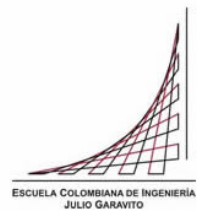


**Maestría en Ingeniería Civil**

**Efectos de la rigidez del diafragma en la demanda sísmica en edificaciones con irregularidades en planta tipo 2P**

**Luis Alejandro Sánchez García**

**Bogotá, D.C., 30 de julio de 2015**





**Efectos de la rigidez del diafragma en la demanda sísmica en edificaciones con irregularidades en planta tipo 2P**

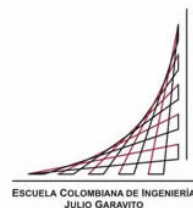
**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con énfasis en estructuras**

**Sandra Jerez Barbosa Msc., Phd.**

**Pedro Nel Quiroga Msc., Phd.**

**Directores**

**Bogotá, D.C., 30 de julio de 2015**





La tesis de maestría titulada “Efectos de la rigidez del diafragma en la demanda sísmica en edificaciones con irregularidades en planta tipo 2P”, presentada por Luis Alejandro Sánchez García, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Estructuras.

Directores de la tesis

Sandra Jerez Barbosa I.C., M.Sc., Ph.D.

Pedro Nel Quiroga I.C., M.Sc., Ph.D.

Jurado

Luis Enrique Aycardi I.C., M.Sc.

Jurado

Nancy Torres Castellanos. I.C., M.Sc., Ph.D

Bogotá, D.C., 30 de julio de 2015



*A mi hijo Daniel*





## **Agradecimientos**

A la Ingeniera Sandra Jerez Barbosa, sin cuya colaboración, apoyo y guía no habría sido posible el desarrollo y culminación de la presente investigación.

A las personas que de una u otra forma me brindaron la colaboración y el impulso que se requería en los momentos oportunos.



## Resumen

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), 2010) y otras normas internacionales definen metodologías para la distribución de fuerzas sísmicas en edificaciones que consideran la acción del entrepiso (Diafragma) como un cuerpo rígido capaz de transferir las fuerzas inerciales causadas por las cargas horizontales a los elementos verticales que conforman el sistema de resistencia sísmica, de manera proporcional a la rigidez de dichos elementos. Dichas metodologías se basan a su vez en el predominio del primer modo de vibración en la respuesta de la estructura ante un sismo.

Este trabajo presenta los resultados de un estudio analítico que busca establecer si la demanda sísmica en el diafragma, definida por las aceleraciones y fuerzas horizontales obtenidas mediante el procedimiento establecido en el Reglamento NSR-10, representa adecuadamente la magnitud y la distribución de la demanda sísmica experimentada por estructuras de concreto reforzado con diferentes tipologías. Se analizó aquí el efecto que genera el grado de irregularidad en planta en dicha demanda para edificaciones de pórticos y muros.

Los resultados muestran que si bien en algunos de los casos evaluados el diafragma puede considerarse rígido, como suele hacerse en la práctica, las aceleraciones estimadas utilizando la metodología establecida en NSR-10 pueden estar por debajo de las registradas en análisis dinámicos lineales, lo que implicaría que de seguir esta metodología se diseñarían los diafragmas para fuerzas menores de las esperadas. Por otro lado, se evidencia la necesidad de establecer metodologías o expresiones basadas en las características dinámicas de la estructura y no sólo en la altura y el valor de  $S_a$ , como establece actualmente el reglamento NSR-10.

Palabras clave: Diafragmas, flexibilidad, diseño de diafragmas, demanda sísmica



## Abstract

The Colombian seismic code (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10) as well as other seismic standards define methods and expressions for evaluating the seismic forces affecting story diaphragms. Most of these methods consider the diaphragm as a rigid body capable of transmitting inertial forces to the elements of the lateral force supporting system according to their relative stiffness. This is based on the assumption of the first mode being the predominant mode in the seismic response of the structure.

This paper presents the results of a study intended to evaluate the seismic demand estimated according to the NSR-10 seismic code. These demands, expressed as accelerations and forces at the diaphragm level, are compared to those obtained by means of linear time history analyses performed on reinforced concrete buildings of different types. Plan irregularity effects on these demands were analyzed on frame and wall buildings.

The results show that even if the diaphragm may be considered as rigid in most cases, the accelerations computed according to the code formulae may underestimate those recorded during the dynamic analyses. It means that following these directions would result in design forces lower than required. Also it is evident the need for new methodologies for the estimation of diaphragm forces, based on the dynamic properties of the structure and not only on the spectral acceleration and the building height.

Keywords: Diaphragms, flexibility, diaphragm design, seismic demand



# Contenido

	Pág.
<b>Resumen.....</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras .....</b>	<b>XIII</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>XVI</b>
<b>Lista de Símbolos y abreviaturas.....</b>	<b>XVIII</b>

## Contenido

<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Organización del documento.....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo general:.....	3
1.2.2 Objetivos específicos:.....	4
<b>2. Marco Teórico.....</b>	<b>5</b>
2.1 Concepto de flexibilidad.....	5
2.2 Modelación del diafragma.....	7
2.3 Normativas para diseño de diafragmas.....	8
2.3.1 Reglamento Colombiano NSR-10.....	9
2.3.2 ASCE 7-10.....	9
2.3.3 Uniform Building Code UBC.....	10
2.4 Antecedentes.....	11
<b>3. Desarrollo de la investigación.....</b>	<b>17</b>
3.1 Geometría.....	17
3.2 Diafragmas.....	19
3.3 Materiales.....	20
3.4 Cargas.....	20
3.4.1 Carga Muerta:.....	20
3.4.2 Carga Viva.....	21
3.4.3 Cargas de Sismo.....	21
3.4.4 Análisis Cronológico.....	22
3.5 Modelación.....	27
3.6 Dimensionamiento de las Estructuras:.....	28
3.7 Indicadores de respuesta.....	29
<b>4. Análisis de Resultados.....</b>	<b>30</b>
4.1 Índice de flexibilidad.....	30

4.2	Análisis por fuerza horizontal equivalente .....	35
4.2.1	Periodo de la estructura.....	35
4.2.2	Fuerzas cortantes de piso.....	36
4.2.3	Derivas máximas en las esquinas.....	38
4.2.4	Derivas máximas en el centro de masa .....	41
4.2.5	Aceleraciones en el diafragma Según NSR-10 A.3.6.8.2.....	44
4.2.6	Aceleraciones en el diafragma según ASCE 7-10 .....	45
4.2.7	Índice de estabilidad Q .....	45
4.3	Análisis modal .....	46
4.3.1	Fuerzas cortantes de piso.....	47
4.3.2	Derivas máximas en las esquinas.....	49
4.3.3	Derivas máximas en el centro de masa .....	51
4.4	Análisis cronológico.....	53
4.4.1	Derivas máximas en las esquinas.....	53
4.4.2	Derivas máximas en el centro de masa .....	57
4.4.3	Aceleraciones en el diafragma.....	67
<b>5.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>84</b>
5.1	Conclusiones.....	84
5.2	Recomendaciones .....	88
<b>6.</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>90</b>
Anexo A.	Análisis sísmico de las estructuras.....	93
Anexo B.	Dimensiones de las estructuras.....	126
Anexo C.	Listado de modelos efectuados.....	132
Anexo D.	Acelerogramas de análisis.....	134



## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 2-1:</b> Comportamiento típico de diafragma sometido a cargas en su plano. ....	6
<b>Figura 3-1:</b> Geometría del modelo tipo M1 .....	18
<b>Figura 3-2:</b> Geometría del modelo tipo M2.....	18
<b>Figura 3-3:</b> Geometría del modelo tipo M3.....	19
<b>Figura 3-4:</b> Geometría del modelo tipo M4.....	19
<b>Figura 3-5:</b> Configuraciones de losa empleadas .....	20
<b>Figura 3-6:</b> Espectro de análisis.....	22
<b>Figura 3-7:</b> Acelerogramas de análisis.....	23
<b>Figura 3-8:</b> Acelerogramas de análisis.....	27
<b>Figura 4-1:</b> Deformaciones en el diafragma para diferentes aceleraciones .....	30
<b>Figura 4-2:</b> Coeficiente de flexibilidad Local.....	32
<b>Figura 4-3:</b> Coeficiente de flexibilidad General.....	33
<b>Figura 4-4:</b> Coeficiente de flexibilidad variación en altura .....	34
<b>Figura 4-5:</b> Fuerzas cortantes de piso – FHEQ- Losa Maciza e=0,21m.....	36
<b>Figura 4-6:</b> Fuerzas cortantes de piso – FHEQ- Losa Maciza e=0,10m.....	37
<b>Figura 4-7:</b> Derivas máximas en las esquinas -FHEQ- Losa Maciza e=0,21m.....	39
<b>Figura 4-8:</b> Derivas máximas en las esquinas – FHEQ - Losa Maciza e=0,10m.....	39
<b>Figura 4-9:</b> Derivas máximas en el centro de masa – FHEQ - Losa Maciza e=0,21m.....	42
<b>Figura 4-10:</b> Derivas máximas en el centro de masa – FHEQ- Losa Maciza e=0,10m.....	42
<b>Figura 4-11:</b> Aceleraciones para diseño del diafragma de acuerdo con NSR-10 .....	44
<b>Figura 4-12:</b> Aceleraciones en el diafragma ASCE 7-10– Losa Maciza e=0,21m.....	45
<b>Figura 4-13:</b> Fuerzas cortantes de piso – Modal - Losa Maciza e=0,21m .....	47
<b>Figura 4-14:</b> Fuerzas cortantes de piso – Modal - Losa Maciza e=0,10m .....	47
<b>Figura 4-15:</b> Derivas máximas en las esquinas – Modal - Losa Maciza e=0,21m.....	49
<b>Figura 4-16:</b> Derivas máximas en las esquinas – Modal - Losa Maciza e=0,10m.....	49
<b>Figura 4-17:</b> Derivas máximas en el centro de masa – Modal - Losa Maciza e=0,21m.....	51

<b>Figura 4-18:</b>	Derivas máximas en el centro de masa – Modal - Losa Maciza $e=0,10m$ .....	51
<b>Figura 4-19:</b>	Derivas máximas en las esquinas Modelo tipo M1 .....	53
<b>Figura 4-20:</b>	Derivas máximas en las esquinas Modelo tipo M2 .....	55
<b>Figura 4-21:</b>	Derivas máximas en las esquinas – Modelo M3 .....	55
<b>Figura 4-22:</b>	Derivas máximas en las esquinas – Modelo M4 .....	56
<b>Figura 4-23:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma Coyote - Modelos M1 .....	58
<b>Figura 4-24:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma Kobe - Modelos M1 .....	58
<b>Figura 4-25:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma Loma Prieta - Modelos M1 .....	59
<b>Figura 4-26:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma México - Modelos M1 .....	59
<b>Figura 4-27:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma Northridge - Modelos M1 .....	59
<b>Figura 4-28:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma Oroville - Modelos M1 .....	60
<b>Figura 4-29:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma Coyote - Modelos M2 .....	60
<b>Figura 4-30:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma Kobe - Modelos M2 .....	61
<b>Figura 4-31:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma Loma Prieta - Modelos M2 .....	61
<b>Figura 4-32:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma México- Modelos M2 .....	61
<b>Figura 4-33:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma Northridge - Modelos M2 .....	62
<b>Figura 4-34:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma Oroville - Modelos M2.....	62
<b>Figura 4-35:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma Coyote - Modelos M3 .....	63
<b>Figura 4-36:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma Coyote - Modelos M4 .....	65
<b>Figura 4-37:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma Kobe - Modelos M3 .....	63
<b>Figura 4-38:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma Loma Prieta - Modelos M3.....	63
<b>Figura 4-39:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma México - Modelos M3 .....	64
<b>Figura 4-40:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma Northridge - Modelos M3 .....	64
<b>Figura 4-41:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma Oroville - Modelos M3.....	64

<b>Figura 4-42:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma Kobe - Modelos M4.....	65
<b>Figura 4-43:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma Loma Prieta - Modelos M4.....	65
<b>Figura 4-44:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma México - Modelos M4.....	66
<b>Figura 4-45:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma Northridge - Modelos M4 .....	66
<b>Figura 4-46:</b>	Derivas en el centro de masa – Acelerograma Oroville - Modelos M4 .....	66
<b>Figura 4-47:</b>	Aceleraciones máximas en el diafragma.....	67
<b>Figura 4-48:</b>	Aceleraciones promedio en el diafragma .....	68
<b>Figura 4-49:</b>	Aceleraciones promedio en el diafragma-Sin Oroville.....	69
<b>Figura 4-50:</b>	Aceleraciones máximas en el diafragma– Modelo M1 .....	70
<b>Figura 4-51:</b>	Aceleraciones máximas en el diafragma– Modelo M2 .....	71
<b>Figura 4-52:</b>	Aceleraciones máximas en el diafragma– Modelo M3 .....	72
<b>Figura 4-53:</b>	Aceleraciones máximas en el diafragma– Modelo M4 .....	72
<b>Figura 4-54:</b>	Aceleraciones máximas en el diafragma– Modelo M1 .....	74
<b>Figura 4-55:</b>	Aceleraciones máximas en el diafragma– Modelo M2 .....	76
<b>Figura 4-56:</b>	Aceleraciones máximas en el diafragma– Modelo M3 .....	77
<b>Figura 4-57:</b>	Aceleraciones máximas en el diafragma– Modelo M4 .....	78
<b>Figura 4-58:</b>	Variación de la amplificación vs irregularidad .....	80
<b>Figura 4-59:</b>	Factores de amplificación Flexible/ Rígido.....	81
<b>Figura 4-60:</b>	Factores de amplificación Flexible/ Rígido por acelerogramas Locales.....	82
<b>Figura 4-61:</b>	Factores de amplificación Flexible/ Rígido por acelerogramas Regionales .....	82
<b>Figura 4-62:</b>	Factores de amplificación Flexible/ Rígido por acelerogramas Subducción .....	83

## Lista de tablas

	<u>Pág.</u>
<b>Tabla 3-1:</b> Parámetros sísmicos de la zona de estudio.....	21
<b>Tabla 3-2:</b> Señales sísmicas.....	23
<b>Tabla 3-3:</b> Dimensiones de los modelos para losa maciza $e=0,21$ m (L21) .....	28
<b>Tabla 3-4:</b> Dimensiones de los modelos para losa maciza $e=0,10$ m (L10) .....	28
<b>Tabla 4-1:</b> Coeficiente de flexibilidad para diferentes cargas – Modelo 1 nivel 1 .....	31
<b>Tabla 4-2:</b> Coeficiente de flexibilidad para diferentes cargas– Modelo 3 nivel 1 .....	31
<b>Tabla 4-3:</b> Coeficiente de flexibilidad Local Losa $e=0,10$ m .....	32
<b>Tabla 4-4:</b> Coeficiente de flexibilidad Local Losa $e=0,21$ m .....	33
<b>Tabla 4-5:</b> Coeficiente de flexibilidad Local Losa $e=0,10$ m .....	33
<b>Tabla 4-6:</b> Coeficiente de flexibilidad Local Losa $e=0,21$ m .....	33
<b>Tabla 4-7:</b> Periodo de las estructuras Losa maciza $e=0.21$ m .....	35
<b>Tabla 4-8:</b> Periodo de las estructuras Losa maciza $e=0.10$ m .....	35
<b>Tabla 4-9:</b> Fuerzas cortantes – FHEQ- Losa maciza $e=0.21$ m .....	37
<b>Tabla 4-10:</b> Fuerzas cortantes – FHEQ- Losa maciza $e=0.10$ m .....	38
<b>Tabla 4-11:</b> Derivas máximas en las esquinas Losa maciza $e=0.21$ m.....	40
<b>Tabla 4-12:</b> Derivas máximas en las esquinas – FHEQ- Losa maciza $e=0.10$ m .....	40
<b>Tabla 4-13:</b> Diferencias en deformación rígido - flexible .....	41
<b>Tabla 4-14:</b> Derivas máximas en el centro de masa – FHEQ - Losa maciza $e=0.21$ m .....	43
<b>Tabla 4-15:</b> Derivas máximas en el centro de masa – FHEQ- Losa maciza $e=0.10$ m .....	43
<b>Tabla 4-16:</b> Aceleraciones en el diafragma de acuerdo con el reglamento NSR-10 .....	44
<b>Tabla 4-17:</b> Aceleraciones en el diafragma ASCE 7-10 - Losa maciza $e=0.21$ m .....	45
<b>Tabla 4-18:</b> Índice de estabilidad – FHEQ - Losa maciza $e=0.21$ m .....	46
<b>Tabla 4-19:</b> Índice de estabilidad – FHEQ- Losa maciza $e=0.10$ m .....	46
<b>Tabla 4-20:</b> Fuerzas cortantes – Modal - Losa maciza $e=0.21$ m.....	48
<b>Tabla 4-21:</b> Fuerzas cortantes – Modal - Losa maciza $e=0.10$ m.....	48
<b>Tabla 4-22:</b> Derivas máximas en las esquinas – Modal - Losa maciza $e=0.21$ m .....	50
<b>Tabla 4-23:</b> Derivas máximas en las esquinas – Modal - Losa maciza $e=0.10$ m .....	50
<b>Tabla 4-24:</b> Derivas máximas en el centro de masa – Modal - Losa maciza $e=0.21$ m .....	52
<b>Tabla 4-25:</b> Derivas máximas en el centro de masa – Modal - Losa maciza $e=0.10$ m .....	52
<b>Tabla 4-26:</b> Factores de amplificación de aceleración vs NSR-10 Modelo M1-L10 .....	75

---

<b>Tabla 4-27:</b> Factores de amplificación de aceleración vs NSR-10	
Modelo M1-L21 .....	75
<b>Tabla 4-28:</b> Factores de amplificación de aceleración vs NSR-10	
Modelo M2 –L10 .....	76
<b>Tabla 4-29:</b> Factores de amplificación de aceleración vs NSR-10	
Modelo M2-L21 .....	76
<b>Tabla 4-30:</b> Factores de amplificación de aceleración vs NSR-10	
Modelo M3-L10 .....	78
<b>Tabla 4-31:</b> Factores de amplificación de aceleración vs NSR-10	
Modelo M3-L21 .....	78
<b>Tabla 4-32:</b> Factores de amplificación de aceleración vs NSR-10	
Modelo M4-L10 .....	79
<b>Tabla 4-33:</b> Factores de amplificación de aceleración vs NSR-10	
Modelo M4-L21 .....	79

## Lista de Símbolos y abreviaturas

### Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
$A_a$	Coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva	g	Ver tabla 3.1
$a_i$	Aceleración para el diseño del diafragma en el nivel i	g	Ver numeral 2.3
$A_s$	Aceleración espectral correspondiente a un periodo igual a 0.00s	g	Ver numeral 2.3.1
$A_v$	Coeficiente de velocidad horizontal pico efectiva		Ver tabla 3.1
$C_a$	Coeficiente sísmico de la estructura	g	Ver numeral 2.3.3
$F_a$	Coeficiente de amplificación en zona de periodos cortos		Ver tabla 3.1
$F_v$	Coeficiente de amplificación n zona de periodos medios		Ver tabla 3.1
$F_{px}$	Fuerza de diseño del diafragma	kN	Ver numerales 2.3.2 y 2.3.3
$F_i; F_x; F_n;$	Fuerza de diseño aplicado en el nivel i, x ó n	kN	Ver numerales 2.3.2 y 2.3.3
$F_t$	Porción del cortante basal de diseño concentrado en la parte superior de la estructura	kN	Ver numeral 2.3.2
$h_i$	Altura en metros, medida desde la base hasta el nivel i	m	Ver numeral 2.3.1
$h_{eq}$	Altura equivalente del sistema de un grado de libertad que simula la edificación 0.75 $h_n$	m	Ver numeral 2.3.1
$h_n$	Altura total de la edificación	m	Ver numeral 2.3.1
I	Coeficiente de importancia		NSR-10
$S_a$	Aceleración espectral de diseño para un periodo de vibración dado	g	Ver numeral 2.3.1
$S_{DS}$	Coeficiente sísmico de la estructura	g	Ver numeral 2.3.2
$T_c$	Tiempo corto	s	Ver tabla 3-1
$T_L$	Tiempo largo		Ver tabla 3-1
$W_i; W_x$	Peso tributario del nivel i ó x, correspondiente a los elementos que hacen parte del SVRFL y cargas adicionales.	kN	Ver numeral 2.3.2
$W_{px}$	Peso tributario del nivel i, correspondiente a los elementos que hacen parte del diafragma	kN	Ver numeral 2.3.2

## Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
$\alpha$	Índice de flexibilidad		$\alpha = \frac{MDD}{MCC}$

## Abreviaturas

Abreviatura	Término
M1 a M4	Tipo de configuración en planta según se indica en el numeral 3.
<i>DF</i>	Diafragma flexible, se retira el “ <i>constrain</i> ” de la modelación
<i>DR</i>	Diafragma rígido, Se considera infinitamente rígido al incluir un “ <i>constrain</i> ” tipo “Diaphragm”
<i>FHEQ</i>	Método de Fuerza Horizontal Equivalente
<i>L21</i>	Losa de 21 cm de espesor apoyada en dos direcciones, de luz 7,00 m
<i>L10</i>	Losa de 10 cm de espesor apoyada en dos direcciones, de luz 3,50 m
M1 a M4	Tipo de configuración en planta según se indica en el numeral 3.
MDD	Máxima deformación del diafragma, calculada como la diferencia entre la máxima deformación medida y el promedio de la deformaciones del diafragma
MCC	Deformación promedio del diafragma
SVRFL	Sistema vertical de resistencia a fuerzas laterales





# 1. Introducción

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), 2010), y otras normas internacionales definen metodologías para la distribución de fuerzas sísmicas y aceleraciones en el diafragma de piso en edificaciones, que consideran la acción del entrepiso como un cuerpo rígido capaz de transferir fuerzas inerciales causadas por cargas horizontales a los elementos verticales que conforman el sistema de resistencia sísmica de manera proporcional a la rigidez de dichos elementos. Dichas metodologías se basan a su vez en el predominio primer modo de vibración en la respuesta de la estructura ante un sismo.

Diferentes investigaciones han evidenciado que en estructuras regulares la respuesta dinámica se ve modificada por la flexibilidad del diafragma, creando demandas de capacidad inesperadas y mayores deformaciones en los elementos verticales vinculados al diafragma. La Escuela Colombiana de Ingeniería inició una línea de investigación en el tema, que busca estudiar los efectos de la rigidez del diafragma en el diseño del sistema de resistencia sísmica. Como parte de esta línea de investigación, en 2012 se realizó el proyecto: “Revisión de las provisiones de diseño para diafragmas flexibles y semi-rígidos a partir del reglamento NSR-10” (Perez, 2012) en la cual el autor utilizando una estructura regular, estableció relaciones entre el cortante basal y la flexibilidad del diafragma, y diferencias entre el perfil de aceleraciones propuesto por la NSR-10 y las obtenidas para estructuras con diafragmas flexibles. De igual forma, el autor anota que: “los niveles de fuerzas/aceleraciones establecidos en el NSR-10, para diseño de diafragmas, no son suficientes para garantizar la respuesta elástica del mismo”.

Para estructuras irregulares la participación de los modos superiores en la respuesta de la estructura se torna más importante. Este comportamiento, sumado a la presencia de un diafragma que se comporte de forma flexible o semi-rígida podría generar efectos iguales o incluso más críticos que los observados en investigaciones con edificaciones regulares, con lo que se pudiera estar subvalorando la magnitud de las solicitaciones usadas en el diseño del diafragma, al seguir procedimientos que como en el caso del Reglamento NSR-10 se basan en las suposiciones de un predominio del primer modo de vibración de la estructura y un comportamiento rígido del diafragma.

Una definición deficiente durante la etapa de diseño de las fuerzas inducidas durante un evento sísmico puede conllevar a un mal desempeño de los elementos que conforman el sistema de resistencia, así como de los elementos no estructurales unidos a este. La presente investigación busca estudiar el comportamiento del diafragma en edificaciones con irregularidades en planta en función de los cambios en la rigidez de la losa de entrepiso

La investigación planteada en el presente documento, se sustenta en la necesidad de verificar si los requisitos de diseño establecidos en el reglamento NSR-10 son adecuados para predecir las máximas aceleraciones y demandas de capacidad en diafragmas flexibles y semi-rígidos tomando el caso particular de edificaciones con irregularidades en planta del tipo 2P.

Los resultados de efectuar comparaciones entre los comportamientos esperados al utilizar las recomendaciones del Reglamento NSR-10 y el obtenido de un análisis más detallado, serán una herramienta que permitiría analizar qué solicitaciones se están teniendo en cuenta, cuales se están ignorando según cada método de análisis, y si las diferencias son relevantes o no para el diseño.

## **1.1 Organización del documento**

El presente documento ha sido desarrollado en cuatro capítulos en los cuales se busca presentar la sustentación teórica del estudio, los principales parámetros usados para el

desarrollo del mismo y los análisis y conclusiones obtenidos como resultado del trabajo realizado. El documento se presenta de la siguiente forma:

En el Capítulo 1, se presenta una breve introducción, en la cual se plantea la problemática sobre la cual se sustenta el desarrollo del presente estudio, a la vez que se enumeran los objetivos generales y específicos que guían esta investigación.

En el Capítulo 2 se presentan los fundamentos teóricos sobre los cuales se sustenta la investigación, definiciones y metodologías requeridas para el desarrollo del presente estudio y una relación de la normatividad existente que rige el análisis y el diseño objeto del presente documento. Adicionalmente, se presenta una revisión bibliográfica de los estudios sobre comportamiento sísmico de diafragmas.

El Capítulo 3 presenta los parámetros definidos en este estudio: propiedades de los materiales, modelos de análisis, procesos de modelación y definición de las características de las estructuras analizadas.

El Capítulo 4 presenta el desarrollo general de la investigación, incluyendo los resultados y análisis de los mismos para los métodos de fuerza horizontal equivalente (FHEQ), análisis modal y cronológico, a los cuales se sometieron las estructuras para estudiar su comportamiento.

Finalmente en el capítulo 5 se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas de este trabajo.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general:**

Establecer si la demanda sísmica en el diafragma, definida por las aceleraciones y fuerzas horizontales obtenidas mediante el procedimiento establecido en el Reglamento NSR-10, representan adecuadamente la magnitud y la distribución de la demanda

sísmica experimentada por estructuras que presentan irregularidades en planta en función de los cambios de rigidez de la losa de entrepiso

### **1.2.2 Objetivos específicos:**

Caracterizar el comportamiento dinámico de estructuras que presentan irregularidades en planta del tipo 2P conforme a lo establecido en el numeral A.3.6 del Reglamento NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), 2010).

Comparar las aceleraciones en el diafragma obtenidas mediante la metodología propuesta por el Reglamento NSR-10, y ASCE 7-10 con las obtenidas como resultado de análisis modal y cronológico en edificaciones con irregularidades en planta del tipo 2P conforme con lo establecido en dicho Reglamento

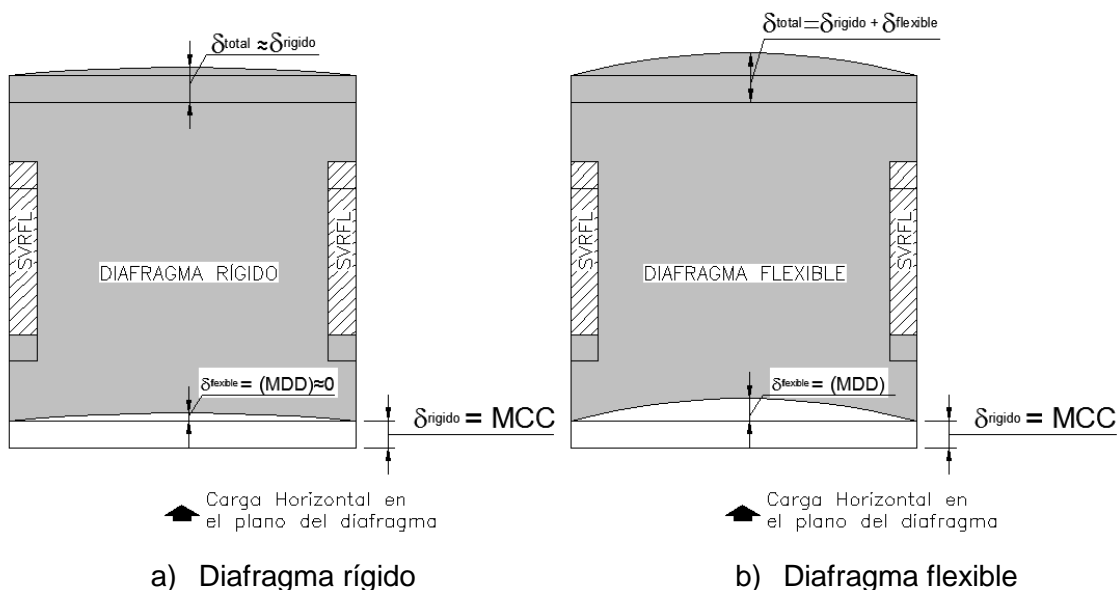
## 2. Marco Teórico

Los diafragmas de piso cumplen importantes funciones dentro del comportamiento sísmico de las estructuras, no solo resisten cargas verticales y las distribuyen a los elementos que conforman el sistema de resistencia de fuerzas gravitacionales, sino que además son los encargados de mantener unida la estructura, distribuyendo al sistema de resistencia de cargas horizontales como muros, columnas y pórticos, las cargas que se presentan durante un evento sísmico.

Entre otras funciones del diafragma enumeradas por Moehle (Moehle J.P., 2010), se encuentran las de resistir y controlar el pandeo que experimentan los elementos verticales que conforman el sistema de resistencia, al reducir su longitud efectiva, logrando así un mejor comportamiento y resistencia de dichos elementos ante cargas verticales y/o laterales a las cuales está sujeta la estructura. A su vez, el diafragma es el encargado de resistir y transferir las fuerzas causadas por columnas inclinadas o por la presencia de una discontinuidad en uno de los elementos verticales que hacen parte del sistema de resistencia sísmica de la estructura.

### 2.1 Concepto de flexibilidad

El concepto de flexibilidad en los diafragmas está ligado a la relación entre deformaciones máximas obtenidas en el plano y las deformaciones promedio de los apoyos, la **Figura 2-1** define las variables necesarias para tal definición:

**Figura 2-1:** Comportamiento típico de diafragma sometido a cargas en su plano.

Adaptado de (Sadashiva et. al., 2012). (Sadashiva V., 2012)

El índice de flexibilidad se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\alpha = \frac{MDD}{MCC} \quad (1.1)$$

Expresión en la cual:

$\alpha$ : Índice de flexibilidad

MDD: Máxima deformación del diafragma, calculada como la diferencia entre la máxima deformación obtenida y el promedio de la deformaciones del diafragma.

MCC: Deformación promedio del diafragma

Con base en lo anterior, el reglamento NSR-10 define en su numeral A.3.6.7.2 los siguientes límites para considerar diafragma rígido y flexible:

*“Diafragma flexible: El diafragma puede suponerse flexible, cuando la máxima deflexión horizontal dentro del diafragma, al verse sometido a las fuerzas sísmicas,  $F_s$ , es más de 2 veces el promedio de sus deflexiones horizontales. Esta determinación de la flexibilidad*

*del diafragma puede realizarse comparando la deflexión horizontal debida a las fuerzas sísmicas, obtenida en el punto medio del diafragma, con la de cada uno de los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica, al verse sometidos a una fuerza horizontal equivalente a la producida por la masa aferente del elemento.*

*Diafragma Rígido: El diafragma puede suponerse rígido en su propio plano cuando se dispone su rigidez y su resistencia de tal manera que actúe como una unidad y sus propiedades de masa y de rigidez se puedan concentrar en el centro de masa y en el centro de rigidez respectivamente. En las edificaciones que tengan irregularidades de los tipos 2P y 3P la consideración de diafragma rígido debe evaluarse cuidadosamente, pues en la mayoría de los casos estas irregularidades inhiben el comportamiento como diafragma rígido de los entresijos de la edificación”.*

Esta definición, coincide en gran medida con lo definido en otros reglamentos internacionales, tales como el estándar de diseño sísmico de Nueva Zelanda NZS 1170.5 (Standars New Zealand, 2006), la American Society of Civil Engineers ASCE 7-10 (American Society of Civil Engineers (ASCE), (2010)) y La Federal Emergency Managment Agency en el código FEMA 356 (Federal Emergency Management Agency, 2000) . En dichas normas la deflexión máxima es comparada con la de los apoyos en cada una de las luces.

Otras normas internacionales como el Euro-Código (European Committee for Standardization — CEN, 2005) definen el diafragma como rígido cuando ninguno de los desplazamientos obtenidos en cualquier punto, al ser modelado dicho diafragma con sus propiedades reales de flexibilidad en el plano, exceden en más de un 10% aquellas obtenidas al considerar el diafragma como rígido. Tal como se presentará en numerales posteriores, para el caso de los modelos analizados, esta definición indicaría que la totalidad de los diafragmas objeto del presente estudio deberían considerarse como flexibles.

## **2.2 Modelación del diafragma**

Con respecto a los requisitos de modelación para el diafragma, El reglamento NSR-10 define en su numeral A.5.2.1 lo siguiente:

Modelo tridimensional con diafragma rígido: En este tipo de modelo los entrepisos se consideran diafragmas infinitamente rígidos en su propio plano. La masa de cada diafragma se considera concentrada en su centro de masa. Los efectos direccionales pueden ser tomados en cuenta a través de las componentes apropiadas de los desplazamientos de los grados de libertad horizontales ortogonales del diafragma. Este procedimiento debe utilizarse cuando se presentan irregularidades en planta del tipo 1aP, 1bP, 4P o 5P, tal como se define en A.3.3.4 (tabla A.3-6), y en aquellos casos en los cuales, a juicio del ingeniero diseñador, este es el procedimiento más adecuado.

Modelo tridimensional diafragma flexible: En este tipo de modelo se considera que las masas aferentes a cada nudo de la estructura pueden desplazarse y girar en cualquier dirección horizontal o vertical. La rigidez de los elementos estructurales del sistema de resistencia sísmica se describe tridimensionalmente. El diafragma se representa por medio de elementos que describan adecuadamente su flexibilidad. Este procedimiento debe utilizarse cuando no existe un diafragma propiamente dicho, cuando el diafragma es flexible en comparación con los elementos estructurales verticales del sistema estructural de resistencia sísmica, o cuando se presenten irregularidades en planta del tipo 2P o 3P, tal como las define A.3.3.4 (tabla A.3-6), y en aquellos casos en los cuales, a juicio del ingeniero diseñador, este es el procedimiento adecuado.

Otras metodologías de análisis son recomendadas por diferentes normas, tales como la *Concrete structures standard 1170.5* de Nueva Zelanda (Standars New Zealand, 2006), la cual recomienda el uso de la metodología del puntal – tirante, en la cual se definen componentes a compresión (concreto) y a tensión (acero de refuerzo) a lo largo del diafragma y de esta forma mediante equilibrio se obtienen las resultantes de fuerzas.

## 2.3 Normativas para diseño de diafragmas

A continuación se enumeran algunas de las diferentes normativas internacionales, que definen las cargas para las cuales se debe diseñar el diafragma. Se puede anotar que dichas normas consideran para el análisis el predominio del primer modo de vibración de la estructura ante un evento sísmico, sin embargo, no definen ningún tipo de ajuste para los casos en que los modos superiores de vibración tienen un mayor aporte en el



comportamiento de la estructura, tal como sucede en las estructuras que presentan algún tipo de irregularidad.

### 2.3.1 Reglamento Colombiano NSR-10

El reglamento colombiano define en su numeral A.3.6.8.2 las aceleraciones para las cuales debe ser diseñado el diafragma. Su determinación se realiza mediante las ecuaciones 1.2 y 1.3

$$a_i = A_s + \frac{(S_a - A_s)h_i}{h_{eq}} \quad \text{Para } h_i \leq h_{eq} \quad (1.2)$$

$$a_i = S_a \frac{h_i}{h_{eq}} \quad \text{Para } h_i > h_{eq} \quad (1.3)$$

Expresiones en las cuales:

$a_i$ : Aceleración para el diseño del diafragma en el nivel  $i$

$A_s$ : Aceleración espectral correspondiente a un periodo igual a 0.00s

$S_a$ : Aceleración espectral de diseño para un periodo de vibración dado

$h_i$ : Altura en metros, medida desde la base hasta el nivel  $i$

$h_{eq}$ : Altura equivalente del sistema de un grado de libertad que simula la edificación  $0.75 h_n$

$h_n$ : Altura total de la edificación en metros.

El reglamento NSR-10 deja como alternativa para calcular dichas fuerzas o aceleraciones estimaciones más precisas que resulten de análisis más precisos. El presente estudio realiza de forma comparativa algunas de esas metodologías.

### 2.3.2 ASCE 7-10

EL código ASCE/SEI 7-10 establece en su numeral 12.10.1.1 como fuerzas de diseño del diafragma, las obtenidas mediante la ecuación 1.4.

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n W_i} W_{px} \quad (1.4)$$

Expresión en la cual:

$F_{px}$ : Fuerza de diseño del diafragma

$F_i$ : Fuerza de diseño aplicado en el nivel  $i$

$W_i$ : Peso tributario del nivel  $i$ , correspondiente a los elementos que hacen parte del SVRFL y cargas adicionales.

$W_{px}$ : Peso tributario del nivel  $i$ , correspondiente a los elementos que hacen parte del diafragma

El código ASCE 7-10 indica los límites superior e inferior según se muestra en la ecuación 1.5, entre los cuales se debe encontrar la fuerza de diseño del diafragma.

$$0.2S_{DS} \cdot I \cdot W_{px} < F_{px} < 0.4S_{DS} \cdot I \cdot W_{px} \quad (1.5)$$

Dónde:

$S_{DS}$ : Coeficiente sísmico de la estructura

$I$ : Coeficiente de importancia.

### 2.3.3 Uniform Building Code UBC

La fuerza definida para el diseño del diafragma según el Uniform Building Code UBC (ICC, 2009) se presenta en la ecuación 1.6

$$F_{px} = \frac{F_t + \sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n W_i} W_{px} \quad (1.6)$$

Expresión en la cual:

$F_p$ : Fuerza de diseño del diafragma

$F_t$ : Porción del cortante basal de diseño concentrado en la parte superior de la estructura.

$F_x, F_n$ : Porción del cortante basal de diseño concentrado en el nivel  $x$  ó  $n$

$W_i, W_x$ : Peso tributario del nivel  $i$  ó  $X$ , correspondiente a los elementos que hacen parte del SVRFL y cargas adicionales.

$W_{px}$ : Peso tributario del nivel  $i$ , correspondiente a los elementos que hacen parte del diafragma

La fuerza de diseño se encuentra dentro de un límite establecido según se indica a continuación:

$$0.5C_a \cdot I \cdot W_{px} < F_{px} < 1.0C_a \cdot I \cdot W_{px} \quad (1.7)$$

Dónde:

$C_a$ : Coeficiente sísmico de la estructura

$I$ : Coeficiente de importancia

## 2.4 Antecedentes

A lo largo del tiempo, diferentes instituciones y autores se han interesado por las diferencias en el comportamiento que presentan las estructuras cuando éstas están conformadas por diafragmas flexibles y las implicaciones en las solicitaciones que pueden llegar a presentarse como efecto de dicha condición. A continuación se presentan algunas de las investigaciones revisadas durante el desarrollo del presente estudio.

Jain y Jennings desarrollaron un método analítico para el análisis dinámico de estructuras de uno y dos pisos, apoyados sobre dos muros que resisten cargas laterales, y que presentan diafragmas de piso con flexibilidad en el plano. El método considera la losa actuando como una viga sometida a flexión y los muros como vigas a cortante. Como resultado de la investigación, se encontró que los modos principales hacen las mayores contribuciones al cortante en la base de la estructura y que la flexibilidad del diafragma afecta la respuesta dinámica, (Jain S.K., 1985).

Reinhorn, Kunnath y Panahshahi analizaron la respuesta inelástica en edificios de concreto y el efecto causado por la presencia de un diafragma flexible. Realizaron pruebas en un modelo a escala de un piso sobre una mesa vibratoria, concluyendo que la suposición de diafragmas rígidos resulta en un diseño no conservador de elementos flexibles, lo cual puede causar daños graves en estos elementos, (Reinhorn A.M., 1988).

Saffarini y Qudaimat en su investigación incluyen 37 edificaciones cubriendo diferentes parámetros que pueden afectar su respuesta, tales como número de pisos, altura, tipo de diafragma, regularidad en planta, entre otros. En su investigación encontraron que los desplazamientos del piso se incrementan debido a la flexibilidad del diafragma, presentándose los mayores incrementos en los primeros niveles, mientras que los efectos sobre la demanda sísmica disminuyeron al aumentar el número de pisos, (Saffarini H. S., 1992 ),.

Masi realizó una investigación sobre 216 modelos, con diferentes grados de rigidez, y diferentes consideraciones de carga. Los pisos fueron considerados como diafragmas rígidos o vigas flexibles: Los resultados del estudio indicaron que la hipótesis de diafragma rígido puede llevar a un diseño conservador en edificaciones de múltiples niveles y resalta la importancia de efectuar un adecuado diseño de los diafragmas cuando se tienen irregularidades en el sistema de resistencia tanto vertical como horizontal, (Masi A., 1997),.

Nakaki en su investigación señaló que los límites del código UBC 1997 (ICC, 2009) sobre la relación de aspecto para los diafragmas, son insuficientes para garantizar la rigidez necesaria del mismo, y que en el diseño deberían ser considerados el período, rigidez y relación de aspecto, (Nakaki, 2000),.

Fleishman y Farrow, realizaron investigaciones en edificaciones con grandes luces efectuando variaciones en la flexibilidad, número de niveles de las estructuras y longitud de los vanos. De allí concluyen que la flexibilidad del diafragma puede afectar el comportamiento dinámico de la estructura. Entre los parámetros afectados se encuentra el incremento en el periodo fundamental de la estructura, (Fleishman, y otros, 2001), (Fleishman R.B., 2002).

Los estudios de Rodriguez se concentraron en analizar las aceleraciones presentadas en los diafragmas durante eventos sísmicos y que resultan en múltiples ocasiones superiores a las consideradas durante la etapa de diseño y que son definidas por los códigos. Entre sus conclusiones se destaca que los diafragmas pueden experimentar mayores aceleraciones y derivas cuando se tiene un diafragma flexible, lo cual puede afectar el diafragma y otros componentes no estructurales cuyo diseño se basa en dichas aceleraciones. El estudio presenta una revisión a los métodos de diseño e introduce un método alternativo para el diseño de diafragmas basado en una superposición modal, (Rodriguez M.E., 2002).

Kim y White realizaron un estudio de la respuesta sísmica de un modelo a escala de un edificio en mampostería reforzada, incluyendo un diafragma flexible, modelo que fue sometido a diferentes pruebas en mesa vibratoria. Sus resultados, además de indicar recomendaciones para la modelación en este tipo de estudio, muestran también que cuando la rigidez de la estructura se reduce mediante los métodos de calibración, un incremento en las derivas y fuerzas cortantes se presenta en la estructura (Kim S., 2003).

Barron y Beth en su investigación en edificaciones de tres y cinco niveles con una configuración regular en planta y muros como sistema de resistencia vertical, analizan el impacto que causa la deformación del diafragma en la respuesta estructural de edificios en concreto reforzado. Como conclusión de su estudio, encontró que la implementación de un diafragma de mayor flexibilidad generaba los mayores impactos en edificaciones de tres niveles. Sin embargo, es de anotar que conforme a las prescripciones de los códigos vigentes al momento del desarrollo de la investigación, ninguno de los diafragmas utilizados podía considerarse como flexible, (Barron J.M., 2004),.

Beyer incluyó en su investigación un análisis de la respuesta sísmica en sistemas con muros de diferentes longitudes, estudiando parámetros como desplazamientos, derivas, cortantes, comportamiento histerético en muros y flexibilidad de los diafragmas de piso. Entre sus conclusiones más importantes, se indica que modelaciones cuya consideración se basa en diafragmas rígidos pueden llevar a una sobreestimación del cortante basal especialmente para aquellos muros de menor longitud, (Beyer, 2005).

La investigación de Sullivan tenía como objetivo principal validar la consideración de diafragma rígido usado en el análisis determinando los efectos producidos por la presencia de un diafragma flexible en las máximas fuerzas cortantes de piso. Los resultados indican que la magnitud de las fuerzas cortantes se reduce cuando se incrementa la flexibilidad del diafragma, (Sullivan T.J., 2006).

Lee, Kuchmma y Ascheim analizaron en su investigación varios grados de flexibilidad en el diafragma de una edificación con diferente número de niveles y un sistema de resistencia vertical consistente en muros perimetrales. Sus resultados indican que las previsiones de los códigos con los cuales se efectuaron los análisis subestiman las fuerzas de diseño del diafragma en los pisos inferiores y superiores de las estructuras bajo condiciones normales. En el estudio se propone una metodología alterna para el diseño de diafragmas, (Ho Jung Lee., 2007).

La investigación de Gardiner estudia la distribución y magnitud de las fuerzas sísmicas en edificaciones con múltiples niveles, se incluyeron en esta investigación análisis cronológicos no lineales implementando variaciones en la flexibilidad del diafragma, alturas de los niveles, nivel de amenaza sísmica y estructuras de tipo "podio". En la investigación se propone también un método alternativo para el diseño de diafragmas. Las conclusiones principales de este estudio indican que las consideraciones de distribución de cargas en altura consideradas en los códigos de diseño son consistentes con las encontradas en el estudio, sin embargo, la magnitud de las fuerzas puede variar dependiendo de la flexibilidad de los sistemas de resistencia de fuerzas verticales y horizontales, (Gardiner, 2011).

Sadashiva, Mac Rae y Deam presentan una serie de análisis cronológicos en estructuras simétricas con diferentes configuraciones y alturas para cuantificar los efectos de la rigidez del diafragma de piso en la respuesta sísmica de la estructura. En sus conclusiones, resaltan que las metodologías definidas en los códigos para definir si un diafragma se debe considerar rígido o flexible no resultan suficientes y se quedan cortas en la definición de los efectos de dicha consideración. Otras conclusiones de este estudio indican un incremento en el periodo de las estructuras al incrementar la flexibilidad del diafragma; de igual manera, los resultados indican que los desplazamientos en estructuras con diafragma flexible son mayores a los obtenidos al considerar diafragmas rígidos, (Sadashiva V., 2012).

Perez en su investigación estudia los requisitos de diseño establecidos en el Reglamento NSR-10 y busca verificar si los mismos son suficientes para predecir las aceleraciones y demandas sísmicas en edificaciones con diafragmas flexibles y semi-rígidos, para lo cual utiliza una edificación con sistema de muros portantes, (Perez, 2012),.

Entre las conclusiones obtenidas de esta investigación y que son pertinentes al presente estudio, se puede anotar el incremento en el periodo fundamental de las estructuras y la reducción en el cortante basal para edificaciones con diafragma flexible, lo cual atribuye a la disminución en la participación de masas de los modos principales. El investigador encontró también que el perfil de aceleraciones definido en la NSR-10 no es consistente con los resultados de sus análisis y que éstos son función del grado de flexibilidad del diafragma. Dentro de los resultados se indica además que las aceleraciones en el diafragma registradas en el estudio llegan a ser hasta tres veces mayores a las definidas en la NSR-10 por lo cual indica que las disposiciones del Reglamento no son suficientes para garantizar un adecuado comportamiento de las estructuras.

Tal como se aprecia, diferentes investigaciones han evidenciado que en estructuras regulares la respuesta dinámica se ve modificada por la flexibilidad del diafragma, creando demandas de capacidad inesperadas y mayores deformaciones en los elementos verticales vinculados al diafragma, sin embargo, pocas investigaciones se encontraron referentes al efecto de dicha flexibilidad en estructuras que presentan algún grado de irregularidad.

Investigaciones recientes (Chistian Angel, 2015) presentadas en el congreso nacional de ingeniería sísmica encontraron que las fuerzas sísmicas de diseño definidas en el Reglamento NSR-10 sobrestiman la magnitud de dichas fuerzas, sin embargo, la forma en la cual son calculadas resulta de la relación entre las fuerzas cortantes obtenidas en cada piso y la masa aferente a cada diafragma, lo cual es consistente con lo estipulado en las normas presentadas en este documento.



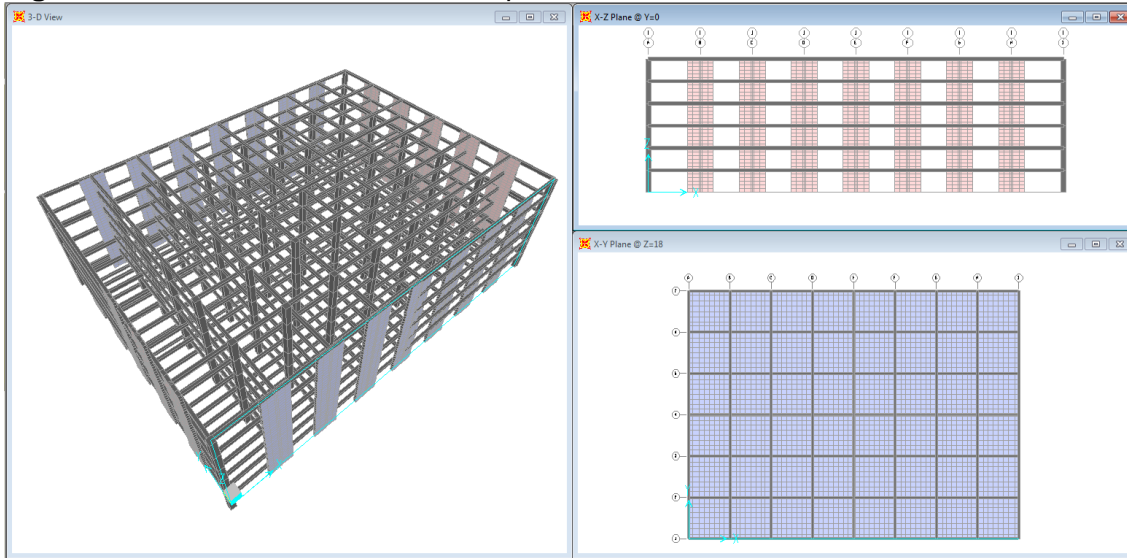
## 3. Desarrollo de la investigación

En este capítulo se describen las características de las edificaciones objeto de este estudio, las condiciones de carga tenidas en cuenta para el análisis y los parámetros que se estudiarán, los análisis que se llevarán a cabo y los indicadores que permitirán evaluar y caracterizar el comportamiento de las estructuras ante eventos sísmicos

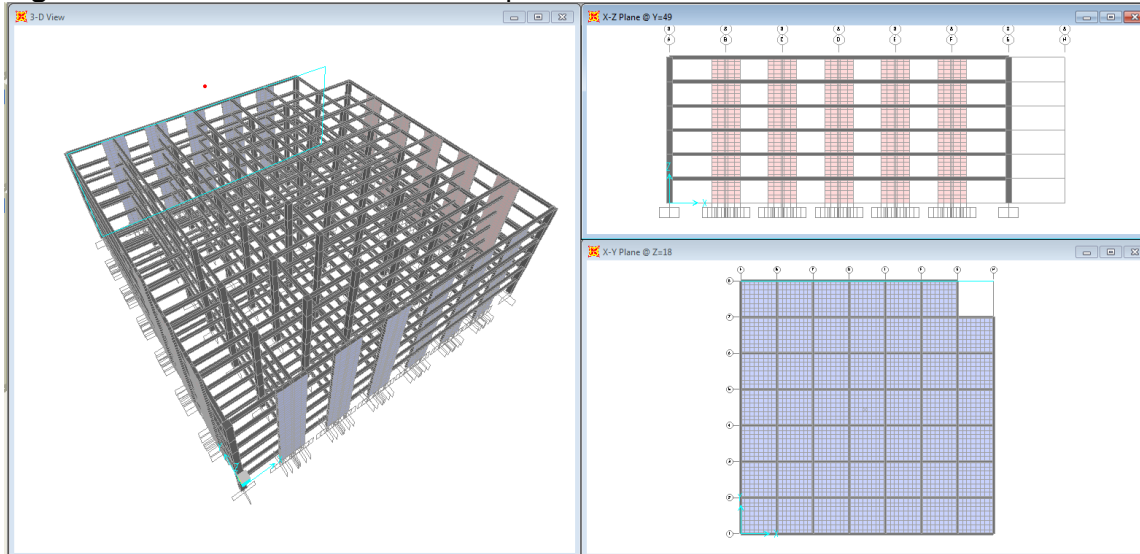
### 3.1 Geometría

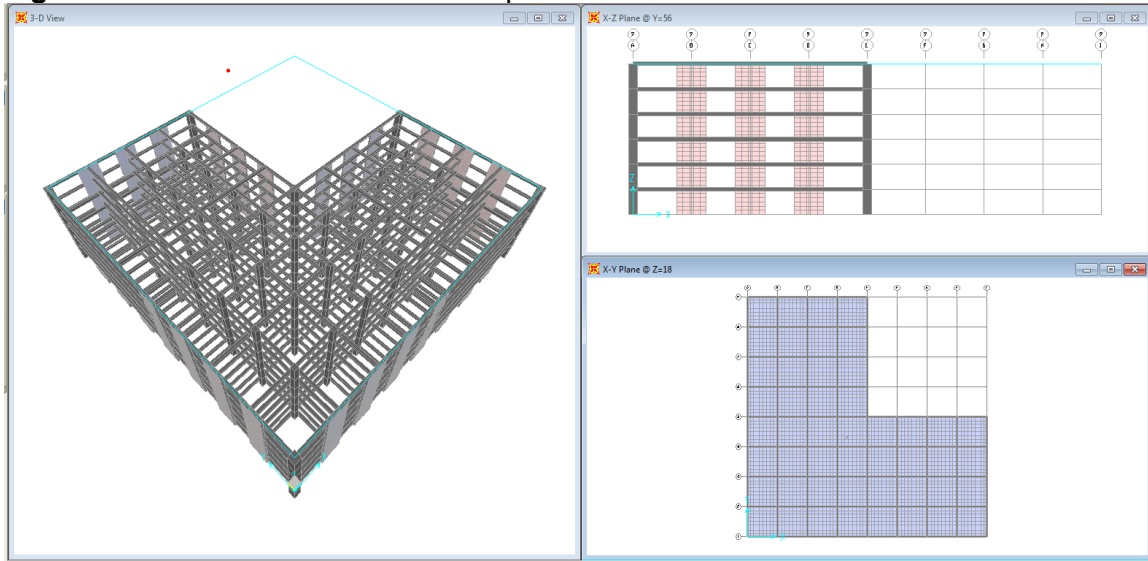
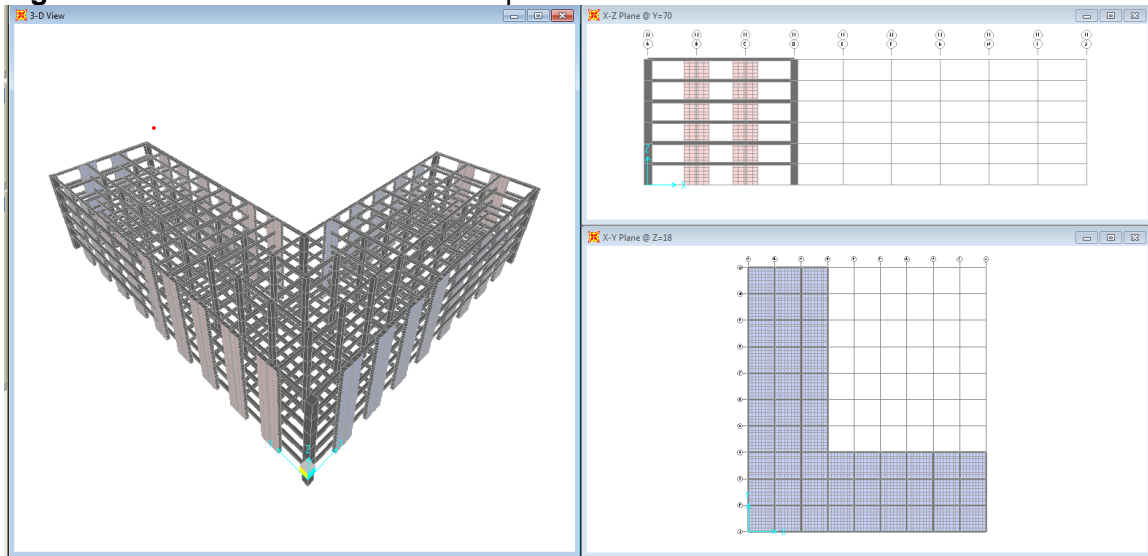
Con el fin de analizar el comportamiento del diafragma en función de la irregularidad en planta de la estructura, se definieron cuatro tipos diferentes de modelo, todos ellos con 6 niveles de 3,0 m c/u, con lo cual se obtiene la máxima altura de 18,0 m permitida por la NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), 2010), para la aplicación del método FHEQ en estructuras irregulares. A fin de limitar las variables que intervienen en el análisis, dichos modelos tienen una misma área distribuida de forma diferente en planta, aumentando la irregularidad para cada uno de ellos, pero manteniendo las luces de vigas, las cuales se definieron de 7,00 m. La geometría general de los modelos se muestra en la **Figura 3-1** a **Figura 3-4**

**Figura 3-1:** Geometría del modelo tipo M1



**Figura 3-2:** Geometría del modelo tipo M2



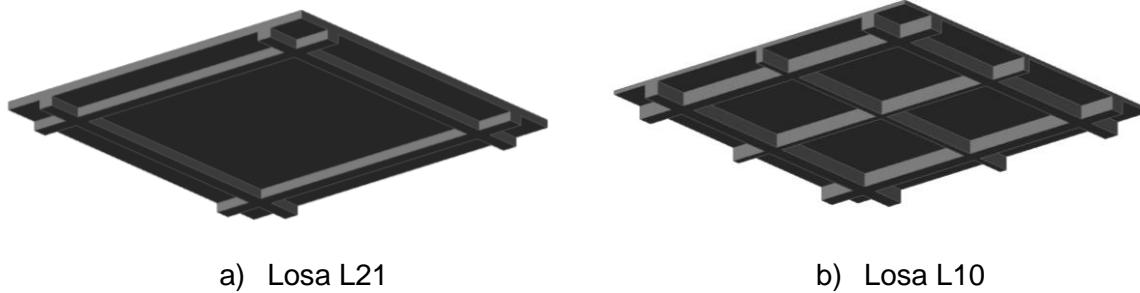
**Figura 3-3:** Geometría del modelo tipo M3**Figura 3-4:** Geometría del modelo tipo M4

## 3.2 Diafragmas

Se han considerado dos configuraciones de losa, la primera de ellas consistente en una losa armada en dos direcciones apoyada en luces de 7,00 m, la segunda una losa con vigas intermedias que reducen la luz a 3,50 m, con lo cual se puede efectuar una reducción en el espesor, esta configuración se ha seleccionado dado que ha sido usada en anteriores investigaciones (Poveda, 2014). El dimensionamiento de las losas al igual que el de las vigas sigue las recomendaciones de la NSR-10 en su numeral C.9.5, con lo

cual se tiene un espesor de 21 cm para la losa apoyada en la luz de 7,00 m y de 10 cm para la losa apoyada en luces de 3,50 m. Las configuraciones usadas se presentan en la **Figura 3-5**

**Figura 3-5:** Configuraciones de losa empleadas



### 3.3 Materiales

Para los análisis se ha considerado hormigón con  $f'c= 28$  MPa para las columnas y con  $f'c=21$  MPa para losas y vigas. El acero considerado en la verificación del diseño de las estructuras es grado 60 con  $Fy=420$  MPa. El cálculo del peso propio de los elementos se ha calculado considerando un peso específico del concreto de 24 kN/m<sup>3</sup>

### 3.4 Cargas

Las cargas utilizadas en el análisis corresponden a las establecidas en el Reglamento NSR-10 en su Título B. Se han considerado las siguientes tipos de carga en los análisis:

#### 3.4.1 Carga Muerta:

Caso 1: Losa  $e = 0,21$  m

	h (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Carga (kN/m <sup>2</sup> )
Peso propio losa	0.21	24.00	5.04
Mortero	0.02	22.00	0.44
Cielo raso	0.02	22.00	0.44
Muros divisorios	-	-	3.00
<b>TOTAL</b>			<b>8.92</b>

Caso 2: Losa e = 0,10 m

	h (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Carga (kN/m <sup>2</sup> )
Peso propio losa	0.10	24.00	2.40
Mortero	0.02	22.00	0.44
Cielo raso	0.02	22.00	0.44
Muros divisorios	-	-	3.00
<b>TOTAL</b>			<b>6.28</b>

### 3.4.2 Carga Viva

Se consideraron las recomendaciones del Reglamento NSR-10 en su Título B.

Carga viva de entepiso: 1.80 kN/m<sup>2</sup>

Carga viva de cubierta: 1.80 kN/m<sup>2</sup>

### 3.4.3 Cargas de Sismo

Para la definición de las cargas sísmicas, se ha considerado que las estructuras se localizan en la ciudad de Bogotá, en una zona de piedemonte B. Según lo indicado en la Microzonificación sísmica de la ciudad (Fondo de prevención y atención de emergencia FOPAE, 2010), los parámetros sísmicos son los indicados en la **Tabla 3-1**

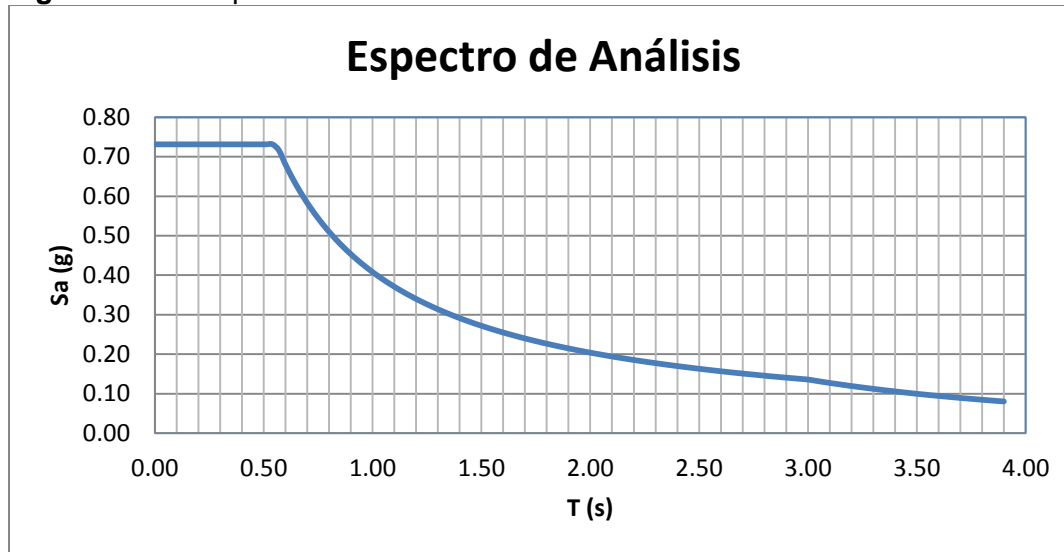
**Tabla 3-1:** Parámetros sísmicos de la zona de estudio

Parámetro	Descripción	Magnitud
A <sub>a</sub>	Coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva	0,15 g
A <sub>v</sub>	Coeficiente de velocidad horizontal pico efectiva	0,20 g
F <sub>a</sub>	Coeficiente de amplificación en zona de periodos cortos	1,95
F <sub>v</sub>	Coeficiente de amplificación n zona de periodos medios	1,70
T <sub>c</sub>	Periodo corto	0,56 s
T <sub>L</sub>	Periodo largo	3,00 s
I	Coeficiente de importancia	1.00

Con los anteriores parámetros se ha definido el espectro de diseño para el análisis, construido según las recomendaciones del decreto 523 de 2010, el cual define la

microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá. Dicho espectro se muestra en la **Figura 3-6** a continuación:

**Figura 3-6:** Espectro de análisis



#### 3.4.4 Análisis Cronológico

Para el análisis cronológico se han utilizado seis de las señales de referencia definidas para la microzonificación sísmica de Bogotá (Fondo de prevención y atención de emergencia FOPAE, 2010), buscando tener una representación de los tres tipos de fuente: local, regional y subducción. Estas señales se tomaron de dos bases de datos, la del Pacific Earthquake Engineering (PEER) y la del centro de instrumentación y registro sísmico CIRES de México. Sus características se relacionan a continuación:

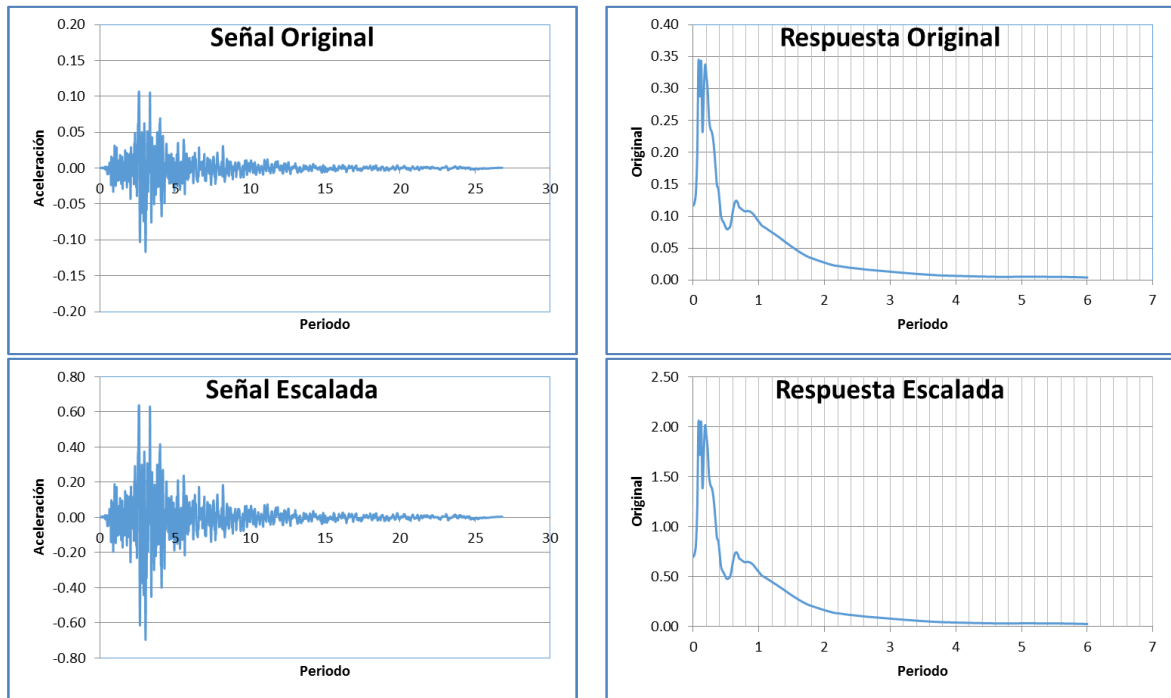
**Tabla 3-2:** Señales sísmicas

Fuente	Fecha	Nombre sismo	Estación	A max (g)
Local	1975/08/01	Oroville	OROV. SS	0.098
Local	1979/08/06	Coyote Lake	Gilroy-1	0.119
Regional	1989/10/18	Loma prieta	Yerbabuena	0.079
Regional	1994/01/17	Northridge	Newport	0.107
Regional	1995/01/16	Hyogo-Ken Nanbu (Kobe)	Okayama	0.081
Subducción	1985/09/19	México	Cerro de piedra	0.025

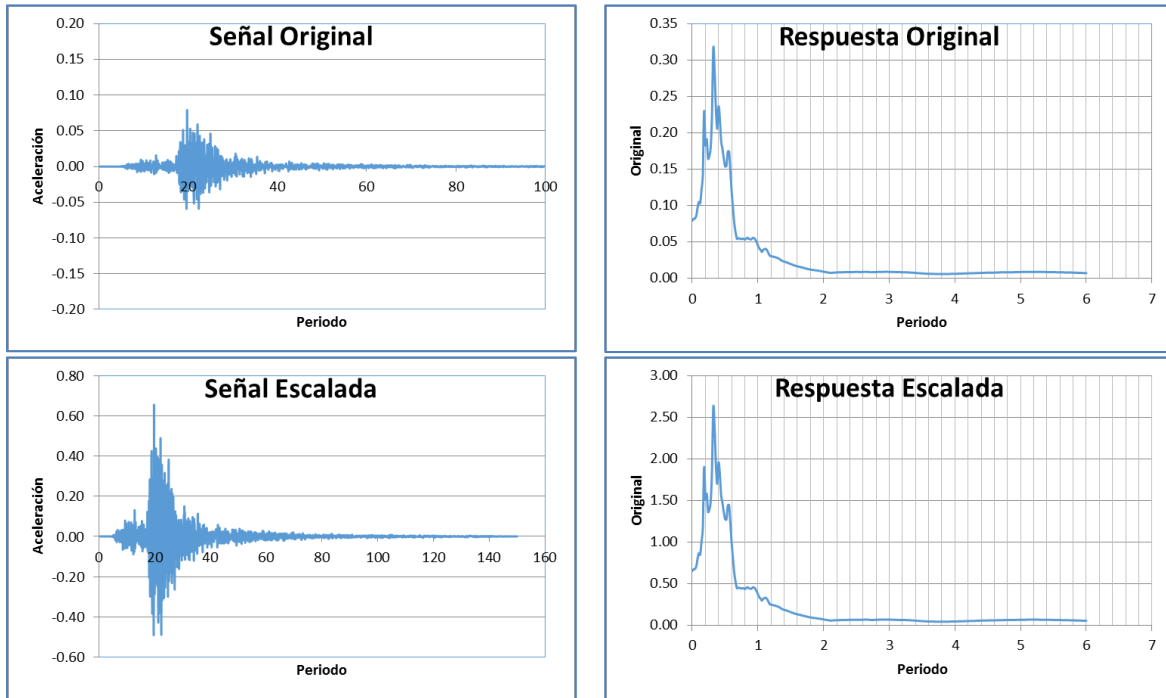
Acelerogramas compatibles de diseño usados en el análisis (Adaptado de Zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño sismo resistente de edificaciones (Fondo de prevención y atención de emergencia FOPAE, 2010))

Los acelerogramas fueron escalados conforme a las indicaciones del Título A del Reglamento NSR-10. A continuación se presentan de forma gráfica cada una de las señales y su respectivo espectro de respuesta tanto de forma original como escalado.

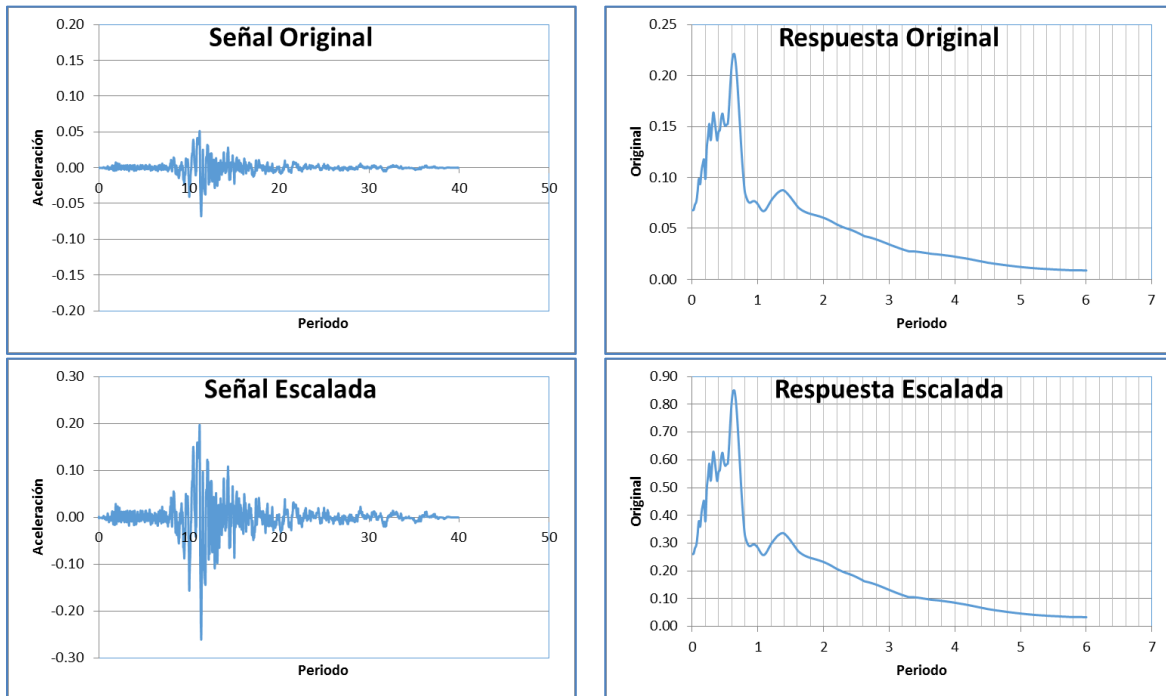
**Figura 3-7:** Acelerogramas de análisis



a) Coyote

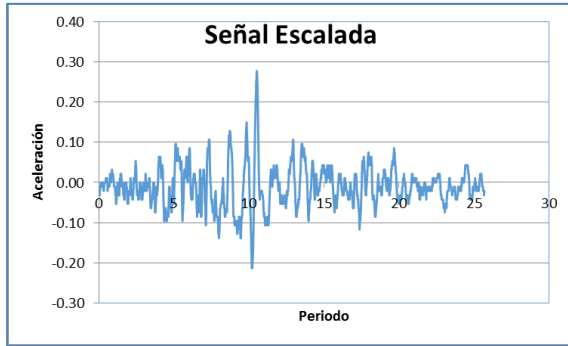
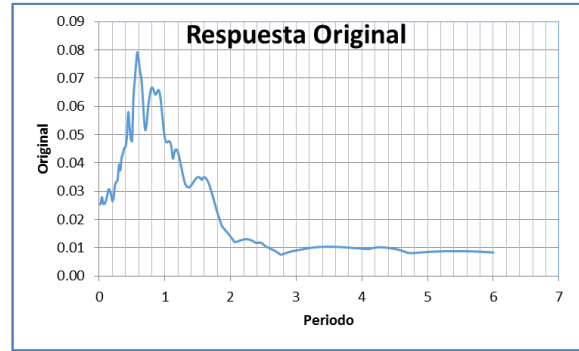
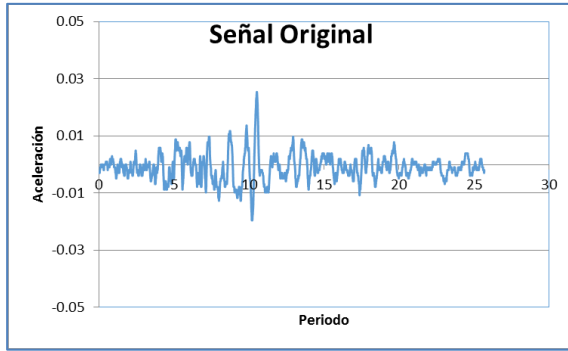


b) Kobe

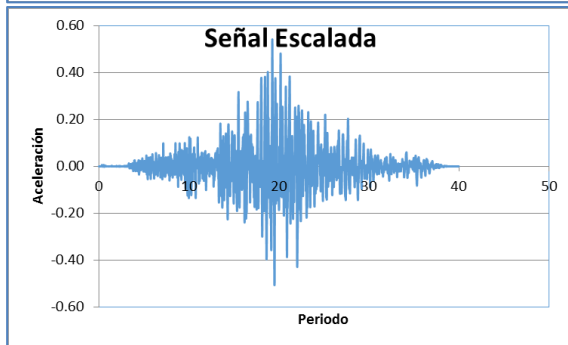
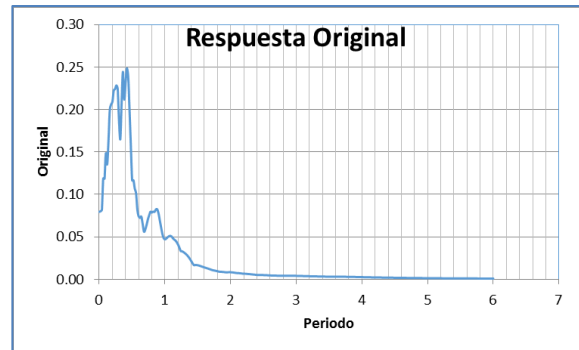
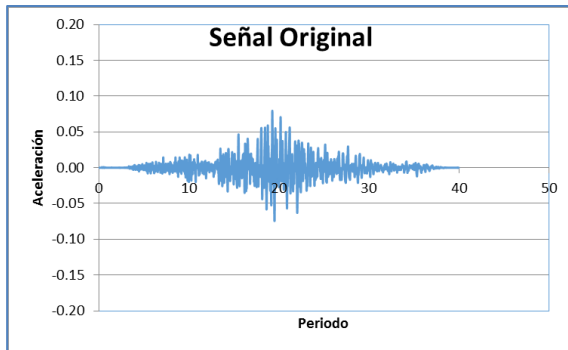


c) Loma Prieta

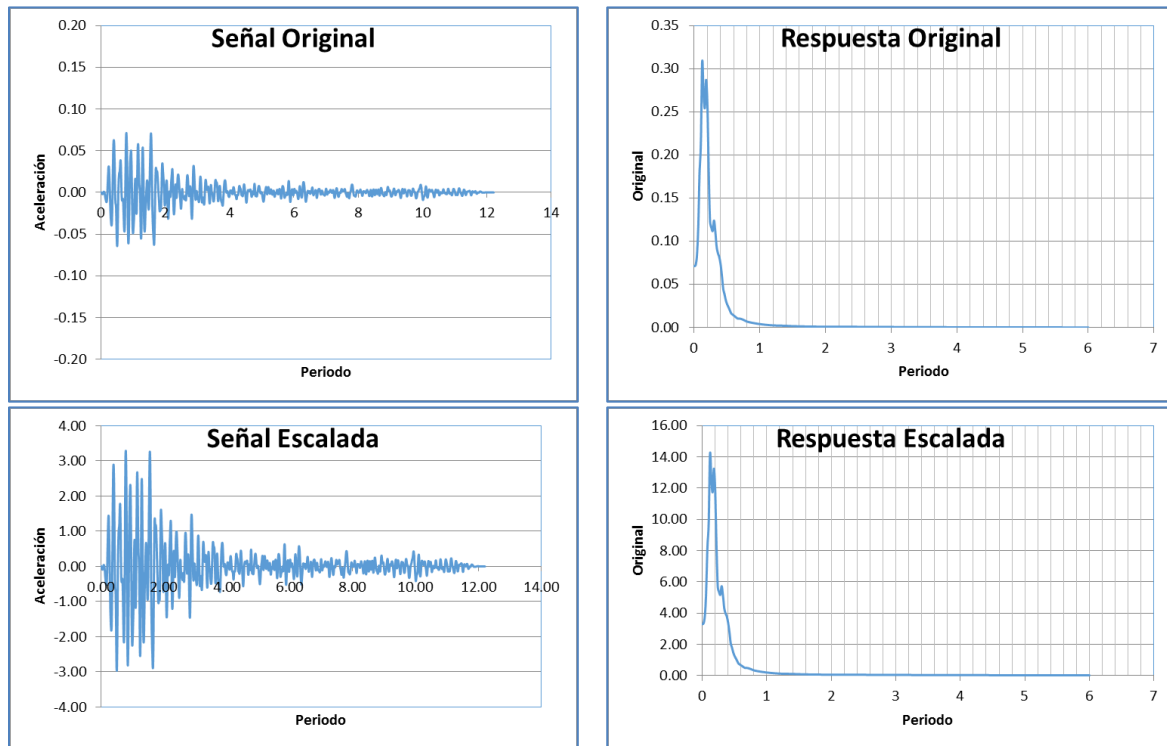




d) México

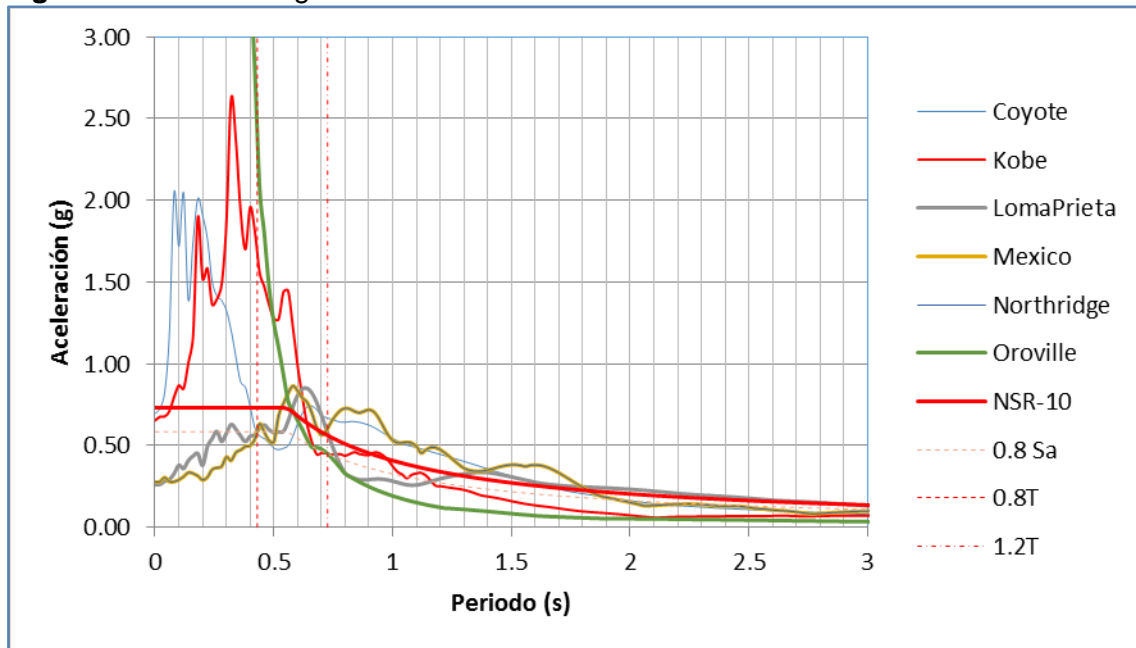


e) Northridge



f) Oroville

La **Figura 3-8** presenta los acelerogramas de respuesta escalados y el espectro de análisis definido en numerales anteriores.

**Figura 3-8:** Acelerogramas de análisis

### 3.5 Modelación

Las estructuras se han dimensionado de tal forma que cumplen con los requisitos de deriva definidos en la NSR-10. Para tal efecto, se han elaborado modelos mediante el programa SAP2000, en los cuales se ha modelado la losa del diafragma mediante elementos tipo Shell, las vigas y columnas mediante elementos tipo “*frame*”, en tanto que aquellos elementos verticales cuyas dimensiones cumplen con la definición de muro han sido modelados mediante elementos tipo Shell. Los apoyos de las columnas se han considerado como empotramientos así que no se considera en este estudio la interacción suelo-estructura. El comportamiento de diafragma perfectamente rígido, se ha considerado mediante la inclusión de “*Constraints*” de tipo diafragma en los diferentes niveles de los modelos, en tanto que para obtener la respuesta de las estructuras ante la presencia de un diafragma flexible o semirrígido, se ha retirado la restricción permitiendo la deformación en el plano al liberar estos grados de libertad.

Los análisis fueron realizados en el rango elástico de las estructuras. No se consideraron efectos de respuesta inelásticos debido a la magnitud de los modelos y la complejidad para extraer los datos en el análisis cronológico. Futuras investigaciones podrían identificar el comportamiento de las estructuras objeto del presente estudio cuando son llevadas al rango inelástico.

### 3.6 Dimensionamiento de las Estructuras:

Según lo estipulado en El Reglamento NSR-10, en su numeral A.3.2.2.1.d, puede utilizarse el método FHEQ en edificaciones irregulares que no tengan más de 6 niveles ni más de 18 m de altura, medidos a partir de la base. Apoyados en lo anterior, el dimensionamiento de las estructuras a analizar, cuya disposición y altura cumple con lo definido en el numeral antes mencionado, se realizó mediante el método FHEQ y posteriormente se efectuaron verificaciones del comportamiento de las estructuras mediante los métodos de análisis modal y cronológico.

De la modelación descrita anteriormente y mediante la aplicación del método FHEQ se obtienen las dimensiones requeridas en los elementos de la estructura, de tal forma que la misma cumpla con los límites de deriva los requisitos de resistencia y servicio establecidos en la NSR-10. Para el dimensionamiento se consideró un diafragma completamente rígido.

Las dimensiones obtenidas para las 4 diferentes estructuras y las dos configuraciones de losa se muestran en la **Tabla 3-3** y la **Tabla 3-4**.

**Tabla 3-3:** Dimensiones de los modelos para losa maciza  $e=0,21$  m (L21)

Modelo	Dimensiones de vigas	Dimensiones columnas interiores	Dimensiones muros perimetrales	Dimensiones columnas esquineras
M1	0.35 x 0.40	0.75 x 0.75	3.50 x 0.35	0.75 x 0.75
M2	0.35 x 0.40	0.75 x 0.75	3.50 x 0.35	0.75 x 0.75
M3	0.40 x 0.45	0.75 x 0.75	3.50 x 0.35	1.10 x 1.10
M4	0.40 x 0.45	0.75 x 0.75	3.50 x 0.55	1.10 x 1.10

**Tabla 3-4:** Dimensiones de los modelos para losa maciza  $e=0,10$  m (L10)

Modelo	Dimensiones de viga	Dimensiones columnas interiores	Dimensiones muros perimetrales	Dimensiones columnas esquineras
M1	0.35 x 0.45	0.75 x 0.75	3.50 x 0.35	0.75 x 0.75
M2	0.35 x 0.45	0.75 x 0.75	3.50 x 0.35	0.75 x 0.75
M3	0.35 x 0.45	0.75 x 0.75	3.50 x 0.35	1.10 x 1.10
M4	0.35 x 0.45	0.75 x 0.75	3.50 x 0.55	1.10 x 1.10

Tal como se aprecia, las dimensiones de las columnas interiores se mantuvieron constantes entre los diferentes modelos de análisis, y la rigidez necesaria para alcanzar los límites de deriva se obtuvo mediante la variación en la sección de los muros

perimetrales y las columnas de esquina. De igual forma, el dimensionamiento de las columnas entre modelos del mismo tipo se ha mantenido, y se han efectuado modificaciones exclusivamente en la losa y en las vigas. Lo anterior se hizo con el propósito de eliminar en la medida de lo posible la variable que podría llegar a representar el aporte de la unión viga columna en el comportamiento de las estructuras.

### 3.7 Indicadores de respuesta

Con el fin de caracterizar la respuesta sísmica de las estructuras objeto del presente análisis, dentro de los estudios realizados, se ha verificado el comportamiento de diferentes parámetros como el periodo de la estructura, las aceleraciones en el diafragma, calculadas según las normativas NSR-10 y ASCE 7-10, las cuales han ido comparadas con las obtenidas de los modelos SAP2000.

Otros parámetros estudiados en el presente documento para caracterizar la respuesta de las estructuras han sido la revisión de derivas para los diferentes pisos tanto en el centro de masa como en las esquinas, las fuerzas cortantes de piso para cada uno de los niveles, el índice de estabilidad y el coeficiente de flexibilidad del diafragma. Los anteriores análisis se efectuaron para cada una de las diferentes configuraciones en planta, considerando el diafragma rígido mediante la implementación de un “*Constrain*” tipo diafragma en cada uno de los pisos y mediante la modelación de la losa utilizando el espesor y propiedades de la misma con elementos tipo Shell, sin incluir dicha constricción.

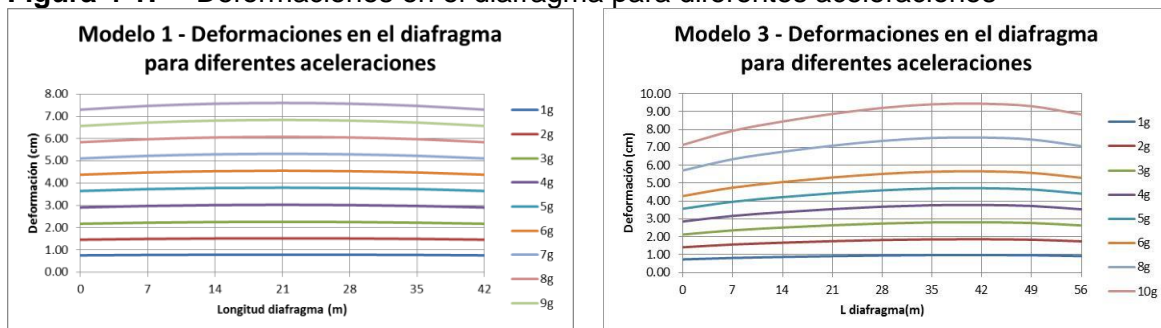
## 4. Análisis de Resultados

### 4.1 Índice de flexibilidad

De acuerdo con lo observado durante el desarrollo del presente estudio, el índice de flexibilidad definido en numerales anteriores, es resultado de diferentes parámetros, tales como el espesor de la losa, configuración de las vigas y elementos horizontales, disposición y geometría de los apoyos y luz entre apoyos del diafragma, entre otros.

Para analizar este aspecto, se analizaron los diferentes modelos y el comportamiento de su diafragma en cada uno de los niveles ante diferentes magnitudes de carga, generando incrementos en la aceleración y revisando el perfil de deformaciones presentadas. La **Figura 4-1** muestra este efecto para los primeros niveles en los modelos M1 y M3.

**Figura 4-1:** Deformaciones en el diafragma para diferentes aceleraciones



Es claro que aceleraciones como las consideradas en este análisis no son las esperadas para la zona de amenaza en la cual se centra el presente estudio. Su intención es simplemente académica y busca únicamente verificar que incluso para esta magnitud de cargas, el índice de flexibilidad del diafragma no se ve afectado. Con lo anterior se pudo encontrar que si bien la magnitud de la carga aplicada afecta el perfil de curvatura del diafragma generándose una mayor diferencia entre la deformación máxima y la

registrada en los apoyos, el coeficiente de flexibilidad permanece constante. La **Tabla 4-1** y **Tabla 4-2** muestran los cálculos del coeficiente realizados para el nivel 1 de los modelos 1 y 3 analizados.

**Tabla 4-1:** Coeficiente de flexibilidad para diferentes cargas – Modelo 1 nivel 1

Modelo 1 – Nivel 1				
Aceleración aplicada	Deformación máxima cm	MCC	MDD	$\alpha$
1g	0.792	0.761	0.031	0.041
2g	1.525	1.465	0.060	0.041
3g	2.267	2.178	0.089	0.041
4g	3.032	2.913	0.119	0.041
5g	3.801	3.652	0.150	0.041
6g	4.563	4.384	0.180	0.041
7g	5.322	5.113	0.209	0.041
8g	6.082	5.843	0.239	0.041
9g	6.844	6.575	0.270	0.041
10g	7.605	7.307	0.299	0.041

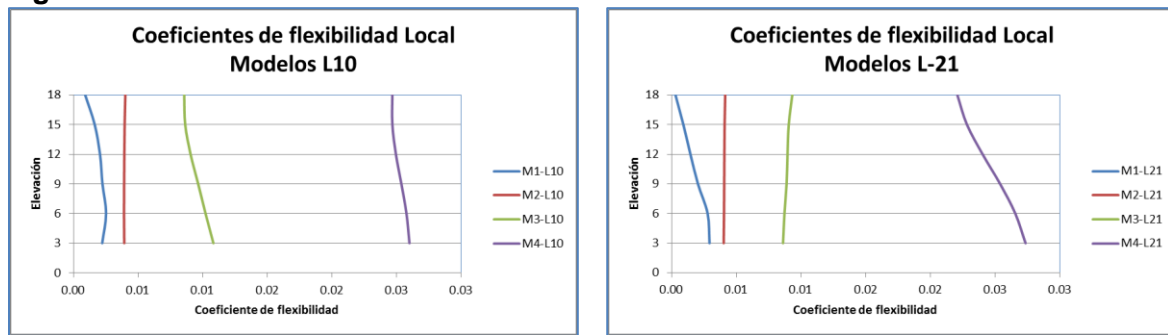
**Tabla 4-2:** Coeficiente de flexibilidad para diferentes cargas– Modelo 3 nivel 1

Modelo 3 – Nivel 1				
Aceleración aplicada	Deformación max cm	MCC	MDD	$\alpha$
1g	0.984	0.901	0.079	0.093
2g	1.868	1.710	0.152	0.092
3g	2.819	2.580	0.230	0.093
4g	3.783	3.462	0.308	0.093
5g	4.723	4.322	0.384	0.093
6g	5.665	5.185	0.460	0.093
7g	6.614	6.053	0.538	0.093
8g	7.56	6.919	0.615	0.093
9g	8.505	7.784	0.692	0.093
10g	9.451	8.650	0.768	0.093

Le metodología de cálculo del coeficiente de flexibilidad definido en los códigos considera para su cálculo únicamente el efecto entre dos apoyos (columnas), sin embargo, durante el desarrollo de la investigación se pudo apreciar que existe un efecto de curvatura que es mayor al tomar la totalidad de la longitud del diafragma. Considerando lo anterior, se

calculó el coeficiente de flexibilidad conforme a lo definido en el reglamento NSR-10 e indicado en el numeral 4.1 al cual llamaremos coeficiente de flexibilidad local y adicionalmente, se analizó el efecto de la flexibilidad en todo el diafragma, a lo cual se denominará coeficiente de flexibilidad general. Lo anterior se realizó para cada uno de los niveles utilizando los modelos que consideran el diafragma flexible, ya que como es claro, en aquellos en los cuales se ha incluido el “*constrain*” de diafragma, el índice será cero. Tal como se indicó anteriormente, la magnitud de las aceleraciones a las cuales se somete el diafragma, no afecta de forma considerable la magnitud de los índices de flexibilidad obtenidos. Los resultados obtenidos se muestran a continuación

**Figura 4-2:** Coeficiente de flexibilidad Local



a) Coeficiente de flexibilidad local Modelos losa e=0.10m

b) Coeficiente de flexibilidad local Modelos losa e=0.21m

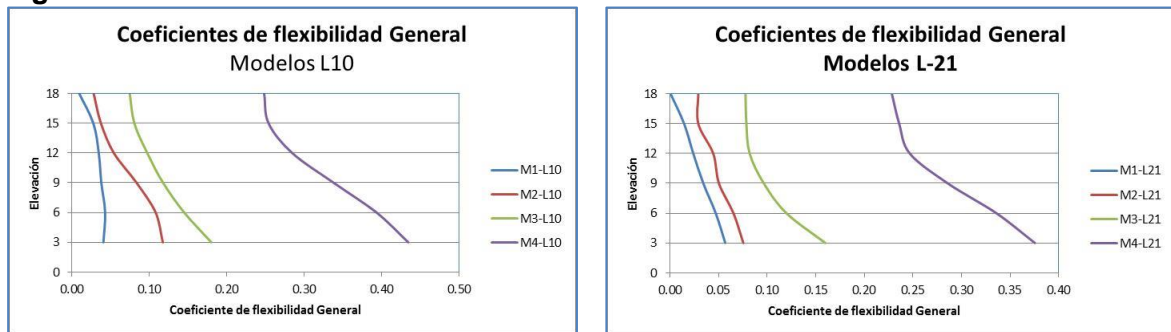
**Tabla 4-3:** Coeficiente de flexibilidad Local Losa e=0,10m

Elevación	M1-L10	M2-L10	M3-L10	M4-L10
3	0.002	0.004	0.011	0.026
6	0.003	0.004	0.010	0.026
9	0.002	0.004	0.010	0.025
12	0.002	0.004	0.009	0.025
15	0.002	0.004	0.009	0.025
18	0.001	0.004	0.009	0.025



**Tabla 4-4:** Coeficiente de flexibilidad Local Losa e=0,21m

Elevación	M1-L21	M2-L21	M3-L21	M4-L21
3	0.003	0.004	0.009	0.027
6	0.003	0.004	0.009	0.027
9	0.002	0.004	0.009	0.025
12	0.001	0.004	0.009	0.024
15	0.001	0.004	0.009	0.023
18	0.000	0.004	0.009	0.022

**Figura 4-3:** Coeficiente de flexibilidad General

c) Coeficiente de flexibilidad General Modelos losa e=0.10m

d) Coeficiente de flexibilidad General Modelos losa e=0.21m

**Tabla 4-5:** Coeficiente de flexibilidad Local Losa e=0,10m

Elevación	M1-L10	M2-L10	M3-L10	M4-L10
3	0.041	0.117	0.180	0.434
6	0.043	0.108	0.145	0.393
9	0.038	0.084	0.118	0.338
12	0.035	0.054	0.097	0.285
15	0.028	0.038	0.081	0.254
18	0.010	0.028	0.075	0.248

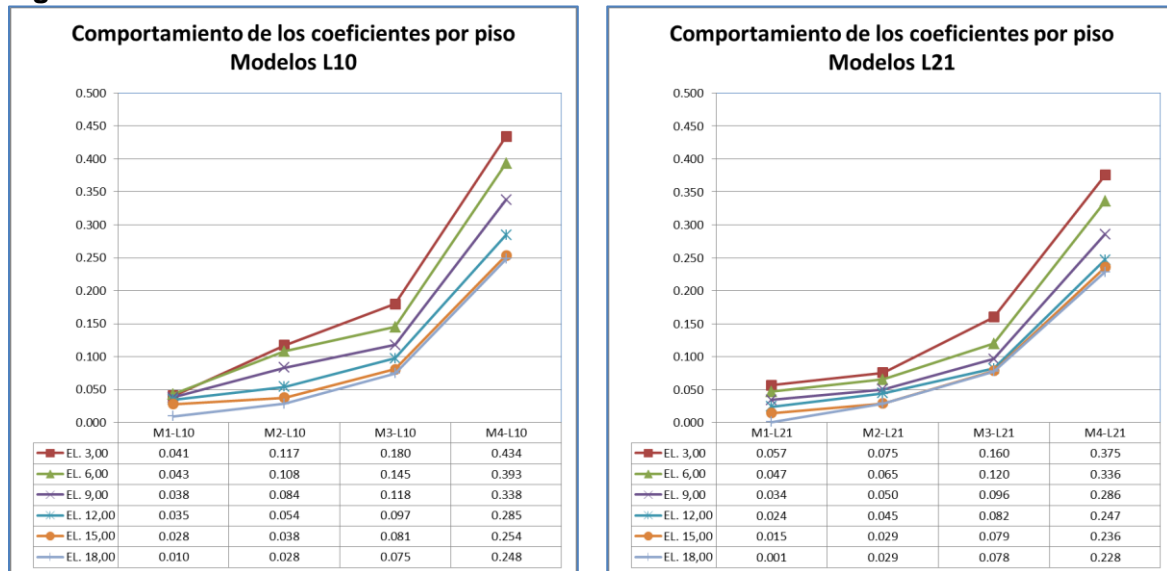
**Tabla 4-6:** Coeficiente de flexibilidad Local Losa e=0,21m

Elevación	M1-L21	M2-L21	M3-L21	M4-L21
3	0.057	0.075	0.160	0.375
6	0.047	0.065	0.120	0.336
9	0.034	0.050	0.096	0.286
12	0.024	0.045	0.082	0.247
15	0.015	0.029	0.079	0.236
18	0.001	0.029	0.078	0.228

No se apreciaron diferencias considerables entre los modelos con losas de 10 y 21 cm. Sin embargo, si se puede notar que a medida que existe una mayor irregularidad en los modelos, este coeficiente de flexibilidad se incrementa, siendo más perceptible este efecto en los niveles inferiores. Es de anotar que en la medida que se tiene una mayor irregularidad, la estructura presenta una menor rigidez en cada una de sus alas, debido a que se ha distribuido una misma área en planta para diferentes configuraciones. El número de luces que resisten la carga afectan entonces la rigidez que puede aportar el diafragma y esto explicaría el incremento en el parámetro estudiado.

Una variación adicional se puede apreciar en el coeficiente de flexibilidad en la medida en que el diafragma se encuentra en niveles inferiores, este efecto se puede notar en la **Figura 4-4** a continuación, en los cuales se muestra cómo es dicha variación para cada uno de los pisos analizados en función de la variación en la irregularidad de la estructura.

**Figura 4-4:** Coeficiente de flexibilidad variación en altura



a) Modelos con losa e=0,10m

b) Modelos con losa e=0,21m

Tal como se aprecia, los pisos inferiores presentan un incremento en el coeficiente de flexibilidad que es mayor al presentado en los pisos superiores. Al comparar los dos gráficos presentados, se puede apreciar que este efecto es mayor para la losa de 10 cm que para la losa de 21 cm.

Tal como se indicó en numerales anteriores, de acuerdo con el ASCE 7-10, un diafragma se considera rígido cuando el coeficiente de flexibilidad es menor que 0.5. Para los modelos analizados ninguno de los coeficientes encontrados es superior a dicho valor. Sin embargo, se continuará a lo largo del documento denotando como rígidos aquellos modelos que incluyen el “*constrain*” y flexible aquellos en los cuales no fue considerado en el análisis.

## 4.2 Análisis por fuerza horizontal equivalente

Para cada una de las estructuras se analizaron los parámetros que definen su comportamiento ante el evento de un sismo, a continuación se presentan los resultados encontrados.

### 4.2.1 Periodo de la estructura

El periodo de las diferentes estructuras fue obtenido mediante la metodología indicada en el numeral NSR-10 A.4.2.1 Los periodos obtenidos mediante este procedimiento se presentan a continuación para cada uno de los modelos

**Tabla 4-7:** Periodo de las estructuras Losa maciza e=0.21 m

Modelo	Diafragma Rígido		Diafragma Flexible		Incremento porcentual	
	Tx	Ty	Tx	Ty	Tx	Ty
Modelo M1	0.586	0.655	0.609	0.684	2.30%	2.90%
Modelo M2	0.635	0.635	0.663	0.663	2.80%	2.80%
Modelo M3	0.573	0.573	0.609	0.609	3.60%	3.60%
Modelo M4	0.506	0.476	0.556	0.486	5.00%	1.00%

**Tabla 4-8:** Periodo de las estructuras Losa maciza e=0.10 m

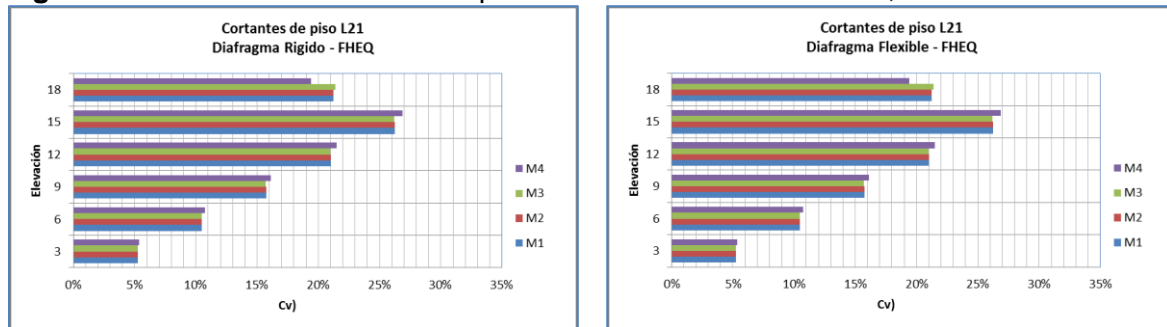
Modelo	Diafragma Rígido		Diafragma Flexible		Incremento porcentual	
	Tx	Ty	Tx	Ty	Tx	Ty
Modelo M1	0.553	0.624	0.586	0.667	3.30%	4.30%
Modelo M2	0.602	0.602	0.712	0.712	11.00%	11.00%
Modelo M3	0.573	0.573	0.691	0.691	11.80%	11.80%
Modelo M4	0.510	0.481	0.709	0.602	19.90%	12.10%

Se puede apreciar un incremento en el periodo de las diferentes estructuras al retirar el efecto del diafragma rígido, este incremento es mayor en la medida en que se incrementa el grado de irregularidad, excepto en el caso del modelo M4 con losa L21, el cual posee una mayor rigidez en el sentido Y respecto a los demás modelos, y el efecto del incremento causado por el diafragma flexible resulta solo de un 1%. Por su parte, para la losa L10, la cual ha presentado características de menor rigidez, lo cual se demostró al encontrar un índice de flexibilidad mayor es más notorio el incremento en el periodo y el efecto causado por la irregularidad antes descrito. Estos resultados son consistentes con los obtenidos en investigaciones anteriores (Fleishman R.B., 2002),

#### 4.2.2 Fuerzas cortantes de piso

Las fuerzas cortantes de piso obtenidas mediante el método FHEQ se presentan a continuación, sin embargo, es necesario notar que a pesar de que se buscó obtener dimensiones en las estructuras lo más similares posibles, aun se presentan diferencias en las masas, por lo cual, con el objetivo de tener un parámetro que permita comparar la diferencia en el comportamiento de este parámetro entre las diferentes estructuras, la distribución de fuerzas cortantes para cada nivel se presenta como porcentaje de la fuerza cortante basal.

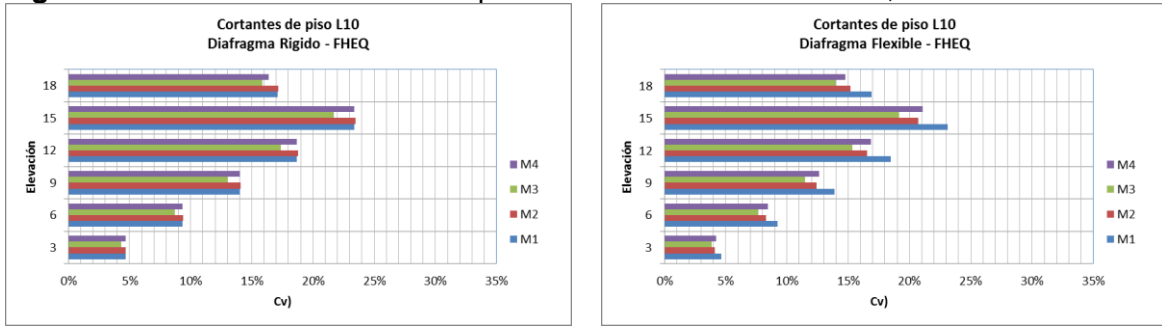
**Figura 4-5:** Fuerzas cortantes de piso – FHEQ- Losa Maciza  $e=0,21m$



a) Diafragma Rígido

b) Diafragma flexible

**Figura 4-6:** Fuerzas cortantes de piso – FHEQ- Losa Maciza e=0,10m



a) Diafragma Rígido

b) Diafragma flexible

Diferencias menores se pueden apreciar entre la distribución presentada para las fuerzas cortantes de piso entre modelos con igual espesor de losa al eliminar la condición de diafragma rígido. Estas diferencias son producto de la variación en el periodo fundamental de la estructura antes comentado, y cuya variación resultó ser más perceptible en los modelos con losa L10.

Al comparar entre los modelos con losa L21 y los de Losa L10, se puede apreciar que para el primer caso, el porcentaje de fuerza cortante en los pisos superiores a elevaciones 15,0 y 18,0 es superior a lo obtenido en estos mismos pisos para los modelos con losa de menor espesor. La **Tabla 4-9** y **Tabla 4-10** presentan de forma numérica los resultados obtenidos.

**Tabla 4-9:** Fuerzas cortantes – FHEQ- Losa maciza e=0.21 m

Losa 21 (cm) - Diafragma rígido

Nivel	M1		M2		M3		M4	
	Total	%	Total	%	Total	%	Total	%
3	5,723	5%	5,260	5%	6,122	5%	6,179	5%
6	11,446	11%	10,519	11%	12,244	10%	12,358	10%
9	17,169	16%	15,779	16%	18,367	16%	18,537	16%
12	22,893	21%	21,039	21%	24,489	21%	24,716	21%
15	28,616	26%	26,299	26%	30,611	26%	30,895	26%
18	23,124	21%	21,271	21%	24,971	21%	25,192	21%
	108,971		100,167		116,804		117,878	

## Losas 21 (cm) - Diafragma flexible

Nivel	M1		M2		M3		M4	
	Total	%	Total	%	Total	%	Total	%
3	5,507	5%	5,041	5%	5,764	5%	6,179	5%
6	11,014	11%	10,082	11%	11,527	10%	12,358	10%
9	16,520	16%	15,123	16%	17,291	16%	18,537	16%
12	22,027	21%	20,164	21%	23,054	21%	24,716	21%
15	27,534	26%	25,205	26%	28,818	26%	30,895	26%
18	22,250	21%	20,386	21%	23,508	21%	25,192	21%
	104,852		96,000		109,961		117,878	

**Tabla 4-10:** Fuerzas cortantes – FHEQ- Losa maciza e=0.10 m

## Losas 10 (cm) - Diafragma rígido

Nivel	M1		M2		M3		M4	
	Total	%	Total	%	Total	%	Total	%
3	5,091	5%	4,700	5%	5,077	4%	5,510	5%
6	10,183	9%	9,399	9%	10,154	9%	11,021	9%
9	15,274	14%	14,099	14%	15,231	13%	16,531	14%
12	20,365	19%	18,799	19%	20,307	17%	22,042	19%
15	25,456	23%	23,499	23%	25,384	22%	27,552	23%
18	18,633	17%	17,213	17%	18,542	16%	19,331	16%
	95,002		87,709		94,694		101,988	

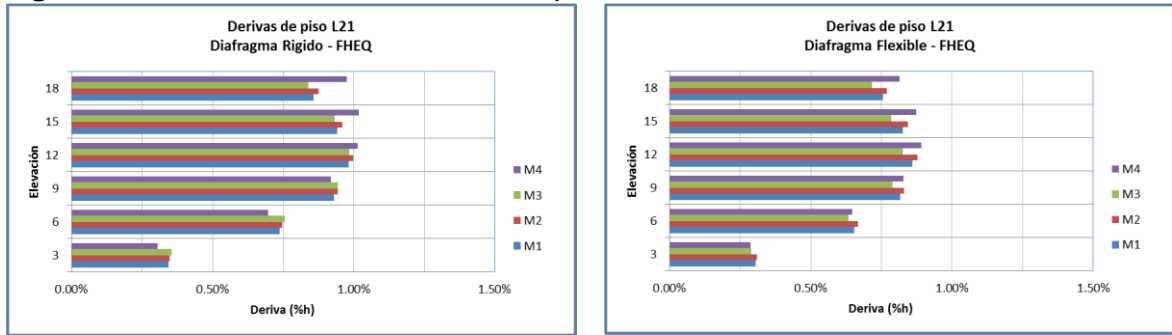
## Losas 10 (cm) - Diafragma flexible

Nivel	M1		M2		M3		M4	
	Total	%	Total	%	Total	%	Total	%
3	4,845	5%	3,973	4%	4,210	4%	4,965	4%
6	9,690	9%	7,946	8%	8,420	8%	9,929	8%
9	14,535	14%	11,919	12%	12,631	11%	14,894	13%
12	19,380	18%	15,892	17%	16,841	15%	19,858	17%
15	24,225	23%	19,865	21%	21,051	19%	24,823	21%
18	17,732	17%	14,551	15%	15,376	14%	17,416	15%
	90,407		74,147		78,529		91,884	

**4.2.3 Derivas máximas en las esquinas**

La **Figura 4-7** y la **Figura 4-8** muestran las derivas máximas en las esquinas como porcentaje de la altura de piso, para cada modelo y para los dos tipos de losa estudiados.

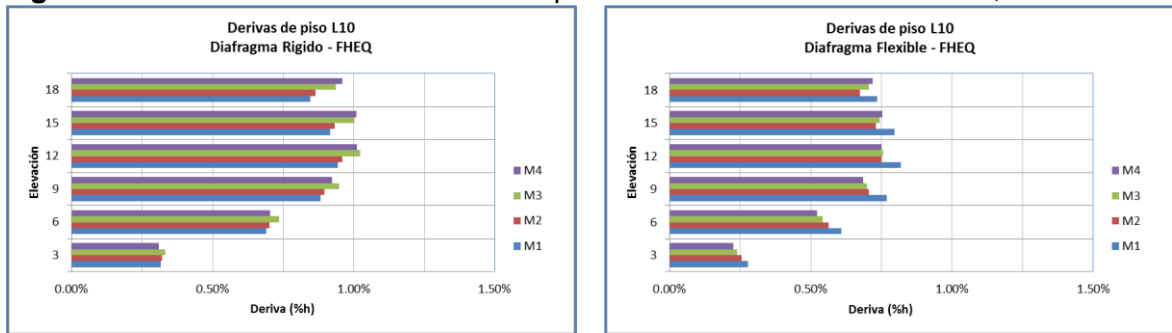
**Figura 4-7:** Derivas máximas en las esquinas -FHEQ- Losa Maciza e=0,21m



a) Diafragma Rígido

b) Diafragma flexible

**Figura 4-8:** Derivas máximas en las esquinas – FHEQ - Losa Maciza e=0,10m



a) Diafragma Rígido

b) Diafragma flexible

El primer efecto que se puede notar entre la consideración de diafragma rígido y flexible, es la reducción en la deriva, debida a la modificación en el periodo usado para calcular las aceleraciones de diseño. En este caso al encontrarse dicho periodo por fuera de la meseta del espectro, se obtuvieron menores valores de aceleración. Dado que las derivas son función de dicha aceleración, se presenta la consecuente disminución en este parámetro. No se puede apreciar para este análisis una variación considerable en la distribución de las derivas, la cual resulta muy similar para los cuatro tipos de modelo analizados y para los dos tipos de diafragma incluidos en cada uno de ellos. La **Tabla 4-11** y **Tabla 4-12** presenta estos resultados.

**Tabla 4-11:** Derivas máximas en las esquinas Losa maciza  $e=0.21$  m

Losa 21 Diafragma rígido

Nivel	M1	M2	M3	M4
3	0.34%	0.35%	0.36%	0.30%
6	0.74%	0.75%	0.76%	0.70%
9	0.93%	0.94%	0.94%	0.92%
12	0.98%	1.00%	0.99%	1.01%
15	0.94%	0.96%	0.93%	1.02%
18	0.86%	0.87%	0.84%	0.98%

Losa 21 Diafragma flexible

Nivel	M1	M2	M3	M4
3	0.31%	0.31%	0.29%	0.29%
6	0.65%	0.67%	0.63%	0.65%
9	0.82%	0.83%	0.79%	0.83%
12	0.86%	0.88%	0.83%	0.89%
15	0.83%	0.84%	0.79%	0.87%
18	0.75%	0.77%	0.72%	0.82%

**Tabla 4-12:** Derivas máximas en las esquinas – FHEQ- Losa maciza  $e=0.10$  m

Losa 10 Diafragma rígido

Nivel	M1	M2	M3	M4
3	0.32%	0.32%	0.33%	0.31%
6	0.69%	0.70%	0.74%	0.70%
9	0.88%	0.90%	0.95%	0.92%
12	0.94%	0.96%	1.02%	1.01%
15	0.92%	0.93%	1.00%	1.01%
18	0.85%	0.86%	0.94%	0.96%

Losa 10 Diafragma flexible

Nivel	M1	M2	M3	M4
3	0.28%	0.26%	0.24%	0.23%
6	0.61%	0.56%	0.54%	0.52%
9	0.77%	0.71%	0.70%	0.68%
12	0.82%	0.75%	0.76%	0.75%
15	0.80%	0.73%	0.75%	0.75%
18	0.74%	0.67%	0.70%	0.72%



Según lo definido por el Euro código, (European Committee for Standardization — CEN, 2005) en el cual se define que un diafragma es rígido cuando la diferencia entre los desplazamientos obtenidos para las consideraciones de diafragma flexible y rígido son en cualquier punto menores al 10%. Esta condición no se cumple para este caso. Acorde con lo anterior, las únicas losas para las cuales se debería considerar diafragma rígido son los niveles 3.00, 6.00 y 9.00 del Modelo 4 en la losa L21 tal como se puede apreciar en la **Tabla 4-13**

**Tabla 4-13:** Diferencias en deformación rígido - flexible

Elev.	M1	M2	M3	M4
3.0	11.82%	20.31%	28.05%	27.22%
6.0	11.94%	19.83%	26.15%	25.69%
9.0	12.90%	21.38%	26.27%	25.82%
12.0	13.15%	21.64%	26.07%	25.63%
15.0	13.18%	21.77%	25.69%	25.34%
18.0	13.17%	22.00%	24.83%	25.02%

Losa L10

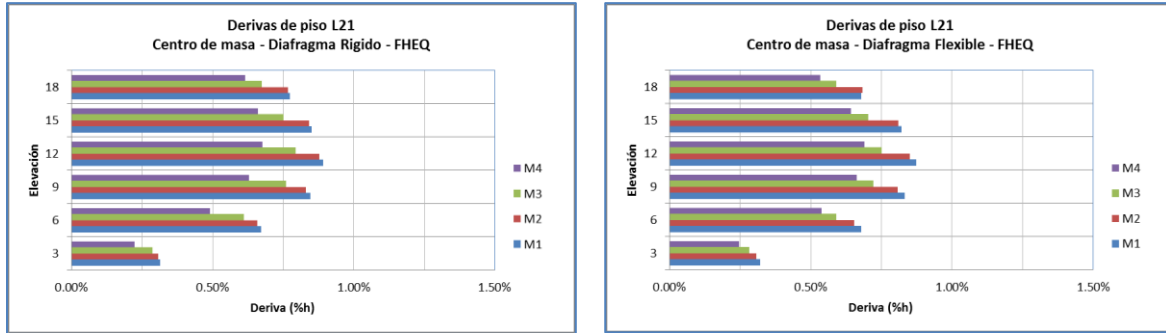
Elev.	M1	M2	M3	M4
3.0	11.15%	11.11%	18.55%	5.59%
6.0	11.24%	10.60%	16.21%	7.01%
9.0	12.19%	12.08%	16.42%	9.78%
12.0	12.35%	12.01%	16.23%	12.08%
15.0	12.32%	11.90%	15.79%	14.32%
18.0	12.05%	11.92%	14.56%	16.37%

Losa L21

#### 4.2.4 Derivas máximas en el centro de masa

Entre las modificaciones presentadas en el Reglamento NSR -10 con respecto a la NSR-98, se cita lo siguiente: “*Ahora para edificaciones con diafragma rígido que no tengan irregularidades torsionales en planta se permite evaluar la deriva solamente en el centro de masa del diafragma (A.6.3.1.1). Cuando la estructura tiene irregularidades torsionales, la deriva debe evaluarse en todos los ejes verticales de columna y en los bordes verticales de los muros estructurales*” (A.6.3.1.22). Dado que conforme a los especificado en el Reglamento, solo se considera irregularidad del tipo 2P cuando ésta presenta retrocesos excesivos en sus esquinas, reconociéndose como retroceso excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del retroceso, son mayores que el 15 por ciento de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del retroceso, se podría suponer que para las dos primeras geometrías definidas en el presente estudio, la medición de las derivas en el centro de masa serían suficientes para cumplir con los requisitos establecidos por el reglamento en este aspecto. Por lo anterior, se presenta a continuación el análisis del comportamiento de este parámetro al considerar o no diafragma flexible.

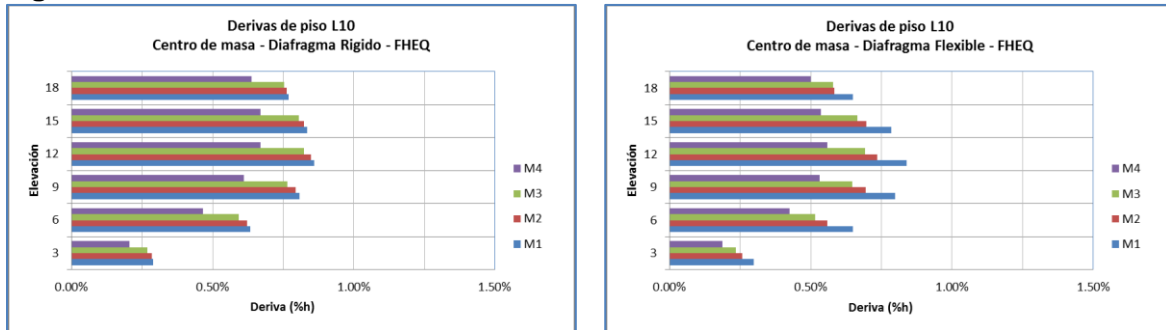
**Figura 4-9:** Derivas máximas en el centro de masa – FHEQ - Losa Maciza e=0,21m



a) Diafragma Rígido

b) Diafragma flexible

**Figura 4-10:** Derivas máximas en el centro de masa – FHEQ- Losa Maciza e=0,10m



a) Diafragma Rígido

b) Diafragma flexible

Se aprecia un cambio menor en la distribución de las derivas respecto a la altura, especialmente para la losa de menor espesor, en la cual se presentan mayores derivas para los pisos intermedios que para los superiores. Para la losa L21 en cambio, el comportamiento permanece constante, denotando el comportamiento más rígido de este tipo de losa respecto a la L10. Tal como se verá más adelante, las derivas presentadas en las esquinas de la estructura se encuentran dentro de los límites establecidos en el código excepto para el modelo M4 de mayor irregularidad. Sin embargo, conforme lo especifica el reglamento NSR-10, se debe considerar la condición de diafragma flexible para los modelos M3 y M4. Lo anterior sustenta el requerimiento de la norma al permitir efectuar las verificaciones de deriva en el centro de masa de estructuras regulares.

**Tabla 4-14:** Derivas máximas en el centro de masa – FHEQ - Losa maciza  $e=0.21$  m  
Losa 21 Diafragma rígido

Nivel	M1	M2	M3	M4
3	0.31%	0.31%	0.29%	0.22%
6	0.67%	0.66%	0.61%	0.49%
9	0.85%	0.83%	0.76%	0.63%
12	0.89%	0.88%	0.79%	0.68%
15	0.85%	0.84%	0.75%	0.66%
18	0.77%	0.77%	0.67%	0.62%

Caso 1: Losa 21 (cm) Diafragma flexible

Nivel	M1	M2	M3	M4
3	0.32%	0.31%	0.28%	0.25%
6	0.68%	0.65%	0.59%	0.54%
9	0.83%	0.81%	0.72%	0.66%
12	0.87%	0.85%	0.75%	0.69%
15	0.82%	0.81%	0.70%	0.64%
18	0.68%	0.68%	0.59%	0.53%

**Tabla 4-15:** Derivas máximas en el centro de masa – FHEQ- Losa maciza  $e=0.10$  m  
Losa 10 Diafragma rígido

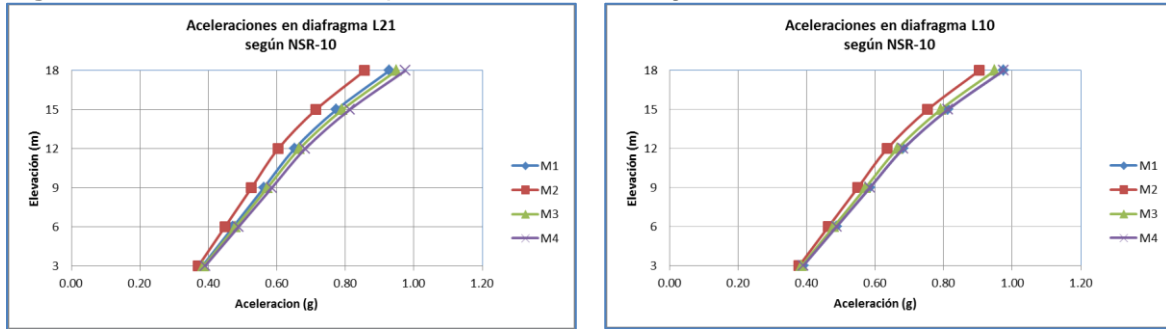
Nivel	M1	M2	M3	M4
3	0.29%	0.29%	0.27%	0.21%
6	0.63%	0.62%	0.59%	0.47%
9	0.81%	0.79%	0.76%	0.61%
12	0.86%	0.85%	0.82%	0.67%
15	0.83%	0.82%	0.81%	0.67%
18	0.77%	0.76%	0.75%	0.64%

Losa 10 Diafragma flexible

Nivel	M1	M2	M3	M4
3	0.30%	0.26%	0.23%	0.19%
6	0.65%	0.56%	0.52%	0.43%
9	0.80%	0.69%	0.65%	0.53%
12	0.84%	0.73%	0.69%	0.56%
15	0.79%	0.70%	0.67%	0.54%
18	0.65%	0.58%	0.58%	0.50%

### 4.2.5 Aceleraciones en el diafragma Según NSR-10 A.3.6.8.2

Figura 4-11: Aceleraciones para diseño del diafragma de acuerdo con NSR-10



a) Losa e=0,21 m

b) Losa e=0,10 m

Las aceleraciones en el diafragma son resultado del cálculo según el reglamento NSR-10 en su numeral A.3.6.8.2, que no considera el tipo de diafragma que posee la estructura. Por lo anterior, no se aprecian cambios considerables en la distribución o en la magnitud de dichas aceleraciones. Los resultados se presentan de forma numérica en la **Tabla 4-16**.

**Tabla 4-16:** Aceleraciones en el diafragma de acuerdo con el reglamento NSR-10  
Caso 1: Losa 21 (cm)

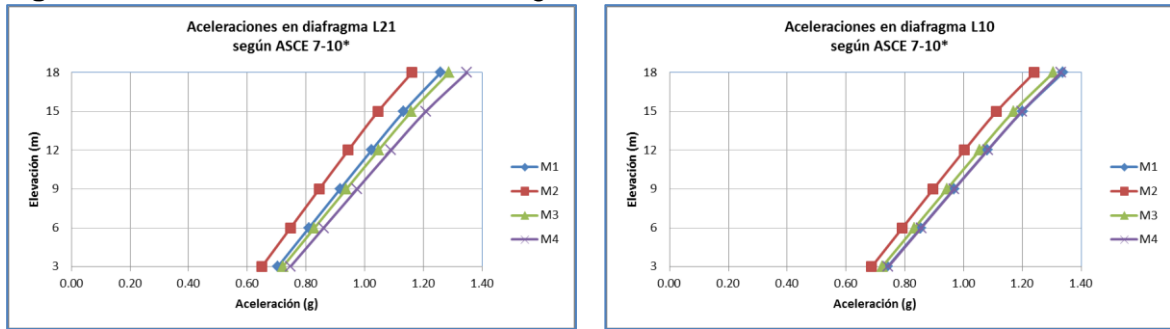
Nivel	M1	M2	M3	M4
3	0.38	0.37	0.39	0.39
6	0.47	0.45	0.48	0.49
9	0.56	0.53	0.57	0.59
12	0.65	0.60	0.67	0.68
15	0.77	0.71	0.79	0.81
18	0.93	0.86	0.95	0.98

Caso 2: losa 10 (cm)

Nivel	M1	M2	M3	M4
3	0.39	0.38	0.39	0.39
6	0.49	0.46	0.48	0.49
9	0.59	0.55	0.57	0.59
12	0.68	0.64	0.67	0.68
15	0.81	0.75	0.79	0.81
18	0.98	0.90	0.95	0.98

## 4.2.6 Aceleraciones en el diafragma según ASCE 7-10

Figura 4-12: Aceleraciones en el diafragma ASCE 7-10



a) Losa e=0,21 m

b) Losa e=0,10 m

Al igual que lo establecido por NSR-10, la configuración del diafragma no es tenida en cuenta en el cálculo de las aceleraciones en el código ASCE 7-10, por lo cual no se aprecian variaciones en distribución o magnitud. Resultados numéricos en la **Tabla 4-17**

**Tabla 4-17:** Aceleraciones en el diafragma ASCE 7-10 - Losa maciza e=0.21 m  
Caso 1: Losa 21 (cm)

Nivel	M1	M2	M3	M4
3	0.70	0.65	0.72	0.75
6	0.81	0.75	0.83	0.86
9	0.92	0.85	0.94	0.97
12	1.02	0.94	1.05	1.09
15	1.13	1.05	1.16	1.21
18	1.26	1.16	1.29	1.35

Caso 2: losa 10 (cm)

Nivel	M1	M2	M3	M4
3	0.74	0.69	0.72	0.74
6	0.85	0.79	0.83	0.86
9	0.97	0.90	0.94	0.97
12	1.08	1.00	1.06	1.08
15	1.20	1.11	1.17	1.20
18	1.34	1.24	1.31	1.33

## 4.2.7 Índice de estabilidad Q

Se calculó el índice de estabilidad para las diferentes estructuras, según lo establecido en el numeral A.6.2.3 del Reglamento NSR-10. Los valores encontrados se encuentran

muy por debajo de los límites mínimos establecidos. Los resultados obtenidos se presentan en la **Tabla 4-18** y

**Tabla 4-19**

**Tabla 4-18:** Índice de estabilidad – FHEQ - Losa maciza  $e=0.21$  m

Nivel	M1- L21-DR	M1- L21-DF	M2- L21-DR	M2- L21-DF	M3- L21-DR	M3- L21-DF	M4- L21-DR	M4- L21-DF
3	0.005	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005	0.004	0.004
6	0.010	0.010	0.010	0.011	0.009	0.009	0.007	0.008
9	0.011	0.011	0.011	0.012	0.009	0.009	0.008	0.009
12	0.010	0.010	0.011	0.011	0.009	0.009	0.008	0.008
15	0.009	0.009	0.010	0.010	0.008	0.008	0.007	0.007
18	0.008	0.007	0.008	0.008	0.006	0.006	0.006	0.005

**Tabla 4-19:** Índice de estabilidad – FHEQ- Losa maciza  $e=0.10$  m

Nivel	M1- L10-DR	M1- L10-DF	M2- L10-DR	M2- L10-DF	M3- L10-DR	M3- L10-DF	M4- L10-DR	M4- L10-DF
3	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004	0.005	0.003	0.004
6	0.009	0.010	0.009	0.010	0.009	0.009	0.006	0.007
9	0.010	0.010	0.011	0.011	0.010	0.010	0.007	0.008
12	0.010	0.010	0.010	0.011	0.009	0.010	0.007	0.008
15	0.009	0.008	0.009	0.009	0.008	0.008	0.007	0.007
18	0.007	0.007	0.008	0.007	0.007	0.007	0.006	0.006

Se puede apreciar que no existen variaciones considerables entre un modelo y otro ni entre las consideraciones de diafragma rígido y flexible. Por lo anterior, no se efectuarán verificaciones de este parámetro mediante las metodologías de análisis modal y cronológico.

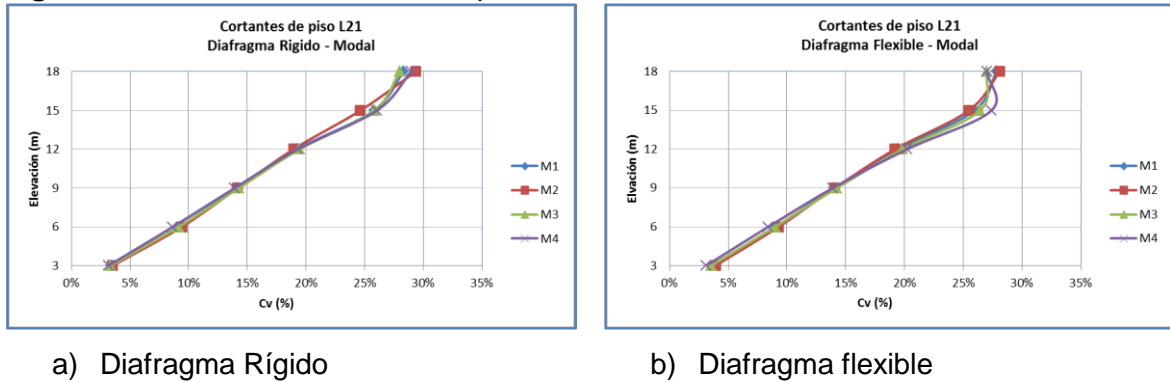
### 4.3 Análisis modal

Para estructuras irregulares la participación de los modos superiores en la respuesta de la estructura se torna más importante, por lo cual es necesario estudiar de que forma la participación de estos modos afecta el comportamiento de las estructuras objeto de análisis. Con base en lo anterior, se presentan a continuación los resultados del análisis modal efectuado a cada uno de los modelos.

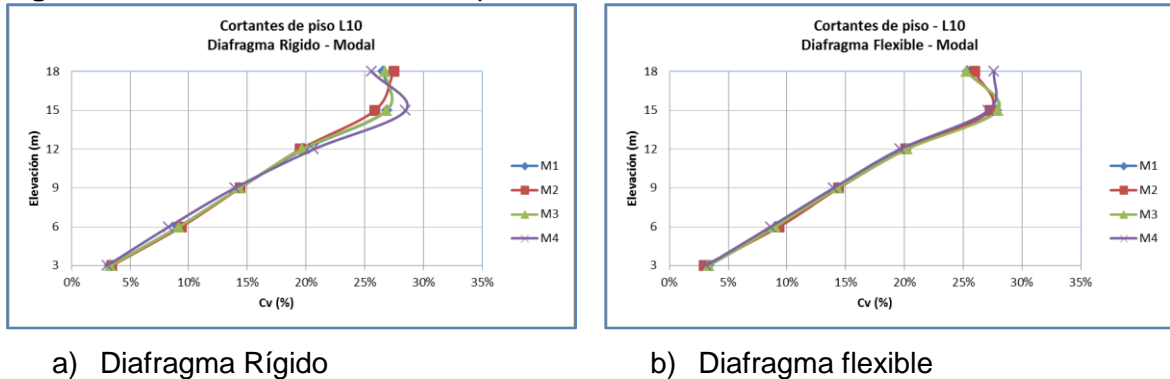
### 4.3.1 Fuerzas cortantes de piso

Las fuerzas cortantes de piso obtenidas mediante el método de análisis modal se presentan a continuación. Tal como se indicó en el análisis FHEQ, se presenta la distribución de fuerzas en cada nivel de forma porcentual.

**Figura 4-13:** Fuerzas cortantes de piso – Modal - Losa Maciza  $e=0,21m$



**Figura 4-14:** Fuerzas cortantes de piso – Modal - Losa Maciza  $e=0,10m$



Una modificación en la distribución de la fuerza cortante se puede apreciar al retirar la condición de diafragma rígido de los modelos. La distribución de fuerzas cortantes aparece muy similar sin importar la variación en la irregularidad de las estructuras; sin embargo, al considerar el comportamiento flexible del diafragma, se aprecian diferencias entre los diferentes tipos de modelo aunque no existe un patrón que permita conectar la distribución de fuerza cortante con la variación en la irregularidad de la estructura. A continuación se presentan los resultados de forma numérica.

**Tabla 4-20:** Fuerzas cortantes – Modal - Losa maciza  $e=0.21$  m

## Diafragma Rígido

Nivel	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4	
	Vs	%	Vs	%	Vs	%	Vs	%
3	2940	3.37%	3177	3.52%	3525	3.35%	3027	3.16%
6	7973	9.15%	8487	9.41%	9609	9.14%	8277	8.64%
9	12331	14.14%	12779	14.18%	15009	14.28%	13328	13.91%
12	16776	19.24%	17061	18.92%	20445	19.45%	18472	19.28%
15	22478	25.78%	22203	24.63%	27115	25.79%	24944	26.04%
18	24679	28.31%	26443	29.33%	29421	27.99%	27756	28.97%
	87,177	100%	90,150	100%	105,124	100%	95,804	100%

## Diafragma flexible

Nivel	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4	
	Vs	%	Vs	%	Vs	%	Vs	%
3	2970	3.75%	3086	3.91%	3032	3.56%	3630	3.12%
6	7162	9.04%	7331	9.29%	7666	9.00%	9771	8.40%
9	11106	14.02%	11090	14.05%	12122	14.22%	16154	13.89%
12	15380	19.42%	15142	19.18%	16883	19.81%	23503	20.21%
15	20557	25.95%	20103	25.47%	22512	26.41%	31853	27.39%
18	22042	27.82%	22186	28.11%	23010	27.00%	31397	26.99%
	79,216	100%	78,938	100%	85,225	100%	116,308	100%

**Tabla 4-21:** Fuerzas cortantes – Modal - Losa maciza  $e=0.10$  m

## Diafragma Rígido

Nivel	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4	
	Corregido	%	Corregido	%	Corregido	%	Corregido	%
3	2773	3.31%	2979	3.45%	3307	3.34%	2915	3.04%
6	7639	9.11%	8087	9.36%	9072	9.17%	7954	8.30%
9	12021	14.33%	12408	14.36%	14152	14.30%	13336	13.92%
12	16610	19.80%	16853	19.51%	19434	19.64%	19781	20.65%
15	22549	26.88%	22334	25.85%	26545	26.82%	27295	28.49%
18	22290	26.57%	23738	27.47%	26455	26.73%	24524	25.60%
	83,881	100%	86,400	100%	98,965	100%	95,804	100%

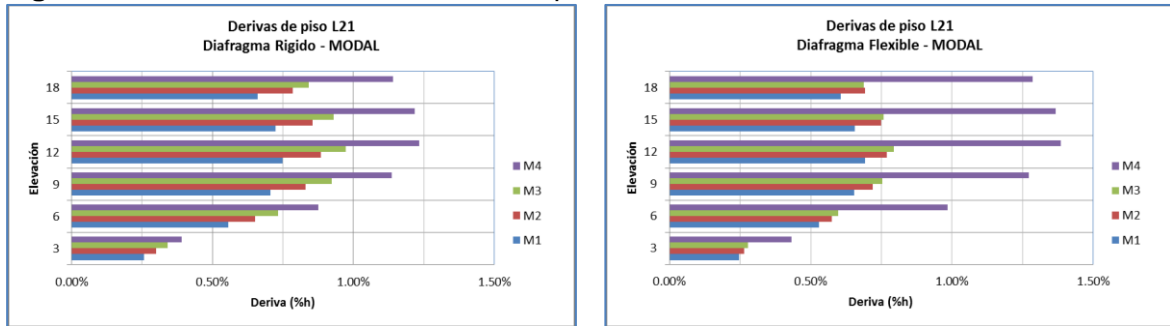


Diafragma flexible

Nivel	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4	
	Corregido	%	Corregido	%	Corregido	%	Corregido	%
3	2403	3.32%	2528	2.96%	2350	3.32%	2876	3.14%
6	6588	9.11%	7951	9.30%	6349	8.98%	7862	8.59%
9	10357	14.32%	12313	14.40%	10108	14.30%	12769	13.95%
12	14493	20.04%	17193	20.11%	14270	20.19%	17937	19.59%
15	20133	27.84%	23323	27.28%	19734	27.92%	24834	27.12%
18	18350	25.37%	22195	25.96%	17866	25.25%	25280	27.61%
	72,326	100%	85,502	100%	70,676	100%	91,558	100%

4.3.2 Derivas máximas en las esquinas

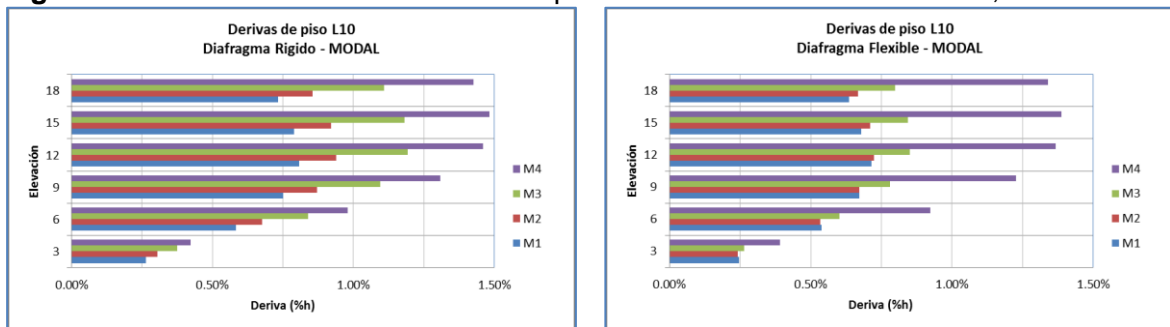
Figura 4-15: Derivas máximas en las esquinas – Modal - Losa Maciza e=0,21m



a) Diafragma Rígido

b) Diafragma flexible

Figura 4-16: Derivas máximas en las esquinas – Modal - Losa Maciza e=0,10m



a) Diafragma Rígido

b) Diafragma flexible

El cambio más apreciable al pasar de diafragma rígido a flexible se presentó para el modelo M4, aquel con mayor irregularidad: las derivas en comparación con las obtenidas mediante el método FHEQ se incrementaron en el caso de la losa L21 para la condición

de diafragma flexible, mientras que para la losa L10 se aprecia una pequeña reducción, tal como ocurrió en el análisis FHEQ.

**Tabla 4-22:** Derivas máximas en las esquinas – Modal - Losa maciza  $e=0.21$  m  
Losa 21 Diafragma rígido

Nivel	M1	M2	M3	M4
3	0.26%	0.30%	0.34%	0.35%
6	0.56%	0.65%	0.73%	0.79%
9	0.71%	0.83%	0.92%	1.03%
12	0.75%	0.88%	0.97%	1.11%
15	0.72%	0.86%	0.93%	1.10%
18	0.66%	0.78%	0.84%	1.03%

Losa 21 Diafragma flexible

Nivel	M1	M2	M3	M4
3	0.25%	0.26%	0.28%	0.43%
6	0.53%	0.57%	0.60%	0.98%
9	0.65%	0.72%	0.75%	1.27%
12	0.69%	0.77%	0.79%	1.38%
15	0.66%	0.75%	0.76%	1.37%
18	0.61%	0.69%	0.69%	1.29%

**Tabla 4-23:** Derivas máximas en las esquinas – Modal - Losa maciza  $e=0.10$  m  
Caso 2: Losa 10 (cm) Diafragma rígido

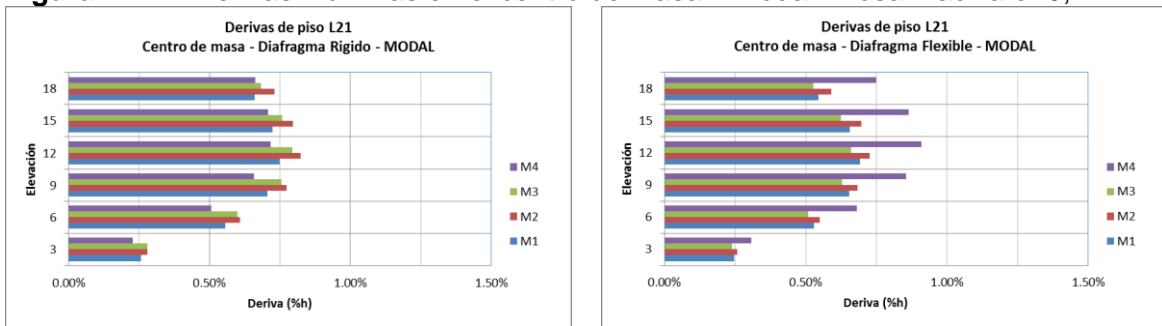
Nivel	M1	M2	M3	M4
3	0.26%	0.31%	0.37%	0.42%
6	0.58%	0.68%	0.84%	0.98%
9	0.75%	0.87%	1.09%	1.31%
12	0.81%	0.94%	1.19%	1.46%
15	0.79%	0.92%	1.18%	1.48%
18	0.73%	0.86%	1.11%	1.43%

Caso 2: Losa 10 (cm) Diafragma flexible

Nivel	M1	M2	M3	M4
3	0.25%	0.24%	0.27%	0.39%
6	0.54%	0.53%	0.60%	0.92%
9	0.67%	0.67%	0.78%	1.23%
12	0.71%	0.72%	0.85%	1.37%
15	0.68%	0.71%	0.84%	1.39%
18	0.64%	0.67%	0.80%	1.34%

4.3.3 Derivas máximas en el centro de masa

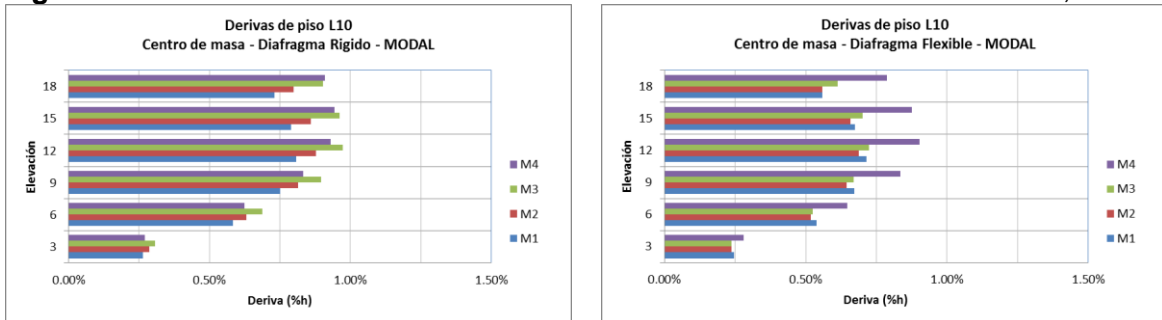
Figura 4-17: Derivas máximas en el centro de masa – Modal - Losa Maciza e=0,21m



a) Diafragma Rígido

b) Diafragma flexible

Figura 4-18: Derivas máximas en el centro de masa – Modal - Losa Maciza e=0,10m



a) Diafragma Rígido

b) Diafragma flexible

El comportamiento de las derivas en el centro de masa al considerar diafragma rígido permanece muy similar para las diferentes condiciones de irregularidad, sin embargo, una vez se analizan las estructuras considerando la flexibilidad del diafragma, se aprecian diferencias considerables entre uno y otro. El comportamiento del modelo de mayor irregularidad M4 se aleja de la distribución y magnitud obtenida para los demás

modelos. Es de anotar, que conforme a lo establecido en el Reglamento NSR-10, para la condición de irregularidad que presentan el modelo M3 y M4, se debe considerar en el análisis el comportamiento flexible, los resultados encontrados hasta ahora, sustentan dicho requerimiento.

**Tabla 4-24:** Derivas máximas en el centro de masa – Modal - Losa maciza  $e=0.21$  m  
Losa 21 Diafragma rígido

Nivel	M1	M2	M3	M4
3	0.26%	0.28%	0.28%	0.23%
6	0.56%	0.61%	0.60%	0.51%
9	0.71%	0.77%	0.76%	0.66%
12	0.75%	0.82%	0.79%	0.72%
15	0.72%	0.80%	0.76%	0.71%
18	0.66%	0.73%	0.68%	0.66%

Losa 21 Diafragma flexible

Nivel	M1	M2	M3	M4
3	0.25%	0.26%	0.24%	0.31%
6	0.53%	0.55%	0.51%	0.68%
9	0.65%	0.68%	0.63%	0.86%
12	0.69%	0.73%	0.66%	0.91%
15	0.66%	0.70%	0.62%	0.87%
18	0.55%	0.59%	0.53%	0.75%

**Tabla 4-25:** Derivas máximas en el centro de masa – Modal - Losa maciza  $e=0.10$  m  
Losa 10 Diafragma rígido

Nivel	M1	M2	M3	M4
3	0.26%	0.29%	0.31%	0.27%
6	0.58%	0.63%	0.69%	0.62%
9	0.75%	0.81%	0.90%	0.83%
12	0.81%	0.88%	0.97%	0.93%
15	0.79%	0.86%	0.96%	0.94%
18	0.73%	0.80%	0.90%	0.91%

Losa 10 (cm) Diafragma flexible

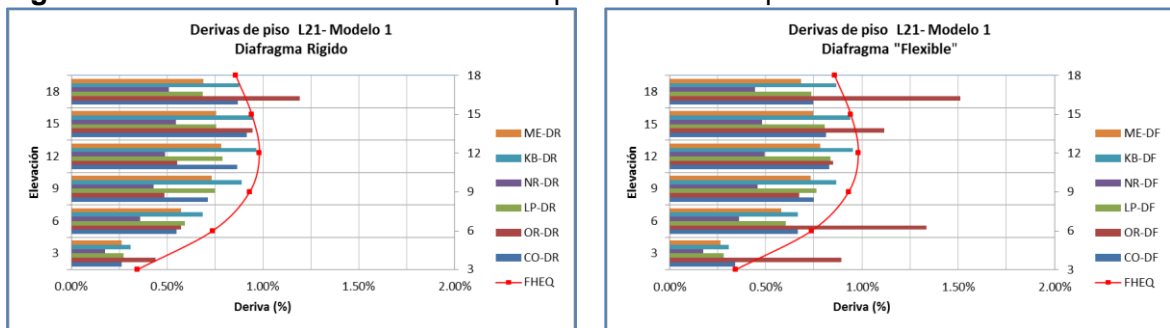
Nivel	M1	M2	M3	M4
3	0.25%	0.24%	0.24%	0.28%
6	0.54%	0.52%	0.53%	0.65%
9	0.67%	0.65%	0.67%	0.83%
12	0.71%	0.69%	0.72%	0.90%
15	0.67%	0.66%	0.70%	0.87%
18	0.56%	0.56%	0.61%	0.79%

## 4.4 Análisis cronológico

### 4.4.1 Derivas máximas en las esquinas

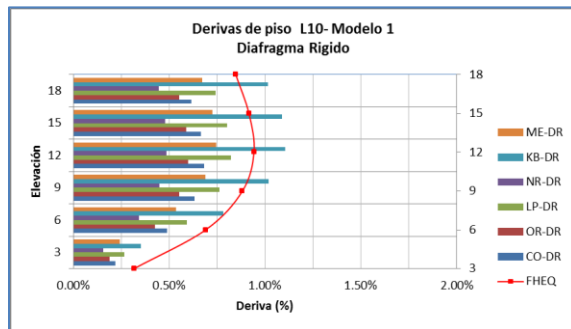
Esta parte del análisis se ocupa de las derivas para cada uno de los modelos y para cada una de las señales sísmicas establecidas en numerales anteriores., Esto se realiza con el fin de analizar el comportamiento de los diferentes modelos ante sismos reales, que representan la amenaza sísmica a la cual estaría sujeta la estructura. Los resultados presentados en la figuras **Figura 4-19** a **Figura 4-22**, corresponden a las máximas derivas registradas en el modelo para las combinaciones establecidas en el Reglamento NSR-10, y dado que corresponden a un análisis cronológico, podrían no ocurrir en un mismo instante de tiempo, por lo que corresponden a una envolvente.

**Figura 4-19:** Derivas máximas en las esquinas Modelo tipo M1

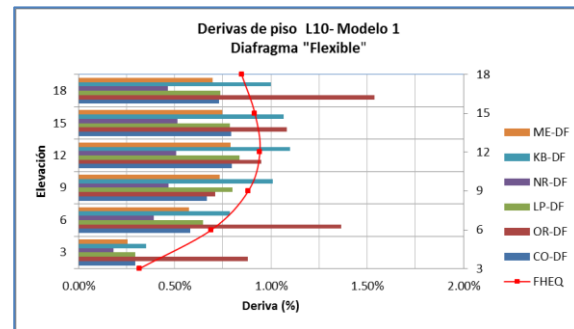


a) Losa e=0,21m Diafragma rígido

b) Losa e=0,21m Diafragma flexible



c) Losa e=0,10m Diafragma rígido

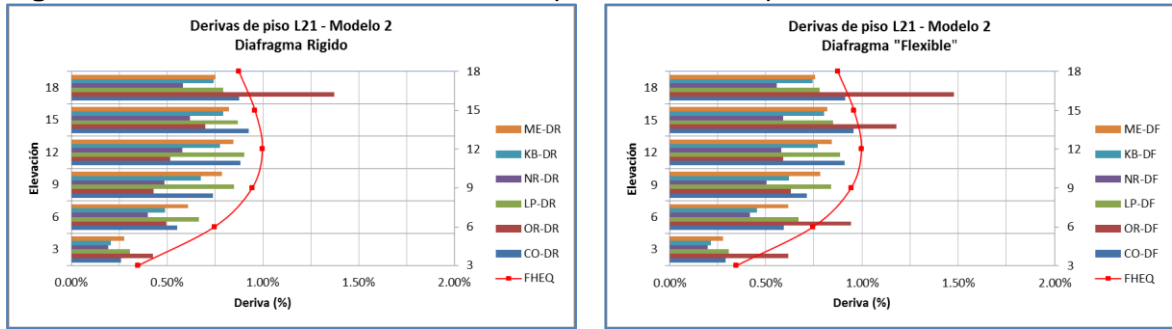


d) Losa e=0,10m Diafragma flexible

El comportamiento de los modelos completamente regulares en los cuales se ha considerado el diafragma actuando de forma perfectamente rígida es muy similar, a pesar de que para el modelo con losa L10 se presentan derivas que superan las obtenidas mediante el método FHEQ, mientras que para las demás señales los valores son inferiores.

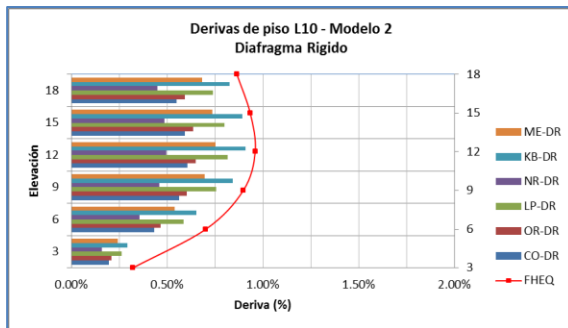
Al retirar la consideración de diafragma rígido, se presentan ampliaciones en las derivas, especialmente para el diafragma tipo L10 de mayor flexibilidad conforme a los resultados obtenidos en el cálculo de índices de flexibilidad presentado en numerales anteriores, para el cual las derivas obtenidas para dos de las señales (Oroville y Kobe) superan los resultados obtenidos por métodos simplificados como el FHEQ. Estos resultados objeto de un análisis más profundo, difieren de los obtenidos para los métodos FHEQ y análisis modal, en los cuales, como efecto del aumento en el periodo natural de la estructura, las fuerzas y las derivas se reducen. Adicionalmente se aprecia un cambio en la distribución de las derivas para el sismo de Oroville, en el cual se aprecian un incremento considerable en los pisos inferiores respecto a lo obtenido para la condición de diafragma rígido.

**Figura 4-20:** Derivas máximas en las esquinas Modelo tipo M2

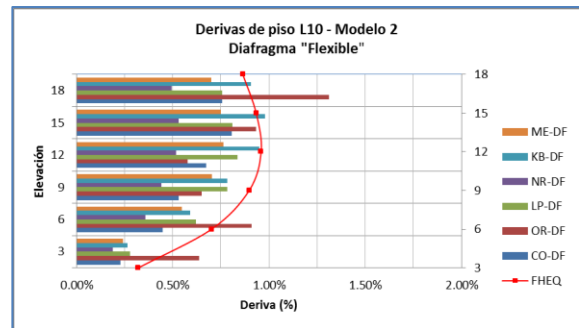


a) Losa e=0,21m Diafragma rígido

b) Losa e=0,21m Diafragma rígido



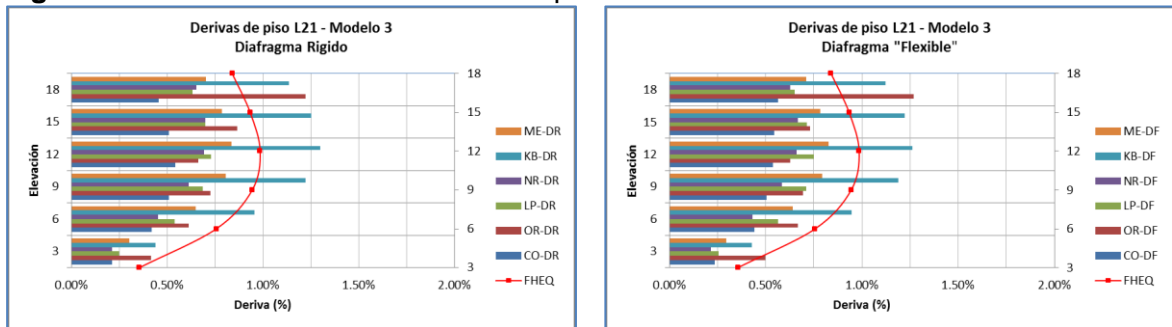
c) Losa e=0,10m Diafragma rígido



d) Losa e=0,10m Diafragma flexible

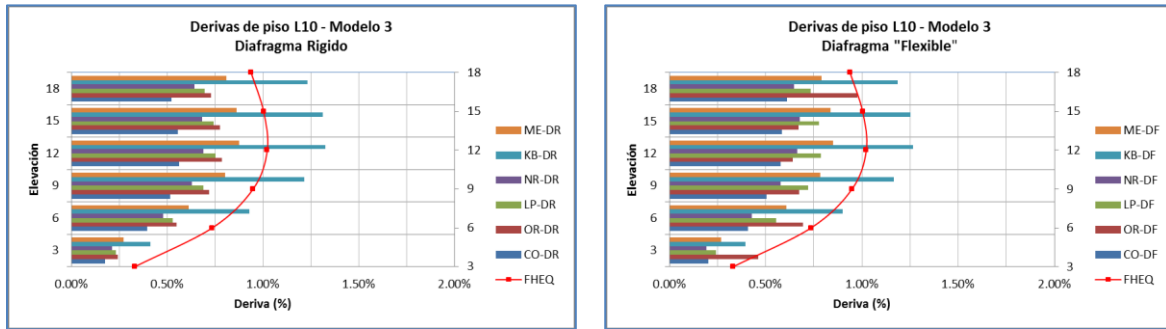
Para el modelo 2, el cual presenta el mínimo grado de irregularidad, las distribuciones de las derivas respecto a la altura presentan un comportamiento muy similar a la tendencia obtenida para el método FHEQ; sin embargo, para la condición de diafragma flexible, la distribución se altera para la señal de Oroville, presentando una tendencia muy similar a la presentada en el modelo tipo M1. Nuevamente se pueden apreciar amplificaciones en las derivas especialmente para los acelerogramas de Kobe y Oroville, a pesar de que para este caso dichas amplificaciones son inferiores a las obtenidas para el modelo M1

**Figura 4-21:** Derivas máximas en las esquinas – Modelo M3



a) Losa e=0,21m Diafragma rígido

b) Losa e=0,21m Diafragma rígido

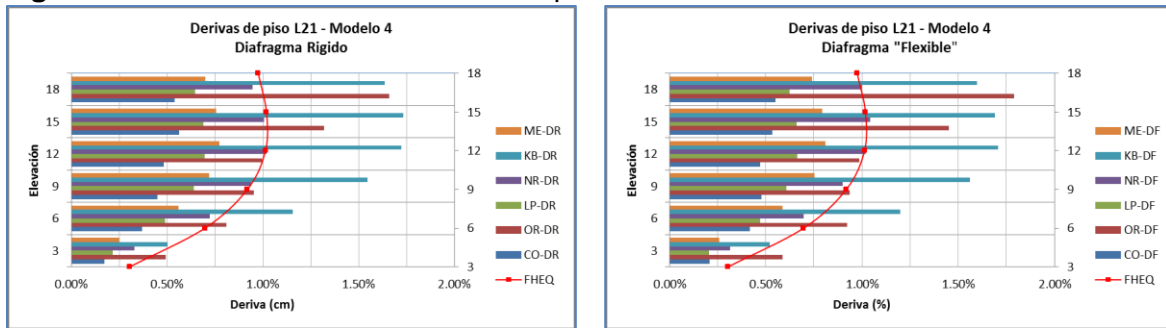


c) Losa e=0,10m Diafragma rígido

d) Losa e=0,10m Diafragma flexible

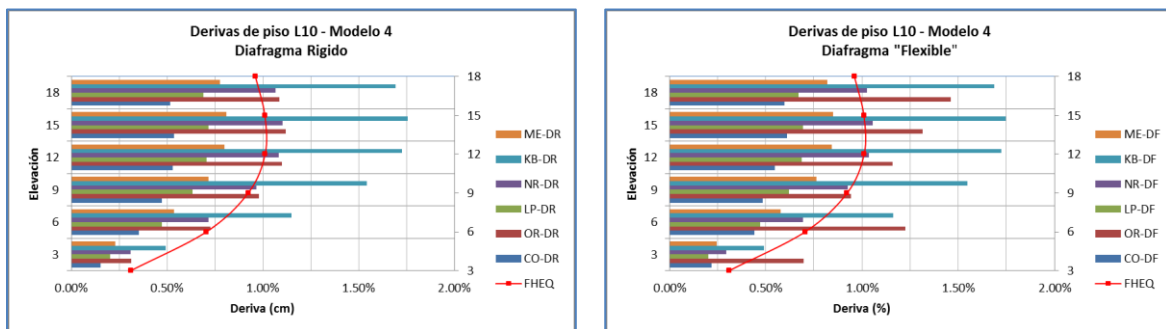
Para el modelo M3, cuya configuración se definió ligeramente por encima del límite establecido por la norma para considerar la estructura como irregular, se aprecian derivas superiores a las obtenidas por FHEQ únicamente para el sismo de Kobe, no se aprecia una amplificación para la condición de diafragma flexible respecto a la de diafragma rígido. Contrario al comportamiento observado en los modelos de menor grado de irregularidad, las derivas presentadas para la señal de Oroville se encuentran dentro de los límites obtenidos por otros métodos de análisis, aunque la distribución en altura de estas derivas muestra una tendencia similar a la observada para los modelos anteriores.

**Figura 4-22:** Derivas máximas en las esquinas – Modelo M4



a) Losa e=0,21m Diafragma rígido

b) Losa e=0,21m Diafragma rígido



c) Losa e=0,10m Diafragma rígido

d) Losa e=0,10m Diafragma flexible



Para el modelo M4 de mayor irregularidad se registran derivas superiores a las registradas por el método FHEQ para tres de las señales usadas, no existe una amplificación considerable en este parámetro al retirar la condición de diafragma rígido. Nuevamente la distribución en altura de las derivas para la señal de Oroville es similar a la obtenida para los demás modelos y difiere de la obtenida por el método FHEQ, se podría deducir que esta distribución es función de las características de la señal y no en todos los casos la distribución de derivas obtenida mediante métodos menos precisos será representación de la forma en la cual se deformará la estructura ante el evento de un sismo.

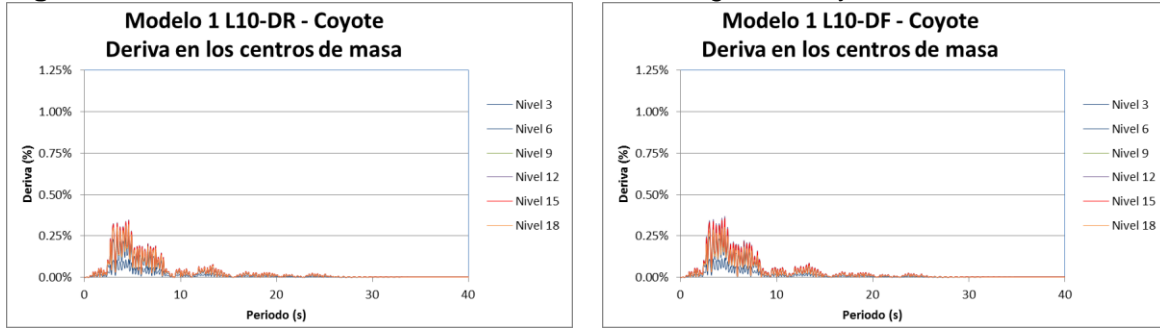
#### **4.4.2 Derivas máximas en el centro de masa**

Con el fin de aprovechar las herramientas que brinda el análisis cronológico, con el cual se puede apreciar el comportamiento de las derivas a lo largo del tiempo, para este análisis en particular se presentan los resultados obtenidos para este parámetro de análisis, sin embargo, considerando que para la losa de 21 cm no se ha apreciado una diferencia considerable en las respuestas al considerar o no diafragma rígido, el análisis de las derivas para el centro de masa se realizó sólo para los modelos con losa de espesor 10 cm, encontrando el comportamiento de las derivas en el centro de masa a lo largo del tiempo. Solo se presentan los primeros 40 segundos en los cuales se presentan las mayores deformaciones.

- **Modelos M1**

A continuación se presentan los resultados obtenidos para los modelos tipo M1, completamente regular en planta, para las consideraciones de diafragma rígido y flexible.

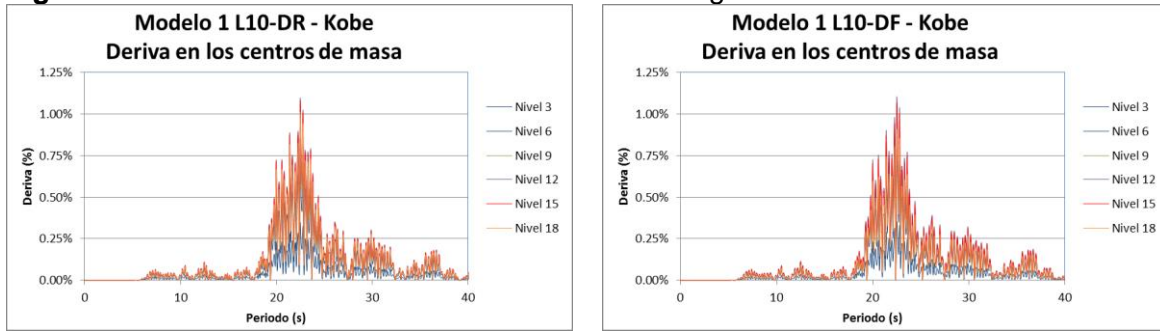
**Figura 4-23:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma Coyote - Modelos M1



Losa e=0,10 DR

Losa e=0,10 DF

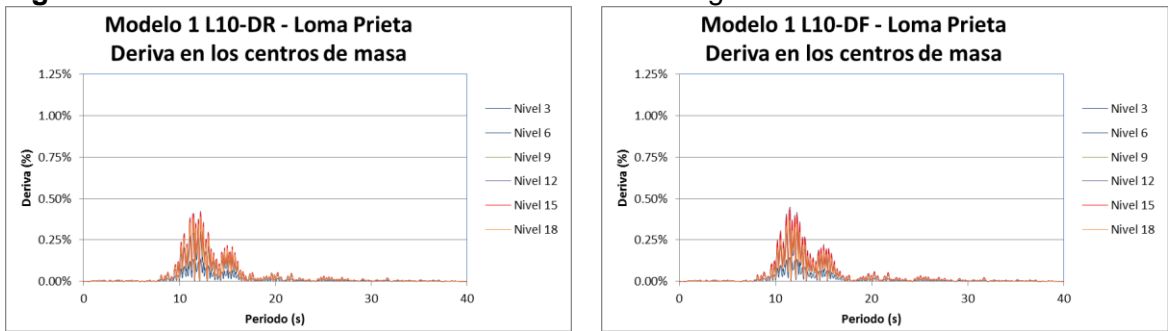
**Figura 4-24:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma Kobe - Modelos M1



Losa e=0,10 DR

Losa e=0,10 DF

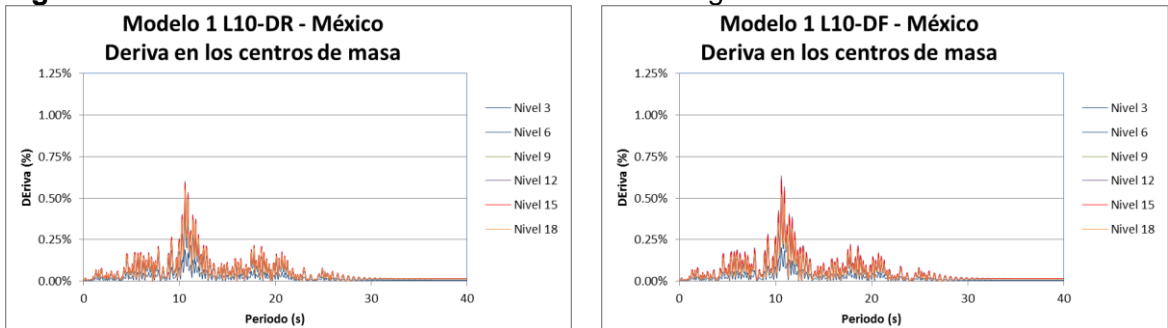
**Figura 4-25:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma Loma Prieta - Modelos M1



Losa e=0,10 DR

Losa e=0,10 DF

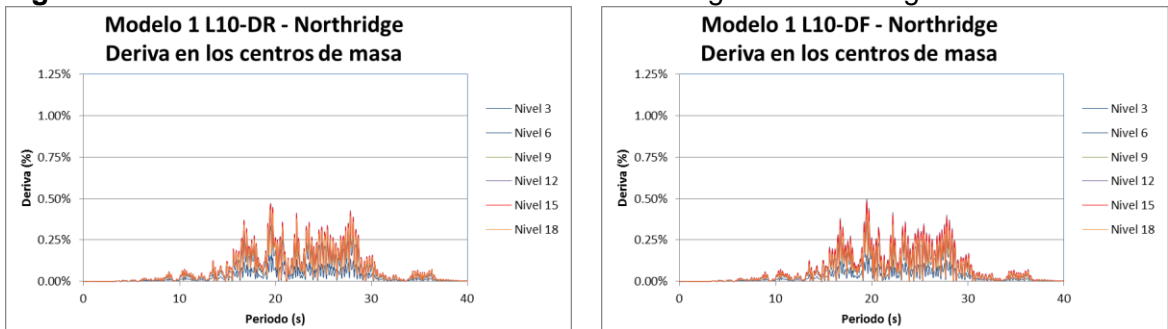
**Figura 4-26:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma México - Modelos M1



Losa e=0,10 DR

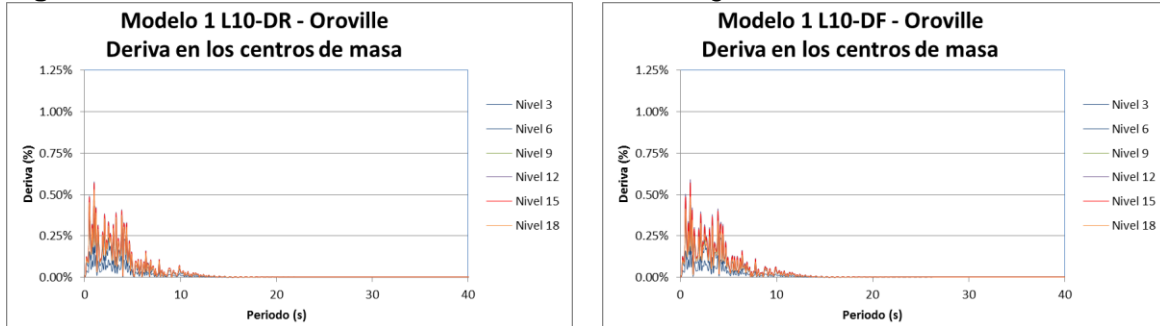
Losa e=0,10 DF

**Figura 4-27:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma Northridge - Modelos M1



Losa e=0,10 DR

Losa e=0,10 DF

**Figura 4-28:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma Oroville - Modelos M1

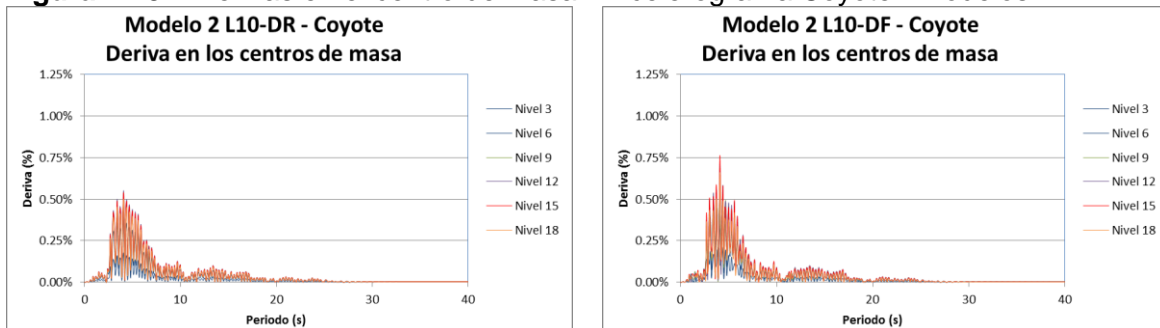
Losa e=0,10 DR

Losa e=0,10 DF

El comportamiento de las derivas en el centro de masa para el modelo tipo M1 con o sin diafragma rígido es similar para todas las señales aplicadas en el análisis. No se aprecian amplificaciones o cambios en la distribución que puedan ser apreciables.

#### ▪ Modelos M2

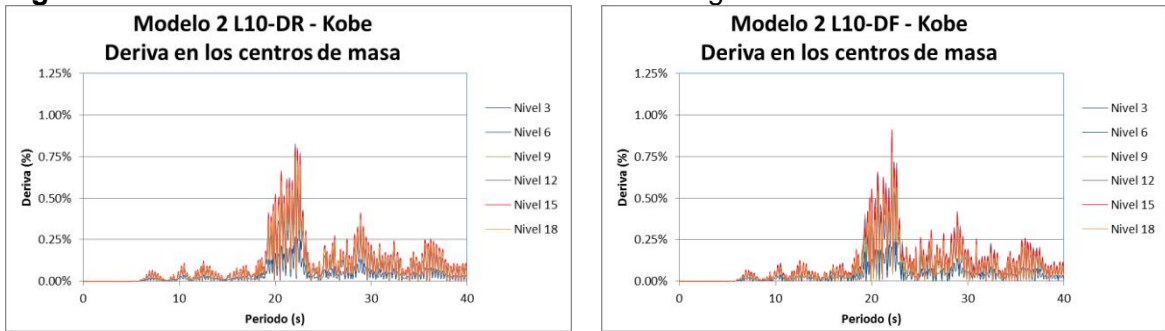
Los resultados obtenidos para los modelos de configuración en planta tipo M2, los cuales presenten un mínimo grado de irregularidad y no llegan a entrar dentro del rango establecido por la NSR-10 para ser caracterizados como tal.

**Figura 4-29:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma Coyote - Modelos M2

Losa e=0,10 DR

Losa e=0,10 DF

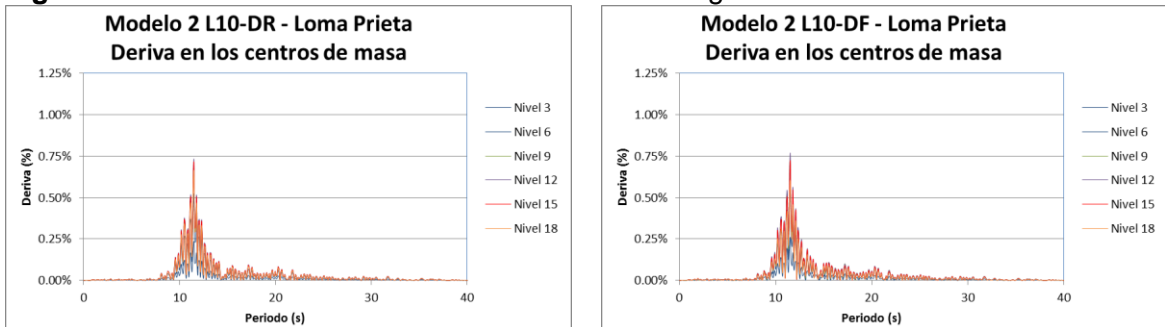
**Figura 4-30:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma Kobe - Modelos M2



Losa e=0,10 DR

Losa e=0,10 DF

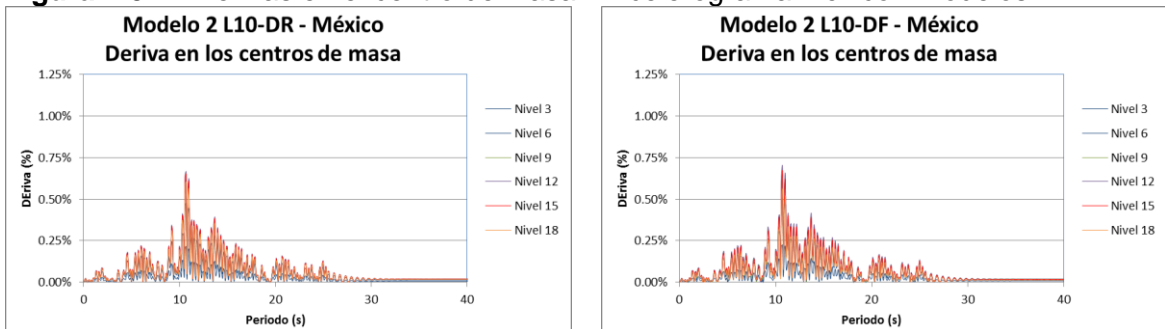
**Figura 4-31:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma Loma Prieta - Modelos M2



Losa e=0,10 DR

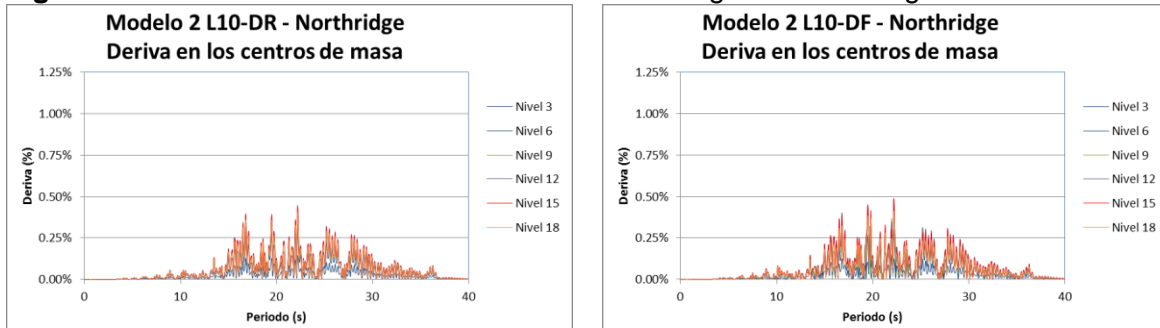
Losa e=0,10 DF

**Figura 4-32:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma México- Modelos M2



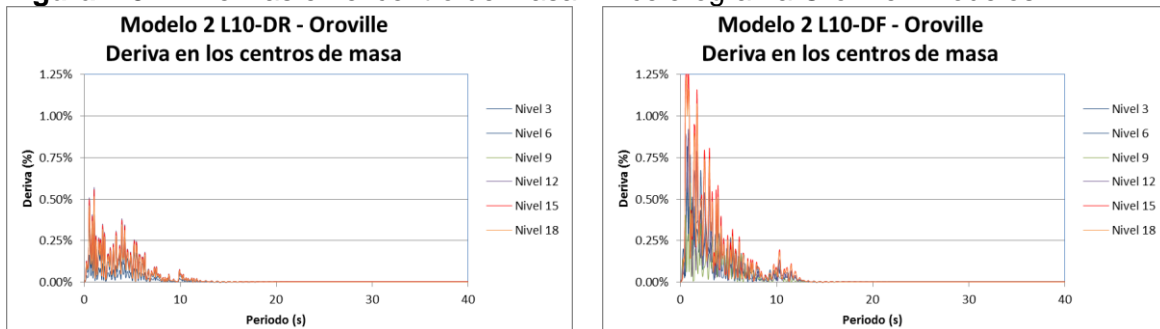
Losa e=0,10 DR

Losa e=0,10 DF

**Figura 4-33:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma Northridge - Modelos M2

Losa e=0,10 DR

Losa e=0,10 DF

**Figura 4-34:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma Oroville - Modelos M2

Losa e=0,10 DR

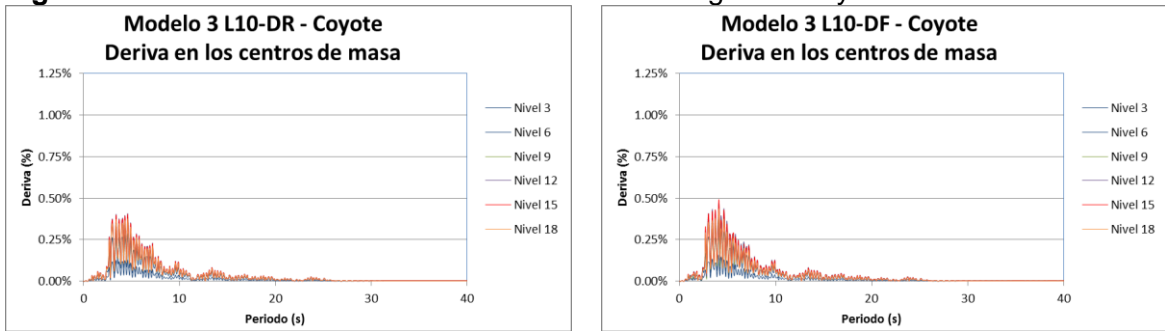
Losa e=0,10 DF

Para el modelo M2, Se aprecian amplificaciones en la deriva del centro de masa para las señales de Coyote, Kobe y Oroville, siendo esta última la más considerable y superando los requerimientos establecidos por la Norma, estos resultados son consistentes con lo mostrado en las derivas calculadas en las columnas perimetrales en el numeral anterior. Los factores de amplificación obtenidos son cercanos a 1,5 para el Acelerograma de Coyote, mientras que para la señal de Oroville supera el 2,5.

- **Modelos tipo M3**

El modelo tipo M3 se encuentra ligeramente por encima del límite establecido por la NSR-10 para ser considerado como irregular en planta. Los resultados obtenidos para la deriva en el centro de masa se presentan a continuación.

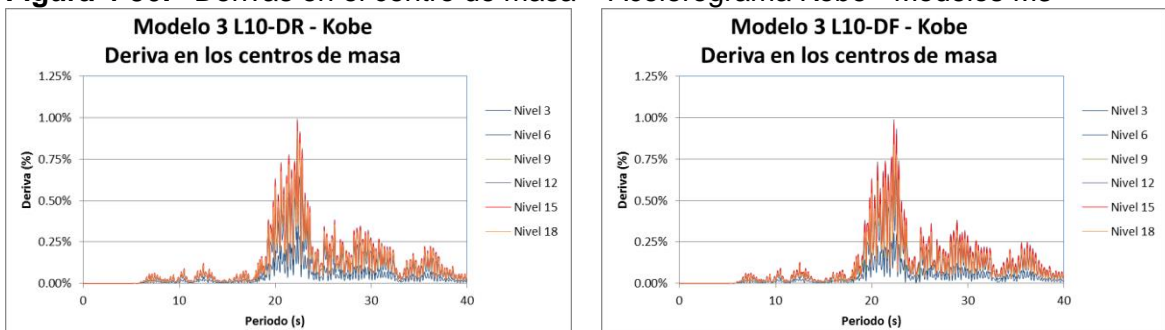
**Figura 4-35:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma Coyote - Modelos M3



Losa e=0,10 DR

Losa e=0,10 DF

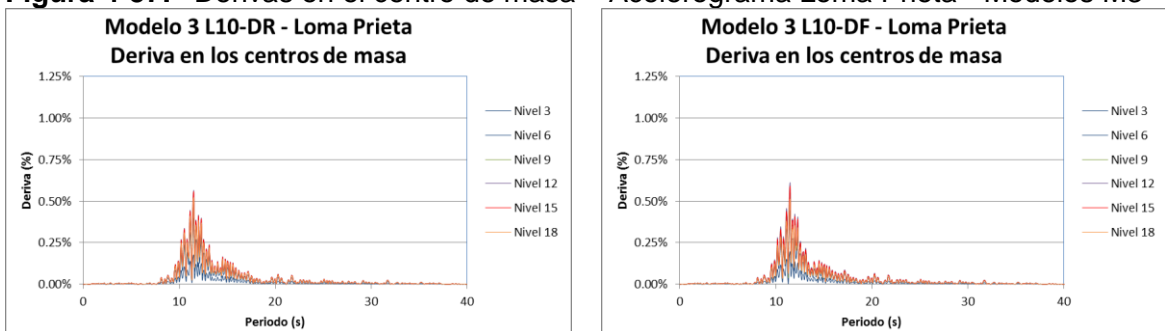
**Figura 4-36:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma Kobe - Modelos M3



Losa e=0,10 DR

Losa e=0,10 DF

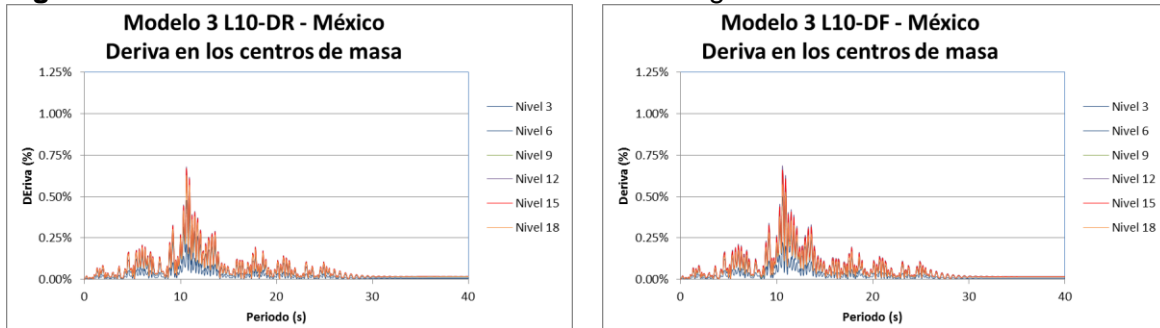
**Figura 4-37:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma Loma Prieta - Modelos M3



Losa e=0,10 DR

Losa e=0,10 DF

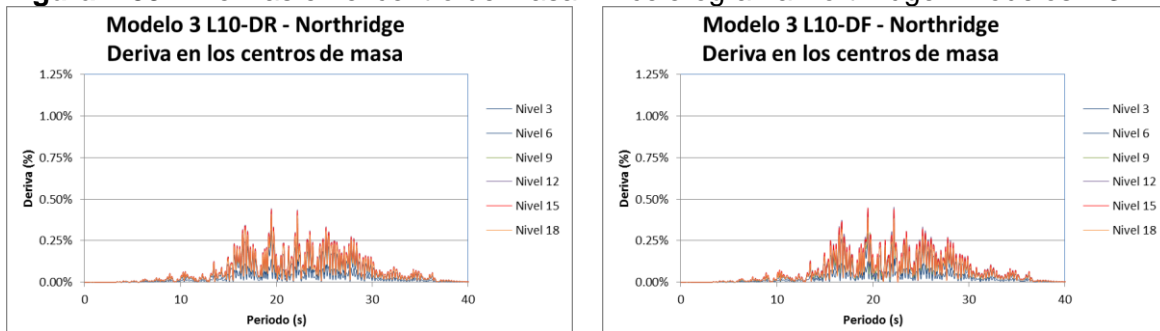
**Figura 4-38:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma México - Modelos M3



Losa e=0,10 DR

Losa e=0,10 DF

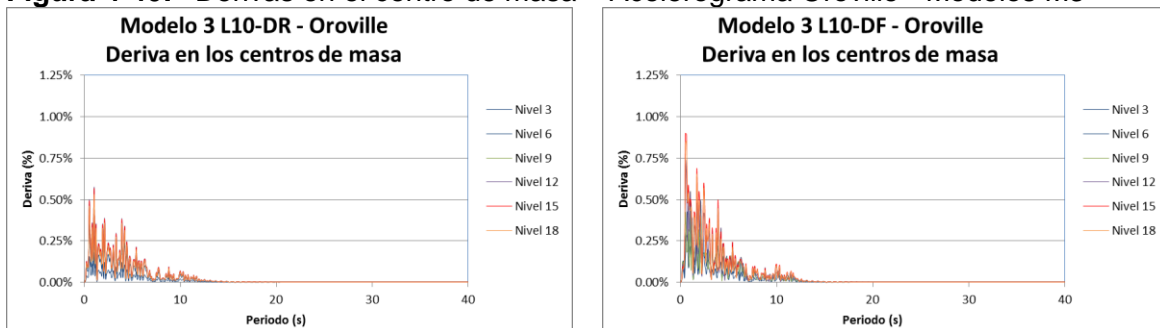
**Figura 4-39:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma Northridge - Modelos M3



Losa e=0,10 DR

Losa e=0,10 DF

**Figura 4-40:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma Oroville - Modelos M3



Losa e=0,10 DR

Losa e=0,10 DF

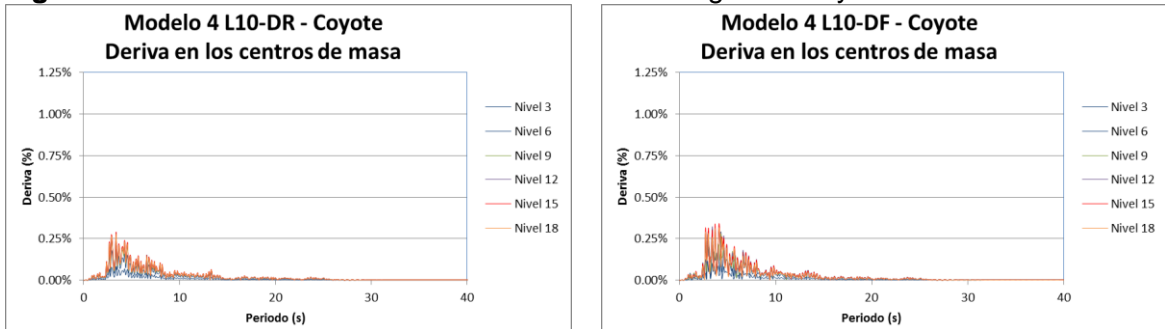
Nuevamente la mayor amplificación de las derivas en el centro de masa se presenta para la señal de Oroville al retirar la condición de diafragma rígido. En este caso sin embargo, en ningún resultado supera los límites establecidos en el Reglamento para este parámetro.



▪ **Modelos tipo M4**

A continuación se presentan los resultados obtenidos para la deriva registrada en el centro de masa en modelos con configuración en planta tipo M4, los cuales según el Reglamento NSR-10 en su tabla A.3-6 se considera como irregular.

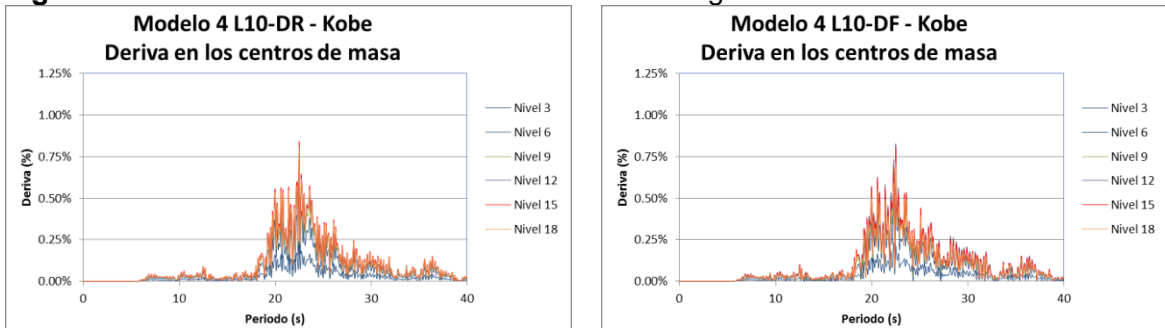
**Figura 4-41:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma Coyote - Modelos M4



Losa e=0,10 DR

Losa e=0,10 DF

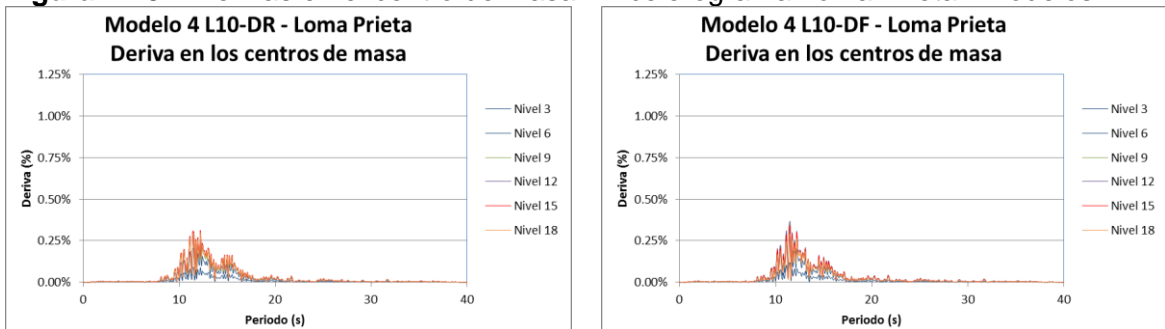
**Figura 4-42:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma Kobe - Modelos M4



Losa e=0,10 DR

Losa e=0,10 DF

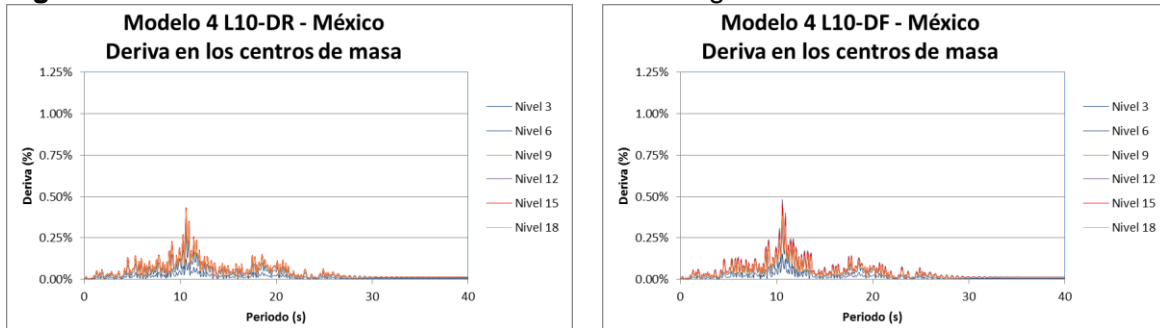
**Figura 4-43:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma Loma Prieta - Modelos M4



Losa e=0,10 DR

Losa e=0,10 DF

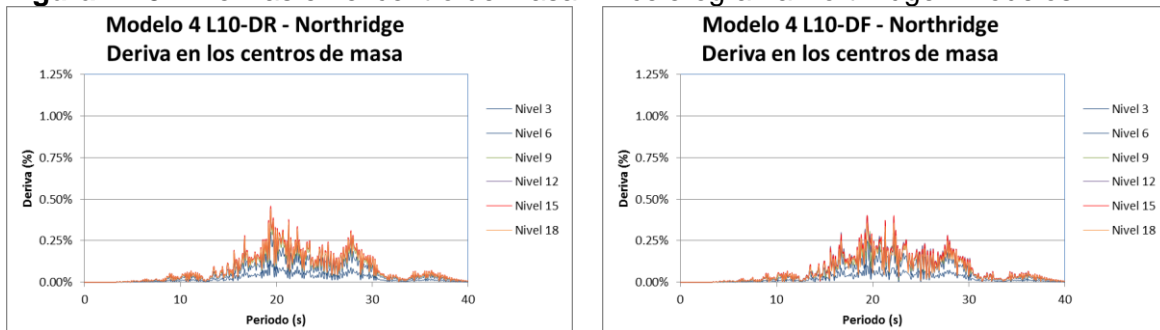
**Figura 4-44:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma México - Modelos M4



Losa e=0,10 DR

Losa e=0,10 DF

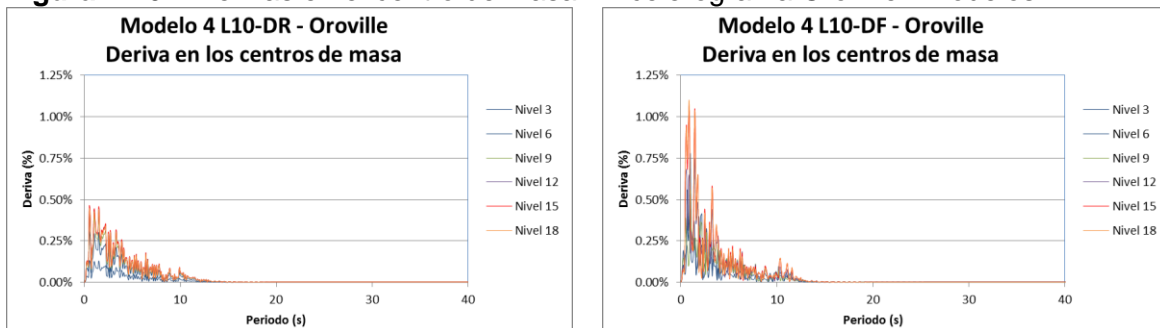
**Figura 4-45:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma Northridge - Modelos M4



Losa e=0,10 DR

Losa e=0,10 DF

**Figura 4-46:** Derivas en el centro de masa – Acelerograma Oroville - Modelos M4



Losa e=0,10 DR

Losa e=0,10 DF

No se aprecian amplificaciones considerables para 5 de las seis señales utilizadas en el análisis. Sin embargo, siguiendo con la tendencia presentada para los demás modelos de análisis, se pueden apreciar amplificaciones en la deriva del centro de masa para la señal

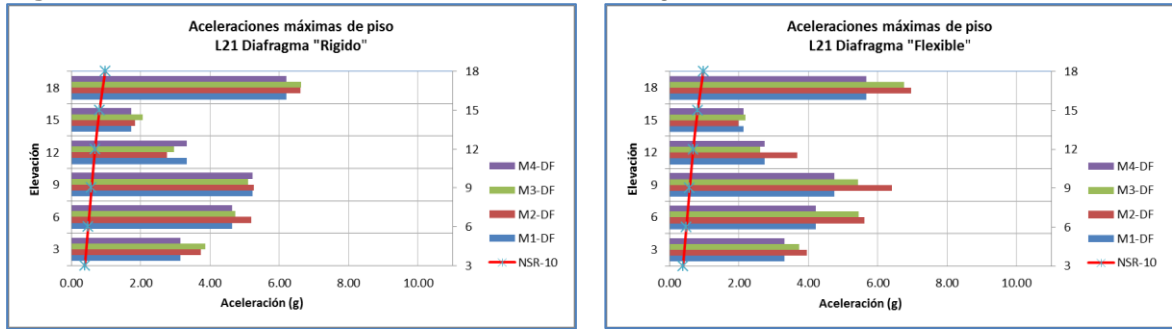
de Oroville, sin que los resultados obtenidos superen los límites establecidos por el Reglamento NSR-10.

### 4.4.3 Aceleraciones en el diafragma

Los resultados de aceleraciones máximas y promedio registrados en el diafragma, para los diferentes modelos y para cada uno de los acelerogramas definidos en el presente estudio se presentan a continuación:

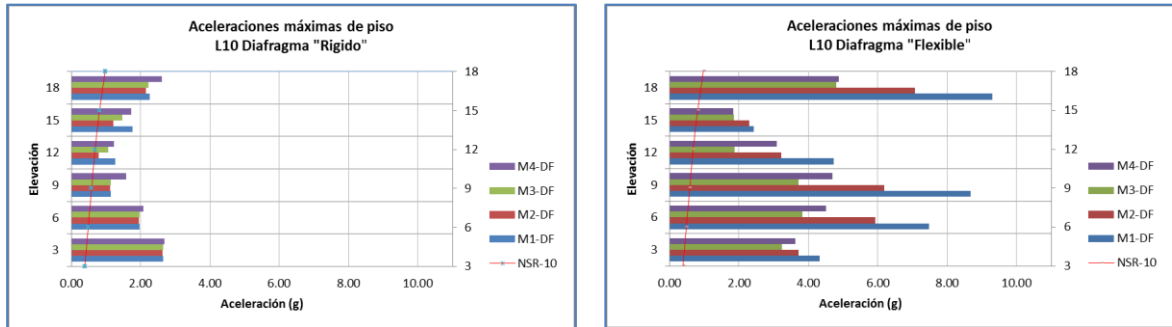
- **Aceleraciones máximas en el diafragma**

**Figura 4-47:** Aceleraciones máximas en el diafragma



Losa e=0,21 m – Diafragma rígido

Losa e=0,21 m – Diafragma flexible



Losa e=0,10 m – Diafragma Rígido

Losa e=0,10 m – Diafragma flexible

Tal como se aprecia, las aceleraciones máximas obtenidas en el diafragma para los diferentes modelos son muy superiores a las calculadas según las recomendaciones de la NSR-10. Adicionalmente, el comportamiento de estas aceleraciones máximas y su variación en altura difiere del perfil obtenido según el numeral A.3.6.8.2 de nuestro reglamento. Se aprecia también un incremento considerable en la magnitud de estas aceleraciones al retirar la consideración de diafragma rígido, siendo más notorio en los

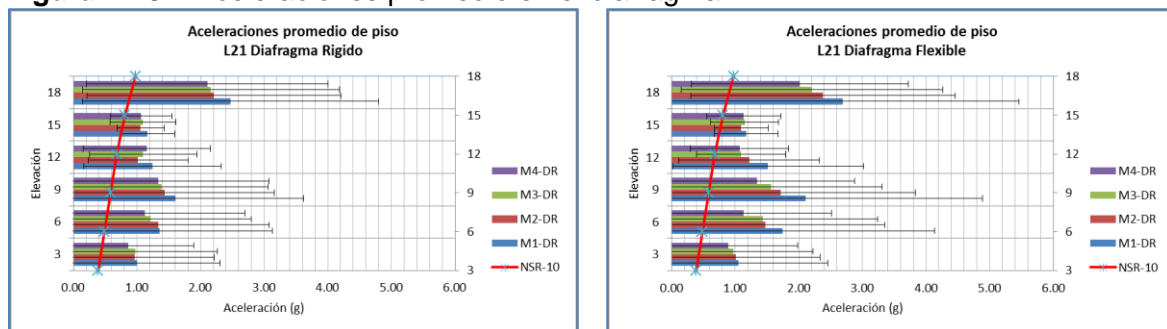
pisos intermedios de todos los modelos. Dicho incremento es mayor para la losa L10 de características más flexibles según se pudo definir en el numeral 4.1 del presente documento.

Con respecto al comportamiento de estas aceleraciones máximas como función del grado de irregularidad en planta de las estructuras, se puede apreciar que cuando se tiene un diafragma de comportamiento más rígido como el definido para el modelo con losa L21 no existen diferencias considerables entre una configuración en planta y otra, sin embargo, para losas de mayor flexibilidad se aprecian diferencias considerables en las magnitudes de aceleración, siendo más crítico este parámetro para la estructura más regular.

#### ▪ Aceleraciones promedio en el diafragma

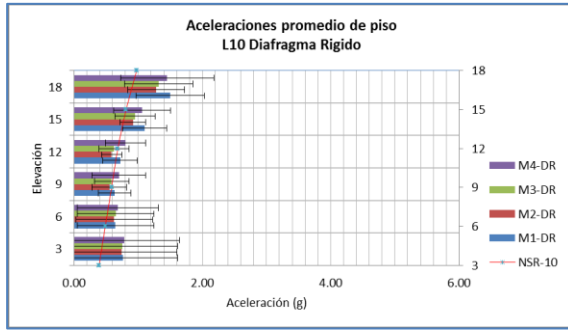
Considerando que un espectro de diseño representa la respuesta frente a diferentes señales que representan la amenaza sísmica. En la **Figura 4-48** presentada a continuación, se muestra de forma gráfica el comportamiento de las aceleraciones promedio registradas en el diafragma para las seis señales. Las barras marcadas en color negro representan la desviación estándar de los datos obtenidos. Así mismo se comparan allí las aceleraciones con las estimadas para diseño de acuerdo con el reglamento NSR-10 su numeral A.3.6.8.2

**Figura 4-48:** Aceleraciones promedio en el diafragma

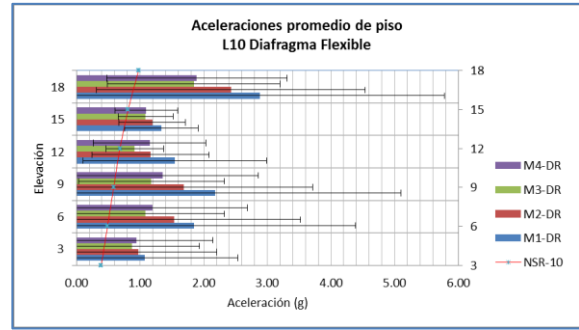


Losa e=0,21 m – Diafragma rígido

Losa e=0,21 m – Diafragma flexible



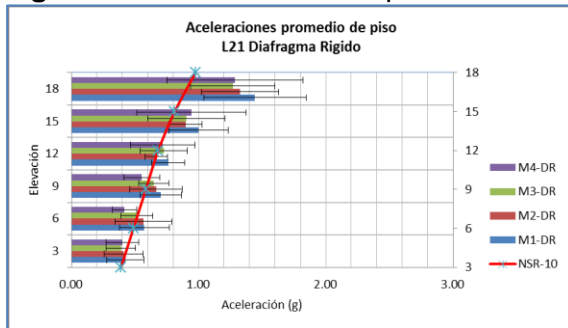
Losa e=0,10 m – Diafragma rígido



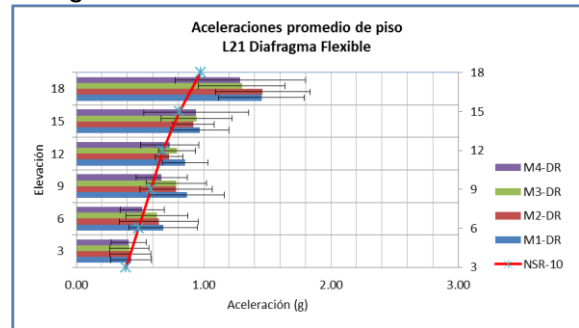
Losa e=0,10 m – Diafragma flexible

Tal como se verá de forma más detallada en numerales posteriores, el comportamiento de las estructuras ante la acción de la señal de Oroville difiere en gran medida respecto a los resultados obtenidos para los demás acelerogramas. Por lo anterior, las desviaciones estándar se ven afectadas, haciendo que los resultados no sean concluyentes al incluir dicha señal. Para retirar el efecto generado por esa señal y ver de manera más clara el comportamiento para las demás, se presentan a continuación nuevamente los gráficos, excluyendo de ellos los resultados obtenidos para la señal de Oroville, con lo cual se obtienen menores desviaciones estándar y resultados con una menor variabilidad.

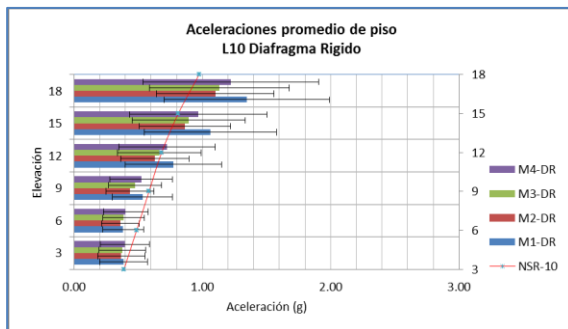
**Figura 4-49:** Aceleraciones promedio en el diafragma-Sin Oroville



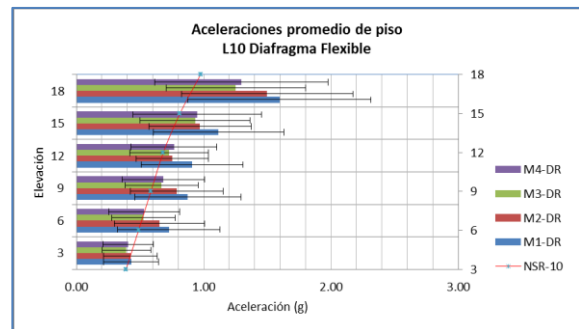
Losa e=0,21 m – Diafragma rígido



Losa e=0,21 m – Diafragma flexible



Losa e=0,10 m – Diafragma rígido



Losa e=0,10 m – Diafragma flexible

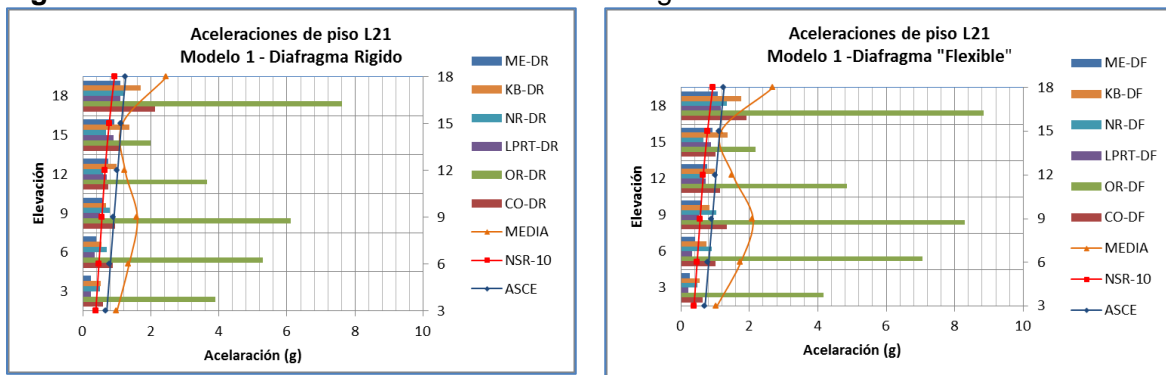
No se aprecia una diferencia considerable en el comportamiento promedio de los modelos con diafragmas que consideran rigidez mediante el “*Constrain*” aplicado y la losa L21. Sin embargo, la magnitud de las aceleraciones es superior que la obtenida mediante la metodología definida en la NSR-10, más aun si se consideraran los resultados obtenidos de la señal Oroville, lo anterior es más crítico en los niveles superiores de la estructura.

Para la losa L10, de naturaleza más flexible, se puede apreciar además de una diferencia en la distribución en altura de las aceleraciones, una amplificación considerable de las aceleraciones, donde se puede notar que los modelos que presentan menor irregularidad presentan mayores incrementos en las aceleraciones que los dos más irregulares. Nuevamente, para los pisos superiores se obtuvieron aceleraciones mayores y una mayor amplificación. En numerales posteriores se presentará la magnitud de ese factor de amplificación.

▪ **Aceleraciones según el tipo de modelo**

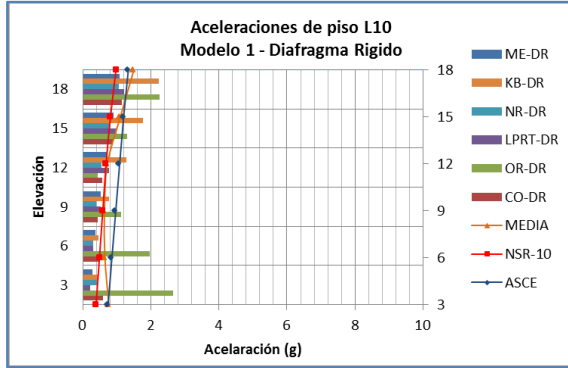
Con el fin de profundizar en el comportamiento de las aceleraciones en los diafragmas en función de la irregularidad de las estructuras, se presentan a continuación los gráficos de aceleraciones para cada una de las configuraciones en planta analizadas y para cada una de las señales aplicadas a los modelos.

**Figura 4-50:** Aceleraciones máximas en el diafragma– Modelo M1

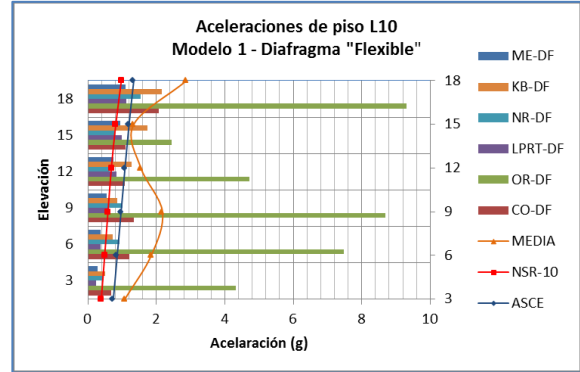


a) Losa e=0,21m Diafragma rígido

b) Losa e=0,21m Diafragma flexible

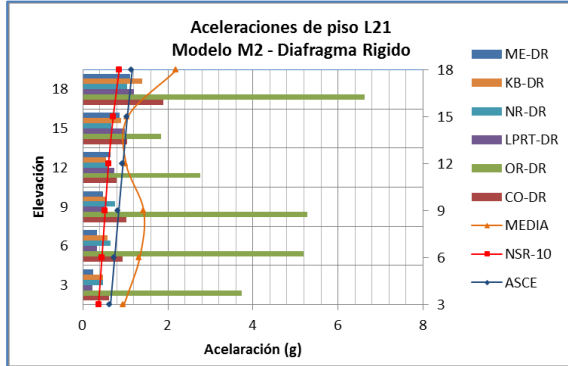


c) Losa e=0,10m Diafragma rígido

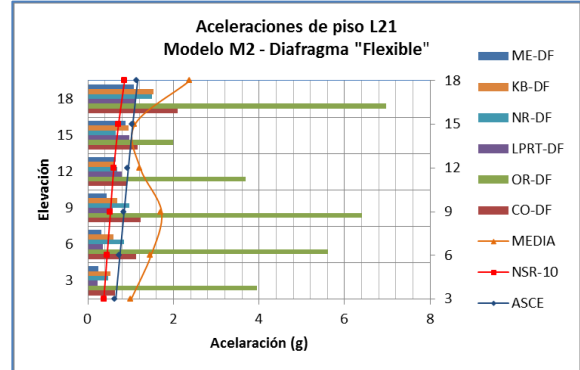


d) Losa e=0,10m Diafragma flexible

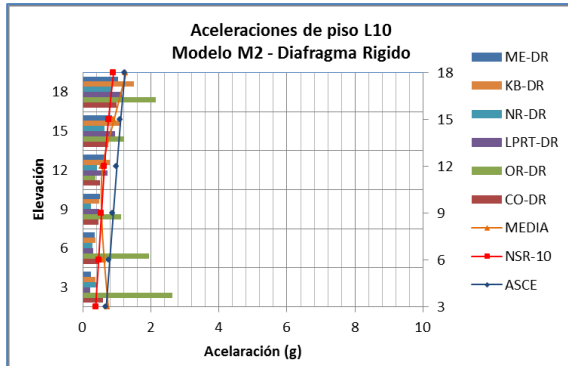
**Figura 4-51:** Aceleraciones máximas en el diafragma– Modelo M2



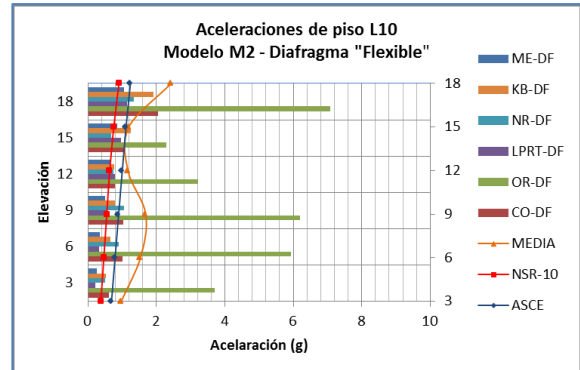
a) Losa e=0,21m Diafragma rígido



b) Losa e=0,21m Diafragma rígido

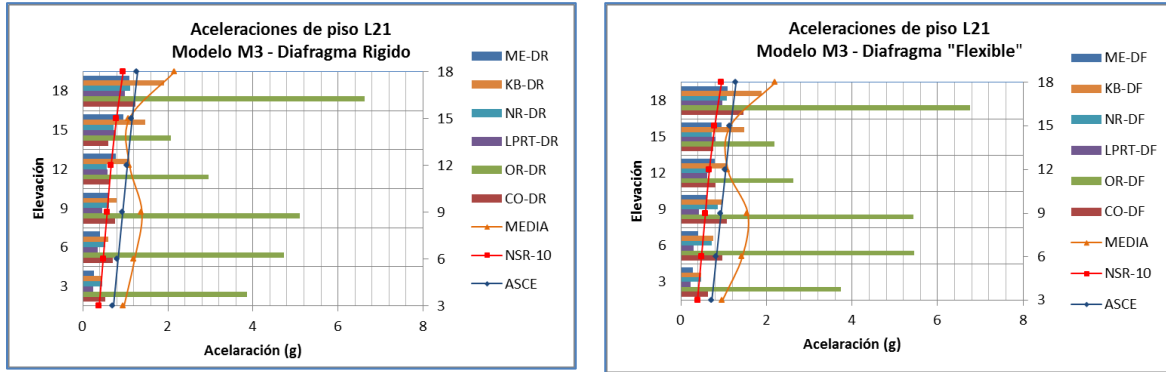


c) Losa e=0,10m Diafragma rígido



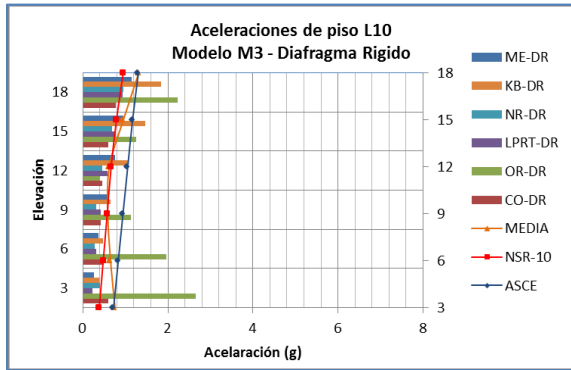
d) Losa e=0,10m Diafragma flexible

Figura 4-52: Aceleraciones máximas en el diafragma– Modelo M3

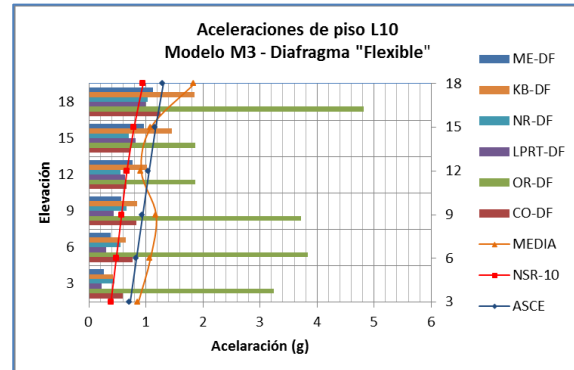


a) Losa e=0,21m Diafragma rígido

b) Losa e=0,21m Diafragma flexible

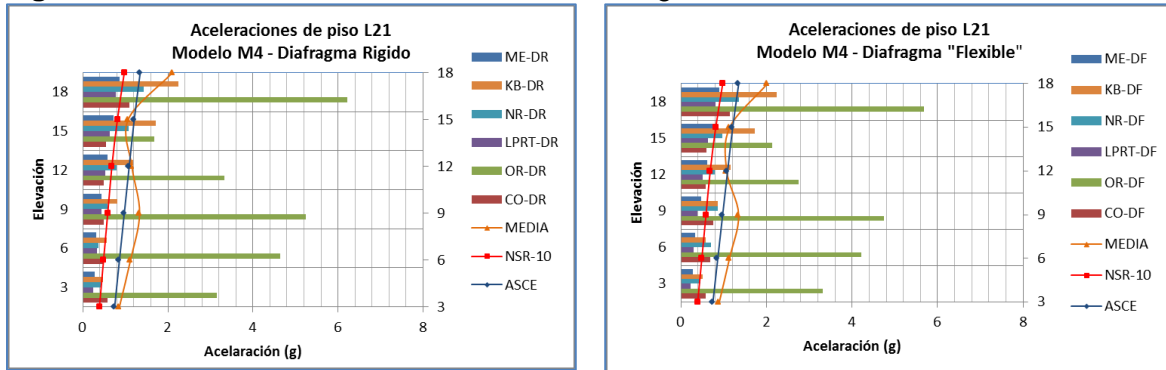


c) Losa e=0,10m Diafragma rígido



d) Losa e=0,10m Diafragma flexible

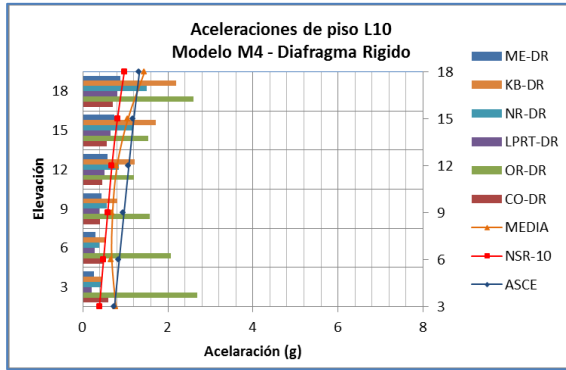
Figura 4-53: Aceleraciones máximas en el diafragma– Modelo M4



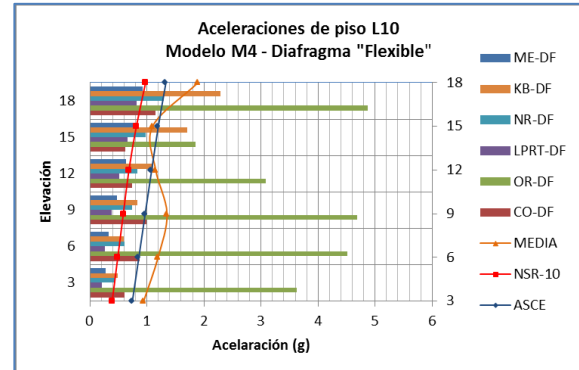
a) Losa e=0,21m Diafragma rígido

b) Losa e=0,21m Diafragma flexible





c) Losa e=0,10m Diafragma rígido



d) Losa e=0,10m Diafragma flexible

Tal como se aprecia en los gráficos anteriores, el comportamiento de las estructuras ante la acción de la señal de Oroville difiere en gran medida de los resultados obtenidos para los demás acelerogramas. Sin embargo, Es necesario anotar, que la señal de Oroville es perfectamente válida y hace parte del grupo de acelerogramas definidos para representar la amenaza sísmica de la ciudad de Bogotá.

Se puede ver de los anteriores gráficos, que el promedio de las aceleraciones obtenidas del análisis, se encuentra en todos los casos por encima de los requerimientos del reglamento NSR-10 incluso al suponer la condición de diafragma rígido, a su vez, las aceleraciones obtenidas al retirar dicha condición, se incrementan a rangos superiores a lo establecido por ASCE 7-10. Por lo anterior, se puede indicar que la fórmula establecida por el reglamento NSR-10 en su numeral A.3.6.8.2 subestima las aceleraciones de diseño para diafragmas, tanto en estructuras irregulares como regulares.

Otro aspecto que se puede apreciar de los gráficos antes indicados, es la diferencia entre los perfiles medios de aceleraciones obtenidos y lo establecido por los Reglamentos NSR-10 y ASCE 7-10. Se puede ver que el perfil de aceleraciones resultado del análisis presenta una doble curvatura, que indicaría mayores valores de aceleración para los pisos intermedios y los superiores de las edificaciones, lo cual es contrario a la distribución lineal planteada en los códigos de diseño.

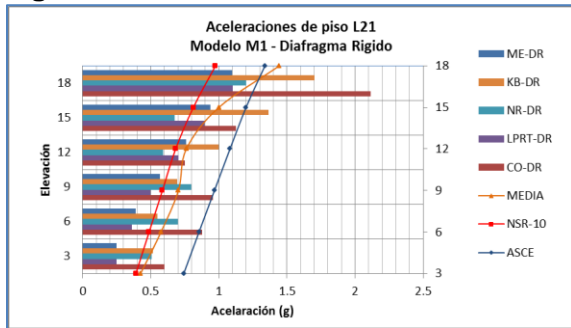
Considerando que el presente estudio se basa únicamente en cuatro tipos de edificaciones con dos tipos diferentes de diafragma, no es posible presentar una

formulación que permita definir de forma certera las magnitudes de las aceleraciones a incluir en el diseño. Sin embargo, dadas las diferencias encontradas, tanto en las magnitudes de las aceleraciones como en su distribución en elevación, se debe plantear una revisión a las formulaciones establecidas en el Reglamento, que resulte de nuevas investigaciones que complementen el presente estudio y que estén encaminadas a caracterizar el comportamiento de este parámetro en diferentes tipos edificaciones, considerando los diferentes tipos de irregularidad y los efectos causados por la flexibilidad del diafragma.

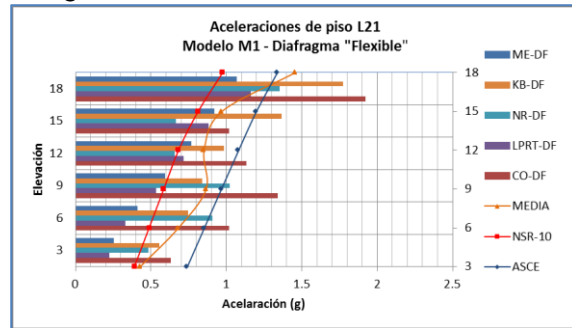
Con el fin de retirar el efecto generado por la señal de Oroville y ver de manera más clara el comportamiento para las demás señales, se presentan a continuación nuevamente los gráficos, excluyendo de ellos los resultados obtenidos para dicha señal, con lo cual se tiene una mejor visión de lo que ocurre con las estructuras ante las variaciones de flexibilidad e irregularidad.

▪ *Modelo M1*

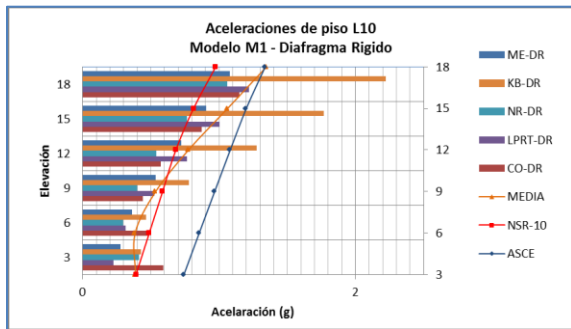
**Figura 4-54:** Aceleraciones máximas en el diafragma– Modelo M1



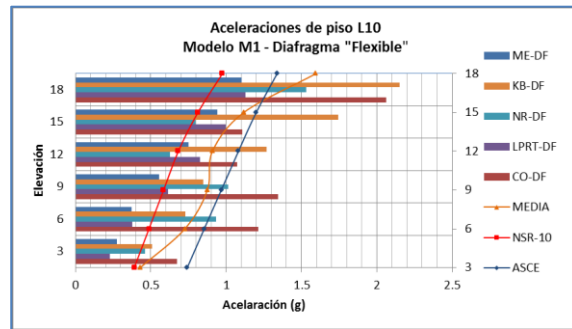
e) Losa e=0,21m Diafragma rígido



f) Losa e=0,21m Diafragma rígido



g) Losa e=0,10m Diafragma rígido



h) Losa e=0,10m Diafragma flexible

Se muestran en línea roja los valores obtenidos mediante la metodología establecida por el Reglamento NSR-10 en su numeral A.3.6.8.2 y en línea azul continua lo establecido por el código ASCE 7-10. De igual forma, el promedio de las aceleraciones obtenidas de las señales se incluye en color naranja. Tal como se aprecia para el modelo M1 dicho promedio se encuentra por encima de lo obtenido por NSR-10 aun considerando el diafragma rígido. Y se incrementa al retirar dicha condición. La **Tabla 4-26** muestra los factores de amplificación calculados como la relación entre la aceleración registrada y la calculada según lo estipula la NSR-10

**Tabla 4-26:** Factores de amplificación de aceleración vs NSR-10 Modelo M1-L10

Elevación	Coyote	Oroville	Loma Prieta	Northridge	Kobe	México	Promedio
3.00	1.72	11.09	0.59	1.18	1.31	0.71	2.77
6.00	2.49	15.34	0.77	1.91	1.50	0.77	3.80
9.00	2.30	14.84	1.05	1.73	1.45	0.95	3.72
12.00	1.57	6.93	1.21	0.92	1.86	1.10	2.26
15.00	1.36	3.00	1.23	0.98	2.15	1.16	1.65
18.00	2.12	9.54	1.16	1.57	2.21	1.13	2.95

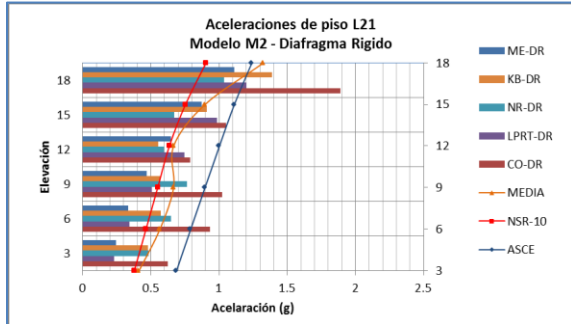
**Tabla 4-27:** Factores de amplificación de aceleración vs NSR-10 Modelo M1-L21

Elevación	Coyote	Oroville	Loma Prieta	Northridge	Kobe	México	Promedio
3.00	2.56	1.50	8.52	0.57	1.19	1.30	2.61
6.00	4.10	1.41	8.64	0.60	1.43	1.20	2.90
9.00	5.13	1.29	8.11	0.67	1.48	1.48	3.03
12.00	5.86	0.85	4.02	0.76	1.16	1.69	2.39
15.00	6.15	0.74	2.62	0.79	1.19	2.13	2.27
18.00	6.15	1.17	5.82	0.82	1.39	2.29	2.94

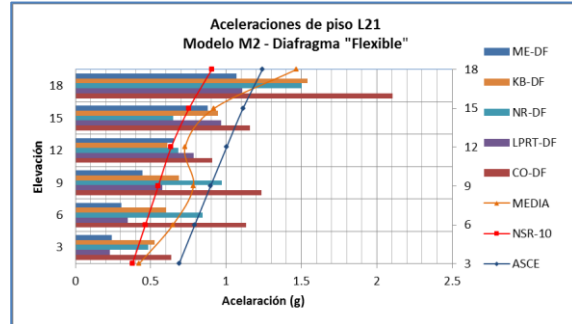
Tal como se puede apreciar en los gráficos y en las tablas, al considerar diafragma flexible el efecto de amplificación de la aceleración se presenta en todos los niveles, siendo mayor su magnitud en los intermedios (3,0 y 6,0 m) y en el nivel superior, presentando una mayor magnitud para los modelos con losa L10, es decir los de mayor grado de flexibilidad. La distribución en altura de las aceleraciones obtenida del presente análisis para el diafragma rígido es cercana a la tendencia presentada al utilizar la metodología del Reglamento NSR-10, sin embargo, se aleja de la presentada al considerar flexibilidad en el diafragma.

▪ Modelo M2

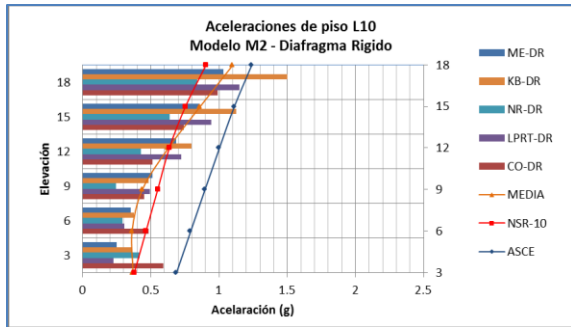
Figura 4-55: Aceleraciones máximas en el diafragma– Modelo M2



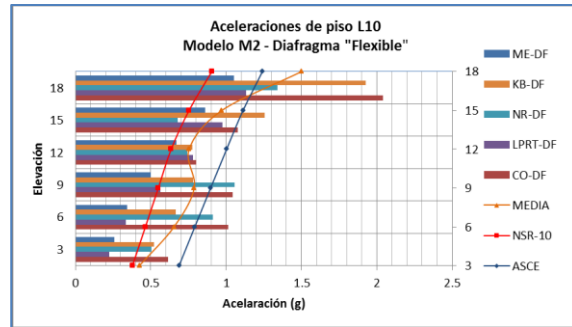
e) Losa e=0,21m Diafragma rígido



f) Losa e=0,21m Diafragma rígido



g) Losa e=0,10m Diafragma rígido



h) Losa e=0,10m Diafragma flexible

Tabla 4-28: Factores de amplificación de aceleración vs NSR-10 Modelo M2 –L10

Elevación	Coyote	Oroville	Loma Prieta	Northridge	Kobe	México	Promedio
3.00	1.63	9.82	0.59	1.33	1.38	0.68	2.57
6.00	2.18	12.79	0.72	1.97	1.44	0.74	3.31
9.00	1.90	11.27	1.02	1.92	1.42	0.91	3.07
12.00	1.26	5.08	1.23	1.17	1.22	1.05	1.84
15.00	1.43	3.05	1.29	0.90	1.67	1.14	1.58
18.00	2.26	7.82	1.25	1.48	2.13	1.16	2.69

Tabla 4-29: Factores de amplificación de aceleración vs NSR-10 Modelo M2-L21

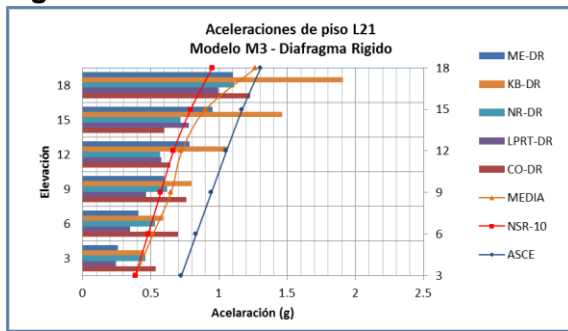
Elevación	Coyote	Oroville	Loma Prieta	Northridge	Kobe	México	Promedio
3.00	1.72	10.69	0.61	1.30	1.42	0.65	2.73
6.00	2.52	12.54	0.78	1.88	1.35	0.69	3.29
9.00	2.35	12.19	1.09	1.85	1.31	0.85	3.27
12.00	1.50	6.11	1.30	1.13	1.01	1.08	2.02
15.00	1.62	2.79	1.35	0.91	1.33	1.23	1.54
18.00	2.46	8.13	1.30	1.75	1.80	1.25	2.78

Es necesario anotar que el promedio mostrado en las anteriores tablas incluye los resultados obtenidos para la señal de Oroville, la cual solo fue retirada de los gráficos en apartes anteriores para mostrar de forma más detallada el comportamiento para las demás señales. La señal de Oroville, así como los resultados obtenidos de su análisis son perfectamente válidos y se encuentran dentro de las señales utilizadas para la microzonificación de Bogotá sobre la cual se basa el presente estudio.

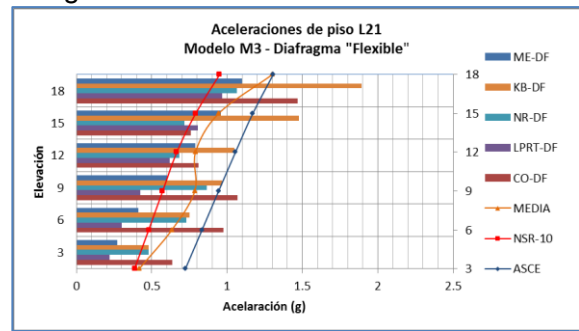
Las amplificaciones en la aceleración son inferiores a las obtenidas para el modelo M1, sin embargo, la tendencia de variación de las aceleraciones en función de la altura permanece y difiere por tanto de la obtenida conforme se estipula en la NSR-10. Nuevamente se aprecia que los pisos afectados con mayores amplificaciones son los de segundo y tercer nivel y el último, aunque los incrementos presentados en los demás niveles no pueden considerarse despreciables.

▪ *Modelo M3*

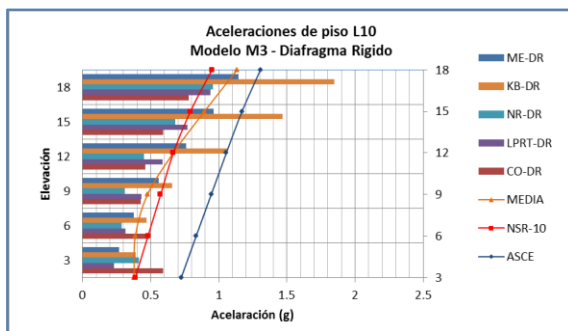
**Figura 4-56:** Aceleraciones máximas en el diafragma– Modelo M3



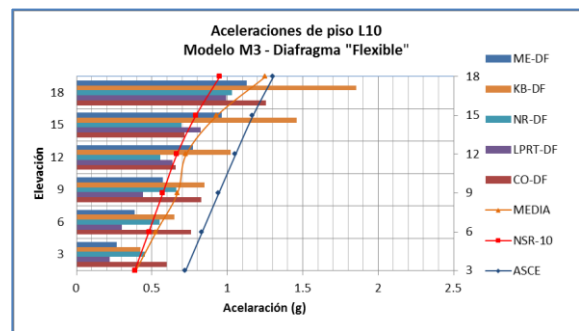
e) Losa e=0,21m Diafragma rígido



f) Losa e=0,21m Diafragma rígido



g) Losa e=0,10m Diafragma rígido



h) Losa e=0,10m Diafragma flexible

**Tabla 4-30:** Factores de amplificación de aceleración vs NSR-10 Modelo M3-L10

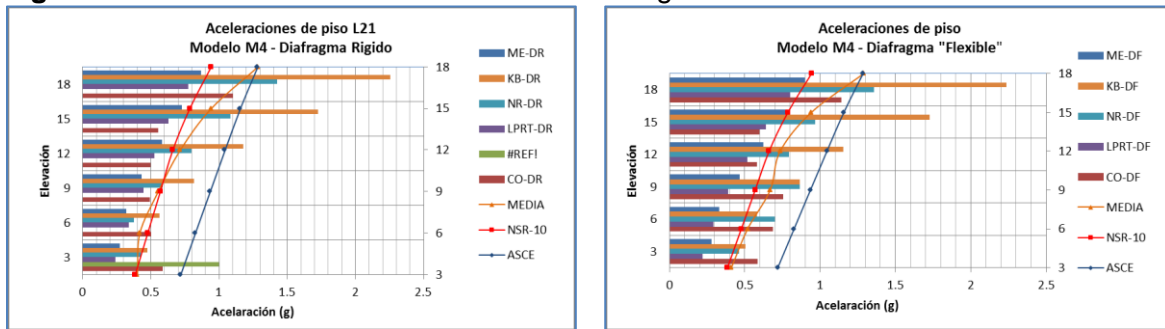
Elevación	Coyote	Oroville	Loma Prieta	Northridge	Kobe	México	Promedio
3.00	1.55	8.41	0.57	1.17	1.10	0.70	2.25
6.00	1.59	8.01	0.62	1.15	1.35	0.80	2.25
9.00	1.45	6.49	0.77	1.16	1.48	1.00	2.06
12.00	0.99	2.81	0.95	0.83	1.54	1.16	1.38
15.00	0.90	2.36	1.04	0.88	1.85	1.22	1.37
18.00	1.32	5.07	1.05	1.09	1.95	1.19	1.94

**Tabla 4-31:** Factores de amplificación de aceleración vs NSR-10 Modelo M3-L21

Elevación	Coyote	Oroville	Loma Prieta	Northridge	Kobe	México	Promedio
3.00	1.65	9.71	0.57	1.25	1.24	0.71	2.52
6.00	2.04	11.38	0.63	1.52	1.57	0.86	3.00
9.00	1.87	9.51	0.74	1.51	1.69	1.05	2.73
12.00	1.22	3.94	0.93	1.03	1.58	1.19	1.65
15.00	0.96	2.77	1.02	0.90	1.87	1.21	1.46
18.00	1.55	7.11	1.02	1.12	2.00	1.16	2.33

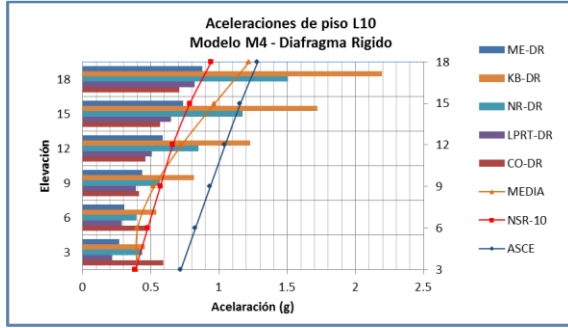
Al aumentar la irregularidad en la estructura se puede apreciar que para el modelo M3, los tres niveles inferiores se ven afectados por una mayor amplificación de la aceleración, obteniéndose valores muy similares, pero inferiores a los obtenidos para los modelos M1 y M2. La distribución de las aceleraciones en altura no presenta una modificación considerable y aún permanece alejada en los niveles 1, 2, 3 y 6 de lo obtenido según NSR-10.

**Figura 4-57:** Aceleraciones máximas en el diafragma– Modelo M4

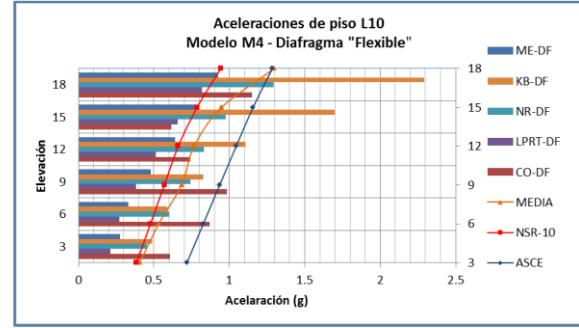


e) Losa e=0,21m Diafragma rígido

f) Losa e=0,21m Diafragma flexible



g) Losa e=0,10m Diafragma rígido



h) Losa e=0,10m Diafragma flexible

**Tabla 4-32:** Factores de amplificación de aceleración vs NSR-10 Modelo M4-L10

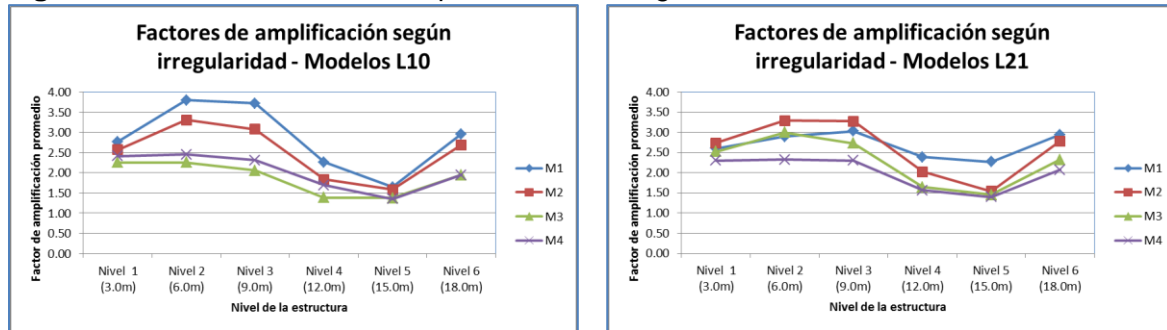
Elevación	Coyote	Oroville	Loma Prieta	Northridge	Kobe	México	Promedio
3.00	1.55	9.28	0.54	1.16	1.25	0.70	2.41
6.00	1.78	9.25	0.55	1.23	1.21	0.68	2.45
9.00	1.68	8.02	0.65	1.27	1.41	0.82	2.31
12.00	1.09	4.52	0.75	1.22	1.62	0.94	1.69
15.00	0.76	2.27	0.81	1.20	2.09	0.97	1.35
18.00	1.18	5.00	0.84	1.33	2.35	0.95	1.94

**Tabla 4-33:** Factores de amplificación de aceleración vs NSR-10 Modelo M4-L21

Elevación	Coyote	Oroville	Loma Prieta	Northridge	Kobe	México	Promedio
3.00	1.50	8.52	0.57	1.19	1.30	0.72	2.30
6.00	1.41	8.64	0.60	1.43	1.20	0.68	2.33
9.00	1.29	8.11	0.67	1.48	1.48	0.80	2.30
12.00	0.85	4.02	0.76	1.16	1.69	0.91	1.57
15.00	0.74	2.62	0.79	1.19	2.13	0.95	1.40
18.00	1.17	5.82	0.82	1.39	2.29	0.92	2.07

La distribución de aceleraciones para el modelo M4 es muy cercano a lo observado en el anterior modelo, cuyo grado de irregularidad a pesar de ser menor ya puede considerarse como irregular según lo prescribe la NSR-10. Nuevamente los valores obtenidos del análisis son superiores a lo estipulado en el Reglamento para la condición de diafragma rígido y este efecto se amplifica al retirar dicha consideración, aumentando la magnitud de las aceleraciones tal como se mostrará en numerales posteriores.

La forma en la cual varía la amplificación de las aceleraciones en función del grado de irregularidad de las estructuras se puede apreciar en la **Figura 4-58**

**Figura 4-58:** Variación de la amplificación vs irregularidada) Modelos losa  $e=10$  cm (L10)b) Modelos losa  $e=21$  cm (L21)

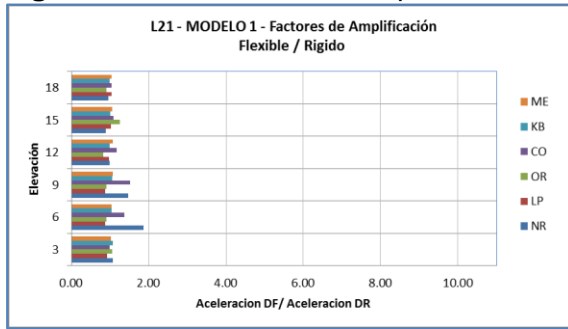
Los factores de amplificación obtenidos para la losa de menor rigidez L10 son superiores a los obtenidos para la losa L21, es decir a mayor flexibilidad del diafragma, la amplificación en las aceleraciones registradas es mayor, y este comportamiento es más crítico para los niveles inferiores y el último. Con respecto a la irregularidad, se puede decir que a mayor grado de irregularidad la relación entre la aceleración registrada y la calculada mediante la metodología establecida en NSR-10 es menor.

#### ▪ Factores de amplificación flexible / Rígido

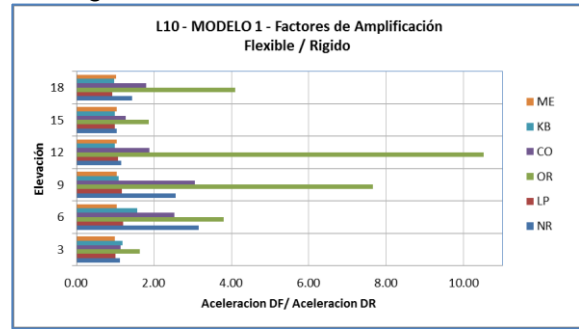
Tal como se indicó anteriormente, adicional al hecho de que se registran aceleraciones en el diafragma superiores a las definidas para el diseño en el Reglamento NSR-10 al suponer un comportamiento rígido en el diafragma, también se observa una amplificación que es función del cambio en las irregularidades y de la flexibilidad del diafragma. Las **Figura 4-59** a **Figura 4-62** presentadas a continuación muestran de manera más precisa este comportamiento, mostrando los factores de amplificación, calculado como la relación entre las máximas aceleraciones obtenidas al considerar el diafragma rígido y las máximas obtenidas considerando el diafragma flexible



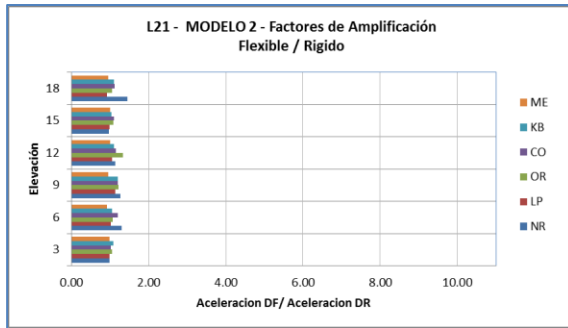
**Figura 4-59:** Factores de amplificación Flexible/ Rígido



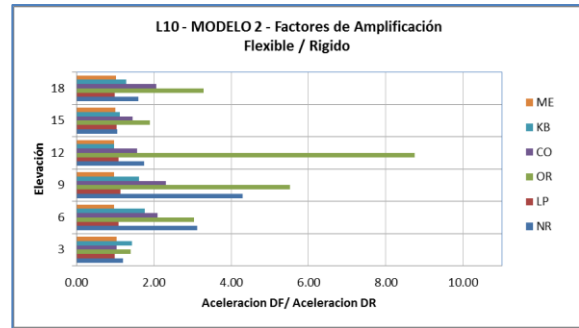
a) Losa e=0,21 m Modelo 1



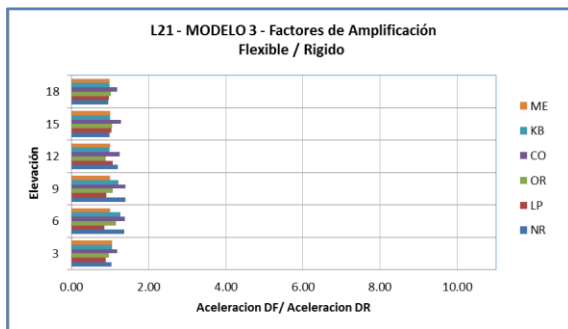
b) Losa e=0,10 m Modelo 1



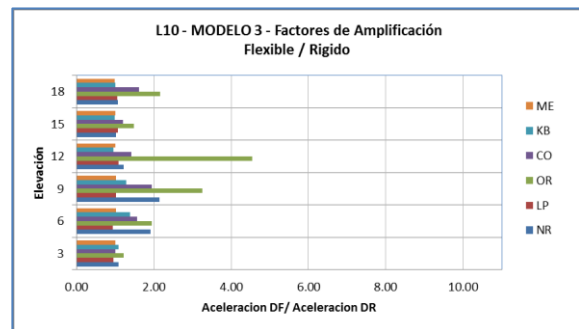
c) Losa e=0,21 m Modelo 2



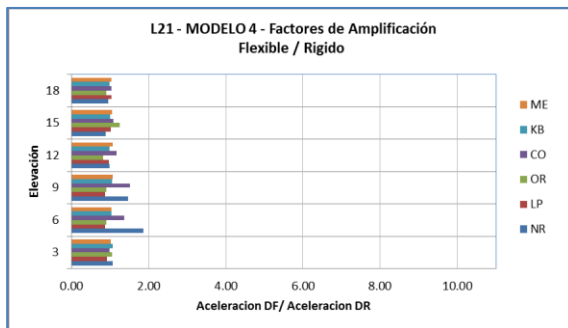
d) Losa e=0,10 m Modelo 2



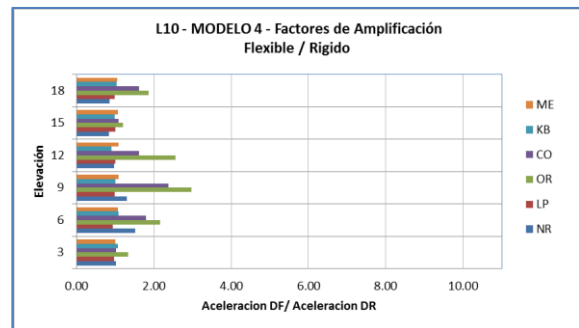
e) Losa e=0,21 m Modelo 3



f) Losa e=0,10 m Modelo 3



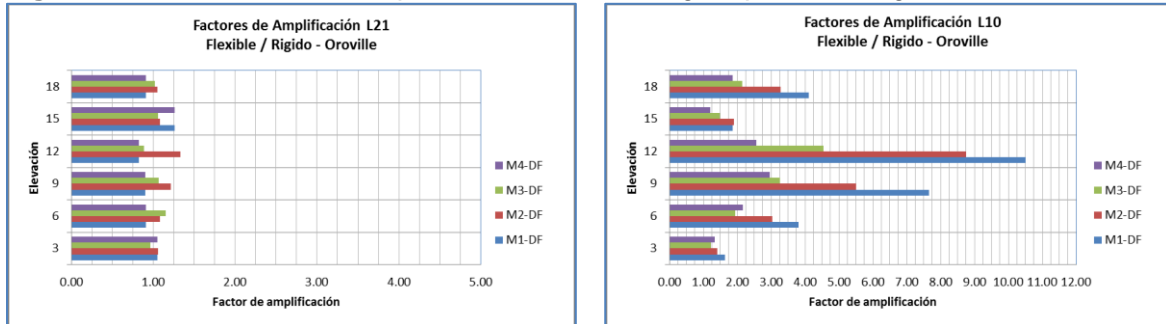
g) Losa e=0,21 m Modelo 4



h) Losa e=0,10 m Modelo 4

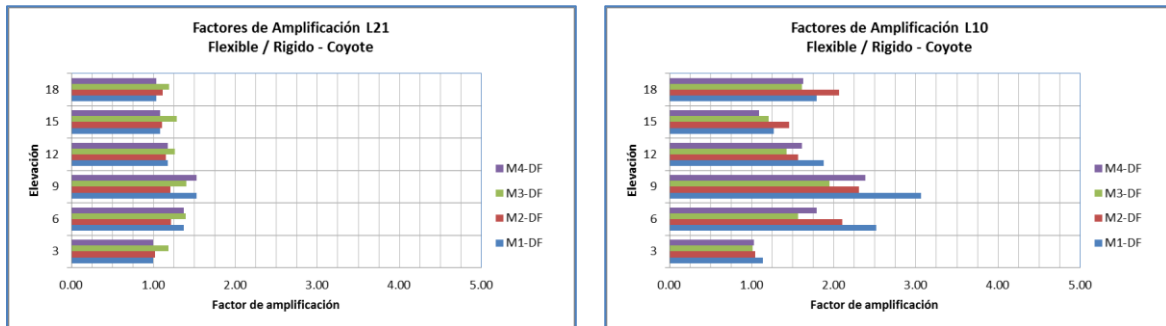
Se aprecia dentro de los resultados obtenidos, que cada estructura amplifica de diferente forma las aceleraciones según el tipo de acelerograma que actúa sobre él, a continuación se presentan los factores de amplificación encontrados para los diferentes tipos de acelerogramas implementados en el presente estudio.

**Figura 4-60:** Factores de amplificación Flexible/ Rígido por acelerogramas Locales



a) Losa e=0,21 Oroville

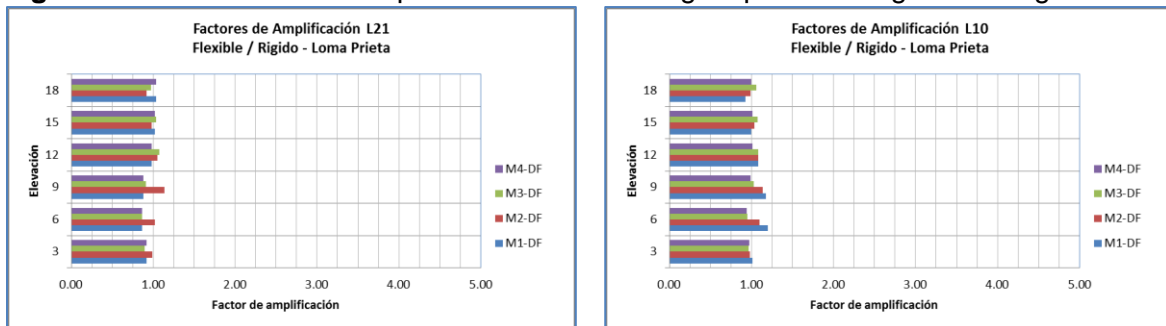
b) Losa e=0,10 Oroville



c) Losa e=0,21 Coyote Lake

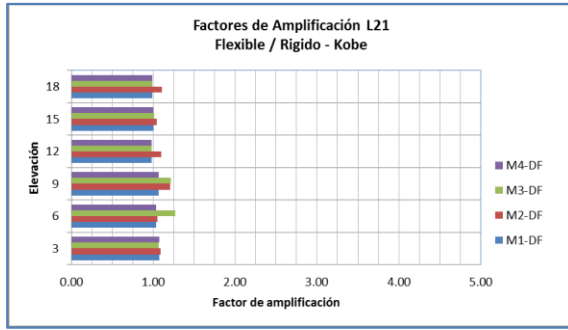
d) Losa e=0,10 m – Coyote Lake

**Figura 4-61:** Factores de amplificación Flexible/ Rígido por acelerogramas Regionales

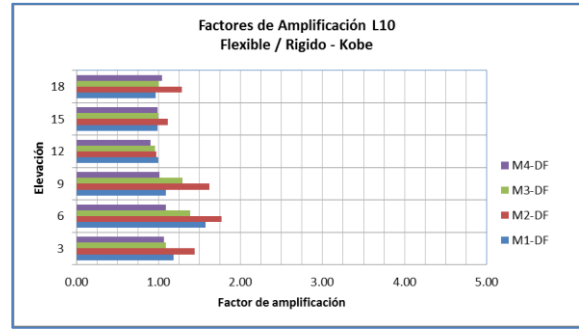


a) Losa e=0,21 - Loma Prieta

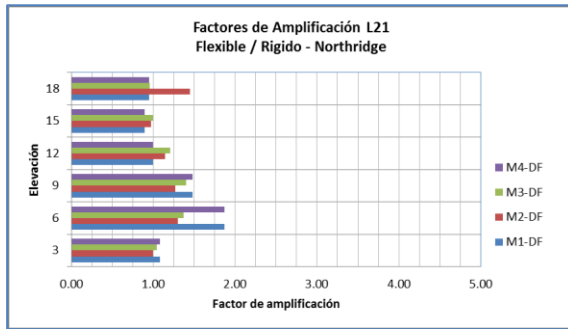
b) Losa e=0,10 - Loma Prieta



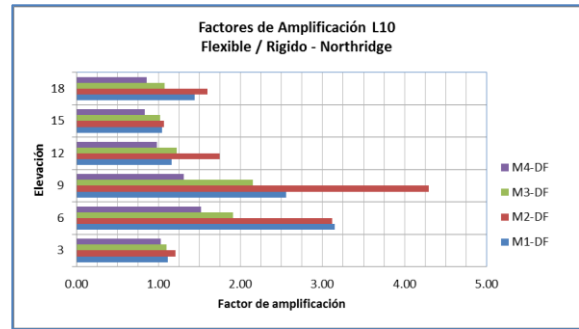
c) Losa e=0,21 - Kobe



d) Losa e=0,10 m – Kobe

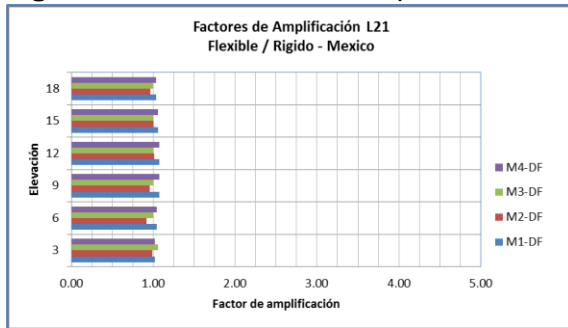


e) Losa e=0,21 - Northridge

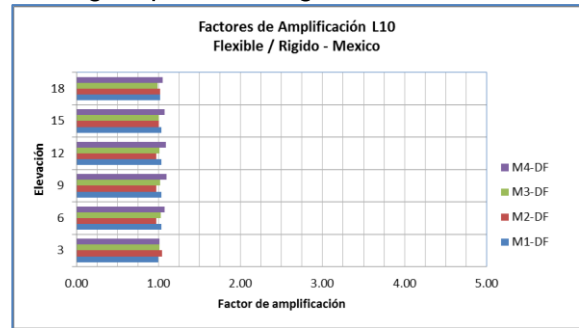


f) Losa e=0,10 – Northridge

**Figura 4-62:** Factores de amplificación Flexible/ Rígido por acelerogramas Subducción



a) Losa e=0,21 – México



b) Losa e=0,10 – México

Se puede apreciar que las mayores amplificaciones se presentan para los acelerogramas de tipo Local y regional. Adicionalmente, se aprecia que estos factores de amplificación son mayores para la losa de mayor flexibilidad L10 que para la losa L21, y para los modelos de menor irregularidad. Es decir, se confirma que ante un mayor grado de flexibilidad del diafragma las aceleraciones se incrementan, y que las estructuras regulares son más críticas para este parámetro.

## **5. Conclusiones y recomendaciones**

### **5.1 Conclusiones**

La presente investigación hace parte de una serie de trabajos que buscan definir los efectos de la flexibilidad del diafragma en diferentes tipos de edificaciones y definir si es necesario proponer modificaciones a las metodologías y parámetros definidos por el Reglamento NSR-10 en procura de obtener diseños de estructuras que sean más confiables y seguras. Algunos de dichos estudios han sido culminados y otros se encuentran en elaboración a la fecha de entrega de este documento y una vez se tengan los elementos de juicio necesarios se procederá a presentar una propuesta de modificación del Reglamento.

Este trabajo presenta los resultados de un estudio que busca establecer si la respuesta sísmica de estructuras irregulares, definida por las aceleraciones, derivas y fuerzas horizontales obtenidas mediante el procedimiento establecido en el Reglamento NSR-10, representa adecuadamente la magnitud y la distribución de la demanda sísmica experimentada por dichas estructuras de concreto reforzado cuando el diafragma no se comporta de forma completamente rígida. Se analizó aquí el efecto que genera el grado de irregularidad en planta en dicha demanda para edificaciones de pórticos y muros.

Se efectuaron diferentes análisis por el método FHEQ, análisis dinámico elástico espectral y, cronológico utilizando seis señales diferentes de las utilizadas en el estudio de microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá, (Fondo de prevención y atención de emergencia FOPAE, 2010). Los análisis realizados definen el comportamiento sísmico de 4 tipos de edificación, con diferentes configuraciones en planta, y el efecto que puede tener la flexibilidad del diafragma en las sollicitaciones a las cuales está sujeta la estructura.

Se efectuaron los cálculos necesarios para definir la naturaleza flexible o rígida del diafragma, conforme a los lineamientos establecidos en el Reglamento NSR-10, encontrando que de acuerdo a dicha clasificación ninguna de las estructuras analizadas requiere la consideración de un diafragma flexible para su análisis al presentar índices de flexibilidad máximos de 0.09 mucho menores al 0.50 definido por los códigos. Sin embargo, al efectuar la verificación basados en otras normas como el Euro código, resultó que para todos los casos dicho diafragma se puede considerar como flexible. Basados en lo anterior y en los resultados encontrados en el presente estudio, se considera pertinente adelantar estudios adicionales que permitan establecer si los parámetros que definen la clasificación de los diafragmas como rígidos o flexibles establecidos por el Reglamento NSR-10 deberían ser reconsiderados. Sadashiva (2012), en su estudio presenta conclusiones similares respecto a las metodologías definidas en los códigos para la caracterización de los diafragmas como rígidos o flexibles.

Se puede apreciar un incremento en el periodo de las diferentes estructuras al retirar el efecto del diafragma rígido que va desde el 2% hasta el 5% en la estructura con diafragma tipo L21 y desde el 3% hasta el 20% en la losa L10 de menor rigidez. Este incremento es mayor en la medida en que se incrementa el grado de irregularidad, pero es aún más notorio para la losa de menor espesor, para la cual se encontró un índice de flexibilidad mayor. Lo anterior tiene incidencia en una reducción proporcional al aumento en el periodo que induce una menor magnitud de las fuerzas cortantes de diseño y derivas obtenidas en las estructuras según los análisis por los métodos FHEQ y Modal espectral, lo cual es consistente con los resultados encontrados por Fleishman (2002) y Sadashiva (2012)

La metodología FHEQ no considera la flexibilidad del diafragma en la distribución y cálculo de las magnitudes de fuerzas y aceleraciones en cada uno de los niveles de piso. A su vez, desconoce los efectos causados por la irregularidad en planta de la edificación. Al efectuar el análisis dinámico en las estructuras se puede apreciar una modificación no considerable en la distribución de la fuerza cortante al retirar la condición de diafragma rígido de los modelos. La distribución de fuerzas cortantes aparece muy similar sin importar la variación en la irregularidad de las estructuras, sin embargo, al considerar el comportamiento flexible del diafragma, se aprecian diferencias entre los diferentes tipos de modelo, aunque en el presente estudio no fue posible encontrar o definir un patrón

que permita conectar la distribución de fuerza cortante con la variación en la irregularidad de la estructura.

La magnitud de las derivas en el centro de masa al considerar diafragma rígido permanece muy similar para las diferentes condiciones de irregularidad. Sin embargo, una vez se analizan las estructuras considerando flexibilidad en el diafragma, se aprecian diferencias considerables entre uno y otro. El comportamiento del modelo de mayor irregularidad M4 se aleja de la distribución y magnitud obtenida para los demás modelos.

En el análisis cronológico, al retirar la consideración de diafragma rígido, se presentan amplificaciones en las derivas especialmente en los modelos de menor irregularidad para el diafragma que considera una losa de menor espesor, en el cual las derivas obtenidas para algunas de las señales superan los resultados obtenidos por método FHEQ, manteniéndose dentro de los límites establecidos por la NSR-10 para el centro de masa, pero superando dicho límite al calcularse en las esquinas. Adicionalmente, en el análisis cronológico se aprecia una variación en el perfil de deformaciones de la estructura. Estos resultados difieren de los análisis por el método FHEQ y el de análisis modal espectral, en los cuales, como efecto del aumento en el periodo natural de la estructura las derivas se reducen. Con base en éstos resultados, se considera importante el desarrollo de nuevas investigaciones tendientes a confirmar lo encontrado en el presente estudio y que permitan definir la necesidad de implementar modificaciones en el Reglamento NSR-10 en lo que se refiere al tipo de modelación mínimo requerido para estructuras irregulares, estableciendo la necesidad de efectuar análisis cronológicos como requisito de diseño.

Las aceleraciones máximas en el diafragma obtenidas del análisis cronológico para los diferentes modelos, son muy superiores a las calculadas según las recomendaciones de la NSR-10. Encontrando relaciones entre las aceleraciones obtenidas y las definidas en el reglamento, que van desde 1.3 y 3.8 y que son función de la altura del piso, de la irregularidad de la estructura y de la flexibilidad del diafragma. Adicionalmente, el comportamiento de estas aceleraciones máximas y su variación en altura difiere del perfil obtenido según el numeral A.3.6.8.2 del reglamento. Se aprecia también un incremento considerable en la magnitud de estas aceleraciones al retirar la consideración de diafragma rígido, siendo más notorio en los pisos intermedios de todos los modelos, por

lo que se explora la posibilidad de una distribución que tenga en cuenta la participación de los modos superiores de vibración de la estructura. Estos resultados son consistentes con los encontrados en la investigación de (Rodríguez M.E., 2002).

Con respecto a las aceleraciones máximas en el diafragma como función del grado de irregularidad en planta de las estructuras, se puede apreciar que cuando se tiene un diafragma de comportamiento más rígido como el definido para el modelo con losa de mayor espesor, no existen diferencias considerables entre una configuración en planta y otra, sin embargo, para losas de mayor flexibilidad se aprecian diferencias considerables en las magnitudes de aceleración, siendo más crítico este parámetro para la estructura más regular.

Al considerar diafragma flexible se presentan amplificaciones de las aceleraciones respecto a la consideración de diafragma rígido en todos los niveles, siendo mayor su magnitud en los pisos intermedios (3,0 y 6,0 m) y en el nivel superior. Resultados similares a lo encontrado por (Ho Jung Lee., 2007). Este efecto es mayor para los modelos con losa de menor espesor, es decir los de mayor grado de flexibilidad. La distribución en altura de las aceleraciones obtenida del presente análisis para el diafragma rígido es cercana a la tendencia presentada al utilizar la metodología del Reglamento NSR-10, sin embargo, al considerar flexibilidad en el diafragma dicha distribución se aleja de la distribución que establece el Reglamento.

Se encontró que las aceleraciones en el diafragma se incrementan al considerar un comportamiento flexible en dicho diafragma, siendo dichas aceleraciones hasta 3 veces mayores a las obtenidas mediante el cálculo estipulado en la NSR-10. Los factores de amplificación de la aceleración obtenidos para la losa de menor rigidez son superiores a los obtenidos para la losa de mayor espesor, es decir a mayor flexibilidad del diafragma, la amplificación en las aceleraciones registradas es mayor, y este comportamiento es más crítico para los niveles inferiores y el último. Con respecto a la irregularidad, se puede decir que a mayor grado de irregularidad la relación entre la aceleración registrada y la calculada mediante la metodología establecida en NSR-10 es menor.

Con base en lo anterior, y dadas las diferencias en distribución y magnitud de las aceleraciones encontradas, es claro que se debe plantear una revisión a las

formulaciones establecidas en el Reglamento NSR-10. Sin embargo considerando que el presente estudio se basa únicamente en cuatro tipos de edificaciones con dos tipos diferentes de diafragma, no es posible presentar una formulación que permita definir de forma certera las magnitudes de las aceleraciones de diseño, por lo que se requiere de investigaciones que complementen el presente estudio y que estén encaminadas a definir la magnitud de las aceleraciones de diseño y su distribución en altura, sin olvidarse del efecto que la flexibilidad del diafragma genera en la estructura.

## **5.2 Recomendaciones**

Se recomienda continuar con los estudios de la línea de investigación del efecto de los diafragmas flexibles en el comportamiento de las estructuras ante cargas horizontales, a fin de establecer de forma confiable, las modificaciones que sean pertinentes en el Reglamento NSR-10 respecto a clasificación de diafragmas como rígidos o flexibles, obtención de aceleraciones de diseño, requisitos mínimos de análisis para edificaciones que presenten irregularidades y consideraciones de diseño adicionales a causa de la presencia de diafragmas que puedan considerarse como flexibles.

El presente estudio se refiere únicamente a los efectos causados por uno de los diferentes tipos de irregularidad que puede presentar una estructura y a un número fijo de niveles, es importante analizar los efectos que pueden tener otros tipos de irregularidad definidos por el reglamento para edificaciones de mayor o menor altura.

En el presente estudio se efectuaron verificaciones únicamente para seis señales sísmicas, en futuras investigaciones se recomienda utilizar un mayor número de acelerogramas, a fin de definir de forma más aproximada el comportamiento de las estructuras ante eventos sísmicos. También para aquellos casos en los que se encontraron amplificaciones importantes de la aceleración y derivas mayores a las calculadas por FHEQ o por análisis modal, se recomienda un análisis dinámico no lineal para verificar si el diafragma se comporta o no de manera lineal y verificar si las deformaciones no son excesivas para los elementos no estructurales que éste debe soportar.



---

Existen diferentes configuraciones usadas actualmente para la construcción de los diafragmas o losas de piso, dado que en el presente documento solo se presentan dos, se recomienda para futuras investigaciones la inclusión de diferentes esquemas de diafragma, a fin de definir sus características de flexibilidad y el efecto que causa dicha condición en las solicitaciones de las edificaciones.

## 6. Bibliografía

**American Society of Civil Engineers (ASCE). (2010).** *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures - ASCE/SEI 7-10*. Reston, VA. : s.n., (2010).

**Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). 2010.** *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente- NSR-10*. Bogotá, Colombia. : s.n., 2010.

**Barron J.M., Beth D. M. 2004.** Diaphragm Effects in Rectangular Reinforced Concrete Buildings. *ACI Structural Journal*. September, 2004.

**Beyer, K. 2005.** *Design and Analysis of Walls Coupled by Floor Diaphragms*. Pavia : European school of advanced studies in reduction of seismic risk, 2005.

**Chistian Angel, Rodrigo Rueda, Victor Hidalgo, Juan Reyes, Juan correál. 2015.** Comparación de metodologías para determinar la distribución en altura de fuerzas sísmicas sobre diafragmas de piso. *VII Congreso Nacional de Ingeniería sísmica*. Bogotá, colombia : s.n., 2015.

**European Committee for Standardization — CEN. 2005.** *Eurocode 8: Design provisions for earthquake resistance of structures - ENV 1998-1-1*. Brussels, Belgium : s.n., 2005.

**Federal Emergency Management Agency. 2000.** *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings (FEMA 356)*. 2000.

**Fleishman R.B., Farroe K.T., Eastman K. 2002.** *Seismic response of perimeter lateral-system structures with highly flexible diaphragms*. 2002.

**Fleishman, K. T y Farrow, R. B. 2001.** Dynamic Behavior of perimeter lateral-system structures with flexible diagrams. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 2001.

**Fondo de prevención y atención de emergencia FOPAE. 2010.** *Zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño sísmico de edificaciones*. Bogotá : Alcaldía Mayor de Bogotá, 2010.

- Gardiner, D. 2011.** *Design recommendations and methods for reinforced concrete floor diaphragms subjected to seismic forces.* Christchurch, New Zealand : Department of Civil and Natural Resources Engineering, University of Canterbury, 2011.
- Ho Jung Lee., Kuchmma D., Aschheim M. 2007.** *Strength-based design of flexible diaphragms in low-rise structures subjected to earthquake loading.* Santa Clara CA : Department of Civil Engineering, Santa Clara University, 2007.
- ICC, International Code Council—. 2009.** *International Building Code — IBC — 2009.* Country Club Hills, IL,USA : s.n., 2009.
- Jain S.K., Jennings P.C., 1985.** Analytical models for low-rise buildings with flexible floor diaphragms. *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics.* 13, 1985.
- Kim S., White D. 2003.** *Nonlinear analysis of a one-story low-rise masonry building with a flexible diaphragm subjected to seismic excitation.* Atlanta GA : School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, 2003.
- Masi A., Dolce M. 1997.** *Seismic response of irregular multi-storey buildings with flexible inelastic diaphragms.* Potenza, Italy : Department of Structures, Geotechnics and Geology, University of Basilicata, 1997.
- Moehle J.P., Hooper J.D., Killy D.J., and Meyer T. 2010.** *Seismic Design of Cast-in-Place Concrete Diaphragms, Chords, and Collectors: A guide for practicing engineers, NEHRP Seismic Design Technical Brief No.3.* Gaithersburg : National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP Consultants Joint Venture), 2010.
- Nakaki, S.D. 2000.** Design guidelines for precast and cast-in-place concrete diaphragms. *EERI professional fellowship report,*. Oakland CA : Earthquake Engineering Research Institute, 2000.
- Perez, H. J. 2012.** *Revisión de las provisiones de diseño para diafragmas flexibles y semi-rígidos a partir del Reglamento NSR-10.* Bogotá, Colombia : Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2012.
- Poveda, C. 2014.** *Efectos de la relación largo/ancho del diafragma en la determinación de la demanda sísmica en edificaciones regulares de pórticos y muros portantes.* Bogota, Colombia : Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2014.
- Reinhorn A.M., Kunnath S.K and Panahshahi N. 1988.** Modeling of R/C Building structures with flexible floor Diaphragms. *Technical Report NCEER.* 88-0035, 1988.
- Rodriguez M.E., Restrepo J.I. 2002.** *Earthquake-induced floor horizontal accelerations in buildings.* Christchurch; New Zealand : 3Department of Civil Engineering; University of Canterbury, 2002.


**Sadashiva V., Mac rae G., Deam B., Spooner M. 2012.** *Quantifying the seismic response of structures with flexible diaphragms*. Christchurch, New Zealand : Department of Civil and Natural Resources Engineering, University of Canterbury, 2012.

**Saffarini H. S., Qudaimat M. M. 1992 .** In-plane floor deformations in RC structures. *Journal of Structural Engineering*. 1992 .

**Standars New Zealand. 2006.** *Concrete Structures Standard 1170 5*. Wellington, New Zealand : s.n., 2006.

**Sullivan T.J., et al. 2006.** *Seismic Design of FrameAWall Structures*. Pavia Italy : s.n., 2006.

## **A. Anexo: Análisis sísmico de las estructuras**

 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	ANEXO 1.1 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometría	M1	Archivos SAP:	M1-FHEQ-L10-DF.\$2k
	Losa	L10	Archivos .dwg:	M1-MOD-L10-DF.\$2k
	Diafragma	Flexible		ANX2-M1.DWG

**Peso Del edificio**

	Cantidad	L	b	h	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 0-0.5	Niveles 2-5	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 6
Columnas centrales	35	3	0.75	0.75	24.00	708.75	1.418	24.00	709
Columnas borde x	14	3	3.50	0.35	24.00	617.4	1.235	24.00	617
Columnas borde y	10	3	3.50	0.35	24.00	441	882	24.00	441
Columnas esquina	4	3	0.75	0.75	24.00	81	162	24.00	81
Vigas	110	7	0.35	0.45	24.00		2,911	24.00	2,911
Viguetas	96	7	0.20	0.45	24.00		1,452	24.00	1,452
Losa	48	7	7	1.00	6.28		14,771	3.28	7,715
Peso						<u>1,848</u>	<u>22,829</u>	<u>13,925</u>	
Masa kg						<u>188,457</u>	<u>2,327,890</u>	<u>1,419,927</u>	

Peso total del edificio	129,918	kN
Masa del edificio	13,248	ton
Peso Según Sap	129,918	kN
Error	0.00%	

**Cálculo del periodo**

Cu	1.342
Av	0.2
Fv	1.7
C <sub>u</sub> *T <sub>a</sub>	0.85

Ta	0.634
Ct	0.047
h	18
a	0.9

NSR-10 Numeral A.4.2.1

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (f_i \delta_i)}}$$

**Dirección X**

Joint Text	OutputCase Text	U1 m	U2 m	d m	m <sub>i</sub> kg	f <sub>i</sub> N	m <sub>i</sub> <sup>2</sup> d <sub>i</sub> <sup>2</sup>	f <sub>i</sub> <sup>2</sup> d <sub>i</sub>
C219	FT1x	0.000043	-1.01E-11	0.000043	2327890	20000	0.004	0.860
C220	FT1x	0.000128	-4.59E-11	0.000128	2327890	40000	0.038	5.120
C221	FT1x	0.000235	-1.02E-10	0.000235	2327890	60000	0.129	14.100
C222	FT1x	0.00035	-1.71E-10	0.000350	2327890	80000	0.285	28.000
C223	FT1x	0.000465	-2.51E-10	0.000465	2327890	100000	0.503	46.500
C224	FT1x	0.000567	-3.41E-10	0.000567	1419927	120000	0.456	68.040
							<b>1.416</b>	<b>162.620</b>

Tx= 0.586

**Dirección Y**

C219	FT1y	-1.1E-11	0.000055	0.000055	2327890	20000	0.007	1.100
C220	FT1y	-4.8E-11	0.000169	0.000169	2327890	40000	0.066	6.760
C221	FT1y	-1E-10	0.000307	0.000307	2327890	60000	0.219	18.420
C222	FT1y	-1.7E-10	0.000455	0.000455	2327890	80000	0.482	36.400
C223	FT1y	-2.5E-10	0.000598	0.000598	2327890	100000	0.832	59.800
C224	FT1y	-3.4E-10	0.000722	0.000722	1419927	120000	0.740	86.640
							<b>2.348</b>	<b>209.120</b>

Ty= 0.666

**Espectro**

Bogotá - Piedemonte B -Decreto 523 2010 Microzonificación Bogotá

Aceleración horizontal pico efectiva, Aa  
Velocidad horizontal pico efectiva, Av

Coefficiente de amplificación de aceleración de periodos cortos, Fa  
Coefficiente de amplificación de aceleración de periodos intermedios, Fv

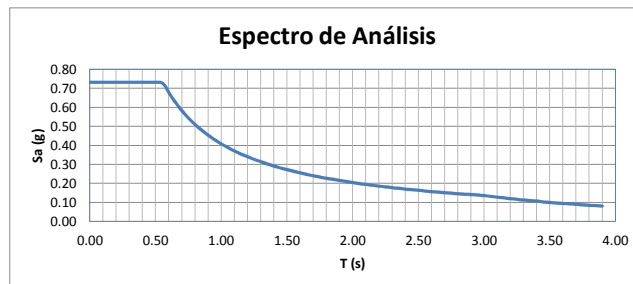
Coefficiente de Importancia (I) =


T<sub>c</sub> =

T<sub>L</sub> =

0.15
0.20
1.95
1.70
1.00
0.56 s
3.00 s

(NSR-10 TABLA A.2-4)



 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	ANEXO 1.1 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometría	M1	Archivos SAP:	M1-FHEQ-L10-DF.\$2k
	Losa	L10	Archivos .dwg:	M1-MOD-L10-DF.\$2k
	Diafragma	Flexible		ANX2-M1.DWG

**Fuerza Horizontal Equivalente**

	T	Sa	Vs
Dirección X	0.586	0.6959	90,407
Dirección Y	0.666	0.6129	79,624

Nivel	Masa	H	H <sup>k</sup>	MIH <sup>k</sup>	Cvx	Fx	Fy
1	2,327,890	3	3	6,983,670	0.054	4,845	4,267
2	2,327,890	6	6	13,967,341	0.107	9,690	8,534
3	2,327,890	9	9	20,951,011	0.161	14,535	12,801
4	2,327,890	12	12	27,934,681	0.214	19,380	17,069
5	2,327,890	15	15	34,918,352	0.268	24,225	21,336
6	1,419,927	18	18	25,558,677	0.196	17,732	15,617
				<b>130,313,733</b>	<b>1.000</b>	<b>90,407</b>	<b>79,624</b>

$$F_x = C_{vx} V_s$$

$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)}$$

$$V_s = S_a g M$$

$$k = 1.00$$

**Factores de corrección para análisis modal**

Regular  
Fmodal/Feq > **80%**

	Vs	Vs (Sap MODAL)	%	>	Corrección
Dirección X	90,407	68,455	0.76	Correccion	1.06
Dirección Y	79,624	61,687	0.77	Correccion	1.03

**Aceleración en los diafragmas**

NSR-10 A3.6.8.2

As	0.29	hn	18.0
Sax	0.70	heq	13.5
Say	0.61		

Nivel	hi	ax	ay
1	3	0.382	0.364
2	6	0.472	0.435
3	9	0.561	0.506
4	12	0.651	0.577
5	15	0.773	0.681
6	18	0.928	0.817

$$a_i = A_s + \frac{(S_a - A_s) h_i}{h_{eq}} \quad h_i \leq h_{eq}$$

$$a_i = S_a \frac{h_i}{h_{eq}} \quad h_i \geq h_{eq}$$

**Aceleración en los diafragmas ASCE**

**0.71**

**0.62**

Nivel	hi	Wi
1	3	22,829
2	6	22,829
3	9	22,829
4	12	22,829
5	15	22,829
6	18	13,925
		128,070

F <sub>ix</sub>	ax	axdiseño
4,845	0.706	0.278
9,690	0.813	0.278
14,535	0.921	0.278
19,380	1.029	0.278
24,225	1.142	0.278
17,732	1.273	0.278
90,407		

F <sub>iy</sub>	ay	aydiseño
4,267	0.622	0.245
8,534	0.716	0.245
12,801	0.811	0.245
17,069	0.907	0.245
21,336	1.005	0.245
15,617	1.122	0.245
79,624		

	Dir X	Dir Y
0.2S <sub>DS</sub> l <sub>e</sub>	0.139	0.123
0.4S <sub>DS</sub> l <sub>e</sub>	0.278	0.245

The force determined from Eq. 12.10-1 shall not be less than

$$F_{px} = 0.2S_{DS}I_w w_{px} \quad (12.10-2)$$

The force determined from Eq. 12.10-1 need not exceed


$$F_{px} = 0.4S_{DS}I_w w_{px} \quad (12.10-3)$$

$F_{px}$  = the diaphragm design force  
 $F_i$  = the design force applied to Level  $i$   
 $w_i$  = the weight tributary to Level  $i$   
 $w_{px}$  = the weight tributary to the diaphragm at Level  $x$

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n w_i} w_{px} \quad (12.10-1)$$

**Derivas máximas obtenidas (cm)**

Piso	FHEq
3	0.837
6	1.824
9	2.305
12	2.456
15	2.387
18	2.207

	ANEXO 1.2 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometria	M2	Archivos SAP:	M2-FHEQ-L10-DF.\$2k
	Losa	L10		M2-MOD-L10-DF.\$2k
	Diafragma	Flexible	Archivos .dwg:	ANX2-M2.DWG

**Peso Del edificio**

	Cantidad	L	b	h	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 0-0.5	Niveles 2-5	(kg/m3)	Nivel 6
Columnas centrales	35	3	0.75	0.75	24.00	708.75	1,418	24.00	709
Columnas borde x	11	3	3.5	0.35	24.00	485.1	970	24.00	485
Columnas borde y	11	3	3.5	0.35	24.00	485.1	970	24.00	485
Columnas esquina	6	3	0.75	0.75	24.00	121.5	243	24.00	122
Vigas	110	7	0.35	0.45	24.00		2,911	24.00	2,911
Viguetas	96	7	0.2	0.45	24.00		1,452	24.00	1,452
Losa	48	7	7	1	6.28		14,771	3.28	7,715
						<b>1,800</b>	<b>22,734</b>		<b>13,877</b>
Peso									
Masa kg						183,593	2,318,162		1,415,063

Peso total del edificio	129,345	kN
Masa del edificio	13,189	ton
Peso Según Sap	129,345	kN
error	0.00%	

**Cálculo del periodo**

Cu	1.342	Ta	0.634
Av	0.2	Ct	0.047
Fv	1.7	h	18
C <sub>u</sub> *T <sub>a</sub>	0.85	a	0.9

NSR-10 Numeral A.4.2.1

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (f_i \delta_i)}}$$

**Dirección X**

Joint	OutputCase	U1	U2	d	m <sub>i</sub>	f <sub>i</sub>	m <sub>i</sub> <sup>2</sup> d <sub>i</sub> <sup>2</sup>	f <sub>i</sub> <sup>2</sup> d <sub>i</sub>
Text	Text	m	m	m	kg	N		
C442	FT1x	0.000064	3.12E-07	0.000064	2318162	20000	0.009	1.280
C443	FT1x	0.000201	9.06E-07	0.000201	2318162	40000	0.094	8.040
C444	FT1x	0.000357	1.37E-06	0.000357	2318162	60000	0.295	21.420
C445	FT1x	0.000523	1.53E-06	0.000523	2318162	80000	0.634	41.840
C446	FT1x	0.000683	1.28E-06	0.000683	2318162	100000	1.081	68.300
C447	FT1x	0.000826	6.82E-07	0.000826	1415063	120000	0.965	99.120
							<b>3.080</b>	<b>240.001</b>

T<sub>x</sub>= 0.712

**Dirección Y**

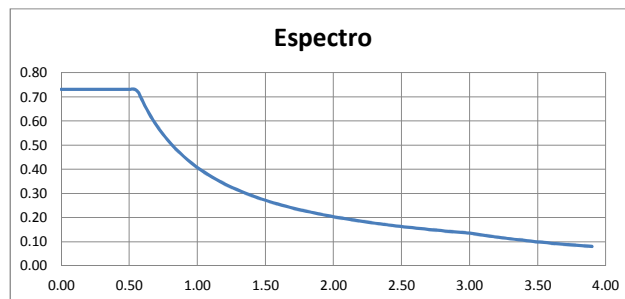
C442	FT1y	3.12E-07	0.000064	0.000064	2318162	20000	0.009	1.280
C443	FT1y	9.06E-07	0.000201	0.000201	2318162	40000	0.094	8.040
C444	FT1y	1.37E-06	0.000357	0.000357	2318162	60000	0.295	21.420
C445	FT1y	1.53E-06	0.000523	0.000523	2318162	80000	0.634	41.840
C446	FT1y	1.28E-06	0.000683	0.000683	2318162	100000	1.081	68.300
C447	FT1y	6.82E-07	0.000826	0.000826	1415063	120000	0.965	99.120
							<b>3.080</b>	<b>240.001</b>

T<sub>y</sub>= 0.712


**Espectro**

Bogotá - Piedemonte B -Decreto 523 2010 Microzonificación Bogotá

Aceleración horizontal pico efectiva, A <sub>a</sub>	0.15
Velocidad horizontal pico efectiva, A <sub>v</sub>	0.20
Coficiente de amplificación de aceleración de períodos cortos, F <sub>a</sub>	1.95
Coficiente de amplificación de aceleración de períodos intermedios, F <sub>v</sub>	1.70
Coficiente de Importancia (I) =	1.00 (NSR-10 TABLA A.2-4)
T <sub>c</sub> =	0.56 s
T <sub>L</sub> =	3.00 s





	ANEXO 1.2 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometría	M2	Archivos SAP:	M2-FHEQ-L10-DF.\$2k
	Losa	L10		M2-MOD-L10-DF.\$2k
	Diafragma	Flexible	Archivos .dwg:	ANX2-M2.DWG

**Fuerza Horizontal Equivalente**

	T	Sa	Vs
Dirección X	0.712	0.5732	74,147
Dirección Y	0.712	0.5732	74,147

Nivel	Masa	H	H <sup>k</sup>	MiH <sup>k</sup>	Cvx	Fx	Fy
3	2,318,162	3	3	6,954,486	0.054	3,973	3,973
6	2,318,162	6	6	13,908,973	0.107	7,946	7,946
9	2,318,162	9	9	20,863,459	0.161	11,919	11,919
12	2,318,162	12	12	27,817,945	0.214	15,892	15,892
15	2,318,162	15	15	34,772,431	0.268	19,865	19,865
18	1,415,063	18	18	25,471,125	0.196	14,551	14,551
				129,788,420	1.000	74,147	74,147

$$F_x = C_{vx} V_s$$

$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)}$$

$$V_s = S_a g M$$

$$k = 1$$

**Factores de corrección para análisis modal**

Regular  
Fmodal/Feq> 80%

	Vs	Vs (Sap)	%	>	Corrección
Dirección X	74,147	63,264	0.85	Correcto	1
Dirección Y	74,147	63,263	0.85	Correcto	1

**Aceleración en los diafragmas** NSR-10 A3.6.8.2

As	0.293	hn	18
Sax	0.57	heq	13.5
Say	0.57		

Nivel	hi	aix	aiy
1	3	0.355	0.355
2	6	0.417	0.417
3	9	0.480	0.480
4	12	0.542	0.542
5	15	0.637	0.637
6	18	0.764	0.764

$$a_i = A_s + \frac{(S_a - A_s) h_i}{h_{eq}} \quad h_i \leq h_{eq}$$

$$a_i = S_a \frac{h_i}{h_{eq}} \quad h_i \geq h_{eq}$$

**Aceleración en los diafragmas ASCE**

0.58

0.58

Nivel	hi	Wi
1	3	22,734
2	6	22,734
3	9	22,734
4	12	22,734
5	15	22,734
6	18	13,877
		127,545

F <sub>ix</sub>	a <sub>ix</sub>	a <sub>ixdiseño</sub>
3,973	0.581	0.229
7,946	0.670	0.229
11,919	0.758	0.229
15,892	0.848	0.229
19,865	0.940	0.229
14,551	1.049	0.229
	74,147	

F <sub>iy</sub>	a <sub>iy</sub>	a <sub>iydiseño</sub>
3,973	0.581	0.229
7,946	0.670	0.229
11,919	0.758	0.229
15,892	0.848	0.229
19,865	0.940	0.229
14,551	1.049	0.229
	74,147	

	Dir X	Dir Y
0.2S <sub>DS</sub> le	0.115	0.115
0.4S <sub>DS</sub> le	0.229	0.229

The force determined from Eq. 12.10-1 shall not be less than

$$F_{px} = 0.2S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-2)$$

The force determined from Eq. 12.10-1 need not exceed


$$F_{px} = 0.4S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-3)$$

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n w_i} w_{px} \quad (12.10-1)$$

$F_{px}$  = the diaphragm design force  
 $F_i$  = the design force applied to Level  $i$   
 $w_i$  = the weight tributary to Level  $i$   
 $w_{px}$  = the weight tributary to the diaphragm at Level  $x$

**Derivas máximas obtenidas (cm)**

Piso	FHEq
3	0.768
6	1.688
9	2.116
12	2.255
15	2.191
18	2.021

	ANEXO 1.3 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometria	M3	Archivos SAP:	M3-FHEQ-L10-DF.\$2k
	Losa	L10	Archivos .dwg:	M3-MOD-L10-DF.\$2k
	Diafragma	Flexible		ANX2-M3.DWG

**Peso Del edificio**

	Cantidad	L	b	h	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 0-0.5	Niveles 2-5	(kg/m3)	Nivel 6
Columnas centrales	33	3	0.75	0.75	24.00	668.25	1,337	24.00	668
Columnas borde x	13	3	3.5	0.35	24.00	573.3	1,147	24.00	573
Columnas borde y	13	3	3.5	0.35	24.00	573.3	1,147	24.00	573
Columnas esquina	6	3	1.10	1.10	24.00	261.36	523	24.00	261
Vigas	112	7	0.35	0.45	24.00		2,964	24.00	2,964
Viguetas	96	7	0.2	0.45	24.00		1,452	24.00	1,452
Losa	48	7	7	1	6.28		14,771	3.28	7,715
						<b>2,076</b>	<b>23,338</b>		<b>14,206</b>
Peso									
Masa kg						211,713	2,379,797		1,448,578

Peso total del edificio	132.972	kN
Masa del edificio	13.559	ton
Peso Según Sap	132.972	kN
error	0.00%	

**Cálculo del periodo**

Cu	1.342	Ta	0.634
Av	0.2	Ct	0.047
Fv	1.7	h	18
C <sub>u</sub> *T <sub>a</sub>	0.85	a	0.9

NSR-10 Numeral A.4.2.1

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (f_i \delta_i)}}$$

**Dirección X**

Joint	OutputCase	U1	U2	d	mi	fi	mi*di2	fi*di
Text	Text	m	m	m	kg	N		
C456	FT1x	0.000058	9.85E-07	0.000058	2379797	20000	0.008	1.160
C457	FT1x	0.000183	3.1E-06	0.000183	2379797	40000	0.080	7.321
C458	FT1x	0.000326	5.9E-06	0.000326	2379797	60000	0.253	19.563
C459	FT1x	0.000478	8.89E-06	0.000478	2379797	80000	0.544	38.247
C460	FT1x	0.000628	0.000012	0.000628	2379797	100000	0.939	62.811
C461	FT1x	0.000764	0.000016	0.000764	1448578	120000	0.846	91.700
							<b>2.669</b>	<b>220.803</b>

Tx= 0.691

**Dirección Y**

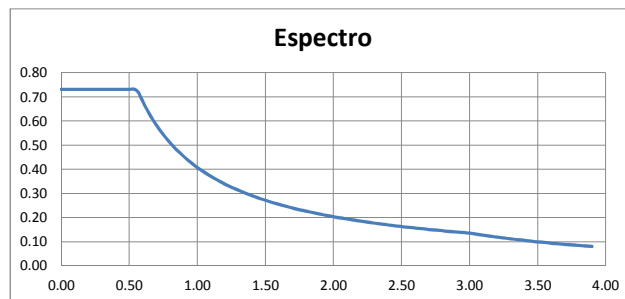
C456	FT1y	9.85E-07	0.000058	0.000058	2379797	20000	0.008	1.160
C457	FT1y	3.1E-06	0.000183	0.000183	2379797	40000	0.080	7.321
C458	FT1y	5.9E-06	0.000326	0.000326	2379797	60000	0.253	19.563
C459	FT1y	8.89E-06	0.000478	0.000478	2379797	80000	0.544	38.247
C460	FT1y	0.000012	0.000628	0.000628	2379797	100000	0.939	62.811
C461	FT1y	0.000016	0.000764	0.000764	1448578	120000	0.846	91.700
							<b>2.669</b>	<b>220.803</b>


Ty= 0.691

**Espectro**

Bogotá - Piedemonte B -Decreto 523 2010 Microzonificación Bogotá

Aceleración horizontal pico efectiva, Aa	0.15
Velocidad horizontal pico efectiva, Av	0.20
Coefficiente de amplificación de aceleración de períodos cortos, Fa	1.95
Coefficiente de amplificación de aceleración de períodos intermedios, Fv	1.70
Coefficiente de Importancia (I) =	1.00 (NSR-10 TABLA A.2-4)
T <sub>c</sub> =	0.56 s
T <sub>L</sub> =	3.00 s



	ANEXO 1.3 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometría	M3	Archivos SAP:	M3-FHEQ-L10-DF.\$2k
	Losa	L10		M3-MOD-L10-DF.\$2k
	Diafragma	Flexible	Archivos .dwg:	ANX2-M3.DWG

**Fuerza Horizontal Equivalente**

	T	Sa	Vs
Dirección X	0.691	0.5906	78,529
Dirección Y	0.691	0.5906	78,529

Nivel	Masa	H	H <sup>k</sup>	MiH <sup>k</sup>	Cvx	Fx	Fy
3	2,379,797	3	3	7,139,392	0.054	4,210	4,210
6	2,379,797	6	6	14,278,784	0.107	8,420	8,420
9	2,379,797	9	9	21,418,176	0.161	12,631	12,631
12	2,379,797	12	12	28,557,568	0.214	16,841	16,841
15	2,379,797	15	15	35,696,960	0.268	21,051	21,051
18	1,448,578	18	18	26,074,409	0.196	15,376	15,376
				133,165,290	1.000	78,529	78,529

$$F_x = C_{vx} V_s$$

$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)}$$

$$V_s = S_a g M$$

$$k = 1$$

**Factores de corrección para análisis modal**

Regular  
Fmodal/Feq > 90%

	Vs	Vs (Sap)	%	>	Corrección
Dirección X	78,529	64,599	0.82	Corrección	1.09
Dirección Y	78,529	64,590	0.82	Corrección	1.09

**Aceleración en los diafragmas** NSR-10 A3.6.8.2

As	0.293	hn	18
Sax	0.59	heq	13.5
Say	0.59		

Nivel	hi	aix	aiy
1	3	0.359	0.359
2	6	0.425	0.425
3	9	0.491	0.491
4	12	0.557	0.557
5	15	0.656	0.656
6	18	0.787	0.787

$$a_i = A_s + \frac{(S_a - A_s) h_i}{h_{eq}} \quad h_i \leq h_{eq}$$

$$a_i = S_a \frac{h_i}{h_{eq}} \quad h_i \geq h_{eq}$$

**Aceleración en los diafragmas ASCE**

0.60

0.60

Nivel	hi	Wi
1	3	23,338
2	6	23,338
3	9	23,338
4	12	23,338
5	15	23,338
6	18	14,206
		130,896

F <sub>ix</sub>	a <sub>ix</sub>	a <sub>ixdiseño</sub>
4,210	0.600	0.236
8,420	0.691	0.236
12,631	0.782	0.236
16,841	0.875	0.236
21,051	0.970	0.236
15,376	1.082	0.236
	78,529	

F <sub>iy</sub>	a <sub>iy</sub>	a <sub>iydiseño</sub>
4,210	0.600	0.236
8,420	0.691	0.236
12,631	0.782	0.236
16,841	0.875	0.236
21,051	0.970	0.236
15,376	1.082	0.236
	78,529	

	Dir X	Dir Y
0.2S <sub>DS</sub> le	0.118	0.118
0.4S <sub>DS</sub> le	0.236	0.236

The force determined from Eq. 12.10-1 shall not be less than

$$F_{px} = 0.2S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-2)$$

The force determined from Eq. 12.10-1 need not exceed


$$F_{px} = 0.4S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-3)$$

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n w_i} w_{px} \quad (12.10-1)$$

F<sub>px</sub> = the diaphragm design force  
 F<sub>i</sub> = the design force applied to Level i  
 w<sub>i</sub> = the weight tributary to Level i  
 w<sub>px</sub> = the weight tributary to the diaphragm at Level x

**Derivas máximas obtenidas (cm)**

Piso	FHEq
3	0.716
6	1.630
9	2.098
12	2.268
15	2.236
18	2.115

	ANEXO 1.4 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometria	M4	Archivos SAP:	M4-FHEQ-L10-DF.\$2k
	Losa	L10	Archivos .dwg:	M4-MOD-L10-DF.\$2k
	Diafragma	Flexible		ANX2-M4.DWG

**Peso Del edificio**

	Cantidad	L	b	h	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 0-0.5	Niveles 2-5	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 6
Columnas centrales	30	3.00	0.750	0.750	24.00	607.5	1,215	24.00	608
Columnas borde x	15	3.00	3.500	0.550	24.00	1039.5	2,079	24.00	1,040
Columnas borde y	17	3.00	3.500	0.550	24.00	1178.1	2,356	24.00	1,178
Columnas esquina	6	3.00	1.100	1.100	24.00	261.36	523	24.00	261
Vigas	115	7.00	0.350	0.450	24.00		3,043	24.00	3,043
Viguetas	96	7.00	0.200	0.450	24.00		1,452	24.00	1,452
Losa	48	7.00	7.000	1.000	6.28		14,771	3.28	7,715
Peso						<b>3,086</b>	<b>25,438</b>	<b>15,295</b>	
Masa kg						314,729	2,593,924	1,559,689	

Peso total del edificio	145,571	kN
Masa del edificio	14,844	ton
Peso Según Sap	145,571	kN
error	0.00%	

**Cálculo del periodo**

Cu	1.342	Ta	0.634
Av	0.2	Ct	0.047
Fv	1.7	h	18
C <sub>u</sub> *T <sub>a</sub>	0.85	a	0.9

NSR-10 Numeral A.4.2.1

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (f_i \delta_i)}}$$

**Dirección X**

Joint	OutputCase	U1	U2	d	m <sub>i</sub>	f <sub>i</sub>	m <sub>i</sub> <sup>2</sup> d <sub>i</sub> <sup>2</sup>	f <sub>i</sub> <sup>2</sup> d <sub>i</sub>
Text	Text	m	m	m	kg	N		
C477	FT1x	0.000053	-1.3E-06	0.000053	2593924	20000	0.007	1.060
C478	FT1x	0.000146	-3.6E-06	0.000146	2593924	40000	0.055	5.842
C479	FT1x	0.000256	-5.5E-06	0.000256	2593924	60000	0.170	15.364
C480	FT1x	0.000372	-6.6E-06	0.000372	2593924	80000	0.359	29.765
C481	FT1x	0.000486	-6.8E-06	0.000486	2593924	100000	0.613	48.605
C482	FT1x	0.000594	-8E-06	0.000594	1559689	120000	0.550	71.286
							<b>1.755</b>	<b>171.921</b>

T<sub>x</sub>= 0.635

**Dirección Y**

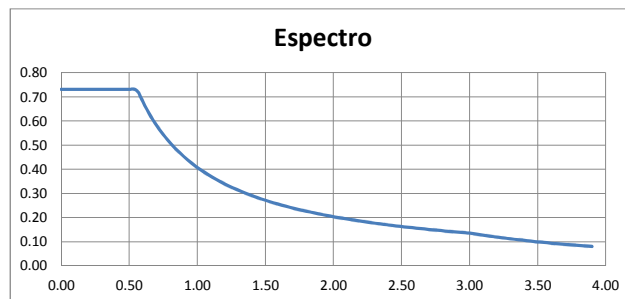
C477	FT1y	-1.3E-06	0.000031	0.000031	2593924	20000	0.002	0.621
C478	FT1y	-3.8E-06	0.000095	0.000095	2593924	40000	0.023	3.803
C479	FT1y	-5.9E-06	0.000175	0.000175	2593924	60000	0.080	10.506
C480	FT1y	-7.2E-06	0.000264	0.000264	2593924	80000	0.181	21.128
C481	FT1y	-7.4E-06	0.000352	0.000352	2593924	100000	0.322	35.208
C482	FT1y	-6.8E-06	0.000442	0.000442	1559689	120000	0.305	53.046
							<b>0.913</b>	<b>124.311</b>


T<sub>y</sub>= 0.538

**Espectro**

Bogotá - Piedemonte B -Decreto 523 2010 Microzonificación Bogotá

Aceleración horizontal pico efectiva, A <sub>a</sub>	0.15
Velocidad horizontal pico efectiva, A <sub>v</sub>	0.20
Coefficiente de amplificación de aceleración de períodos cortos, F <sub>a</sub>	1.95
Coefficiente de amplificación de aceleración de períodos intermedios, F <sub>v</sub>	1.70
Coefficiente de Importancia (I) =	1.00 (NSR-10 TABLA A.2-4)
T <sub>c</sub> =	0.56 s
T <sub>L</sub> =	3.00 s



	ANEXO 1.4 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometria	M4	Archivos SAP:	M4-FHEQ-L10-DF.\$2k
	Losa	L10		M4-MOD-L10-DF.\$2k
	Diafragma	Flexible	Archivos .dwg:	ANX2-M4.DWG

**Fuerza Horizontal Equivalente**

	T	Sa	Vs
Dirección X	0.635	0.6427	93,559
Dirección Y	0.538	0.7313	106,449

Nivel	Masa	H	H <sup>k</sup>	MiH <sup>k</sup>	Cvx	Fx	Fy
3	2,593,924	3	3	7,781,772	0.054	5,028	5,721
6	2,593,924	6	6	15,563,543	0.107	10,056	11,441
9	2,593,924	9	9	23,345,315	0.161	15,084	17,162
12	2,593,924	12	12	31,127,086	0.215	20,112	22,883
15	2,593,924	15	15	38,908,858	0.269	25,140	28,603
18	1,559,689	18	18	28,074,398	0.194	18,140	20,639
				<b>144,800,971</b>	<b>1.000</b>	<b>93,559</b>	<b>106,449</b>

$$F_x = C_{vx} V_s$$

$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)}$$

$$V_s = S_a g M$$

$$k = 1$$

**Factores de corrección para análisis modal**

Regular  
Fmodal/Feq > **90%**

	Vs	Vs (Sap)	%	>	Corrección
Dirección X	93,559	<b>54,598</b>	0.58	Correccion	1.54
Dirección Y	106,449	<b>57,159</b>	0.54	Correccion	1.68

**Aceleración en los diafragmas** NSR-10 A3.6.8.2

As	0.293	hn	18
Sax	0.64	heq	13.5
Say	0.73		

Nivel	hi	aix	aiy
1	3	0.370	0.390
2	6	0.448	0.488
3	9	0.526	0.585
4	12	0.604	0.683
5	15	0.714	0.813
6	18	0.857	0.975

$$a_i = A_s + \frac{(S_a - A_s) h_i}{h_{eq}} \quad h_i \leq h_{eq}$$

$$a_i = S_a \frac{h_i}{h_{eq}} \quad h_i \geq h_{eq}$$

**Aceleración en los diafragmas ASCE**

**0.66**

**0.75**

Nivel	hi	Wi
1	3	25,438
2	6	25,438
3	9	25,438
4	12	25,438
5	15	25,438
6	18	15,295
		<b>142,485</b>

F <sub>ix</sub>	a <sub>ix</sub>	a <sub>ixdiseño</sub>
5,028	0.657	0.257
10,056	0.756	0.257
15,084	0.857	0.257
20,112	0.958	0.257
25,140	1.063	0.257
18,140	1.186	0.257
	<b>93,559</b>	

F <sub>iy</sub>	a <sub>iy</sub>	a <sub>iydiseño</sub>
5,721	0.747	0.293
11,441	0.861	0.293
17,162	0.975	0.293
22,883	1.090	0.293
28,603	1.209	0.293
20,639	1.349	0.293
	<b>106,449</b>	

	Dir X	Dir Y
0.2S <sub>DS</sub> le	0.129	0.146
0.4S <sub>DS</sub> le	0.257	0.293

The force determined from Eq. 12.10-1 shall not be less than

$$F_{px} = 0.2S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-2)$$

The force determined from Eq. 12.10-1 need not exceed


$$F_{px} = 0.4S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-3)$$

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n w_i} w_{px} \quad (12.10-1)$$

F<sub>px</sub> = the diaphragm design force  
F<sub>i</sub> = the design force applied to Level i  
w<sub>i</sub> = the weight tributary to Level i  
w<sub>px</sub> = the weight tributary to the diaphragm at Level x

**Derivas máximas obtenidas (cm)**

Piso	FHEq
3	0.677
6	1.570
9	2.054
12	2.256
15	2.262
18	2.161

	ANEXO 1.5 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometría	M1	Archivos SAP:	M1-FHEQ-L10-DR.\$2k
	Losa	L10	Archivos .dwg:	M1-MOD-L10-DR.\$2k
	Diafragma	Rígido		ANX2-M1.DWG

**Peso Del edificio**

	Cantidad	L	b	h	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 0-0.5	Niveles 2-5	(kg/m3)	Nivel 6
Columnas centrales	35	3	0.75	0.75	24.00	708.75	1,418	24.00	709
Columnas borde x	14	3	3.50	0.35	24.00	617.4	1,235	24.00	617
Columnas borde y	10	3	3.50	0.35	24.00	441	882	24.00	441
Columnas esquina	4	3	0.75	0.75	24.00	81	162	24.00	81
Vigas	110	7	0.35	0.45	24.00		2,911	24.00	2,911
Viguetas	96	7	0.20	0.45	24.00		1,452	24.00	1,452
Losa	48	7	7	1.00	6.28		14,771	3.28	7,715
Peso						<b>1,848</b>	<b>22,829</b>	<b>13,925</b>	
Masa kg						188,457	2,327,890	1,419,927	

Peso total del edificio	129,918	kN
Masa del edificio	13,248	ton
Peso Según Sap	129,918	kN
error	0.00%	

**Cálculo del periodo**

Cu	1.342	Ta	0.634
Av	0.2	Ct	0.047
Fv	1.7	h	18
Cu * Ta	0.85	a	0.9

NSR-10 Numeral A.4.2.1

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (f_i \delta_i)}}$$

**Dirección X**

Joint Text	OutputCase Text	U1 m	U2 m	d m	mi kg	fi N	mi*di2	fi*di
C219	FT1x	0.000033	-1.266E-11	0.000033	2327890	20000	0.003	0.660
C220	FT1x	0.000107	-4.848E-11	0.000107	2327890	40000	0.027	4.280
C221	FT1x	0.000203	-1.027E-10	0.000203	2327890	60000	0.096	12.180
C222	FT1x	0.000309	-1.7E-10	0.000309	2327890	80000	0.222	24.720
C223	FT1x	0.000414	-2.454E-10	0.000414	2327890	100000	0.399	41.400
C224	FT1x	0.000513	-3.251E-10	0.000513	1419927	120000	0.374	61.560
							<b>1.120</b>	<b>144.800</b>

Tx= 0.553

**Dirección Y**

Joint Text	OutputCase Text	U1 m	U2 m	d m	mi kg	fi N	mi*di2	fi*di
C219	FT1y	-1.27E-11	0.000043	0.000043	2327890	20000	0.004	0.860
C220	FT1y	-4.85E-11	0.000138	0.000138	2327890	40000	0.044	5.520
C221	FT1y	-1.03E-10	0.000261	0.000261	2327890	60000	0.159	15.660
C222	FT1y	-1.7E-10	0.000395	0.000395	2327890	80000	0.363	31.600
C223	FT1y	-2.45E-10	0.000527	0.000527	2327890	100000	0.647	52.700
C224	FT1y	-3.25E-10	0.00065	0.000650	1419927	120000	0.600	78.000
							<b>1.817</b>	<b>184.340</b>

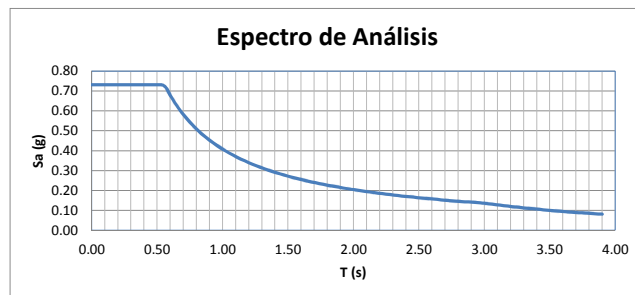
Ty= 0.624


**Espectro**

Bogotá - Piedemonte B -Decreto 523 2010 Microzonificación Bogotá

Aceleración horizontal pico efectiva, Aa	0.15
Velocidad horizontal pico efectiva, Av	0.20
Coefficiente de amplificación de aceleración de periodos cortos, Fa	1.95
Coefficiente de amplificación de aceleración de periodos intermedios, Fv	1.70
Coefficiente de Importancia (I) =	1.00
Tc =	0.56 s
TL =	3.00 s

(NSR-10 TABLA A.2-4)



	ANEXO 1.5 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometria	M1	Archivos SAP:	M1-FHEQ-L10-DR.\$2k
	Losa	L10	Archivos .dwg:	M1-MOD-L10-DR.\$2k
	Diafragma	Rígido		ANX2-M1.DWG

**Fuerza Horizontal Equivalente**

	T	Sa	Vs
Dirección X	0.553	0.7313	95,002
Dirección Y	0.624	0.6541	84,976

$$F_x = C_{vx} V_s$$

$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)}$$

$$V_s = S_a g M$$

$$k = 1.00$$

Nivel	Masa	H	H <sup>k</sup>	MiHi <sup>k</sup>	Cvx	Fx	Fy
1	2,327,890	3	3	6,983,670	0.054	5,091	4,554
2	2,327,890	6	6	13,967,341	0.107	10,183	9,108
3	2,327,890	9	9	20,951,011	0.161	15,274	13,662
4	2,327,890	12	12	27,934,681	0.214	20,365	18,216
5	2,327,890	15	15	34,918,352	0.268	25,456	22,770
6	1,419,927	18	18	25,558,677	0.196	18,633	16,667
				<b>130,313,733</b>	<b>1.000</b>	<b>95,002</b>	<b>84,976</b>

**Factores de corrección para análisis modal**

Regular  
Fmodal/Feq > **80%**

	Vs	Vs (Sap MODAL)	%	>	Corrección
Dirección X	95,002	68,259	0.72	Correccion	1.11
Dirección Y	84,976	61,997	0.73	Correccion	1.10

**Aceleración en los diafragmas**

NSR-10 A3.6.8.2

As	0.29	hn	18.0
Sax	0.73	heq	13.5
Say	0.65		

Nivel	hi	ai <sub>x</sub>	ai <sub>y</sub>
1	3	0.390	0.373
2	6	0.488	0.453
3	9	0.585	0.534
4	12	0.683	0.614
5	15	0.813	0.727
6	18	0.975	0.872

$$a_i = A_s + \frac{(S_a - A_s) h_i}{h_{eq}} \quad h_i \leq h_{eq}$$

$$a_i = S_a \frac{h_i}{h_{eq}} \quad h_i \geq h_{eq}$$

**Aceleración en los diafragmas ASCE**

**0.74** **0.66**

Nivel	hi	Wi
1	3	22,829
2	6	22,829
3	9	22,829
4	12	22,829
5	15	22,829
6	18	13,925
		<b>128,070</b>

F <sub>ix</sub>	a <sub>ix</sub>	a <sub>ix</sub> disño
5,091	0.742	0.293
10,183	0.854	0.293
15,274	0.967	0.293
20,365	1.082	0.293
25,456	1.200	0.293
18,633	1.338	0.293
		<b>95,002</b>

F <sub>iy</sub>	a <sub>iy</sub>	a <sub>iy</sub> disño
4,554	0.664	0.262
9,108	0.764	0.262
13,662	0.865	0.262
18,216	0.968	0.262
22,770	1.073	0.262
16,667	1.197	0.262
		<b>84,976</b>

Dir X	Dir Y
0.2S <sub>DS</sub> le	0.146 0.131
0.4S <sub>DS</sub> le	0.293 0.262

The force determined from Eq. 12.10-1 shall not be less than

$$F_{px} = 0.2S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-2)$$

The force determined from Eq. 12.10-1 need not exceed


$$F_{px} = 0.4S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-3)$$

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n w_i} w_{px} \quad (12.10-1)$$

F<sub>px</sub> = the diaphragm design force  
 F<sub>i</sub> = the design force applied to Level i  
 w<sub>i</sub> = the weight tributary to Level i  
 w<sub>px</sub> = the weight tributary to the diaphragm at Level x

**Derivas máximas obtenidas (cm)**

Piso	FHEq
3	0.950
6	2.071
9	2.646
12	2.828
15	2.749
18	2.542

	ANEXO 1.6 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometria	M2	Archivos SAP:	M2-FHEQ-L10-DR.\$2k
	Losa	L10	Archivos .dwg:	M2-MOD-L10-DR.\$2k
	Diafragma	Rígido		ANX2-M2.DWG

**Peso Del edificio**

	Cantidad	L	b	h	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 0-0.5	Niveles 2-5	(kg/m3)	Nivel 6
Columnas centrales	35	3	0.75	0.75	24.00	708.75	1,418	24.00	709
Columnas borde x	11	3	3.5	0.35	24.00	485.1	970	24.00	485
Columnas borde y	11	3	3.5	0.35	24.00	485.1	970	24.00	485
Columnas esquina	6	3	0.75	0.75	24.00	121.5	243	24.00	122
Vigas	110	7	0.35	0.45	24.00		2,911	24.00	2,911
Viguetas	96	7	0.2	0.45	24.00		1,452	24.00	1,452
Losa	48	7	7	1	6.28		14,771	3.28	7,715

Peso **1,800** **22,734** **13,877**  
Masa kg **183,593** **2,318,162** **1,415,063**

Peso total del edificio	129,345	kN
Masa del edificio	13,189	ton
Peso Según Sap	129,345	kN
error	0.00%	

**Cálculo del periodo**

Cu	1.342	Ta	0.634
Av	0.2	Ct	0.047
Fv	1.7	h	18
C <sub>u</sub> *T <sub>a</sub>	0.85	a	0.9

NSR-10 Numeral A.4.2.1

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (f_i \delta_i)}}$$

**Dirección X**

Joint	OutputCase	U1	U2	d	mi	fi	mi*di2	fi*di
Text	Text	m	m	m	kg	N		
C442	FT1x	0.00004	-7E-08	0.000040	2318162	20000	0.004	0.800
C443	FT1x	0.000129	-2.2E-07	0.000129	2318162	40000	0.039	5.160
C444	FT1x	0.000244	-4.2E-07	0.000244	2318162	60000	0.138	14.640
C445	FT1x	0.000368	-6.2E-07	0.000368	2318162	80000	0.314	29.440
C446	FT1x	0.000492	-8.1E-07	0.000492	2318162	100000	0.561	49.200
C447	FT1x	0.000609	-9.7E-07	0.000609	1415063	120000	0.525	73.080
							<b>1.580</b>	<b>172.320</b>

T<sub>x</sub>= 0.602

**Dirección Y**

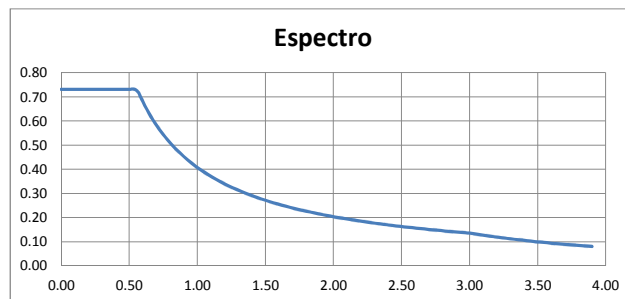
C442	FT1y	-7E-08	0.00004	0.000040	2318162	20000	0.004	0.800
C443	FT1y	-2.2E-07	0.000129	0.000129	2318162	40000	0.039	5.160
C444	FT1y	-4.2E-07	0.000244	0.000244	2318162	60000	0.138	14.640
C445	FT1y	-6.2E-07	0.000368	0.000368	2318162	80000	0.314	29.440
C446	FT1y	-8.1E-07	0.000492	0.000492	2318162	100000	0.561	49.200
C447	FT1y	-9.7E-07	0.000609	0.000609	1415063	120000	0.525	73.080
							<b>1.580</b>	<b>172.320</b>

T<sub>y</sub>= 0.602


**Espectro**

Bogotá - Piedemonte B -Decreto 523 2010 Microzonificación Bogotá

Aceleración horizontal pico efectiva, Aa	0.15
Velocidad horizontal pico efectiva, Av	0.20
Coefficiente de amplificación de aceleración de períodos cortos, Fa	1.95
Coefficiente de amplificación de aceleración de períodos intermedios, Fv	1.70
Coefficiente de Importancia (I) =	1.00 (NSR-10 TABLA A.2-4)
T <sub>c</sub> =	0.56 s
T <sub>L</sub> =	3.00 s





	ANEXO 1.6 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometria	M2	Archivos SAP:	M2-FHEQ-L10-DR.\$2k
	Losa	L10	Archivos .dwg:	M2-MOD-L10-DR.\$2k
	Diafragma	Rígido		ANX2-M2.DWG

**Fuerza Horizontal Equivalente**

	T	Sa	Vs
Dirección X	0.602	0.6781	87.709
Dirección Y	0.602	0.6781	87.709

Nivel	Masa	H	H <sup>k</sup>	MiH <sup>k</sup>	Cvx	Fx	Fy
3	2,318,162	3	3	6,954,486	0.054	4,700	4,700
6	2,318,162	6	6	13,908,973	0.107	9,399	9,399
9	2,318,162	9	9	20,863,459	0.161	14,099	14,099
12	2,318,162	12	12	27,817,945	0.214	18,799	18,799
15	2,318,162	15	15	34,772,431	0.268	23,499	23,499
18	1,415,063	18	18	25,471,125	0.196	17,213	17,213
				<b>129,788,420</b>	<b>1.000</b>	<b>87,709</b>	<b>87,709</b>

$$F_x = C_{vx} V_s$$

$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)}$$

$$V_s = S_a g M$$

$$k = 1$$

**Factores de corrección para análisis modal**

Regular  
Fmodal/Feq> **80%**

	Vs	Vs (Sap)	%	>	Corrección
Dirección X	87,709	63,440	0.72	Corrección	1.11
Dirección Y	87,709	63,438	0.72	Corrección	1.11

**Aceleración en los diafragmas**

NSR-10 A3.6.8.2

As	0.293	hn	18
Sax	0.678	heq	13.5
Say	0.678		

Nivel	hi	aix	aiy
1	3	0.378	0.378
2	6	0.464	0.464
3	9	0.550	0.550
4	12	0.635	0.635
5	15	0.753	0.753
6	18	0.904	0.904

$$a_i = A_s + \frac{(S_a - A_s) h_i}{h_{eq}} \quad h_i \leq h_{eq}$$

$$a_i = S_a \frac{h_i}{h_{eq}} \quad h_i \geq h_{eq}$$

**Aceleración en los diafragmas ASCE**

0.69

0.69

Nivel	hi	Wi
1	3	22,734
2	6	22,734
3	9	22,734
4	12	22,734
5	15	22,734
6	18	13,877
		127,545

F <sub>ix</sub>	a <sub>ix</sub>	a <sub>ixdiseño</sub>
4,700	0.688	0.271
9,399	0.792	0.271
14,099	0.897	0.271
18,799	1.003	0.271
23,499	1.112	0.271
17,213	1.240	0.271
	87,709	

F <sub>iy</sub>	a <sub>iy</sub>	a <sub>iydiseño</sub>
4,700	0.688	0.271
9,399	0.792	0.271
14,099	0.897	0.271
18,799	1.003	0.271
23,499	1.112	0.271
17,213	1.240	0.271
	87,709	

	Dir X	Dir Y
0.2S <sub>DS</sub> le	0.136	0.136
0.4S <sub>DS</sub> le	0.271	0.271

The force determined from Eq. 12.10-1 shall not be less than

$$F_{px} = 0.2S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-2)$$

The force determined from Eq. 12.10-1 need not exceed


$$F_{px} = 0.4S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-3)$$

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n w_i} w_{px} \quad (12.10-1)$$

F<sub>px</sub> = the diaphragm design force  
F<sub>i</sub> = the design force applied to Level i  
w<sub>i</sub> = the weight tributary to Level i  
w<sub>px</sub> = the weight tributary to the diaphragm at Level x

**Derivas máximas obtenidas (cm)**

Piso	FHEq
3	0.964
6	2.105
9	2.692
12	2.878
15	2.800
18	2.591

	ANEXO 1.7 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometría	M3	Archivos SAP:	M3-FHEQ-L10-DR.\$2k
	Losa	L10	Archivos .dwg:	M3-MOD-L10-DR.\$2k
	Diafragma	Rígido		ANX2-M3.DWG

**Peso Del edificio**

	Cantidad	L	b	h	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 0-0.5	Niveles 2-5	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 6
Columnas centrales	33	3	0.75	0.75	24.00	668.25	1,337	24.00	668
Columnas borde x	13	3	3.5	0.35	24.00	573.3	1,147	24.00	573
Columnas borde y	13	3	3.5	0.35	24.00	573.3	1,147	24.00	573
Columnas esquina	6	3	1.10	1.10	24.00	261.36	523	24.00	261
Vigas	112	7	0.35	0.45	24.00		2,964	24.00	2,964
Viguetas	96	7	0.2	0.45	24.00		1,452	24.00	1,452
Losa	48	7	7	1	6.28		14,771	3.28	7,715
						<b>2,076</b>	<b>23,338</b>		<b>14,206</b>
Peso									
Masa kg						211,713	2,379,797		1,448,578

Peso total del edificio	132.972	kN
Masa del edificio	13.559	ton
Peso Según Sap	132.972	kN
error	0.00%	

**Cálculo del periodo**

Cu	1.342
Av	0.2
Fv	1.7
C <sub>u</sub> *T <sub>a</sub>	0.85

Ta	0.634
Ct	0.047
h	18
a	0.9

NSR-10 Numeral A.4.2.1

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (f_i \delta_i)}}$$

**Dirección X**

Joint	OutputCase	U1	U2	d	m <sub>i</sub>	f <sub>i</sub>	m <sub>i</sub> <sup>2</sup> d <sub>i</sub> <sup>2</sup>	f <sub>i</sub> <sup>2</sup> d <sub>i</sub>
Text	Text	m	m	m	kg	N		
C456	FT1x	0.000035	-3E-07	0.000035	2379797	20000	0.003	0.700
C457	FT1x	0.000112	-1E-06	0.000112	2379797	40000	0.030	4.480
C458	FT1x	0.000214	-1.9E-06	0.000214	2379797	60000	0.109	12.841
C459	FT1x	0.000325	-2.9E-06	0.000325	2379797	80000	0.251	26.001
C460	FT1x	0.000435	-3.8E-06	0.000435	2379797	100000	0.450	43.502
C461	FT1x	0.000541	-4.6E-06	0.000541	1448578	120000	0.424	64.922
							<b>1.268</b>	<b>152.446</b>

T<sub>x</sub>= 0.573

**Dirección Y**

C456	FT1y	-3E-07	0.000035	0.000035	2379797	20000	0.003	0.700
C457	FT1y	-1E-06	0.000112	0.000112	2379797	40000	0.030	4.480
C458	FT1y	-1.9E-06	0.000214	0.000214	2379797	60000	0.109	12.841
C459	FT1y	-2.9E-06	0.000325	0.000325	2379797	80000	0.251	26.001
C460	FT1y	-3.8E-06	0.000435	0.000435	2379797	100000	0.450	43.502
C461	FT1y	-4.6E-06	0.000541	0.000541	1448578	120000	0.424	64.922
							<b>1.268</b>	<b>152.446</b>

T<sub>y</sub>= 0.573

**Espectro**

Bogotá - Piedemonte B -Decreto 523 2010 Microzonificación Bogotá

Aceleración horizontal pico efectiva, A<sub>a</sub>  
Velocidad horizontal pico efectiva, A<sub>v</sub>

Coefficiente de amplificación de aceleración de períodos cortos, F<sub>a</sub>  
Coefficiente de amplificación de aceleración de períodos intermedios, F<sub>v</sub>

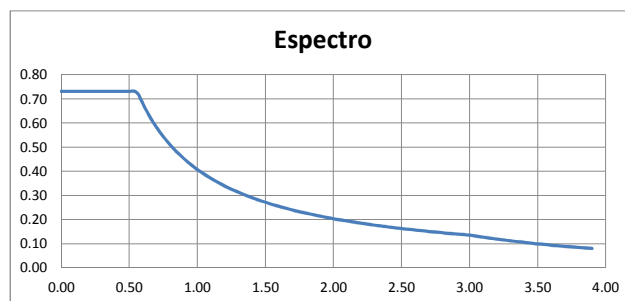
Coefficiente de Importancia (I) =


T<sub>c</sub> =

T<sub>L</sub> =

0.15
0.20
1.95
1.70
1.00
0.56 s
3.00 s

(NSR-10 TABLA A.2-4)



	ANEXO 1.7 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometria	M3	Archivos SAP:	M3-FHEQ-L10-DR.\$2k
	Losa	L10	Archivos .dwg:	M3-MOD-L10-DR.\$2k
	Diafragma	Rígido		ANX2-M3.DWG

**Fuerza Horizontal Equivalente**

	T	Sa	Vs
Dirección X	0.573	0.7121	94.694
Dirección Y	0.573	0.7121	94.694

Nivel	Masa	H	H <sup>k</sup>	MiH <sup>k</sup>	Cvx	Fx	Fy
3	2,379,797	3	3	7,139,392	0.054	5,077	5,077
6	2,379,797	6	6	14,278,784	0.107	10,154	10,154
9	2,379,797	9	9	21,418,176	0.161	15,231	15,231
12	2,379,797	12	12	28,557,568	0.214	20,307	20,307
15	2,379,797	15	15	35,696,960	0.268	25,384	25,384
18	1,448,578	18	18	26,074,409	0.196	18,542	18,542
				<b>133,165,290</b>	<b>1.000</b>	<b>94,694</b>	<b>94,694</b>

$$F_x = C_{vx} V_s$$

$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)}$$

$$V_s = S_a g M$$

$$k = 1$$

**Factores de corrección para análisis modal**

Regular  
Fmodal/Feq > **90%**

	Vs	Vs (Sap)	%	>	Corrección
Dirección X	94,694	65,405	0.69	Correccion	1.30
Dirección Y	94,694	65,396	0.69	Correccion	1.30

**Aceleración en los diafragmas** NSR-10 A3.6.8.2

As	0.293	hn	18
Sax	0.712	heq	13.5
Say	0.712		

Nivel	hi	aix	aiy
1	3	0.386	0.386
2	6	0.479	0.479
3	9	0.572	0.572
4	12	0.666	0.666
5	15	0.791	0.791
6	18	0.950	0.950

$$a_i = A_s + \frac{(S_a - A_s) h_i}{h_{eq}} \quad h_i \leq h_{eq}$$

$$a_i = S_a \frac{h_i}{h_{eq}} \quad h_i \geq h_{eq}$$

**Aceleración en los diafragmas ASCE**

**0.72**

**0.72**

Nivel	hi	Wi
1	3	23,338
2	6	23,338
3	9	23,338
4	12	23,338
5	15	23,338
6	18	14,206
		<b>130,896</b>

F <sub>ix</sub>	a <sub>ix</sub>	a <sub>ixdiseño</sub>
5,077	0.723	0.285
10,154	0.833	0.285
15,231	0.944	0.285
20,307	1.055	0.285
25,384	1.170	0.285
18,542	1.305	0.285
	<b>94,694</b>	

F <sub>iy</sub>	a <sub>iy</sub>	a <sub>iydiseño</sub>
5,077	0.723	0.285
10,154	0.833	0.285
15,231	0.944	0.285
20,307	1.055	0.285
25,384	1.170	0.285
18,542	1.305	0.285
	<b>94,694</b>	

	Dir X	Dir Y
0.2S <sub>DS</sub> le	0.142	0.142
0.4S <sub>DS</sub> le	0.285	0.285

The force determined from Eq. 12.10-1 shall not be less than

$$F_{px} = 0.2S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-2)$$

The force determined from Eq. 12.10-1 need not exceed


$$F_{px} = 0.4S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-3)$$

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n w_i} w_{px} \quad (12.10-1)$$

F<sub>px</sub> = the diaphragm design force  
F<sub>i</sub> = the design force applied to Level i  
w<sub>i</sub> = the weight tributary to Level i  
w<sub>px</sub> = the weight tributary to the diaphragm at Level x

**Derivas máximas obtenidas (cm)**

Piso	FHEq
3	0.995
6	2.207
9	2.845
12	3.067
15	3.010
18	2.813

	ANEXO 1.8 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometría	M4	Archivos SAP:	M4-FHEQ-L10-DR.\$2k
	Losa	L10	Archivos .dwg:	M4-MOD-L10-DR.\$2k
	Diafragma	Rígido		ANX2-M4.DWG

**Peso Del edificio**

	Cantidad	L	b	h	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 0-0.5	Niveles 2-5	(kg/m3)	Nivel 6
Columnas centrales	30	3.00	0.750	0.750	24.00	607.5	1,215	24.00	608
Columnas borde x	15	3.00	3.500	0.550	24.00	1039.5	2,079	24.00	1,040
Columnas borde y	17	3.00	3.500	0.550	24.00	1178.1	2,356	24.00	1,178
Columnas esquina	6	3.00	1.100	1.100	24.00	261.36	523	24.00	261
Vigas	115	7.00	0.350	0.450	24.00		3,043	24.00	3,043
Viguetas	96	7.00	0.200	0.450	24.00		1,452	24.00	1,452
Losa	48	7.00	7.000	1.000	6.28		14,771	3.28	7,715
Peso						<b>3,086</b>	<b>25,438</b>	<b>15,295</b>	
Masa kg						314,729	2,593,924	1,559,689	

Peso total del edificio	145,571	kN
Masa del edificio	14,844	ton
Peso Según Sap	145,571	kN
error	0.00%	

**Cálculo del periodo**

Cu	1.342
Av	0.2
Fv	1.7
C <sub>u</sub> *T <sub>a</sub>	0.85

Ta	0.634
Ct	0.047
h	18
a	0.9

NSR-10 Numeral A.4.2.1

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (f_i \delta_i)}}$$

**Dirección X**

Joint	OutputCase	U1	U2	d	m <sub>i</sub>	f <sub>i</sub>	m <sub>i</sub> <sup>2</sup> d <sub>i</sub> <sup>2</sup>	f <sub>i</sub> <sup>2</sup> d <sub>i</sub>
Text	Text	m	m	m	kg	N		
C477	FT1x	0.00002	-6.2E-07	0.000020	2593924	20000	0.001	0.400
C478	FT1x	0.000066	-2E-06	0.000066	2593924	40000	0.011	2.641
C479	FT1x	0.000125	-3.7E-06	0.000125	2593924	60000	0.041	7.503
C480	FT1x	0.00019	-5.5E-06	0.000190	2593924	80000	0.094	15.206
C481	FT1x	0.000254	-7.2E-06	0.000254	2593924	100000	0.167	25.410
C482	FT1x	0.000315	-8.7E-06	0.000315	1559689	120000	0.155	37.814
							<b>0.469</b>	<b>88.976</b>

T<sub>x</sub>= 0.456

**Dirección Y**

C477	FT1y	-6.2E-07	0.000018	0.000018	2593924	20000	0.001	0.360
C478	FT1y	-2E-06	0.000058	0.000058	2593924	40000	0.009	2.321
C479	FT1y	-3.7E-06	0.000111	0.000111	2593924	60000	0.032	6.664
C480	FT1y	-5.5E-06	0.000168	0.000168	2593924	80000	0.073	13.447
C481	FT1y	-7.2E-06	0.000226	0.000226	2593924	100000	0.133	22.611
C482	FT1y	-8.7E-06	0.000281	0.000281	1559689	120000	0.123	33.736
							<b>0.371</b>	<b>79.140</b>

T<sub>y</sub>= 0.430

**Espectro**

Bogotá - Piedemonte B -Decreto 523 2010 Microzonificación Bogotá

Aceleración horizontal pico efectiva, Aa  
Velocidad horizontal pico efectiva, Av

0.15
0.20

Coficiente de amplificación de aceleración de períodos cortos, Fa  
Coficiente de amplificación de aceleración de períodos intermedios, Fv

1.95
1.70

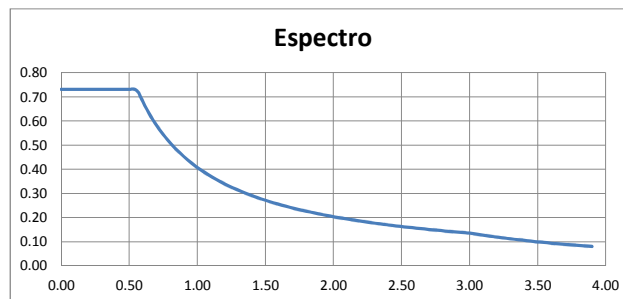
Coficiente de Importancia (I) =


1.00
0.56 s
3.00 s

(NSR-10 TABLA A.2-4)

T<sub>c</sub> =

T<sub>L</sub> =



	ANEXO 1.8 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometría	M4	Archivos SAP:	M4-FHEQ-L10-DR.\$2k
	Losa	L10	Archivos .dwg:	M4-MOD-L10-DR.\$2k
	Diafragma	Rígido		ANX2-M4.DWG

**Fuerza Horizontal Equivalente**

	T	Sa	Vs
Dirección X	0.456	0.7313	106,449
Dirección Y	0.430	0.7313	106,449

Nivel	Masa	H	H <sup>k</sup>	MiH <sup>k</sup>	Cvx	Fx	Fy
3	2,593,924	3	3	7,781,772	0.054	5,721	5,721
6	2,593,924	6	6	15,563,543	0.107	11,441	11,441
9	2,593,924	9	9	23,345,315	0.161	17,162	17,162
12	2,593,924	12	12	31,127,086	0.215	22,883	22,883
15	2,593,924	15	15	38,908,858	0.269	28,603	28,603
18	1,559,689	18	18	28,074,398	0.194	20,639	20,639
				<b>144,800,971</b>	<b>1.000</b>	<b>106,449</b>	<b>106,449</b>

$$F_x = C_{vx} V_s$$

$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)}$$

$$V_s = S_a g M$$

$$k = 1$$

**Factores de corrección para análisis modal**

Regular  
Fmodal/Feq > **90%**

	Vs	Vs (Sap)	%	>	Corrección
Dirección X	106,449	55,965	0.53	Corrección	1.71
Dirección Y	106,449	58,484	0.55	Corrección	1.64

**Aceleración en los diafragmas** NSR-10 A3.6.8.2

As	0.2925	hn	18
Sax	0.7313	heq	13.5
Say	0.7313		

Nivel	hi	aix	aiy
1	3	0.390	0.390
2	6	0.488	0.488
3	9	0.585	0.585
4	12	0.683	0.683
5	15	0.813	0.813
6	18	0.975	0.975

$$a_i = A_s + \frac{(S_a - A_s) h_i}{h_{eq}} \quad h_i \leq h_{eq}$$

$$a_i = S_a \frac{h_i}{h_{eq}} \quad h_i \geq h_{eq}$$

**Aceleración en los diafragmas ASCE**

**0.75**

**0.75**

Nivel	hi	Wi
1	3	25,438
2	6	25,438
3	9	25,438
4	12	25,438
5	15	25,438
6	18	15,295
		<b>142,485</b>

F <sub>ix</sub>	a <sub>ix</sub>	a <sub>ixdiseño</sub>
5,721	0.747	0.293
11,441	0.861	0.293
17,162	0.975	0.293
22,883	1.090	0.293
28,603	1.209	0.293
20,639	1.349	0.293
	<b>106,449</b>	

F <sub>iy</sub>	a <sub>iy</sub>	a <sub>iydiseño</sub>
5,721	0.747	0.293
11,441	0.861	0.293
17,162	0.975	0.293
22,883	1.090	0.293
28,603	1.209	0.293
20,639	1.349	0.293
	<b>106,449</b>	

	Dir X	Dir Y
0.2S <sub>DS</sub> le	0.146	0.146
0.4S <sub>DS</sub> le	0.293	0.293

The force determined from Eq. 12.10-1 shall not be less than

$$F_{px} = 0.2S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-2)$$

The force determined from Eq. 12.10-1 need not exceed


$$F_{px} = 0.4S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-3)$$

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n w_i} w_{px} \quad (12.10-1)$$

F<sub>px</sub> = the diaphragm design force  
F<sub>i</sub> = the design force applied to Level i  
w<sub>i</sub> = the weight tributary to Level i  
w<sub>px</sub> = the weight tributary to the diaphragm at Level x

**Derivas máximas obtenidas (cm)**

Piso	FHEq
3	0.930
6	2.114
9	2.768
12	3.034
15	3.029
18	2.882

	ANEXO 1.9 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometría	M1	Archivos SAP:	M1-FHEQ-L21-DF.\$2k
	Losa	L21		M1-MOD-L21-DF.\$2k
	Diafragma	Flexible	Archivos .dwg:	ANX2-M1.DWG

**Peso Del edificio**

	Cantidad	L	b	h	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 0-0.5	Niveles 2-5	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 6
Columnas centrales	35	3	0.75	0.75	24.00	708.75	1,418	24.00	709
Columnas borde x	14	3	3.50	0.35	24.00	617.4	1,235	24.00	617
Columnas borde y	10	3	3.50	0.35	24.00	441	882	24.00	441
Columnas esquina	4	3	0.75	0.75	24.00	81	162	24.00	81
Vigas	110	7	0.35	0.40	24.00		2,587	24.00	2,587
Viguetas							-	0.00	-
Losa	48	7	7	1.00	8.92		20,980	5.92	13,924
Peso						<b>1,848</b>	<b>27,263</b>	<b>18,359</b>	
Masa kg						188,457	2,780,065	1,872,102	

Peso total del edificio	156,524	kN
Masa del edificio	15,961	ton
Peso Según Sap	156,524	kN
error	0.00%	

**Cálculo del periodo**

Cu	1.342	Ta	0.634
Av	0.2	Ct	0.047
Fv	1.7	h	18
Cu * Ta	0.85	a	0.9

NSR-10 Numeral A.4.2.1

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (f_i \delta_i)}}$$

**Dirección X**

Joint	OutputCase	U1	U2	d	mi	fi	mi*di <sup>2</sup>	fi*di
Text	Text	m	m	m	kg	N		
C219	FT1x	0.000037	-4.314E-17	0.000037	2780065	20000	0.004	0.740
C220	FT1x	0.000112	-1.369E-16	0.000112	2780065	40000	0.035	4.480
C221	FT1x	0.000206	-2.548E-16	0.000206	2780065	60000	0.118	12.360
C222	FT1x	0.000307	-3.818E-16	0.000307	2780065	80000	0.262	24.560
C223	FT1x	0.000406	-5.06E-16	0.000406	2780065	100000	0.458	40.600
C224	FT1x	0.000495	-6.12E-16	0.000495	1872102	120000	0.459	59.400
							<b>1.336</b>	<b>142.140</b>

Tx= 0.609

**Dirección X**

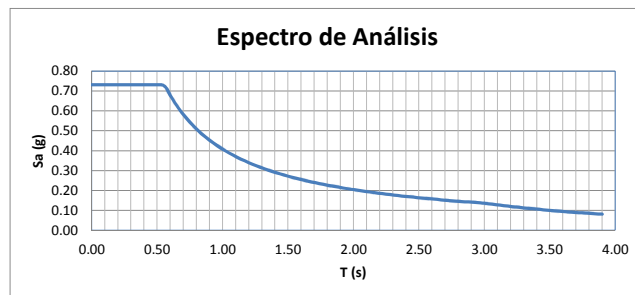
Joint	OutputCase	U1	U2	d	mi	fi	mi*di <sup>2</sup>	fi*di
Text	Text	m	m	m	kg	N		
C219	FT1y	-4.13E-17	0.000048	0.000048	2780065	20000	0.006	0.960
C220	FT1y	-1.33E-16	0.000145	0.000145	2780065	40000	0.058	5.800
C221	FT1y	-2.5E-16	0.000264	0.000264	2780065	60000	0.194	15.840
C222	FT1y	-3.79E-16	0.00039	0.000390	2780065	80000	0.423	31.200
C223	FT1y	-5.08E-16	0.000511	0.000511	2780065	100000	0.726	51.100
C224	FT1y	-6.17E-16	0.000616	0.000616	1872102	120000	0.710	73.920
							<b>2.118</b>	<b>178.820</b>

Ty= 0.684


**Espectro**

Bogotá - Piedemonte B -Decreto 523 2010 Microzonificación Bogotá

Aceleración horizontal pico efectiva, Aa	0.15
Velocidad horizontal pico efectiva, Av	0.20
Coefficiente de amplificación de aceleración de periodos cortos, Fa	1.95
Coefficiente de amplificación de aceleración de periodos intermedios, Fv	1.70
Coefficiente de Importancia (I) =	1.00 (NSR-10 TABLA A.2-4)
Tc =	0.56 s
Tl =	3.00 s





	ANEXO 1.10 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometria	M2	Archivos SAP:	M2-FHEQ-L21-DF.\$2k
	Losa	L21	Archivos .dwg:	M2-MOD-L21-DF.\$2k
	Diafragma	Flexible		ANX2-M2.DWG

**Peso Del edificio**

	Cantidad	L	b	h	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 0-0.5	Niveles 2-5	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 6
Columnas centrales	35	3	0.75	0.75	24.00	708.75	1,418	24.00	709
Columnas borde x	11	3	3.5	0.35	24.00	485.1	970	24.00	485
Columnas borde y	11	3	3.5	0.35	24.00	485.1	970	24.00	485
Columnas esquina	6	3	0.75	0.75	24.00	121.5	243	24.00	122
Vigas	110	7	0.35	0.4	24.00		2,587	24.00	2,587
Viguetas							-	0.00	-
Losa	48	7	7	1	8.92		20,980	5.92	13,924
Peso						<b>1,800</b>	<b>27,168</b>	<b>18,311</b>	
Masa kg						183,593	2,770,337	1,867,238	

Peso total del edificio	155,952	kN
Masa del edificio	15,903	ton
Peso Según Sap	155,952	kN
error	0.00%	

**Cálculo del periodo**

Cu	1.342	Ta	0.634
Av	0.2	Ct	0.047
Fv	1.7	h	18
C <sub>u</sub> *T <sub>a</sub>	0.85	a	0.9

NSR-10 Numeral A.4.2.1

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (f_i \delta_i)}}$$

**Dirección X**

Joint	OutputCase	U1	U2	d	m <sub>i</sub>	f <sub>i</sub>	m <sub>i</sub> <sup>2</sup> d <sub>i</sub> <sup>2</sup>	f <sub>i</sub> <sup>2</sup> d <sub>i</sub>
Text	Text	m	m	m	kg	N		
C442	FT1x	0.000045	1.33E-07	0.000045	2770337	20000	0.006	0.9000039
C443	FT1x	0.000136	3.71E-07	0.000136	2770337	40000	0.051	5.4400202
C444	FT1x	0.000247	5.04E-07	0.000247	2770337	60000	0.169	14.820031
C445	FT1x	0.000366	5.47E-07	0.000366	2770337	80000	0.371	29.280033
C446	FT1x	0.000482	4.02E-07	0.000482	2770337	100000	0.644	48.200017
C447	FT1x	0.000584	-3.3E-08	0.000584	1867238	120000	0.637	70.08
							<b>1.877</b>	<b>168.7201</b>

T<sub>x</sub>= 0.663

**Dirección Y**

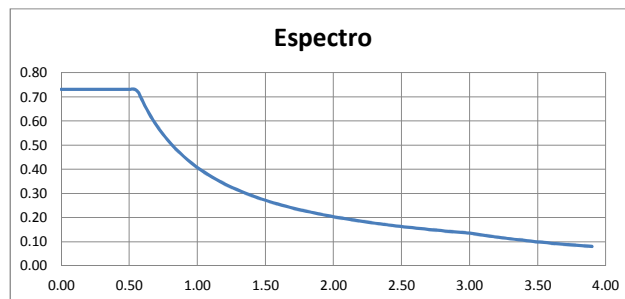
C442	FT1y	1.33E-07	0.000045	0.000045	2770337	20000	0.006	0.9000039
C443	FT1y	3.71E-07	0.000136	0.000136	2770337	40000	0.051	5.4400202
C444	FT1y	5.04E-07	0.000247	0.000247	2770337	60000	0.169	14.820031
C445	FT1y	5.47E-07	0.000366	0.000366	2770337	80000	0.371	29.280033
C446	FT1y	4.02E-07	0.000482	0.000482	2770337	100000	0.644	48.200017
C447	FT1y	-3.3E-08	0.000584	0.000584	1867238	120000	0.637	70.08
							<b>1.877</b>	<b>168.7201</b>

T<sub>y</sub>= 0.663


**Espectro**

Bogotá - Piedemonte B -Decreto 523 2010 Microzonificación Bogotá

Aceleración horizontal pico efectiva, Aa	0.15
Velocidad horizontal pico efectiva, Av	0.20
Coficiente de amplificación de aceleración de períodos cortos, Fa	1.95
Coficiente de amplificación de aceleración de períodos intermedios, Fv	1.70
Coficiente de Importancia (I) =	1.00 (NSR-10 TABLA A.2-4)
T <sub>c</sub> =	0.56 s
T <sub>L</sub> =	3.00 s





	ANEXO 1.10 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometria	M2	Archivos SAP:	M2-FHEQ-L21-DF.\$2k
	Losa	L21		M2-MOD-L21-DF.\$2k
	Diafragma	Flexible	Archivos .dwg:	ANX2-M2.DWG

**Fuerza Horizontal Equivalente**

	T	Sa	Vs
Dirección X	0.663	0.6156	96.000
Dirección Y	0.663	0.6156	96.000

Nivel	Masa	H	H <sup>k</sup>	MiH <sup>k</sup>	Cvx	Fx	Fy
3	2,770.337	3	3	8,311.012	0.053	5.041	5.041
6	2,770.337	6	6	16,622.025	0.105	10.082	10.082
9	2,770.337	9	9	24,933.037	0.158	15.123	15.123
12	2,770.337	12	12	33,244.050	0.210	20.164	20.164
15	2,770.337	15	15	41,555.062	0.263	25.205	25.205
18	1,867.238	18	18	33,610.282	0.212	20.386	20.386
				<b>158,275,469</b>	<b>1.000</b>	<b>96,000</b>	<b>96,000</b>

$$F_x = C_{vx} V_s$$

$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)}$$

$$V_s = S_a g M$$

$$k = 1$$

**Factores de corrección para análisis modal**

Regular  
Fmodal/Feq> **80%**

	Vs	Vs (Sap)	%	>	Corrección
Dirección X	96,000	73,617	0.77	Corrección	1.04
Dirección Y	96,000	73,617	0.77	Corrección	1.04

**Aceleración en los diafragmas** NSR-10 A3.6.8.2

As	0.293	hn	18
Sax	0.616	heq	13.5
Say	0.616		

Nivel	hi	aix	aiy
1	3	0.364	0.364
2	6	0.436	0.436
3	9	0.508	0.508
4	12	0.580	0.580
5	15	0.684	0.684
6	18	0.821	0.821

$$a_i = A_s + \frac{(S_a - A_s) h_i}{h_{eq}} \quad h_i \leq h_{eq}$$

$$a_i = S_a \frac{h_i}{h_{eq}} \quad h_i \geq h_{eq}$$

**Aceleración en los diafragmas ASCE**

0.62

0.62

Nivel	hi	Wi
1	3	27,168
2	6	27,168
3	9	27,168
4	12	27,168
5	15	27,168
6	18	18,311
		154,151

F <sub>ix</sub>	a <sub>ix</sub>	a <sub>ixdiseño</sub>
5.041	0.623	0.246
10.082	0.716	0.246
15.123	0.810	0.246
20.164	0.905	0.246
25.205	1.002	0.246
20.386	1.113	0.246
	96,000	

F <sub>iy</sub>	a <sub>iy</sub>	a <sub>iydiseño</sub>
5.041	0.623	0.246
10.082	0.716	0.246
15.123	0.810	0.246
20.164	0.905	0.246
25.205	1.002	0.246
20.386	1.113	0.246
	96,000	

	Dir X	Dir Y
0.2S <sub>DS</sub> le	0.123	0.123
0.4S <sub>DS</sub> le	0.246	0.246

The force determined from Eq. 12.10-1 shall not be less than

$$F_{px} = 0.2S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-2)$$

The force determined from Eq. 12.10-1 need not exceed


$$F_{px} = 0.4S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-3)$$

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n w_i} w_{px} \quad (12.10-1)$$

$F_{px}$  = the diaphragm design force  
 $F_i$  = the design force applied to Level  $i$   
 $w_i$  = the weight tributary to Level  $i$   
 $w_{px}$  = the weight tributary to the diaphragm at Level  $x$

**Derivas máximas obtenidas (cm)**

Piso	FHEq
3	0.927
6	2.003
9	2.488
12	2.632
15	2.533
18	2.311

	ANEXO 1.11 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometria	M3	Archivos SAP:	M3-FHEQ-L21-DF.\$2k
	Losa	L21		M3-MOD-L21-DF.\$2k
	Diafragma	Flexible	Archivos .dwg:	ANX2-M3.DWG

**Peso Del edificio**

	Cantidad	L	b	h	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 0-0.5	Niveles 2-5	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 6
Columnas centrales	33	3	0.75	0.75	24.00	668.25	1,337	24.00	668
Columnas borde x	13	3	3.5	0.35	24.00	573.3	1,147	24.00	573
Columnas borde y	13	3	3.5	0.35	24.00	573.3	1,147	24.00	573
Columnas esquina	6	3	1.10	1.10	24.00	261.36	523	24.00	261
Vigas	112	7	0.4	0.45	24.00		3,387	24.00	3,387
Viguetas							-	0.00	-
Losa	48	7	7	1	8.92		20,980	5.92	13,924
Peso						<b>2,076</b>	<b>28,519</b>	<b>19,387</b>	
Masa kg						211,713	2,908,120	1,976,901	

Peso total del edificio	164,059	kN
Masa del edificio	16,729	ton
Peso Según Sap	164,059	kN
error	0.00%	

**Cálculo del periodo**

Cu	1.342	Ta	0.634
Av	0.20	Ct	0.047
Fv	1.70	h	18
C <sub>u</sub> *T <sub>a</sub>	0.85	a	0.9

NSR-10 Numeral A.4.2.1

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (f_i \delta_i)}}$$

**Dirección X**

Joint	OutputCase	U1	U2	d	mi	fi	mi*di2	fi*di
Text	Text	m	m	m	kg	N		
C456	FT1x	0.000038	4E-07	0.000038	2908120	20000	0.004	0.760
C457	FT1x	0.000111	1.32E-06	0.000111	2908120	40000	0.036	4.440
C458	FT1x	0.0002	2.55E-06	0.000200	2908120	60000	0.116	12.001
C459	FT1x	0.000295	3.75E-06	0.000295	2908120	80000	0.253	23.602
C460	FT1x	0.000385	4.96E-06	0.000385	2908120	100000	0.431	38.503
C461	FT1x	0.000465	6.68E-06	0.000465	1976901	120000	0.428	55.806
							<b>1.268</b>	<b>135.112</b>

Tx= 0.609

**Dirección Y**

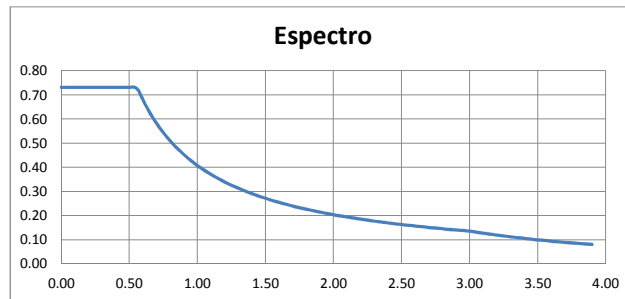
C456	FT1y	4E-07	0.000038	0.000038	2908120	20000	0.004	0.760
C457	FT1y	1.32E-06	0.000111	0.000111	2908120	40000	0.036	4.440
C458	FT1y	2.55E-06	0.0002	0.000200	2908120	60000	0.116	12.001
C459	FT1y	3.75E-06	0.000295	0.000295	2908120	80000	0.253	23.602
C460	FT1y	4.96E-06	0.000385	0.000385	2908120	100000	0.431	38.503
C461	FT1y	6.68E-06	0.000465	0.000465	1976901	120000	0.428	55.806
							<b>1.268</b>	<b>135.112</b>


Ty= 0.609

**Espectro**

Bogotá - Piedemonte B -Decreto 523 2010 Microzonificación Bogotá

Aceleración horizontal pico efectiva, Aa	0.15
Velocidad horizontal pico efectiva, Av	0.20
Coficiente de amplificación de aceleración de períodos cortos, Fa	1.95
Coficiente de amplificación de aceleración de períodos intermedios, Fv	1.70
Coficiente de Importancia (I) =	1.00 (NSR-10 TABLA A.2-4)
T <sub>c</sub> =	0.56 s
T <sub>L</sub> =	3.00 s



	ANEXO 1.11 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometria	M3	Archivos SAP:	M3-FHEQ-L21-DF.\$2k
	Losa	L21		M3-MOD-L21-DF.\$2k
	Diafragma	Flexible	Archivos .dwg:	ANX2-M3.DWG

**Fuerza Horizontal Equivalente**

	T	Sa	Vs
Dirección X	0.609	0.6703	109.961
Dirección Y	0.609	0.6703	109.961

Nivel	Masa	H	H <sup>k</sup>	MiH <sup>k</sup>	Cvx	Fx	Fy
3	2,908,120	3	3	8,724,361	0.052	5,764	5,764
6	2,908,120	6	6	17,448,723	0.105	11,527	11,527
9	2,908,120	9	9	26,173,084	0.157	17,291	17,291
12	2,908,120	12	12	34,897,446	0.210	23,054	23,054
15	2,908,120	15	15	43,621,807	0.262	28,818	28,818
18	1,976,901	18	18	35,584,225	0.214	23,508	23,508
				<b>166,449,647</b>	<b>1.000</b>	<b>109,961</b>	<b>109,961</b>

$$F_x = C_{vx} V_s$$

$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)}$$

$$V_s = S_a g M$$

$$k = 1$$

**Factores de corrección para análisis modal**

Regular  
Fmodal/Feq > **90%**

	Vs	Vs (Sap)	%	>	Corrección
Dirección X	109,961	82,048	0.75	Corrección	1.21
Dirección Y	109,961	82,048	0.75	Corrección	1.21

**Aceleración en los diafragmas** NSR-10 A3.6.8.2

As	0.2925	hn	18
Sax	0.6703	heq	13.5
Say	0.6703		

Nivel	hi	aix	aiy
1	3	0.376	0.376
2	6	0.460	0.460
3	9	0.544	0.544
4	12	0.628	0.628
5	15	0.745	0.745
6	18	0.894	0.894

$$a_i = A_s + \frac{(S_a - A_s) h_i}{h_{eq}} \quad h_i \leq h_{eq}$$

$$a_i = S_a \frac{h_i}{h_{eq}} \quad h_i \geq h_{eq}$$

**Aceleración en los diafragmas ASCE**

**0.68**

**0.68**

Nivel	hi	Wi
1	3	28,519
2	6	28,519
3	9	28,519
4	12	28,519
5	15	28,519
6	18	19,387
		<b>161,983</b>

F <sub>ix</sub>	a <sub>ix</sub>	a <sub>ixdiseño</sub>
5,764	0.679	0.268
11,527	0.781	0.268
17,291	0.883	0.268
23,054	0.986	0.268
28,818	1.092	0.268
23,508	1.213	0.268
	<b>109,961</b>	

F <sub>iy</sub>	a <sub>iy</sub>	a <sub>iydiseño</sub>
5,764	0.679	0.268
11,527	0.781	0.268
17,291	0.883	0.268
23,054	0.986	0.268
28,818	1.092	0.268
23,508	1.213	0.268
	<b>109,961</b>	

	Dir X	Dir Y
0.2S <sub>DS</sub> le	0.134	0.134
0.4S <sub>DS</sub> le	0.268	0.268

The force determined from Eq. 12.10-1 shall not be less than

$$F_{px} = 0.2S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-2)$$

The force determined from Eq. 12.10-1 need not exceed


$$F_{px} = 0.4S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-3)$$

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n w_i} w_{px} \quad (12.10-1)$$

F<sub>px</sub> = the diaphragm design force  
 F<sub>i</sub> = the design force applied to Level i  
 w<sub>i</sub> = the weight tributary to Level i  
 w<sub>px</sub> = the weight tributary to the diaphragm at Level x

**Derivas máximas obtenidas (cm)**

Piso	FHEq
3	0.868
6	1.901
9	2.366
12	2.476
15	2.358
18	2.152

	ANEXO 1.12 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometria	M4	Archivos SAP:	M4-FHEQ-L21-DF.\$2k
	Losa	L21	Archivos .dwg:	M4-MOD-L21-DF.\$2k
	Diafragma	Flexible		ANX2-M4.DWG

**Peso Del edificio**

	Cantidad	L	b	h	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 0-0.5	Niveles 2-5	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 6
Columnas centrales	30	3	0.75	0.75	24.00	607.5	1,215	24.00	608
Columnas borde x	15	3	3.5	0.55	24.00	1039.5	2,079	24.00	1,040
Columnas borde y	17	3	3.5	0.55	24.00	1178.1	2,356	24.00	1,178
Columnas esquina	6	3	1.1	1.1	24.00	261.36	523	24.00	261
Vigas	115	7	0.4	0.45	24.00		3,478	24.00	3,478
Viguetas									
Losa	48	7	7	1	8.92		20,980	5.92	13,924
Peso						<b>3,086</b>	<b>30,630</b>	<b>20,488</b>	
Masa kg						314,729	3,123,403	2,089,168	

Peso total del edificio	176,726	kN
Masa del edificio	18,021	ton
Peso Según Sap	176,726	kN
error	0.00%	

**Cálculo del periodo**

Cu	1.34
Av	0.20
Fv	1.70
C <sub>u</sub> *T <sub>a</sub>	0.85

Ta	0.634
Ct	0.047
h	18
a	0.9

NSR-10 Numeral A.4.2.1

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (f_i \delta_i)}}$$

**Dirección X**

Joint	OutputCase	U1	U2	d	mi	fi	mi*di2	fi*di
Text	Text	m	m	m	kg	N		
C477	FT1x	0.000041	-1.1E-06	0.000041	3123403	20000	0.005	0.820
C478	FT1x	0.000113	-2.8E-06	0.000113	3123403	40000	0.040	4.521
C479	FT1x	0.000198	-4.1E-06	0.000198	3123403	60000	0.123	11.883
C480	FT1x	0.000287	-4.6E-06	0.000287	3123403	80000	0.257	22.963
C481	FT1x	0.000373	-4.1E-06	0.000373	3123403	100000	0.435	37.302
C482	FT1x	0.000452	-3.8E-06	0.000452	2089168	120000	0.427	54.242
							<b>1.286</b>	<b>131.731</b>

Tx= 0.621

**Dirección Y**

C477	FT1y	-1.1E-06	0.000027	0.000027	3123403	20000	0.002	0.540
C478	FT1y	-3E-06	0.000079	0.000079	3123403	40000	0.020	3.162
C479	FT1y	-4.3E-06	0.000145	0.000145	3123403	60000	0.066	8.704
C480	FT1y	-4.9E-06	0.000216	0.000216	3123403	80000	0.146	17.284
C481	FT1y	-4.5E-06	0.000287	0.000287	3123403	100000	0.257	28.704
C482	FT1y	-3.1E-06	0.000356	0.000356	2089168	120000	0.265	42.722
							<b>0.755</b>	<b>101.116</b>

Ty= 0.543

**Espectro**

Bogotá - Piedemonte B -Decreto 523 2010 Microzonificación Bogotá

Aceleración horizontal pico efectiva, Aa  
Velocidad horizontal pico efectiva, Av

0.15
0.20

Coefficiente de amplificación de aceleración de períodos cortos, Fa  
Coefficiente de amplificación de aceleración de períodos intermedios, Fv

1.95
1.70

Coefficiente de Importancia (I) =

1.00
------

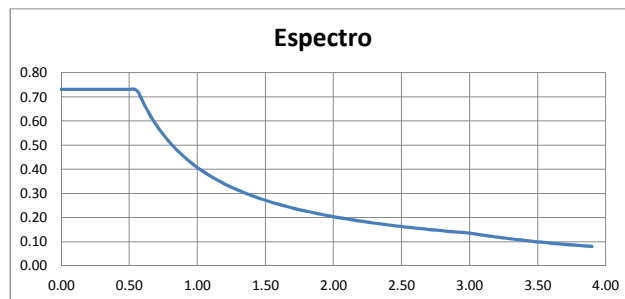
(NSR-10 TABLA A.2-4)


T<sub>c</sub> =

0.56 s
--------

T<sub>L</sub> =

3.00 s
--------



	ANEXO 1.12 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometria	M4	Archivos SAP:	M4-FHEQ-L21-DF.\$2k
	Losa	L21		M4-MOD-L21-DF.\$2k
	Diafragma	Flexible	Archivos .dwg:	ANX2-M4.DWG

**Fuerza Horizontal Equivalente**

	T	Sa	Vs
Dirección X	0.621	0.6571	116,125
Dirección Y	0.543	0.7313	129,231

Nivel	Masa	H	H <sup>k</sup>	MiH <sup>k</sup>	Cvx	Fx	Fy
3	3,123,403	3	3	9,370,210	0.053	6,108	6,797
6	3,123,403	6	6	18,740,420	0.105	12,215	13,594
9	3,123,403	9	9	28,110,630	0.158	18,323	20,391
12	3,123,403	12	12	37,480,840	0.210	24,430	27,188
15	3,123,403	15	15	46,851,050	0.263	30,538	33,984
18	2,089,168	18	18	37,605,028	0.211	24,511	27,278
				<b>178,158,178</b>	<b>1.000</b>	<b>116,125</b>	<b>129,231</b>

$$F_x = C_{vx} V_s$$

$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)}$$

$$V_s = S_a g M$$

$$k = 1$$

**Factores de corrección para análisis modal**

Regular  
Fmodal/Feq > **90%**

	Vs	Vs (Sap)	%	>	Corrección
Dirección X	116,125	69,588	0.60	Corrección	1.50
Dirección Y	129,231	72,585	0.56	Corrección	1.60

**Aceleración en los diafragmas** NSR-10 A3.6.8.2

As	0.293	hn	18
Sax	0.657	heq	13.5
Say	0.731		

Nivel	hi	aix	aiy
1	3	0.374	0.390
2	6	0.455	0.488
3	9	0.536	0.585
4	12	0.617	0.683
5	15	0.730	0.813
6	18	0.876	0.975

$$a_i = A_s + \frac{(S_a - A_s) h_i}{h_{eq}} \quad h_i \leq h_{eq}$$

$$a_i = S_a \frac{h_i}{h_{eq}} \quad h_i \geq h_{eq}$$

**Aceleración en los diafragmas ASCE**

**0.67**

**0.74**

Nivel	hi	Wi
1	3	30,630
2	6	30,630
3	9	30,630
4	12	30,630
5	15	30,630
6	18	20,488
		<b>173,640</b>

F <sub>ix</sub>	a <sub>ix</sub>	a <sub>ixdiseño</sub>
6,108	0.669	0.263
12,215	0.769	0.263
18,323	0.870	0.263
24,430	0.972	0.263
30,538	1.077	0.263
24,511	1.196	0.263
	<b>116,125</b>	

F <sub>iy</sub>	a <sub>iy</sub>	a <sub>iydiseño</sub>
6,797	0.744	0.293
13,594	0.856	0.293
20,391	0.969	0.293
27,188	1.082	0.293
33,984	1.198	0.293
27,278	1.331	0.293
	<b>129,231</b>	

	Dir X	Dir Y
0.2S <sub>DSt</sub>	0.131	0.146
0.4S <sub>DSt</sub>	0.263	0.293

The force determined from Eq. 12.10-1 shall not be less than

$$F_{px} = 0.2S_{DSt}w_{px} \quad (12.10-2)$$

The force determined from Eq. 12.10-1 need not exceed


$$F_{px} = 0.4S_{DSt}w_{px} \quad (12.10-3)$$

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n w_i} w_{px} \quad (12.10-1)$$

F<sub>px</sub> = the diaphragm design force  
F<sub>i</sub> = the design force applied to Level i  
w<sub>i</sub> = the weight tributary to Level i  
w<sub>px</sub> = the weight tributary to the diaphragm at Level x

**Derivas máximas obtenidas (cm)**

Piso	FHEq
3	0.862
6	1.944
9	2.486
12	2.672
15	2.617
18	2.447

	ANEXO 1.13 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometria	M1	Archivos SAP:	M1-FHEQ-L21-DR.\$2k
	Losa	L21	Archivos .dwg:	M1-MOD-L21-DR.\$2k
	Diafragma	Rigido		ANX2-M1.DWG

**Peso Del edificio**

	Cantidad	L	b	h	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 0-0.5	Niveles 2-5	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 6
Columnas centrales	35	3	0.75	0.75	24.00	708.75	1,418	24.00	709
Columnas borde x	14	3	3.50	0.35	24.00	617.4	1,235	24.00	617
Columnas borde y	10	3	3.50	0.35	24.00	441	882	24.00	441
Columnas esquina	4	3	0.75	0.75	24.00	81	162	24.00	81
Vigas	110	7	0.35	0.40	24.00		2,587	24.00	2,587
Viguetas							-	0.00	-
Losa	48	7	7	1.00	8.92		20,980	5.92	13,924
Peso						<b>1,848</b>	<b>27,263</b>	<b>18,359</b>	
Masa kg						188,457	2,780,065	1,872,102	

Peso total del edificio	156,524	kN
Masa del edificio	15,961	ton
Peso Según Sap	156,524	kN
error	0.00%	

**Cálculo del periodo**

Cu	1.342	Ta	0.634
Av	0.2	Ct	0.047
Fv	1.7	h	18
Cu * Ta	0.85	a	0.9

NSR-10 Numeral A.4.2.1

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (f_i \delta_i)}}$$

**Dirección X**

Joint	OutputCase	U1	U2	d	mi	fi	mi*di2	fi*di
Text	Text	m	m	m	kg	N		
C219	FT1x	0.000031	-2.032E-17	0.000031	2780065	20000	0.003	0.62
C220	FT1x	0.0001	-6.488E-17	0.000100	2780065	40000	0.028	4
C221	FT1x	0.000188	-1.223E-16	0.000188	2780065	60000	0.098	11.28
C222	FT1x	0.000283	-1.841E-16	0.000283	2780065	80000	0.223	22.64
C223	FT1x	0.000376	-2.447E-16	0.000376	2780065	100000	0.393	37.6
C224	FT1x	0.000463	-3.007E-16	0.000463	1872102	120000	0.401	55.56
							<b>1.146</b>	<b>131.7</b>

Tx= 0.586

**Dirección Y**

C219	FT1y	-1.99E-17	0.00004	0.000040	2780065	20000	0.004	0.8
C220	FT1y	-6.38E-17	0.000127	0.000127	2780065	40000	0.045	5.08
C221	FT1y	-1.21E-16	0.000238	0.000238	2780065	60000	0.157	14.28
C222	FT1y	-1.83E-16	0.000355	0.000355	2780065	80000	0.350	28.4
C223	FT1y	-2.45E-16	0.00047	0.000470	2780065	100000	0.614	47
C224	FT1y	-3.02E-16	0.000576	0.000576	1872102	120000	0.621	69.12
							<b>1.792</b>	<b>164.68</b>

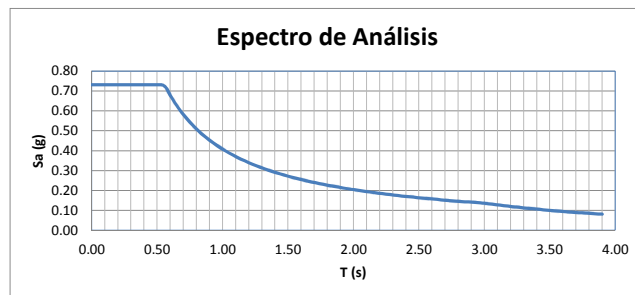
Ty= 0.655


**Espectro**

Bogotá - Piedemonte B -Decreto 523 2010 Microzonificación Bogotá

Aceleración horizontal pico efectiva, Aa	0.15
Velocidad horizontal pico efectiva, Av	0.20
Coefficiente de amplificación de aceleración de periodos cortos, Fa	1.95
Coefficiente de amplificación de aceleración de periodos intermedios, Fv	1.70
Coefficiente de Importancia (I) =	1.00
Tc =	0.56 s
TL =	3.00 s

(NSR-10 TABLA A.2-4)



	ANEXO 1.13 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometria	M1	Archivos SAP:	M1-FHEQ-L21-DR.\$2k
	Losa	L21	Archivos .dwg:	M1-MOD-L21-DR.\$2k
	Diafragma	Rígido		ANX2-M1.DWG

**Fuerza Horizontal Equivalente**

	T	Sa	Vs
Dirección X	0.586	0.6962	108,971
Dirección Y	0.655	0.6224	97,425

Nivel	Masa	H	H <sup>k</sup>	MiHi <sup>k</sup>	Cvx	Fx	Fy
1	2,780,065	3	3	8,340,196	0.053	5,723	5,117
2	2,780,065	6	6	16,680,393	0.105	11,446	10,233
3	2,780,065	9	9	25,020,589	0.158	17,169	15,350
4	2,780,065	12	12	33,360,786	0.210	22,893	20,467
5	2,780,065	15	15	41,700,982	0.263	28,616	25,584
6	1,872,102	18	18	33,697,834	0.212	23,124	20,674
				<b>158,800,782</b>	<b>1.000</b>	<b>108,971</b>	<b>97,425</b>

$$F_x = C_{vx} V_s$$

$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)}$$

$$V_s = S_a g M$$

$$k = 1.00$$

**Factores de corrección para análisis modal**

Regular  
Fmodal/Feq > **80%**

	Vs	Vs (Sap MODAL)	%	>	Corrección
Dirección X	108,971	79,051	0.73	Correccion	1.10
Dirección Y	97,425	71,983	0.74	Correccion	1.08

**Aceleración en los diafragmas**

NSR-10 A3.6.8.2

As	0.293	hn	18.0
Sax	0.696	heq	13.5
Say	0.622		

Nivel	hi	ax	ay
1	3	0.382	0.366
2	6	0.472	0.439
3	9	0.562	0.512
4	12	0.651	0.586
5	15	0.774	0.692
6	18	0.928	0.830

$$a_i = A_s + \frac{(S_a - A_s) h_i}{h_{eq}} \quad h_i \leq h_{eq}$$

$$a_i = S_a \frac{h_i}{h_{eq}} \quad h_i \geq h_{eq}$$

**Aceleración en los diafragmas ASCE**

**0.70**

**0.63**

Nivel	hi	Wi
1	3	27,263
2	6	27,263
3	9	27,263
4	12	27,263
5	15	27,263
6	18	18,359
		<b>154,676</b>

F <sub>ix</sub>	a <sub>ix</sub>	a <sub>ixdiseño</sub>
5,723	0.705	0.278
11,446	0.810	0.278
17,169	0.917	0.278
22,893	1.024	0.278
28,616	1.134	0.278
23,124	1.260	0.278
		<b>108,971</b>

F <sub>iy</sub>	a <sub>iy</sub>	a <sub>iydiseño</sub>
5,117	0.630	0.249
10,233	0.724	0.249
15,350	0.820	0.249
20,467	0.915	0.249
25,584	1.014	0.249
20,674	1.126	0.249
		<b>97,425</b>

Dir X	Dir Y
0.2S <sub>DS</sub> l <sub>e</sub>	0.139
0.4S <sub>DS</sub> l <sub>e</sub>	0.278

The force determined from Eq. 12.10-1 shall not be less than

$$F_{px} = 0.2S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-2)$$

The force determined from Eq. 12.10-1 need not exceed


$$F_{px} = 0.4S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-3)$$

F<sub>px</sub> = the diaphragm design force  
F<sub>i</sub> = the design force applied to Level i  
w<sub>i</sub> = the weight tributary to Level i  
w<sub>px</sub> = the weight tributary to the diaphragm at Level x

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n w_i} w_{px} \quad (12.10-1)$$

**Derivas máximas obtenidas (cm)**

Piso	FHEq
3	1.032
6	2.212
9	2.791
12	2.945
15	2.826
18	2.574

	ANEXO 1.14 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometria	M2	Archivos SAP:	M2-FHEQ-L21-DR.\$2k
	Losa	L21		M2-MOD-L21-DR.\$2k
	Diafragma	Rígido	Archivos .dwg:	ANX2-M2.DWG

**Peso Del edificio**

	Cantidad	L	b	h	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 0-0.5	Niveles 2-5	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 6
Columnas centrales	35	3	0.75	0.75	24.00	708.75	1,418	24.00	709
Columnas borde x	11	3	3.5	0.35	24.00	485.1	970	24.00	485
Columnas borde y	11	3	3.5	0.35	24.00	485.1	970	24.00	485
Columnas esquina	6	3	0.75	0.75	24.00	121.5	243	24.00	122
Vigas	110	7	0.35	0.4	24.00		2,587	24.00	2,587
Viguetas							-	0.00	-
Losa	48	7	7	1	8.92		20,980	5.92	13,924
Peso						<b>1,800</b>	<b>27,168</b>	<b>18,311</b>	
Masa kg						183,593	2,770,337	1,867,238	

Peso total del edificio	155,952	kN
Masa del edificio	15,903	ton
Peso Según Sap	155,952	kN
error	0.00%	

**Cálculo del periodo**

Cu	1.342	Ta	0.634
Av	0.200	Ct	0.047
Fv	1.700	h	18
C <sub>u</sub> *T <sub>a</sub>	0.850	a	0.9

NSR-10 Numeral A.4.2.1

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (f_i \delta_i)}}$$

**Dirección X**

Joint	OutputCase	U1	U2	d	m <sub>i</sub>	f <sub>i</sub>	m <sub>i</sub> *d <sub>i</sub> <sup>2</sup>	f <sub>i</sub> *d <sub>i</sub>
Text	Text	m	m	m	kg	N		
C442	FT1x	0.000038	-6.6E-08	0.000038	2770337	20000	0.004	0.760
C443	FT1x	0.000119	-2.1E-07	0.000119	2770337	40000	0.039	4.760
C444	FT1x	0.000223	-3.9E-07	0.000223	2770337	60000	0.138	13.380
C445	FT1x	0.000334	-5.7E-07	0.000334	2770337	80000	0.309	26.720
C446	FT1x	0.000443	-7.4E-07	0.000443	2770337	100000	0.544	44.300
C447	FT1x	0.000544	-8.9E-07	0.000544	1867238	120000	0.553	65.280
							<b>1.586</b>	<b>155.200</b>

T<sub>x</sub>= 0.635

**Dirección Y**

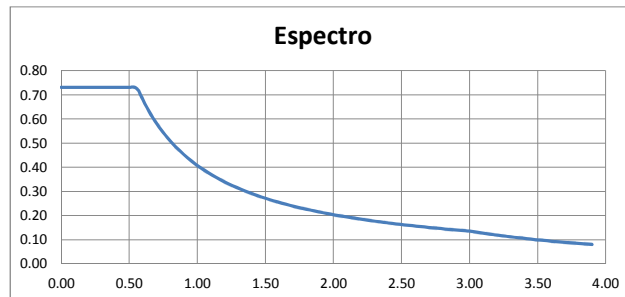
C442	FT1y	-6.6E-08	0.000038	0.000038	2770337	20000	0.004	0.760
C443	FT1y	-2.1E-07	0.000119	0.000119	2770337	40000	0.039	4.760
C444	FT1y	-3.9E-07	0.000223	0.000223	2770337	60000	0.138	13.380
C445	FT1y	-5.7E-07	0.000334	0.000334	2770337	80000	0.309	26.720
C446	FT1y	-7.4E-07	0.000443	0.000443	2770337	100000	0.544	44.300
C447	FT1y	-8.9E-07	0.000544	0.000544	1867238	120000	0.553	65.280
							<b>1.586</b>	<b>155.200</b>

T<sub>y</sub>= 0.635


**Espectro**

Bogotá - Piedemonte B -Decreto 523 2010 Microzonificación Bogotá

Aceleración horizontal pico efectiva, Aa	0.15
Velocidad horizontal pico efectiva, Av	0.20
Coefficiente de amplificación de aceleración de períodos cortos, Fa	1.95
Coefficiente de amplificación de aceleración de períodos intermedios, Fv	1.70
Coefficiente de Importancia (I) =	1.00 (NSR-10 TABLA A.2-4)
T <sub>c</sub> =	0.56 s
T <sub>L</sub> =	3.00 s





	ANEXO 1.14 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometría	M2	Archivos SAP:	M2-FHEQ-L21-DR.\$2k
	Losa	L21		M2-MOD-L21-DR.\$2k
	Diafragma	Rígido	Archivos .dwg:	ANX2-M2.DWG

**Fuerza Horizontal Equivalente**

	T	Sa	Vs
Dirección X	0.635	0.6423	100,167
Dirección Y	0.635	0.6423	100,167

Nivel	Masa	H	H <sup>k</sup>	MiHi <sup>k</sup>	Cvx	Fx	Fy
3	2,770,337	3	3	8,311,012	0.053	5,260	5,260
6	2,770,337	6	6	16,622,025	0.105	10,519	10,519
9	2,770,337	9	9	24,933,037	0.158	15,779	15,779
12	2,770,337	12	12	33,244,050	0.210	21,039	21,039
15	2,770,337	15	15	41,555,062	0.263	26,299	26,299
18	1,867,238	18	18	33,610,282	0.212	21,271	21,271
				158,275,469	1.000	100,167	100,167

$$F_x = C_{vx} V_s$$

$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)}$$

$$V_s = S_a g M$$

$$k = 1$$

**Factores de corrección para análisis modal**

Regular  
Fmodal/Feq> 80%

	Vs	Vs (Sap)	%	>	Corrección
Dirección X	100,167	73,580	0.73	Corrección	1.09
Dirección Y	100,167	73,580	0.73	Corrección	1.09

**Aceleración en los diafragmas** NSR-10 A3.6.8.2

As	0.293	hn	18
Sax	0.642	heq	13.5
Say	0.642		

Nivel	hi	aix	aiy
1	3	0.370	0.370
2	6	0.448	0.448
3	9	0.526	0.526
4	12	0.603	0.603
5	15	0.714	0.714
6	18	0.856	0.856

$$a_i = A_s + \frac{(S_a - A_s) h_i}{h_{eq}} \quad h_i \leq h_{eq}$$

$$a_i = S_a \frac{h_i}{h_{eq}} \quad h_i \geq h_{eq}$$

**Aceleración en los diafragmas ASCE**

0.65

0.65

Nivel	hi	Wi
1	3	27,168
2	6	27,168
3	9	27,168
4	12	27,168
5	15	27,168
6	18	18,311
		154,151

F <sub>ix</sub>	a <sub>ix</sub>	a <sub>ixdiseño</sub>
5,260	0.650	0.257
10,519	0.747	0.257
15,779	0.845	0.257
21,039	0.944	0.257
26,299	1.046	0.257
21,271	1.162	0.257
	100,167	

F <sub>iy</sub>	a <sub>iy</sub>	a <sub>iydiseño</sub>
5,260	0.650	0.257
10,519	0.747	0.257
15,779	0.845	0.257
21,039	0.944	0.257
26,299	1.046	0.257
21,271	1.162	0.257
	100,167	

	Dir X	Dir Y
0.2S <sub>DS</sub> le	0.128	0.128
0.4S <sub>DS</sub> le	0.257	0.257

The force determined from Eq. 12.10-1 shall not be less than

$$F_{px} = 0.2S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-2)$$

The force determined from Eq. 12.10-1 need not exceed


$$F_{px} = 0.4S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-3)$$

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n w_i} w_{px} \quad (12.10-1)$$

F<sub>px</sub> = the diaphragm design force  
F<sub>i</sub> = the design force applied to Level i  
w<sub>i</sub> = the weight tributary to Level i  
w<sub>px</sub> = the weight tributary to the diaphragm at Level x

**Derivas máximas obtenidas (cm)**

Piso	FHEq
3	1.043
6	2.240
9	2.830
12	2.992
15	2.876
18	2.624

	ANEXO 1.15 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometria	M3	Archivos SAP:	M3-FHEQ-L21-DR.\$2k
	Losa	L21		M3-MOD-L21-DR.\$2k
	Diafragma	Rígido	Archivos .dwg:	ANX2-M3.DWG

**Peso Del edificio**

	Cantidad	L	b	h	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 0-0.5	Niveles 2-5	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 6
Columnas centrales	33	3	0.75	0.75	24.00	668.25	1,337	24.00	668
Columnas borde x	13	3	3.5	0.35	24.00	573.3	1,147	24.00	573
Columnas borde y	13	3	3.5	0.35	24.00	573.3	1,147	24.00	573
Columnas esquina	6	3	1.10	1.10	24.00	261.36	523	24.00	261
Vigas	112	7	0.4	0.45	24.00		3,387	24.00	3,387
Viguetas							-	0.00	-
Losa	48	7	7	1	8.92		20,980	5.92	13,924
Peso						<b>2,076</b>	<b>28,519</b>	<b>19,387</b>	
Masa kg						211,713	2,908,120	1,976,901	

Peso total del edificio	164,059	kN
Masa del edificio	16,729	ton
Peso Según Sap	164,059	kN
error	0.00%	

**Cálculo del periodo**

Cu	1.342
Av	0.200
Fv	1.700
C <sub>u</sub> *T <sub>a</sub>	0.850

Ta	0.634
Ct	0.047
h	18
a	0.9

NSR-10 Numeral A.4.2.1

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (f_i \delta_i)}}$$

**Dirección X**

Joint	OutputCase	U1	U2	d	m <sub>i</sub>	f <sub>i</sub>	m <sub>i</sub> *d <sub>i</sub> <sup>2</sup>	f <sub>i</sub> *d <sub>i</sub>
Text	Text	m	m	m	kg	N		
C456	FT1x	0.00003	-2.3E-07	0.000030	2908120	20000	0.003	0.600
C457	FT1x	0.000094	-7.4E-07	0.000094	2908120	40000	0.026	3.760
C458	FT1x	0.000174	-1.4E-06	0.000174	2908120	60000	0.088	10.440
C459	FT1x	0.00026	-2E-06	0.000260	2908120	80000	0.197	20.801
C460	FT1x	0.000342	-2.5E-06	0.000342	2908120	100000	0.340	34.201
C461	FT1x	0.000417	-3E-06	0.000417	1976901	120000	0.344	50.041
							<b>0.997</b>	<b>119.843</b>

T<sub>x</sub>= 0.573

**Dirección Y**

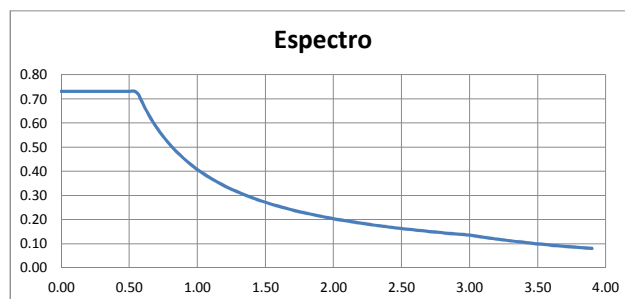
C456	FT1y	-2.3E-07	0.00003	0.000030	2908120	20000	0.003	0.600
C457	FT1y	-7.4E-07	0.000094	0.000094	2908120	40000	0.026	3.760
C458	FT1y	-1.4E-06	0.000174	0.000174	2908120	60000	0.088	10.440
C459	FT1y	-2E-06	0.00026	0.000260	2908120	80000	0.197	20.801
C460	FT1y	-2.5E-06	0.000342	0.000342	2908120	100000	0.340	34.201
C461	FT1y	-3E-06	0.000417	0.000417	1976901	120000	0.344	50.041
							<b>0.997</b>	<b>119.843</b>


T<sub>y</sub>= 0.573

**Espectro**

Bogotá - Piedemonte B -Decreto 523 2010 Microzonificación Bogotá

Aceleración horizontal pico efectiva, Aa	0.15
Velocidad horizontal pico efectiva, Av	0.20
Coficiente de amplificación de aceleración de períodos cortos, Fa	1.95
Coficiente de amplificación de aceleración de períodos intermedios, Fv	1.70
Coficiente de Importancia (I) =	1.00 (NSR-10 TABLA A.2-4)
T <sub>c</sub> =	0.56 s
T <sub>L</sub> =	3.00 s



	ANEXO 1.15 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometria	M3	Archivos SAP:	M3-FHEQ-L21-DR.\$2k
	Losa	L21	Archivos .dwg:	M3-MOD-L21-DR.\$2k
	Diafragma	Rígido		ANX2-M3.DWG

**Fuerza Horizontal Equivalente**

	T	Sa	Vs
Dirección X	0.573	0.7120	116,804
Dirección Y	0.573	0.7120	116,804

Nivel	Masa	H	H <sup>k</sup>	MiHi <sup>k</sup>	Cvx	Fx	Fy
3	2,908,120	3	3	8,724,361	0.052	6,122	6,122
6	2,908,120	6	6	17,448,723	0.105	12,244	12,244
9	2,908,120	9	9	26,173,084	0.157	18,367	18,367
12	2,908,120	12	12	34,897,446	0.210	24,489	24,489
15	2,908,120	15	15	43,621,807	0.262	30,611	30,611
18	1,976,901	18	18	35,584,225	0.214	24,971	24,971
				<b>166,449,647</b>	<b>1.000</b>	<b>116,804</b>	<b>116,804</b>

$$F_x = C_{vx} V_s$$

$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)}$$

$$V_s = S_a g M$$

$$k = 1$$

**Factores de corrección para análisis modal**

Regular  
Fmodal/Feq > **90%**

	Vs	Vs (Sap)	%	>	Corrección
Dirección X	116,804	82,473	0.71	Corrección	1.27
Dirección Y	116,804	82,473	0.71	Corrección	1.27

**Aceleración en los diafragmas** NSR-10 A3.6.8.2

As	0.293	hn	18
Sax	0.712	heq	13.5
Say	0.712		

Nivel	hi	aix	aiy
1	3	0.386	0.386
2	6	0.479	0.479
3	9	0.572	0.572
4	12	0.665	0.665
5	15	0.791	0.791
6	18	0.949	0.949

$$a_i = A_s + \frac{(S_a - A_s) h_i}{h_{eq}} \quad h_i \leq h_{eq}$$

$$a_i = S_a \frac{h_i}{h_{eq}} \quad h_i \geq h_{eq}$$

**Aceleración en los diafragmas ASCE**

**0.72**

**0.72**

Nivel	hi	Wi
1	3	28,519
2	6	28,519
3	9	28,519
4	12	28,519
5	15	28,519
6	18	19,387
		<b>161,983</b>

F <sub>ix</sub>	a <sub>ix</sub>	a <sub>ixdiseño</sub>
6,122	0.721	0.285
12,244	0.829	0.285
18,367	0.938	0.285
24,489	1.048	0.285
30,611	1.160	0.285
24,971	1.288	0.285
	<b>116,804</b>	

F <sub>iy</sub>	a <sub>iy</sub>	a <sub>iydiseño</sub>
6,122	0.721	0.285
12,244	0.829	0.285
18,367	0.938	0.285
24,489	1.048	0.285
30,611	1.160	0.285
24,971	1.288	0.285
	<b>116,804</b>	

	Dir X	Dir Y
0.2S <sub>DS</sub> le	0.142	0.142
0.4S <sub>DS</sub> le	0.285	0.285

The force determined from Eq. 12.10-1 shall not be less than

$$F_{px} = 0.2S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-2)$$

The force determined from Eq. 12.10-1 need not exceed


$$F_{px} = 0.4S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-3)$$

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n w_i} w_{px} \quad (12.10-1)$$

F<sub>px</sub> = the diaphragm design force  
F<sub>i</sub> = the design force applied to Level i  
w<sub>i</sub> = the weight tributary to Level i  
w<sub>px</sub> = the weight tributary to the diaphragm at Level x

**Derivas máximas obtenidas (cm)**

Piso	FHEq
3	1.065
6	2.268
9	2.831
12	2.956
15	2.800
18	2.519

	ANEXO 1.16 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometría	M4	Archivos SAP:	M4-FHEQ-L21-DR.\$2k
	Losa	L21	Archivos .dwg:	M4-MOD-L21-DR.\$2k
	Diafragma	Rígido		ANX2-M4.DWG

**Peso Del edificio**

	Cantidad	L	b	h	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 0-0.5	Niveles 2-5	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Nivel 6
Columnas centrales	30	3	0.75	0.75	24.00	607.5	1,215	24.00	608
Columnas borde x	15	3	3.5	0.55	24.00	1039.5	2,079	24.00	1,040
Columnas borde y	17	3	3.5	0.55	24.00	1178.1	2,356	24.00	1,178
Columnas esquina	6	3	1.1	1.1	24.00	261.36	523	24.00	261
Vigas	115	7	0.4	0.45	24.00		3,478	24.00	3,478
Viguetas								0.00	-
Losa	48	7	7	1	8.92		20,980	5.92	13,924
Peso						<b>3,086</b>	<b>30,630</b>	<b>20,488</b>	
Masa kg						314,729	3,123,403	2,089,168	

Peso total del edificio	176,726	kN
Masa del edificio	18,021	ton
Peso Según Sap	176,726	kN
error	0.00%	

**Cálculo del periodo**

Cu	1.342
Av	0.200
Fv	1.700
C <sub>u</sub> *T <sub>a</sub>	0.850

Ta	0.634
Ct	0.047
h	18
a	0.9

NSR-10 Numeral A.4.2.1

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (f_i \delta_i)}}$$

**Dircción X**

Joint	OutputCase	U1	U2	d	mi	fi	mi*di2	fi*di
Text	Text	m	m	m	kg	N		
C477	FT1x	0.000023	-7.6E-07	0.000023	3123403	20000	0.002	0.460
C478	FT1x	0.000078	-2.6E-06	0.000078	3123403	40000	0.019	3.122
C479	FT1x	0.00015	-4.9E-06	0.000150	3123403	60000	0.070	9.005
C480	FT1x	0.000231	-7.5E-06	0.000231	3123403	80000	0.167	18.490
C481	FT1x	0.000314	-0.00001	0.000314	3123403	100000	0.308	31.416
C482	FT1x	0.000395	-1.3E-05	0.000395	2089168	120000	0.326	47.426
							<b>0.892</b>	<b>109.918</b>

Tx= 0.566

**Dircción Y**

C477	FT1y	-7.6E-07	0.000021	0.000021	3123403	20000	0.001	0.420
C478	FT1y	-2.6E-06	0.000069	0.000069	3123403	40000	0.015	2.762
C479	FT1y	-4.9E-06	0.000133	0.000133	3123403	60000	0.055	7.985
C480	FT1y	-7.5E-06	0.000204	0.000204	3123403	80000	0.130	16.331
C481	FT1y	-0.00001	0.000278	0.000278	3123403	100000	0.242	27.818
C482	FT1y	-1.3E-05	0.000349	0.000349	2089168	120000	0.255	41.909
							<b>0.698</b>	<b>97.226</b>

Ty= 0.532

**Espectro**

Bogotá - Piedemonte B -Decreto 523 2010 Microzonificación Bogotá

Aceleración horizontal pico efectiva, Aa  
Velocidad horizontal pico efectiva, Av

Coefficiente de amplificación de aceleración de períodos cortos, Fa  
Coefficiente de amplificación de aceleración de períodos intermedios, Fv

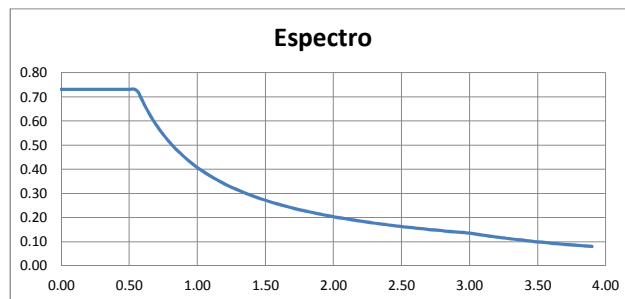
Coefficiente de Importancia (I) =


T<sub>c</sub> =

T<sub>L</sub> =

0.15
0.20
1.95
1.70
1.00
0.56 s
3.00 s

(NSR-10 TABLA A.2-4)



	ANEXO 1.16 - ANÁLISIS SÍSMICO FHEQ			
	Geometría	M4	Archivos SAP:	M4-FHEQ-L21-DR.\$2k
	Losa	L21	Archivos .dwg:	M4-MOD-L21-DR.\$2k
	Diafragma	Rígido		ANX2-M4.DWG

**Fuerza Horizontal Equivalente**

	T	Sa	Vs
Dirección X	0.566	0.7206	127,357
Dirección Y	0.532	0.7313	129,231

Nivel	Masa	H	H <sup>k</sup>	MiH <sup>k</sup>	Cvx	Fx	Fy
3	3,123,403	3	3	9,370,210	0.053	6,698	6,797
6	3,123,403	6	6	18,740,420	0.105	13,397	13,594
9	3,123,403	9	9	28,110,630	0.158	20,095	20,391
12	3,123,403	12	12	37,480,840	0.210	26,793	27,188
15	3,123,403	15	15	46,851,050	0.263	33,492	33,984
18	2,089,168	18	18	37,605,028	0.211	26,882	27,278
				<b>178,158,178</b>	<b>1.000</b>	<b>127,357</b>	<b>129,231</b>

$$F_x = C_{vx} V_s$$

$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)}$$

$$V_s = S_a g M$$

$$k = 1$$

**Factores de corrección para análisis modal**

Regular  
Fmodal/Feq > **90%**

	Vs	Vs (Sap)	%	>	Corrección
Dirección X	127,357	70,580	0.55	Corrección	1.62
Dirección Y	129,231	73,419	0.57	Corrección	1.58

**Aceleración en los diafragmas** NSR-10 A3.6.8.2

As	0.293	hn	18
Sax	0.721	heq	13.5
Say	0.731		

Nivel	hi	aix	aiy
1	3	0.388	0.390
2	6	0.483	0.488
3	9	0.578	0.585
4	12	0.673	0.683
5	15	0.801	0.813
6	18	0.961	0.975

$$a_i = A_s + \frac{(S_a - A_s) h_i}{h_{eq}} \quad h_i \leq h_{eq}$$

$$a_i = S_a \frac{h_i}{h_{eq}} \quad h_i \geq h_{eq}$$

**Aceleración en los diafragmas ASCE**

**0.73**

**0.74**

Nivel	hi	Wi
1	3	30,630
2	6	30,630
3	9	30,630
4	12	30,630
5	15	30,630
6	18	20,488
		<b>173,640</b>

F <sub>ix</sub>	a <sub>ix</sub>	a <sub>ixdiseño</sub>
6,698	0.733	0.288
13,397	0.844	0.288
20,095	0.954	0.288
26,793	1.066	0.288
33,492	1.181	0.288
26,882	1.312	0.288
		<b>127,357</b>

F <sub>iy</sub>	a <sub>iy</sub>	a <sub>iydiseño</sub>
6,797	0.744	0.293
13,594	0.856	0.293
20,391	0.969	0.293
27,188	1.082	0.293
33,984	1.198	0.293
27,278	1.331	0.293
		<b>129,231</b>

	Dir X	Dir Y
0.2S <sub>DS</sub> le	0.144	0.146
0.4S <sub>DS</sub> le	0.288	0.293

The force determined from Eq. 12.10-1 shall not be less than

$$F_{px} = 0.2S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-2)$$

The force determined from Eq. 12.10-1 need not exceed

$$F_{px} = 0.4S_{DS}I_e w_{px} \quad (12.10-3)$$

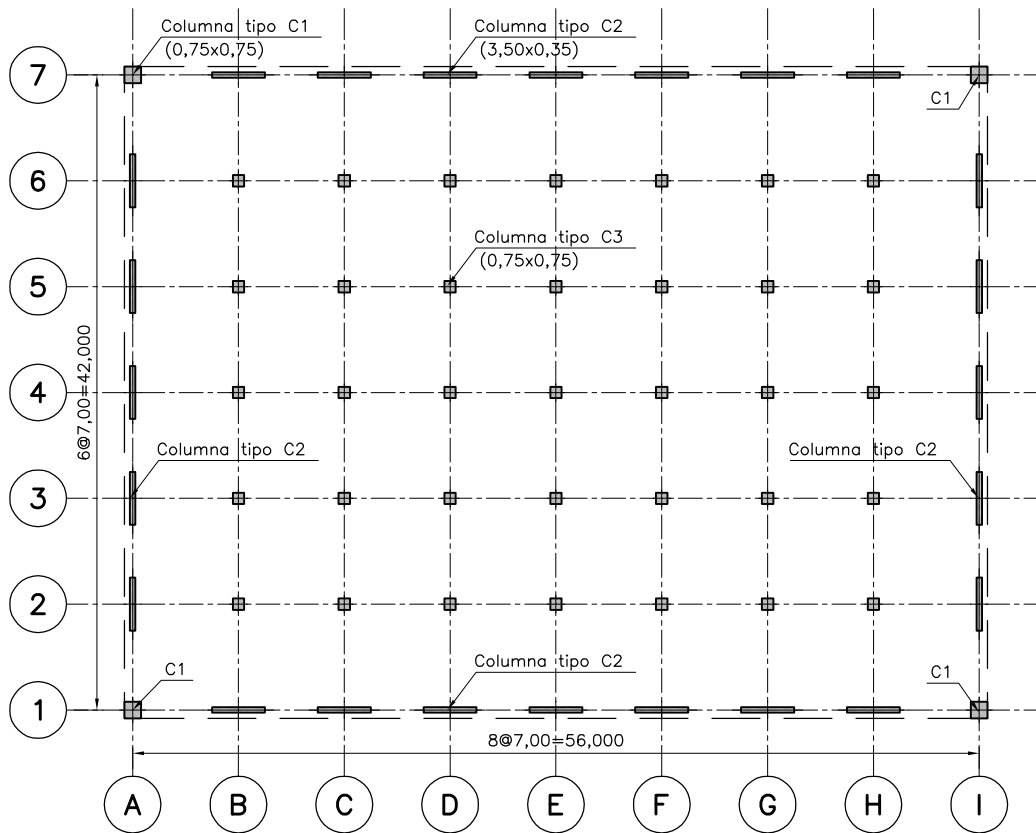
$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n w_i} w_{px} \quad (12.10-1)$$

F<sub>px</sub> = the diaphragm design force  
F<sub>i</sub> = the design force applied to Level i  
w<sub>i</sub> = the weight tributary to Level i  
w<sub>px</sub> = the weight tributary to the diaphragm at Level x

**Derivas máximas obtenidas (cm)**

Piso	FHEq
3	0.913
6	2.090
9	2.755
12	3.039
15	3.055
18	2.926

## **B. Anexo: Dimensionamiento de las estructuras**



**MODELO TIPO M1**  
**PLANTA COLUMNAS**  
 ESCALA 1:500



ESCUELA  
 COLOMBIANA  
 DE INGENIERÍA  
 JULIO GARAVITO

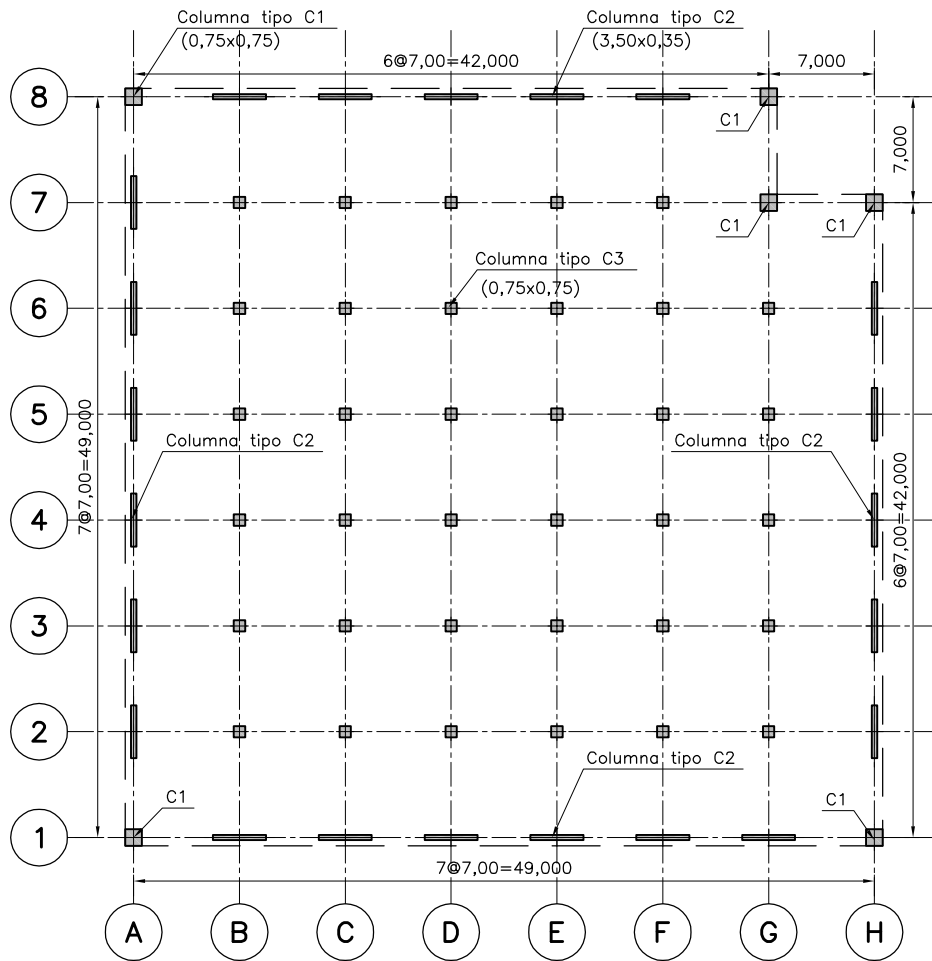
ANEXO 2.1

MODELO TIPO M1

PLANTA DE COLUMNAS TÍPICA

REFERENCIA: ANX2-M1

ESCALA 1:500



MODELO TIPO M2  
 PLANTA COLUMNAS  
 ESCALA 1:500



ESCUELA  
 COLOMBIANA  
 DE INGENIERÍA  
 JULIO GARAVITO

ANEXO 2.2

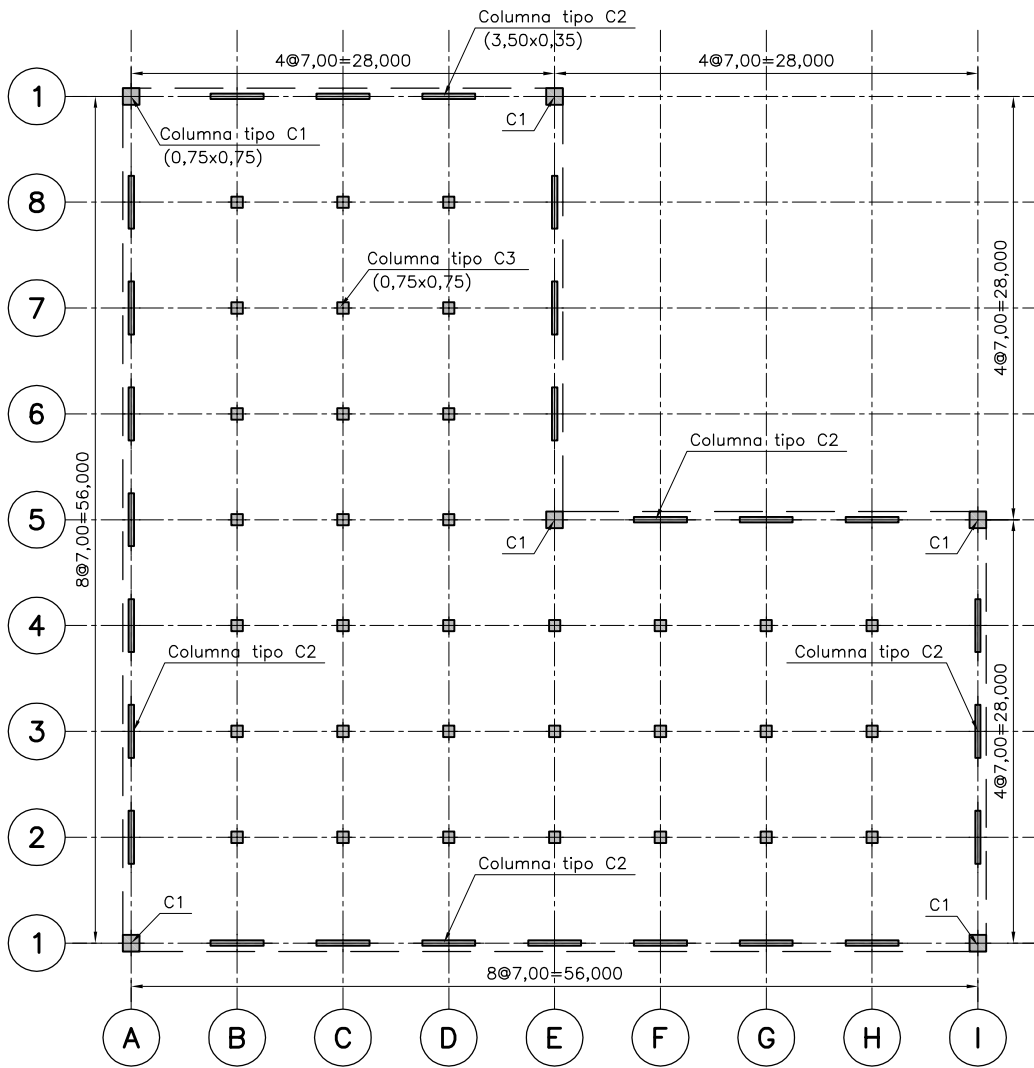
MODELO TIPO M2

PLANTA DE COLUMNAS TÍPICA

REFERENCIA: ANX2-M2

ESCALA 1:500





**MODELO TIPO M3**  
**PLANTA COLUMNAS**  
 ESCALA 1:500



ESCUELA  
 COLOMBIANA  
 DE INGENIERÍA  
 JULIO GARAVITO

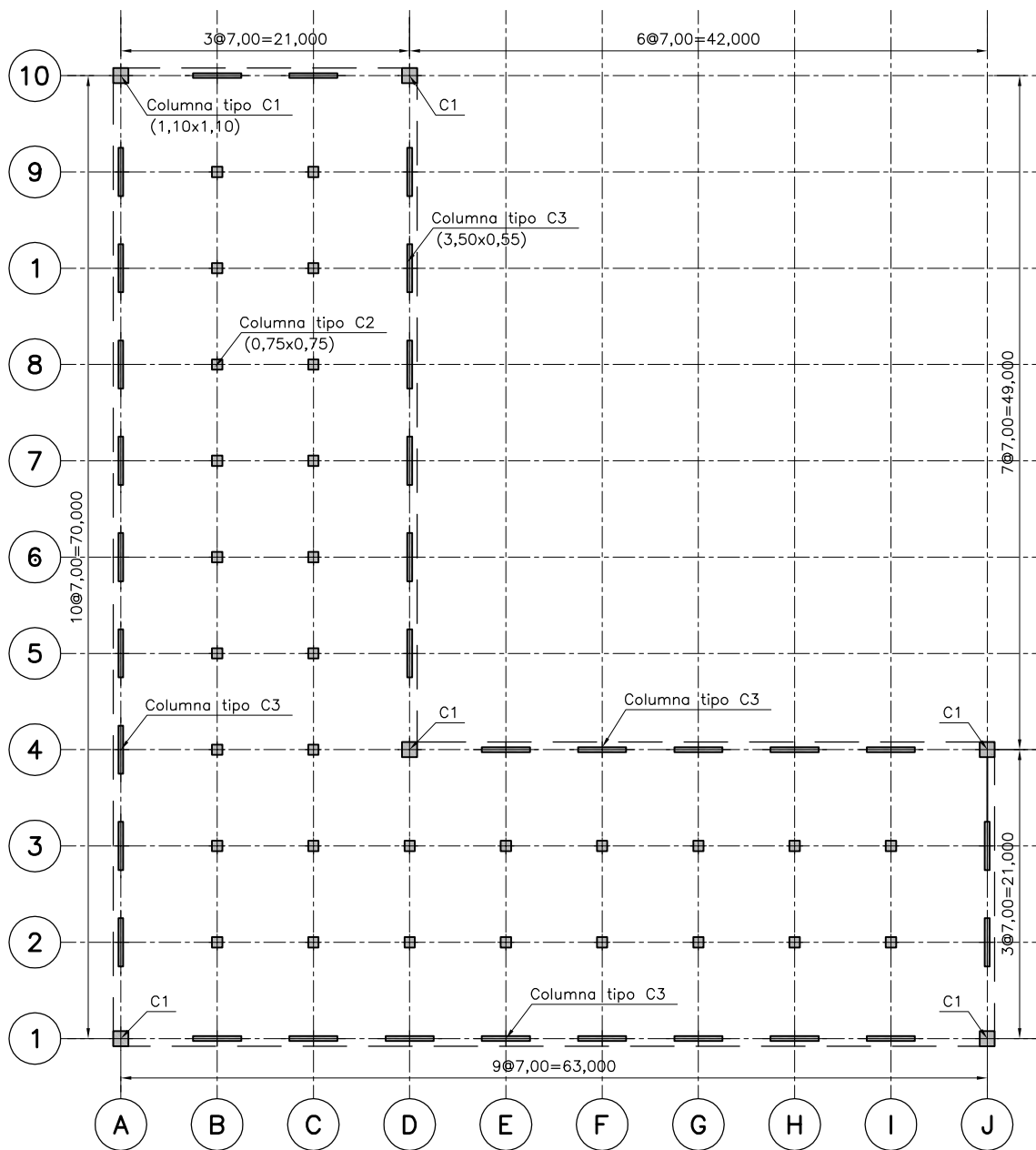
ANEXO 2.3

MODELO TIPO M3

PLANTA DE COLUMNAS TÍPICA

REFERENCIA: ANX2-M3

ESCALA 1:500



**MODELO TIPO M4**  
**PLANTA COLUMNAS**  
 ESCALA 1:500



ESCUELA  
 COLOMBIANA  
 DE INGENIERÍA  
 JULIO GARAVITO

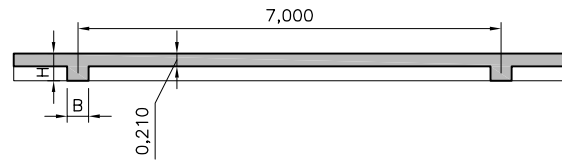
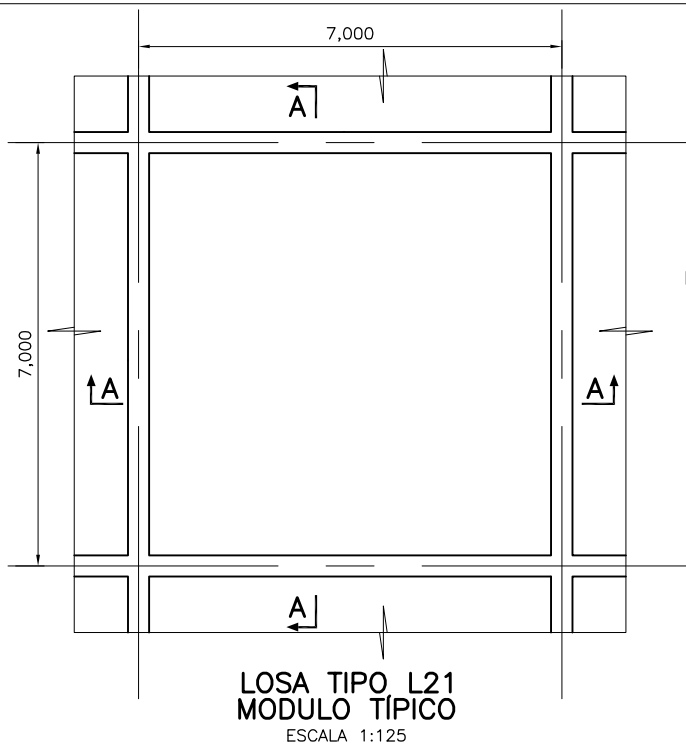
ANEXO 2.4

MODELO TIPO M4

PLANTA DE COLUMNAS TÍPICA

REFERENCIA: ANX2-M4

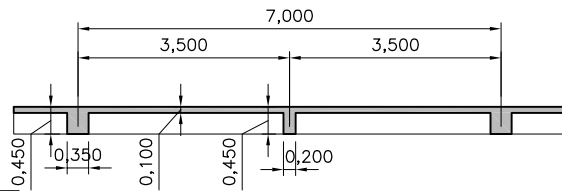
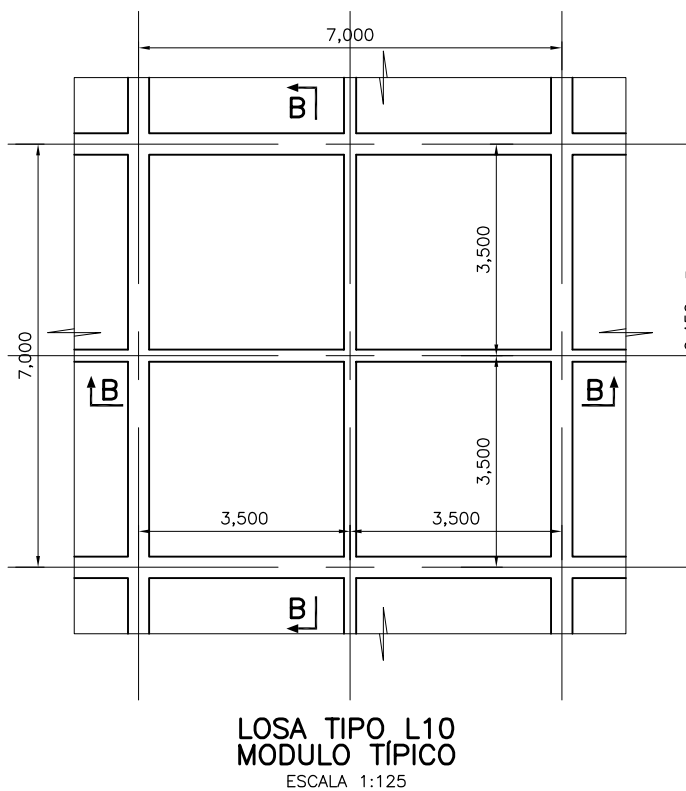
ESCALA 1:500



**CORTE A-A**  
ESCALA 1:125

	M1	M2	M3	M4
B	0,35	0,35	0,40	0,40
H	0,40	0,40	0,45	0,45

**Dimensiones Vigas**



**CORTE B-B**  
ESCALA 1:125



ANEXO 2.5

DETALLE TÍPICO

MODULOS DE LOSA TÍPICOS L10 Y L21

REFERENCIA: ANX2-LS

ESCALA 1:500

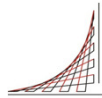
## **C. Anexo: Listado de modelos efectuados**

Análisis	Archivo	Descripción	
FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE	1	M1-FHEQ-L10-DF .S2k	Análisis por fuerza horizontal equivalente: Modelo tipo M1, Losa L10; Diafragma flexible
	2	M2-FHEQ-L10-DF .S2k	Análisis por fuerza horizontal equivalente: Modelo tipo M2, Losa L10; Diafragma flexible
	3	M3-FHEQ-L10-DF .S2k	Análisis por fuerza horizontal equivalente: Modelo tipo M3, Losa L10; Diafragma flexible
	4	M4-FHEQ-L10-DF .S2k	Análisis por fuerza horizontal equivalente: Modelo tipo M4, Losa L10; Diafragma flexible
	5	M1-FHEQ-L10-DR .S2k	Análisis por fuerza horizontal equivalente: Modelo tipo M1, Losa L10; Diafragma rígido
	6	M2-FHEQ-L10-DR .S2k	Análisis por fuerza horizontal equivalente: Modelo tipo M2, Losa L10; Diafragma rígido
	7	M3-FHEQ-L10-DR .S2k	Análisis por fuerza horizontal equivalente: Modelo tipo M3, Losa L10; Diafragma rígido
	8	M4-FHEQ-L10-DR .S2k	Análisis por fuerza horizontal equivalente: Modelo tipo M4, Losa L10; Diafragma rígido
	9	M1-FHEQ-L21-DF .S2k	Análisis por fuerza horizontal equivalente: Modelo tipo M1, Losa L21; Diafragma flexible
	10	M2-FHEQ-L21-DF .S2k	Análisis por fuerza horizontal equivalente: Modelo tipo M2, Losa L21; Diafragma flexible
	11	M3-FHEQ-L21-DF .S2k	Análisis por fuerza horizontal equivalente: Modelo tipo M3, Losa L21; Diafragma flexible
	12	M4-FHEQ-L21-DF .S2k	Análisis por fuerza horizontal equivalente: Modelo tipo M4, Losa L21; Diafragma flexible
	13	M1-FHEQ-L21-DR .S2k	Análisis por fuerza horizontal equivalente: Modelo tipo M1, Losa L21; Diafragma rígido
	14	M2-FHEQ-L21-DR .S2k	Análisis por fuerza horizontal equivalente: Modelo tipo M2, Losa L21; Diafragma rígido
	15	M3-FHEQ-L21-DR .S2k	Análisis por fuerza horizontal equivalente: Modelo tipo M3, Losa L21; Diafragma rígido
	16	M4-FHEQ-L21-DR .S2k	Análisis por fuerza horizontal equivalente: Modelo tipo M4, Losa L21; Diafragma rígido
MODAL	17	M1-MOD-L10-DF .S2k	Análisis modal: Modelo tipo M1, Losa L10; Diafragma flexible
	18	M2-MOD-L10-DF .S2k	Análisis modal: Modelo tipo M2, Losa L10; Diafragma flexible
	19	M3-MOD-L10-DF .S2k	Análisis modal: Modelo tipo M3, Losa L10; Diafragma flexible
	20	M4-MOD-L10-DF .S2k	Análisis modal: Modelo tipo M4, Losa L10; Diafragma flexible
	21	M1-MOD-L10-DR .S2k	Análisis modal: Modelo tipo M1, Losa L10; Diafragma rígido
	22	M2-MOD-L10-DR .S2k	Análisis modal: Modelo tipo M2, Losa L10; Diafragma rígido
	23	M3-MOD-L10-DR .S2k	Análisis modal: Modelo tipo M3, Losa L10; Diafragma rígido
	24	M4-MOD-L10-DR .S2k	Análisis modal: Modelo tipo M4, Losa L10; Diafragma rígido
	25	M1-MOD-L21-DF .S2k	Análisis modal: Modelo tipo M1, Losa L21; Diafragma flexible
	26	M2-MOD-L21-DF .S2k	Análisis modal: Modelo tipo M2, Losa L21; Diafragma flexible
	27	M3-MOD-L21-DF .S2k	Análisis modal: Modelo tipo M3, Losa L21; Diafragma flexible
	28	M4-MOD-L21-DF .S2k	Análisis modal: Modelo tipo M4, Losa L21; Diafragma flexible
	29	M1-MOD-L21-DR .S2k	Análisis modal: Modelo tipo M1, Losa L21; Diafragma rígido
	30	M2-MOD-L21-DR .S2k	Análisis modal: Modelo tipo M2, Losa L21; Diafragma rígido
	31	M3-MOD-L21-DR .S2k	Análisis modal: Modelo tipo M3, Losa L21; Diafragma rígido
	32	M4-MOD-L21-DR .S2k	Análisis modal: Modelo tipo M4, Losa L21; Diafragma rígido
CRONOLOGICO	33	M1-TH-L10-DF .S2k	Análisis cronológico: Modelo tipo M1, Losa L10; Diafragma flexible
	34	M2-TH-L10-DF .S2k	Análisis cronológico: Modelo tipo M2, Losa L10; Diafragma flexible
	35	M3-TH-L10-DF .S2k	Análisis cronológico: Modelo tipo M3, Losa L10; Diafragma flexible
	36	M4-TH-L10-DF .S2k	Análisis cronológico: Modelo tipo M4, Losa L10; Diafragma flexible
	37	M1-TH-L10-DR .S2k	Análisis cronológico: Modelo tipo M1, Losa L10; Diafragma rígido
	38	M2-TH-L10-DR .S2k	Análisis cronológico: Modelo tipo M2, Losa L10; Diafragma rígido
	39	M3-TH-L10-DR .S2k	Análisis cronológico: Modelo tipo M3, Losa L10; Diafragma rígido
	40	M4-TH-L10-DR .S2k	Análisis cronológico: Modelo tipo M4, Losa L10; Diafragma rígido
	41	M1-TH-L21-DF .S2k	Análisis cronológico: Modelo tipo M1, Losa L21; Diafragma flexible
	42	M2-TH-L21-DF .S2k	Análisis cronológico: Modelo tipo M2, Losa L21; Diafragma flexible
	43	M3-TH-L21-DF .S2k	Análisis cronológico: Modelo tipo M3, Losa L21; Diafragma flexible
	44	M4-TH-L21-DF .S2k	Análisis cronológico: Modelo tipo M4, Losa L21; Diafragma flexible
	45	M1-TH-L21-DR .S2k	Análisis cronológico: Modelo tipo M1, Losa L21; Diafragma rígido
	46	M2-TH-L21-DR .S2k	Análisis cronológico: Modelo tipo M2, Losa L21; Diafragma rígido
	47	M3-TH-L21-DR .S2k	Análisis cronológico: Modelo tipo M3, Losa L21; Diafragma rígido
	48	M4-TH-L21-DR .S2k	Análisis cronológico: Modelo tipo M4, Losa L21; Diafragma rígido

Notas:

1. Para definiciones de los tipos de modelo M1 a M4 ver Anexos 2.1 a 2.4
2. Para geometría de losas tipo L10 y L21 ver Anexo 2.5
3. Se entregan archivos magneticos. S2k de los modelos elaborados en SAP200 V14.0

## **D. Anexo: Acelerogramas de análisis**



Listado de señales sísmicas empleadas en el Análisis

Señal	Estacion	Fuente	Archivo Base	$\Delta T$
Coyote	GILROY-1	local	RSN146_COYOTELK_GO1320.at2	0.005
Kobe	OKAYAMA	regional	RSN1112_KOBE_OKA000.AT2	0.020
Lomapieta	YERBABUENA	regional	YBI090.AT2	0.005
México	CERRO DE PIEDRA	subduccion	1985.Sep.CPDR8509.191	0.010
Northridge	MT BALDY	regional	RSN1040_NORTHR_BAL090.AT2	0.010
Oroville	OROVILLE SS	local	RSN106_OROVILLE_A-ORV307.AT2	0.005

\*Se incluyen en archivo magnético las señales originales empleadas en los análisis

Escalado de las señales:

Según NSR-10 A.2.7.1:

"c) Los espectros de respuesta de los acelerogramas empleados, apropiadamente escalados en consistencia con la amenaza, no pueden tener individualmente ordenadas espectrales, para cualquier periodo de vibración en el rango comprendido entre  $0,8T$  y  $1,2T$ , donde  $T$  es el periodo de vibración fundamental inelástico esperado de la estructura en la dirección bajo estudio, menores que el 80% de las ordenadas espectrales del movimiento esperado del terreno definidas en A.2.6, y el promedio de las ordenadas espectrales de todos los registros utilizados, en el rango comprendido entre  $0,2T$  y  $1,5T$ , no debe ser menor que las ordenadas espectrales en el mismo rango de periodos para el movimiento esperado del terreno definido en A.2.6".

Con base en lo anterior se procedió a efectuar el proceso de escalado de las señales sísmicas teniendo como base los siguientes datos:

Periodos de los modelos L10

	T	Sa	0.8T	1.2T
M1	0.553	0.731	0.442	0.663
M2	0.602	0.678	0.481	0.722
M3	0.573	0.712	0.458	0.688
M4	0.543	0.731	0.434	0.651

Periodos de los modelos L21

	T	Sa	0.8T	1.2T
M1	0.579	0.704	0.464	0.695
M2	0.605	0.675	0.484	0.726
M3	0.592	0.689	0.474	0.710
M4	0.537	0.731	0.430	0.644

Factores de escala de los acelerogramas

Se toma  $0,8T = 0,430$   
Se Toma  $1,2T = 0,726$

Sa (NSR-10 A.2.6)	0.8Sa (NSR-10 A.2.6)
0.731	0.585
0.562	0.450

Acelerograma	Aceleración para $0,8T = 0,430$ s	Aceleración para $1,2T = 0,726$ s	Factor de corrección
Coyote	0.098	0.112	5.970
Kobe	0.203	0.054	8.288
Lomapieta	0.152	0.150	3.846
México	0.054	0.055	10.921
Northridge	0.244	0.066	6.803
Oroville	0.053	0.010	46.114