002864	0.000088
Story7	6	Sy'	0.000032	0.002937
Story6	6	Sx'	0.002828	0.000091
Story6	6	Sy'	0.000034	0.002904
Story5	6	Sx'	0.002721	0.000091
Story5	6	Sy'	0.000036	0.002796
Story4	6	Sx'	0.002508	0.000087
Story4	6	Sy'	0.000037	0.002578
Story3	6	Sx'	0.002141	0.000076
Story3	6	Sy'	0.000035	0.0022
Story2	6	Sx'	0.001553	0.000055
Story2	6	Sy'	0.000028	0.001595
Story1	6	Sx'	0.000657	0.000021
Story1	6	Sy'	0.000013	0.000668

Tabla 55 Derivas por piso. Sistema aporticado.

Story	Output Case	Max=0.071 Qi (x)
Story20	Sx'	0.0061
Story20	Sy'	0.0141
Story19	Sx'	0.0115
Story19	Sy'	0.0149
Story18	Sx'	0.0158
Story18	Sy'	0.0182
Story17	Sx'	0.0205
Story17	Sy'	0.0226
Story16	Sx'	0.0258
Story16	Sy'	0.0277
Story15	Sx'	0.0312
Story15	Sy'	0.0331
Story14	Sx'	0.0368
Story14	Sy'	0.0385
Story13	Sx'	0.0424
Story13	Sy'	0.0441
Story12	Sx'	0.0481
Story12	Sy'	0.0498
Story11	Sx'	0.0536
Story11	Sy'	0.0553
Story10	Sx'	0.0586
Story10	Sy'	0.0603
Story9	Sx'	0.0630
Story9	Sy'	0.0647
Story8	Sx'	0.0665
Story8	Sy'	0.0682
Story7	Sx'	0.0690
Story7	Sy'	0.0706
Story6	Sx'	0.0699
Story6	Sy'	0.0715
Story5	Sx'	0.0686
Story5	Sy'	0.0701
Story4	Sx'	0.0644
Story4	Sy'	0.0657
Story3	Sx'	0.0562
Story3	Sy'	0.0573
Story2	Sx'	0.0422
Story2	Sy'	0.0429
Story1	Sx'	0.0187
Story1	Sy'	0.0188

Tabla 56 Coeficiente de estabilidad, Qi, por piso. Sistema aporticado.

- *Sistema dual.*

Story	Output Case	Case Type	P tonf
Story20	Servicio	Combination	150.6
Story20	Servicio	Combination	276.8
Story19	Servicio	Combination	526.3
Story19	Servicio	Combination	652.5
Story18	Servicio	Combination	902
Story18	Servicio	Combination	1028.3
Story17	Servicio	Combination	1277.7
Story17	Servicio	Combination	1404
Story16	Servicio	Combination	1653.4
Story16	Servicio	Combination	1779.7
Story15	Servicio	Combination	2029.1
Story15	Servicio	Combination	2155.4
Story14	Servicio	Combination	2404.8
Story14	Servicio	Combination	2531.1
Story13	Servicio	Combination	2780.5
Story13	Servicio	Combination	2906.8
Story12	Servicio	Combination	3156.2
Story12	Servicio	Combination	3282.5
Story11	Servicio	Combination	3532
Story11	Servicio	Combination	3658.2
Story10	Servicio	Combination	3907.7
Story10	Servicio	Combination	4034
Story9	Servicio	Combination	4283.4
Story9	Servicio	Combination	4409.7
Story8	Servicio	Combination	4659.1
Story8	Servicio	Combination	4785.4
Story7	Servicio	Combination	5034.8
Story7	Servicio	Combination	5161.1
Story6	Servicio	Combination	5410.5
Story6	Servicio	Combination	5536.8
Story5	Servicio	Combination	5786.2
Story5	Servicio	Combination	5912.5
Story4	Servicio	Combination	6161.9
Story4	Servicio	Combination	6288.2
Story3	Servicio	Combination	6537.7
Story3	Servicio	Combination	6663.9
Story2	Servicio	Combination	6913.4
Story2	Servicio	Combination	7039.7
Story1	Servicio	Combination	7283.1
Story1	Servicio	Combination	7409.3

Tabla 58 Fuerza de servicio por piso. Sistema dual.

Story	Output Case	VX tonf	VY tonf
Story20	Sx'	32.5	20.3
Story20	Sy'	26	33.5
Story19	Sx'	79	47
Story19	Sy'	60.8	82.2
Story18	Sx'	117.4	66.5
Story18	Sy'	86.5	123
Story17	Sx'	148.4	80.1
Story17	Sy'	105.1	156.8
Story16	Sx'	173.5	90
Story16	Sy'	119.1	184.7
Story15	Sx'	194.1	97.6
Story15	Sy'	130.3	207.9
Story14	Sx'	211.7	104
Story14	Sy'	139.6	227.9
Story13	Sx'	227.6	109.6
Story13	Sy'	147.4	245.8
Story12	Sx'	242.4	114.9
Story12	Sy'	154.4	262.5
Story11	Sx'	256.9	120.3
Story11	Sy'	161.5	278.4
Story10	Sx'	271.4	126.3
Story10	Sy'	169.6	293.9
Story9	Sx'	286	133.1
Story9	Sy'	178.9	309.4
Story8	Sx'	300.7	140.7
Story8	Sy'	189.1	324.7
Story7	Sx'	315.1	148.8
Story7	Sy'	199.8	339.9
Story6	Sx'	328.9	157.1
Story6	Sy'	210.7	354.4
Story5	Sx'	341.8	165.3
Story5	Sy'	221.5	368
Story4	Sx'	353.4	172.6
Story4	Sy'	231.7	380.5
Story3	Sx'	363.2	178.5
Story3	Sy'	240.2	391.3
Story2	Sx'	370.6	182.5
Story2	Sy'	246.5	399.5
Story1	Sx'	374	184.1
Story1	Sy'	249.3	403.1

Tabla 57 Cortante por sismo. Sistema dual.

Story	Label	Output Case	Drift X	Drift Y
Story20	6	Sx'	0.001097	0.000579
Story20	6	Sy'	0.000785	0.00105
Story19	6	Sx'	0.001119	0.000588
Story19	6	Sy'	0.000805	0.001071
Story18	6	Sx'	0.001135	0.000597
Story18	6	Sy'	0.00082	0.001092
Story17	6	Sx'	0.001152	0.000605
Story17	6	Sy'	0.000836	0.001113
Story16	6	Sx'	0.001165	0.000611
Story16	6	Sy'	0.000848	0.001132
Story15	6	Sx'	0.001174	0.000615
Story15	6	Sy'	0.000857	0.001147
Story14	6	Sx'	0.001178	0.000616
Story14	6	Sy'	0.000862	0.001157
Story13	6	Sx'	0.001175	0.000613
Story13	6	Sy'	0.000862	0.001161
Story12	6	Sx'	0.001164	0.000607
Story12	6	Sy'	0.000857	0.001157
Story11	6	Sx'	0.001146	0.000597
Story11	6	Sy'	0.000846	0.001144
Story10	6	Sx'	0.001119	0.000582
Story10	6	Sy'	0.00083	0.001123
Story9	6	Sx'	0.001081	0.000562
Story9	6	Sy'	0.000806	0.001091
Story8	6	Sx'	0.001033	0.000537
Story8	6	Sy'	0.000776	0.001047
Story7	6	Sx'	0.000974	0.000505
Story7	6	Sy'	0.000737	0.000991
Story6	6	Sx'	0.000902	0.000467
Story6	6	Sy'	0.000689	0.000921
Story5	6	Sx'	0.000815	0.000421
Story5	6	Sy'	0.000629	0.000834
Story4	6	Sx'	0.000714	0.000366
Story4	6	Sy'	0.000558	0.00073
Story3	6	Sx'	0.000599	0.000301
Story3	6	Sy'	0.000474	0.000605
Story2	6	Sx'	0.000488	0.000232
Story2	6	Sy'	0.000402	0.000474
Story1	6	Sx'	0.000262	0.000114
Story1	6	Sy'	0.00023	0.00024

Tabla 59 Derivas por piso. Sistema dual.

Story	Output Case	Max=0.016 Qi
Story20	Sx'	0.0051
Story20	Sy'	0.0087
Story19	Sx'	0.0075
Story19	Sy'	0.0085
Story18	Sx'	0.0087
Story18	Sy'	0.0091
Story17	Sx'	0.0099
Story17	Sy'	0.0100
Story16	Sx'	0.0111
Story16	Sy'	0.0109
Story15	Sx'	0.0123
Story15	Sy'	0.0119
Story14	Sx'	0.0134
Story14	Sy'	0.0128
Story13	Sx'	0.0144
Story13	Sy'	0.0137
Story12	Sx'	0.0152
Story12	Sy'	0.0145
Story11	Sx'	0.0158
Story11	Sy'	0.0150
Story10	Sx'	0.0161
Story10	Sy'	0.0154
Story9	Sx'	0.0162
Story9	Sy'	0.0155
Story8	Sx'	0.0160
Story8	Sy'	0.0154
Story7	Sx'	0.0156
Story7	Sy'	0.0150
Story6	Sx'	0.0148
Story6	Sy'	0.0144
Story5	Sx'	0.0138
Story5	Sy'	0.0134
Story4	Sx'	0.0124
Story4	Sy'	0.0121
Story3	Sx'	0.0108
Story3	Sy'	0.0103
Story2	Sx'	0.0091
Story2	Sy'	0.0084
Story1	Sx'	0.0051
Story1	Sy'	0.0044

Tabla 60 Coeficiente de estabilidad, Qi, por piso. Sistema dual.

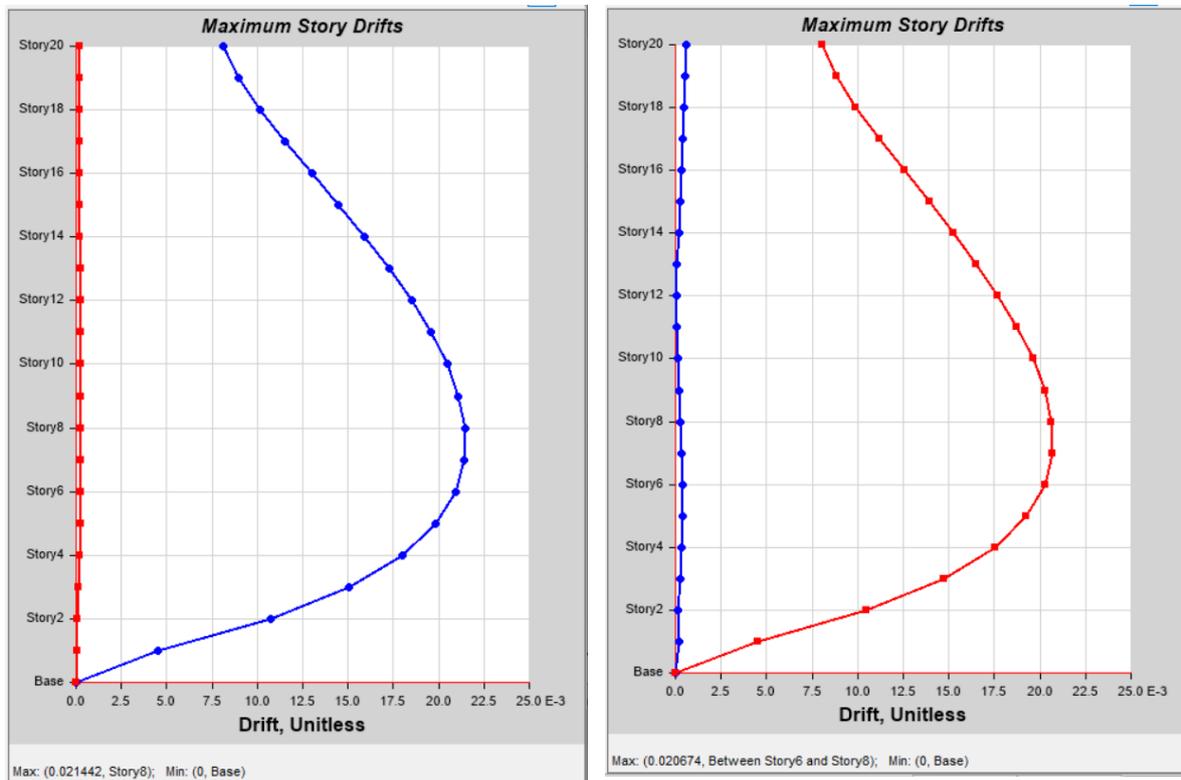
4.4. Derivas de Entrepiso.

- Sistema aporticado.

Para el sistema aporticado, las derivas tanto para la dirección x como para la dirección y, son el 2.1% y 2% respectivamente. Por lo que, las secciones propuestas son las adecuadas si el sistema seleccionado sería aporticado.

Story	Output Case	Case Type	Direction	Drift
Story8	DX	Combination	X	0.021442
Story8	DY	Combination	Y	0.020647

Tabla 61 Derivas de entrepiso. Sistema aporticado.



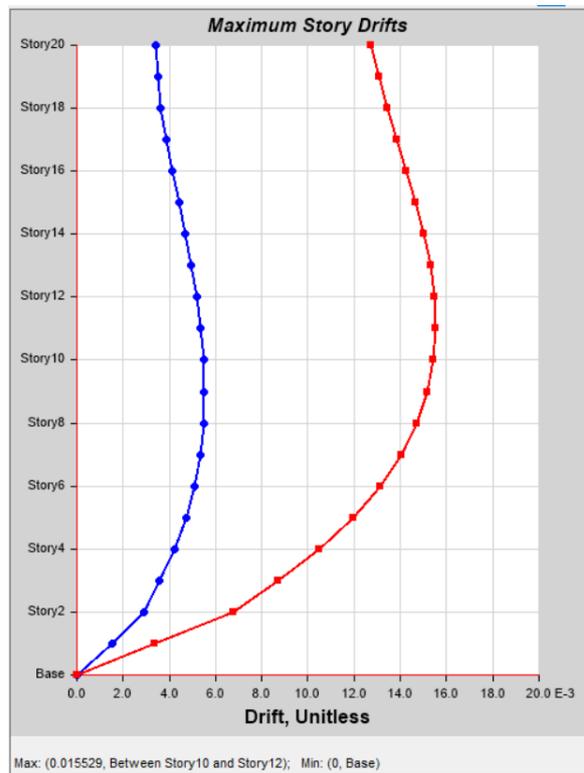
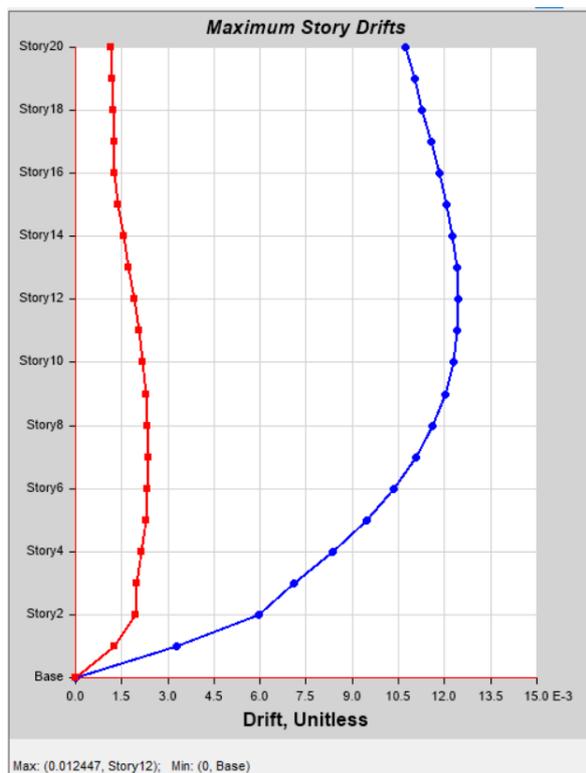
Se puede notar que la deriva máxima se encuentra en el octavo piso, cerca de la mitad de la altura total del edificio.

- *Sistema dual.*

Por otro lado, el sistema dual tiene derivas del 1.2% y 1.5% para la dirección x y para la dirección y, respectivamente.

Story	Output Case	Case Type	Direction	Drift
Story12	DX	Combination	X	0.012447
Story12	DY	Combination	Y	0.015477

Tabla 62 Derivas de entrepiso. Sistema dual.



4.5. Deriva global de techo D_u/H .

La deriva global se define como la relación entre la deriva máxima de piso y la deriva máxima de techo, dependientes de las cargas laterales utilizadas. Acorde a un estudio estadístico, esta relación debe mantenerse entre 1.2 y 2.0, correspondientes a edificios con muros estructurales y edificios aporricados (Lagos, et al., 2017).

- *Sistema aporticado.*

Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Ux m	Uy m
Story20	6	128	Sx'	Combination	Max	0.124074	0.003299
Story20	6	128	Sy'	Combination	Max	0.00143	0.126042

Tabla 63 Desplazamientos por sismo, piso 20. Sistema aporticado.

$$\frac{\delta_{ux} \cdot 0.75 \cdot R}{H_o} = \frac{0.124 \cdot 0.75 \cdot 8}{60} = 0.0124$$

$$\frac{\delta_{uy} \cdot 0.75 \cdot R}{H_o} = \frac{0.126 \cdot 0.75 \cdot 8}{60} = 0.0126$$

Story	Label	Output Case	Drift X	Drift Y
Story20	6	DX	0.008114	0.000154
Story20	6	DY	0.00014	0.007544
Story19	6	DX	0.008947	0.000146
Story19	6	DY	0.000135	0.008371
Story18	6	DX	0.010112	0.000132
Story18	6	DY	0.000125	0.009527
Story17	6	DX	0.011464	0.000113
Story17	6	DY	0.000113	0.01087
Story16	6	DX	0.012902	0.00009
Story16	6	DY	0.000099	0.012298
Story15	6	DX	0.01435	0.000063
Story15	6	DY	0.000082	0.013739
Story14	6	DX	0.015754	0.000035
Story14	6	DY	0.000065	0.015138
Story13	6	DX	0.017071	0.000006
Story13	6	DY	0.000047	0.016454
Story12	6	DX	0.018264	0.000023
Story12	6	DY	0.000028	0.01765
Story11	6	DX	0.019302	0.000051
Story11	6	DY	0.00001	0.018694
Story10	6	DX	0.020149	0.000078
Story10	6	DY	0.000008	0.01955
Story9	6	DX	0.020766	0.000101
Story9	6	DY	0.000024	0.020179
Story8	6	DX	0.0211	0.00012
Story8	6	DY	0.000039	0.020531
Story7	6	DX	0.021085	0.000132
Story7	6	DY	0.000052	0.020538
Story6	6	DX	0.020627	0.000137
Story6	6	DY	0.000061	0.020109
Story5	6	DX	0.019594	0.000132
Story5	6	DY	0.000065	0.019115

Story4	6	DX	0.017797	0.000115
Story4	6	DY	0.000064	0.017372
Story3	6	DX	0.014966	0.000087
Story3	6	DY	0.000057	0.014616
Story2	6	DX	0.010716	0.000049
Story2	6	DY	0.000046	0.010461
Story1	6	DX	0.00448	0.00001
Story1	6	DY	0.000033	0.004347
MAX=			0.0211	0.0205

Tabla 64 Derivas elásticas por piso. Sistema aporticado.

$$\text{Sentido X: } \frac{\frac{\delta_i}{h_i}}{\frac{\delta_u}{H_o}} = \frac{0.0211}{0.0124} = 1.70$$

$$1.2 < 1.7 < 2.0 \therefore OK$$

$$\text{Sentido Y: } \frac{\frac{\delta_i}{h_i}}{\frac{\delta_u}{H_o}} = \frac{0.0205}{0.0126} = 1.63$$

$$1.2 < 1.63 < 2.0 \therefore OK$$

- *Sistema dual.*

Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Ux m	Uy m
Story20	6	128	Sx'	Combination	Max	0.057972	0.029881
Story20	6	128	Sy'	Combination	Max	0.042578	0.057165

Tabla 65 Desplazamientos por sismo, piso 20. Sistema dual.

$$\frac{\delta_{ux} \cdot 0.75 \cdot R}{H_o} = \frac{0.058 \cdot 0.75 \cdot 8}{60} = 0.0058$$

$$\frac{\delta_{uy} \cdot 0.75 \cdot R}{H_o} = \frac{0.057 \cdot 0.75 \cdot 8}{60} = 0.0057$$

Story	Label	Output Case	Drift X	Drift Y
Story20	6	DX	0.00924	0.000615
Story20	6	DY	0.000136	0.008336
Story19	6	DX	0.009414	0.000594
Story19	6	DY	7.7E-05	0.008489
Story18	6	DX	0.009557	0.000573
Story18	6	DY	2.4E-05	0.008644
Story17	6	DX	0.009711	0.000545
Story17	6	DY	4E-05	0.008815
Story16	6	DX	0.009849	0.000513
Story16	6	DY	0.000111	0.008979
Story15	6	DX	0.009962	0.000477
Story15	6	DY	0.000185	0.009122
Story14	6	DX	0.010035	0.000438
Story14	6	DY	0.00026	0.00923
Story13	6	DX	0.010057	0.000396
Story13	6	DY	0.000334	0.00929
Story12	6	DX	0.010017	0.000352
Story12	6	DY	0.000405	0.009292
Story11	6	DX	0.009904	0.000307
Story11	6	DY	0.000471	0.009222
Story10	6	DX	0.009708	0.000261
Story10	6	DY	0.00053	0.009072
Story9	6	DX	0.009418	0.000214
Story9	6	DY	0.00058	0.008829
Story8	6	DX	0.009027	0.000167
Story8	6	DY	0.000618	0.008485
Story7	6	DX	0.008524	0.000121
Story7	6	DY	0.000642	0.008028
Story6	6	DX	0.0079	7.6E-05
Story6	6	DY	0.000651	0.007448
Story5	6	DX	0.007145	3.4E-05
Story5	6	DY	0.000639	0.006732
Story4	6	DX	0.006248	5E-06
Story4	6	DY	0.000604	0.005867
Story3	6	DX	0.005225	4.2E-05
Story3	6	DY	0.000539	0.004843
Story2	6	DX	0.004214	0.000104
Story2	6	DY	0.000531	0.003762
Story1	6	DX	0.002219	0.000104
Story1	6	DY	0.000365	0.00187
		MAX=	0.0101	0.0093

Tabla 66 Derivas elásticas por piso. Sistema dual.

$$\text{Sentido X: } \frac{\delta_i}{\frac{\delta_u}{H_o}} = \frac{0.0101}{0.0058} = 1.74$$

$$1.2 < 1.74 < 2.0 \therefore OK$$

$$\text{Sentido Y: } \frac{\delta_i}{\frac{\delta_u}{H_o}} = \frac{0.0093}{0.0057} = 1.63$$

$$1.2 < 1.63 < 2.0 \therefore OK$$

4.6.Modos vibratorios.

- *Sistema aporticado.*

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	2.906	0.7391	0.001	0.0002
Modal	2	2.86	0.0009	0.7404	0.0001
Modal	3	2.018	0.0003	0.0001	0.7615

Tabla 67 Modos de vibración. Sistema aporticado.

- *Sistema dual.*

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	1.723	0.0949	0.351	0.2567
Modal	2	1.454	0.5342	0.1404	3.82E-05
Modal	3	1.009	0.0489	0.1879	0.443

Tabla 68 Modos de vibración. Sistema dual.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Luego de la modelación virtual de los dos sistemas, aporticado y dual, se definieron las dimensiones de las secciones finales con las que, las derivas de entrepiso no superaron las derivas admisibles acorde a la normativa nacional, posteriormente, se llevó a cabo el diseño de los elementos estructurales, en donde se notó que el sistema aporticado no puede ser diseñado de manera óptima. Finalmente, se realizan revisiones acorde al comportamiento estructural de los sistemas.

- Se debe considerar que existe una gran probabilidad de que se presente un evento sísmico significativo en Quito, y es aún más importante puesto que, en las últimas décadas se ha incrementado de forma considerable la población de la ciudad, de la misma forma que su parque inmobiliario. Bajo estas premisas, es de suma importancia considerar diseñar edificios, que seguramente superarán los 10 pisos de altura, de manera adecuada y que en ocurrencia de un sismo importante puedan seguir en funcionamiento.

- Cualquier sistema que cuente con muros estructurales debe garantizar su continuidad desde la base hasta el último piso y esto se debe a que se debe certificar que las cargas laterales se distribuyan de manera continua hasta llegar a la cimentación. Edificaciones con muros estructurales con discontinuidad, han sido una de las principales causas para registrar daños en las estructuras, ya que, si se retira los muros de forma arbitraria en pisos bajos, se genera un piso blando y por ende, se concentraría el daño.

- La revisión de rigidez de una estructura, se asocia directamente a la magnitud de las derivas de entrepiso, las derivas disminuyen conforme se aumenta la rigidez de la edificación.

Una manera adecuada de controlar las derivas es la adición de muros estructurales, por lo que la opción del sistema dual es muy pertinente en nuestro medio, ya que no se cambiaría de manera radical el sistema usual.

- Otro problema asociado a las grandes deformaciones laterales, es el efecto $P - \Delta$, puesto si un sistema es muy flexible y tiene una gran masa, entonces se podría dar un colapso debido a este efecto. Acorde a los resultados obtenidos, ninguno de los dos sistemas estudiados presenta problemas acorde a esta problemática. El análisis del índice de estabilidad para el sistema aporticado presento un $Q_i = 0.071$ y para el sistema dual el valor de $Q_i = 0.016$, lo que demuestra que no presenta inestabilidad y tampoco sufrirían incrementos de fuerza internas, momentos y derivas ocasionaos por el efecto $P - \Delta$.

- Una motivación adicional para escoger al sistema dual como el mejor sistema acorde a nuestra realidad, es la redundancia inherente del sistema dual; al combinar varios elementos resistentes a cargas laterales, permite la redistribución de las fuerzas internas en caso del fallo de uno de los elementos. La capacidad de redistribución de fuerzas internas evita el colapso global de la estructura, por causa de falla de los distintos elementos individuales o sus conexiones.

- El sistema aporticado, para este caso en particular, no es la mejor opción solo por el tamaño de sus columnas, puesto no es viable diseñar ni construir columnas cuadradas de 100cm, además hay que considerar que pese a contar con esas dimensiones, la deriva es ligeramente superior al 2%. El tener derivas ligeramente mayores al 2% propuesto por la normativa nacional, significa que algunas columnas presentarán fisuras con un ancho en el orden de 1mm, que podrían creerse que solo necesitarían un arreglo cosmético, pero que acorde a un estudio realizado por los ingenieros Fernando del Castillo y Roberto Aguiar, la reparación con époxico suele ser compleja.

- Al comparar únicamente un vano del diseño de una viga central de los dos sistemas, se ve a simple vista que la cantidad de acero longitudinal necesario en el caso del sistema aporticado es superior al sistema dual, de forma más notoria, la columna del sistema aporticado al tener una sección demasiado grande para seguir considerándose como una columna también requiere más acero para soportar las solicitaciones, hablamos de 18 varillas de diámetro de 25mm versus 14 varillas de diámetro de 20mm. Solo con este par de comparaciones, el sistema aporticado no es sustentable ni de forma económica.

- Si el sistema aporticado fuera diseñado acorde a las dimensiones del prediseño, las derivas serían excesivas, por lo que, incrementar las secciones es imposible desde los puntos de vista constructivo, diseño y económico.

- Por la incertidumbre de la carga viva, se prefirió diseñar considerando un 25% de la carga viva para el caso del cálculo de las masas inerciales, pese a que la NEC – 15, exige esta adición siempre y cuando se trate de estructuras de bodegas o almacenaje.

- Las derivas del sistema dual se encuentran en 1.2% y 1.5% para las dos direcciones, con lo que se verifica que cumple lo propuesto por la normativa nacional y además con ello, se esta controlando su nivel de daño, el bajar las deformaciones juega un papel importante en la resiliencia del sistema.

- El factor de reducción usado fue el propuesto por la NEC – 15, sin embargo, es importante tomar en consideración que es mejor realizar un pertinente control de derivas antes que usar un factor de reducción que asume que la estructura tiene capacidad de deformación inelástica.

- En lo que respecta a los modos de vibración, claramente el sistema aporticado muestra que sus dos primeros modos son traslacionales, y en sistemas de este tipo es vital que esta condición se forme, ya que es la manera de garantizar que las conexiones no fallarán. El sistema

dual también muestra un comportamiento traslacional en sus dos primeros modos, sin embargo, en este tipo de sistemas no es de importancia radical, puesto que el sistema que resistirá las cargas laterales es compuesto y se espera que los muros estructurales asuman todo o al menos el 75% del cortante basal.

5.2.Recomendaciones

- Luego de realizar varios modelos estructurales, se recomienda que para llevar a cabo un análisis de una estructura se cuente con al menos dos modelaciones, la primera para el diseño de los elementos donde es favorable que todos los elementos cuenten con sus inercias completas, ya que toman mayor carga y se estaría realizando un diseño conservador. En cambio, para el análisis del comportamiento de la estructura se deberá considerar las inercias agrietadas, tal como las normas recomiendan. Sin embargo, la modelación siempre deberá responder a tratar de plasmar de la forma más cercana a lo que se pretende construir.

- La NEC – 15 pide que los muros se agrieten únicamente en los dos pisos inferiores, no obstante, en un modelo lineal elástico, el cambio brusco de inercias genera de la misma forma un cambio en los esfuerzos y en ciertas ocasiones el diseño se puede ver afectado por este factor.

- Para el diseño de muros estructurales no planos, la herramienta computacional es muy importante, ya que con el criterio adecuado del diseñador se puede usar de manera muy eficiente la esfera de interacción para el diseño.

- Pese a que se sigan todas las recomendaciones y exigencias de las normativas, siempre será de vital importancia el detallado de los elementos estructurales, es por lo que los planos finales suelen ser la vida del diseño.

REFERENCIAS

- Aguiar, R. (2013). Microzonificación Sísmica de Quito. *Primera*. Quito, Ecuador: Centro de Investigaciones Científicas - Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Obtenido de http://ugi.espe.edu.ec/ugi/wp-content/uploads/2013/11/2013_lib_raguiar_1.pdf
- Aguiar, R., & Del Castillo, F. (2019). Qué significa una deriva de piso inelástica ligeramente superior al dos por ciento. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*.
- Alejandro, H., & Gachet, P. (2014). Trabajo de Titulación. *Módulo de Elasticidad de Hormigones de Peso Normal Empleados en el Ecuador. $f_c=21, 24, 28, 35$ MPa*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Bonett, R., Pujades, L., & Hurtado, J. (2003). Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de Edificios. Aplicación a Entornos Urbanos en Zonas de Amenaza Alta y Moderada. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Correa, M., Machado, L., Placencia, P., & Vintimilla, J. (2016). Tesis de Grado. *Comparación Económica al Diseñar Edificios de Hormigón Armado de 7 y 14 pisos, con la NEC - 11 y el CEC-2000*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Hibsch, C., Alvarado, A., Yepes, H., Sébrier, M., & Pérez, H. (1996). Falla Activa de Quito y Fuentes Sismogénicas Regionales: Un Estudio del Riesgo Sísmico de Quito (Ecuador) con el Análisis de los Sedimentos Cuaternarios. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 359-388.
- Lagos, R., Boroschek, R., Saragoni, R., Massone, L., Kupfer, M., Lindenberg, J., . . . F. (Enero de 2017). 16th World Conference on Earthquake Engineering, 16WCEE 2017. *Seismic Performance of Concrete Buildings in Chile*. Santiago, Chile.
- Leuro, S., Quekano, R., & Nemocon, M. (2017). Comportamiento Estructural de un Edificio en Concreto Reforzado Bajo un Sistema Estructural Dual, con Disposición de Muros en Ejes Donde no Comprometa la Arquitectura. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (Diciembre de 2014). Norma Ecuatoriana de la Construcción. *Peligro Sísmico - Diseño Sismo Resistente*. Quito, Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). Norma Ecuatoriana de la Construcción. *Estructuras de Hormigón Armado*. Quito, Ecuador: Dirección de Comunicación Social. MIDUVI.
- Rivas, A., Benito, B., & Gaspar, J. (2014). Universidad Politécnica de Madrid. *Contribución Metodológica para Incorporar Fallas Activas en la Modelización de la Fuente Dirigida a Estimaciones de Peligrosidad Sísmica. Aplicación al Sur de España*. Madrid, España: Escuela Técnica Superior en Ingeniería Topográfica, Geodesia y Cartografía.

ANEXOS

ANEXO A: SOLICITACIONES: DISEÑO A FLEXOCOMPRESIÓN DE MUROS

TABLE: Pier Design Forces									
Story	Pier	Load Combo	Location	P	V2	V3	T	M2	M3
				tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
Story1	C1	1.4D-1	Top	-1913.3	3.1	2.1	-24.4	-31.7	-544.3
Story1	C1	1.4D-1	Bottom	-1956	3.1	2.1	-24.4	-25.2	-535.1
Story1	C1	1.2D+1.6L-1	Top	-1939.4	3.8	1.9	-26.5	-26.2	-655.7
Story1	C1	1.2D+1.6L-1	Bottom	-1976	3.8	1.9	-26.5	-20.5	-644.2
Story1	C1	1.2D+L+1.6S-1	Top	-1827.1	3.4	1.9	-24.4	-26.5	-584.7
Story1	C1	1.2D+L+1.6S-1	Bottom	-1863.7	3.4	1.9	-24.4	-20.9	-574.6
Story1	C1	0.9D+Sx-1	Top	-914.2	263.3	48.8	145.9	382.8	3590.6
Story1	C1	0.9D+Sx-1	Bottom	-941.6	263.3	48.8	145.9	468.9	4326.2
Story1	C1	0.9D+Sx-2	Top	-914.2	-259.3	48.8	145.9	-423.5	3590.6
Story1	C1	0.9D+Sx-2	Bottom	-941.6	-259.3	48.8	145.9	-501.3	4326.2
Story1	C1	0.9D+Sx-3	Top	-914.2	263.3	-46.1	145.9	382.8	-4290.4
Story1	C1	0.9D+Sx-3	Bottom	-941.6	263.3	-46.1	145.9	468.9	-5014.1
Story1	C1	0.9D+Sx-4	Top	-914.2	-259.3	-46.1	145.9	-423.5	-4290.4
Story1	C1	0.9D+Sx-4	Bottom	-941.6	-259.3	-46.1	145.9	-501.3	-5014.1
Story1	C1	0.9D+Sx-5	Top	-1545.8	263.3	48.8	-177.3	382.8	3590.6
Story1	C1	0.9D+Sx-5	Bottom	-1573.3	263.3	48.8	-177.3	468.9	4326.2
Story1	C1	0.9D+Sx-6	Top	-1545.8	-259.3	48.8	-177.3	-423.5	3590.6
Story1	C1	0.9D+Sx-6	Bottom	-1573.3	-259.3	48.8	-177.3	-501.3	4326.2
Story1	C1	0.9D+Sx-7	Top	-1545.8	263.3	-46.1	-177.3	382.8	-4290.4
Story1	C1	0.9D+Sx-7	Bottom	-1573.3	263.3	-46.1	-177.3	468.9	-5014.1
Story1	C1	0.9D+Sx-8	Top	-1545.8	-259.3	-46.1	-177.3	-423.5	-4290.4
Story1	C1	0.9D+Sx-8	Bottom	-1573.3	-259.3	-46.1	-177.3	-501.3	-5014.1
Story1	C1	0.9D+Sy-1	Top	-791	228.9	128.3	89.7	663.2	2146.9
Story1	C1	0.9D+Sy-1	Bottom	-818.4	228.9	128.3	89.7	1017.2	2753.2
Story1	C1	0.9D+Sy-2	Top	-791	-224.9	128.3	89.7	-703.9	2146.9
Story1	C1	0.9D+Sy-3	Top	-791	228.9	-125.6	89.7	663.2	-2846.8
Story1	C1	0.9D+Sy-3	Bottom	-818.4	228.9	-125.6	89.7	1017.2	-3441.1
Story1	C1	0.9D+Sy-4	Top	-791	-224.9	-125.6	89.7	-703.9	-2846.8
Story1	C1	0.9D+Sy-5	Top	-1669	228.9	128.3	-121.1	663.2	2146.9
Story1	C1	0.9D+Sy-5	Bottom	-1696.5	228.9	128.3	-121.1	1017.2	2753.2
Story1	C1	0.9D+Sy-6	Top	-1669	-224.9	128.3	-121.1	-703.9	2146.9
Story1	C1	0.9D+Sy-7	Top	-1669	228.9	-125.6	-121.1	663.2	-2846.8
Story1	C1	0.9D+Sy-7	Bottom	-1696.5	228.9	-125.6	-121.1	1017.2	-3441.1
Story1	C1	0.9D+Sy-8	Top	-1669	-224.9	-125.6	-121.1	-703.9	-2846.8
Story1	C1	0.9D-Sx-1	Top	-914.2	263.3	48.8	145.9	382.8	3590.6
Story1	C1	0.9D-Sx-1	Bottom	-941.6	263.3	48.8	145.9	468.9	4326.2
Story1	C1	0.9D-Sx-2	Top	-914.2	-259.3	48.8	145.9	-423.5	3590.6
Story1	C1	0.9D-Sx-2	Bottom	-941.6	-259.3	48.8	145.9	-501.3	4326.2
Story1	C1	0.9D-Sx-3	Top	-914.2	263.3	-46.1	145.9	382.8	-4290.4

Story1	C1	0.9D-Sx-3	Bottom	-941.6	263.3	-46.1	145.9	468.9	-5014.1
Story1	C1	0.9D-Sx-4	Top	-914.2	-259.3	-46.1	145.9	-423.5	-4290.4
Story1	C1	0.9D-Sx-4	Bottom	-941.6	-259.3	-46.1	145.9	-501.3	-5014.1
Story1	C1	0.9D-Sx-5	Top	-1545.8	263.3	48.8	-177.3	382.8	3590.6
Story1	C1	0.9D-Sx-5	Bottom	-1573.3	263.3	48.8	-177.3	468.9	4326.2
Story1	C1	0.9D-Sx-6	Top	-1545.8	-259.3	48.8	-177.3	-423.5	3590.6
Story1	C1	0.9D-Sx-6	Bottom	-1573.3	-259.3	48.8	-177.3	-501.3	4326.2
Story1	C1	0.9D-Sx-7	Top	-1545.8	263.3	-46.1	-177.3	382.8	-4290.4
Story1	C1	0.9D-Sx-7	Bottom	-1573.3	263.3	-46.1	-177.3	468.9	-5014.1
Story1	C1	0.9D-Sx-8	Top	-1545.8	-259.3	-46.1	-177.3	-423.5	-4290.4
Story1	C1	0.9D-Sx-8	Bottom	-1573.3	-259.3	-46.1	-177.3	-501.3	-5014.1
Story1	C1	0.9D-Sy-1	Top	-791	228.9	128.3	89.7	663.2	2146.9
Story1	C1	0.9D-Sy-1	Bottom	-818.4	228.9	128.3	89.7	1017.2	2753.2
Story1	C1	0.9D-Sy-2	Top	-791	-224.9	128.3	89.7	-703.9	2146.9
Story1	C1	0.9D-Sy-3	Top	-791	228.9	-125.6	89.7	663.2	-2846.8
Story1	C1	0.9D-Sy-3	Bottom	-818.4	228.9	-125.6	89.7	1017.2	-3441.1
Story1	C1	0.9D-Sy-4	Top	-791	-224.9	-125.6	89.7	-703.9	-2846.8
Story1	C1	0.9D-Sy-5	Top	-1669	228.9	128.3	-121.1	663.2	2146.9
Story1	C1	0.9D-Sy-5	Bottom	-1696.5	228.9	128.3	-121.1	1017.2	2753.2
Story1	C1	0.9D-Sy-6	Top	-1669	-224.9	128.3	-121.1	-703.9	2146.9
Story1	C1	0.9D-Sy-7	Top	-1669	228.9	-125.6	-121.1	663.2	-2846.8
Story1	C1	0.9D-Sy-7	Bottom	-1696.5	228.9	-125.6	-121.1	1017.2	-3441.1
Story1	C1	0.9D-Sy-8	Top	-1669	-224.9	-125.6	-121.1	-703.9	-2846.8
Story1	C1	1.2D+Sx+L-1	Top	-1511.3	264.7	49.3	137.2	376.6	3355.7
Story1	C1	1.2D+Sx+L-1	Bottom	-1547.9	264.7	49.3	137.2	464.2	4095.5
Story1	C1	1.2D+Sx+L-2	Top	-1511.3	-257.9	49.3	137.2	-429.7	3355.7
Story1	C1	1.2D+Sx+L-2	Bottom	-1547.9	-257.9	49.3	137.2	-506	4095.5
Story1	C1	1.2D+Sx+L-3	Top	-1511.3	264.7	-45.6	137.2	376.6	-4525.2
Story1	C1	1.2D+Sx+L-3	Bottom	-1547.9	264.7	-45.6	137.2	464.2	-5244.8
Story1	C1	1.2D+Sx+L-4	Top	-1511.3	-257.9	-45.6	137.2	-429.7	-4525.2
Story1	C1	1.2D+Sx+L-4	Bottom	-1547.9	-257.9	-45.6	137.2	-506	-5244.8
Story1	C1	1.2D+Sx+L-5	Top	-2142.9	264.7	49.3	-186	376.6	3355.7
Story1	C1	1.2D+Sx+L-5	Bottom	-2179.6	264.7	49.3	-186	464.2	4095.5
Story1	C1	1.2D+Sx+L-6	Top	-2142.9	-257.9	49.3	-186	-429.7	3355.7
Story1	C1	1.2D+Sx+L-6	Bottom	-2179.6	-257.9	49.3	-186	-506	4095.5
Story1	C1	1.2D+Sx+L-7	Top	-2142.9	264.7	-45.6	-186	376.6	-4525.2
Story1	C1	1.2D+Sx+L-7	Bottom	-2179.6	264.7	-45.6	-186	464.2	-5244.8
Story1	C1	1.2D+Sx+L-8	Top	-2142.9	-257.9	-45.6	-186	-429.7	-4525.2
Story1	C1	1.2D+Sx+L-8	Bottom	-2179.6	-257.9	-45.6	-186	-506	-5244.8
Story1	C1	1.2D-Sx+L-1	Top	-1511.3	264.7	49.3	137.2	376.6	3355.7
Story1	C1	1.2D-Sx+L-1	Bottom	-1547.9	264.7	49.3	137.2	464.2	4095.5
Story1	C1	1.2D-Sx+L-2	Top	-1511.3	-257.9	49.3	137.2	-429.7	3355.7
Story1	C1	1.2D-Sx+L-2	Bottom	-1547.9	-257.9	49.3	137.2	-506	4095.5
Story1	C1	1.2D-Sx+L-3	Top	-1511.3	264.7	-45.6	137.2	376.6	-4525.2
Story1	C1	1.2D-Sx+L-3	Bottom	-1547.9	264.7	-45.6	137.2	464.2	-5244.8
Story1	C1	1.2D-Sx+L-4	Top	-1511.3	-257.9	-45.6	137.2	-429.7	-4525.2
Story1	C1	1.2D-Sx+L-4	Bottom	-1547.9	-257.9	-45.6	137.2	-506	-5244.8

Story1	C1	1.2D-Sx+L-5	Top	-2142.9	264.7	49.3	-186	376.6	3355.7
Story1	C1	1.2D-Sx+L-5	Bottom	-2179.6	264.7	49.3	-186	464.2	4095.5
Story1	C1	1.2D-Sx+L-6	Top	-2142.9	-257.9	49.3	-186	-429.7	3355.7
Story1	C1	1.2D-Sx+L-6	Bottom	-2179.6	-257.9	49.3	-186	-506	4095.5
Story1	C1	1.2D-Sx+L-7	Top	-2142.9	264.7	-45.6	-186	376.6	-4525.2
Story1	C1	1.2D-Sx+L-7	Bottom	-2179.6	264.7	-45.6	-186	464.2	-5244.8
Story1	C1	1.2D-Sx+L-8	Top	-2142.9	-257.9	-45.6	-186	-429.7	-4525.2
Story1	C1	1.2D-Sx+L-8	Bottom	-2179.6	-257.9	-45.6	-186	-506	-5244.8
Story1	C1	1.2D+Sy+L-1	Top	-1388.1	230.2	128.8	80.9	657	1912.1
Story1	C1	1.2D+Sy+L-1	Bottom	-1424.7	230.2	128.8	80.9	1012.5	2522.5
Story1	C1	1.2D+Sy+L-2	Top	-1388.1	-223.5	128.8	80.9	-710.1	1912.1
Story1	C1	1.2D+Sy+L-2	Bottom	-1424.7	-223.5	128.8	80.9	-1054.3	2522.5
Story1	C1	1.2D+Sy+L-3	Top	-1388.1	230.2	-125.1	80.9	657	-3081.6
Story1	C1	1.2D+Sy+L-3	Bottom	-1424.7	230.2	-125.1	80.9	1012.5	-3671.8
Story1	C1	1.2D+Sy+L-4	Top	-1388.1	-223.5	-125.1	80.9	-710.1	-3081.6
Story1	C1	1.2D+Sy+L-4	Bottom	-1424.7	-223.5	-125.1	80.9	-1054.3	-3671.8
Story1	C1	1.2D+Sy+L-5	Top	-2266.1	230.2	128.8	-129.8	657	1912.1
Story1	C1	1.2D+Sy+L-5	Bottom	-2302.7	230.2	128.8	-129.8	1012.5	2522.5
Story1	C1	1.2D+Sy+L-6	Top	-2266.1	-223.5	128.8	-129.8	-710.1	1912.1
Story1	C1	1.2D+Sy+L-6	Bottom	-2302.7	-223.5	128.8	-129.8	-1054.3	2522.5
Story1	C1	1.2D+Sy+L-7	Top	-2266.1	230.2	-125.1	-129.8	657	-3081.6
Story1	C1	1.2D+Sy+L-7	Bottom	-2302.7	230.2	-125.1	-129.8	1012.5	-3671.8
Story1	C1	1.2D+Sy+L-8	Top	-2266.1	-223.5	-125.1	-129.8	-710.1	-3081.6
Story1	C1	1.2D+Sy+L-8	Bottom	-2302.7	-223.5	-125.1	-129.8	-1054.3	-3671.8
Story1	C1	1.2D-Sy+L-1	Top	-1388.1	230.2	128.8	80.9	657	1912.1
Story1	C1	1.2D-Sy+L-1	Bottom	-1424.7	230.2	128.8	80.9	1012.5	2522.5
Story1	C1	1.2D-Sy+L-2	Top	-1388.1	-223.5	128.8	80.9	-710.1	1912.1
Story1	C1	1.2D-Sy+L-2	Bottom	-1424.7	-223.5	128.8	80.9	-1054.3	2522.5
Story1	C1	1.2D-Sy+L-3	Top	-1388.1	230.2	-125.1	80.9	657	-3081.6
Story1	C1	1.2D-Sy+L-3	Bottom	-1424.7	230.2	-125.1	80.9	1012.5	-3671.8
Story1	C1	1.2D-Sy+L-4	Top	-1388.1	-223.5	-125.1	80.9	-710.1	-3081.6
Story1	C1	1.2D-Sy+L-4	Bottom	-1424.7	-223.5	-125.1	80.9	-1054.3	-3671.8
Story1	C1	1.2D-Sy+L-5	Top	-2266.1	230.2	128.8	-129.8	657	1912.1
Story1	C1	1.2D-Sy+L-5	Bottom	-2302.7	230.2	128.8	-129.8	1012.5	2522.5
Story1	C1	1.2D-Sy+L-6	Top	-2266.1	-223.5	128.8	-129.8	-710.1	1912.1
Story1	C1	1.2D-Sy+L-6	Bottom	-2302.7	-223.5	128.8	-129.8	-1054.3	2522.5
Story1	C1	1.2D-Sy+L-7	Top	-2266.1	230.2	-125.1	-129.8	657	-3081.6
Story1	C1	1.2D-Sy+L-7	Bottom	-2302.7	230.2	-125.1	-129.8	1012.5	-3671.8
Story1	C1	1.2D-Sy+L-8	Top	-2266.1	-223.5	-125.1	-129.8	-710.1	-3081.6
Story1	C1	1.2D-Sy+L-8	Bottom	-2302.7	-223.5	-125.1	-129.8	-1054.3	-3671.8