

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Rectificación de derivas de un edificio de concreto compuesto por marcos especiales resistentes a momento mediante la implementación de muros estructurales especiales utilizando el código ASCE/SEI 7-16

Trabajo de graduación presentado por César Manuel Cerdón Mayén para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala,

2023

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Rectificación de derivas de un edificio de concreto compuesto por marcos especiales resistentes a momento mediante la implementación de muros estructurales especiales utilizando el código ASCE/SEI 7-16

Trabajo de graduación presentado por César Manuel Córdón Mayén para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala,


2023

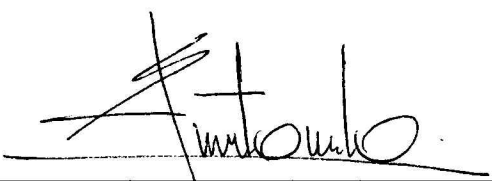
Vo.Bo.:

(f) 
Meng. Hugo Enrique Pallais Beteta

Tribunal Examinador:

(f) 
Meng. Hugo Enrique Pallais Beteta

(f) 
MSc. Robert Godo Levensen

(f) 
Ing. Danilo Rodríguez

Fecha de aprobación: Guatemala, 04 de diciembre de 2023.

CONTENIDO

	Página
LISTA DE CUADROS	X
LISTA DE FIGURAS	XII
RESUMEN	XIII
Abstract	XIV
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	2
III. OBJETIVOS	3
A Objetivo general	3
B Objetivos específicos	3
IV. MARCO TEÓRICO	4
A Códigos constructivos y normativas de diseño	4
1 Código ASCE/SEI 7-16	4
2 Código ACI 318-14	4
3 AGIES NSE 2018	4
B Material de construcción	4
1 Concreto	4
2 Concreto reforzado	4
C Categorías ocupacionales	5
1 Categoría I Obras utilitarias	5
2 Categoría II Obras ordinarias	5
3 Categoría III Obras importantes	5
4 Categoría IV Obras esenciales	5
D Clasificación de sitio	5
1 Clase de Sitio F	5
2 Clase de Sitio E	5
3 Clase de Sitio D y C	5
4 Clase de Sitio A y B	5
E Tipología estructural	8
1 Sistema E1 - Sistema de marcos especiales a momento	8
2 Sistema E2 - Sistema de cajón	8
3 Sistema E3 - Sistema combinado	8
4 Sistema E4 - Sistema dual	9
5 Sistema E5 - Soportes en voladizo	9
6 Sistema E6 - Péndulo invertido	9
F Elementos de un Sistema combinado	10
1 Cimentación	10
2 Columna	10
3 Viga	10

4	Losa	10
5	Muro estructural especial	10
G	Cargas aplicadas	10
1	Cargas gravitacionales	10
2	Cargas accidentales	10
3	Torsión inherente	10
4	Torsión accidental	11
H	Aspectos sísmicos	11
1	Tipos de fallas	11
2	Placas tectónicas	12
3	Movimiento de las placas tectónicas	12
4	Categorización por riesgo	12
I	Medición de un sismo	14
1	Magnitud	14
2	Intensidad	14
J	Zonificación sísmica de Guatemala	14
K	Propiedades estructurales	16
1	Rigidez	16
2	Resistencia	16
3	Ductilidad	17
L	Espectro de respuesta	17
1	Diseño	17
2	Análisis de respuesta modal	18
3	Valores de R, Cd, p, Omega 0 y Sr	19
M	Probabilidad de ocurrencia de los sismos	20
N	Fuerza lateral equivalente	21
Ñ	Derivas laterales	21
1	Determinación de derivas por nivel	22
2	Deformación última	22
3	Efecto P-Delta	22
4	Derivas laterales admisibles	22
O	Análisis modal del espectro de respuesta	23
1	Número de modos	23
2	Parámetros de respuesta modal	23
3	Parámetros de respuesta combinados	23
P	Modificación de la respuesta de diseño	24
1	Determinación del máximo elástico e inelástico del cortante en la base	24
2	Determinación del factor de escala en el cortante de la base	24
Q	Muros estructurales y su anclaje	25
1	Muros estructurales especiales	25
2	Refuerzo transversal	26
R	Derivas y deformación	26
1	Deflexión del diafragma	26
2	Separación estructural	26
S	Diseño de muros estructurales según ACI 318-14	27
1	Límites de diseño	27
2	Cargas axial y flexión fuera del plano	27
3	Momento y cargas axiales	28

4	Factores de resistencia	28
5	Cortante en muros estructurales	29
6	Cuantía mínima requerida	30
7	Separaciones mínimas	31
8	Recubrimientos	31
T	Estructuras sismo resistentes	31
1	Vigas especiales resistentes a momento	31
2	Columnas especiales resistentes a momento	33
3	Criterio columna fuerte - viga débil	35
4	Muros estructurales especiales resistentes a momento	36
V.	METODOLOGÍA	39
VI.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	40
A	Descripción, generalidades y pre-dimensionamiento	40
B	Análisis estructural de la edificación de 3 sótanos y 8 niveles de marcos especiales resistentes a momento según el código ASCE/SEI 7-16	43
C	Análisis estructural de la edificación de 3 sótanos y 9 niveles de marcos especiales resistentes a momento según el código ASCE/SEI 7-16	47
D	Análisis estructural de la edificación de 3 sótanos y 10 niveles de marcos especiales resistentes a momento según el código ASCE/SEI 7-16	49
E	Análisis estructural de la edificación de 3 sótanos y 11 niveles de marcos especiales resistentes a momento según el código ASCE/SEI 7-16	51
F	Análisis estructural de un sistema combinado de la edificación de 3 sótanos y 11 niveles según el código ASCE/SEI 7-16	53
G	Comparativas en el Sistema combinado	57
H	Criterio columna fuerte - viga débil	62
I	Diseño de vigas	63
1	Acero obtenido en Etabs	63
2	Detalle estructural	63
J	Diseño de losas	64
1	Acero obtenido en Etabs	64
2	Detalle estructural	64
K	Diseño de columnas	64
1	Acero obtenido en Etabs	64
2	Detalle estructural	65
L	Diseño de muro estructural	65
1	Acero obtenido en Etabs	65
2	Detalle estructural	66
VII.	CONCLUSIONES	67
VIII.	RECOMENDACIONES	68
IX.	BIBLIOGRAFÍA	69
X.	APÉNDICES	70
A	Capturas de pantalla de los modelos utilizados	70
B	Capturas de pantalla de los cálculos realizados en Excel	73

XI. GLOSARIO 82

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Coeficientes del Sitio Fa NSE	6
2	Coeficientes del Sitio Fa ASCE/SEI	6
3	Coeficientes del Sitio Fv NSE	7
4	Coeficientes del Sitio Fv ASCE/SEI	7
5	Clase de sitio según ASCE/SEI 7-16	8
6	Factores de Sistemas Estructurales según ASCE/SEI	9
7	Categoría de estructuras por riesgo según ASCE/SEI 7-16	13
8	Valores para sistema EI	20
9	Valores para sistema E4	20
10	Nivel de protección sísmica y probabilidad de ocurrencia	21
11	Derivas máximas tolerables	22
12	Derivas máximas permisibles	23
13	Requisitos diseño de segmentos verticales de muro	25
14	Espesor mínimo del muro estructural	27
15	Factores de reducción de resistencia para cada elemento estructural	29
16	Cuantía mínima necesaria para muros estructurales	30
17	Recubrimiento para elementos de concreto reforzado	31
18	Refuerzo transversal en columnas resistentes a momento	35
19	Requisitos que dominan en el diseño de muros verticales	36
20	Refuerzo transversal para elementos especiales de borde	38

LISTA DE FIGURAS

Ilustración		Página
1	Imagen representativa del armado de concreto reforzado.	4
2	Imagen representativa del Sistema combinado	8
3	Imagen representativa de las diferencias entre sistemas estructurales.	9
4	Imagen representativa de la torsión accidental	11
5	Imagen representativa de las diferentes fallas	12
6	Escala de Mercalli	14
7	Índice de sismicidad en Guatemala	15
8	Factores de sitio en Ciudad de Guatemala	16
9	Representación de aumento de rigidez	16
10	Representación de la ductilidad	17
11	Ecuaciones de la pseudoaceleración según su período	18
12	Espectro de respuesta	19
13	Ecuación para calcular la deriva por nivel	22
14	Imagen representativa de la acción causada por las derivas.	24
15	Ecuaciones para el cortante mínimo en ambas direcciones	24
16	Ecuaciones para el factor de cortante en ambas direcciones	25
17	Detalle del muro estructural	26
18	Ecuaciones para el factor de cortante en ambas direcciones	26
19	Factor k para la longitud efectiva del muro estructural	28
20	Vista en sección de una viga resistente a momento	32
21	Ejemplos de los detalles del refuerzo transversal en vigas resistentes a momento	33
22	Ejemplos de los detalles del refuerzo transversal en columnas resistentes a momento	34
23	Momentos resistentes y momentos actuantes en un nudo	35
24	Mecanismos plásticos de colapso para un marco resistente a momento	36
25	Diferentes secciones de muro estructural	37
26	Ejemplo de un muro con aberturas	37
27	Planta de sótanos para todos los modelos	40
28	Planta típica de nivel para todos los modelos	41
29	Tipo de obra	41
30	Espectro de respuesta	42
31	Desplazamientos del suelo	42
32	Resumen de cargas aplicadas a la edificación	43
33	Dimensiones de los elementos estructurales	43
34	Alturas por nivel de modelo de 8 niveles	44
35	Factores de análisis sísmico	44
36	Límite admisible para deriva	44
37	Análisis de derivas para edificación de 8 niveles y 3 sótanos	45
38	Derivas en mm para el modelo de 8 niveles y 3 sótanos	46
39	Análisis de derivas para edificación de 9 niveles y 3 sótanos	47
40	Derivas en mm para el modelo de 9 niveles y 3 sótanos	48
41	Análisis de derivas para edificación de 10 niveles y 3 sótanos	49
42	Derivas en mm para el modelo de 10 niveles y 3 sótanos	50
43	Análisis de derivas para edificación de 11 niveles y 3 sótanos	51

44	Derivas en mm para el modelo de 11 niveles y 3 sótanos	52
45	Planta de sótanos para el modelo de sistema combinado	53
46	Planta de nivel para el modelo de sistema combinado	53
47	Alturas por nivel de modelo de 11 niveles y 3 sótanos	54
48	Factores de análisis sísmico de sistema combinado	54
49	Límite admisible para deriva sistema combinado	54
50	Análisis de derivas para edificación de 11 niveles y 3 sótanos de sistema combinado	55
51	Derivas en mm para el modelo de 11 niveles y 3 sótanos de sistema combinado	56
52	Análisis de derivas para edificación de sistema combinado con columnas de 90 X	
	90 cm	57
53	Análisis de derivas para edificación de sistema combinado con columnas de 80 X	
	80 cm	58
54	Análisis de derivas para edificación de sistema combinado con columnas de 70 X	
	70 cm	59
55	Comparación de derivas según dimensiones de columnas	60
56	Comparación de derivas en milímetros según dimensiones de columnas	61
57	Verificación de criterio columna fuerte - viga débil para columnas de 70X70 cm	62
58	Acero requerido a flexión y a corte según Etabs	63
59	Detalle estructural de la viga	63
60	Acero requerido a flexión según Etabs	64
61	Detalle estructural de la losa	64
62	Acero requerido a compresión según Etabs	65
63	Acero requerido a corte según Etabs	65
64	Detalle estructural de la columna	65
65	Acero requerido a flexión y a corte según Etabs	66
66	Detalle estructural del muro	66
67	Modelo de sistema de marcos de 8 niveles	70
68	Modelo de sistema de marcos de 9 niveles	70
69	Modelo de sistema de marcos de 10 niveles	71
70	Modelo de sistema de marcos de 11 niveles	71
71	Modelo de sistema combinado de 11 niveles con columnas de 70 X 70 cm	72
72	Modelo de losa de techo	72
73	Cálculo para determinar tipo de obra	73
74	Cálculo predimensionamiento vigas y losas	73
75	Cálculo predimensionamiento de columnas	74
76	Obtención de las reacciones en la base	74
77	Obtención del período de vibración de la estructura	74
78	Memoria de cálculo de sistema de marcos de 8 niveles	75
79	Memoria de cálculo de sistema de marcos de 9 niveles	76
80	Memoria de cálculo de sistema de marcos de 10 niveles	77
81	Memoria de cálculo de sistema de marcos de 11 niveles	78
82	Memoria de cálculo de sistema combinado de 11 niveles con columnas de 70 X 70	
	cm	79
83	Memoria de cálculo de piers para el muro estructural	80
84	Obtención de Joint Drifts	80
85	Obtención de Story Drifts	81

RESUMEN

Este trabajo consiste en un control de derivas de un edificio con un sistema estructural de marcos especiales a momento, sin irregularidades y simétrico que brindan la obtención de una deriva por nivel y así demostrar cuando un edificio con este sistema estructural ya no es viable por sí solo y necesita muro estructural para mejorar la resistencia a derivas (convertirse en un sistema combinado). Este trabajo de graduación incluirá un modelo de la estructura con un sistema estructural combinado, incluyendo todos los elementos estructurales de la superestructura, tanto en memoria de cálculo como en software para la obtención de derivas principalmente. El trabajo se desarrolla bajo el Código ASCE/SEI 7-16 que se basa a su vez en el código de diseño de concreto reforzado ACI 318-14 y debido a la ubicación del proyecto en la Ciudad de Guatemala se utilizan las normas AGIES. Los resultados de la tesis describen hasta que nivel es permisible un edificio de marcos especiales a momento y al encontrar el nivel donde por derivas ya no se puede utilizar ese sistema se agrega el marco estructural para controlar las derivas y poder continuar con más niveles si se desea.

En un país altamente sísmico donde todos los días se vive actividad sísmica, ya sea mayor o menor es de suma importancia ser rigurosos con las normativas constructivas y verificar su cumplimiento porque si no se llegan a cumplir estaríamos siendo inconscientes ante la posibilidad de que ocurra una fatalidad. Al tener en cuenta esta problemática surge el análisis de derivas sobre una edificación en específico con el sistema estructural más utilizado en el país y verificar la influencia de las derivas en este. En el trabajo de tesis se propone agregar ductilidad por medio de la implementación de muros estructurales a momento en lugares específicos de la edificación, aumentando la resistencia a las derivas horizontales provocadas por la carga sísmica. En este trabajo de graduación se presenta toda la información necesaria para comprender las derivas y cómo esta afecta a la estructura, al igual que lo hace la acción del sismo. También se incluyen los resultados del análisis y algunas imágenes del proceso para así comprender de mejor manera las conclusiones obtenidas.

El punto focal del trabajo de graduación es evaluar los efectos que tienen los muros estructurales para solucionar una edificación con problema de derivas. Se obtuvo que los muros estructurales reducen las derivas en un 65.42 % en comparación con el sistema de marcos especiales a momento. De la misma manera se obtuvo que el sistema de marcos especiales a momento con las condiciones de este modelo solo puede llegar hasta el nivel 11 (con 3 sótanos) con una altura de 42.6 m. A partir de ese nivel las derivas no son permisibles según el Código ASCE/SEI 7-16 y debe de aumentarse la rigidez contra el sismo para que pueda ser llevado a cabo el proyecto y ahí es donde entra el muro estructural que absorbe la mayor parte del sismo, reduciendo las derivas. En este trabajo de graduación también se incluyen anexos de todos los cálculos realizados para llegar a esta conclusión e imágenes del modelo donde se identifican los elementos estructurales y cómo es que cumplen por flexión o compresión, según sea el caso.

ABSTRACT

This work involves the drift control of a building with a special moment-resisting structural system, free from irregularities and symmetric, which provides the determination of drift per level. The goal is to demonstrate when a building with this structural system is no longer viable on its own and requires a structural wall to enhance drift resistance (becoming a combined system). This graduation project will include a model of the structure with a combined structural system, encompassing all structural elements of the superstructure, both in calculation documentation and software for drift determination primarily. The work is conducted under the ASCE/SEI 7-16 Code, which is based on the ACI 318-14 reinforced concrete design code, and due to the project's location in Guatemala City, AGIES standards are used. The thesis results describe up to what level a special moment-resisting frame building is permissible, and when the system can no longer be used due to drifts, a structural frame is added to control drifts and enable further levels if desired.

In a highly seismic country where seismic activity is a daily occurrence, whether minor or major, it is of paramount importance to rigorously adhere to construction regulations and verify compliance. Failure to do so would be irresponsible in the face of the possibility of a catastrophe. Recognizing this issue, the thesis focuses on drift analysis of a specific building using the most commonly used structural system in the country and assessing the impact of drifts on it. The thesis proposes enhancing ductility by implementing moment-resisting structural walls in specific locations of the building to increase resistance to horizontal drifts caused by seismic loads. This graduation work provides all the necessary information to understand drifts and how they affect the structure, just as seismic action does. It also includes the results of the analysis and some images of the process to better comprehend the conclusions drawn.

The main objective of the graduation work is to evaluate the effects of structural walls in addressing drift issues in a building. It was found that structural walls reduce drifts by 65.42 % compared to the special moment-resisting frame system. Similarly, it was determined that the special moment-resisting frame system, under the conditions of this model, can only reach up to level 11 (with 3 basements) and a height of 42.6 meters. Beyond that level, drifts are not permissible according to the ASCE/SEI 7-16 Code, and increased seismic stiffness is required to proceed with the project. This is where the structural wall comes into play, absorbing most of the seismic forces and reducing drifts. The graduation work also includes annexes with all the calculations performed to reach this conclusion and images of the model identifying structural elements and how they perform under bending or compression, as the case may be.

I. INTRODUCCIÓN

Debido a la incidencia de los terremotos en Guatemala es de suma importancia realizar un diseño que tome en cuenta este tipo de cargas. Normalmente todas las edificaciones realizadas en el territorio toman en cuenta estas solicitaciones del código constructivo y alrededor del mundo se realiza de la misma forma, únicamente tomando en cuenta los cambios de factores que tiene el código en cada país. Al momento de realizar un diseño estructural de concreto reforzado una de las solicitaciones sísmicas más importantes son las derivas horizontales, esto debido a que estas representan el desplazamiento horizontal relativo de un nivel respecto a otro.

Es necesario revisar las derivas que puede tener su edificio ya que si no cumple con las solicitaciones del código puede que ceda la edificación. Para evitar estos desastres lo mejor sería revisar los criterios de los códigos y cumplirlos, de igual manera calcular las derivas para cada nivel y llevar un control de ellas. Las derivas se definen como el desplazamiento horizontal relativo entre 2 puntos colocados en la misma línea vertical en 2 pisos o niveles consecutivos de una edificación, es decir, el desplazamiento horizontal de una estructura en el mismo eje vertical, pero a diferente altura. Y la deriva mayor puede suceder en el primer o último nivel, sin depender de la cantidad de niveles que tenga la edificación.

En este trabajo se busca determinar a qué nivel se necesitará agregar muro estructural especial, y modificar un sistema de marcos especiales a momento de concreto reforzado, que es un sistema muy utilizado en Guatemala el cual consta de columnas y vigas, implementando el muro estructural especial, sin llegar a ser un sistema dual, pero corrigiendo la falla de derivas que tiene el diseño original (siendo un sistema combinado). Analizando la deriva por cada nivel que aumente la edificación y determinando tanto en software como en memoria de cálculo hasta que nivel el diseño de marcos especiales a momentos ya no sea aceptable según el Código ASCE/SEI 7-16 y se tenga que agregar el muro estructural especial de concreto reforzado.

Para esta edificación la deriva máxima se encontraba en los niveles intermedios, desde el nivel 2 al nivel 6 se encontraba el problema de derivas en el modelo de marcos especiales a momento. El muro estructural especial se aplica en el centro de la edificación alrededor del ducto de elevadores y gradas, brindándole a la estructura una ayuda para absorber el sismo. Esa ayuda principal permite que la estructura pueda tener más de los niveles a los que llega el sistema de marcos especiales a momento, esto debido a que el sistema combinado tiene una mayor ductilidad, permitiendo una mayor deformación. El análisis determinó que es necesario cambiar el sistema estructural debido a que la deriva es mayor de lo permitido por el Código a partir del nivel 11 con 3 sótanos.

II. JUSTIFICACIÓN

Los terremotos son una amenaza constante en Guatemala, vivimos en un país altamente sísmico y que se encuentra entre 3 placas tectónicas, por lo que para los cálculos de los elementos estructurales de la superestructura de un edificio es indispensable que pueda soportar las cargas sísmicas y una de las consecuencias más importantes de los sismos son las derivas horizontales que causan a las estructuras. Actualmente en Guatemala se contempla construir con concreto reforzado, es el material preferido y también hay un sistema estructural preferido, que es el de Marcos Especiales a Momento, hay diferentes razones por las cuáles no se toman en cuenta otros sistemas estructurales; una de las razones principales es que, al incluir Muro Estructural Especial en zonas específicas el costo del proyecto aumenta considerablemente.

La problemática a solucionar en este trabajo es realizar una investigación de un edificio que tiene ciertas propiedades y encontrar en qué nivel (altura) de la edificación sería necesario implementar Muros Estructurales Especiales. Porque se han construido edificios de más de 20 niveles que, probablemente necesitaran un sistema estructural combinado, pero no se ha realizado y al momento de un terremoto las derivas podrían no cumplir con la máximas permisibles en el código y causar un desastre que podría haberse evitado. Esta claro que no todos los proyectos son iguales, prácticamente todos son distintos por lo que realizar una investigación que incluya a todos los proyectos o que se pueda utilizar en la mayoría no es posible, cada proyecto tiene diferencias en materiales, dimensiones, capacidades, solicitudes, etc.

El objetivo de este trabajo es dar el primer paso para descubrir en qué nivel aproximado se necesitaría implementar Muros Estructurales Especiales o modificar el sistema estructural si es necesario; así los ingenieros podrían tener una idea de cómo funcionan las derivas según nivel y según las condiciones de la Ciudad de Guatemala, obviamente tendrían que realizar los cálculos para obtener la deriva, pero si resulta ser que se necesita una mayor cantidad de concreto reforzado para resistir el sismo a partir del nivel 12, un ingeniero podría saber si calculara un edificio de 8 niveles; lo más seguro es que con un sistema de Marcos Especiales a Momento la edificación funcione sin problema. Tomando en cuenta que no se puede construir todo con el mismo sistema estructural y que bajo ciertas condiciones es más que necesario utilizar Muros Estructurales Especiales, por lo que utilizando las derivas del Código ASCE/SEI 7-16 permiten encontrar el nivel para el que una estructura de concreto reforzado necesita más seguridad ante un sismo y así evitar desastres.

III. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Evaluar los efectos que tienen los muros estructurales dentro de una edificación con problema de derivas para satisfacer los requisitos del Código ASCE/SEI 7-16.

B. Objetivos específicos

- Analizar las derivas ocasionadas por el sismo en cada nivel hasta hallar el nivel donde el código ya no permita el sistema estructural de marcos especiales resistentes a momento.
- Calcular los componentes de la superestructura de un edificio de concreto reforzado, con un sistema estructural combinado.
- Modelar varias edificaciones de marco especiales a momento y sistema combinado, implementando el software etabs.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Códigos constructivos y normativas de diseño

1. **Código ASCE/SEI 7-16.** Para el diseño de elementos de concreto reforzado y para el chequeo de derivas del American Society of Civil Engineers / Structural Engineering Institute (Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles / Instituto de Ingeniería Estructural). (ASCE/SEI, 2016)

2. **Código ACI 318-14.** El ACI (American Concrete Institute) de los Estados Unidos de América es la institución que actualiza el código de diseño para la construcción en donde se encuentran todos los pasos y las restricciones para un diseño adecuado. En específico el ACI 318 se centra en el diseño de elementos de concreto reforzado y la última versión que se puede conseguir es la de 2014. (ACI, 2014)

3. **AGIES NSE 2018.** Este código es el presente en Guatemala y es la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES) la que presenta las Normas de Seguridad Estructural (NSE) para diseñar estructuras en el país. Existen 14 diferentes NSE que se pueden encontrar con su última actualización del 2018. (AGIES, 2018a)

B. Material de construcción

1. **Concreto.** Es un material compuesto empleado en la construcción, formado esencialmente por cemento (normalmente portland), agua y agregados que son finos y gruesos (arenas y piedra), también se pueden utilizar aditivos. (Matheiss, 1980)

2. **Concreto reforzado.** Se le podría considerar la versión mejorada del concreto simple, ya que supera las propiedades mecánicas del material original. Es un material compuesto que resulta en la incorporación de barras o mallas de acero en la masa de concreto, es decir concreto con armadura metálica interna. (Jaques, 2001)

La técnica constructiva de concreto armado consiste en la combinación de 2 materiales, el concreto y el acero de refuerzo. Estos materiales se combinan con el fin de conformar elementos estructurales como vigas, columnas, muros, losas, etc. (Matheiss, 1980)

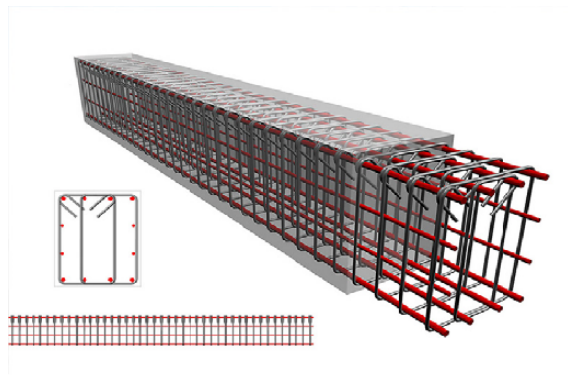


Figura 1. Imagen representativa del armado de concreto reforzado.

(A. Hernández, 2021)

C. Categorías ocupacionales

1. Categoría I Obras utilitarias. Estas son las obras que albergan personas de manera incidental, no son de trabajo o no son habitables. normalmente se les conoce como obras auxiliares de infraestructura. (AGIES, 2018a)

2. Categoría II Obras ordinarias. Estas obras son las que no se encuentran dentro de las categorías I, III o IV y que tienen una carga de ocupación inferior a 300 personas. Son las obras que no entran en ninguna otra categoría, pero si albergan personas. (AGIES, 2018a)

3. Categoría III Obras importantes. Son las obras que albergan o pueden afectar a una gran cantidad de personas, es donde los ocupantes estén restringidos en su desplazamiento. también pueden ser obras que albergan valores culturales, pero no son esenciales para funcionar luego de un desastre. (AGIES, 2018a)

4. Categoría IV Obras esenciales. Estas obras son las más importantes y las que deben de permanecer en operación antes, durante y después de un siniestro. Se incluyen tanto a las obras estatales como privadas que sean indispensables para la población. (AGIES, 2018a)

D. Clasificación de sitio

El sitio del proyecto se determina con base a las características que presenta el suelo debajo de los cimientos, las categorías existentes son: AB, C, D, E o F. La clasificación del sitio es vital para configurar de manera correcta el espectro del sismo de diseño. (AGIES, 2018b)

1. Clase de Sitio F. En esta clase de sitio el suelo puede sufrir fallas o deslaves por cargas sísmicas, debido a que el suelo esta compuesto por arcilla y tiene una alta plasticidad. (ASCE/SEI, 2016)

2. Clase de Sitio E. En esta clase de sitio se encuentran todos los suelos con una composición de arcilla de alta plasticidad, con un espesor mayor a 3 metros. (ASCE/SEI, 2016)

3. Clase de Sitio D y C. Para esta clase se tienen 2 valores específicos para cada suelo que son la Velocidad de onda sísmica (V_s) y la Penetración del Suelo de Esfuerzos (N). (ASCE/SEI, 2016)

4. Clase de Sitio A y B. Para esta clase se tienen 2 valores específicos para cada suelo que son la Velocidad de onda sísmica (V_s) y la Penetración del Suelo de Esfuerzos (N), con suelos de mayor resistencia. (ASCE/SEI, 2016)

Tabla 4.5-1 — Coeficientes de sitio F_a

Clase de sitio	Índice de sismicidad			
	2	3	4.1	4.2
AB	1.0	1.0	1.0	1.0
C [1]	1.0	1.0	1.0	1.0
D	1.0	1.0	1.0	1.0
E	1.0	1.0	1.0	1.0
F	Se requiere evaluación específica - ver Sección 4.4			

[1] En los casos en que la investigación de suelos abreviada no especifique si un suelo firme clasifica como C o como D, el factor F_a se tomará del suelo C.

Cuadro 1
Coeficientes del Sitio F_a NSE

(AGIES, 2018b)

Table 11.4-1 Short-Period Site Coefficient, F_a

Site Class	Mapped Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake (MCE_R) Spectral Response Acceleration Parameter at Short Period					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.5$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.0$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
C	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
E	2.4	1.7	1.3	See Section 11.4.8	See Section 11.4.8	See Section 11.4.8
F	See Section 11.4.8	See Section 11.4.8	See Section 11.4.8	See Section 11.4.8	See Section 11.4.8	See Section 11.4.8

Note: Use straight-line interpolation for intermediate values of S_S .

Cuadro 2
Coeficientes del Sitio F_a ASCE/SEI

(ASCE/SEI, 2016)

Tabla 4.5-2 — Coeficientes de sitio F_v

Clase de sitio	Índice de sismicidad			
	2	3	4.1	4.2
AB	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0
D ^[1]	1.0	1.0	1.0	1.0
E	1.0	1.0	1.0	1.0
F	Se requiere evaluación específica - ver Sección 4.4			

[1] En los casos en que la investigación de suelos abreviada no especifique si un suelo firme clasifica como C o como D, el factor F_v se tomará del suelo D.

Cuadro 3
Coeficientes del Sitio F_v NSE

(AGIES, 2018b)

Table 11.4-2 Long-Period Site Coefficient, F_v

Mapped Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake (MCE_R) Spectral Response Acceleration Parameter at 1-s Period						
Site Class	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 = 0.5$	$S_1 \geq 0.6$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
C	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
D	2.4	2.2 ^a	2.0 ^a	1.9 ^a	1.8 ^a	1.7 ^a
E	4.2	See Section 11.4.8	See Section 11.4.8	See Section 11.4.8	See Section 11.4.8	See Section 11.4.8
F	See Section 11.4.8	See Section 11.4.8	See Section 11.4.8	See Section 11.4.8	See Section 11.4.8	See Section 11.4.8

Note: Use straight-line interpolation for intermediate values of S_1 .

^aAlso, see requirements for site-specific ground motions in Section 11.4.8.

Cuadro 4
Coeficientes del Sitio F_v ASCE/SEI

(ASCE/SEI, 2016)

Table 20.3-1 Site Classification

Site Class	\bar{v}_s	\bar{N} or \bar{N}_{60}	\bar{s}_u
A. Hard rock	>5,000 ft/s	NA	NA
B. Rock	2,500 to 5,000 ft/s	NA	NA
C. Very dense soil and soft rock	1,200 to 2,500 ft/s	>50 blows/ft	>2,000 lb/ft ²
D. Stiff soil	600 to 1,200 ft/s	15 to 50 blows/ft	1,000 to 2,000 lb/ft ²
E. Soft clay soil	<600 ft/s	<15 blows/ft	<1,000 lb/ft ²
F. Soils requiring site response analysis in accordance with Section 21.1	Any profile with more than 10 ft of soil that has the following characteristics: — Plasticity index $PI > 20$, — Moisture content $w \geq 40\%$, — Undrained shear strength $\bar{s}_u < 500$ lb/ft ² See Section 20.3.1		

Note: For SI: 1 ft = 0.3048 m; 1 ft/s = 0.3048 m/s; 1 lb/ft² = 0.0479 kN/m².

Cuadro 5
Clase de sitio según ASCE/SEI 7-16

(ASCE/SEI, 2016)

E. Tipología estructural

1. Sistema E1 - Sistema de marcos especiales a momento. Este sistema está conformado por columnas y una viga, ambas de concreto reforzado, haciendo que ambos trabajen en el soporte de las cargas, ya sean horizontales o verticales. (de Hormigón Estructural EHE, 1999)

También llamado marco rígido es la conjunción de una viga y dos pilares o columnas, que se unen formando entre sí un nudo rígido capaz de mantenerse indeformable al ser esforzado. El nudo se puede desplazar y girar, pero no puede cambiar el ángulo inicial con la que se encuentra la viga y el pilar. (N. Hernández, 2016)

2. Sistema E2 - Sistema de cajón. Es un sistema sostenido por muros estructurales interconectados con losas que actúan como diafragmas. En este caso los muros soportan el 100 por ciento de las solicitaciones horizontales. (AGIES, 2018c)

3. Sistema E3 - Sistema combinado. Es un sistema en el que participan muros estructurales y marcos, todos se encuentran interconectados con losas que actúan como diafragma. Las solicitaciones horizontales son repartidas entre los muros y marcos en proporción a sus rigideces en el plano vertical. (AGIES, 2018c)

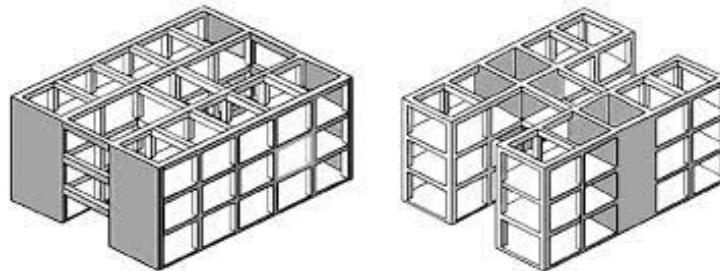


Figura 2. Imagen representativa del Sistema combinado

(Gómez, 2010)

4. Sistema E4 - Sistema dual. En el sistema dual se tiene un marco a momento y se combina con muro estructural o en algunos casos con elementos diagonales. Para que se le considere como sistema dual se tienen que cumplir algunos requisitos: El muro estructural debe soportar el 75 por ciento de las cargas sísmicas y el marco a momento el 25 por ciento restante sin tomar en cuenta el muro estructural. Además, no responde a la flexión y al pandeo, el esfuerzo de compresión y puntual son muy rígidos. (AGIES, 2018d)

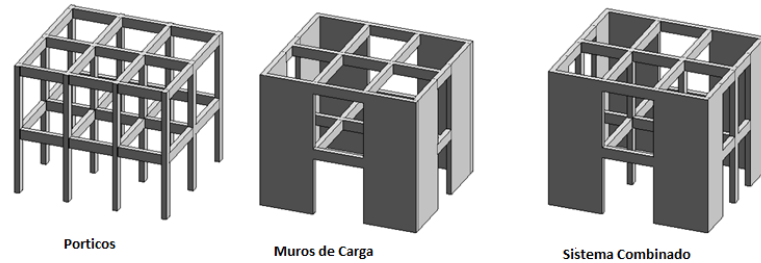


Figura 3. Imagen representativa de las diferencias entre sistemas estructurales.

(Ministerio de Ambiente, 2010)

5. Sistema E5 - Soportes en voladizo. Son estructuras de un solo nivel o que se realizan en el nivel superior de otras estructuras en las que columnas y/o muros soportan las cargas verticales y horizontales, actuando como voladizos verticales sin acción de marco en la dirección de carga horizontal. (AGIES, 2018c)

6. Sistema E6 - Péndulo invertido. Este sistema soporta la carga vertical y las fuerzas horizontales, actuando como un voladizo vertical aislado. Más del 50 por ciento de la masa del sistema está concentrada en el extremo superior y la estabilidad lateral de la masa depende de una restricción a momento. Por lo mismo la capacidad del momento flector en el extremo del soporte no será menos del 50 por ciento de capacidad en la base del soporte. (AGIES, 2018c)

Table 12.2-1 Design Coefficients and Factors for Seismic Force-Resisting Systems

Seismic Force-Resisting System	ASCE 7 Section Where Detailing Requirements Are Specified	Response Modification Coefficient, R ^a	Overstrength Factor, Ω _s ^b	Deflection Amplification Factor, C _d ^c	Structural System Limitations Including Structural Height, h _s , (ft) Limits ^d				
					Seismic Design Category				
					B	C	D ^e	E ^e	F ^e
A. BEARING WALL SYSTEMS									
1. Special reinforced concrete shear walls ^{a,b}	14.2	5	2½	5	NL	NL	160	160	100
2. Ordinary reinforced concrete shear walls ^d	14.2	4	2½	4	NL	NL	NP	NP	NP
3. Detailed plain concrete shear walls ^d	14.2	2	2½	2	NL	NP	NP	NP	NP
4. Ordinary plain concrete shear walls ^d	14.2	1½	2½	1½	NL	NP	NP	NP	NP
5. Intermediate precast shear walls ^d	14.2	4	2½	4	NL	NL	40 ^f	40 ^f	40 ^f
6. Ordinary precast shear walls ^d	14.2	3	2½	3	NL	NP	NP	NP	NP
7. Special reinforced masonry shear walls	14.4	5	2½	3½	NL	NL	160	160	100
8. Intermediate reinforced masonry shear walls	14.4	3½	2½	2¼	NL	NL	NP	NP	NP
9. Ordinary reinforced masonry shear walls	14.4	2	2½	1¾	NL	160	NP	NP	NP
10. Detailed plain masonry shear walls	14.4	2	2½	1¾	NL	NP	NP	NP	NP
11. Ordinary plain masonry shear walls	14.4	1½	2½	1¾	NL	NP	NP	NP	NP
12. Prestressed masonry shear walls	14.4	1½	2½	1¾	NL	NP	NP	NP	NP
13. Ordinary reinforced AAC masonry shear walls	14.4	2	2½	2	NL	35	NP	NP	NP
14. Ordinary plain AAC masonry shear walls	14.4	1½	2½	1½	NL	NP	NP	NP	NP
15. Light-frame (wood) walls sheathed with wood structural panels rated for shear resistance	14.5	6½	3	4	NL	NL	65	65	65
16. Light-frame (cold-formed steel) walls sheathed with wood structural panels rated for shear resistance or steel sheets	14.1	6½	3	4	NL	NL	65	65	65
17. Light-frame walls with shear panels of all other materials	14.1 and 14.5	2	2½	2	NL	NL	35	NP	NP
18. Light-frame (cold-formed steel) wall systems using flat-strap bracing	14.1	4	2	3½	NL	NL	65	65	65

Cuadro 6
Factores de Sistemas Estructurales según ASCE/SEI

(ASCE/SEI, 2016)

F. Elementos de un Sistema combinado

1. Cimentación. Elemento que se encarga de transmitir las cargas de la estructura al suelo. Para definir la resistencia de las dimensiones de una zapata o cabezal de pilote se debe determinar la presión de contacto con el suelo o la reacción del pilote debido a las cargas mayoradas aplicadas. (ACI, 2014)

2. Columna. Las columnas incluyen secciones de acero estructural embebidas en el concreto como las sección de acero estructural huecas rellenas con concreto. Son elementos que transmiten las cargas que reciben de las vigas hacia las cimentaciones. (ACI, 2014)

3. Viga. Las vigas son elementos que transmiten las cargas de las losas hacia las columnas. Las vigas de concreto reforzado sin arriostramiento lateral, no fallan prematuramente por pandeo lateral, siempre y cuando las vigas se carguen sin excentricidad que pueda causar torsión. (ACI, 2014)

4. Losa. Las losas reciben las cargas verticales y las transmiten a las vigas, es importante considerar la influencia de las aberturas en la resistencia a flexión y cortante de las losas, ya que se pueden crear secciones críticas. (ACI, 2014)

5. Muro estructural especial. También conocidos como muros de alta ductilidad, son los muros que cumplen con los requerimientos del código ACI 318-14. Estos muros están supuestos a tener una elevada capacidad post-elástica. Y a soportar una gran cantidad de carga sin deformarse, mejorando las propiedades de un muro estructural normal. (AGIES, 2018d)

Los muros estructurales especiales poseen una rigidez lateral que reduce las distorsiones de los entresijos debidos a los movimientos inducidos por el sismo, reducen la posibilidad de daño a los elementos no estructurales del edificio. Al combinarlo con marcos a momento el comportamiento del edificio mejora en cuanto a seguridad y control de daños, lo que los vuelve menos susceptibles de tener grandes deformaciones. (Chorro, 2004)

G. Cargas aplicadas

1. Cargas gravitacionales. Una carga gravitacional se refiere a las cargas aplicadas sobre un elemento estructural. Se incluye la carga muerta que incluye el peso propio de la estructura y cargas que no son variables, también se incluye la carga viva que son cargas variables. (ASCE/SEI, 2016)

2. Cargas accidentales. Las cargas accidentales son las que suceden eventualmente en la vida de una estructura, no es constante y pueden ser muy grandes. En este apartado se incluyen las cargas y presiones aplicadas por viento y sismo. (AGIES, 2018d)

3. Torsión inherente. El momento de torsión inherente resulta de la excentricidad entre la ubicación del centro de masa y centro de rigidez, para diafragmas no flexibles. Si se tienen diafragmas flexibles la distribución de fuerzas a los elementos verticales dependen de la posición y distribución de las masas soportadas. (ASCE/SEI, 2016)

4. Torsión accidental. El momento de torsión accidental es causado por un desplazamiento asumido del centro de masa en cada dirección desde su ubicación real por una distancia equivalente al 5 por ciento de la dimensión de la estructura perpendicular a la dirección de las fuerzas aplicadas. Donde la fuerza sísmica se aplica en 2 direcciones ortogonales, el 5 por ciento de desplazamiento debe de ser aplicado en ambas direcciones ortogonales al mismo tiempo, pero debe ser aplicada en la dirección que produce un mayor efecto. (ASCE/SEI, 2016)

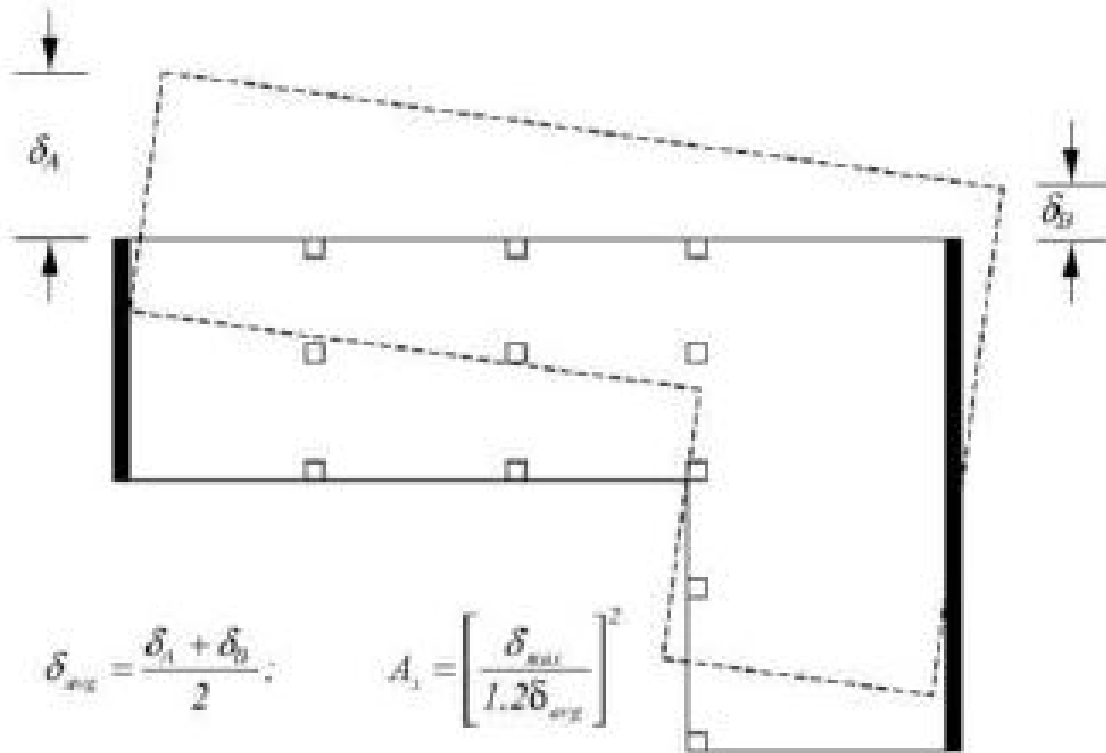


FIGURE 12.8-1 Torsional Amplification Factor, A_x

Figura 4. Imagen representativa de la torsión accidental

(ASCE/SEI, 2016)

H. Aspectos sísmicos

1. Tipos de fallas.

- a. Falla normal. Falla vertical en donde las placas realizan un movimiento de separación.
- b. Falla inversa. Falla vertical en donde las placas realizan un movimiento de unión.
- c. Falla transcurrente. Falla en sentido paralelo entre ambas placas.

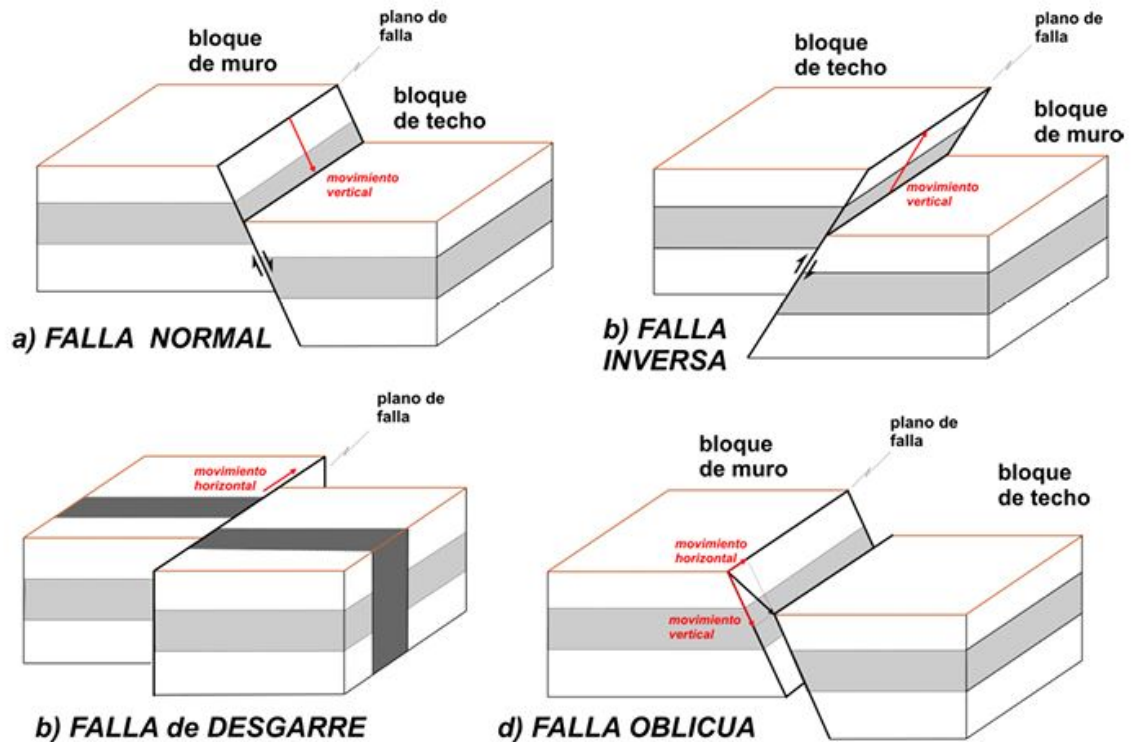


Figura 5. Imagen representativa de las diferentes fallas

(Giner-Robles, [s.f.](#))

2. Placas tectónicas. Las placas tectónicas se ubican en los primeros 100 Km de la superficie terrestre que se comportan como un material rígido, quebradizo y poco denso, llamado litosfera. La litosfera está fragmentada en varias placas que se mueven con velocidades de varios cm/año y su movimiento se da en las fallas que produce roces y deformaciones. (INSIVUMEH, [2023](#))

3. Movimiento de las placas tectónicas.

- Borde divergente. Es el movimiento en el que una placa se separa de la otra.
- Borde convergente. Es el movimiento en el que una placa se une a la otra.
- Borde transcurrente. Desplazamiento paralelo entre placas.

(INSIVUMEH, [2023](#))

4. Categorización por riesgo. Para las estructuras existe una categorización según el riesgo que puedan tener al momento de ocurrir un sismo. Los riesgos toman en cuenta la vida humana y su bienestar, se tiene un rango de nivel I al IV. Siendo el nivel I obras utilitarias, el II obras ordinarias, el III obras importantes y el IV obras esenciales. Mientras mayor sea la categoría, mayor será la protección sísmica de la estructura.

Table 1.5-1 Risk Category of Buildings and Other Structures for Flood, Wind, Snow, Earthquake, and Ice Loads

Use or Occupancy of Buildings and Structures	Risk Category
Buildings and other structures that represent low risk to human life in the event of failure	I
All buildings and other structures except those listed in Risk Categories I, III, and IV	II
Buildings and other structures, the failure of which could pose a substantial risk to human life	III
Buildings and other structures, not included in Risk Category IV, with potential to cause a substantial economic impact and/or mass disruption of day-to-day civilian life in the event of failure	
Buildings and other structures not included in Risk Category IV (including, but not limited to, facilities that manufacture, process, handle, store, use, or dispose of such substances as hazardous fuels, hazardous chemicals, hazardous waste, or explosives) containing toxic or explosive substances where the quantity of the material exceeds a threshold quantity established by the Authority Having Jurisdiction and is sufficient to pose a threat to the public if released ^a	
Buildings and other structures designated as essential facilities	IV
Buildings and other structures, the failure of which could pose a substantial hazard to the community	
Buildings and other structures (including, but not limited to, facilities that manufacture, process, handle, store, use, or dispose of such substances as hazardous fuels, hazardous chemicals, or hazardous waste) containing sufficient quantities of highly toxic substances where the quantity of the material exceeds a threshold quantity established by the Authority Having Jurisdiction and is sufficient to pose a threat to the public if released ^a	
Buildings and other structures required to maintain the functionality of other Risk Category IV structures	

^aBuildings and other structures containing toxic, highly toxic, or explosive substances shall be eligible for classification to a lower Risk Category if it can be demonstrated to the satisfaction of the Authority Having Jurisdiction by a hazard assessment as described in Section 1.5.3 that a release of the substances is commensurate with the risk associated with that Risk Category.

Cuadro 7
Categoría de estructuras por riesgo según ASCE/SEI 7-16

I. Medición de un sismo

Un sismo puede medirse según 2 valores principalmente:

1. Magnitud. La magnitud se encarga de cuantificar la cantidad de energía liberada al momento del sismo. Puede medirse según 2 escalas: la de Richter y la de Momento, ambas miden la magnitud y su diferencia es que la de Richter está un poco más limitada, esta escala llega hasta un valor de 6.9 y la de momento llega hasta 10 que es una magnitud que nunca se ha experimentado. (RSN, 2019)

2. Intensidad. Por su parte la intensidad mide la percepción de las personas y la cantidad de daños tanto materiales como económicos que ha provocado el sismo. Esta solo tiene una escala de medición y es la de Mercalli, tiene un rango de medición de 1 a 12 y se representa en números romanos. (RSN, 2019)

Grado	Tabla de Intensidad Mercalli Modificada (IMM)	Descripción
I. Imperceptible por humanos	Imperceptible para las personas. Sólo puede ser detectado por los sismógrafos.	
II. Muy leve	Sentido sólo por algunas personas en reposo, particularmente aquellas que se encuentran ubicadas en los pisos superiores de los edificios u otra situación favorable.	
III. Leve	Perceptible por algunas personas dentro de los edificios, especialmente en pisos altos. Objetos colgados oscilan de un lado a otro. Muchos no lo reconocen como sismo. Sensación semejante al paso de un camión pequeño.	
IV. Moderado	Sentido por la mayoría de personas dentro de los edificios y por pocas personas en el exterior durante el día. Durante la noche, algunas personas pueden despertarse. Platos, puertas y ventanas vibran. Las paredes y armazones de madera crujen. Los automóviles detenidos se balancean. Sensación semejante al paso de un camión grande.	
V. Un poco Fuerte	Sacudida sentida casi por todas las personas, quienes duermen se despiertan. Los líquidos se agitan y algunos se derraman. Los objetos pequeños e inestables son desplazados o volcados, unos pocos pueden llegar a romperse. Las puertas se balancean, se abren o se cierran. Los cuadros de las paredes se mueven. Se afectan los péndulos de los relojes mecánicos.	
VI. Fuerte	Sacudida sentida por todas las personas; muchas se asustan y salen al exterior. La gente camina inestablemente. Algunas piezas de vajilla o vidrios de ventanas se rompen. Adornos, libros, etc., caen de las estanterías. Los cuadros se caen de las paredes. Los muebles se mueven o vuelcan. Pocos casos de agrietamiento en paredes de block, caída de repellos débiles y agrietamiento en paredes de adobe y bahareque. Se observa la sacudida en los árboles, postes y otros objetos altos. Las campanas pequeñas suenan en iglesias, escuelas y colegios.	
VII. Muy fuerte	Difícil mantenerse de pie. Muebles dañados. Daños insignificantes en estructuras de buen diseño y construcción. Daños leves a moderados en estructuras ordinarias bien construidas. Daños considerables estructuras pobremente construidas. Perceptible por personas en vehículos en movimiento. Caída de cielos rasos, ladrillos sueltos, piedras, tejas, cornisas y otros elementos arquitectónicos no asegurados. Se producen olas en estanques y el agua se ve enturbada por el lodo. Pequeños corrimientos y hundimientos en arena o montones de grava. Las campanas grandes suenan.	
VIII. Destructivo	Conducción de autos afectada. Daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno; considerable en estructuras ordinarias con colapso parcial; grande en estructuras pobremente construidas. Los muebles pesados se vuelcan. La estructura de las casas se mueve sobre los cimientos si no están sujetas; trozos de pared sueltos o arrancados. Ramas de árboles rotas. Arena y lodo son proyectados en pequeñas cantidades. Cambios en el caudal o temperatura de fuentes y pozos. Grietas en suelo húmedo y pendientes fuertes.	
IX. Ruinoso	Pánico generalizado. Los edificios bien construidos sufren un daño considerable. Daño general en los cimientos. Las estructuras de armazón que no están bien cimentadas se desplazan. Armazones arruinados. Daños serios en embalses. Tuberías subterráneas rotas. Amplias grietas en el suelo. En áreas de aluvión hay eyección de arena y barro, aparecen fuentes y volcanes de arena.	
X. Desastroso	Algunas estructuras de madera bien construidas quedan destruidas. La mayoría de las construcciones y estructuras de armazón destruidas con sus cimientos. Puentes destruidos. Daños serios en presas, diques y terraplenes. Agrietamiento considerable en el terreno; ocurren grandes deslizamientos de taludes. El agua salta de las orillas de los canales, ríos, lagos, etc. Arena y barro desplazados horizontalmente en playas y tierras llanas. Las vías de los trenes llegan a doblarse ligeramente.	
XI. Muy desastroso	Muchos edificios colapsan. Algunos puentes destruidos. Las vías de los trenes se doblan de forma considerable. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio.	
XII. Catastrófico	Casi todo se destruye. Los objetos son arrojados al aire. Las ondas quedan "fossilizadas" en el terreno en forma pliegues. Perturbaciones de las cotas de nivel (ríos, lagos y mares). Se puede observar el desplazamiento de grandes masas de rocas.	

Figura 6. Escala de Mercalli

(RSN, 2019)

J. Zonificación sísmica de Guatemala

Para realizar el análisis sísmico de una estructura es necesario tomar en cuenta el sitio en el que se realiza la edificación. En este caso al realizarse en Guatemala existen factores que dependen de la ubicación dentro de los límites del país y el tipo de suelo a utilizar en la obra. Son 4 diferentes factores y están divididos para cada municipio del país, se puede encontrar en el siguiente mapa uno de los factores que es el índice de sismicidad:

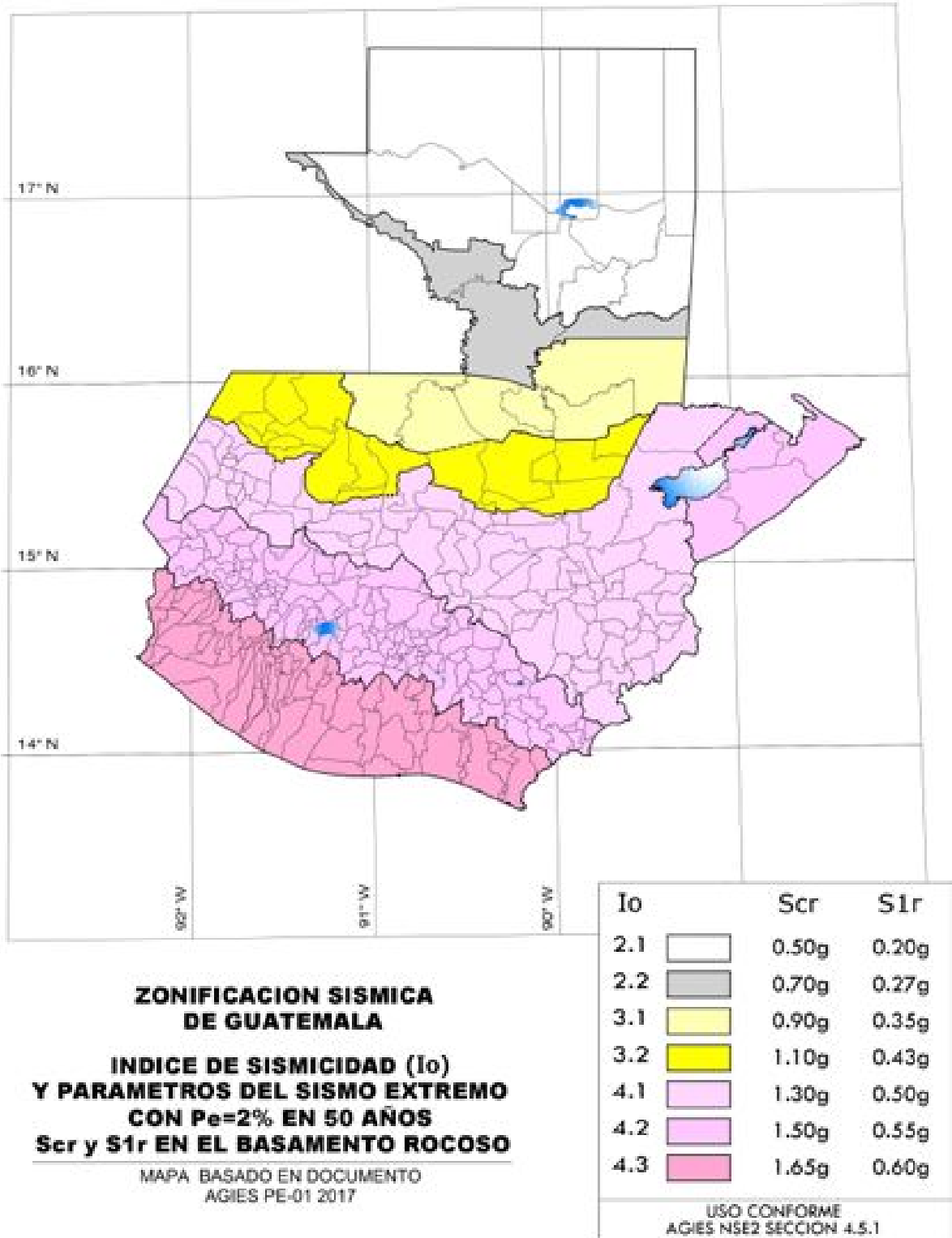


Figura 7. Índice de sismicidad en Guatemala

(AGIES, 2018b)

Hay otros 3 factores que son importantes para el análisis sísmico y que dependen exclusivamente del sitio y el tipo de suelo: S_{cr} (ordenada espectral para períodos cortos), S_{1r} (ordenada espectral para períodos de 1 segundo) y T_L que se pueden encontrar en esta tabla:

No.	Municipio	Departamento	Suelo Tipo A				Suelo Tipo B			Suelo Tipo C			Suelo Tipo D			Suelo Tipo E			Velocidad básica del viento (Km/h)
			l_0	S_{cr}	S_{1r}	T_L	S_{cr}	S_{1r}	T_L	S_{cr}	S_{1r}	T_L	S_{cr}	S_{1r}	T_L	S_{cr}	S_{1r}	T_L	
76	Guanagazapa	Escuintla	4.2	1.68	0.51	3.58	1.68	0.57	3.06	1.80	0.74	3.09	1.77	1.16	3.84	1.59	1.92	3.90	110
77	Guastatoya	El Progreso	4.1	1.16	0.43	3.48	1.38	0.48	3.43	1.87	0.71	2.90	1.63	1.19	3.48	1.31	1.65	3.75	100
78	Guatemala	Guatemala	4.1	1.28	0.47	2.48	1.43	0.52	2.43	1.53	0.68	2.69	1.43	0.88	3.26	1.28	1.66	3.49	100

Figura 8. Factores de sitio en Ciudad de Guatemala

(AGIES, 2018b)

K. Propiedades estructurales

1. Rigidez. La rigidez en las estructuras es la propiedad que tiene un elemento estructural para oponerse a las deformaciones, es la capacidad de un elemento de soportar cargas sin deformarse o desplazarse de forma excesiva. Está en función de 3 aspectos importantes: módulo de elasticidad del concreto, el momento de inercia y la longitud del elemento. En algunas ocasiones es necesario aumentar la rigidez de las estructuras y esto se puede hacer de las siguientes 3 formas: aumentando la sección transversal del elemento estructural, utilizando materiales con mayor módulo de elasticidad o disminuyendo la longitud del elemento.

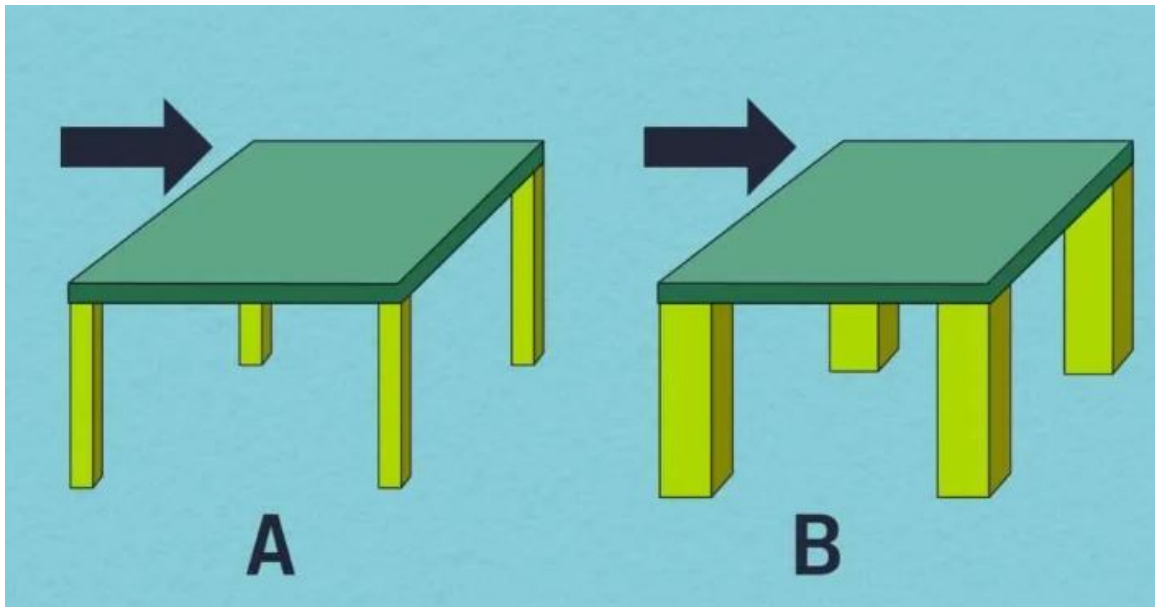


Figura 9. Representación de aumento de rigidez

(ARGOS, 2023)

2. Resistencia. La resistencia es la capacidad de soportar las acciones internas, generadas por las cargas y fuerzas laterales. Si se desea prevenir el daño de las estructuras es necesario mantenerlas en el rango elástico. (ASCE/SEI, 2016)

3. Ductilidad. La ductilidad es la habilidad de una estructura o sus componentes de ofrecer resistencia en el rango de respuesta inelástico. Existen tres niveles de ductilidad que son los siguientes:

a. Ductilidad alta (DA). Son los que desarrollan una alta capacidad post elástica y pueden llegar a deformarse considerablemente sin perder su capacidad. Es la cualidad recomendable para zonas de alta sismicidad.

b. Ductilidad intermedia (DI). Similar a la ductilidad alta, pero con diferentes especificaciones en la norma ASCE/SEI 7-16.

c. Ductilidad baja (DB). Cuando se encuentra este sistema se considera que es un sistema frágil y no es recomendable para zonas con sismicidad alta.

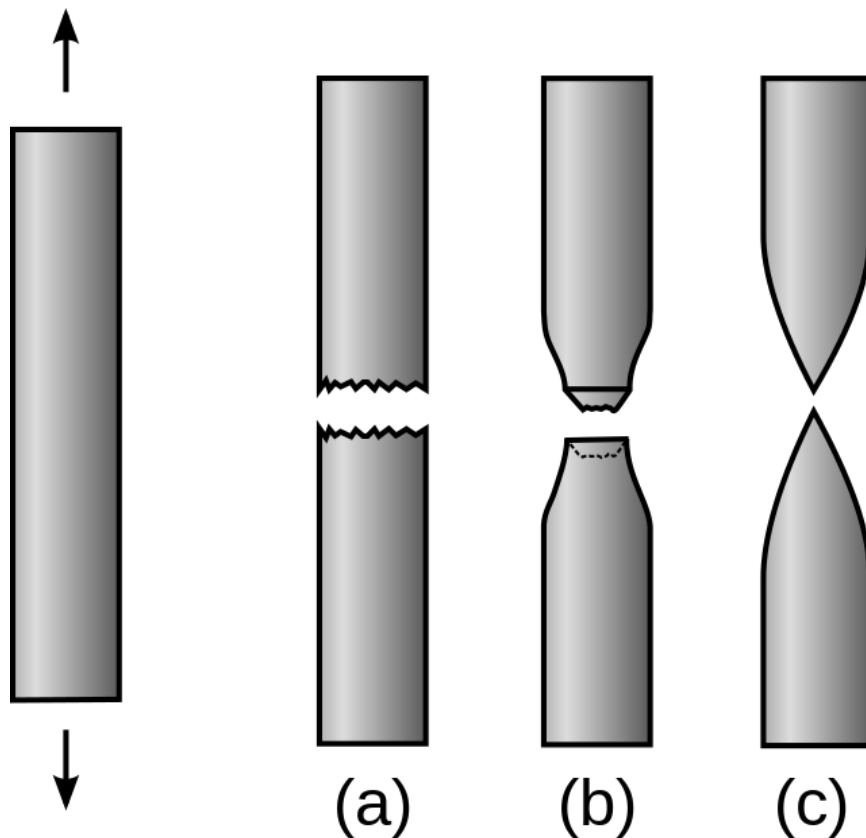


Figura 10. Representación de la ductilidad

(ASCE/SEI, 2016)

L. Espectro de respuesta

1. Diseño. Para poder realizar un espectro sísmico de respuesta los cálculos se realizan según la ubicación donde se está construyendo la edificación, el espectro es una gráfica donde se tiene en el eje de las ordenadas las pseudoaceleraciones (S_a) y en el eje de las abscisas se tiene el período (T), para esto se tienen las siguientes ecuaciones que representan las pseudoaceleraciones que se pueden formar en el sitio que dependen del período: (ASCE/SEI, 2016)

$$S_a(T) = S_{cd} \left[0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right] \quad \text{cuando } T < T_0$$

$$S_a(T) = S_{cd} \quad \text{cuando } T_0 \leq T \leq T_S$$

$$S_a(T) = \frac{S_{1d}}{T} \leq S_{cd} \quad \text{cuando } T_S < T < T_L$$

$$S_a(T) = \frac{S_{1d}}{(T^2)} * T_L \quad \text{cuando } T \geq T_L$$

Figura 11. Ecuaciones de la pseudoaceleración según su período

(AGIES, 2018b)

Donde:

- a. $S_a(T) = .$ Pseudoaceleración para el período fundamental
- b. $T = .$ Período fundamental de la estructura
- c. $S_{cd} = .$ Ordenada espectral para períodos cortos
- d. $S_{1d} = .$ Ordenada espectral para períodos de 1 segundo
- e. $T_0 = .$ $0.2 * T_s$
- f. $T_s = .$ S_{1s} / S_{cs}
- g. $T_L = .$ Período de transición a largo plazo

2. Análisis de respuesta modal. En este método de análisis la estructura se descompone en sistemas de un solo grado de libertad, cada uno con un solo modo y un solo período de vibración. El número de modos es igual al número de grados de libertad de masa de la estructura por cada nivel, el diafragma rígido se utilizan para reducir el número de grados de libertad a 3 por nivel en estructuras de 3 dimensiones. Para una dirección de carga específica el desplazamiento en cada modo se determina a partir de la aceleración espectral, la participación modal y la forma del modo correspondiente. La combinación estadística de respuestas modales produce estimaciones lo suficientemente precisas de los desplazamientos y las fuerzas.

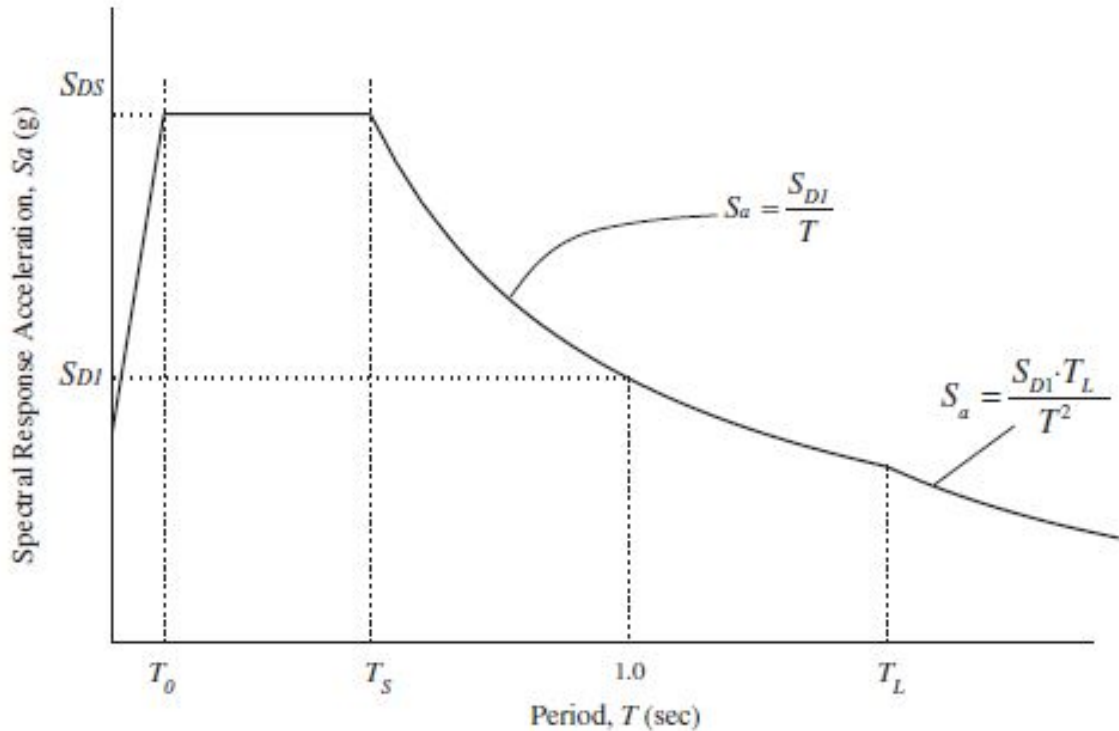


FIGURE 11.4-1 Design Response Spectrum

Figura 12. Espectro de respuesta

(ASCE/SEI, 2016)

3. Valores de R, Cd, p, Omega 0 y Sr.

a. R (Factor de Modificación de Respuesta Sísmica). Se utiliza para reducir los espectros sísmicos elásticos que son amenaza sísmica en el sitio.

b. Cd (Factor de Incremento del Desplazamiento Elástico). Amplifica el desplazamiento del modelo estructural resultante del análisis elástico para el desplazamiento post-elástico.

c. p (Factor de Falta de Redundancia). Si la estructura no tiene redundancia estructural este factor la castiga, al igual que la presencia de irregularidades.

d. Omega 0 (Factor de Incremento de Resistencia). Utilizado para aumentar la resistencia elástica de componentes críticos de la estructura.

e. Sr. Factor de sobre resistencia inherente de un sistema estructural.

SISTEMA ESTRUCTURAL Sección 1.6 [a]		Norma	R	Ω_R	Cd	Límite de altura en metros SL - sin límite NP - no permitido				notas
						Nivel de protección				
						B	C	D	E	
E1	SISTEMA DE MARCOS RESISTENTES A MOMENTO	1.6.2								
	Marcos dúctiles DA									
	De concreto reforzado	NSE 7.1	8	3	5.5	SL	SL	SL	SL	[b]
	De acero estructural	NSE 7.5	8	3	5.5	SL	SL	SL	SL	--
	Compuestos acero-concreto	NSE 7.1 / 7.5	8	3	5.5	SL	SL	SL	SL	[g]

Cuadro 8
Valores para sistema E1

(AGIES, 2018c)

E4	SISTEMA DUAL	1.6.5								
	Marcos de concreto reforzado DA									
	Con muros estructurales									
	De concreto reforzado DA	NSE 7.1	7	2.5	5.5	SL	SL	SL	SL	
	De mampostería reforzada DA	NSE 7.4	4.5	3	4	[f]	[f]	[f]	[f]	[e]
	Marcos de acero DA									
	Con riostras excéntricas DA	NSE 7.5	8	2.5	4	SL	SL	SL	SL	
	Con riostras concéntricas DA	NSE 7.5	7	2.5	5.5	SL	75	55	33	

Cuadro 9
Valores para sistema E4

(AGIES, 2018c)

M. Probabilidad de ocurrencia de los sismos

Los eventos sísmicos no pueden ser predecidos debido a la aleatoriedad de su ocurrencia, pero según datos históricos se puede asumir una probabilidad de ocurrencia. Esta probabilidad afecta al momento del cálculo para el sismo de diseño en el nivel de protección sísmica y según la NSE 2 se tienen las siguientes clasificaciones para la probabilidad de ocurrencia:

- Sismo mínimo. Para obras utilitarias.

- b. Sismo básico. Para obras ordinarias, 10 por ciento en 50 años.
- c. Sismo severo. Para obras importantes, 5 por ciento en 50 años.
- d. Sismo extremo. Para obras esenciales, 2 por ciento en 50 años.

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

[a] Ver clasificación de obra en NSE 1 Capítulo 3.
 [b] Ver índice de sismicidad en Sección 4.2.1.
 [c] Ver Sección 4.4 para selección de espectro sísmico de diseño según probabilidad de excederlo.
 [d] A las obras "Esenciales" e "Importantes" les corresponde un sismo con la misma probabilidad de excedencia – se diferencian en detalles del Nivel de Protección y en las deformaciones laterales permitidas.
 [e] Ver Sección 4.4.2 (d).

Cuadro 10
 Nivel de protección sísmica y probabilidad de ocurrencia

(AGIES, 2018b)

N. Fuerza lateral equivalente

El método de fuerza lateral equivalente nos permite incorporar los efectos de la fuerza dinámica de manera sencilla. Es un procedimiento que puede utilizarse como solución final ya que brinda una respuesta acorde a la realidad, se basa en calcular el cortante basal que tendrá la estructura, luego distribuir de forma vertical ese cortante en todos los niveles de la estructura y también distribuirlo en largo y ancho. Para poder consolidar este método es necesario tomar en cuenta una serie de suposiciones para que el modelo se simplifique. (ASCE/SEI, 2016)

Ñ. Derivas laterales

Es una medida unitaria del desplazamiento lateral que sufre una estructura durante un sismo. Es la suma de la deformación elástica y post-elástica medida, divididas por la altura del piso. (AGIES, 2018d)

También conocida como deriva de entrepiso, es la diferencia de desplazamientos laterales totales entre dos niveles consecutivos. Por lo cual la deriva es relativa al punto de observación, pero la deriva máxima será el valor más crítico. (Chorro, 2004)

1. Determinación de derivas por nivel. El diseño de las derivas por nivel debe ser calculada como la diferencia de las deflexiones en los centros de masa, ubicados en la parte superior e inferior del nivel analizado. En casos donde los centros de masa no se alineen verticalmente, está permitido calcular la deflexión en la parte inferior del nivel basado en la proyección vertical del centro de masa en la parte superior. Para calcular la deriva del nivel x se tiene que utilizar la siguiente ecuación: (ASCE/SEI, 2016)

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Figura 13. Ecuación para calcular la deriva por nivel

(ASCE/SEI, 2016)

2. Deformación última. Representa la deformación de una estructura después de haber excursionado al rango post-elástico. (AGIES, 2018c)

3. Efecto P-Delta. Los efectos P-Delta son efectos incrementales de segundo orden que pueden ser significativos en estructuras muy esbeltas. El cual se basa en el coeficiente de inestabilidad. (AGIES, 2018c)

4. Derivas laterales admisibles. Se especifican las derivas máximas que se permiten para cada estructura de nivel a nivel. (AGIES, 2018c)

Tabla 4.3.3 — Derivas últimas Δ_U máximas tolerables

Estructura	Clasificación de obra		
	Categoría II	Categoría III	Categoría IV
Edificaciones NSE 7.4	0.007 h_p	0.007 h_p	0.007 h_p
Edificaciones NSE 7.9	0.010 h_p	0.010 h_p	0.010 h_p
Edificaciones en general	0.020 h_p	0.020 h_p	0.015 h_p

h_p es la altura del piso para el que se calcula la deriva.^[1]

^[1]Para el diseño de estructuras de acero, aplicar la Tabla 6.2.1 de la norma NSE 7.5.

Cuadro 11
Tabla de derivas máximas tolerables

(AGIES, 2018c)

Table 12.12-1 Allowable Story Drift, $\Delta_x^{a,b}$

Structure	Risk Category		
	I or II	III	IV
Structures, other than masonry shear wall structures, four stories or less above the base as defined in Section 11.2, with interior walls, partitions, ceilings, and exterior wall systems that have been designed to accommodate the story drifts	$0.025h_x^c$	$0.020h_{xx}$	$0.015h_{xx}$
Masonry cantilever shear wall structures ^d	$0.010h_{xx}$	$0.010h_{xx}$	$0.010h_{xx}$
Other masonry shear wall structures	$0.007h_{xx}$	$0.007h_{xx}$	$0.007h_{xx}$
All other structures	$0.020h_{xx}$	$0.015h_{xx}$	$0.010h_{xx}$

^a h_x is the story height below level x .

^bFor seismic force-resisting systems solely comprising moment frames in Seismic Design Categories D, E, and F, the allowable story drift shall comply with the requirements of Section 12.12.1.1.

^cThere shall be no drift limit for single-story structures with interior walls, partitions, ceilings, and exterior wall systems that have been designed to accommodate the story drifts. The structure separation requirement of Section 12.12.3 is not waived.

^dStructures in which the basic structural system consists of masonry shear walls designed as vertical elements cantilevered from their base or foundation support that are so constructed that moment transfer between shear walls (coupling) is negligible.

Cuadro 12
Derivas máximas permisibles

(ASCE/SEI, 2016)

O. Análisis modal del espectro de respuesta

1. Número de modos. Se debe de realizar un análisis para determinar los modos naturales de vibración de la estructura. El análisis debe incluir la cantidad suficiente de modos para obtener una participación de masa modal del 100 por ciento de la masa de la estructura. Para este propósito, se permite representar todos los modos con períodos menores de 0.05 segundos en un solo cuerpo modal rígido que tiene un período de 0.05 segundos. (ASCE/SEI, 2016)

Excepción: Alternativamente, al análisis se le permite incluir el mínimo de modos necesarios para obtener una masa modal combinada de de 90 por ciento de la masa real en cada dirección ortogonal horizontal de respuesta considerada en el modelo. (ASCE/SEI, 2016)

2. Parámetros de respuesta modal. El valor de cualquier diseño relacionado con fuerzas debe de ser calculado utilizando las propiedades de cada modo y la respuesta espectral definida en la sección 11.4.6 o 21.2 dividido por la cantidad R/I_e . El valor de desplazamiento y derivas debe de ser multiplicado por la cantidad Cd/I_e . (ASCE/SEI, 2016)

3. Parámetros de respuesta combinados. El valor para cada parámetro de interés calculado para los diferentes modos debe estar combinado utilizando el método de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados, la combinación cuadrática completa o el modificado por el ASCE 4. (ASCE/SEI, 2016)

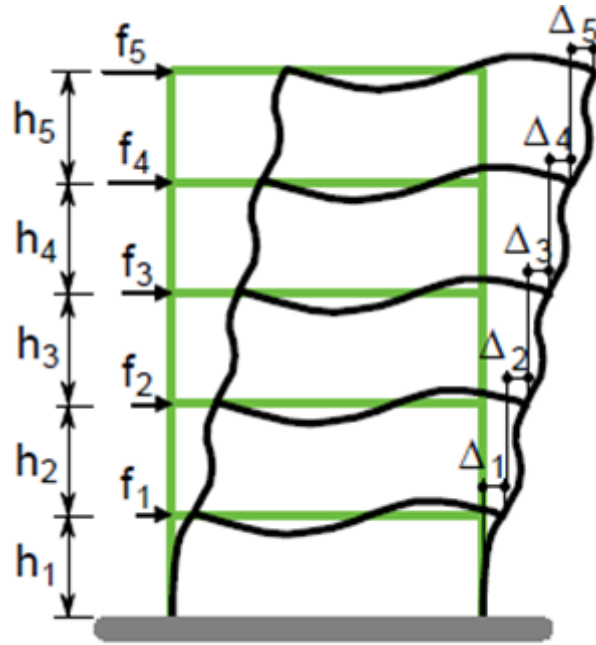


Figura 14. Imagen representativa de la acción causada por las derivas.

(Ministerio de Ambiente, 2010)

P. Modificación de la respuesta de diseño

1. Determinación del máximo elástico e inelástico del cortante en la base. Para cada movimiento de tierra analizado, se le asigna un cortante máximo en la base llamado V_{EX} y V_{EY} en la dirección X y Y respectivamente. De la misma forma para cada movimiento de tierra analizado se le asigna un cortante mínimo en la base nombrado como V_{IX} y V_{IY} en ambas direcciones. (ASCE/SEI, 2016)

$$V_{IX} = \frac{V_{EX} I_e}{R_X} \quad (12.9-1)$$

$$V_{IY} = \frac{V_{EY} I_e}{R_Y} \quad (12.9-2)$$

Figura 15. Ecuaciones para el cortante mínimo en ambas direcciones

(ASCE/SEI, 2016)

2. Determinación del factor de escala en el cortante de la base. Para el cortante en X y Y debe analizarse un factor de escala de cortante en la dirección de respuesta que corresponde. (ASCE/SEI, 2016)

$$\eta_x = \frac{V_x}{V_{IX}} \geq 1.0 \quad (12.9-3)$$

$$\eta_y = \frac{V_y}{V_{IY}} \geq 1.0 \quad (12.9-4)$$

Figura 16. Ecuaciones para el factor de cortante en ambas direcciones

(ASCE/SEI, 2016)

Q. Muros estructurales y su anclaje

Los muros estructurales deben ser diseñados para una fuerza normal en la superficie equivalente a $F_p = 0.4S_d I_e$ veces el peso del muro estructural con la fuerza mínima de 10 por ciento del peso del muro estructural. Los muros estructurales deben ser diseñados para resistir la flexión entre anclajes donde su espaciamiento supere los 4 pies, la interconexión estructural de los elementos y conexiones que deben soportar la fuerza rotacional, ductilidad y cambios térmicos combinado con las fuerzas sísmicas. (ASCE/SEI, 2016)

1. Muros estructurales especiales. En Esta sección se tienen los requisitos para el diseño y el detallado de muros estructurales especiales y todos sus componentes incluyendo vigas de acople y machones de muro. Los requisitos de diseño para segmentos de muros verticales depende de la relación de las dimensiones del segmento en el plano del muro y la relación de las dimensiones de su sección horizontal. (ACI, 2014)

Tabla R18.10.1 — Requisitos que dominan en el diseño de segmentos verticales de muro^[1]

Altura libre del segmento vertical de muro / longitud del segmento vertical de muro, (h_w/ℓ_w)	Longitud del segmento vertical de muro / Espesor del muro (ℓ_w/b_w)		
	$\ell_w/b_w \leq 2.5$	$2.5 < \ell_w/b_w \leq 6$	$\ell_w/b_w > 6$
$h_w/\ell_w < 2$	Muro	Muro	Muro
$h_w/\ell_w \geq 2$	El machón de muro debe cumplir los requisitos de diseño de columnas, véase 18.10.8.1	El machón de muro debe cumplir los requisitos de columna o requisitos alternos, véase 18.10.8.1	Muro

^[1] h_w es la altura libre, ℓ_w es la longitud horizontal, y b_w es el espesor del alma del segmento de muro.

Cuadro 13

Requisitos diseño de segmentos verticales de muro

(ASCE/SEI, 2016)

2. Refuerzo transversal. Los muros estructurales que no se diseñen con el capítulo 18.10.6.2 deben tener elementos especiales de borde en los bordes y alrededor de las aberturas de los muros estructurales cuando el esfuerzo a compresión máximo de la fibra extrema, correspondiente a las combinaciones de carga de diseño que incluyen efectos sísmicos. Los esfuerzos deben calcularse cuando un modelo lineal elástico y las propiedades de la sección bruta. (ACI, 2014)

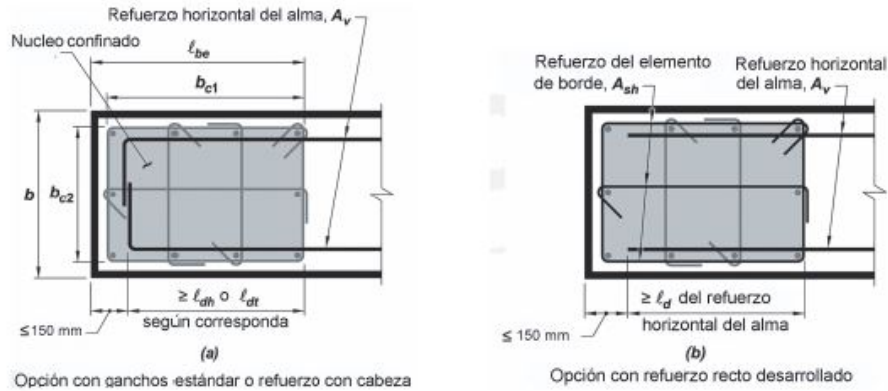


Fig. R18.10.6.4.1 — Desarrollo del refuerzo horizontal del muro dentro del elemento confinado de borde

Figura 17. Detalle del muro estructural

(ASCE/SEI, 2016)

R. Derivas y deformación

1. Deflexión del diafragma. La deflexión en el plano del diafragma, como lo determina el análisis del ingeniero, no debe exceder la deflexión permisible de los elementos adjuntos. La deflexión permisible debe permitir a los elementos mantener su integridad estructural bajo la carga individual y continuo para soportar las cargas prescritas. (ASCE/SEI, 2016)

2. Separación estructural. Todas las porciones de la estructura debe ser diseñada y construida para actuar como una unidad integral para resistir las fuerzas sísmicas a menos que estén separados estructuralmente por una distancia suficiente como para evitar dañar el contacto como se establece en la sección. Las separaciones deben ser permitir la respuesta inelástica máxima de desplazamiento que se tiene que determinar en las ubicaciones críticas con consideración en desplazamientos torsionales y traslaciones de la estructura, utilizando la siguiente ecuación: (ASCE/SEI, 2016)

$$\delta_M = \frac{C_d \delta_{\max}}{I_e} \quad (12.12-1)$$

Figura 18. Ecuaciones para el factor de cortante en ambas direcciones

(ASCE/SEI, 2016)

S. Diseño de muros estructurales según ACI 318-14

1. Límites de diseño. Existe un espesor mínimo del muro que debe cumplir que se indica en la tabla a continuación:

Table 11.3.1.1—Minimum wall thickness h

Wall type	Minimum thickness h		
Bearing ⁽¹⁾	Greater of:	4 in.	(a)
		1/25 the lesser of unsupported length and unsupported height	(b)
Nonbearing	Greater of:	4 in.	(c)
		1/30 the lesser of unsupported length and unsupported height	(d)
Exterior basement and foundation ⁽¹⁾	7.5 in.		(e)

⁽¹⁾Only applies to walls designed in accordance with the simplified design method of 11.5.3.

Cuadro 14
Espesor mínimo del muro estructural

(ACI, 2014)

Se permiten muros más delgados siempre y cuando el análisis estructural demuestre que el muro posee la resistencia y estabilidad necesaria. (ACI, 2014)

2. Cargas axial y flexión fuera del plano. Si la carga resultante se encuentra dentro del tercio medio el espesor total del muro estructural de una sección transversal rectangular, se calcula P_n de la siguiente forma:

$$P_n = 0.55 * f'c * A_g \left[1 - \left(\frac{k * L_c}{32 * h} \right)^2 \right] \quad (1)$$

Donde:

- $f'c$ = Resistencia a compresión del concreto a los 28 días
- A_g = Área gruesa de la sección analizada
- k = Factor de longitud efectiva
- L_c = Longitud del muro a compresión
- h = Espesor del muro analizado

El factor k tiene ciertas condiciones para escoger su valor y son las siguientes:

Boundary conditions	<i>k</i>
Walls braced top and bottom against lateral translation and:	
(a) Restrained against rotation at one or both ends (top, bottom, or both)	0.8
(b) Unrestrained against rotation at both ends	1.0
Walls not braced against lateral translation	2.0

Figura 19. Factor k para la longitud efectiva del muro estructural

(ACI, 2014)

3. Momento y cargas axiales. Los muros estructurales son controlados por flexión, esto se debe a que los muros soportan una gran capacidad a cortante y es más necesario controlar su flexión que no es tan efectiva. (ACI, 2014)

El momento a flexión debe cumplir con la siguiente ecuación utilizada para obtener el refuerzo longitudinal necesario en el muro estructural:

$$M_u = \phi * A_s * F_y \left(\frac{A_s * F_y}{0.85 * f'_c * b * 2} \right) \quad (2)$$

Donde:

- f'_c = Resistencia a compresión del concreto a los 28 días
- A_s = Área de acero longitudinal
- d = 80 % de la longitud del muro estructural
- b = Ancho del muro estructural
- F_y = Límite de fluencia del acero

(ACI, 2014)

4. Factores de resistencia. Todos los elementos estructurales tienen un factor de resistencia de diseño que funciona como seguridad para lograr que las cargas nominales sean mayores que los esfuerzos últimos para cada caso, se encuentran en la siguiente tabla:

Action or structural element		ϕ	Exceptions
(a)	Moment, axial force, or combined moment and axial force	0.65 to 0.90 in accordance with 21.2.2	Near ends of pre-tensioned members where strands are not fully developed, ϕ shall be in accordance with 21.2.3.
(b)	Shear	0.75	Additional requirements are given in 21.2.4 for structures designed to resist earthquake effects.
(c)	Torsion	0.75	—
(d)	Bearing	0.65	—
(e)	Post-tensioned anchorage zones	0.85	—
(f)	Brackets and corbels	0.75	—
(g)	Struts, ties, nodal zones, and bearing areas designed in accordance with strut-and-tie method in Chapter 23	0.75	—
(h)	Components of connections of precast members controlled by yielding of steel elements in tension	0.90	—
(i)	Plain concrete elements	0.60	—
(j)	Anchors in concrete elements	0.45 to 0.75 in accordance with Chapter 17	—

Cuadro 15
Factores de reducción de resistencia para cada elemento estructural

(ACI, 2014)

5. Cortante en muros estructurales. El cortante es la mejor capacidad de los muros estructurales, dentro el elemento se encuentran esfuerzos de compresión y tensión. Estos muros deben de diseñarse para el cortante máximo en el plano y fuera del plano, con la siguiente ecuación:

$$V_n = A_{cv} (ac * \sqrt{f'_c} + \rho_t * F_y) \quad (3)$$

Donde:

- f'_c = Resistencia a compresión del concreto a los 28 días
- A_{cv} = Área bruta de concreto limitada por el grosor del muro y la longitud de la sección
- ρ_t = Cuantía de acero transversal para muros estructurales
- ac = Coeficiente de contribución del concreto a la resistencia al corte nominal
- F_y = Límite de fluencia del acero

(ACI, 2014)

6. Cuantía mínima requerida. El refuerzo de acero tanto vertical como horizontal es necesario para los muros estructurales para alcanzar su capacidad a tensión. Al tener cargas elevadas no se puede tener una estructura sin refuerzo, el chequeo mínimo de acero para muros estructurales según el código ACI 318-14 tiene que cumplir con los siguientes requisitos:

$$Vu \geq 0.5 * \phi * Vc, \text{ debe cumplirse con :} \quad (4)$$

Donde:

- La cuantía debe ser mayor a 0.0025 como mínimo para la estructura y cumplir con la siguiente ecuación:

$$Pt \geq 0.0025 + 0.5 * \left(2.5 - \frac{hw}{lw}\right) * (Pt - 0.0025) \quad (5)$$

Donde:

- hw = Altura del muro estructural
- lw = Largo del muro estructural, en pulgadas
- Pt = Cuantía de acero transversal para muros estructurales

Wall type	Type of nonprestressed reinforcement	Bar/wire size	f_y , psi	Minimum longitudinal ^[1] , ρ_l	Minimum transverse, ρ_t
Cast-in-place	Deformed bars	≤ No. 5	≥ 60,000	0.0012	0.0020
			< 60,000	0.0015	0.0025
		> No. 5	Any	0.0015	0.0025
	Welded-wire reinforcement	≤ W31 or D31	Any	0.0012	0.0020
Precast ^[2]	Deformed bars or welded-wire reinforcement	Any	Any	0.0010	0.0010

Cuadro 16
Cuantía mínima necesaria para muros estructurales

(ACI, 2014)

7. Separaciones mínimas. El código ACI 318-14 menciona separaciones máximas y mínimas que garantizan la integridad estructural del diseño en caso de tener errores en campo. Para los muros estructurales la separación del refuerzo transversal no debe exceder el menor de las siguientes 3 opciones:

- 3h
- $lw/5$
- 18 pulgadas

(ACI, 2014)

8. Recubrimientos. El recubrimiento necesario para los diferentes elementos dependen de su exposición al ambiente y si se encuentran en contacto con el suelo, al igual que el tipo de varilla que utilizan como refuerzo. Con todas estas consideraciones se tiene la siguiente tabla que indica el recubrimiento necesario para cada elemento estructural:

Concrete exposure	Member	Reinforcement	Specified cover, in.
Cast against and permanently in contact with ground	All	All	3
Exposed to weather or in contact with ground	All	No. 6 through No. 18 bars	2
		No. 5 bar, W31 or D31 wire, and smaller	1-1/2
Not exposed to weather or in contact with ground	Slabs, joists, and walls	No. 14 and No. 18 bars	1-1/2
		No. 11 bar and smaller	3/4
	Beams, columns, pedestals, and tension ties	Primary reinforcement, stirrups, ties, spirals, and hoops	1-1/2

Cuadro 17
Recubrimiento para elementos de concreto reforzado

(ACI, 2014)

T. Estructuras sismo resistentes

1. Vigas especiales resistentes a momento. Estas vigas forman parte del sistema resistente ante fuerzas sísmicas y se diseñan principalmente para resistir flexión y cortante. Las vigas deben de cumplir con los siguientes límites dimensionales:

- La luz libre l_n no debe ser menor que $4d$.
- El ancho b_w debe ser al menos igual al menor entre $0.3h$ y 10 pulgadas.
- La proyección del ancho de la viga no debe exceder el menor de c_2 y $0.75c_1$.

En cuanto al refuerzo longitudinal de las vigas deben tener al menos dos barras continuas tanto en la cara superior como inferior para la flexión positiva y negativa. La resistencia a momento positivo en la cara del nudo no debe ser menor que la mitad de la resistencia al momento negativo en esa misma cara. La resistencia a momento negativo o positivo a lo largo de la viga debe ser un cuarto de la resistencia máxima a momento en la cara de los nudos. (ACI, 2014)

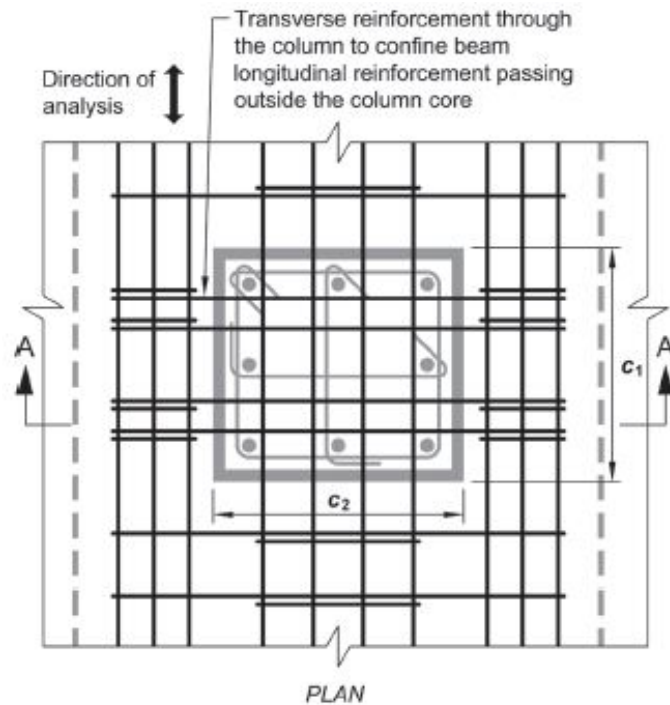


Figura 20. Vista en sección de una viga resistente a momento

(ACI, 2014)

El refuerzo transversal suelen ser estribos cerrados en la siguientes regiones de la viga:

- En una longitud igual a dos veces la altura de la viga, medida desde la cara del apoyo hacia el centro de la luz, en ambos extremos de la viga.
- En longitudes iguales a dos veces la altura de la viga en ambos lados de una sección donde puede ocurrir fluencia por flexión debido a los desplazamientos.

Los estribos deben estar situados a no más de 50 mm de la cara de la columna de apoyo. El espaciamiento de los estribos cerrados de confinamiento no debe de excede el menor de los siguientes valores:

- $d/4$
- Seis veces el diámetro de las varillas principales a flexión más pequeñas
- 6 pulgadas

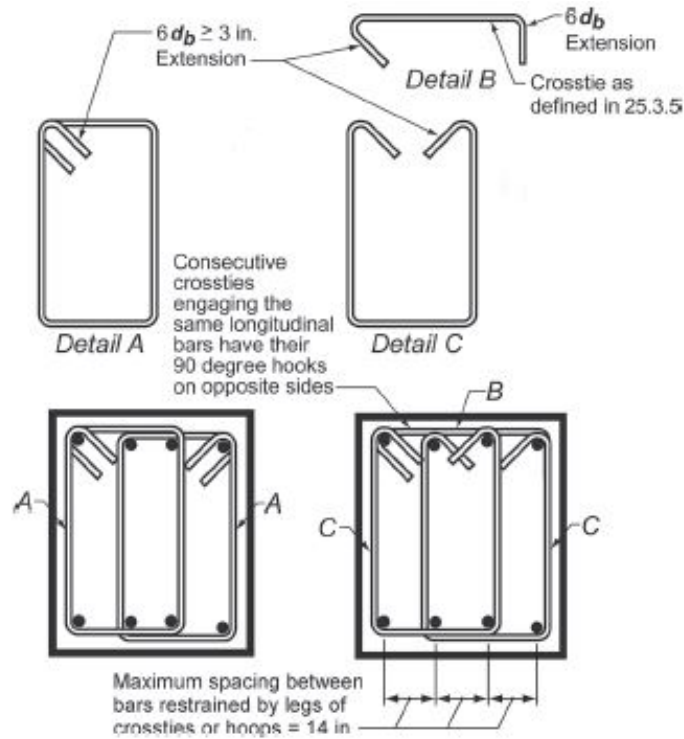
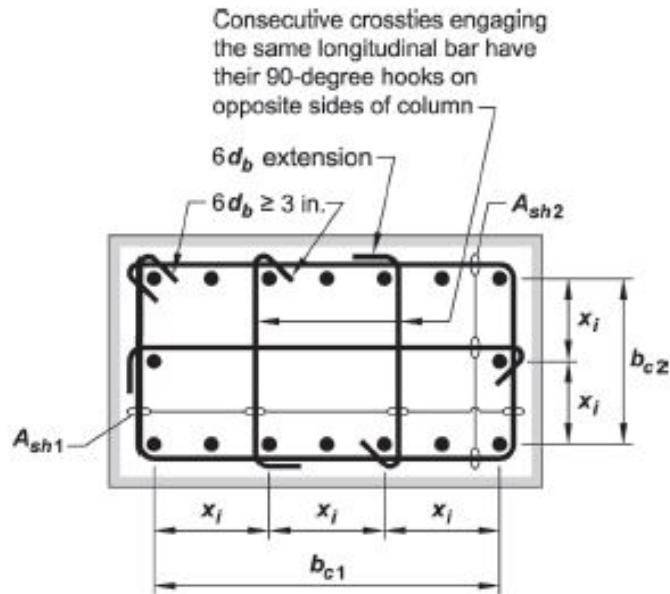


Figura 21. Ejemplos de los detalles del refuerzo transversal en vigas resistentes a momento

(ACI, 2014)

2. Columnas especiales resistentes a momento. Las columnas que aplican a esta sección son las que forman parte del sistema de resistencia ante las solicitaciones sísmicas y que se diseñan para resistir flexión, cortante y fuerzas axiales. Las columnas tienen 2 límites dimensionales y son las siguientes:

- La dimensión menor de la sección transversal, medida desde el centroide geométrico, debe ser de al menos 300 mm.
- La relación entre la dimensión menor de la sección transversal y la perpendicular debe ser al menos 0.4.



The dimension x_j from centerline to centerline of laterally supported longitudinal bars is not to exceed 14 inches. The term h_x used in Eq. (18.7.5.3) is taken as the largest value of x_j .

Figura 22. Ejemplos de los detalles del refuerzo transversal en columnas resistentes a momento

(ACI, 2014)

El refuerzo longitudinal debe ser al menos 0.01 del área gruesa y no debe exceder 0.06 del área gruesa. Para columnas donde se utilizan estribos circulares (zunchos) debe de haber por lo menos 6 varillas longitudinales. Los empalmes por traslapo se permiten solamente dentro de la mitad central de la longitud del miembro, deben estar confinados por el refuerzo transversal y diseñarse como traslapo en tracción. (ACI, 2014)

El refuerzo transversal debe colocarse a una longitud lo medida desde la cara del nudo y esta longitud debe ser la mayor de las siguientes 3:

- La altura de la columna en la cara del nudo o en la sección donde puede ocurrir fluencia por flexión.
- Un sexto de la luz libre de la columna
- 18 pulgadas

(ACI, 2014)

Table 18.75.4—Transverse reinforcement for columns of special moment frames

Transverse reinforcement	Conditions	Applicable expressions	
A_{sh}/sb_c for rectilinear hoop	$P_u \leq 0.3A_g f'_c$ and $f'_c \leq 10,000$ psi	Greater of (a) and (b)	$0.3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y}$ (a)
	$P_u > 0.3A_g f'_c$ or $f'_c > 10,000$ psi	Greatest of (a), (b), and (c)	$0.09 \frac{f'_c}{f_y}$ (b) $0.2k_f k_n \frac{P_u}{f_y A_{ch}}$ (c)
ρ_s for spiral or circular hoop	$P_u \leq 0.3A_g f'_c$ and $f'_c \leq 10,000$ psi	Greater of (d) and (e)	$0.45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y}$ (d)
	$P_u > 0.3A_g f'_c$ or $f'_c > 10,000$ psi	Greatest of (d), (e), and (f)	$0.12 \frac{f'_c}{f_y}$ (e) $0.35k_f \frac{P_u}{f_y A_{ch}}$ (f)

Cuadro 18
Refuerzo transversal en columnas resistentes a momento

(ACI, 2014)

3. Criterio columna fuerte - viga débil. Los marcos especiales resistentes a momento para tener un comportamiento adecuado tienen que cumplir con los requerimientos de ductilidad, resistencia y rigidez. Es necesario evitar que las columnas se encuentren en el rango inelástico y que sean las últimas en fallar, en relación con las vigas. Para verificar este criterio la resistencia nominal de la columna tiene que ser 6/5 mayor que la resistencia nominal de la viga, por lo que la relación entre ellos tiene que ser menor a 1.20 para considerarse aceptable. (j Barros, 2014)

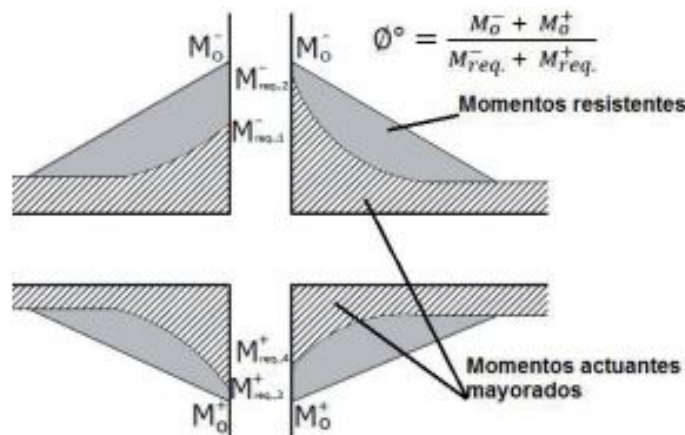


Figura 23. Momentos resistentes y momentos actuantes en un nudo

(José Barros Cabezas, 2015)

Además de este método sencillo para determinar este criterio también se puede realizar por análisis probabilísticos. Existen 3 tipos de estos análisis que son los siguientes: Método de simulación de Montecarlo, Método latino hipercúbico y el Método de estimadores puntuales. Con estos análisis es como se puede determinar el criterio de columna fuerte viga débil de una manera más específica. También es muy importante entender cómo un sistema de marcos puede ser llevado al colapso, esto se ejemplifica mejor en la siguiente figura donde se observa lo siguiente: (a) mecanismos del primer nivel, (b) mecanismos del segundo nivel y (c) mecanismo ideal. (FEMA, 2009)

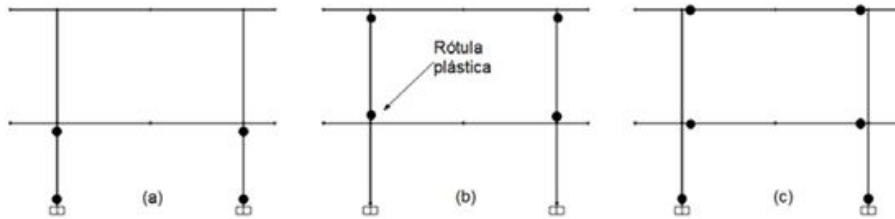


Figura 24. Mecanismos plásticos de colapso para un marco resistente a momento

(Marinilli, 2017)

4. Muros estructurales especiales resistentes a momento. Esta sección aplica a muros estructurales especiales de concreto reforzado y a todos los componentes que forman parte del sistema de resistencia a solicitaciones sísmicas, incluyendo las vigas de acople y machones de muro. Los requisitos que dominan en el diseño de muros verticales: (DBI, 2009)

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

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

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

Cuadro 19

Requisitos que dominan en el diseño de muros verticales

(ACI, 2014)

Los muros estructurales suelen ser utilizados en ductos de elevadores y escaleras, ya que realizan 2 funciones: Encerrar los ejes verticales y brindar resistencia tanto axial como lateral. Los muros son normalmente aplicables en estas zonas centrales mencionadas anteriormente o en las esquinas de la edificación. Debido a las diferentes posiciones donde se puede colocar, es que existen diferentes secciones como las siguientes: (ATC, 2010)

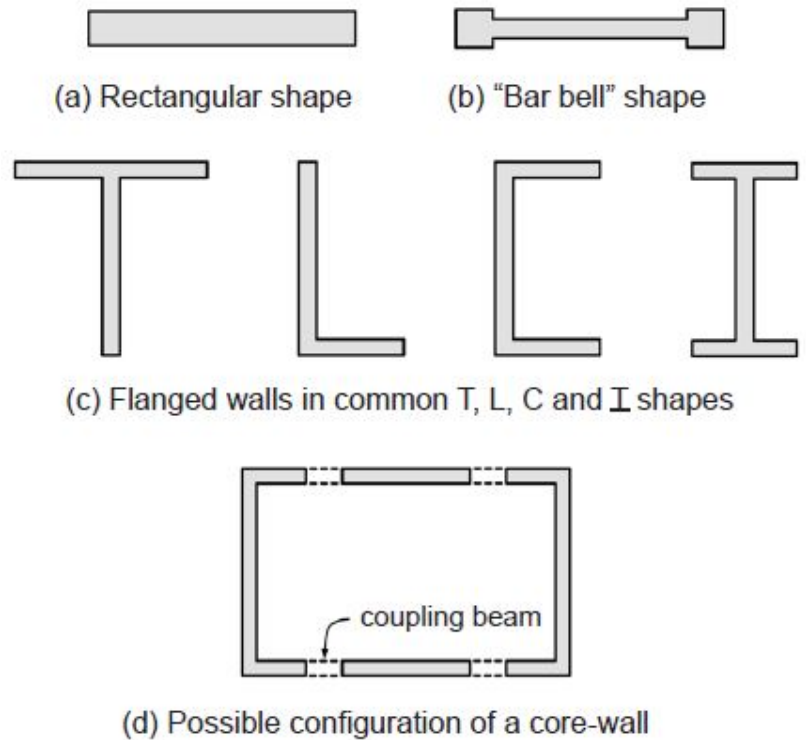


Figura 25. Diferentes secciones de muro estructural

(Moehle, 2011)

En cuanto al refuerzo, las cuantías para muros estructurales no deben ser menores que 0.0025. El espaciamiento del refuerzo en cada dirección en muros estructurales no debe exceder de 450 mm, el refuerzo de cortante debe ser continuo y debe estar distribuido a través del plano de corte. (SEAW, 2009)

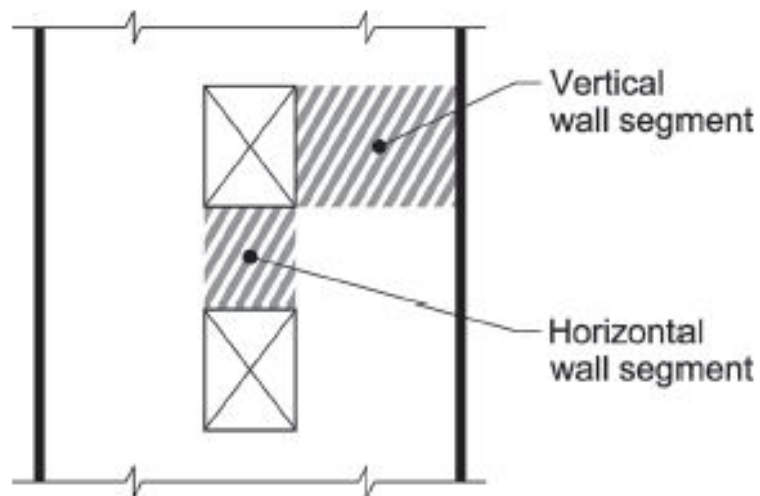


Figura 26. Ejemplo de un muro con aberturas

(ACI, 2014)

Los muros estructurales que no se diseñen de acuerdo con el código ACI 318-14, deben tener elementos especiales de borde en los bordes y en las aberturas de los muros estructurales cuando el refuerzo a compresión máximo de la fibra extrema incluyen las solicitaciones sísmicas. Los esfuerzos deben de calcularse utilizando un modelo lineal elástico y las propiedades de la sección bruta. (ATC, 2010)

Table 18.10.6.4(f)—Transverse reinforcement for special boundary elements

Transverse reinforcement	Applicable expressions		
A_{sh}/sb_c for rectilinear hoop	Greater of	$0.3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y}$	(a)
		$0.09 \frac{f'_c}{f_y}$	(b)
ρ_s for spiral or circular hoop	Greater of	$0.45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y}$	(c)
		$0.12 \frac{f'_c}{f_y}$	(d)

Cuadro 20

Refuerzo transversal para elementos especiales de borde

(ACI, 2014)

V. METODOLOGÍA

Para este trabajo de tesis, se busca calcular un edificio de concreto reforzado, que estará sometido a cargas gravitacionales y sísmicas. Se calcularon los elementos de la superestructura de la edificación como son: columnas, vigas, losas y especialmente muro estructural. Se realizó la memoria de cálculo y también el modelo con software especializado para diseño estructural de edificaciones. Los diferentes cálculos del edificio se harán por medio de marcos especiales a momento de concreto reforzado y el mismo cálculo implementándole muro estructural especial. Para realizar un análisis de las derivas laterales para el mismo diseño antes y después de agregar muro estructural especial.

Este trabajo se centra en el análisis de derivas laterales y en verificar el cambio que sufre la superestructura respecto a las solicitaciones sísmicas. El cálculo se llevó a cabo bajo la normativa ASCE/SEI 7-16, cumpliendo con las derivas máximas tolerables que se indica. Este trabajo se divide en 4 partes, la primera es una investigación acerca de las derivas laterales y presenta los datos relevantes para el cálculo de la edificación. Datos como las dimensiones de vigas y columnas, el acero de refuerzo a utilizar en cada uno de los elementos estructurales, las cargas aplicadas, etc.

La segunda parte del trabajo consistió en realizar múltiples análisis y cálculos de la edificación, aumentando niveles cada vez, utilizando una memoria de cálculo por medio de Excel y utilizando un modelo e integración de cargas por medio del software Etabs, considerando los factores de mayoración del código y modelando los elementos estructurales. Revisando las derivas laterales en Etabs para ambos cálculos estructurales y realizando una comparación entre ambas, para la posterior verificación de acuerdo con la normativa ASCE/SEI 7-16. Se contó con un asesor que tiene conocimiento sobre el tema de estructuras de concreto en Guatemala.

La tercera parte del trabajo consiste en la comparación de derivas entre ambos diseños realizados y en la búsqueda de resultados relevantes, para demostrar la importancia de los muros estructurales especiales en las edificaciones de concreto reforzado. La cuarta y última parte plantea las conclusiones y recomendaciones con base en los resultados, se debe de tener en cuenta que se realizaron 2 diseños similares, pero que la diferencia de agregar el muro estructural especial ayudará para las derivas laterales y mejorar la ductilidad de la edificación en general, para que pueda soportar de mejor forma las solicitaciones sísmicas que se encuentran en el territorio guatemalteco. Todo cálculo y análisis será evaluado por un asesor que cuenta con mucha experiencia en el tema y que ha realizado diferentes diseños estructurales de concreto reforzado.

VI. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Descripción, generalidades y pre-dimensionamiento

Para la realización de este análisis se utilizaron los códigos ASCE/SEI 7-16 y ACI 318-14, que en Guatemala son las normativas NSE 2018 - Actualización 2020. En esta normativa se avala la utilización de la normativa mencionada anteriormente para el diseño y cálculo de elementos de concreto reforzado.

La estructura utilizada para este análisis es una edificación nueva basada en en otras edificaciones recurrentes en la Ciudad de Guatemala. Una ubicada en zona 14 y la otra en zona 10 de las que se tomaron referencia para las grillas y la modulación de parqueos, pero se omite el nombre de las mismas debido a asuntos de confidencialidad. Se utilizan 2 tipos de sistema estructurales, para el principio del análisis se utiliza el sistema de Marcos Especiales Resistentes a Momento y para la segunda parte del análisis se utiliza un Sistema Combinado, según el código ASCE/SEI 7-16.

Para todos los modelos del análisis se tienen las mismas dimensiones de la edificación y la única diferencia es el aumento de un nivel entre cada modelo. Se mantienen las propiedades de los elementos y solo se aumenta su altura para así poder identificar el cambio en las derivas.

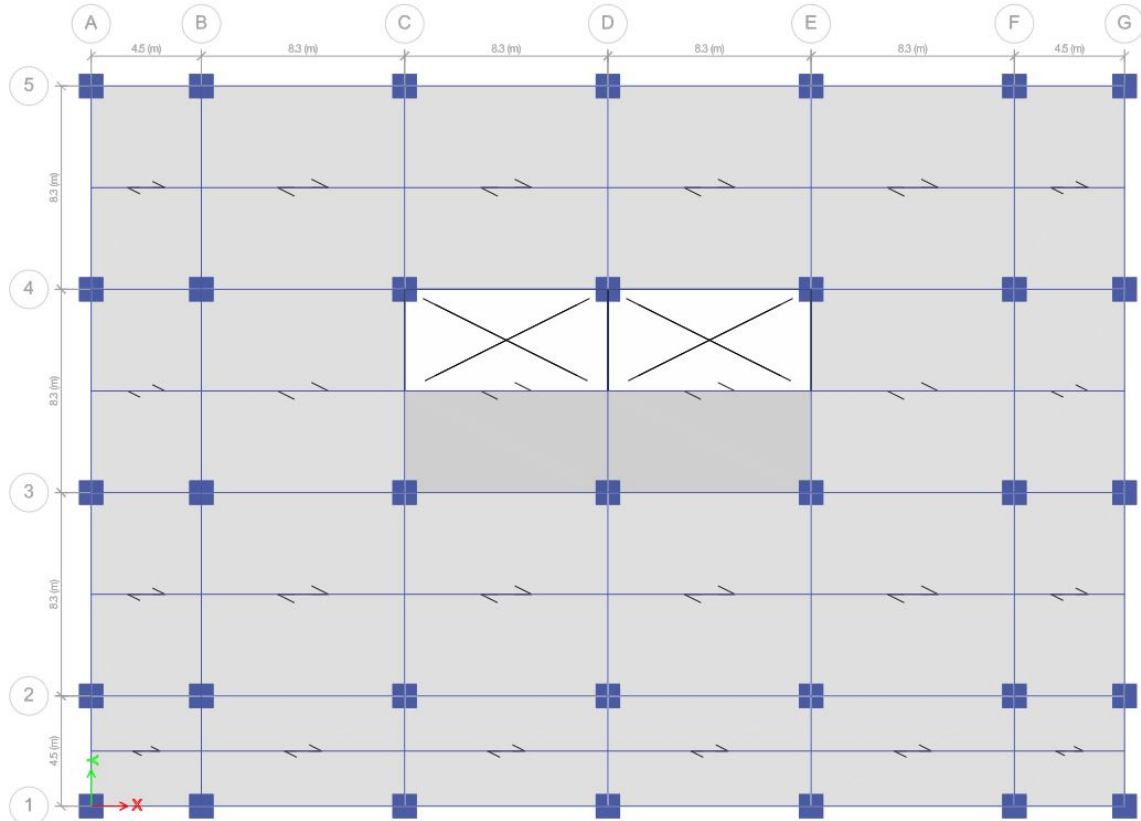


Figura 27. Planta de sótanos para todos los modelos

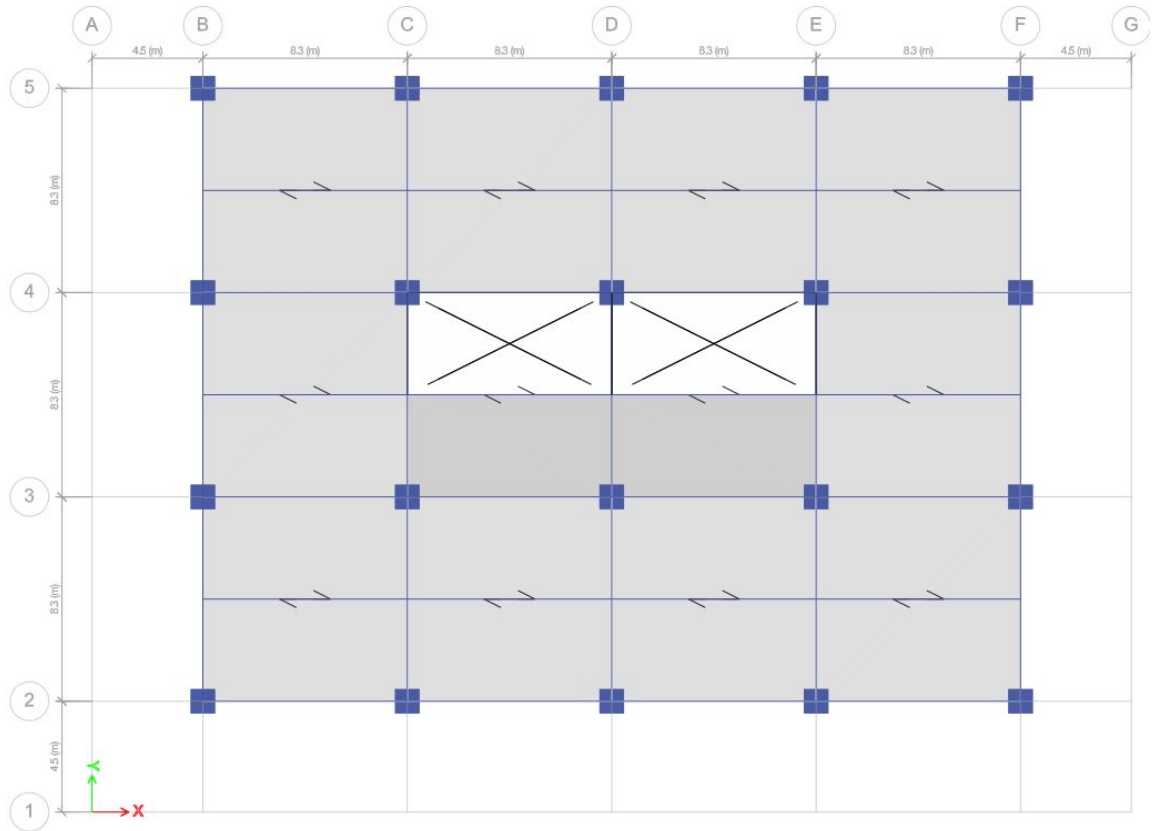


Figura 28. Planta típica de nivel para todos los modelos

La clase de obra utilizada para esta edificación es tipo D, la norma ASCE/SEI 7-16 indica que al no tener un estudio de suelos se tiene que considerar una clase de obra tipo D. Para determinar el tipo de obra se utilizó la tabla 3.1.7-1 de clasificación de obra de la NSE 2 donde se obtuvo que la cantidad de personas en el área de apartamentos era mayor a 350 por lo que califica como una obra importante, con una cantidad máxima de 433 personas en los apartamentos al mismo tiempo. Con este tipo de obra y la clase de sitio (D) se puede obtener la probabilidad ser excedido que en este caso es de 5 % en los próximos 50 años, obteniendo un factor K_d de 0.8.

Tipo de obra	
Caso	Personas
Área comercial y habitacional	433
Uso de parqueos	201
$433 > 350$	
Obra importante	

Figura 29. Tipo de obra

El espectro será el mismo para cada modelo, al ser en el mismo lugar (La Ciudad de Guatemala) no cambiará. Se utilizan los factores para calcular el espectro que son los siguientes: $I_o = 4.1$, S_r

= 1.43, $S1r = 0.88$ y $TL = 3.26$. Con estos factores se obtiene el siguiente gráfico del espectro sísmico donde se puede observar el momento en el que el suelo obtiene una mayor aceleración (de 0.2 segundos a 0.6 segundos), valor que no es igual que el período de vibración de la estructura en ninguno de los modelos.

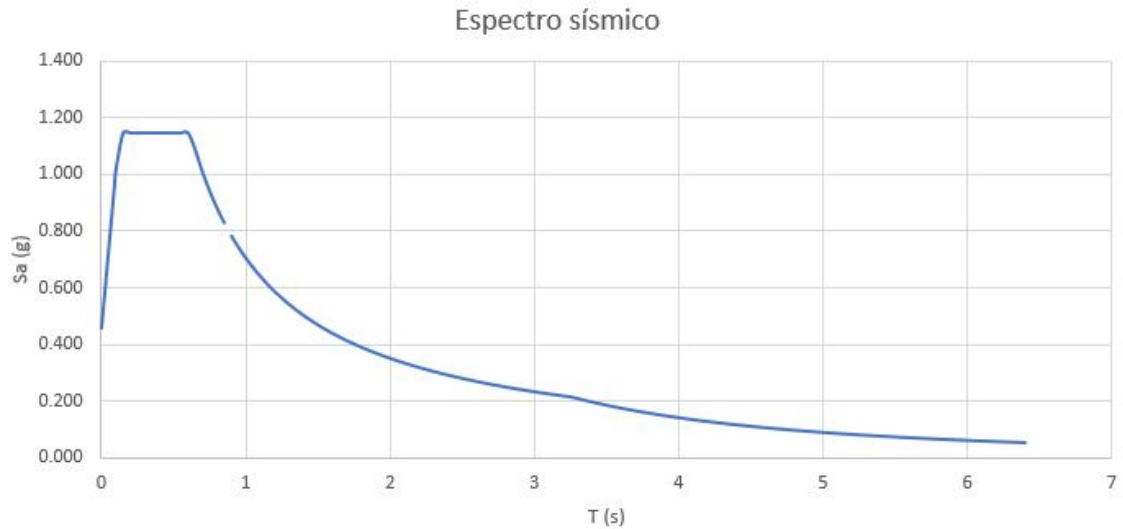


Figura 30. Espectro de respuesta

De la misma forma se tiene los desplazamientos del suelo que serán iguales para cada uno de los modelos y se representa a continuación:



Figura 31. Desplazamientos del suelo

Las cargas aplicadas a la edificación son las mismas para todos los modelos y para cada nivel, siendo las siguientes:

Cargas aplicadas a la edificación	
Carga muerta de techo	55 Kg/m ²
Carga viva de techo	200 Kg/m ²
Carga muerta de piso típico	230 Kg/m ²
Carga viva de apartamentos	200 Kg/m ²
Carga viva de pasillos	300 Kg/m ²
Carga muerta de sótanos	15 Kg/m ²
Carga viva de sótanos	250 Kg/m ²
Carga muerta de fachada	277.2 Kg/m

Figura 32. Resumen de cargas aplicadas a la edificación

Los elementos estructurales como las columnas, vigas, vigas secundarias y losas tienen las mismas dimensiones para todos los niveles y todos los modelos, todas son de concreto con una resistencia a la compresión a los 28 días de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ y todas reforzadas con acero con una resistencia a la tensión de $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$. Esta razón es por que el análisis principal era para las derivas y la altura del edificio. Las dimensiones de los elementos son las siguientes:

Elemento	Dimensiones
Columnas	100 cm X 100 cm
Vigas	70 cm X 35 cm
Vigas secundarias	60 cm X 30 cm
Espesor de losa	14 cm

Figura 33. Dimensiones de los elementos estructurales

Posteriormente en el trabajo en el análisis de resultados se verificarán las dimensiones de las columnas, para obtener el modelo más optimizado posible. Este proceso se realizará solamente con el modelo final de sistema estructural combinado, por motivos académicos y por importancia del modelo final.

B. Análisis estructural de la edificación de 3 sótanos y 8 niveles de marcos especiales resistentes a momento según el código ASCE/SEI 7-16

La altura para el análisis de esta tesis es de suma importancia y para cada modelo se tienen alturas entre niveles para el edificio, para este primer modelo las alturas son las siguientes:

Nivel	Altura (m)
8	3
7	3
6	3
5	3
4	3
3	3
2	3
1	3
Sot 1	3.2
Sot 2	3.2
Sot 3	3.2
Total	33.6

Figura 34. Alturas por nivel de modelo de 8 niveles

Para que el análisis sísmico se pueda llevar a cabo se necesitan factores sísmicos y sus valores dependen del tipo de obra (obra importante) y el sistema estructural (marcos especiales resistentes a momento), para todos los modelos con este sistema estructural son los siguientes:

Valores de factores sísmicos	
R	8
omega R	3
Cd	5.5
beta d	1

Figura 35. Factores de análisis sísmico

Para todos los modelos se tiene un valor máximo admisible de derivas (0.0036) y para los siguientes modelos con el sistema estructural de marcos especiales resistentes a momento es el siguiente:

Límites de derivas	
Cd	5.5
Δ_{up}	0.02
Δ_{cp}	0.004

Figura 36. Límite admisible para deriva

Una vez se tienen los límites permisibles de derivas (2 %) se obtienen las derivas para cada nivel y se analizan contra el límite para visualizar si cumple o no cumple, como se presenta en la siguiente tabla:

Análisis de derivas			
Nivel	Deriva	Límite	Chequeo
8	0.0019	0.0036	Ok
8	0.0004	0.0036	Ok
8	0.0020	0.0036	Ok
7	0.0021	0.0036	Ok
7	0.0004	0.0036	Ok
7	0.0022	0.0036	Ok
6	0.0024	0.0036	Ok
6	0.0005	0.0036	Ok
6	0.0025	0.0036	Ok
5	0.0027	0.0036	Ok
5	0.0005	0.0036	Ok
5	0.0027	0.0036	Ok
4	0.0028	0.0036	Ok
4	0.0006	0.0036	Ok
4	0.0029	0.0036	Ok
3	0.0029	0.0036	Ok
3	0.0006	0.0036	Ok
3	0.0029	0.0036	Ok
2	0.0028	0.0036	Ok
2	0.0006	0.0036	Ok
2	0.0028	0.0036	Ok
1	0.0025	0.0036	Ok
1	0.0005	0.0036	Ok
1	0.0024	0.0036	Ok
Sot 1	0.0019	0.0036	Ok
Sot 1	0.0006	0.0036	Ok
Sot 1	0.0018	0.0036	Ok
Sot 2	0.0015	0.0036	Ok
Sot 2	0.0004	0.0036	Ok
Sot 2	0.0014	0.0036	Ok
Sot 3	0.0006	0.0036	Ok
Sot 3	0.0002	0.0036	Ok
Sot 3	0.0006	0.0036	Ok

Figura 37. Análisis de derivas para edificación de 8 niveles y 3 sótanos

Como se puede observar en la tabla para todas las derivas de este modelo se cumple el límite máximo permisible por lo que no hay ningún problema, siendo la máxima deriva 0.0029. Con esto se pasa al siguiente modelo agregando un nivel y revisando nuevamente las derivas.

Análisis de derivas			
Nivel	Deriva (mm)	Límite (mm)	Chequeo
8	5.592	10.800	Ok
8	1.149	10.800	Ok
8	5.937	10.800	Ok
7	6.417	10.800	Ok
7	1.323	10.800	Ok
7	6.744	10.800	Ok
6	7.263	10.800	Ok
6	1.503	10.800	Ok
6	7.560	10.800	Ok
5	7.974	10.800	Ok
5	1.644	10.800	Ok
5	8.223	10.800	Ok
4	8.469	10.800	Ok
4	1.743	10.800	Ok
4	8.664	10.800	Ok
3	8.667	10.800	Ok
3	1.785	10.800	Ok
3	8.790	10.800	Ok
2	8.409	10.800	Ok
2	1.746	10.800	Ok
2	8.421	10.800	Ok
1	7.404	10.800	Ok
1	1.575	10.800	Ok
1	7.248	10.800	Ok
Sot 1	6.157	11.520	Ok
Sot 1	1.779	11.520	Ok
Sot 1	5.872	11.520	Ok
Sot 2	4.682	11.520	Ok
Sot 2	1.354	11.520	Ok
Sot 2	4.445	11.520	Ok
Sot 3	2.038	11.520	Ok
Sot 3	0.589	11.520	Ok
Sot 3	1.920	11.520	Ok

Figura 38. Derivas en mm para el modelo de 8 niveles y 3 sótanos

Las deriva máxima es de 8.790 mm, básicamente 9 mm, pero se tiene un límite mayor por lo que se puede observar que cumple con el control de derivas y al igual que con la deriva adimensional continuamos a otro modelo con un nivel mayor.

C. Análisis estructural de la edificación de 3 sótanos y 9 niveles de marcos especiales resistentes a momento según el código ASCE/SEI 7-16

Al aumentar un nivel en la estructura la altura total va a cambiar aumentando 3 m del nivel agregado, teniendo una altura total de 36.6 m. Los factores sísmicos utilizados para este modelo serán los mismos que en el modelo anterior, ya que tiene el mismo tipo de obra y sistema estructural. De la misma forma el límite para derivas de (0.0036) para el sistema estructural de marcos especiales resistentes a momento.

Análisis de derivas			
Nivel	Deriva	Límite	Chequeo
9	0.001972	0.0036	Ok
9	0.000387	0.0036	Ok
9	0.002121	0.0036	Ok
8	0.002263	0.0036	Ok
8	0.000446	0.0036	Ok
8	0.002412	0.0036	Ok
7	0.002565	0.0036	Ok
7	0.000507	0.0036	Ok
7	0.002708	0.0036	Ok
6	0.002825	0.0036	Ok
6	0.000556	0.0036	Ok
6	0.002958	0.0036	Ok
5	0.003027	0.0036	Ok
5	0.000591	0.0036	Ok
5	0.003148	0.0036	Ok
4	0.003162	0.0036	Ok
4	0.000614	0.0036	Ok
4	0.003267	0.0036	Ok
3	0.003201	0.0036	Ok
3	0.000623	0.0036	Ok
3	0.003281	0.0036	Ok
2	0.003082	0.0036	Ok
2	0.000607	0.0036	Ok
2	0.003121	0.0036	Ok
1	0.002698	0.0036	Ok
1	0.00055	0.0036	Ok
1	0.002672	0.0036	Ok
Sot 1	0.002094	0.0036	Ok
Sot 1	0.000588	0.0036	Ok
Sot 1	0.002019	0.0036	Ok
Sot 2	0.001587	0.0036	Ok
Sot 2	0.000447	0.0036	Ok
Sot 2	0.001522	0.0036	Ok
Sot 3	0.000689	0.0036	Ok
Sot 3	0.000194	0.0036	Ok
Sot 3	0.000656	0.0036	Ok

Figura 39. Análisis de derivas para edificación de 9 niveles y 3 sótanos

En este caso se cumple con la deriva máxima permisible y con una deriva máxima de 0.0032. Con esto se puede seguir con el siguiente modelo.

Análisis de derivas			
Nivel	Deriva (mm)	Límite (mm)	Chequeo
9	5.916	10.800	Ok
9	1.161	10.800	Ok
9	6.363	10.800	Ok
8	6.789	10.800	Ok
8	1.338	10.800	Ok
8	7.236	10.800	Ok
7	7.695	10.800	Ok
7	1.521	10.800	Ok
7	8.124	10.800	Ok
6	8.475	10.800	Ok
6	1.668	10.800	Ok
6	8.874	10.800	Ok
5	9.081	10.800	Ok
5	1.773	10.800	Ok
5	9.444	10.800	Ok
4	9.486	10.800	Ok
4	1.842	10.800	Ok
4	9.801	10.800	Ok
3	9.603	10.800	Ok
3	1.869	10.800	Ok
3	9.843	10.800	Ok
2	9.246	10.800	Ok
2	1.821	10.800	Ok
2	9.363	10.800	Ok
1	8.094	10.800	Ok
1	1.65	10.800	Ok
1	8.016	10.800	Ok
Sot 1	6.701	11.520	Ok
Sot 1	1.882	11.520	Ok
Sot 1	6.461	11.520	Ok
Sot 2	5.078	11.520	Ok
Sot 2	1.430	11.520	Ok
Sot 2	4.870	11.520	Ok
Sot 3	2.205	11.520	Ok
Sot 3	0.621	11.520	Ok
Sot 3	2.099	11.520	Ok

Figura 40. Derivas en mm para el modelo de 9 niveles y 3 sótanos

Las deriva máxima es de 9.843 mm, casi 10 mm. Se encuentra mucho más cerca del límite permisible y se encuentra en el nivel 4. Pero aún esta dentro del límite por lo que hay que seguir con otro modelo.

D. Análisis estructural de la edificación de 3 sótanos y 10 niveles de marcos especiales resistentes a momento según el código ASCE/SEI 7-16

Aumentando un nivel más a la estructura la altura total cambia y se tiene que actualizar con 3 metros más del nuevo nivel, dejando la estructura con una altura total de 39.6. De la misma forma que con el modelo anterior se mantienen los factores sísmicos y la deriva máxima permisible de 0.0036.

Análisis de derivas			
Nivel	Deriva	Límite	Chequeo
10	0.0020	0.0036	Ok
10	0.0022	0.0036	Ok
9	0.0023	0.0036	Ok
9	0.0025	0.0036	Ok
8	0.0027	0.0036	Ok
8	0.0028	0.0036	Ok
7	0.0029	0.0036	Ok
7	0.0031	0.0036	Ok
6	0.0032	0.0036	Ok
6	0.0033	0.0036	Ok
5	0.0033	0.0036	Ok
5	0.0035	0.0036	Ok
4	0.0034	0.0036	Ok
4	0.0036	0.0036	Ok
3	0.0034	0.0036	Ok
3	0.0035	0.0036	Ok
2	0.0033	0.0036	Ok
2	0.0006	0.0036	Ok
2	0.0034	0.0036	Ok
1	0.0029	0.0036	Ok
1	0.0006	0.0036	Ok
1	0.0029	0.0036	Ok
Sot 1	0.0022	0.0036	Ok
Sot 1	0.0006	0.0036	Ok
Sot 1	0.0022	0.0036	Ok
Sot 2	0.0017	0.0036	Ok
Sot 2	0.0005	0.0036	Ok
Sot 2	0.0016	0.0036	Ok
Sot 3	0.0007	0.0036	Ok
Sot 3	0.0002	0.0036	Ok
Sot 3	0.0007	0.0036	Ok

Figura 41. Análisis de derivas para edificación de 10 niveles y 3 sótanos

En este caso se cumple con la deriva permisible y con una deriva máxima de 0.0035. Con esto se puede seguir con el siguiente modelo.

Análisis de derivas			
Nivel	Deriva (mm)	Límite (mm)	Chequeo
10	6.138	10.800	Ok
10	6.642	10.800	Ok
9	7.044	10.800	Ok
9	7.554	10.800	Ok
8	7.986	10.800	Ok
8	8.487	10.800	Ok
7	8.799	10.800	Ok
7	9.282	10.800	Ok
6	9.453	10.800	Ok
6	9.915	10.800	Ok
5	9.954	10.800	Ok
5	10.383	10.800	Ok
4	10.281	10.800	Ok
4	10.662	10.800	Ok
3	10.329	10.800	Ok
3	10.635	10.800	Ok
2	9.897	10.800	Ok
2	1.857	10.800	Ok
2	10.071	10.800	Ok
1	8.628	10.800	Ok
1	1.689	10.800	Ok
1	8.586	10.800	Ok
Sot 1	7.117	11.520	Ok
Sot 1	1.949	11.520	Ok
Sot 1	6.890	11.520	Ok
Sot 2	5.382	11.520	Ok
Sot 2	1.478	11.520	Ok
Sot 2	5.181	11.520	Ok
Sot 3	2.333	11.520	Ok
Sot 3	0.640	11.520	Ok
Sot 3	2.227	11.520	Ok

Figura 42. Derivas en mm para el modelo de 10 niveles y 3 sótanos

Para este modelo la deriva máxima es de 10.662 mm, muy cerca del límite de 10.8 mm. Pero como aún no está por encima del límite hay que agregar un nivel adicional.

E. Análisis estructural de la edificación de 3 sótanos y 11 niveles de marcos especiales resistentes a momento según el código ASCE/SEI 7-16

Aumentando un nivel más a la estructura la altura total cambia y se tiene que actualizar con 3 metros más del nuevo nivel, dejando la estructura con una altura total de 42.6. De la misma forma que con el modelo anterior se mantienen los factores sísmicos y la deriva máxima permisible de 0.0036.

Análisis de derivas			
Nivel	Deriva	Límite	Chequeo
11	0.002112	0.0036	Ok
11	0.002293	0.0036	Ok
10	0.002428	0.0036	Ok
10	0.002613	0.0036	Ok
9	0.002758	0.0036	Ok
9	0.002947	0.0036	Ok
8	0.003049	0.0036	Ok
8	0.003239	0.0036	Ok
7	0.003291	0.0036	Ok
7	0.003484	0.0036	Ok
6	0.003489	0.0036	Ok
6	0.003682	0.0036	NC
5	0.003643	0.0036	NC
5	0.003832	0.0036	NC
4	0.003739	0.0036	NC
4	0.003915	0.0036	NC
3	0.003737	0.0036	NC
3	0.003884	0.0036	NC
2	0.00356	0.0036	Ok
2	0.003655	0.0036	NC
1	0.003087	0.0036	Ok
1	0.000583	0.0036	Ok
1	0.003096	0.0036	Ok
Sot 1	0.002373	0.0036	Ok
Sot 1	0.000637	0.0036	Ok
Sot 1	0.002311	0.0036	Ok
Sot 2	0.001787	0.0036	Ok
Sot 2	0.000481	0.0036	Ok
Sot 2	0.001729	0.0036	Ok
Sot 3	0.000772	0.0036	Ok
Sot 3	0.000208	0.0036	Ok
Sot 3	0.00074	0.0036	Ok

Figura 43. Análisis de derivas para edificación de 11 niveles y 3 sótanos

En este caso la deriva ya no cumple ya que se obtienen varias derivas mayores al límite, siendo la mayor 0.003884. Se observa porque en la columna de Chequeo se encuentran las siglas NC que significan No Cumple. Por lo que este sistema estructural no puede exceder los 11 niveles y 3 sótanos de construcción y es necesario cambiar de sistema estructural

Análisis de derivas			
Nivel	Deriva (mm)	Límite (mm)	Chequeo
11	6.336	10.800	Ok
11	6.879	10.800	Ok
10	7.284	10.800	Ok
10	7.839	10.800	Ok
9	8.274	10.800	Ok
9	8.841	10.800	Ok
8	9.147	10.800	Ok
8	9.717	10.800	Ok
7	9.873	10.800	Ok
7	10.452	10.800	Ok
6	10.467	10.800	Ok
6	11.046	10.800	NC
5	10.929	10.800	NC
5	11.496	10.800	NC
4	11.217	10.800	NC
4	11.745	10.800	NC
3	11.211	10.800	NC
3	11.652	10.800	NC
2	10.680	10.800	Ok
2	10.965	10.800	NC
1	9.261	10.800	Ok
1	1.749	10.800	Ok
1	9.288	10.800	Ok
Sot 1	7.594	11.520	Ok
Sot 1	2.038	11.520	Ok
Sot 1	7.395	11.520	Ok
Sot 2	5.718	11.520	Ok
Sot 2	1.539	11.520	Ok
Sot 2	5.533	11.520	Ok
Sot 3	2.470	11.520	Ok
Sot 3	0.666	11.520	Ok
Sot 3	2.368	11.520	Ok

Figura 44. Derivas en mm para el modelo de 11 niveles y 3 sótanos

Como se puede observar por las siglas NC que significan No Cumple, hay distintas derivas que no cumplen, pero solo necesitaríamos una. Es por esto que con una deriva máxima de 11.745 mm este modelo ya no cumple y es necesario cambiar el sistema estructural a un sistema combinado.

F. Análisis estructural de un sistema combinado de la edificación de 3 sótanos y 11 niveles según el código ASCE/SEI 7-16

Al ser un sistema combinado se cuenta con la implementación de muros estructurales para cumplir con el control de derivas. Estos muros tienen diferente espesor, debido a los esfuerzos cortantes que reciben, hay muros de 20 cm y de 30 cm. Los de 20 cm se encuentran ubicados en los ejes C, D y E, con una longitud de 4.15 m cada uno y en los muros de 30 cm se encuentran ubicados en el eje 4, con una longitud de 8.30 m cada uno.

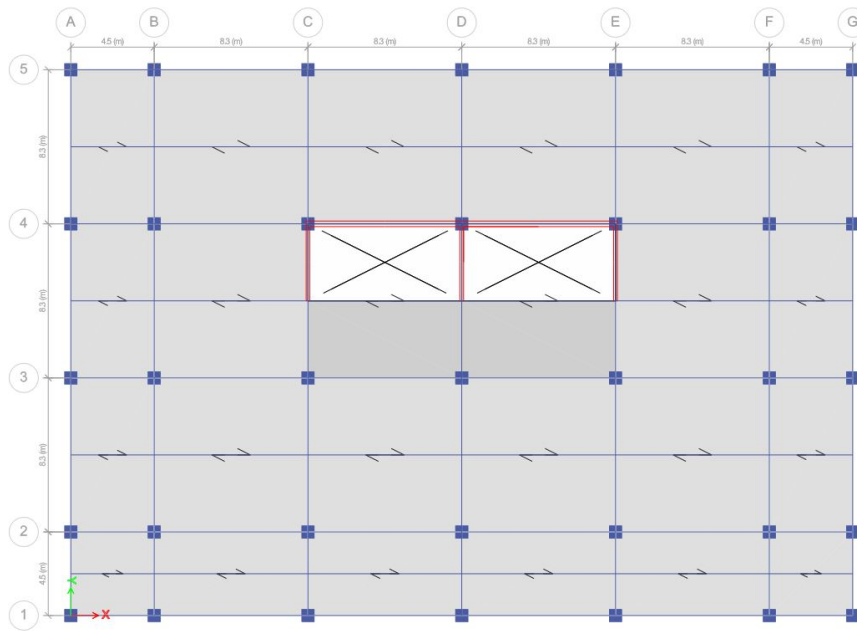


Figura 45. Planta de sótanos para el modelo de sistema combinado

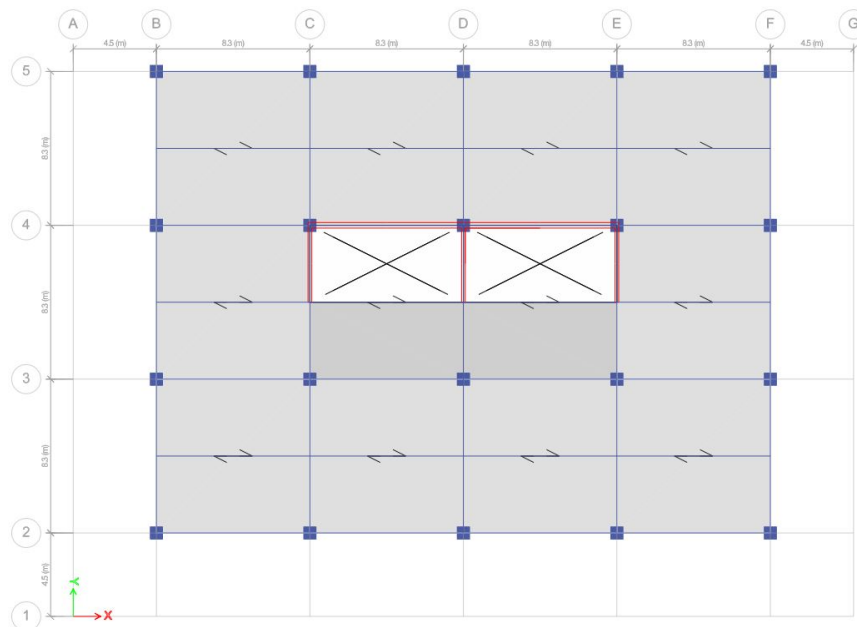


Figura 46. Planta de nivel para el modelo de sistema combinado

La altura para el análisis de este sistema sigue siendo igual de importante para el análisis de deriva que en el anterior sistema, para este modelo combinado las alturas son las siguientes:

Nivel	Altura (m)
11	3
10	3
9	3
8	3
7	3
6	3
5	3
4	3
3	3
2	3
1	3
Sot 1	3.2
Sot 2	3.2
Sot 3	3.2
Total	42.6

Figura 47. Alturas por nivel de modelo de 11 niveles y 3 sótanos

Para que el análisis sísmico se pueda llevar a cabo se necesitan factores sísmicos y sus valores dependen del tipo de obra (obra importante) y el sistema estructural (sistema combinado) y para este sistema son los siguientes:

Valores de factores sísmicos	
R	6
omega R	2.5
Cd	5
beta d	1

Figura 48. Factores de análisis sísmico de sistema combinado

Para este modelo se tiene un valor máximo admisible de derivas (0.004):

Límites de derivas	
Cd	5.5
Δ_{up}	0.02
Δ_{cp}	0.004

Figura 49. Límite admisible para deriva sistema combinado

Al analizar las derivas con la inclusión del muro estructural, estas cambian y mejoran de la siguiente forma:

Análisis de derivas			
Nivel	Deriva	Límite	Chequeo
11	0.00067	0.004	Ok
11	0.000566	0.004	Ok
11	0.001922	0.004	Ok
10	0.000756	0.004	Ok
10	0.000635	0.004	Ok
10	0.002078	0.004	Ok
9	0.000812	0.004	Ok
9	0.000707	0.004	Ok
9	0.002205	0.004	Ok
8	0.000865	0.004	Ok
8	0.000771	0.004	Ok
8	0.002329	0.004	Ok
7	0.000906	0.004	Ok
7	0.000824	0.004	Ok
7	0.002432	0.004	Ok
6	0.000935	0.004	Ok
6	0.000863	0.004	Ok
6	0.002505	0.004	Ok
5	0.000951	0.004	Ok
5	0.000891	0.004	Ok
5	0.002541	0.004	Ok
4	0.000953	0.004	Ok
4	0.000903	0.004	Ok
4	0.00253	0.004	Ok
3	0.00093	0.004	Ok
3	0.00089	0.004	Ok
3	0.002456	0.004	Ok
2	0.000863	0.004	Ok
2	0.000832	0.004	Ok
2	0.002298	0.004	Ok
1	0.000712	0.004	Ok
1	0.000688	0.004	Ok
1	0.002006	0.004	Ok
Sot 1	0.000582	0.004	Ok
Sot 1	0.000584	0.004	Ok
Sot 1	0.001597	0.004	Ok
Sot 2	0.000447	0.004	Ok
Sot 2	0.000449	0.004	Ok
Sot 2	0.001202	0.004	Ok
Sot 3	0.000208	0.004	Ok
Sot 3	0.000204	0.004	Ok
Sot 3	0.000535	0.004	Ok

Figura 50. Análisis de derivas para edificación de 11 niveles y 3 sótanos de sistema combinado

Como se puede observar se corrigen las derivas excedidas utilizando el sistema anterior de marcos especiales resistentes a momento. Con el sistema combinado se tiene una deriva máxima de 0.002541 que se encuentra alejado de 0.004 que es el límite, reduciendo las derivas en un 65.42 %

Análisis de derivas			
Nivel	Deriva (mm)	Límite (mm)	Chequeo
11	2.01	12.000	Ok
11	1.698	12.000	Ok
11	5.766	12.000	Ok
10	2.268	12.000	Ok
10	1.905	12.000	Ok
10	6.234	12.000	Ok
9	2.436	12.000	Ok
9	2.121	12.000	Ok
9	6.615	12.000	Ok
8	2.595	12.000	Ok
8	2.313	12.000	Ok
8	6.987	12.000	Ok
7	2.718	12.000	Ok
7	2.472	12.000	Ok
7	7.296	12.000	Ok
6	2.805	12.000	Ok
6	2.589	12.000	Ok
6	7.515	12.000	Ok
5	2.853	12.000	Ok
5	2.673	12.000	Ok
5	7.623	12.000	Ok
4	2.859	12.000	Ok
4	2.709	12.000	Ok
4	7.59	12.000	Ok
3	2.79	12.000	Ok
3	2.67	12.000	Ok
3	7.368	12.000	Ok
2	2.589	12.000	Ok
2	2.496	12.000	Ok
2	6.894	12.000	Ok
1	2.136	12.000	Ok
1	2.064	12.000	Ok
1	6.018	12.000	Ok
Sot 1	1.8624	12.800	Ok
Sot 1	1.8688	12.800	Ok
Sot 1	5.1104	12.800	Ok
Sot 2	1.4304	12.800	Ok
Sot 2	1.4368	12.800	Ok
Sot 2	3.8464	12.800	Ok
Sot 3	0.6656	12.800	Ok
Sot 3	0.6528	12.800	Ok
Sot 3	1.712	12.800	Ok

Figura 51. Derivas en mm para el modelo de 11 niveles y 3 sótanos de sistema combinado

Además de aumentar el límite de las derivas a 12 mm, la deriva máxima en este caso es de 7.623 mm y cumple sin problema con el límite. Esto se debe a la implementación del muro estructural especial que reduce las derivas de manera contundente.

G. Comparativas en el Sistema combinado

Todos elementos estructurales de todos los modelos han cumplido por flexión en el caso de vigas y losas y por compresión en el caso de las columnas. Pero se ha diseñado con columnas con un área transversal de 100 X 100 cm y es por esto que se pueden reducir, sin ser así el caso de las vigas, losas y muros que no se pueden reducir.

Las derivas del modelo con columnas de 100 X 100 cm fueron evaluadas en la figura 54 y se puede evidenciar el cumplimiento de las mismas por lo que ahora se verificarán los modelos con columnas con área transversal menor.

Análisis de derivas			
Nivel	Deriva	Límite	Chequeo
11	0.000685	0.004	Ok
11	0.000582	0.004	Ok
11	0.001901	0.004	Ok
10	0.000792	0.004	Ok
10	0.000667	0.004	Ok
10	0.002075	0.004	Ok
9	0.000853	0.004	Ok
9	0.000747	0.004	Ok
9	0.002202	0.004	Ok
8	0.000911	0.004	Ok
8	0.000817	0.004	Ok
8	0.002329	0.004	Ok
7	0.000954	0.004	Ok
7	0.00087	0.004	Ok
7	0.002436	0.004	Ok
6	0.000983	0.004	Ok
6	0.00091	0.004	Ok
6	0.002514	0.004	Ok
5	0.001	0.004	Ok
5	0.000937	0.004	Ok
5	0.002555	0.004	Ok
4	0.001006	0.004	Ok
4	0.000953	0.004	Ok
4	0.002549	0.004	Ok
3	0.00099	0.004	Ok
3	0.000946	0.004	Ok
3	0.002481	0.004	Ok
2	0.000931	0.004	Ok
2	0.000895	0.004	Ok
2	0.002332	0.004	Ok
1	0.000776	0.004	Ok
1	0.000748	0.004	Ok
1	0.002046	0.004	Ok
Sot 1	0.000635	0.004	Ok
Sot 1	0.000633	0.004	Ok
Sot 1	0.001636	0.004	Ok
Sot 2	0.000501	0.004	Ok
Sot 2	0.0005	0.004	Ok
Sot 2	0.001249	0.004	Ok
Sot 3	0.000237	0.004	Ok
Sot 3	0.000236	0.004	Ok
Sot 3	0.000575	0.004	Ok

Figura 52. Análisis de derivas para edificación de sistema combinado con columnas de 90 X 90 cm

Las derivas se siguen cumpliendo sin ningún problema con la deriva máxima de 0.002555 aumentando muy poco en comparación con el modelo de columnas de 100 X 100 cm.

Análisis de derivas			
Nivel	Deriva	Límite	Chequeo
11	0.0007	0.004	Ok
11	0.000602	0.004	Ok
11	0.0019	0.004	Ok
10	0.000834	0.004	Ok
10	0.000706	0.004	Ok
10	0.002089	0.004	Ok
9	0.000899	0.004	Ok
9	0.000795	0.004	Ok
9	0.002213	0.004	Ok
8	0.000961	0.004	Ok
8	0.000869	0.004	Ok
8	0.002343	0.004	Ok
7	0.001006	0.004	Ok
7	0.000924	0.004	Ok
7	0.002451	0.004	Ok
6	0.001034	0.004	Ok
6	0.000961	0.004	Ok
6	0.00253	0.004	Ok
5	0.001052	0.004	Ok
5	0.000987	0.004	Ok
5	0.002573	0.004	Ok
4	0.00106	0.004	Ok
4	0.001004	0.004	Ok
4	0.00257	0.004	Ok
3	0.001052	0.004	Ok
3	0.001002	0.004	Ok
3	0.002507	0.004	Ok
2	0.001003	0.004	Ok
2	0.00096	0.004	Ok
2	0.002364	0.004	Ok
1	0.000847	0.004	Ok
1	0.000811	0.004	Ok
1	0.002084	0.004	Ok
Sot 1	0.000691	0.004	Ok
Sot 1	0.000682	0.004	Ok
Sot 1	0.001671	0.004	Ok
Sot 2	0.000565	0.004	Ok
Sot 2	0.000559	0.004	Ok
Sot 2	0.001292	0.004	Ok
Sot 3	0.00028	0.004	Ok
Sot 3	0.000277	0.004	Ok
Sot 3	0.000618	0.004	Ok

Figura 53. Análisis de derivas para edificación de sistema combinado con columnas de 80 X 80 cm

Para este modelo siguen cumpliendo las derivas y aumentando muy poco con una deriva máxima de 0.002573.

Análisis de derivas			
Nivel	Deriva	Límite	Chequeo
11	0.00072	0.004	Ok
11	0.00063	0.004	Ok
11	0.00193	0.004	Ok
10	0.00088	0.004	Ok
10	0.00076	0.004	Ok
10	0.00214	0.004	Ok
9	0.00094	0.004	Ok
9	0.00085	0.004	Ok
9	0.00225	0.004	Ok
8	0.00101	0.004	Ok
8	0.00093	0.004	Ok
8	0.00238	0.004	Ok
7	0.00106	0.004	Ok
7	0.00098	0.004	Ok
7	0.00249	0.004	Ok
6	0.00109	0.004	Ok
6	0.00102	0.004	Ok
6	0.00257	0.004	Ok
5	0.00110	0.004	Ok
5	0.00104	0.004	Ok
5	0.00261	0.004	Ok
4	0.00111	0.004	Ok
4	0.00105	0.004	Ok
4	0.00261	0.004	Ok
3	0.00111	0.004	Ok
3	0.00105	0.004	Ok
3	0.00255	0.004	Ok
2	0.00107	0.004	Ok
2	0.00102	0.004	Ok
2	0.00241	0.004	Ok
1	0.00092	0.004	Ok
1	0.00088	0.004	Ok
1	0.00213	0.004	Ok
Sot 1	0.00075	0.004	Ok
Sot 1	0.00073	0.004	Ok
Sot 1	0.00171	0.004	Ok
Sot 2	0.00064	0.004	Ok
Sot 2	0.00062	0.004	Ok
Sot 2	0.00134	0.004	Ok
Sot 3	0.00034	0.004	Ok
Sot 3	0.00033	0.004	Ok
Sot 3	0.00067	0.004	Ok

Figura 54. Análisis de derivas para edificación de sistema combinado con columnas de 70 X 70 cm

Para columnas de 70X70 tampoco se tiene un problema con las derivas. Se hizo una prueba con columnas de 60X60 y las columnas del sótano ya no cumplían la resistencia a compresión por lo que se descartó. De la misma forma al tener vigas de 35X70 no se pueden utilizar columnas de 60X60 debido al criterio de viga débil columna fuerte que no sería cumplido y es de suma importancia para análisis sísmico.

Ya que todos los modelos cumplen por resistencia sin importar el área transversal de las columnas, por lo que se puede evidenciar en el siguiente cuadro es que es solamente las derivas por cada modelo y cómo cumplen sin importar las dimensiones de las columnas.

Comparación de derivas				
Nivel	Col 100 X 100 cm	Col 90 X 90 cm	Col 80 X 80 cm	Col 70 X 70 cm
11	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007
11	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
11	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019
10	0.0008	0.0008	0.0008	0.0009
10	0.0006	0.0007	0.0007	0.0008
10	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021
9	0.0008	0.0009	0.0009	0.0009
9	0.0007	0.0007	0.0008	0.0009
9	0.0022	0.0022	0.0022	0.0023
8	0.0009	0.0009	0.0010	0.0010
8	0.0008	0.0008	0.0009	0.0009
8	0.0023	0.0023	0.0023	0.0024
7	0.0009	0.0010	0.0010	0.0011
7	0.0008	0.0009	0.0009	0.0010
7	0.0024	0.0024	0.0025	0.0025
6	0.0009	0.0010	0.0010	0.0011
6	0.0009	0.0009	0.0010	0.0010
6	0.0025	0.0025	0.0025	0.0026
5	0.0010	0.0010	0.0011	0.0011
5	0.0009	0.0009	0.0010	0.0010
5	0.0025	0.0026	0.0026	0.0026
4	0.0010	0.0010	0.0011	0.0011
4	0.0009	0.0010	0.0010	0.0011
4	0.0025	0.0025	0.0026	0.0026
3	0.0009	0.0010	0.0011	0.0011
3	0.0009	0.0009	0.0010	0.0011
3	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
2	0.0009	0.0009	0.0010	0.0011
2	0.0008	0.0009	0.0010	0.0010
2	0.0023	0.0023	0.0024	0.0024
1	0.0007	0.0008	0.0008	0.0009
1	0.0007	0.0007	0.0008	0.0009
1	0.0020	0.0020	0.0021	0.0021
Sot 1	0.0006	0.0006	0.0007	0.0007
Sot 1	0.0006	0.0006	0.0007	0.0007
Sot 1	0.0016	0.0016	0.0017	0.0017
Sot 2	0.0004	0.0005	0.0006	0.0006
Sot 2	0.0004	0.0005	0.0006	0.0006
Sot 2	0.0012	0.0012	0.0013	0.0013
Sot 3	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003
Sot 3	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003
Sot 3	0.0005	0.0006	0.0006	0.0007

Figura 55. Comparación de derivas según dimensiones de columnas

Comparación de derivas en mm				
Nivel	Col 100 X 100 cm	Col 90 X 90 cm	Col 80 X 80 cm	Col 70 X 70 cm
11	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.000	0.000	0.000	0.000
Sot 1	0.000	0.000	0.000	0.000
Sot 1	0.000	0.000	0.000	0.000
Sot 1	0.000	0.000	0.000	0.000
Sot 2	0.000	0.000	0.000	0.000
Sot 2	0.000	0.000	0.000	0.000
Sot 2	0.000	0.000	0.000	0.000
Sot 3	0.000	0.000	0.000	0.000
Sot 3	0.000	0.000	0.000	0.000
Sot 3	0.000	0.000	0.000	0.000

Figura 56. Comparación de derivas en milímetros según dimensiones de columnas

Como se puede observar el cambio de columnas no afecta a las derivas, por lo que solo habría que hacer un chequeo por resistencia que se hará a continuación. La diferencia máxima de derivas es de 0.3 mm, es una diferencia mínima por lo que no afectan los elementos a las derivas de la estructura.

H. Criterio columna fuerte - viga débil

Debido a que la estructura utiliza marcos especiales resistentes a momento es necesario verificar que se cumpla con este criterio y la relación de resistencias nominales de la columna y la viga tiene que ser menor a 6/5 (1.20). Para esto se empezó a chequear el modelo con columnas de 70X70 cm ya que era el modelo más óptimo y estos fueron los resultados:

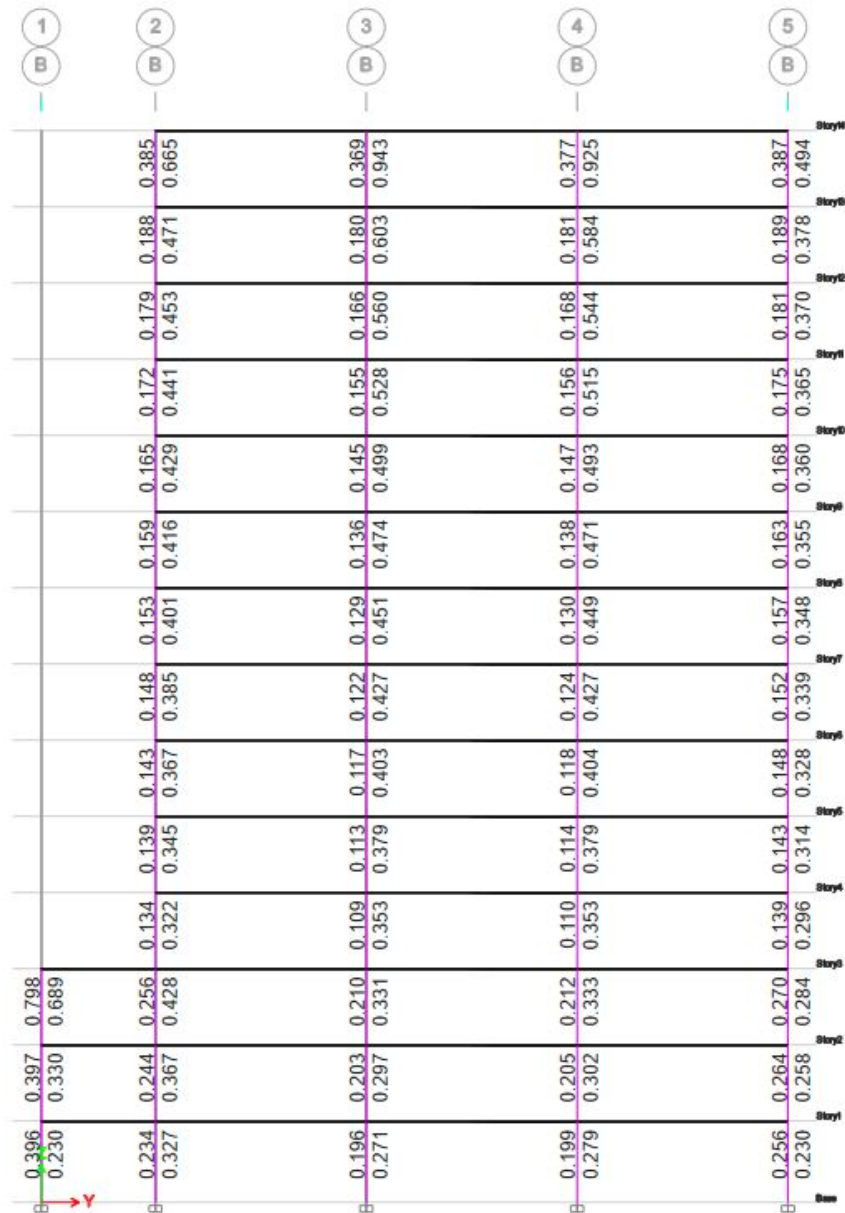


Figura 57. Verificación de criterio columna fuerte - viga débil para columnas de 70X70 cm

Como se puede observar en en la imagen anterior, todos los nodos son menores a 1.20 que debería ser el límite permisible. Por esto el modelo se considera aceptable por lo que con este modelo cumple con el criterio de columna fuerte - viga débil y se pueden calcular los elementos estructurales.

I. Diseño de vigas

Para el diseño de las vigas se compararon los valores obtenidos con etabs del acero de refuerzo y los obtenidos manualmente según los requisitos del código ACI 318-14 para el diseño de vigas especiales. Debido a los alcances de este trabajo de graduación solo se diseñará una viga de toda la estructura, siendo esta la más crítica, de la misma forma solo se diseñará una losa, una columna y un muro estructural.

1. Acero obtenido en Etabs. A continuación se muestran los resultados obtenidos del acero de refuerzo en el software Etabs:

Design Moment and Flexural Reinforcement for Moment, M_{u3}						
	Design Moment kgf-m	Design P_u kgf	-Moment Rebar cm ²	+Moment Rebar cm ²	Minimum Rebar cm ²	Required Rebar cm ²
Top (+2 Axis)	-71023.34	0	32.799542	0	7.876286	32.799542
Bottom (-2 Axis)	35511.67	0	0	15.451908	7.876286	15.451908

Shear Force and Reinforcement for Shear, V_{u2}				
Shear V_{u2} kgf	Shear ϕV_c kgf	Shear ϕV_s kgf	Shear V_p kgf	Rebar A_v / s cm ² /m
57614.74	16612.73	41002.01	17399.68	20.36085

Figura 58. Acero requerido a flexión y a corte según Etabs

2. Detalle estructural. Al ser la viga más crítica esto representa que es la viga que más necesita refuerzo, las demás vigas necesitarán una cantidad menor. Para el acero a flexión se utilizaron 4 varillas No. 10 para el acero negativo que suministran 32.83 cm² y 3 varillas No. 9 para el acero positivo que suministran 19.35 cm². En cuanto al acero para cortante se utilizaron estribos No. 4 a cada 10 cm que suministran 25.29 cm²/m. Las dimensiones de la viga están en metros.

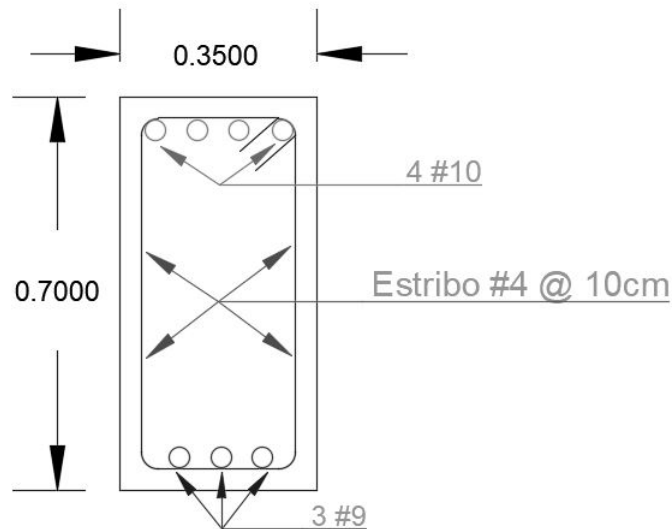


Figura 59. Detalle estructural de la viga

J. Diseño de losas

1. Acero obtenido en Etabs. A continuación se muestran los resultados obtenidos del acero de refuerzo en el software Etabs:

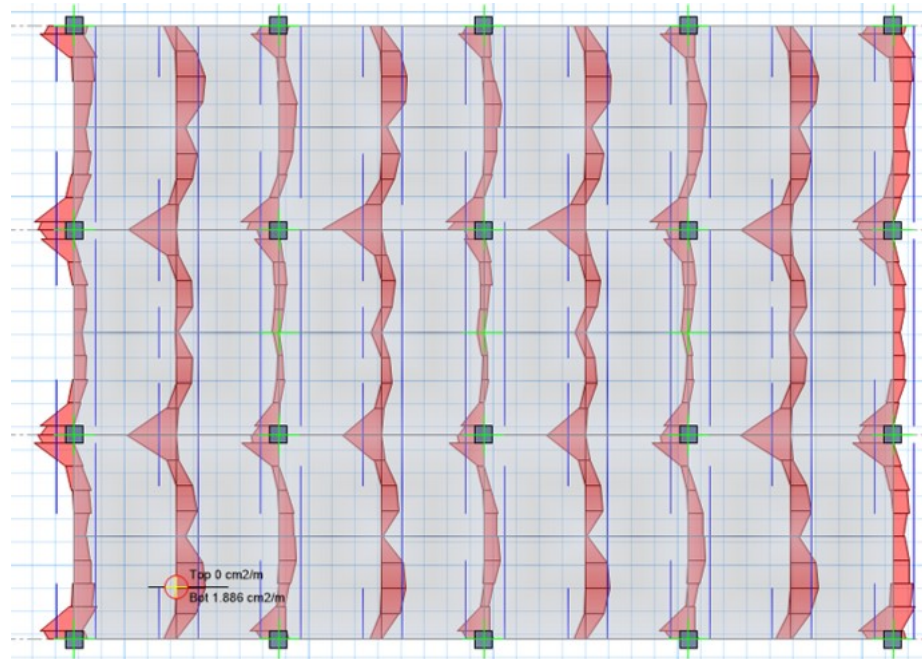


Figura 60. Acero requerido a flexión según Etabs

2. Detalle estructural. La losa seleccionada para realizar el diseño fue la del techo, esto debido al ser la losa uniforme que no tiene ningún ducto. Esta losa es de 42.2 m X 24.9 m igual que las losas de todos los demás niveles. Se utilizó un acero de refuerzo a flexión positiva y negativa, a flexión positiva la losa requiere 1.88 cm²/m y se utilizaron varillas No. 3 a cada 30 cm que suministran 2.38 cm²/m, para la flexión negativa la losa requiere 4 cm²/m y se utilizaron varillas No. 4 a cada 30 cm que suministran 4.22 cm²/m.

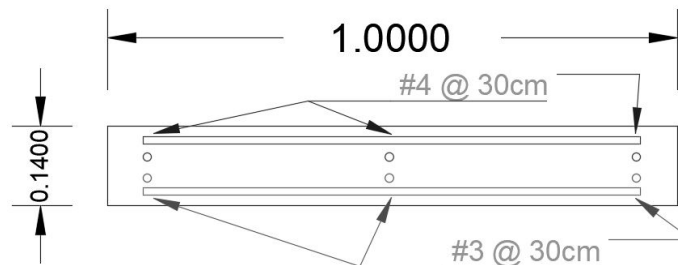


Figura 61. Detalle estructural de la losa

K. Diseño de columnas

1. Acero obtenido en Etabs. Para el diseño de columnas especiales se utilizó el acero que requiere según Etabs y como se mencionó en diseño de vigas, debido al alcance de este trabajo de

graduación solo se diseñará una columna, siendo esta la más exigida.

Axial Force and Biaxial Moment Design for P_u , M_{u2} , M_{u3}

Design P_u kgf	Design M_{u2} kgf-m	Design M_{u3} kgf-m	Minimum M2 kgf-m	Minimum M3 kgf-m	Rebar Area cm ²	Rebar % %
3450.97	80427.51	1636.41	125.06	125.06	77.509596	1.58

Figura 62. Acero requerido a compresión según Etabs

Shear Design for V_{u2} , V_{u3}

	Shear V_u kgf	Shear ϕV_c kgf	Shear ϕV_s kgf	Shear ϕV_p kgf	Rebar A_v/s cm ² /m
Major, V_{u2}	37723.47	33525.38	12425.33	34147.13	6.18718
Minor, V_{u3}	71456.93	33525.38	37931.55	61127.21	18.88798

Figura 63. Acero requerido a corte según Etabs

2. Detalle estructural. Se consideró utilizar la columna más crítica esto representa que es la columna que más necesita refuerzo, las demás columnas necesitarán una cantidad menor. Para el acero a compresión se utilizaron 10 varillas No. 10 que suministran 81.94 cm². En cuanto al acero para cortante se utilizaron estribos No. 4 a cada 10 cm que suministran 25.29 cm²/m. Las dimensiones de la columna están en metros.

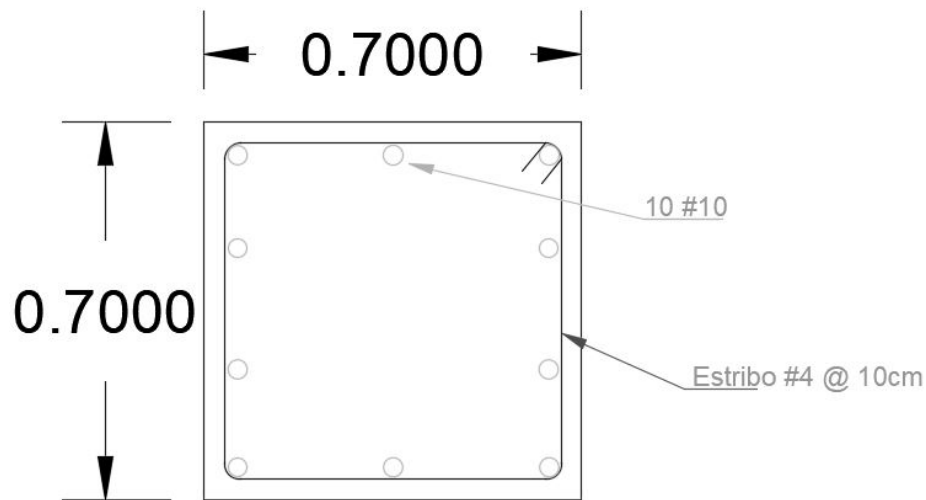


Figura 64. Detalle estructural de la columna

L. Diseño de muro estructural

1. Acero obtenido en Etabs. Para el diseño de muro estructural especial se utilizó el acero que requiere según Etabs y como se mencionó en diseño de vigas y columnas, debido al alcance de este trabajo de graduación solo se diseñará un muro, siendo este el crítico.

Flexural Design for P_u , M_{u2} and M_{u3}

Station Location	Required Rebar Area (cm ²)	Required Reinf Ratio	Current Reinf Ratio	Flexural Combo	P_u kgf	M_{u2} kgf-m	M_{u3} kgf-m	Pier A_g cm ²
Top	127.151336	0.0051	0.0029	DWalS12	-275778.23	-5359.01	-82319.78	24900.001252
Bottom	204.197821	0.0082	0.0029	DWalS12	-321123.09	-23839.01	-91746.39	24900.001252

Shear Design

Station Location	ID	Rebar cm ² /m	Shear Combo	P_u kgf	M_u kgf-m	V_u kgf	ϕV_c kgf	ϕV_n kgf
Top	Leg 1	8.34753	DWalS13	453852.84	641575.52	349991.4	222820.52	349991.4
Bottom	Leg 1	7.5	DWalS13	456987	921610.4	314787.09	222820.52	337079.72

Figura 65. Acero requerido a flexión y a corte según Etabs

2. Detalle estructural. En esta estructura hay 2 tipos de muros especiales estructurales, uno de 20 cm de espesor y otro de 30 cm. En este caso se utilizó el muro de 30 cm de espesor y 8.3 m de longitud, con una cantidad de acero a flexión de 32 varillas No. 9 suministrando 206.45 cm² y a cortante estribos No. 4 a cada 20 cm que suministran 12.64 cm²/m.

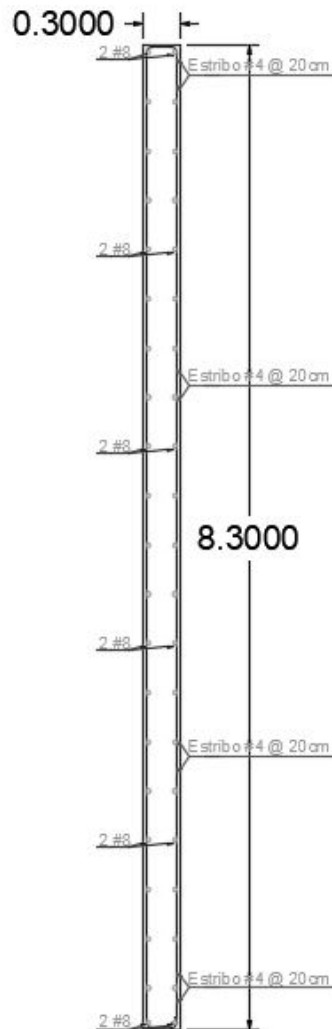


Figura 66. Detalle estructural del muro

VII. CONCLUSIONES

Se logró determinar por medio de la comparación de derivas máximas en el sistema estructural de marcos especiales resistentes a momento y el sistema estructural de sistema combinado, que al agregar muro estructural especial se reducen las derivas máximas de la estructura en un 65.42 %. Se puede evidenciar la importancia que tiene el muro estructural en estructuras de concreto reforzado, al contener la mayor parte del esfuerzo cortante provocado en la estructura se podría generar una estructura mayor. El muro estructural también permite que las columnas puedan ser más óptimas y reducir sus dimensiones, ya que también brinda ayuda a la compresión que se sufre en la edificación.

Para el sistema de marcos especiales resistentes a momento se obtuvo un límite de derivas de 10.80 mm para los pisos típicos y 11.52 mm para los sótanos, mientras que para el sistema combinado se obtuvo un límite de derivas de 12 mm para el piso típico y de 12.80 mm para los sótanos. Donde se vió excedida la deriva para los marcos fue en los niveles 2, 3, 4, 5 y 6 donde se alcanzó una deriva máxima de 11.745 mm > 10.80 mm. Al momento de exceder estas derivas, es necesario cambiar el sistema estructural, no es recomendado continuar con este sistema si se supera el límite máximo de derivas porque puede llevar a una torsión mayor en la estructura a la esperada, debido principalmente por el desplazamiento y provocar un desastre en la estructura.

Las dimensiones de las columnas representan una variación prácticamente imperceptible en las derivas máximas de la estructura. Esto se comprobó comparando las derivas de cada modelo desde las columnas de 100 X 100 cm utilizadas en el predimensionamiento, hasta las columnas de 70 X 70 cm que son las más óptimas para la estructura. La diferencia máxima encontrada entre estos 2 modelos fue 0.177 mm que resulta ser insignificante para el análisis de las derivas máximas permisibles, ya que las derivas del modelo combinado se encuentran lejos de su límite de 12 mm. Se logró generar detalles estructurales de los elementos estructurales de la superestructura de la edificación, esto generado para el último modelo combinado. Se obtuvo la cantidad de acero de refuerzo requerido para cada elemento, pero solo se evaluó el elemento más crítico de cada uno debido a los alcances de este trabajo de graduación.

Se encontró el nivel máximo que permite la estructura con un sistema de marcos especiales resistentes a momento, sin irregularidades horizontales ni verticales. Se realizó un análisis de derivas desde la edificación con 8 niveles y 3 sótanos hasta alcanzar el modelo donde las derivas sobrepasan el límite que fue el de 11 niveles y 3 sótanos, es por eso que este sistema estructural solo soporta hasta 10 niveles y 3 sótanos. Al definir el modelo de 11 niveles y 3 sótanos que debe ser modificado para soportar las derivas máximas y por eso se cambia el sistema estructural a un sistema combinado. Esto se ha logrado con la ayuda del software Etabs donde se generaron 8 diferentes modelos modificando cada uno con sus propios factores de calibración calculados con ayuda de Excel y siguiendo los requisitos del código de diseño ASCE/SEI 7-16.

Se determinó que al reducir las secciones de las columnas e implementar el muro estructural se redujo el área ocupada por las columnas. Se obtuvieron 61.17 m² de área adicional por esta reducción de columnas que puede ser utilizada en cada nivel para más área habitable. De la misma forma en la construcción se obtuvo una reducción de 2605.84 m³ de concreto en todo el edificio solamente por la reducción de columnas que representa un ahorro al momento de la construcción del edificio.

VIII. RECOMENDACIONES

- El tema económico es de suma importancia, se insta a cualquier ingeniero civil a que si quiere desarrollar el costo que tendría esta edificación y la utilidad que podría generar lo realice, pero los alcances de este trabajo de graduación no están relacionados con el factor económico. Y al departamento de ingeniería civil a promover cursos que ayuden a los estudiantes a formarse en temas económicos en obra y buscar un mejor desempeño en el área.
- La cimentación de la edificación no fue desarrollada debido a que no afecta en el análisis de derivas, pero se recomienda a cualquier ingeniero civil a que si quiere desarrollar las cimentaciones y un estudio geotécnico para poder cambiar el tipo de sitio. La norma indica que se debe usar tipo D cuando se desconoce, pero se podría generar el estudio de suelo en algún lugar de la Ciudad de Guatemala y realizar un trabajo de graduación acorde a eso y al diseño de la cimentación.
- Se recomienda para futuras investigaciones realizar el detalle estructural completo de los elementos, para vigas, columnas, losas y muros. De la misma forma se insta a buscar la forma de utilizar un acero de grado mayor o modificar la resistencia del concreto y analizar las implicaciones que tendrían estos cambios en la estructura.
- Se recomienda a un ingeniero civil que, si quiere probar otra solución para reducir las derivas que no sean los muros estructurales especiales, puede hacerlo y desarrollar la solución con un sistema diferente como puede ser el dual o hasta con elementos exteriores como breizas o alguna otra solución que se pueda implementar.
- A la Universidad del Valle de Guatemala se le sugiere invertir en equipos que puedan ayudar al desarrollo de más trabajos de graduación relacionados con la acción sísmica como podría ser una mesa vibratoria para generar ensayos y simular comportamientos.
- Es importante mencionar que los 2 primeros niveles del edificio están planificados como un área común y la normativa de AGIES en este caso solicita utilizar como carga viva 500 kg/m² por lo que se recomienda utilizar esta carga en lugar de la carga de 300 kg/m² que fue utilizada por fines educativos al momento de la realización de este trabajo.
- Se recomienda modificar el mesh utilizado para el cálculo de la losa en el software Etabs a cada 5 pulgadas, en lugar de dejar el automático que el software indica. De la misma forma también se sugiere que este cálculo se puede realizar de la misma forma con design strips sin la necesidad de utilizar el mesh.
- Por último, a la comunidad de ingenieros civiles los exhorto a que si quieren ampliar este trabajo de graduación, pueden realizar investigaciones más profundas sobre la influencia de los muros estructurales en las edificaciones de concreto reforzado. De la misma forma investigaciones más extensas sobre las implicaciones que tienen las derivas sobre las estructuras y los posibles desastres si no se chequean de manera adecuada.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Referencias

- ACI. (2014). American Concrete Institute 318. *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*, 137-181.
- AGIES. (2018a). Norma de Seguridad Estructural para Guatemala 1. *Generalidades, Administración de las Normas y Supervisión Técnica*, 21-26.
- AGIES. (2018b). Norma de Seguridad Estructural para Guatemala 2. *Demandas Estructurales y Condiciones de Sitio*, 31-44.
- AGIES. (2018c). Norma de Seguridad Estructural para Guatemala 3. *Diseño Estructural de Edificaciones*, 61-70.
- AGIES. (2018d). Norma de Seguridad Estructural para Guatemala 7.9. *Diseño de Edificaciones de Concreto Reforzado con Muros de Baja Ductilidad*, 60-85.
- ARGOS. (2023). Rigidez de las estructuras y resistencia del concreto. *360 en Concreto*.
- ASCE/SEI. (2016). American Society of Civil Engineers. *Cargas Mínimas de Diseño y Criterio Asociado para Edificios y Otras Estructuras*, 77-119.
- ATC. (2010). Modeling and acceptance criteria for seismic design and analysis of tall buildings. *Report No. ATC 72-1, Applied Technology Council*.
- Chorro. (2004). San Salvador. *Diseño de elementos estructurales en edificios de concreto reforzado*.
- DBI. (2009). Structural bulletin SB 09-09. *DBI*.
- de Hormigón Estructural EHE, I. (1999). Centro de Publicaciones del Ministerio de Fomento. *Leyes y Decretos, Normas Técnicas*.
- FEMA. (2009). Quantification of Building Seismic Performance Factors. *FEMA P695*.
- Giner-Robles, J. (s.f.). Tipos de Fallas. *Riesgo Sísmico*, 2-10.
- Gómez, D. (2010). Universidad de San Buenaventura. *Apuntes sobre la formulación de las propuestas estructurales*, 7.
- Hernández, A. (2021). AGA Construction. *Diseño estructural de elementos de concreto reforzado (vigas)*.
- Hernández, N. (2016). Scielo. *Requisitos mínimos de detallado dúctil en marcos de concreto reforzado protegidos con disipadores histeréticos de energía. Ingeniería sísmica*, 1-32.
- INSIVUMEH. (2023). Sismología. *Geofísica*.
- Jaques, H. (2001). Instituto Juan de Herrera. *La Ciencia de las Estructuras*.
- j Barros. (2014). Flexibilización de requisitos sísmicos de diseño para edificios de pórticos de 2 pisos o menos. *Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería*.
- José Barros Cabezas, H. S. M. (2015). Criterio columna fuerte viga débil en edificios de baja altura. *Revista Economía y Desarrollo*.
- Marinilli, A. (2017). Evaluación probabilística de la condición "Columna fuerte Viga débil". *Trienal de Investigación FAU 2017*.
- Mattheiss, J. (1980). Reverté S. A. *Hormigón armado, hormigón armado aligerado, hormigón pretensado*.
- Ministerio de Ambiente, V. y. D. T. (2010). NSR-10. *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente*.
- Moehle, J. (2011). Seismic Design of Cast-in-Place Concrete Special Structural Walls and Coupling Beams. *NEHRP Seismic Design Technical Briefs*.
- RSN. (2019). ¿Cuál es la diferencia entre magnitud e intensidad? *Sismología*.
- SEAW. (2009). Special reinforced concrete shear walls as building frame systems for mid and high rise buildings. *White Paper 1-2009*.

X. APÉNDICES

A. Capturas de pantalla de los modelos utilizados

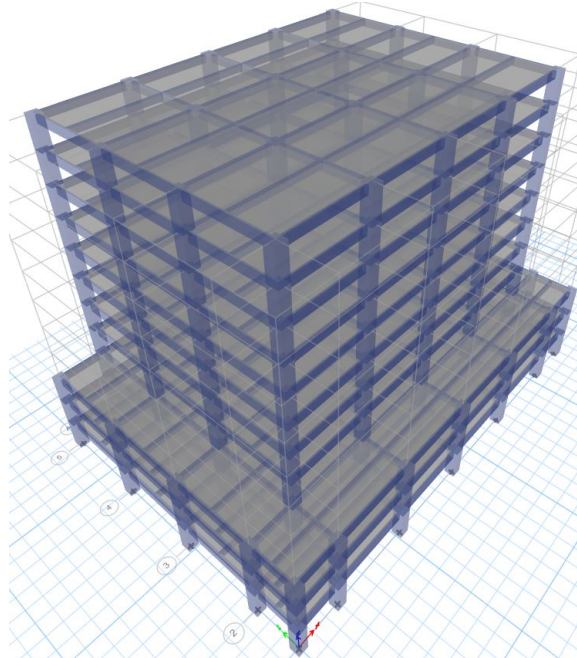


Figura 67. Modelo de sistema de marcos de 8 niveles

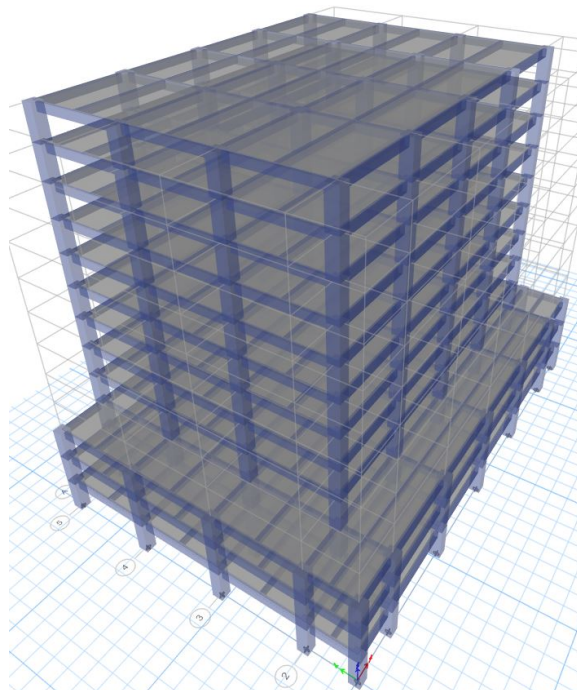


Figura 68. Modelo de sistema de marcos de 9 niveles

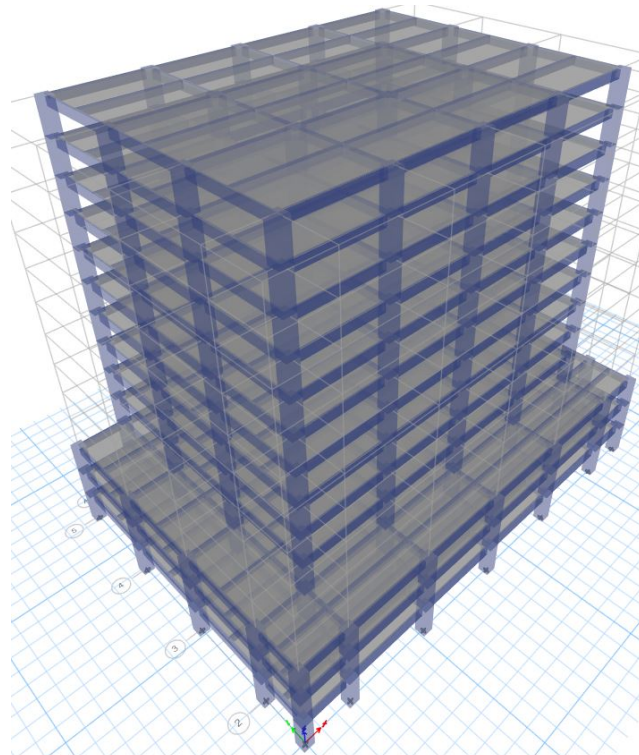


Figura 69. Modelo de sistema de marcos de 10 niveles

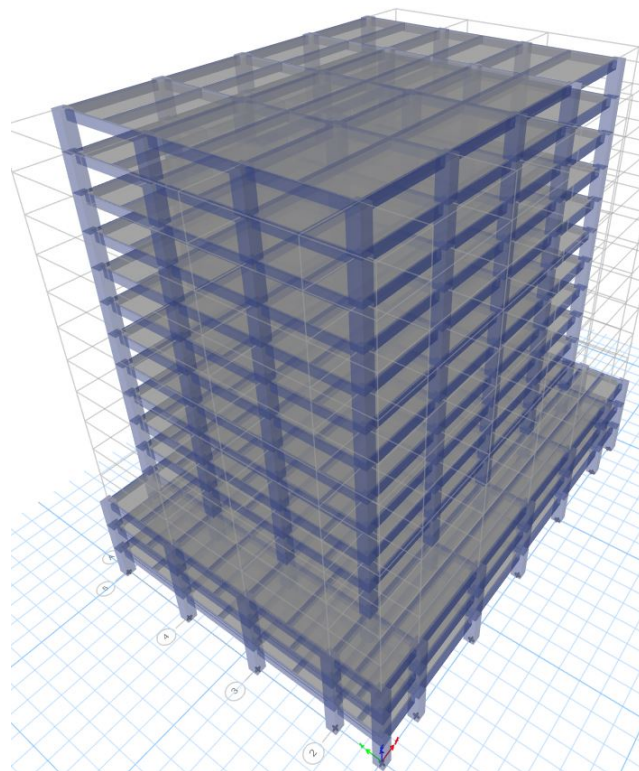


Figura 70. Modelo de sistema de marcos de 11 niveles

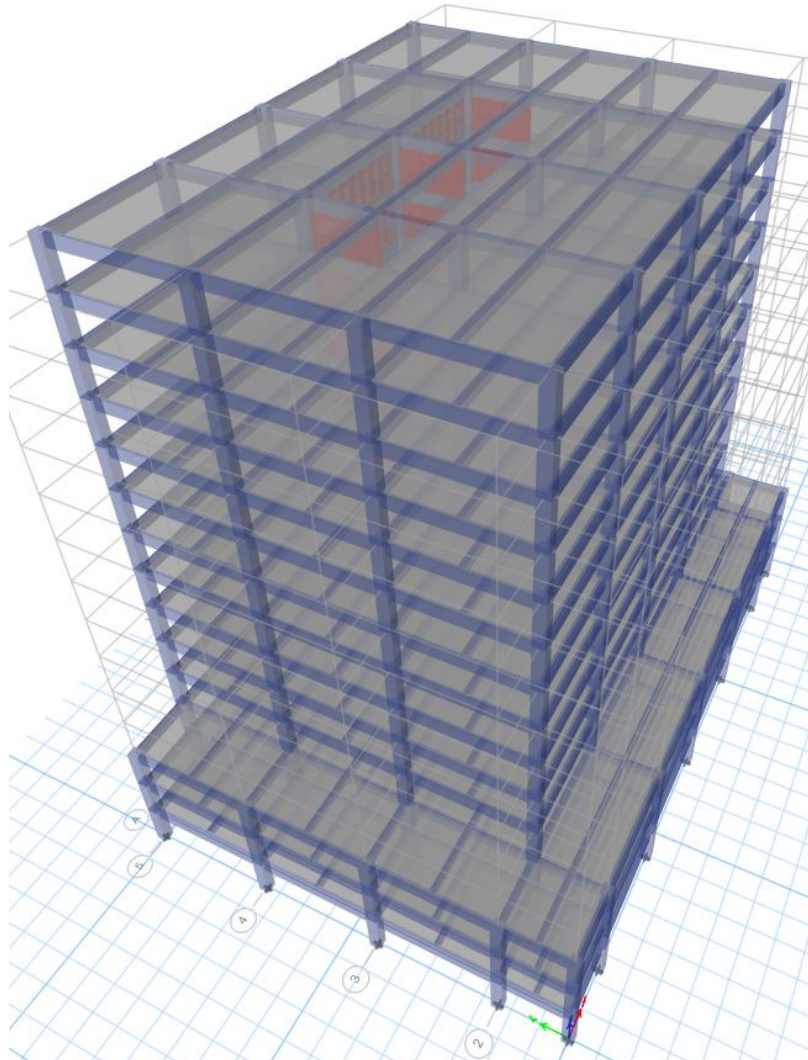


Figura 71. Modelo de sistema combinado de 11 niveles con columnas de 70 X 70 cm

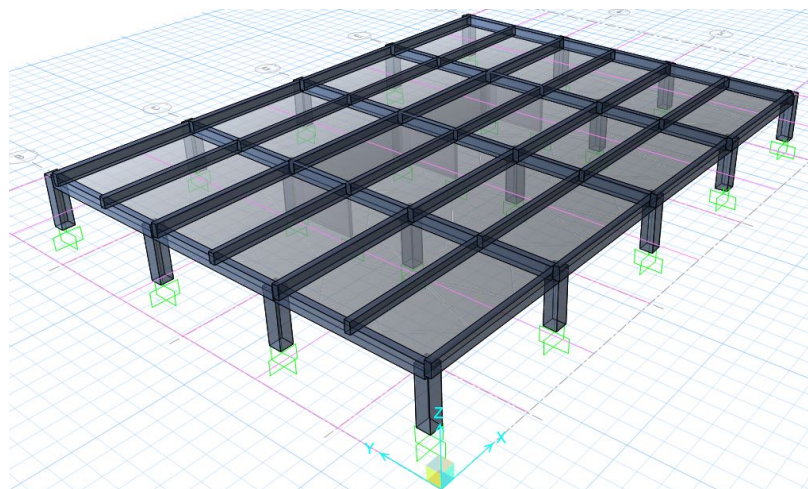


Figura 72. Modelo de losa de techo

Niveles	14		
Área tributaria	68.89	m2	
Peso unitario	1000	kg/m2	
f'c	350	kg/cm2	

Área requerida (m2)			
Nivel	Carga (Kg)	Centro - Bajos	Centro - Altos
α		3.3	4
14	68890	0.06	0.08
13	137780	0.13	0.16
12	206670	0.19	0.24
11	275560	0.26	0.31
10	344450	0.32	0.39
9	413340	0.39	0.47
8	482230	0.45	0.55
7	551120	0.52	0.63
6	620010	0.58	0.71
5	688900	0.65	0.79
4	757790	0.71	0.87
3	826680	0.78	0.94
2	895570	0.84	1.02
1	964460	0.91	1.10

Figura 75. Cálculo predimensionamiento de columnas

TABLE: Base Reactions											
Output Case	Case Type	Step Type	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	X	Y	Z
			kgf	kgf	kgf	kgf-m	kgf-m	kgf-m	m	m	m
Dead	LinStatic		0	0.00005286	10926354.27	180236566.1	-230546075	0.001126	0	0	0
Live	LinStatic		0	0	2266976	36202943.62	-47833193.6	0.000195	0	0	0 Ws
Sismo Ex	LinRespSp Max		738635.93	0.18	0	0.22	20728731.36	16935407	0	0	0 Vy
Sismo Ey	LinRespSp Max		0.15	415184.51	0	10028237.53	0.07	9337366	0	0	0 Vx

Figura 76. Obtención de las reacciones en la base

TABLE: Modal Participating Mass Ratios														
Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
		sec												
Modal	1	1.731	0.088	0	0	0.088	0	0	0	0.0473	0.4788	0	0.0473	0.4788
Modal	2	1.503	0	0.649	0	0.088	0.649	0	0.367	0	0	0.367	0.0473	0.4788
Modal	3	0.595	0.524	0	0	0.612	0.649	0	0	0.3384	0.1356	0.367	0.3857	0.6143
Modal	4	0.53	0.0707	0	0	0.6827	0.649	0	0	0.0156	0.1134	0.367	0.4014	0.7278
Modal	5	0.406	0	0.1734	0	0.6827	0.8224	0	0.2939	0	0	0.661	0.4014	0.7278
Modal	6	0.301	0.015	0	0	0.6977	0.8224	0	0	0.0229	0.1212	0.661	0.4242	0.849
Modal	7	0.195	0	0.0882	0	0.6977	0.9106	0	0.1375	0	0	0.7985	0.4242	0.849
Modal	8	0.194	0.0072	0	0	0.7049	0.9106	0	0	0.0136	0.0378	0.7985	0.4379	0.8868
Modal	9	0.163	0.1897	0	0	0.8947	0.9106	0	0	0.322	0.0311	0.7985	0.7599	0.9179
Modal	10	0.13	0.0027	0	0	0.8974	0.9106	0	0	0.0058	0.0145	0.7985	0.7656	0.9324
Modal	11	0.119	0	0.0384	0	0.8974	0.9489	0	0.0825	0	0	0.881	0.7656	0.9324
Modal	12	0.096	0.0023	0	0	0.8997	0.9489	0	0	0.0056	0.0152	0.881	0.7713	0.9476

Figura 77. Obtención del período de vibración de la estructura

Cortante corrida inicial			
Sa(Tfx)	0.4525 g	Sa(Tfy)	0.453 g
Csx	0.0566	Csy	0.0566
Csx	0.0566	Csy	0.0566
V1X	326.8 ton	V1Y	325.6 ton
Si el edificio no tiene irregularidades - Calibrar V1x y V1y al 85% de VE			
Si el edificio tiene irregularidades - Calibrar V1x y V1y al 100% de VE			
Tiene irregularidades	No		
Corte de diseño			
VDX	430.2 t	VDY	430.2 t
Factor de calibración			
Fx	1.317	Fy	1.322
Factor de calibración post-derivadas (Solo para zona sísmica 4.2)			
Csmin2 X	0.0450	Csmin2 Y	0.0450
Vcs min2X	402.7	Vcs min2Y	402.7
Vder X	FALSO	Vder Y	FALSO
fDx	1.232	fDy	1.237
Sismo estático			
Csx	0.0566	Csy	0.0566
Kx	1.5279	Ky	1.5279

Figura 78. Memoria de cálculo de sistema de marcos de 8 niveles

Cortante corrida inicial			
Sa(Tfx)	0.4190 g	Sa(Tfy)	0.419 g
Csx	0.0524	Csy	0.0524
Csx	0.0524	Csy	0.0524
V1X	325.7 ton	V1Y	324.1 ton
Si el edificio no tiene irregularidades - Calibrar V1x y V1y al 85% de VE			
Si el edificio tiene irregularidades - Calibrar V1x y V1y al 100% de VE			
Tiene irregularidades	No		
Corte de diseño			
VDX	433.0 t	VDY	433.0 t
Factor de calibración			
Fx	1.330	Fy	1.336
Factor de calibración post-derivadas (Solo para zona sísmica 4.2)		NO APLICA	
Csmin2 X	0.0446	Csmin2 Y	0.0449
Vcs min2X	434.0	Vcs min2Y	436.9
Vder X	FALSO	Vder Y	FALSO
fDx	1.333	fDy	1.348
Sismo estático			
Csx	0.0524	Csy	0.0524
Kx	1.5901	Ky	1.5901

Figura 79. Memoria de cálculo de sistema de marcos de 9 niveles

Cortante corrida inicial			
Sa(Tfx)	0.3903 g	Sa(Tfy)	0.390 g
Csx	0.0488	Csy	0.0488
Csx	0.0488	Csy	0.0488
V1X	325.2 ton	V1Y	323.4 ton
Si el edificio no tiene irregularidades - Calibrar V1x y V1y al 85% de VE			
Si el edificio tiene irregularidades - Calibrar V1x y V1y al 100% de VE			
Tiene irregularidades	No		
Corte de diseño			
VDX	435.6 t	VDY	437.2 t
Factor de calibración			
Fx	1.339	Fy	1.352
Factor de calibración post-derivadas (Solo para zona sísmica 4.2)	NO APLICA		
Csmin2 X	0.0435	Csmin2 Y	0.0438
Vcs min2X	456.9	Vcs min2Y	459.9
Vder X	FALSO	Vder Y	FALSO
fDx	1.405	fDy	1.422
Sismo estático			
Csx	0.0488	Csy	0.0490
Kx	1.6518	Ky	1.6518

Figura 80. Memoria de cálculo de sistema de marcos de 10 niveles

Cortante corrida inicial			
Sa(Tfx)	0.3655 g	Sa(Tfy)	0.365 g
Csx	0.0457	Csy	0.0457
Csx	0.0457	Csy	0.0457
V1X	320.6 ton	V1Y	316.5 ton
Si el edificio no tiene irregularidades - Calibrar V1x y V1y al 85% de VE			
Si el edificio tiene irregularidades - Calibrar V1x y V1y al 100% de VE			
Tiene irregularidades	No		
Corte de diseño			
VDX	456.7 t	VDY	459.5 t
Factor de calibración			
Fx	1.424	Fy	1.452
Factor de calibración post-derivadas (Solo para zona sísmica 4.2)	NO APLICA		
Csmin2 X	0.0426	Csmin2 Y	0.0428
Vcs min2X	480.3	Vcs min2Y	483.3
Vder X	FALSO	Vder Y	FALSO
fDx	1.498	fDy	1.527
Sismo estático			
Csx	0.0457	Csy	0.0479
Kx	1.7131	Ky	1.7131

Figura 81. Memoria de cálculo de sistema de marcos de 11 niveles

Cortante corrida inicial			
Sa(Tfx)	0.4067 g	Sa(Tfy)	0.468 g
Csx	0.0678	Csy	0.0781
Csx	0.0678	Csy	0.0781
V1X	738.6 ton	V1Y	415.2 ton
Si el edificio no tiene irregularidades - Calibrar V1x y V1y al 85% de VE			
Si el edificio tiene irregularidades - Calibrar V1x y V1y al 100% de VE			
Tiene irregularidades	No		
Corte de diseño			
VDX	629.5 t	VDY	725.0 t
Factor de calibración			
Fx	0.852	Fy	1.746
Factor de calibración post-derivas (Solo para zona sísmica 4.2)	NO APLICA		
Csmin2 X	0.0600	Csmin2 Y	0.0600
Vcs min2X	655.6	Vcs min2Y	655.6
Vder X	FALSO	Vder Y	FALSO
fDx	0.888	fDy	1.579
Sismo estático			
Csx	0.0678	Csy	0.0781
Kx	1.6155	Ky	1.5015

Figura 82. Memoria de cálculo de sistema combinado de 11 niveles con columnas de 70 X 70 cm

TABLE: Pier Forces																			
Story	Pier	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P	V2	V3	T	M2	M3	Lw	bw	V	v	v ad	D/C	b req	b propuesto
						kgf	kgf	kgf	kgf-m	kgf-m	kgf-m	cm	cm	kgf	kgf/cm2	kgf/cm2		cm	cm
Story14	4.1	Sismo Der	LinResp5	Max	Top	-19461.68	35612.11	-941.97	-160.85	1653.79	-16160.44	830	30	35612.11	1.430205221	23.66	0.065551	2.58932842	5
Story14	4.1	C1. 1.4M	Combination		Bottom	-69465.74	37442.46	-846.59	-119.95	-1396.33	15443.88	830	30	37442.46	1.503713253	23.66	0.063562301	2.724098608	5
Story14	4.1	C2. 1.2M + 1.	Combination		Top	-17593.92	41911.46	-922.12	-258.49	1481.54	-19152.05	830	30	41911.46	1.683191165	23.66	0.073148873	3.049237413	5
Story14	4.1	C3. 1.2M + 1.	Combination		Bottom	-65026.13	43439.68	-710.75	-72.9	-1374.89	20254.67	830	30	43439.68	1.744565462	23.66	0.073743178	3.160421934	5
Story14	4.1	C3. 1.2M + 1.	Combination		Top	-17251.74	37641.41	-879.1	-213.26	1457.54	-17158.03	830	30	37641.41	1.511703213	23.66	0.063900038	2.738573069	5
Story14	4.1	C3. 1.2M + 1.	Combination		Bottom	-62969.61	39184.87	-716.34	-84.12	-1308.13	17623.27	830	30	39184.87	1.573689558	23.66	0.066520215	2.850866365	5
Story14	4.1	C4. 1.43M + 1.	Combination Max		Top	-13861.99	82259.89	-676.79	2938.89	1911.29	-3452.85	830	30	82259.89	3.30361004	23.66	0.139644347	5.984757729	5
Story14	4.1	C4. 1.43M + 1.	Combination Max		Bottom	-49155.71	86825.83	-176.84	2122.18	-249.38	50428.24	830	30	86825.83	3.486981124	23.66	0.147354684	6.318493322	5
Story14	4.1	C4. 1.43M + 1.	Combination Min		Top	-27236.05	4724.05	-1390.92	-2518.26	1547.17	-36166.49	830	30	4724.05	0.189720884	23.66	0.008019545	0.343694779	0
Story14	4.1	C4. 1.43M + 1.	Combination Min		Bottom	-99607.97	3846.44	-1534	-2329.83	-2825.66	-18117.28	830	30	3846.44	0.154475502	23.66	0.006529715	0.27984491	0
Story14	4.1	C5. 1.43M + 1.	Combination Max		Top	-9302.38	66243.05	-321.66	1207.21	2164.64	-9928.12	830	30	66243.05	2.660363454	23.66	0.112454168	4.819644328	5
Story14	4.1	C5. 1.43M + 1.	Combination Max		Bottom	-32200.24	68468.12	364.35	1277.07	906.5	50383.44	830	30	68468.12	2.749723695	23.66	0.116231445	4.981347658	5
Story14	4.1	C5. 1.43M + 1.	Combination Min		Top	-31595.65	20740.89	-1746.05	-1686.57	1293.82	-29691.22	830	30	20740.89	0.83296747	23.66	0.035209724	1.50898818	0
Story14	4.1	C5. 1.43M + 1.	Combination Min		Bottom	-116563.43	22204.15	-2075.19	-1484.73	-9981.54	-10062.48	830	30	22204.15	0.89173292	23.66	0.037693794	1.614446584	0
Story14	4.1	C6.a. 0.77M + 1.	Combination Max		Top	-2528.77	55810.86	-93.73	2201.6	973.52	8631.46	830	30	55810.86	2.2414	23.66	0.094744467	4.066478026	5
Story14	4.1	C6.a. 0.77M + 1.	Combination Max		Bottom	-8018.19	59406.58	273.42	2168.6	619.9	45668.76	830	30	59406.58	2.385886747	23.66	0.100851975	4.32227495	5
Story14	4.1	C6.a. 0.77M + 1.	Combination Min		Top	-16100.83	-21724.98	-807.86	-2355.55	609.4	-24081.17	830	30	21724.98	0.87489157	23.66	0.036880315	1.580584924	0
Story14	4.1	C6.a. 0.77M + 1.	Combination Min		Bottom	-58470.45	-23570.8	-1083.73	-2283.41	-1956.38	-30886.76	830	30	23570.8	0.946618474	23.66	0.040013778	1.714876199	0
Story14	4.1	C7.a. 0.77M + 1.	Combination Max		Top	1832.83	39794.02	261.4	1369.91	1226.87	2157.2	830	30	39794.02	1.598153414	23.66	0.067554308	2.895184625	5
Story14	4.1	C7.a. 0.77M + 1.	Combination Max		Bottom	8937.27	41050.67	814.62	1323.5	1775.78	37613.96	830	30	41050.67	1.646629317	23.66	0.069687936	2.98662821	5
Story14	4.1	C7.a. 0.77M + 1.	Combination Min		Top	-20460.44	-5708.14	-1103	-1523.86	356.05	-17055.91	830	30	5708.14	0.22942427	23.66	0.009690136	0.415291523	0
Story14	4.1	C7.a. 0.77M + 1.	Combination Min		Bottom	-75425.92	-5213.09	-1624.93	-1438.31	-3112.26	-22831.96	830	30	5213.09	0.209961044	23.66	0.008497939	0.379274325	0
Story14	4.2	C1. 1.4M	Combination		Top	-19461.68	-35612.11	-941.97	160.85	1653.79	16160.44	830	30	35612.11	1.430205221	23.66	0.065551	2.58932842	5
Story14	4.2	C1. 1.4M	Combination		Bottom	-69465.74	37442.46	-846.59	-119.95	-1396.33	15443.88	830	30	37442.46	1.503713253	23.66	0.063562301	2.724098608	5
Story14	4.2	C2. 1.2M + 1.	Combination		Top	-17593.92	41911.46	-922.12	258.5	1481.54	19152.05	830	30	41911.46	1.683191165	23.66	0.073148873	3.049237413	5
Story14	4.2	C2. 1.2M + 1.	Combination		Bottom	-65026.13	43439.68	-710.75	72.9	-1374.89	-20254.67	830	30	43439.68	1.744565462	23.66	0.073743178	3.160421934	5
Story14	4.2	C3. 1.2M + 1.	Combination		Top	-17251.74	37641.41	-879.1	213.26	1457.54	17158.03	830	30	37641.41	1.511703213	23.66	0.063900038	2.738573069	5
Story14	4.2	C3. 1.2M + 1.	Combination		Bottom	-62969.61	39184.87	-716.34	84.12	-1308.13	-17623.27	830	30	39184.87	1.573689558	23.66	0.066520215	2.850866365	5
Story14	4.2	C4. 1.43M + 1.	Combination Max		Top	-13861.99	82259.89	-676.79	2938.89	1911.29	-3452.85	830	30	82259.89	3.30361004	23.66	0.08019545	3.43694779	5
Story14	4.2	C4. 1.43M + 1.	Combination Max		Bottom	-49155.71	86825.83	-176.84	2129.83	-249.38	50428.24	830	30	86825.83	3.486981124	23.66	0.067554308	2.895184625	5
Story14	4.2	C4. 1.43M + 1.	Combination Min		Top	-27236.05	4724.05	-1390.92	-2518.26	1547.17	-36166.49	830	30	4724.05	0.189720884	23.66	0.008019545	0.343694779	0
Story14	4.2	C4. 1.43M + 1.	Combination Min		Bottom	-99607.97	3846.44	-1534	-2329.83	-2825.66	-18117.28	830	30	3846.44	0.154475502	23.66	0.006529715	0.27984491	0
Story14	4.2	C5. 1.43M + 1.	Combination Max		Top	-9302.38	66243.05	-321.66	1207.21	2164.64	-9928.12	830	30	66243.05	2.660363454	23.66	0.112454168	4.819644328	5
Story14	4.2	C5. 1.43M + 1.	Combination Max		Bottom	-32200.24	68468.12	364.35	1277.07	906.5	50383.44	830	30	68468.12	2.749723695	23.66	0.116231445	4.981347658	5
Story14	4.2	C5. 1.43M + 1.	Combination Min		Top	-31595.65	20740.89	-1746.05	-1686.57	1293.82	-29691.22	830	30	20740.89	0.83296747	23.66	0.035209724	1.50898818	0
Story14	4.2	C5. 1.43M + 1.	Combination Min		Bottom	-116563.43	22204.15	-2075.19	-1484.73	-9981.54	-10062.48	830	30	22204.15	0.89173292	23.66	0.037693794	1.614446584	0
Story14	4.2	C6.a. 0.77M + 1.	Combination Max		Top	-2528.77	55810.86	-93.73	2201.6	973.52	8631.46	830	30	55810.86	2.2414	23.66	0.094744467	4.066478026	5
Story14	4.2	C6.a. 0.77M + 1.	Combination Max		Bottom	-8018.19	59406.58	273.42	2168.6	619.9	45668.76	830	30	59406.58	2.385886747	23.66	0.100851975	4.32227495	5
Story14	4.2	C6.a. 0.77M + 1.	Combination Min		Top	-16100.83	-21724.98	-807.86	-2355.55	609.4	-24081.17	830	30	21724.98	0.87489157	23.66	0.036880315	1.580584924	0
Story14	4.2	C6.a. 0.77M + 1.	Combination Min		Bottom	-58470.45	-23570.8	-1083.73	-2283.41	-1956.38	-30886.76	830	30	23570.8	0.946618474	23.66	0.040013778	1.714876199	0
Story14	4.2	C7.a. 0.77M + 1.	Combination Max		Top	1832.83	39794.02	261.4	1369.91	1226.87	2157.2	830	30	39794.02	1.598153414	23.66	0.067554308	2.895184625	5
Story14	4.2	C7.a. 0.77M + 1.	Combination Max		Bottom	8937.27	41050.67	814.62	1323.5	1775.78	37613.96	830	30	41050.67	1.646629317	23.66	0.069687936	2.98662821	5
Story14	4.2	C7.a. 0.77M + 1.	Combination Min		Top	-20460.44	-5708.14	-1103	-1523.86	356.05	-17055.91	830	30	5708.14	0.22942427	23.66	0.009690136	0.415291523	0
Story14	4.2	C7.a. 0.77M + 1.	Combination Min		Bottom	-75425.92	-5213.09	-1624.93	-1438.31	-3112.26	-22831.96	830	30	5213.09	0.209961044	23.66	0.008497939	0.379274325	0

Figura 83. Memoria de cálculo de piers para el muro estructural

TABLE: Joint Drifts											
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Disp X	Disp Y	Drift X	Drift Y	Chequeo	
						m	m			X	Y
Story14	7	233	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Max	0.033681	0.031037	0.000714	0.000629	-	-
Story14	7	233	Sismo Der Ey	LinRespSpec	Max	0.011739	0.086582	0.000209	0.001934	-	-
Story14	10	278	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Max	0.025049	0.031037	0.000525	0.000629	-	-
Story14	10	278	Sismo Der Ey	LinRespSpec	Max	0.005367	0.086582	0.000102	0.001934	-	-
Story14	27	533	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Max	0.033681	0.031037	0.000714	0.000629	-	-
Story14	27	533	Sismo Der Ey	LinRespSpec	Max	0.011739	0.086582	0.000209	0.001934	-	-
Story14	30	578	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Max	0.025049	0.031037	0.000525	0.000629	-	-
Story14	30	578	Sismo Der Ey	LinRespSpec	Max	0.005367	0.086582	0.000102	0.001934	-	-
Story13	7	154	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Max	0.031872	0.029496	0.000879	0.000753	-	-
Story13	7	154	Sismo Der Ey	LinRespSpec</							

TABLE: Story Drifts			TABLE: Story Drifts							
Story	Output Case	Case Type	Story	Direction	Drift	Label	X	Y	Z	Chequeo
							m	m	m	
Story14	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Story14	X	0.000716	17	21.1	4.5	42.2	-
Story14	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Story14	Y	0.000629	7	4.5	4.5	42.2	-
Story14	Sismo Der Ey	LinRespSpec	Story14	Y	0.001934	8	4.5	12.8	42.2	-
Story13	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Story13	X	0.000879	7	4.5	4.5	39.2	-
Story13	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Story13	Y	0.000755	29	37.7	21.1	39.2	-
Story13	Sismo Der Ey	LinRespSpec	Story13	Y	0.002135	29	37.7	21.1	39.2	-
Story12	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Story12	X	0.000944	27	37.7	4.5	36.2	-
Story12	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Story12	Y	0.00085	30	37.7	29.4	36.2	-
Story12	Sismo Der Ey	LinRespSpec	Story12	Y	0.002254	10	4.5	29.4	36.2	-
Story11	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Story11	X	0.001011	27	37.7	4.5	33.2	-
Story11	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Story11	Y	0.000928	30	37.7	29.4	33.2	-
Story11	Sismo Der Ey	LinRespSpec	Story11	Y	0.002384	30	37.7	29.4	33.2	-
Story10	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Story10	X	0.001058	27	37.7	4.5	30.2	-
Story10	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Story10	Y	0.000982	27	37.7	4.5	30.2	-
Story10	Sismo Der Ey	LinRespSpec	Story10	Y	0.002491	10	4.5	29.4	30.2	-
Story9	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Story9	X	0.001085	27	37.7	4.5	27.2	-
Story9	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Story9	Y	0.001016	10	4.5	29.4	27.2	-
Story9	Sismo Der Ey	LinRespSpec	Story9	Y	0.002569	30	37.7	29.4	27.2	-
Story8	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Story8	X	0.001102	27	37.7	4.5	24.2	-
Story8	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Story8	Y	0.001038	30	37.7	29.4	24.2	-
Story8	Sismo Der Ey	LinRespSpec	Story8	Y	0.002611	10	4.5	29.4	24.2	-
Story7	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Story7	X	0.001113	27	37.7	4.5	21.2	-
Story7	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Story7	Y	0.001053	7	4.5	4.5	21.2	-
Story7	Sismo Der Ey	LinRespSpec	Story7	Y	0.002609	10	4.5	29.4	21.2	-
Story6	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Story6	X	0.001112	27	37.7	4.5	18.2	-
Story6	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Story6	Y	0.001054	27	37.7	4.5	18.2	-
Story6	Sismo Der Ey	LinRespSpec	Story6	Y	0.002547	10	4.5	29.4	18.2	-
Story5	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Story5	X	0.001074	27	37.7	4.5	15.2	-
Story5	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Story5	Y	0.00102	30	37.7	29.4	15.2	-
Story5	Sismo Der Ey	LinRespSpec	Story5	Y	0.002407	30	37.7	29.4	15.2	-
Story4	Sismo Der Ex	LinRespSpec	Story4	X	0.000923	27	37.7	4.5	12.2	-

Figura 85. Obtención de Story Drifts

XI. GLOSARIO

- **Compresión:** Son las fuerzas aplicadas en un cuerpo que normalmente tiene a reducirlo en su tamaño.
- **Cortante:** Es el esfuerzo que aplica una fuerza en forma paralela a la sección del elemento.
- **Deriva:** Es el desplazamiento horizontal relativo entre dos puntos colocados en dos niveles consecutivos de la estructura.
- **Desplazamiento:** Vector que define la la posición de un punto en relación a su punto de origen.
- **Etabs:** Software especializado para el análisis estructural y dimensionamiento de edificaciones.
- **f'c:** Resistencia del concreto a la compresión a los 28 días.
- **Flexión:** Deformación que representa el elemento estructural en su eje longitudinal.
- **Fy:** Resistencia a la cedencia del acero de refuerzo.
- **Período:** En estructuras es el tiempo en que se completa un ciclo de movimiento de la edificación al momento de sufrir una acción sísmica.
- **Pier:** Disminuir el muro para generar secciones más pequeñas y poder analizarlas en el muro estructural en el software Etabs.