



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Estructuras

**COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE  
EDIFICACIÓN DE CONCRETO, UTILIZANDO AISLADORES  
ELASTOMÉRICOS EN LA BASE**

**Ing. Ronald Enrique Urizar Monzón**  
Asesorado por el Msc. Francisco Arrecis

Guatemala, noviembre de 2 016



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE  
EDIFICACIÓN DE CONCRETO, UTILIZANDO AISLADORES  
ELASTOMÉRICOS EN LA BASE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y LA ESCUELA DE ESTUDIOS DE  
POSTGRADO

POR

**RONALD ENRIQUE URIZAR MONZÓN**

ASESORADO POR EL MSC. FRANCISCO ARRECIS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN ESTRUCTURAS**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2 016



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**JURADO EVALUADOR QUE PRACTICÓ EL EXÁMEN DE DEFENSA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
DIRECTOR	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
COORDINADOR	Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIÓN DE CONCRETO, UTILIZANDO AISLADORES ELASTOMÉRICOS EN LA BASE**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, con fecha 6 de febrero de 2 014.

Ing. Ronald Enrique Urizar Monzón





FACULTAD DE  
INGENIERÍA - USAC  
**EP**  
ESCUELA DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

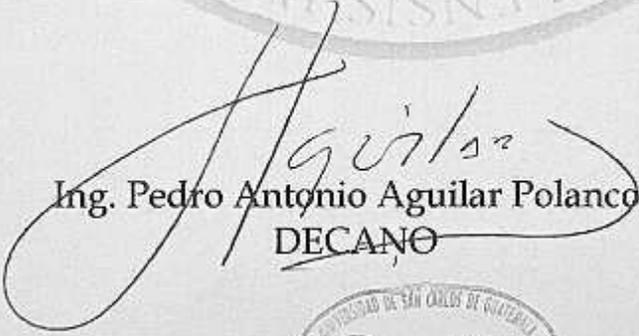
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226

Ref. APT-2016-072

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Ciencias en Estructuras titulado: **"COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIÓN DEL CONCRETO, UTILIZANDO AISLADOS ELASTOMÉRICOS EN LA BASE"** presentado por el Ingeniero Civil Ronald Enrique Urizar Monzón, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
DECANO



Guatemala, noviembre de 2016.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. Programas de Maestrías: Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. Especializaciones: Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de Información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.





FACULTAD DE  
INGENIERÍA - USAC  
ESCUELA DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2016-072

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del Trabajo de Graduación titulado **"COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIÓN DEL CONCRETO, UTILIZANDO AISLADOS ELASTOMÉRICOS EN LA BASE"** presentado por el Ingeniero Civil Ronald Enrique Urizar Monzón, correspondiente al programa de Maestría en Ciencias en Estructuras; apruebo y autorizo el mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*



MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, noviembre de 2016

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. Programas de Maestrías: Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. Especializaciones: Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.





FACULTAD DE  
INGENIERÍA - USAC  
ESCUELA DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2016-072

Como Coordinador de la Maestría en Ciencias en Estructuras y revisor del Trabajo de Graduación titulado **"COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIÓN DEL CONCRETO, UTILIZANDO AISLADOS ELASTOMÉRICOS EN LA BASE"** presentado por el Ingeniero Civil Ronald Enrique Urizar Monzón, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*



MSc. Ing. Armando Fuentes Roca  
Coordinador de Maestría  
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, noviembre de 2016

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. Programas de Maestrías: Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente, Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Construcción, Ingeniería de Mantenimiento. Especializaciones: Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y Cencas actuariales, Sistemas de Información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por permitirme culminar una meta más en la vida. Aunque ha sido difícil, tú me has mantenido constante en la lucha.
- Mi madre** Patricia Monzón, por darme tu apoyo incondicional y siempre creer en mí. Gracias porque me diste la oportunidad de convertirme en profesional. Haz sido padre y madre para mí.
- Mi padre** German Ronald Urizar (q.e.p.d.). 19 años han pasado ya desde tu partida, ya me he acostumbrado a no tenerte y lamento no pudieras ver mis logros. Espero que donde estés te sientas orgulloso de mí, que la gente al verme pueda ver a la persona que siempre quisiste inculcarme. Espero me parezca un poco a lo que siempre deseaste para mí.
- Mi esposa** Jessica Rivera. Este es mi primer logro después de casarnos y quiero agradecerte de manera muy especial. Doy gracias a Dios de ponerte en mi camino.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por darme la vida y haberme permitido llegar hasta este punto, por darme salud para lograr mis objetivos.
<b>Mi madre</b>	Por su apoyo, consejos y motivación que me ha permitido ser una persona de bien, sobre todo, por su amor.
<b>Mis hermanos</b>	Willy y Marcia, por llenar mi vida de cariño que me permita dar el máximo de mí y ser un buen ejemplo en su vida. Nunca les podré estar suficientemente agradecido.
<b>Mi asesor</b>	El Ing. Francisco Arrecis, por toda la colaboración en la asesoría, revisión y corrección del presente trabajo.
<b>La Escuela de Postgrado de Ingeniería</b>	Por brindarme los conocimientos necesarios en mi formación como profesional.
<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por haberme dado la oportunidad de estudiar en tan prestigiosa casa de estudios.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN .....	XVII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
HIPÓTESIS .....	XXIII
RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO .....	XXV
INTRODUCCIÓN .....	XXVII
1. MARCO TEÓRICO .....	1
1.1. Filosofía de diseño sismo resistente .....	1
1.1.1. Resistencia y ductilidad .....	1
1.1.2. Sistema de disipación activa .....	3
1.1.3. Sistema de disipación pasiva .....	4
1.2. Aislación basal .....	4
1.2.1. Antecedentes .....	5
1.2.2. Aisladores elastoméricos.....	7
1.2.3. Ejemplos a nivel mundial .....	8
1.3. Amenazas sísmicas en Guatemala .....	10
1.4. Diseño sismo resistente en Guatemala .....	14
2. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO .....	15
2.1. Localización del terreno .....	15

2.2.	Diseño arquitectónico.....	15
2.2.1.	Altura de edificación.....	20
2.2.2.	Sistema estructural.....	20
2.3.	Análisis estructural.....	21
2.3.1.	Predimensionamiento estructural.....	21
2.3.2.	Integración de cargas gravitacionales.....	23
3.	ANÁLISIS DE ESTRUCTURA SIN AISLADORES SÍSMICOS.....	25
3.1.	Diseño estructural.....	25
3.1.1.	Escenario de carga sísmica.....	25
3.1.2.	Cálculo de espectro.....	26
3.1.3.	Determinación de período empírico.....	27
3.1.4.	Cálculo de corte basal.....	28
3.1.5.	Determinación del corte basal por el método estático equivalente	31
3.1.6.	Determinación del análisis modal.....	32
3.1.6.1.	Determinación de modos de la estructura.....	33
3.1.6.2.	Chequeo de derivas.....	33
3.1.7.	Análisis de marcos.....	35
3.1.7.1.	Diagrama de momentos.....	36
3.1.7.2.	Diagrama de cortes.....	38
3.1.7.3.	Combinaciones de carga.....	40
3.1.8.	Diseño de elementos estructurales.....	42
3.1.8.1.	Dimensionamiento de vigas.....	42
3.1.8.2.	Dimensionamiento de columnas.....	48
3.1.8.3.	Diseño de cimentación.....	52
4.	ANÁLISIS DE ESTRUCTURA CON AISLADORES SÍSMICOS.....	61
4.1.	Diseño del aislador.....	62

4.1.1.	Determinación de parámetros del aislador .....	64
4.1.1.1.	Determinación de los parámetros del sismo ..	64
4.1.1.2.	Diseño preliminar basado en análisis estático equivalente .....	65
4.1.1.3.	Determinación de la rigidez efectiva del aislador .....	65
4.1.1.4.	Determinación de la fuerza lateral de diseño ..	66
4.1.1.5.	Determinación del diámetro exterior del aislador .....	66
4.1.1.6.	Determinación de la presión actuante sobre el aislador.....	66
4.1.1.7.	Determinación de la altura del caucho .....	67
4.1.1.8.	Determinación de la altura total del aislador ...	67
4.1.2.	Selección del aislador elastomérico .....	67
4.2.	Diseño estructural .....	70
4.2.1.	Revisión del corte basal mínimo .....	70
4.2.2.	Análisis modal .....	73
4.2.2.1.	Determinación de modos de la estructura .....	74
4.2.2.2.	Chequeo de derivas .....	75
4.2.3.	Análisis de marcos .....	76
4.2.3.1.	Diagrama de momentos .....	76
4.2.3.2.	Diagrama de cortes .....	78
4.2.3.3.	Combinaciones de carga.....	79
4.2.4.	Diseño de elementos estructurales .....	81
4.2.4.1.	Dimensionamiento de vigas .....	81
4.2.4.2.	Dimensionamiento de columnas .....	85
4.2.4.3.	Diseño de cimentación .....	89
4.2.4.3.1.	Aisladores elastoméricos en sue- los blandos.....	89

5.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	95
5.1.	Comparación de parámetros para el análisis de carga lateral de sismo.....	95
5.1.1.	Períodos y modos de vibración de la estructura .....	95
5.1.2.	Peso de la estructura .....	96
5.1.3.	Corte basal .....	97
5.1.4.	Factor R .....	98
5.1.5.	Derivas de la estructura .....	98
5.2.	Comparación de fuerzas de diseño para los elementos estructurales .....	99
5.2.1.	Diagramas de momentos .....	99
5.2.2.	Diagrama de corte .....	100
5.3.	Comparación de elementos estructurales .....	101
5.3.1.	Vigas .....	101
5.3.2.	Columnas .....	102
5.3.3.	Cimentación .....	102
5.3.4.	Peso final y volumen de materiales .....	103
6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	105
	CONCLUSIONES.....	107
	RECOMENDACIONES .....	109
	BIBLIOGRAFÍA.....	111
	APÉNDICES.....	113
	ANEXOS.....	129

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Detalle de aislador elastomérico .....	7
2.	Foothill Communities Law and Justice Center.....	9
3.	Union House, Auckland .....	9
4.	Oakland City Hall .....	10
5.	Hospital Militar, Chile .....	10
6.	Edificio Vulco .....	10
7.	Hospital Talca, Chile.....	10
8.	Mapa de amenaza sísmica.....	11
9.	Sismos históricos.....	13
10.	Ubicación propuesta para el caso de estudio .....	16
11.	Planta típica de hospital .....	19
12.	Elevación de estructura .....	19
13.	Espectro de respuesta sísmica.....	27
14.	Resumen de % de participación de masa en el análisis modal. ...	33
15.	Desplazamiento de la estructura .....	34
16.	Momentos provocados por carga muerta. Eje D. [t-m].....	36
17.	Momentos provocados por carga viva. Eje D. [t-m].....	37
18.	Momentos provocados por carga de sismo. Eje D. [t-m].....	37
19.	Cortes provocados por carga muerta. Eje D [t].....	38
20.	Cortes provocados por carga viva. Eje D [t] .....	39
21.	Cortes provocados por carga de sismo. Eje D [t] .....	39
22.	Envoltorio de momentos. Eje D [t m].....	41
23.	Envoltorio de corte. Eje D [t]. .....	41
24.	Área de acero necesaria para vigas. Eje D [%]. .....	43

25.	Armado de viga entre el eje 2 y 3 del nivel 4. Eje D .....	45
26.	Esquema para cálculo de momentos probables y corte en viga...	46
27.	Área de acero necesaria para columnas. Eje D [%].....	48
28.	Armado típico de columna.....	51
29.	Distribución de zapatas aisladas en edificación .....	52
30.	Reacciones en la zapata eje E-5 (t, t-m) .....	53
31.	Presiones ejercidas por carga gravitacional (t/m <sup>2</sup> ) .....	56
32.	Corte por punzonamiento en zapatas de la estructura (%) .....	57
33.	Momento en zapata E5 (t-m).....	58
34.	Detalle del armado de la zapata.....	59
35.	Diagrama de flujo diseño de aislador... ..	62
36.	Detalles de aislador marca Bridgestone .....	69
37.	Esquema con final de aislador (cm) .....	69
38.	Espectro de respuesta sísmica .....	72
39.	Resumen de % de participación de masa en el análisis modal....	74
40.	Momentos provocados por carga muerta. Eje D. [t-m] .....	76
41.	Momentos provocados por carga viva. Eje D. [t-m] .....	77
42.	Momentos provocados por carga muerta. Eje D. [t-m] .....	77
43.	Cortes provocados por carga muerta. Eje D [t] .....	78
44.	Cortes provocados por carga viva. Eje D [t].....	78
45.	Cortes provocados por carga sísmica. Eje D [t] .....	79
46.	Envolvente de momentos. Eje D [t m]. .....	80
47.	Envolvente de corte. Eje D [t].....	80
48.	Área de acero necesaria para vigas y columnas. Eje D [%].....	81
49.	Armado de viga entre el eje 2 y 3 del nivel 4. Eje D .....	84
50.	Armado típico de columna, edificio aislado .....	88
51.	Reacciones en la zapata eje E-5 (t, t-m). .....	89
52.	Presiones ejercidas por carga gravitacional (t/m <sup>2</sup> ). .....	91
53.	Corte por punzonamiento en zapatas de la estructura (%). .....	92
54.	Momento en zapata E5 (t-m).....	93

55.	Detalle del armado de la zapata.....	94
56.	Comparación peso estructura.....	103
57.	Volumen total de concreto y acero. ....	104

## TABLAS

I.	Peralte mínimo de vigas.....	22
II.	Datos de Espectro sísmico.....	26
III.	Peso de techo .....	28
IV.	Peso de niveles 4, 3, 2 y 1 .....	29
V.	Cuadro resumen .....	29
VI.	Asignación de Factores de acuerdo al sistema de resistencia lateral .....	29
VII.	Corte basal por nivel, eje X.....	30
VIII.	Corte basal por nivel, eje Y.....	31
IX.	Chequeo de derivas en X.....	35
X.	Chequeo de derivas en Y.....	35
XI.	Diseño de vigas a flexión. Eje D.....	45
XII.	Características del aislador HH080 .....	68
XIII.	Datos de espectro sísmico .....	68
XIV.	Asignación de factores de acuerdo al sistema de resistencia lateral .....	73
XV.	Chequeo de derivas eje X.....	75
XVI.	Chequeo de derivas en Y.....	75
XVII.	Diseño de vigas a flexión. Eje D.....	83
XVIII.	Comparación de período de vibración de la estructura (s).....	95
XIX.	Comparación de los modos de vibración .....	96

XX.	Comparación peso de las estructuras.....	97
XXI.	Comparación de corte basal en las estructuras .....	97
XXII.	Comparación del factor R de la estructura.....	98
XXIII.	Comparación de derivas en las estructuras .....	99
XXIV.	Comparación de momentos máximos entre las estructuras .....	100
XXV.	Comparación de cortes máximos entre las estructuras .....	100
XXVI.	Comparación de vigas principales .....	101
XXVII.	Comparación de columnas .....	102
XXVIII.	Comparación de zapatas .....	102
XXIX.	Comparación de pesos y volumen de materiales .....	103

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>h</b>	Altura
<b>H<sub>v</sub></b>	Altura de la viga
<b>T<sub>viga</sub></b>	Altura de la viga
<b>β<sub>eff</sub></b>	Amortiguamiento efectivo del sistema de aislación.
<b>β<sub>D</sub></b>	Amortiguamiento efectivo del sistema de aislación cuando se evalúa el desplazamiento de diseño.
<b>β<sub>M</sub></b>	Amortiguamiento efectivo del sistema de aislación cuando se evalúa el desplazamiento máximo.
<b>A</b>	Área
<b>A<sub>s</sub></b>	Área de acero
<b>A<sub>v</sub></b>	Área de la varilla
<b>A<sub>g</sub></b>	Área gruesa
<b>A<sub>t</sub></b>	Área tributaria
<b>b</b>	Base de la viga

<b>q<sub>n</sub></b>	Capacidad soporte del suelo
<b>P<sub>n</sub></b>	Carga axial nominal
<b>P'<sub>t</sub></b>	Carga de trabajo
<b>C<sub>m</sub></b>	Carga muerta
<b>W<sub>m</sub></b>	Carga muerta distribuida
<b>P</b>	Carga puntual
<b>C<sub>v</sub></b>	Carga viva
<b>W<sub>v</sub></b>	Carga viva distribuida
<b>CM</b>	Centro de masa
<b>CR</b>	Centro de rigidez
<b>V<sub>B</sub></b>	Corte sísmico lateral de un elemento bajo el sistema de aislación.
<b>V<sub>S</sub></b>	Corte sísmico lateral de un elemento sobre el sistema de aislación.
<b>P</b>	Cuantía de acero
<b>Ø</b>	Diámetro
<b>D<sub>D</sub></b>	Desplazamiento de diseño (cm) del centro de rigidez del sistema aislador.
<b>D<sub>M</sub></b>	Desplazamiento máximo (cm) del centro de rigidez del sistema aislador.
<b>D<sub>TD</sub></b>	Desplazamiento total de diseño (cm) del centro de rigidez del sistema aislador.

<b>D<sub>TM</sub></b>	Desplazamiento total máximo (cm) del centro de rigidez del sistema aislador.
<b>@</b>	En nomenclatura de planos constructivos, significa “a cada”, usualmente denotando distancias.
<b>V</b>	Esfuerzo de corte
<b>F<sub>y</sub></b>	Esfuerzo de fluencia para el acero
<b>t</b>	Espesor
<b>e</b>	Excentricidad
<b>F<sub>cu</sub></b>	Factor de carga última
<b>S</b>	Fuerza del sismo
<b>I</b>	Inercia
<b>G</b>	Módulo de elasticidad a corte del aislador
<b>MB</b>	Momento balanceado
<b>M<sub>cm</sub></b>	Momento de carga muerta
<b>M<sub>cv</sub></b>	Momento de carga viva
<b>M(-)</b>	Momento negativo
<b>M(+)</b>	Momento positivo
<b>M<sub>u</sub></b>	Momento último
<b>d</b>	Peralte efectivo
<b>T<sub>D</sub></b>	Período efectivo, en segundos.
<b>T<sub>M</sub></b>	Período máximo efectivo, en segundos.

<b><math>W_c</math></b>	Peso específico del concreto
<b><math>q_{max}</math></b>	Presión máxima sobre el suelo
<b><math>q_{min}</math></b>	Presión mínima sobre el suelo
<b>Rec</b>	Recubrimiento
<b>m</b>	Relación entre lado corto y lado largo en losas.
<b><math>f'_c</math></b>	Resistencia última del concreto
<b><math>K_{Dmax}</math></b>	Rigidez máxima efectiva del sistema de aislamiento.
<b><math>K_{Dmin}</math></b>	Rigidez mínima efectiva del sistema de aislamiento.
<b><math>K_{eff}</math></b>	Rigidez efectiva de un aislador
<b>s</b>	Separación de estribos
<b>t</b>	Tonelada
<b>q</b>	Zapata

## GLOSARIO

<b>ACI 318-08</b>	Instituto Americano del Concreto ( <i>American Concrete Institute</i> ). Constituye un normativo con parámetros para diseño de concreto
<b>AGIES NSE-10</b>	Normas de seguridad estructural de Guatemala.
<b>Aislador</b>	Es un elemento estructural de goma flexible horizontalmente que permite deformarse frente a cargas laterales sísmica disipando la misma.
<b>Amortiguamiento efectivo</b>	El valor del amortiguamiento corresponde a la energía disipada durante la respuesta cíclica del sistema de aislación.
<b>Área de acero mínima</b>	Cantidad de acero, determinado por la sección y límite de fluencia.
<b>Área de acero requerida</b>	Cantidad de acero, calculada para resistir el momento actuante en el elemento estructural.

<b>ASCE 7-10</b>	Sociedad Americana de Ingenieros Civiles. Es el reglamento base de AGIES y de la propuesta de aislación.
<b>Carga muerta</b>	Peso muerto soportado por un elemento estructural, incluyendo el propio.
<b>Carga viva</b>	Peso variable dado por el personal, maquinaria móvil, etcétera.
<b>Concreto reforzado</b>	Concreto que contiene el refuerzo de acero.
<b>Coordenadas</b>	Son puntos que sirven para determinar la posición exacta de un lugar.
<b>Desplazamiento total de diseño</b>	Desplazamiento que tiene el sistema de aislación al momento de un sismo. Incluye efectos de torsión accidental.
<b>Desplazamiento de diseño</b>	Desplazamiento que tiene el sistema de aislación al momento de un sismo. Excluye efectos de torsión accidental.
<b>Envolvente de momentos</b>	Representa el efecto de la superposición de las cargas muertas, vivas, sismo y más si existieran.

**Excentricidad**

Se produce cuando el centro de rigidez no coincide con el centro de masa, esto es debido a que existe una distribución desigual y asimétrica de masas y rigideces en la estructura.

**Fluencia**

Sobrepasando el límite elástico, todo aumento de carga produce deformaciones plásticas o permanentes que ya no son proporcionales al aumento de carga, sino que adoptan valores crecientes para incrementos de cargas iguales.

**Marco de concreto**

Sistema estructural formado por columnas y vigas de concreto armado, para soportar cargas verticales y horizontales.

**Momento**

Esfuerzo al que se somete un cuerpo, debido a la aplicación de una fuerza a cierta distancia de su centro de masa.

**Momento negativo**

Es el momento al que están siendo sometidos los extremos de las vigas. Si el acero corrido no cubre dicho momento, se pone acero extra llamado bastón.

**Momento positivo**

Es el momento al que está siendo sometido el centro de la viga. Si el acero corrido no cubre dicho momento, se pone acero

extra llamado bastón.

**Momento resistente**

Es el momento que puede resistir una estructura con cierta cantidad de acero.

**Peralte efectivo**

Distancia desde la fibra extrema al refuerzo longitudinal.

**Rigidez**

Es la capacidad de un objeto sólido o elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones o desplazamientos.

**Rigidez efectiva**

Es el valor de la fuerza lateral en el sistema de aislamiento, dividido por el desplazamiento lateral correspondiente

**Sistema de aislación**

Es la colección de elementos estructurales que incluyen todos los aisladores, así como todos los elementos estructurales que transfieren fuerzas entre los aisladores y los elementos de la estructura.

**Zapata**

Tiene por objeto transmitir la carga al subsuelo a una presión adecuada a las propiedades del suelo.

## RESUMEN

De todas las clases de estructuras, según su uso, las esenciales son aquellas donde funcionan instalaciones necesarias en la recuperación posterior al sismo, que deben permanecer en condiciones de funcionamiento durante y después del mismo.

Para asegurar el funcionamiento de una estructura esencial, después de un sismo puede hacerse principalmente de dos formas. La primera, diseñando la estructura lo suficientemente fuerte para no sufrir daño y permanecer íntegra. La segunda es utilizando dispositivos de disipación de energía.

Los dispositivos de aislamiento sísmico son apropiados para este tipo de edificaciones, porque desconectan la estructura del suelo y reducen la energía que induce el movimiento del suelo minimizando de esta forma el daño a la estructura.

Por lo anterior, este trabajo se enfoca en la aplicación de aisladores elastoméricos en la base de una edificación de uso esencial, como lo es un hospital, y compararlo con una estructura idéntica pero reforzada con marcos dúctiles de concreto.

Este trabajo se enfoca principalmente en comparar el comportamiento de ambas estructuras frente a un sismo. También se determina si el uso de aisladores mejora el desempeño estructural de un hospital.

Esta experiencia en la implementación de aisladores en la base para una estructura de uso esencial, deja en evidencia la necesidad de agregar un capítulo específico sobre aisladores elastoméricos en la base (basándose en ASCE 7-10) en las normas de AGIES (NSE) para la República de Guatemala. Atendiendo esta necesidad, como producto de este trabajo de graduación se adjunta en anexos una propuesta de capítulo sobre aisladores elastoméricos en la base (usando como base en ASCE 7-10) en las normas guatemaltecas de AGIES.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Guatemala, debido a su ubicación geográfica es muy susceptible a desastres naturales, especialmente sismos, por lo que está surgiendo la necesidad de iniciar una alternativa de protección de edificaciones esenciales ya sea aumentando la capacidad de absorber energía de la estructura o incluyendo en la misma dispositivos que mejoren la respuesta sísmica al momento de un sismo.

Este tipo de edificios con aisladores en la base son construidos cada vez más en países desarrollados. Sin embargo, en Guatemala éstas son tecnologías que aún no se utilizan.

Las prácticas actuales de diseño en Guatemala incluyen factores de reducción de cargas laterales de sismo, a cambio de que la estructura se comporte inelásticamente. Este comportamiento inelástico implica admitir daño en la estructura y, por lo tanto, efectos que afectarán el desempeño normal de la estructura.

La implementación de los sistemas de aislamiento sísmico reduce la demanda sísmica sobre las estructuras, con lo que estas pueden mostrar un comportamiento elástico ante la ocurrencia de terremotos, reducir daños y garantizar un funcionamiento continuo de la misma.

Existen diversas maneras de lograr esto, pero en este documento solo se abarca lo relativo al aislamiento de base pasivo cuyos usos y éxitos han sido demostrados a nivel mundial, reduciendo daño y garantizando el funcionamiento continuo de edificios de gran importancia.

La siguiente propuesta está enfocada a estudiar un edificio de 5 niveles construido con un sistema de marcos de concreto reforzado, aplicándole aisladores elastoméricos en la base. Este documento pretende contribuir a aumentar el conocimiento en esta rama de la ingeniería a nivel nacional presentando un enfoque que es relativamente nuevo, el de crear una estructura que sea capaz de resistir un sismo de gran intensidad y después de éste seguir siendo operable sin daños mayores que pequeñas fisuras que no provoquen ningún debilitamiento estructural y que el contenido se encuentre operando sin interrupciones.

El estudio pretende realizarse con parámetros para la ciudad de Guatemala, utilizando las normas AGIES NSE-2010 y las ASCE 7-10. El diseño se hará mediante el apoyo de un software de cálculo estructural llamado ETABS. Al finalizar el trabajo se responderá a la cuestión: ¿Mejorará el comportamiento estructural de una edificación de concreto utilizando aisladores elastoméricos en la base?, ¿El desempeño estructural de una edificación se ve mejorado utilizando aisladores en la base durante su vida útil?, ¿Qué ventajas tiene el uso de aisladores elastoméricos en la base de edificios de tipo esencial para evitar colapsos e inhabilitación después del sismo?, ¿Cuál es el procedimiento para seleccionar aisladores elastoméricos apropiados para edificaciones considerando las AGIES NSE-2010?, ¿es posible adaptar una propuesta de normativa para la inclusión de una sección de aisladores en la base en las normas de AGIES?

## **OBJETIVOS**

### **General**

Comparar el comportamiento de una edificación de tipo hospitalaria de concreto reforzado de cinco niveles, con y sin aisladores elastoméricos en la base.

### **Específicos**

1. Determinar si el uso de aisladores mejora el desempeño estructural de una edificación hospitalaria de concreto reforzado de cinco niveles.
2. Comparar los parámetros característicos de una edificación cuando se utiliza aisladores sísmicos contra una que se refuerza con marcos dúctiles de concreto.
3. Explicar los criterios técnicos para seleccionar aisladores elastoméricos apropiados, para edificaciones considerando las NSE-2010 de AGIES.
4. Diseñar una estructura aislada utilizando de referencia los normativos de AGIES y el capítulo 17 de ASCE 7-10.



## HIPÓTESIS

La ingeniería sísmica en los últimos tiempos se ha enfocado en la investigación y la implementación de métodos para la mitigación de la amenaza que rodea a las comunidades. En este sentido, los aisladores elastoméricos de base y el reforzamiento de estructuras han tomado gran auge. El aislamiento sísmico se ha constituido en una alternativa para los esquemas convencionales de rigidización y reforzamiento de estructuras.

En general, se plantea la hipótesis que los aisladores elastoméricos son una buena opción a considerar en los casos, se espera un buen nivel de desempeño en cuanto a la protección de la vida de las personas.

El comportamiento estructural de una edificación de concreto mejorará al incluirle aisladores elastoméricos en la base, respecto a una estructura reforzada con marcos dúctiles, debido a que estos dispositivos separan la estructura del suelo y así merman la demanda sísmica.

Al incluir aisladores elastoméricos en la base de estructuras esenciales, como hospitales, se puede garantizar que la estructura va a permanecer operativa después de un evento sísmico.



## RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

El objetivo principal del diseño sismo resistente es proteger la vida de los ocupantes de una edificación, evitando colapsos de estructuras durante un terremoto. Para esto, se pueden usar diferentes filosofías dentro se encuentran:

**Diseño por resistencia:** Consiste en construir elementos estructurales capaces de soportar todas las cargas previstas, que actuarán en una estructura a lo largo del tiempo.

**Diseño dúctil:** Consiste en dotar, a los elementos estructurales, de la capacidad para absorber y disipar la energía que produce el sismo. Las estructuras pueden sufrir daños severos sin llegar al colapso.

Los principales sistemas de resistencia lateral que se basan en los conceptos anteriores son: marcos dúctiles, marcos con breizas, muros estructurales y sistemas duales.

Además de los métodos anteriores, en los últimos años con el avance de la tecnología se ha desarrollado una serie de métodos alternativos que ayudan a proteger la integridad de una estructura.

Estos nuevos métodos se enfocan en el control de los desplazamientos de la estructura, lo cual ayuda a que los miembros estructurales estén sometidos a una demanda sísmica menor. Estos nuevos métodos son conocidos como sistemas de disipación activa y pasiva.

Sistemas de disipación activa: estos sistemas contrarrestan los efectos del sismo mediante dispositivos inteligentes que disminuyen la fuerza sísmica en la estructura. Estos dispositivos se colocan dentro de la estructura, utilizan energía externa (para generar fuerza compensadora). Además, estos dispositivos son controlados por paneles electrónicos y/o microprocesadores.

Sistemas de disipación pasiva: es un sistema que contrarresta la fuerza sísmica con dispositivos mecánicos ubicados en la estructura. Este sistema es uno de los más utilizados y es el que se trata en esta investigación.

En esta clasificación se puede mencionar los siguientes dispositivos:

- Aisladores basales
- Disipadores pasivos
- Fluencia de metales
- Dispositivos de fricción
- Deformación de metales sólidos visco elásticos
- Deformación de fluidos visco elásticos

El aislamiento basal es una técnica de diseño sismorresistente, que consiste en apoyar la estructura a un elemento de apoyo de alta flexibilidad o baja resistencia que separa la estructura del suelo en donde está se cimienta.

Aisladores elastoméricos: es un dispositivo mecánico compuesto por placas de goma y acero unidas por un proceso de vulcanización. Un aislador elastomérico puede alcanzar altos valores de amortiguamiento que varían entre 12 y 18%, incluso agregando un núcleo de plomo podemos alcanzar entre 20-40%. Estos dispositivos se usan alrededor del mundo, sin embargo, en Guatemala no hay ningún antecedente.

## INTRODUCCIÓN

El aislamiento sísmico es un sistema que ha tomado gran auge en los últimos 40 años, y consiste en una serie de dispositivos que se colocan en la base de las estructuras para proteger su integridad al desacoplarlas del movimiento provocado por un sismo. El aislamiento sísmico es un sistema de gran alcance de la ingeniería sísmica, utilizada cada día más alrededor del mundo. Sin embargo, a pesar de las múltiples ventajas que esto conlleva, este sistema aún no se ha desarrollado en Guatemala.

El presente trabajo incursiona en este tema realizando el diseño de un edificio de 5 niveles para uso esencial (hospital), incluyendo aisladores elásticos en la base, evaluando el desempeño estructural de esta edificación versus una que no cuente con estos dispositivos sísmicos. El diseño se realizará en concreto reforzado utilizando los valores y parámetros de diseño proporcionados por AGIES para la ciudad de Guatemala y el normativo de ASCE 7/10. Se utilizará ETABS como software de análisis y diseño para la edificación.

En el primer capítulo, se presenta una investigación sobre los antecedentes de la ingeniería sísmica, la aislación basal, los tipos de aisladores, así como ejemplos de su aplicación a nivel mundial.

El capítulo 2, se presenta una descripción del caso de estudio. Abarca antecedentes sismológicos en Guatemala, localización de la estructura, requerimientos arquitectónicos de la estructura, diseño arquitectónico del edificio, así como un predimensionamiento de los elementos estructurales y el respectivo análisis estructural.

En el capítulo 3, se realizó el diseño estructural del hospital sin incluirle aisladores sísmicos en la base, siendo entonces un diseño convencional. En este capítulo se determinarán aspectos de comparación como: modos de la estructura, derivas, diagramas de corte, momentos, envolventes.

En el capítulo 4, se realizó el diseño estructural del hospital incluyéndole aisladores elastoméricos en la base. En este capítulo además de determinar aspectos de comparación se analizarán las características que debe cumplir el aislador. Con estas características seleccionar un aislador dentro de alguna marca comercial existente que diseñe y elabore estos dispositivos.

El capítulo 5 tiene como fin la comparación del comportamiento de la estructura con ambos sistemas de disipación de energía propuestos. Los aspectos que se comparan son los obtenidos en los capítulos 3 y 4, siendo estos: parámetros dinámicos, parámetros de carga y los elementos estructurales.

Esta investigación culmina con sus respectivas conclusiones, resultados, recomendaciones, bibliografía y anexos (en esta parte se incluirán planos arquitectónicos y estructurales de la edificación, tablas de diseño para aisladores y propuesta de normativa para AGIES).

# **1. MARCO TEÓRICO**

El diseño sismo resistente tiene como objetivo principal proteger la vida de los ocupantes de una edificación a través de la prevención de colapso de una estructura durante un terremoto. Sin embargo, el diseño sismo resistente debe ayudar a controlar la gravedad de los daños en los sismos pequeños o moderados. Además, la estructura se espera siga funcionando en condiciones de servicio después del evento. Lo anterior depende básicamente del nivel de seguridad que se pretenda dar a una estructura; se podrá diseñar para que no sufra ningún daño después de un sismo severo (la opción menos económica, pero necesaria para estructuras esenciales) hasta dejar la estructura con el nivel mínimo de protección, evita el colapso, pero requiere reparaciones mayores.

La responsabilidad de los ingenieros para lograr dichos objetivos depende del diseño estructural, estudio de suelos, supervisión de los materiales utilizados, los procesos constructivos adecuados y toda actividad que gire alrededor de la estructura.

## **1.1. Filosofía de diseño sismo resistente**

Al momento de realizar diseño de estructuras sismo resistentes se debe tener claro los siguientes conceptos:

### **1.1.1. Resistencia y ductilidad**

El primer concepto consiste en dar a la estructura capacidad de soportar, con un margen de seguridad, todas las cargas previstas que actúen sobre la

misma a lo largo del tiempo. Este concepto se mantiene vigente en toda la filosofía del diseño, es por esto que se dimensionan elementos (tamaños y cantidades de acero y concreto) de manera que sean las adecuadas para el uso que se destinará la misma.

El segundo principio se conoce como ductilidad, y representa la capacidad de un material de deformarse plásticamente sin romperse. Así pues, un material es capaz de deformarse de manera permanente (rango inelástico) antes de fallar. La ductilidad permite reducir las fuerzas inducidas por el sismo, esto debido a la capacidad de disipación de energía de los elementos de la estructura.

Con este método de protección se acepta el daño durante un sismo severo, sin llegar al colapso, y que las estructuras alcancen el rango no lineal. Por este motivo las estructuras trabajan en un rango inelástico y sufren deformaciones remanentes.

Dentro de los sistemas de resistencia lateral que se basan en estos principios y características del diseño por resistencia y ductilidad se puede mencionar:

- Marcos dúctiles
- Marcos arriostrados
- Muros estructurales
- Sistemas duales

A pesar que el método anterior es el más usado alrededor del mundo, en los últimos tiempos se han desarrollado nuevas ideas respecto a la protección ante el peligro sísmico. Estas ideas han sido fuertemente apoyadas por el desarrollo de la tecnología.

Existen básicamente dos tipos de sistemas: disipación activa y pasiva. Estos nuevos conceptos tienen por objetivo el control de desplazamientos de una estructura, haciendo uso de alguno de los siguientes recursos:

- Modificación de las propiedades dinámicas del edificio.
- Disipación de energía introducida al sistema a partir de dispositivos mecánicos.
- Control con dispositivos que ejerzan fuerzas que contrarresten la acción sísmica.

#### **1.1.2. Sistemas de disipación activa**

Los sistemas de disipación activa contrarrestan los efectos del sismo, mediante actuadores. Un sistema de disipación activa, consiste básicamente en:

- Dispositivos situados en la propia estructura que sirven para medir la excitación externa o variables de la respuesta estructural.
- Paneles de control que, basándose en la lectura de los dispositivos sensores, realizan un cálculo de la fuerza que se aplicará sobre los actuadores para soportar las fuerzas sísmicas.
- Actuadores que normalmente son activados fuentes de energía externa para ejercer fuerzas.

El Active Mass Damper (AMD), permite ejemplificar un sistema de control activo, el cual se basa en una masa auxiliar móvil generalmente inferior al 1% de la masa total de la estructura y se debe instalar de preferencia en la parte más alta del edificio, con un actuador conectado a ella. La fuerza que desarrolla esta masa oscilante debe minimizar los efectos de la fuerza sísmica y con esto reducir la respuesta estructural (Villareal Castro, 2008).

### **1.1.3. Sistemas de disipación pasiva**

En los sistemas pasivos se disipa la energía en la estructura y en los dispositivos mecánicos que esta posee. A este sistema se denomina como sistemas de protección pasiva; dentro de esta clasificación se han desarrollado múltiples dispositivos como:

- Aisladores basales
- Disipadores pasivos
- Fluencia de metales
- Fricción
- Deformación de metales sólidos visco elásticos
- Deformación de fluidos visco elásticos

Para fines de este trabajo, en esta investigación se trata a fondo el tema de los aisladores basales.

## **1.2. Aislación basal**

Uno de los sistemas pasivos que más desarrollo ha tenido es la aislación en la base. La aislación basal cuenta con dos principios básicos: flexibilidad y el aumento de amortiguamiento, esto logra reducir las aceleraciones y concentrando el desplazamiento en el sistema de aislación (Chacón Sierra, 2009).

La aislación basal se basa en los siguientes mecanismos:

- Reducción de la respuesta sísmica como una consecuencia al corrimiento del periodo fundamental de la estructura.

- Limitación de las fuerzas transmitidas a la cimentación. El alta capacidad de amortiguación de los aisladores permite controlar y reducir las derivas de la edificación (Chacón Sierra, 2009).

El aislamiento basal es una técnica de diseño sismorresistente, que básicamente, consiste en apoyar la estructura a un elemento de apoyo de alta flexibilidad o baja resistencia que separa la estructura del suelo en donde está se cimienta. Los aisladores reducen la rigidez del sistema de manera sustancial, lo que provoca un periodo fundamental mayor que en una estructura convencional.

Varios estudios, análisis numéricos y ensayos en laboratorio demuestran el excelente comportamiento de estructuras cuando son sometidos a eventos sísmicos moderados y severos. Por consiguiente, una vez aplicado el análisis dinámico es una excelente herramienta para el diseñador.

Los principales mecanismos de aislación usados típicamente son tres:

- Aisladores elastoméricos
- Aisladores de goma con núcleo de plomo
- Aisladores friccionales

### **1.2.1. Antecedentes**

Este tema tiene sus antecedentes desde inicios de las civilizaciones cuando los griegos aplicaron el concepto de aislar, mediante una capa fina de arena, la edificación llamada Palacio de Knossos (2000 A.C.). Los primeros antecedentes del concepto de aislación se encontraron en el Partenón (400 A.C) (Naeim y Kelly, 1999).

En sus inicios los aisladores fueron enfocados desde el punto de cimentar máquinas como motores y turbogeneradoras. Sin embargo, en los últimos años se ha sometido a ensayos y estudios para describir los beneficios, en protección de edificios, de estos dispositivos al momento de sismos severos.

El primer antecedente de un sistema de aislamiento sísmico en un edificio se remonta al año 1 880. Este sistema lo desarrolla un profesor de ingeniería llamado John Milne. El proyecto consistía en una edificación construida sobre una caja de acero que contenía bolas del mismo material. Por encima de las mismas existía una placa de acero tomada al edificio cuya superficie de contacto con las bolas tenía forma cóncava, otra placa de idénticas características se ubicaba por debajo de las bolas. Se hicieron ensayos de movimientos sísmicos y las experiencias obtenidas fueron publicadas en 1 885 en el informe de la Asociación Británica para el avance de la ciencia

El primer sistema de aislación sísmica utilizada fueron los aisladores elastoméricos. El primer edificio se construyó en 1 969 en Skopia – Macedonia (La Escuela Pestalozzi) con aisladores de goma (Rendon, J. 2009).

Actualmente este sistema es muy aceptado en el mundo. De hecho, hay muchos ejemplos en Estados Unidos de Norteamérica, Japón, Italia y Nueva Zelanda. Sin embargo, también existen proyectos de menor costo para viviendas económicas de los cuales hay casos construidos en China y Armenia.

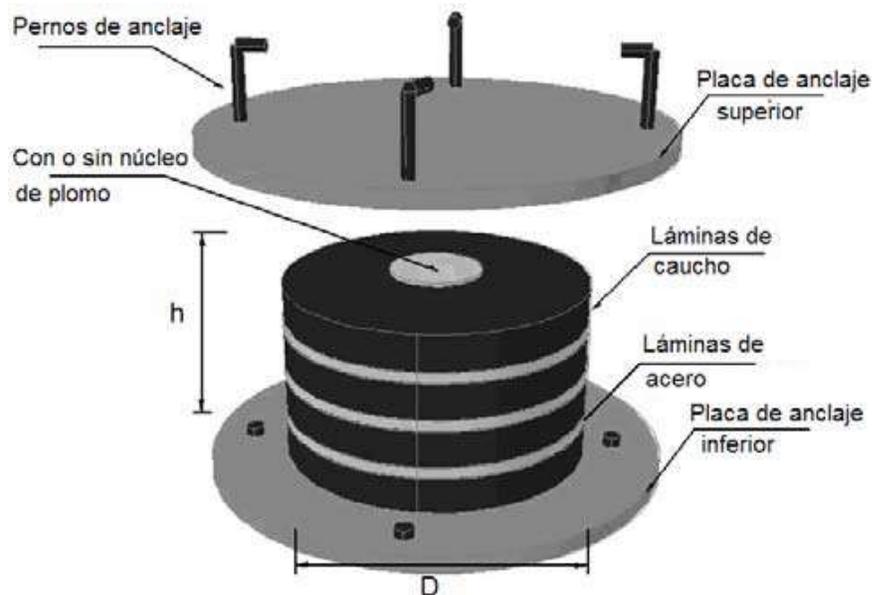
El sistema tiene antecedentes de efectividad en los registros de la respuesta dinámica de los edificios aislados de base durante los sismos de Northridge en 1 994 y Kobe en 1 995. Este hecho sentó un precedente muy importante, pues las estructuras con aislamiento sísmico experimentaron un comportamiento muy satisfactorio durante estos sismos devastadores, al punto

de que solamente en Japón se construyeron más de 80 hospitales y 400 edificios con aislamiento sísmico entre 1 997 y 1 998 (Aguilar & Chacón Sierra, 2009).

### 1.2.2. Aisladores elastoméricos

Un aislador elastomérico es un compuesto por placas de goma y acero unidas entre sí por un proceso de vulcanización. La rigidez del apoyo es controlada por el espesor de las capas de goma. Así, mientras más gruesas son estas capas más flexibles es el apoyo en la dirección horizontal. En cambio, la rigidez vertical del apoyo es controlada por la alta rigidez en planta de las placas de acero que inhibe la expansión lateral de la goma que resulta de la presión vertical (Auqui Parra, 2010).

Figura 1. Detalle de un aislador elastomérico



Fuente: Aguilar & Chacón Sierra, 2009.

Los aisladores elastoméricos pueden alcanzar importantes valores de amortiguamiento, para lo cual será necesario modificar la composición química

de la goma, con lo cual se pueden esperar valores de amortiguamiento viscoso equivalente que fluctuarían entre 12 % y 18 % (Aguiar & Chacón Sierra, 2009)

No obstante, si se desea alcanzar niveles de amortiguamiento mayores (20 % a 40 %), se puede incorporar en el aislador un núcleo de plomo. El dispositivo resultante es idéntico al aislador elastomérico convencional salvo que en el centro del aislador se incorpora el núcleo de plomo que estará confinado por las láminas de goma y acero (Aguiar & Chacón Sierra, 2009).

El núcleo de plomo cumple dos funciones principales. La primera es la de aumentar el amortiguamiento del aislador, el plomo puede fluir bajo deformación lateral, y la segunda, es la de proveer mayor rigidez lateral a la estructura, tanto para cargas de servicio como para cargas eventuales como por ejemplo las provenientes de viento. En conclusión, al incorporar al aislador un núcleo de plomo, se tiene un elemento que combina en una unidad física un elemento flexible y un disipador de energía (Aguiar & Chacón Sierra, 2009).

### **1.2.3. Ejemplos a nivel mundial**

A nivel mundial existen muchas edificaciones y estructuras que cuentan con aisladores sísmicos en la base, se listarán e ilustrarán algunos de los más importantes. Entre los cuales se puede mencionar:

- Foothill Communities Law and Justice Center (USA, fig. 2). Fue el primer edificio en Estados Unidos que utilizó aisladores en la base.
- Union House en Auckland (Nueva Zelanda, fig. 3)
- Oakland City Hall (California, Estados Unidos, fig. 4)

Figura 2. **Foothill Communities Law and Justice Center**



Fuente: [civil-engg-world.blogspot.com](http://civil-engg-world.blogspot.com)

Figura 3. **Union House, Auckland**



Fuente: <http://www.cnu.daejeon.kr>

- National Museum (Nueva Zelanda)
- Parliament House (Nueva Zelanda)
- West Japan Postal Center (Japón)
- Telecom en Ancona (Italia)
- Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Chile (Chile)
- Hospital Militar (Santiago de Chile, fig. 5)
- Edificio Vulco (Chile, fig. 6)
- Edificación del Gran Mendoza (Argentina)
- Hospital de Talca (Chile, fig. 7)
- Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional (Perú)

Figura 4. **Oakland City Hall**



Fuente: en.wikipedia.org

Figura 5. **Hospital Militar, Chile**



Fuente: en.wikipedia.org

Figura 6. **Edificio Vulco**



Fuente: edicionesespeciales.mercurio.com

Figura 7. **Hospital Talca, Chile**

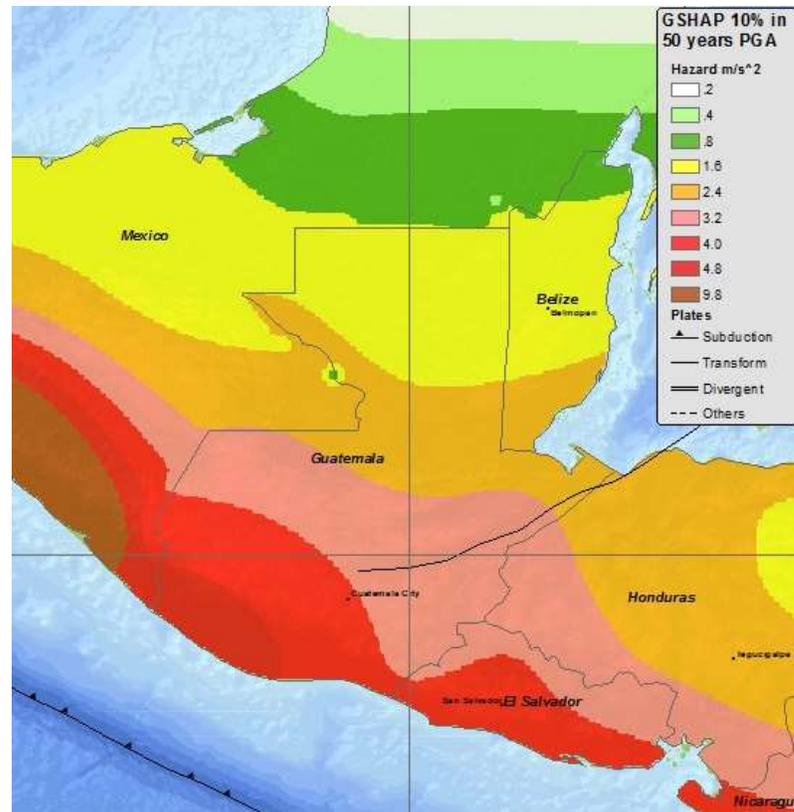


Fuente: en.wikipedia.org

### 1.3. Amenazas sísmicas en Guatemala

Los sismos son vibraciones de la corteza terrestre generadas por distintos fenómenos como actividad volcánica, el movimiento de las placas tectónicas y explosiones. Señalando que los más severos y los más importantes desde el punto de vista de la ingeniería son los de origen tectónico.

Figura 8. Mapa de Amenaza Sísmica



Fuente: <http://earthquake.usgs.gov>

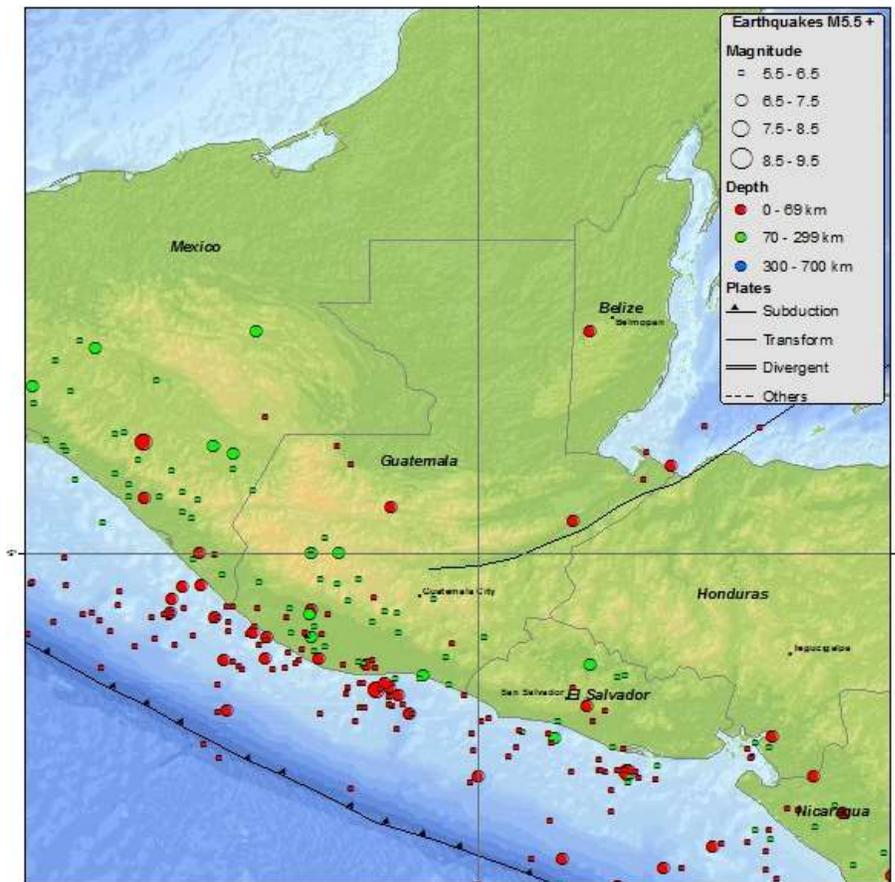
El territorio nacional por sus características geológicas está muy susceptible a sufrir movimiento de tipo sísmico, se encuentra situado sobre tres placas tectónicas: Caribe, Norteamérica (ambas continentales) y Cocos (oceánica). En la figura 8, se puede ver el nivel de riesgo que presenta el territorio guatemalteco desde zonas con mayor riesgo sísmico (parte sur, centro oriente y occidente) hasta zonas con menor riesgo (norte).

Según datos obtenidos del INSIVUMEH, se hace un listado de los principales sismos que afectaron a Guatemala durante el siglo XX:

- **El terremoto de 1 902:** El día 18 de abril se presentó un sismo de magnitud 7,5 en la escala de Richter que fue sensible y reportando daños principalmente en Quetzaltenango y Sololá. Se reportaron aproximadamente 200 muertos.
- **El terremoto de 1 913:** El día 8 de marzo hubo un terremoto que destruyó por completo la cabecera departamental de Santa Rosa, Cuilapa.
- **Los terremotos de 1 942:** El 6 de agosto se presentó el mayor terremoto registrado. Tenía una magnitud de 8,3. Ocasionó daños en los departamentos de: Guatemala, Sacatepéquez, San Marcos, Totonicapán, Quiché, Sololá, Escuintla, Huehuetenango, Santa Rosa, Chiquimula, Alta y Baja Verapaz.
- **El terremoto de 1 976:** Se considera un terremoto devastador, tuvo una magnitud de 7,5 grados. Este evento dejó muchas pérdidas de vidas humanas y materiales. La zona más afectada fue de 30 000 km<sup>2</sup>, con una población de 2,5 millones de personas. Debido a esto aproximadamente 23 000 personas fallecieron y 77 000 sufrieron heridas de consideración. Se contabilizó alrededor de 258 000 casas destruidas, esto significó cerca de 1,2 millones de personas sin hogar. Además, la infraestructura hospitalaria nacional fue destruida en un 40%, mientras que otros centros de salud también sufrieron daños sustanciales (Olcese & Ibarra, 1977).
- **El terremoto de 1 995:** El 19 de diciembre se registró un sismo de magnitud MI = 5,3 en la escala de Richter, se reportaron pequeños daños en San Miguel Tucurú.

- **El sismo de enero de 1 998:** El 10 de enero se produjo un sismo de magnitud 5,8 grados en la Escala de Richter. El evento principal fue seguido de otro, de menor magnitud, 4,4 grados en la Escala de Richter.
- **Terremoto de 2 012:** El 7 de noviembre se presentó el último movimiento sísmico significativo en el país. Tuvo una magnitud de 7,4 grados en la Escala de Richter. Fue sensible principalmente en San Marcos. Según la “Evaluación del impacto del terremoto de 7 de noviembre de 2 012 en Guatemala” preparado por SEGEPLAN, los daños fueron visibles en 215 escuelas, 32 instituciones de salud y 16 hospitales públicos.

Figura 9. **Sismos históricos**



Fuente: <http://earthquake.usgs.gov>

#### **1.4. Diseño sismo resistente en Guatemala**

Las prácticas actuales de diseño en Guatemala incluyen factores de reducción de cargas laterales de sismo a cambio de que la estructura se comporte inelásticamente (Resistencia y ductilidad). Este comportamiento inelástico implica admitir daño en la estructura y, por lo tanto, efectos que afectarán el desempeño normal de la estructura. Por lo tanto, en Guatemala no se tienen edificaciones construidas con dispositivos de disipación de energía sísmica (activa o pasiva).

En Guatemala, los diseños estructurales están regidos por las normas de AGIES, las cuales dan parámetros mínimos para las edificaciones en el país. Esta normativa no incluye ningún capítulo o mención para el diseño de aisladores elastoméricos en el país.

Dentro de los aportes que esta investigación pretende dar se encuentra identificar la necesidad que tiene el país de contar con una sección de aisladores elastoméricos dentro de las normas de AGIES, utilizadas en Guatemala. Además, se muestra, mediante un ejemplo académico, la metodología de diseño de una edificación con aisladores elastoméricos. Lo anterior busca promover el uso de estas tecnologías, que, sin ser nuevas, su introducción sería un adelanto en el país.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO**

Como se ha mencionado anteriormente, al momento de un sismo es de suma importancia que las estructuras esenciales no sufran daño, ya que se necesita que estén en funcionamiento para ser útiles después de desastres.

Este trabajo se enfoca en una comparación entre dos estructuras hipotéticas de uso hospitalario, uno con dispositivos de aislamiento en la base, y el otro reforzado de manera tradicional.

### **2.1. Localización del terreno**

El lugar propuesto para la edificación del caso de estudios se encuentra en zona 16, accedendo por calzada La Paz. Las coordenadas exactas son: latitud de 14°37'19.14"N y una longitud de 90° 29'1.09" O, según figura 10.

### **2.2. Diseño arquitectónico**

El hospital es de cinco (5) niveles. La normativa indica que la estructura debe tener entradas y salidas amplias, para facilitar el ingreso y/o salida de las personas que acudirán al centro hospitalario. También se debe contar con módulo de ascensores, módulo de gradas, así como rampas para personas en silla de ruedas.

Figura 10. Ubicación propuesta para el caso de estudio



Fuente: Google Earth.

El hospital en estudio compartirá la misma distribución de ambientes, tanto para el caso aislado como para el convencional. Los planos se adjuntan en el apéndice I. La distribución que se propone tiene en común para los 5 niveles lo siguiente:

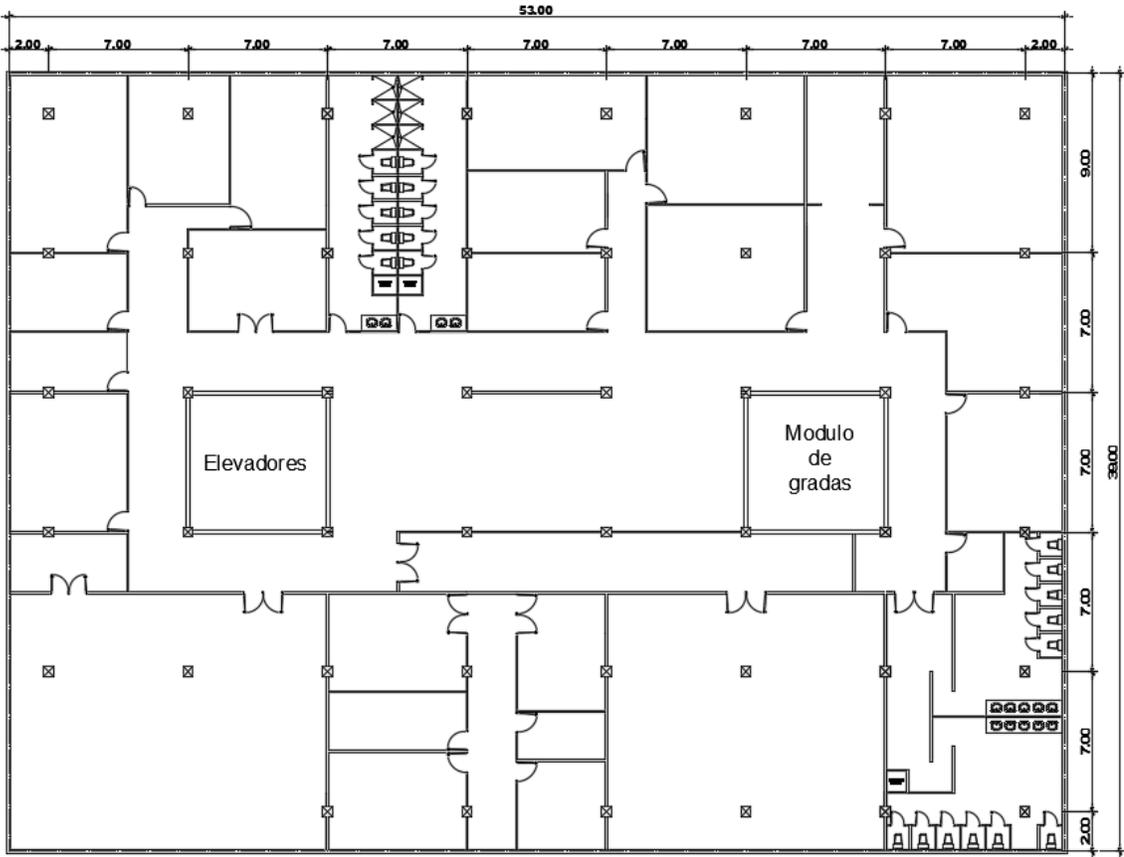
- Módulo de gradas
- Rampas
- Elevadores
- Ductos de servicio
- Sala de espera
- Baños para los pacientes y personal del centro hospitalario

Específicamente se propone la siguiente distribución para cada nivel:

- **Primer nivel (servicios comunes)**
  - Cafetería
  - Cocina
  - Bodegas de alimentos
  - Servicios sanitarios para personal del hospital
  - Bodega de registros médicos
  - Archivo
  - Armario de ropa
  - Sector de Mantenimiento
  - Morgue y autopsia
  - Caldera y transformadores
  - Microbiología
  - Farmacia
  - Laboratorio y toma de muestras
  
- **Segundo nivel (Especialidades)**
  - Oftalmología
  - Tumores
  - Endocrinología
  - Servicio Social
  - Dermatología
  - Nutriología
  - Proctología
  - Cardiología
  - Quirófanos y encamamientos (recuperación e intensivo)
  - Cirugías menores
  - Área administrativa

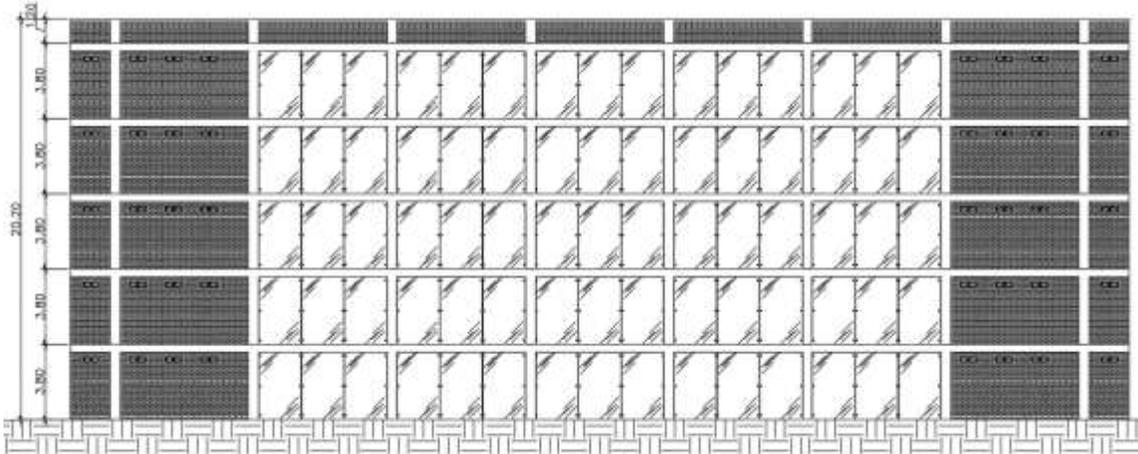
- **Tercer nivel (área infecciosa)**
  - Laboratorio de hematología y toma de muestras
  - Banco de sangre
  - Odontología
  - Urocoprología
  - Procedimiento de eferisis
  - Clínicas de enfermedades infecciosas
  - Encamamientos aislados e infecciosas
  - Citología
  
- **Cuarto nivel (terapias)**
  - Terapia respiratoria
  - Terapia del lenguaje
  - Fisioterapia de adultos
  - Clínica del dolor
  - Electroterapia
  - Mecanoterapia
  - Área de recuperación y encamamiento
  - Área de terapia del niño
  - Almacenes de ropa limpia
  - Área administrativa
  
- **Quinto nivel (Encamamientos)**
  - Encamamientos de hombres
  - Encamamientos de mujeres
  - Encamamiento pediatría
  - Encamamiento cuidados intensivos
  - Habitaciones para médicos residentes
  - Comedor para médicos residentes

Figura 11. Planta típica de hospital



Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Elevación de estructura



Fuente: elaboración propia.

### **2.2.1. Altura de edificación**

La altura de piso a piso en todos los niveles es de 3,80 m para proporcionar una temperatura adecuada y tener espacio para colocar tuberías hidráulicas y eléctricas entre cielo falso y losa. El desplante estimado para la cimentación es de 1,20 m.

### **2.2.2. Sistema estructural**

Elegir un sistema estructural para adaptarle aisladores elastoméricos en la base conlleva muchas consideraciones, las cuales determinan tres objetivos principales: 1) se debe cumplir con los requisitos de funcionalidad de la edificación, 2) la estructura debe soportar las cargas en condiciones seguras y 3) facilidad de adaptarse a los aisladores elastoméricos en la base. Además, obedece a circunstancias prácticas y económicas. Existen sistemas que se desempeñan mejor que otros en las eventualidades sísmicas, pero para esta comparación se debe escoger un sistema compatible con los dispositivos de aislación sísmica.

La estructura para esta edificación será de marcos dúctiles (sistema de columnas y vigas de concreto reforzado con nudos rígidos) y losas planas de concreto armado. En cuanto a acabados y componentes arquitectónicos se usarán muros de mampostería en el exterior, tabiques de tabla yeso para delimitar ambientes, piso cerámico, puertas de metal y madera.

## 2.3. Análisis estructural

### 2.3.1. Predimensionamiento estructural

Predimensionar significa dotar de medidas preliminares a elementos estructurales, es decir, los que serán utilizados para soportar cargas aplicadas. Se puede utilizar la experiencia adquirida o utilizar métodos analíticos. En este caso, se aplican los métodos siguientes:

- Losas

Para losas en dos sentidos se predimensiona el peralte de la losa. Para utilizar este método se necesitan las dimensiones de la superficie de la losa y el tipo de apoyos que tiene. En este caso, todas las losas están apoyadas en cuatro lados; todas las losas son iguales, por tanto, el peralte resultante se usa en toda la estructura. Para losas en dos direcciones, una práctica común es:

$$\text{Espesor losa} = \text{perímetro} / 180$$

$$= 2 (7,00 + 3,50) / 180$$

$$= 0,117 \text{ m}$$

Entonces se usa un espesor de losa = 0,12 m

- Vigas

Para el predimensionamiento de vigas rectangulares, ACI contempla peraltes mínimos en vigas, para una rigidez adecuada sin grandes deflexiones.

Tabla I. Peralte mínimo de vigas

	Espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un extremo continuo	Ambos extremos continuos	En voladizo
<b>Elementos</b>	Elementos que no soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
<b>Vigas</b>	L/16	L/18.5	L/21	L/8

Fuente: reglamento de las construcciones de concreto Reforzado (ACI 318-08). Sección 9.5.2.1. p. 129.

La tabla I calcula el peralte de viga, dependiendo esta de la Luz (L) que cubre la viga. La base de la viga queda a criterio del diseñador. En este caso solo se calcula la viga crítica, que es la que tiene mayor longitud a rostros internos, quedando las otras de igual sección.

$$\text{Peralte viga} = L / 21 + 0,025 = 7,00 \text{ m} / 21 + 0,025 = 0,358 \text{ m}$$

$$\text{Base de viga} = 0,25 \text{ m (mínimo)}$$

Entonces se usa una sección de viga = 0,60 m \* 0,30 m

- **Columnas**

El método utilizado para predimensionar las columnas consiste en basarse en la carga aplicada y el área tributaria, para luego calcular la sección. Por razones de simetría, las dimensiones de las columnas serán con base a la más crítica, o sea la que soporta mayor carga.

Recomendaciones iniciales para predimensionar columnas:

- Columnas rectangulares: la dimensión menor debe ser mayor de 30 cm
- El área total debe ser 900 cm<sup>2</sup> como mínimo.

Para este caso se usó la siguiente fórmula:

$$P = 0.8 (0.225 * f'c * Ag + fy * As) \quad (\text{Nilson, 2001})$$

Dónde:

P = carga axial = 234 991,10 kg. (Se obtuvo por áreas tributarias)

$f'c = 281 \text{ kg/cm}^2$

$fy = 4 218 \text{ kg/cm}^2$

Ag = área gruesa de la sección

As = área de acero;  $1\% Ag \leq As \leq 6\% Ag$  (ACI 318-08, sección 21.6.3.)

$$234 991,10 = 0,8 ((0,225 * 281,00 * Ag) + (4 218 * 0,01 * Ag))$$

Despejando  $Ag = 4 645,26 \text{ cm}^2$ .

Proponiendo una columna de  $70 * 70 \text{ cm} = 4 900 \text{ cm}^2 > Ag$

### **2.3.2. Integración de cargas gravitacionales**

También llamada cargas verticales, se divide en carga viva y carga muerta. La carga viva, es una carga variable en magnitud y posición, tales como el peso de personas, mobiliario, equipo, maquinaria, etcétera. La carga muerta es aquella que permanece constante, inamovible y permanente dentro de una estructura, generalmente están constituidas por el peso propio de los elementos que integran la estructura.

Los valores que se usan en este caso, para las cargas verticales son:

### Carga Muerta (CM)

#### **Entrepiso**

Peso propio de losa =	288 kg/m <sup>2</sup>
Peso de piso =	40 kg/m <sup>2</sup>
Peso de tabiques=	80 kg/m <sup>2</sup>
Peso de instalaciones=	120 kg/m <sup>2</sup>
Cielo suspendido=	5 kg/m <sup>2</sup>
<hr/>	
Entrepiso =	533 kg/m <sup>2</sup>

#### **Techo**

Peso propio de losa =	288 kg/m <sup>2</sup>
Impermeabilización =	60 kg/m <sup>2</sup>
Peso de pañuelos=	75 kg/m <sup>2</sup>
Peso de instalaciones=	30 kg/m <sup>2</sup>
Cielo suspendido=	5 kg/m <sup>2</sup>
<hr/>	
Techo =	458 kg/m <sup>2</sup>

### Carga viva (CV)

Pasillos = 500 kg/m<sup>2</sup>  
Clinicas = 250 kg/m<sup>2</sup>  
En techo = 200 kg/m<sup>2</sup>

\*Cargas vivas según AGIES NSE 2-10, tabla 3-1

### 3. ANÁLISIS DE ESTRUCTURA SIN AISLADORES SÍSMICOS

#### 3.1. Diseño estructural

##### 3.1.1. Escenario de carga sísmica

Según parámetros del AGIES, se tiene los siguientes datos:

Lugar de la edificación: Zona 16, Guatemala.

Datos de aceleración del sitio:

$$\begin{array}{ll} S_s = & 1,50 \text{ g} \\ I_o = & 4 \end{array} \qquad \begin{array}{ll} S_1 = & 0,55 \text{ g} \end{array}$$

Clasificación del sitio:

$$\begin{array}{ll} \text{Tipo de suelo:} & \text{Suelo muy denso o roca suave} \\ & \text{Tipo D} \\ F_a = & 1,00 \\ F_v = & 1,50 \end{array}$$

Coeficientes de aceleración del lugar:

$$S_{cs} = 1,50 \qquad S_{1s} = 0,83$$

Categoría del riesgo

Obras esenciales (tipo IV)

Factor de Importancia y escala

$$K_d = 0,8$$

Coeficientes de diseño

$$S_{DS} = 1,00$$

$$S_{D1} = 0,55$$

### 3.1.2. Cálculo de espectro

Con los datos anteriores se obtiene la siguiente tabla:

Tabla II. Datos de Espectro sísmico

CONSTRUCCIÓN DE ESPECTRO DE RESPUESTA		
T (s)	S (T)	Cs
0	1,2000	0,1500
0,10	1,2000	0,1500
0,20	1,2000	0,1500
0,30	1,2000	0,1500
0,35	1,2000	0,1500
0,40	1,2000	0,1500
0,50	1,2000	0,1500
0,55	1,2000	0,1500
0,60	1,1000	0,1375
0,65	1,0154	0,1269
0,70	0,9429	0,1179
0,75	0,8800	0,1100
0,80	0,8250	0,1031
0,85	0,7765	0,0971
0,90	0,7333	0,0917
0,95	0,6947	0,0868
1,00	0,6600	0,0825
1,10	0,6000	0,0750
1,20	0,5500	0,0688
1,30	0,5077	0,0635
1,40	0,4714	0,0589
1,50	0,4400	0,0550
2,00	0,3300	0,0413
3,00	0,2200	0,0275
4,00	0,1650	0,0206
5,00	0,1320	0,0165

S(T) = Demanda sísmica de diseño

Cs = Coeficiente sísmico a nivel de cedencia

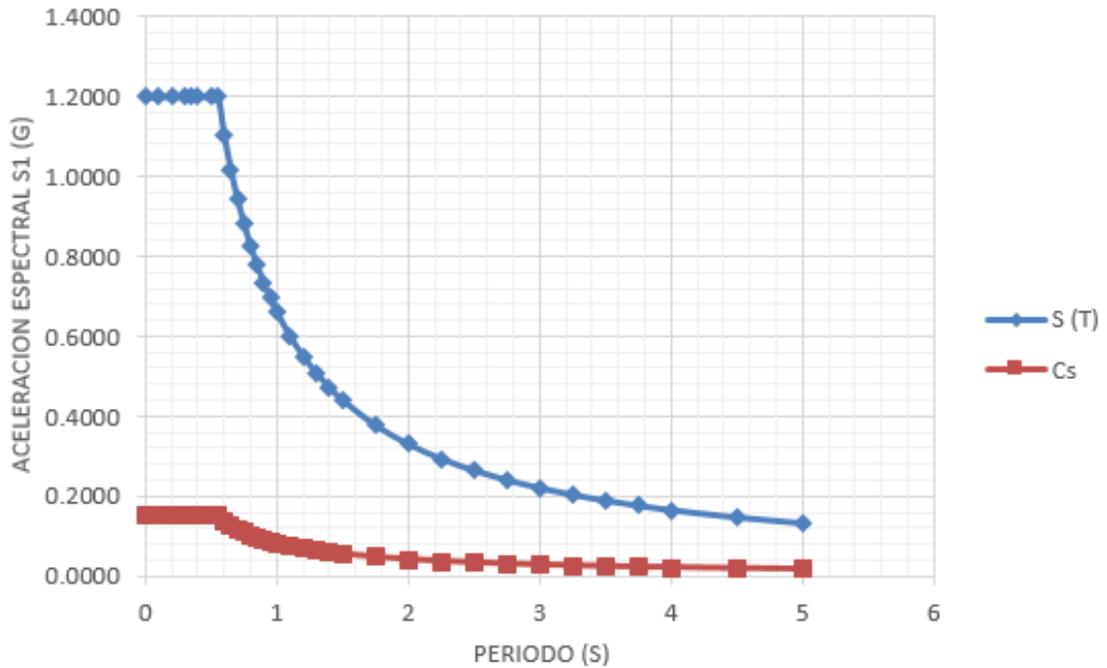
$$Cs = S(T)/R$$

R = Factor de reducción de respuesta, según sistema para resistir carga lateral definido en la sección 3.1.4.

Fuente: elaboración propia.

Según los datos de la tabla II se procede a graficar el espectro de respuesta sísmica, quedando de la siguiente manera:

Figura 13. **Espectro de respuesta sísmica**



Fuente: elaboración propia.

### 3.1.3. Determinación del período empírico

$$T_a = K_T (h_n)^X \quad (\text{ecuación 2-3 AGIES 3-10})$$

$$T_a = 0,7029 \text{ s}$$

$$K_T = 0,047$$

$$X = 0,90$$

$$h_n = 20,20 \text{ m}$$

$T_a = 0,703 \text{ segundos}$
--------------------------------

### 3.1.4. Cálculo de corte basal

Guatemala, se caracteriza por ser una zona sísmica, por tal razón la carga lateral de sismo es una condición crítica para el diseño estructural. La magnitud de la carga lateral de sismo se estima como un porcentaje del peso de la estructura como se presenta a continuación.

Cabe destacar que las secciones utilizadas en estos cálculos son obtenidas después de varias iteraciones y lograr las secciones adecuadas. Las vigas principales son de 60 x 30 cm, las vigas secundarias 50 x 25 cm, losa de 12 cm y las columnas de 70 x 70 cm.

Tabla III. **Peso de techo**

Nivel	Elemento	Area/long	Cantidad	P u (kg/m <sup>2</sup> )	Peso, t
<b>Techo</b>	Losa (m <sup>2</sup> )	2 067,00	1,00	458,00	946,69
	Muros (m)	184,00	1,00	228,00	41,95
	Vigas Secundarias (m)	34,60	5,00	240,26	38,20
	Vigas Principales x (m)	47,00	6,00	300,33	84,69
	Vigas Principales y (m)	34,60	8,00	300,33	83,13
	Vigas no estructurales (m)	81,60	2,00	240,26	39,21
	Columnas (m)	1,90	48,00	1 177,28	107,37
					1 341,24

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Peso de niveles 4, 3, 2 y 1**

Nivel	Elemento	Area/long	Cantidad	P u (kg/m <sup>2</sup> )	Peso, t
<b>4, 3, 2 Y 1</b>	Losa (m <sup>2</sup> )	1 969,00	1,00	533,00	1 049,48
	Muros (m)	184,80	1,00	608,00	112,36
	Vigas Secundarias (m)	34,60	5,00	300,33	51,96
	Vigas Principales x (m)	53,00	6,00	432,47	137,53
	Vigas Principales y (m)	39,00	8,00	432,47	134,93
	Vigas no estructurales (m)	81,60	2,00	288,31	47,05
	Columnas (m)	3,20	48,00	1 350,00	214,74
					1 748,04

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Cuadro resumen**

Nivel	Wdl, t	Wll, t	% WLL (25%)	Ws, t
techo	1 341,24	413,40	103,35	1 444,59
4	1 748,04	627,00	156,75	1 904,79
3	1 748,04	627,00	156,75	1 904,79
2	1 748,04	627,00	156,75	1 904,79
1	1 781,94	627,00	156,75	1 938,69
			<b>Ws, t</b>	<b>9 097,65</b>

Fuente: elaboración propia.

Sistema para resistir cargas laterales

Tabla VI. **Asignación de factores de acuerdo al sistema de resistencia lateral**

Dirección	Sistema Estructural	Sistema	R	$\Omega$	Cd
<b>X y Y</b>	SISTEMA DE MARCOS	Marco tipo A de concreto reforzado	8,00	3,00	5,50

Fuente: elaboración propia, con datos de AGIES NSE 10.

Determinación del coeficiente sísmico.

$$C_{s\ 2-2} = 0,117$$

$$C_{s\ 2-2a} = 0,053$$

$$C_{s\ 2-2b} = 0,041$$

$C_s$ a utilizar =	0,117
--------------------	-------

Cálculo y distribución del corte basal en cada eje en dirección X (6 ejes)

$$C_s = 0,117$$

$$W_s = 9\ 027,27 \quad t$$

$$V = C_s W_s = 1\ 059,49 \quad t$$

$V_{ejeX} =$	176,58	t
--------------	--------	---

Cálculo y distribución del corte basal en cada eje en dirección Y (8 ejes)

$$C_s = 0,117$$

$$W_s = 9\ 027,27 \quad t$$

$$V = C_s W_s = 1\ 059,49 \quad t$$

$V_{ejeY} =$	132,44	t
--------------	--------	---

Tabla VII. Corte basal por nivel, eje X

Nivel	Hnivel, m	hi, m	wsi, t	Wi hi K	Factor	Vnivel, t
techo	3,80	20,20	1 444,59	29 180,74	26%	46,47
4	3,80	16,40	1 904,79	31 238,52	28%	49,75
3	3,80	12,60	1 904,79	24 000,32	22%	38,22
2	3,80	8,80	1 904,79	16 762,13	15%	26,70
1	5,00	5,00	1 938,69	9 693,47	9%	15,44
				110 875,18		176,58

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. Corte basal por nivel, eje Y

Nivel	Hnivel, m	hi, m	wsi, t	Wi hi K	Factor	Vnivel, t
techo	3,80	20,20	1 444,59	29 180,74	26%	34,86
4	3,80	16,40	1 904,79	31 238,52	28%	37,31
3	3,80	12,60	1 904,79	24 000,32	22%	28,67
2	3,80	8,80	1 904,79	16 762,13	15%	20,02
1	5,00	5,00	1 938,69	9 693,47	9%	11,58
				110 875,18		132,44

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.5. Determinación del corte basal por el método estático equivalente

Se procede a realizar el cálculo del período fundamental de vibración mediante fórmula analítica. Esta parte se utilizó ETABS en su versión 9.7.2 Teniéndose los siguientes resultados:

Período empírico ( $T_a$ )=	0,703 segundos
Período máximo $T_{f_{1,4T_a}}$ =	0,9841 segundos
Período por fórmula analítica $T_{f_x}$ =	1,5248 segundos (2-5 AGIES)
Período por fórmula analítica $T_{f_z}$ =	1,5516 segundos (2-5 AGIES)

Elegir según los siguientes criterios de selección:

- Directamente los períodos empíricos  $T_a$
- Los períodos analíticos  $T_f$  delimitados conforme a la ecuación

$$T = T_f < 1,4 * T_f$$

Entonces se utilizará el período máximo, debido a que los períodos por fórmula analítica sobrepasan la limitación 2-6.

Período $T_{f_{1,4T_a}}$ =	0,9841 segundos
----------------------------	-----------------

Determinar el coeficiente sísmico máximo.

$C_s (T_{f1,4T_a}) =$	0,0838
-----------------------	--------

Corte basal por fórmula analítica.

$V(T_{f1,4T_a}) =$	756,78 toneladas
--------------------	------------------

### 3.1.6. Determinación del análisis modal

Determinar el coeficiente sísmico mínimo para el análisis modal

$$C_s \text{ modal} = 0,85 * C_s (T_{f1,4T_a})$$

$C_s m =$	0,0713
-----------	--------

Corte basal mínimo para análisis modal

$V_m =$	643,26 toneladas
---------	------------------

Número de modos “N” a considerar: Se debe incluir un número suficiente de modos de vibración que aseguren el 90% de participación de la masa del modelo analítico en ambas direcciones de análisis. Es recomendable aplicar 3 por cada nivel de la estructura.

Los cortantes basales de la estructura en cada modo de vibración en cada dirección horizontal ortogonal se determinaron con ayuda de ETABS, los resultados son:

Corte basal análisis modal 1ra iteración X      437,61 t

Corte basal análisis modal 1ra iteración Y      431,89 t

El factor de calibración de fuerza, nos indica el valor de aumento que debe tener el espectro para llegar al 85% del estático equivalente, siendo el factor de la siguiente manera:

$$\text{Factor calibración fuerza X} = 643,26 / 437,61 = 1,4699$$

$$\text{Factor calibración fuerza Y} = 643,26 / 431,89 = 1,4894$$

### 3.1.6.1. Determinación de modos de la estructura

El primer modo que muestra la estructura tiene características traslacionales en Y con un período T= 1,5516 segundos. El porcentaje de participación modal = 81,62%. Por lo tanto, se necesita la participación de los otros modos para alcanzar al menos un 90% de participación (AGIES NSE 3-10, 3.3.4)

Figura 14. Resumen de % de participación de masa en el análisis modal

Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
1	1.551640	0.0000	81.6256	0.0000	0.0000	81.6256	0.0000
2	1.524817	81.8278	0.0000	0.0000	81.8278	81.6256	0.0000
3	1.518956	0.0131	0.0393	0.0000	81.8409	81.6649	0.0000
4	0.454420	0.0000	12.2221	0.0000	81.8409	93.8870	0.0000
5	0.449719	12.2479	0.0001	0.0000	94.0889	93.8871	0.0000
6	0.447429	0.0031	0.1605	0.0000	94.0919	94.0477	0.0000
7	0.208615	0.0000	3.8863	0.0000	94.0919	97.9339	0.0000
8	0.207766	0.0092	0.4460	0.0000	94.1012	98.3800	0.0000
9	0.207635	4.2917	0.0007	0.0000	98.3929	98.3807	0.0000

Fuente: elaboración propia, tomado del programa ETABS.

### 3.1.6.2. Chequeo de derivas

El factor de calibración de derivas, nos indica el valor de aumento que debe tener la estructura tanto en X como en Y, siendo el factor descrito en la norma AGIES en su capítulo 3-10, de la siguiente manera:

$$\text{Factor calibración derivas X} = \text{máx. } (0,85 \cdot 0,041 / 0,0485, 1) = 1,000$$

$$\text{Factor calibración derivas Y} = \text{máx. } (0,85 \cdot 0,0532 / 0,0478, 1) = 1,000$$

Primero se debe calcular la deriva máxima tolerable. Este parámetro se describe en la normativa de AGIES NSE 3-10 en su sección 4.3.3. Debido a que la estructura en estudio es un hospital (obra esencial) se tomará el valor de  $0,015h_p$  de la tabla 4-1 de la misma sección.

Los valores de desplazamientos se sacaron directamente del software de análisis que se ha mencionado anteriormente. A este valor se multiplica el factor de amplificación de desplazamientos post-elásticos ( $C_d$ ), así como el factor de calibración calculado arriba.

En la tabla IX y X se resume todo el análisis de derivas teniendo una deriva máxima admisible de 5,7 cm, cumpliendo en todos los niveles dicha restricción, tanto en el eje X como en el Y.

Figura 15. **Desplazamiento de la estructura**

STORY	DISP-X	DISP-Y
STORY5	4.282813	4.382714
STORY4	3.598154	3.671764
STORY3	2.799425	2.848270
STORY2	1.852651	1.878832
STORY1	0.851562	0.859898

Fuente: elaboración propia, tomado del programa ETABS.

Tabla IX. Chequeo de derivas eje X

Dirección	Nivel	hi, m	$\Delta p = 0.015$ hx,cm	$\delta_{total}$ , cm	$\delta_{nivel}$ , cm	$\delta Cd$ , cm	Conclusión
<b>X</b>	Techo	3,80	5,700	4,2826	0,6846	3,77	Ok
	4	3,80	5,700	3,5980	0,7987	4,39	Ok
	3	3,80	5,700	2,7993	0,9467	5,21	Ok
	2	3,80	5,700	1,8525	1,0010	5,51	Ok
	1	5,00	7,500	0,8515	0,8515	4,68	Ok

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. Chequeo de derivas eje Y

Dirección	Nivel	hi, m	$\Delta p = 0.015$ hx,cm	$\delta_{total}$ , cm	$\delta_{nivel}$ , cm	$\delta Cd$ , cm	Conclusión
<b>Y</b>	Techo	3,80	5,700	4,3563	0,6954	3,82	Ok
	4	3,80	5,700	3,6609	0,82	4,50	Ok
	3	3,80	5,700	2,8436	0,97	5,32	Ok
	2	3,80	5,700	1,8768	1,02	5,60	Ok
	1	5,00	7,500	0,8588	0,86	4,72	Ok

Fuente: elaboración propia.

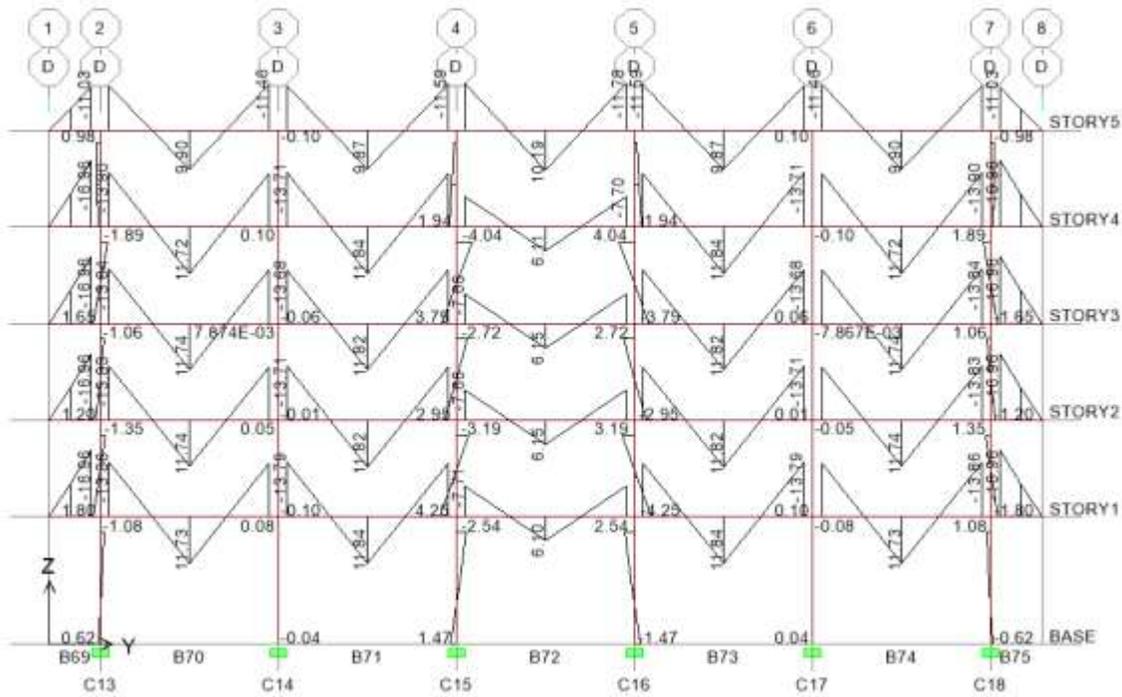
### 3.1.7. Análisis de marcos

El análisis estructural se basará íntegramente en los datos proporcionados por ETABS 9.7.2, este programa realiza el análisis por medio del “método directo de rigidez”. Se ejemplificarán los diferentes diagramas de momento y corte que produce la carga muerta en el marco D del eje X. Es importante notar que este eje se va a tomar de referencia en la investigación para muestra de resultados y análisis, tanto en la estructura con base fija como en la estructura aislada.

### 3.1.7.1. Diagrama de momentos

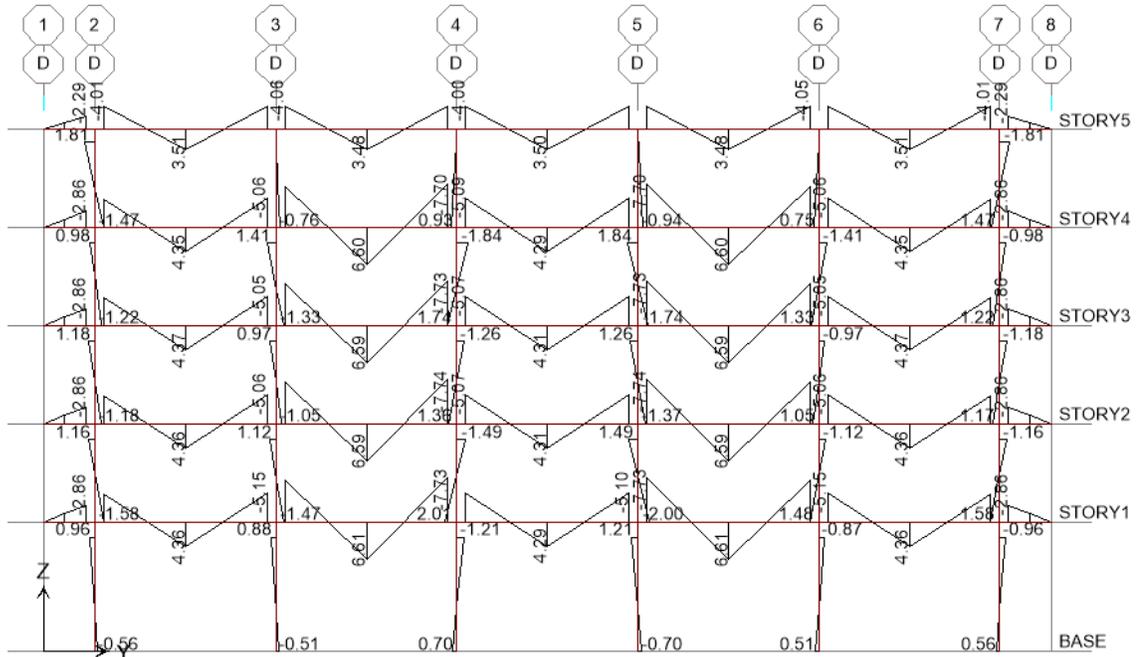
Los diagramas de momento representan de forma gráfica la alteración en magnitud del momento a lo largo de un elemento estructural (viga o columna), para una determinada condición de carga. Los resultados obtenidos en el software de análisis para el eje D que provoca la carga muerta se muestra a continuación:

Figura 16. Momentos provocados por carga muerta. Eje D. [t-m]



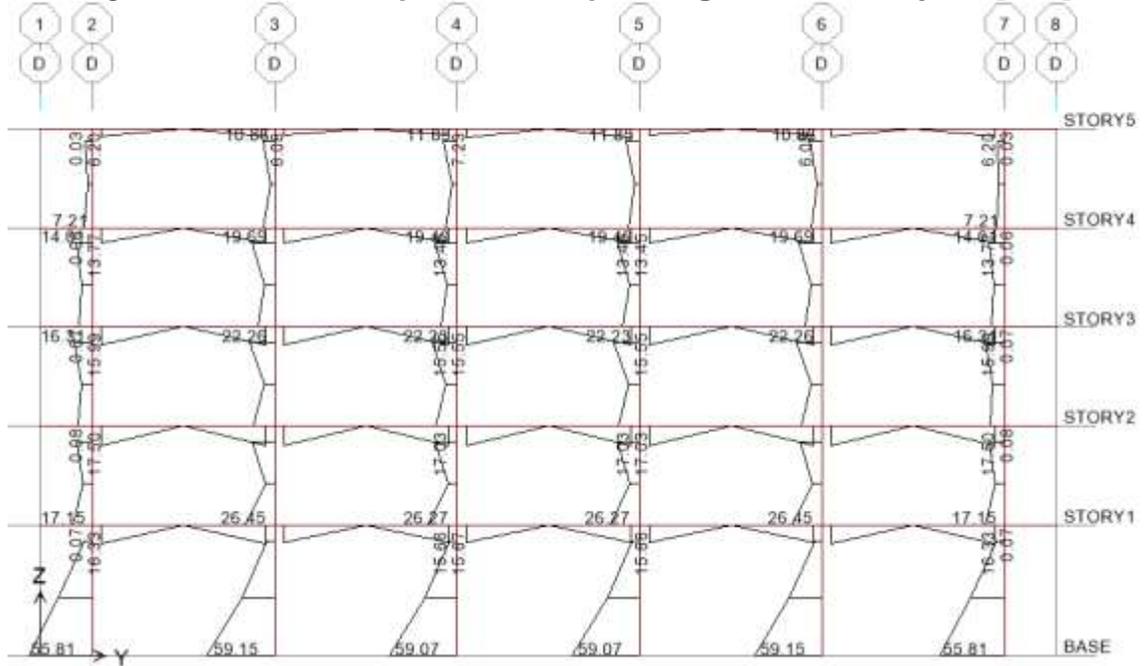
Fuente: tomado del programa ETABS.

Figura 17. Momentos provocados por carga viva. Eje D. [t-m]



Fuente: tomado del programa ETABS.

Figura 18. Momentos provocados por carga de sismo. Eje D. [t-m]

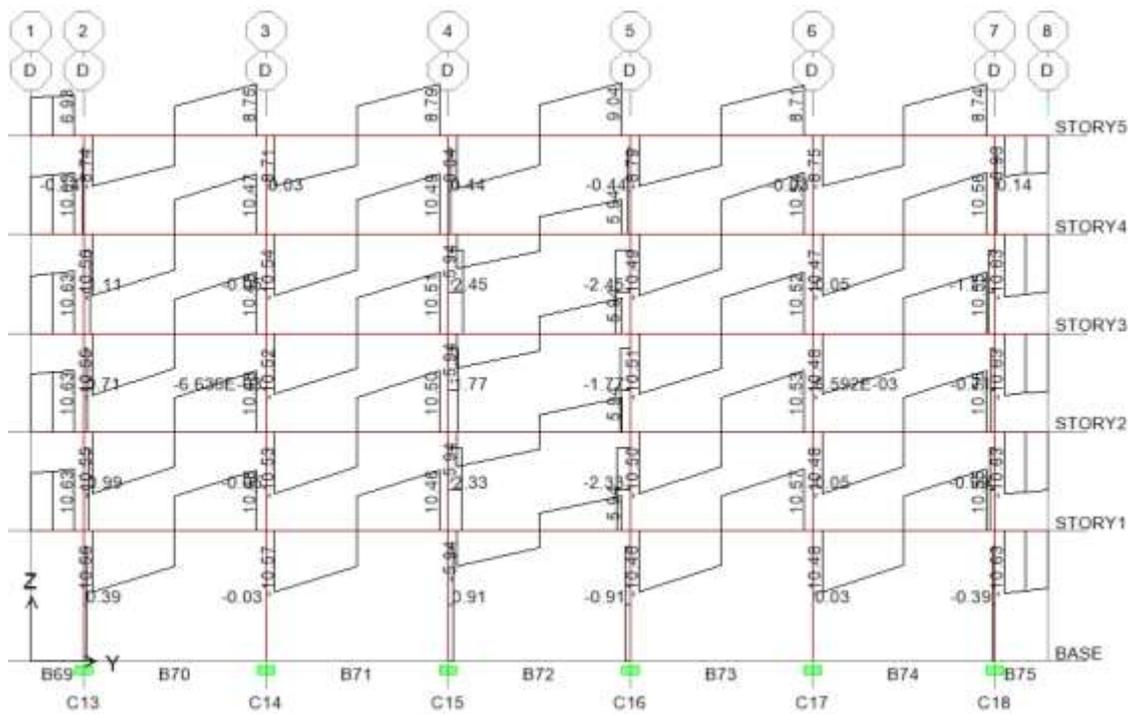


Fuente: tomado del programa ETABS.

### 3.1.7.2. Diagrama de cortes

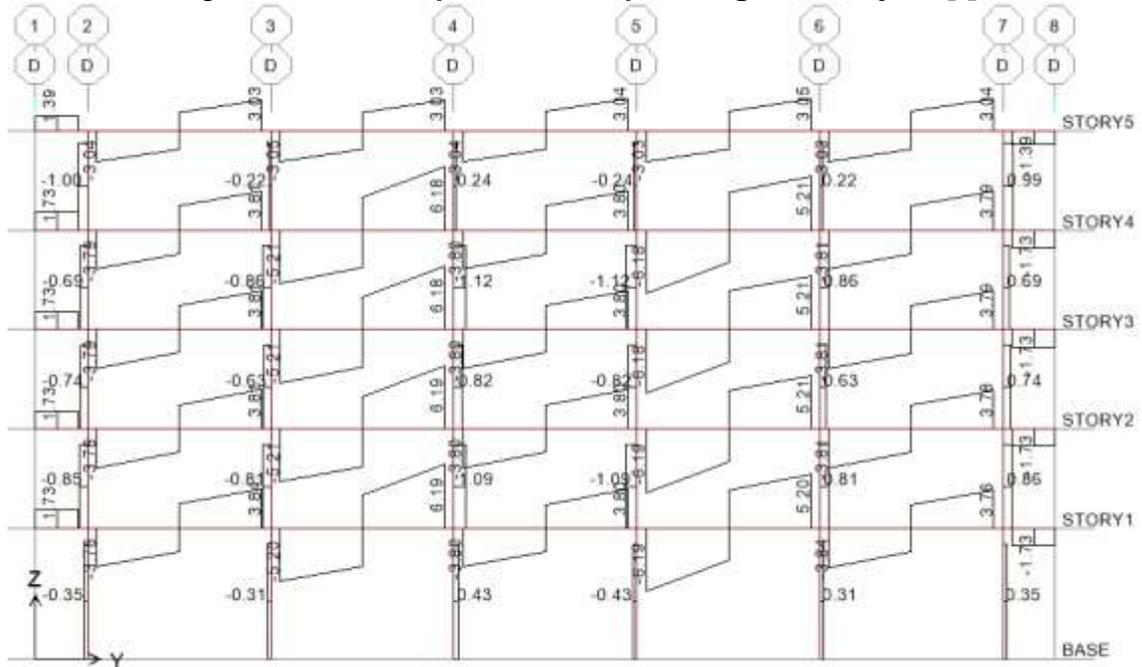
Los diagramas de corte representan las variaciones en magnitud de la fuerza de corte en un elemento estructural (viga o columna), para una determinada condición de carga. Los resultados obtenidos en el software de análisis para el eje D que provoca la carga muerta se muestra a continuación:

Figura 19. Cortes provocados por carga muerta. Eje D [t]



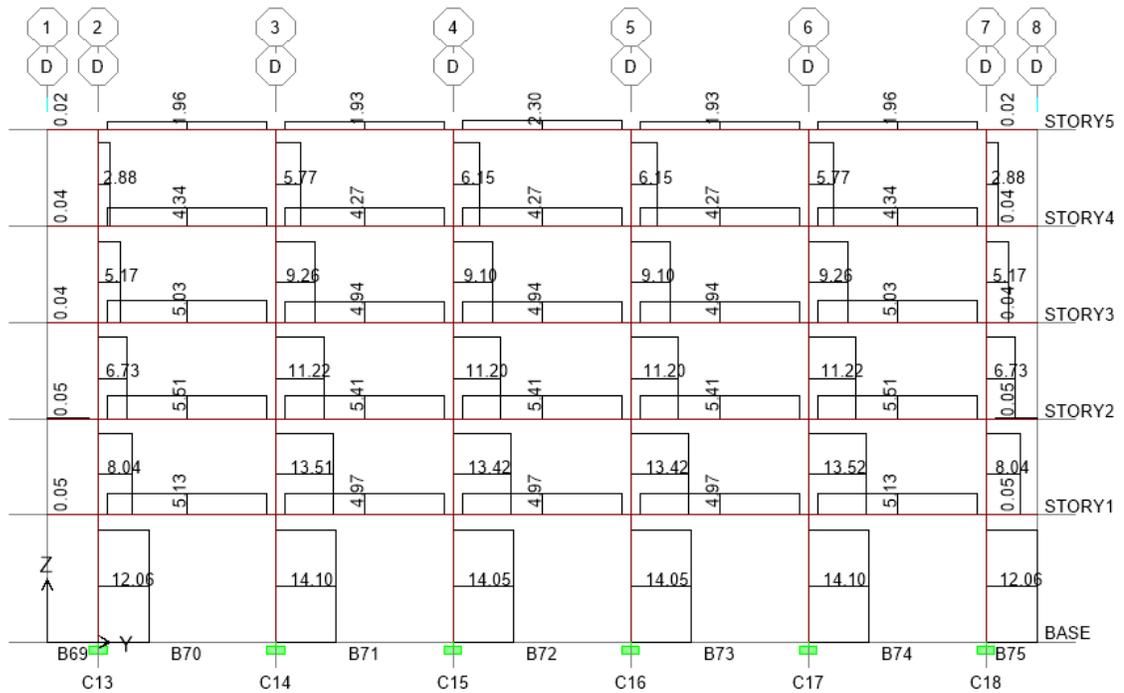
Fuente: elaboración propia, tomado del programa ETABS.

Figura 20. Cortes provocados por carga viva. Eje D [t]



Fuente: elaboración propia, tomado del programa ETABS.

Figura 21. Cortes provocados por carga de sismo. Eje D [t]



Fuente: elaboración propia, tomado del programa ETABS.

### 3.1.7.3. Combinaciones de carga

En las combinaciones siguientes se utilizan factores asignados a cada carga y que tienen influencia en el grado de incertidumbre, para el cual generalmente se puede calcular el efecto de la carga y la variación en la misma que puede esperarse durante la vida de la estructura.

El reglamento de AGIES NSE 2-10 en el capítulo 8, proporciona los factores de carga para las combinaciones específicas. Y toma en consideración la probabilidad de ocurrencia simultánea al asignar los factores. Por lo tanto, se tomarán de AGIES las combinaciones en este análisis.

$$CR1 = 1,40 (M)$$

$$CR2 = 1,30 (M) + 1,60 (V) + 0,50 (Vt \text{ o bien PL o bien AR})$$

$$CR3 = 1,30 (M) + (V) + 1,60 (Vt \text{ o bien PL o bien AR})$$

$$CR4 = 1,20 (M) + (V) \pm Sv \pm Sh$$

$$CR5 = 0,90 (M) - Sv \pm Sh$$

$$CR5a = 1,0 (M) - Sv \pm Sh$$

Donde:

M = carga muerta

V = carga viva

Vt = carga viva de techo

PL = carga de lluvia (no aplica para este documento)

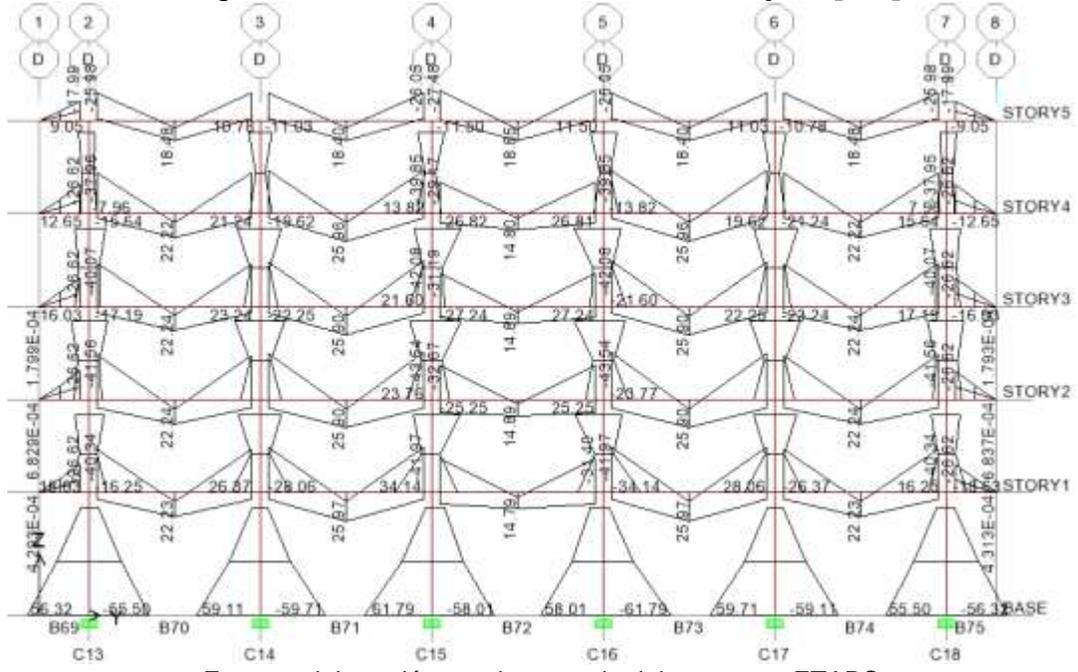
AR = carga de arena (no aplica para este documento)

Sv = carga de sismo vertical

Sh = carga de sismo horizontal

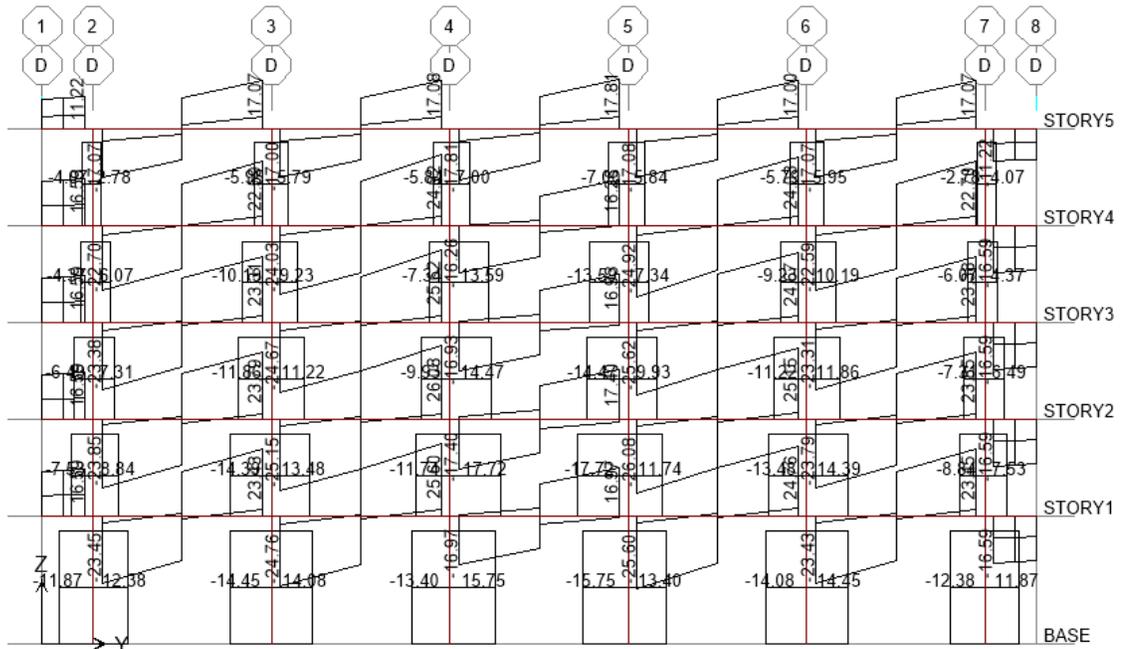
A continuación, se muestran los diagramas obtenidos de la envolvente de momento y corte para el marco D.

Figura 22. Envoltorio de momentos. Eje D [t m]



Fuente: elaboración propia, tomado del programa ETABS.

Figura 23. Envoltorio de corte. Eje D [t]



Fuente: elaboración propia, tomado del programa ETABS.

### **3.1.8. Diseño de elementos estructurales**

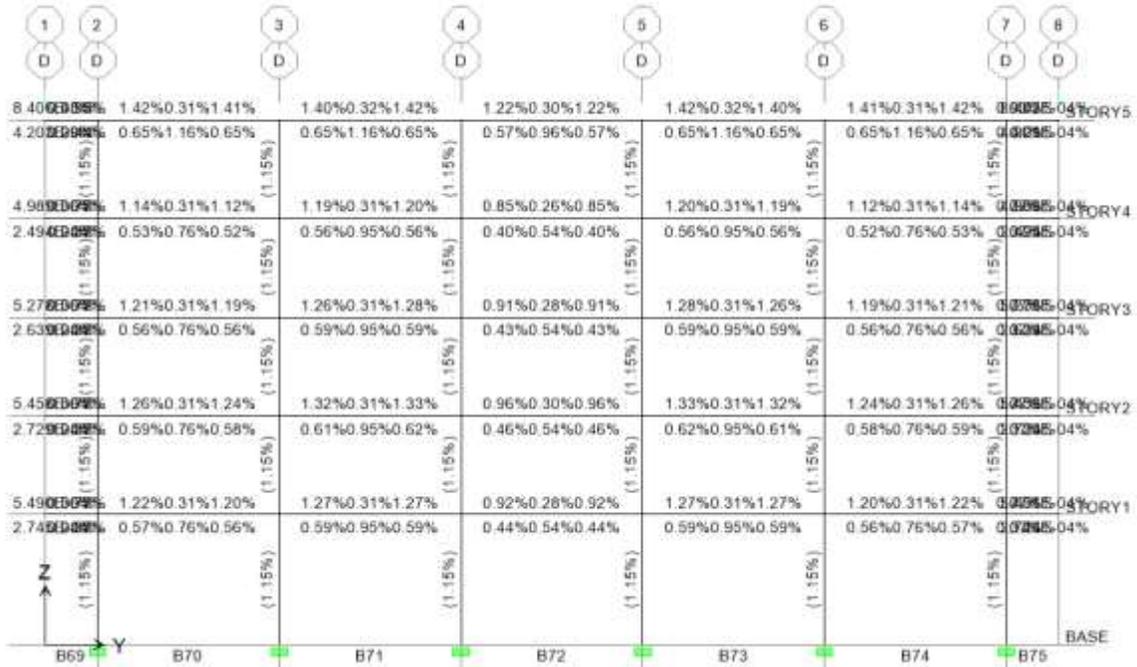
Es la etapa en la cual se utilizan los resultados del análisis estructural, para calcular el refuerzo de los elementos estructurales (vigas, columnas y cimentación). El diseño de los elementos de concreto armado, será con base al código ACI 318-08 y con las siguientes propiedades de los materiales: concreto con resistencia de 281 kg/cm<sup>2</sup> (4 000 psi), acero estructural con resistencia de 4 218 kg/cm<sup>2</sup> (Grado 60).

#### **3.1.8.1. Diseño de vigas**

Las vigas son los elementos horizontales que reciben las cargas de las losas y las transmiten a las columnas, estas trabajan fundamentalmente a flexión, serán diseñadas por el método de resistencia última, que se basa en la suposición de que el acero de refuerzo entra en fluencia al presentarse la fuerza de diseño, utilizando cargas factorizadas y reduciendo la resistencia de los materiales por medio del factor de reducción ( $\Phi$ ), dicho factor varía según las condiciones del miembro estructural (flexión o corte).

A continuación, se presentan los datos de obtenidos en ETABS, en donde se muestra el área de acero (%) necesario para resistir los momentos previamente mostrados (figura 22). Para el diseño dentro del programa se utilizaron los códigos de ACI 318-08 (para elementos de concreto) y AGIES para el diseño sísmico basado en ASCE 7-10. Tales resultados se muestran en el eje D.

Figura 24. Área de acero necesaria para vigas. Eje D [%]



Fuente: elaboración propia, tomado del programa ETABS.

Calculando  $A_{smin}$  de la sección:

Para calcular el acero mínimo se utiliza la ecuación 10.3 que aparece en la sección 10.5.1 del ACI 318-08:

$$A_{s,min} = \frac{0.80 * \sqrt{f'c}}{f_y} b_w d$$

Pero en ningún caso el refuerzo a flexión en una viga debe ser menor a  $A_{smin} = 14 * b * d / f_y$ . Si en caso todas las vigas demandan un refuerzo menor al mínimo sería adecuado reducir la sección propuesta.

Acero mínimo por la ecuación 10.3:

$$A_s, \text{mín} = (0,80 * (\sqrt{281}) * 30 * 57,5) / (4 218)$$

$$A_s, \text{mín} = 5.47 \text{ cm}^2$$

Acero mínimo no menor a:

$$A_{s\text{mín}} = 14,0 / F_y * b * d$$

$$A_{s\text{mín}} = (14,0 / 4 218) * 30 * 57,5 = 5,73 \text{ cm}^2.$$

Se toma el 5,73 cm<sup>2</sup>, debido a que es el mayor de los dos números calculados.

Para el armado final de la viga, se deben cumplir con los siguientes requisitos sísmicos, según el código ACI-318 Cap. 21, utilizaremos la viga del eje D, que se encuentra entre el eje 2 y 3 del nivel 4:

- Cama superior (área a cubrir 20,4 cm<sup>2</sup>)

Colocar dos varillas corridas como mínimo, con el área mayor de las opciones:

$$A_{s\text{mín}} = 5,73 \text{ cm}^2$$

$$25\% A_s(-) \text{ mayor} = 20,40 * 0,25 = 5,10 \text{ cm}^2$$

Para este caso será necesario colocar el mayor de los anteriores, por lo tanto, se colocan 2 #7 corridas,  $A_s = 7,76 \text{ cm}^2$ .

Para cubrir los momentos negativos en viga, se completa el  $A_s$  requerido colocando bastones ( $20,4 - 7,76 = 12,64$ ). En este caso se colocan 2 #6 + 2#7,  $A_s \text{ bastones} = 13,46$ .

- Cama inferior (área a cubrir 13,7 cm<sup>2</sup>)

Colocar 2 varillas como mínimo, con el área mayor de las opciones:

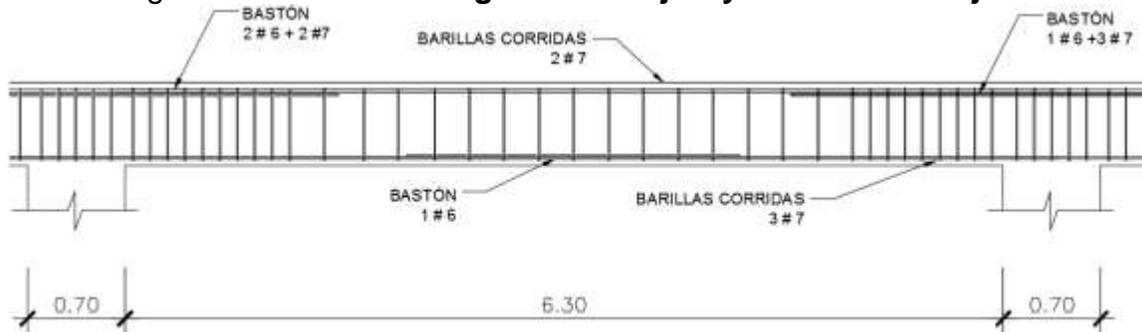
$$A_{s\text{mín}} = 5,73 \text{ cm}^2$$

$$50\% A_s(-) \text{ mayor} = 20,40 * 0,50 = 10,20 \text{ cm}^2$$

$$25\% A_s(+) = 13,70 * 0,25 = 3,43 \text{ cm}^2$$

En este caso se colocará como refuerzo corrido 11,69 cm<sup>2</sup> utilizando 3 #7. Para los bastones se colocará 1 #6 (2,85 cm<sup>2</sup>). El procedimiento fue el mismo para cada viga de la estructura, a continuación, el resumen:

Figura 25. Armado de viga entre el eje 2 y 3 del Nivel 4. Eje D



Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Diseño de vigas a flexión. Eje D.

VIGA	M	AS	AS min	25% M-	50% M-	25% M+	# Varillas		As - As corrido	# Varillas en bastones	
							# 6	# 7		# 6	# 7
12	M-1	0,0	5,73	3,45	6,90	1,63		2	OK		
	M+	6,5						3	OK		
	M-2	13,8						2	6,04	1	1
23	M-1	20,4	5,73	5,10	10,20	3,43		2	12,64	2	2
	M+	13,7						3	2,01	1	
	M-2	20,1						2	12,34	2	2
34	M-1	21,5	5,73	5,4	10,8	4,25		2	13,74	1	3
	M+	17,0						3	5,31	2	
	M-2	21,6						2	13,84	1	3
45	M-1	15,2	5,73	3,8	7,60	2,43		2	7,44		2
	M+	9,7						3	OK		
	M-2	15,2						2	7,44		2
56	M-1	21,6	5,73	5,4	10,8	4,25		2	13,84	1	3
	M+	17,0						3	5,31	2	
	M-2	21,5						2	13,74	1	3
67	M-1	20,1	5,73	5,1	10,20	3,43		2	12,34	2	2
	M+	13,7						3	2,01	1	
	M-2	20,4						2	12,64	2	2
78	M-1	13,8	5,73	3,45	6,90	1,63		2	6,04	1	1
	M+	6,5						3	OK		
	M-2	0						2	OK		

Fuente: elaboración propia.

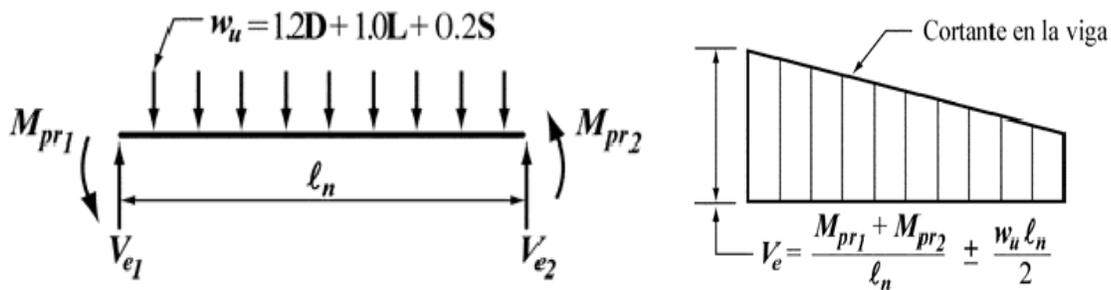
Tomar en cuenta que los bastones deben tener continuidad en los nudos, por lo tanto, se elige la combinación que represente mayor área de acero y esta se coloca en ambas vigas. Por ejemplo, en el nudo 2 (donde se une una viga 12 y 23) se elige colocar 2 #6 + 2#7 como bastones.

Calculando refuerzo a corte:

El Código ACI exige que las vigas y columnas en marcos que forman parte de los sistemas de resistencia a cargas laterales se diseñen para el efecto combinado de las cargas gravitacionales mayoradas y el cortante inducido por la formación de rótulas plásticas en los extremos de los elementos. Para ejemplificar el procedimiento de diseño de corte, se tomará la viga que se encuentra en el eje D, entre los ejes 2 y 3. El área de refuerzo que se tiene en los extremos es de:

- Eje 2 =  $A_{s \text{ sup}} = 21,22 \text{ cm}^2$        $A_{s \text{ inf}} = 14,49 \text{ cm}^2$
- Eje 3 =  $A_{s \text{ sup}} = 22,25 \text{ cm}^2$        $A_{s \text{ inf}} = 14,49 \text{ cm}^2$

Figura 26. Esquema para cálculo de momentos probables y corte en viga



Fuente: tomado de ACI 318-08, capítulo 21.3.

Con la fórmula se calculan los momentos probables tanto en un extremo como en el otro, lo que da un valor de:

- $M_{pr1} = 5\,349\,240,62 \text{ kg-cm}$
- $M_{pr2} = 3\,999\,537,92 \text{ kg-cm}$

Se calcula la resistencia a corte que requieren las vigas ( $V_e$ ). Esto da un resultado de 17 641,57 kg. Se compara con el corte que induce el sismo (de la fórmula 21.3.4.1 del ACI) 14 839,33 kg. Debido a que el corte inducido es mayor a la mitad de la resistencia a corte de las vigas, se desprecia el aporte del concreto a corte  $V_c = 0$ .

Según ACI artículo 21.3.4.2, se debe confinar una longitud igual a  $2 \cdot h$ , la cual equivale a 120 cm medida desde la cara del elemento de apoyo, hacia el centro de la luz, en ambos extremos del elemento en flexión. El primer estribo debe estar situado a no más de 5 cm, de la cara del elemento de apoyo.

El espaciamiento máximo de los estribos en la zona de confinamiento no debe exceder de:

$d/4 =$	13,44 cm
8 $\varnothing$ var longitudinal (#6)=	15,24 cm
24 var transversal (#4) =	30,48 cm
	30,00 cm

El S a utilizar es de 12,50 cm, dado que el máximo es de 13,44. Según ACI 318-08 (sección 21.5.3.2) el primer estribo se colocará a 5,00 cm, entonces se colocarán 10 estribos más a 12,50 cm.

Utilizando estribos #4 a 12,50 cm de separación se obtiene una resistencia a corte de 27 587,98 kg (que es mayor que el corte actuante 17 641,57 kg).

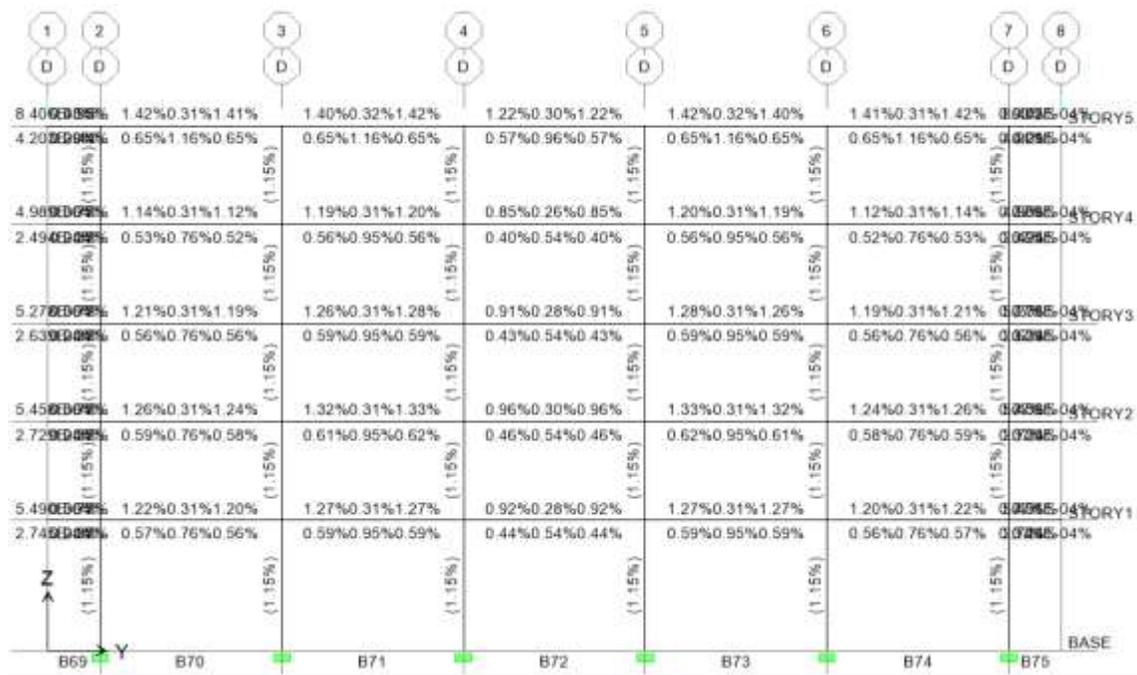
Los estribos en la zona no confinada se colocarán a  $d/2$  (debido a que el cortante actuante es 10 920,97 que es menor que el corte resistente por el concreto 14 339,27 kg).

Separación de estribos en zona confinada: 12.5 cm y 25 cm en zona no confinada, con varilla No. 4.

### 3.1.8.2. Diseño de columnas

Las columnas son elementos sometidos a carga axial y momentos flexionantes. Para el diseño, se utilizaron las áreas de acero determinadas en ETABS. Los resultados se muestran en la figura 27. El área de acero que se necesita para todas las columnas es de 1.15% de la sección, es decir, 56,30 cm<sup>2</sup>.

Figura 27. Área de acero necesaria para columnas. Eje D [%]



Fuente: elaboración propia, tomado del programa ETABS.

- Límites de acero

Según ACI, el área de acero en una columna debe estar dentro de los siguientes límites  $1\% A_g < A_s < 6\% A_g$ , en zona sísmica.

$$A_{s\text{mín}} = 0,01 (70 \times 70) = 49,00 \text{ cm}^2$$

$$A_{s\text{máx}} = 0,06 (70 \times 70) = 294,00 \text{ cm}^2$$

Armado propuesto: 4 varillas #10 + 4 varillas #9 = 57,32 cm<sup>2</sup>. Con este armado se cumple lo requerido por el elemento estructural.

- Cálculo del acero transversal (Estribos)

Además de diseñar las columnas para resistir flexo compresión, es necesario dotarlas con suficiente ductilidad, esto se logra mediante un mayor confinamiento en los extremos.

La separación de refuerzo transversal en la longitud no confinada, no debe exceder del menor de los siguientes valores:

- $d/4 = 67/4 = 16,75 \text{ cm}$
- $6 \varnothing \text{ var longitudinal (\#9)} = 17,15 \text{ cm}$
- $S_o = 100 + (350 - h_x) / 3 = 12,08 \text{ cm}$

Se elige una separación de 12,00 cm para la longitud no confinada de la columna.

- Refuerzo por confinamiento

La longitud de confinamiento se escoge entre la mayor de las siguientes opciones:

$$L_u / 6 = 6,30 / 6 = 105 \text{ cm}$$

$$\text{Lado mayor de la columna} = 70 \text{ cm}$$

$$= 45 \text{ cm}$$

La longitud de confinamiento propuesta es 1,05 m, en ambos extremos.

- Cálculo de la cuantía volumétrica

$$\rho_s = 0,45 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \left( \frac{f'_c}{F_y} \right)$$

$$\rho_s = 0,45 \left( \left( \frac{70^2}{60^2} \right) - 1 \right) \left( \frac{281}{4\,218} \right) = 0,01082$$

Es necesario chequear que  $\rho_s > 0,12 \cdot f'_c / f_y$

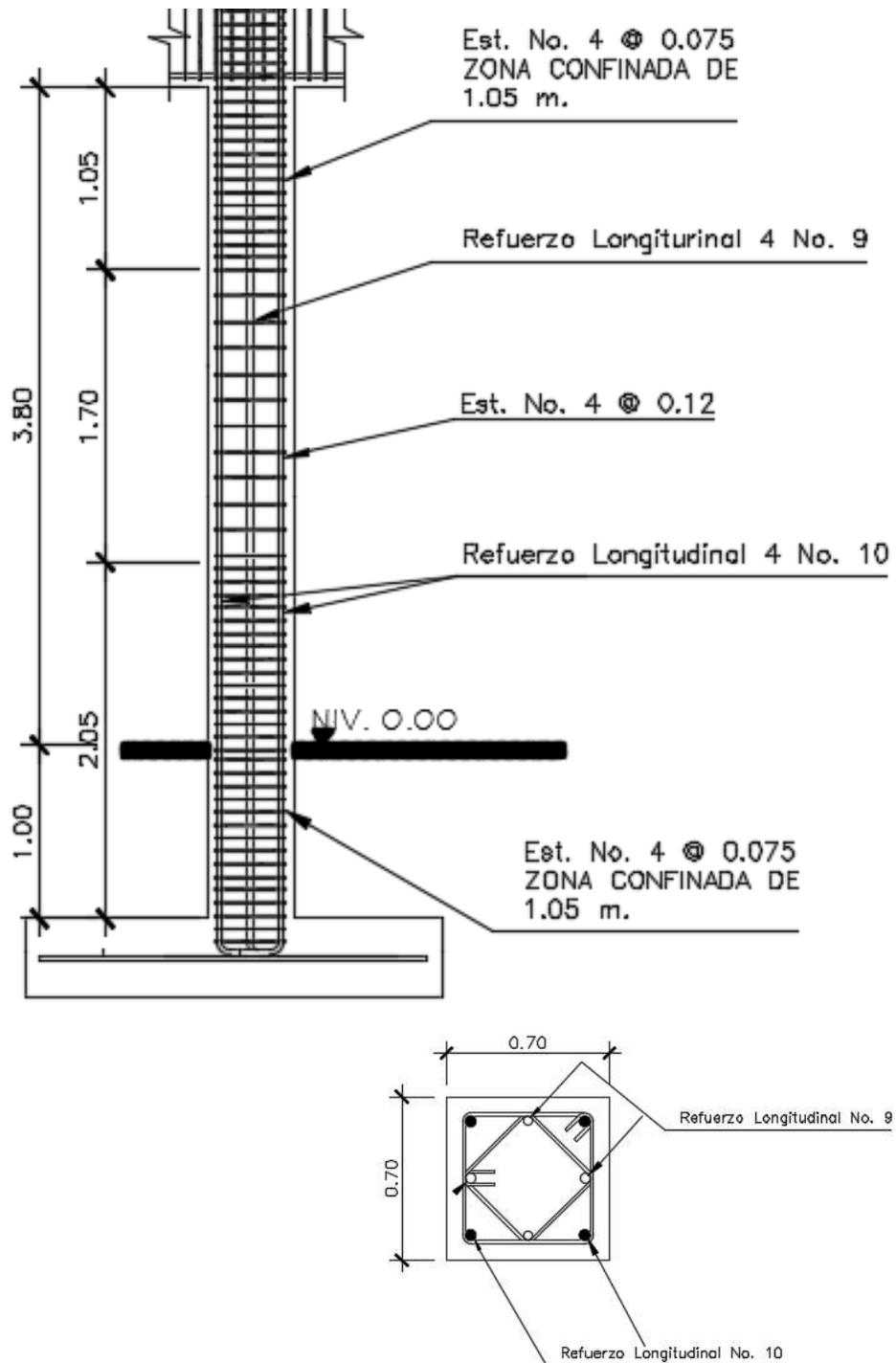
$$\rho_s > 0,12 \cdot 281 / 4\,218 = 0,007994, \text{ Chequea.}$$

Calculando el espaciamiento en función de la cuantía volumétrica, utilizando varillas # 4:

$$S = \frac{4A_v}{\rho_s \cdot L_n} = \frac{4 \cdot 1,2668}{0,01082 \cdot 60} = 7,80 \text{ cm}$$

Por lo tanto, se colocan estribos #4 @ 7,5 cm en la zona de confinamiento. Por tener varillas en las caras de la columna, se colocarán estribos rotados a 45°, según ACI. 5.0672

Figura 28. Armado típico de columna

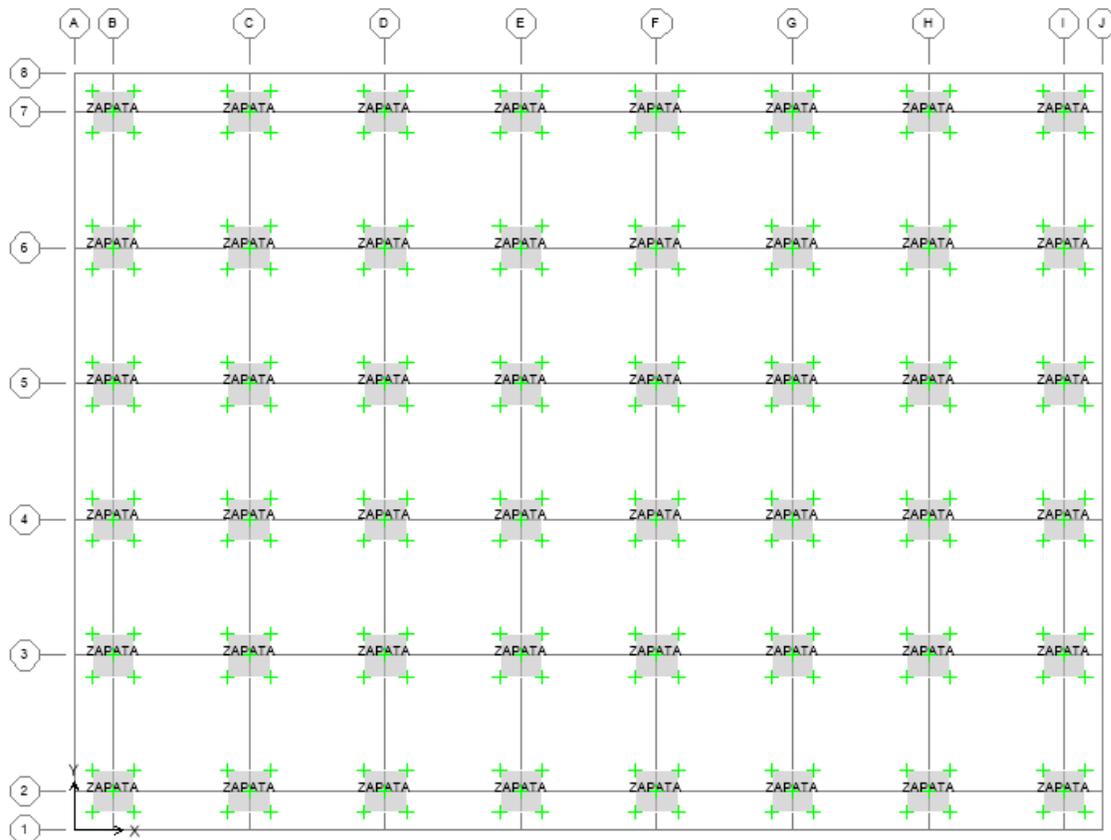


Fuente: elaboración propia.

### 3.1.8.3. Diseño de cimentación

La edificación cuenta con una cimentación basada en 48 zapatas aisladas, las cuales se ilustran en la figura 29. Estas reciben las reacciones de la carga muerta, viva y sismo determinadas en el análisis estructural.

Figura 29. Distribución de zapatas aisladas en edificación



Fuente: elaboración propia, tomado del programa ETABS.

Para ejemplificar el proceso de diseño de la cimentación, se considera la zapata central que se encuentra en la intersección de los ejes E y 5, la cual presenta las siguientes reacciones:

Figura 30. Reacciones en la zapata eje E-5 (t, t-m)

Support Reactions								
Story	Point	Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
BASE	25	DEAD	0.00	0.00	187.00	-0.002	-0.005	0.000
BASE	25	LIVE	-0.21	0.06	80.10	-0.098	-0.332	0.000
BASE	25	ROOF	0.00	0.00	9.80	0.000	0.000	0.000
BASE	25	DINX	13.88	0.00	0.00	0.007	58.000	0.001
BASE	25	DINY	0.03	14.06	0.01	59.079	0.100	0.012
BASE	25	ENVOLVENTE MAX	13.88	14.12	376.16	59.077	57.996	0.012
BASE	25	ENVOLVENTE MIN	-14.09	-14.05	134.64	-59.180	-58.338	-0.012
Summation	0, 0, Base	DEAD	0.00	0.00	187.00	4301.109	-4301.116	0.102
Summation	0, 0, Base	LIVE	-0.21	0.06	80.10	1842.136	-1842.566	6.131
Summation	0, 0, Base	ROOF	0.00	0.00	9.80	225.359	-225.359	-0.002

Fuente: elaboración propia, tomado del programa ETABS.

Por no tener un estudio formal de suelos, se estiman los siguientes valores:

$\rho$ suelo	= 1,60 t/m <sup>3</sup>	Desplante	= 1,75 m
$\mu$ fricción	= 0,5	Valor soporte	= 35 t/m <sup>2</sup>
Módulo de balasto	= 5,6 kg/cm <sup>3</sup>		

Las dimensiones de la zapata se obtienen utilizando las combinaciones indicadas en la sección 9.2 de la NSE 2 de AGIES, las cuales se detallan a continuación:

CCS1 = M + V <sub>P</sub>	Para cargas permanentes
CCS2 = M + V + V <sub>t</sub>	Para cargas de corta duración
CCS3 = M + 0,7 (S <sub>v</sub> ) + V <sub>P</sub> ± 0,7 (S <sub>h</sub> )	
CCS4 = M ± 0,7 (S <sub>h</sub> )	

Las dimensiones del cimiento se determinan en base a las combinaciones anteriores, según el método de esfuerzos permisibles. La capacidad de la cimentación se determina por el método de resistencia última, según la sección 9.4 de la NSE 2 de AGIES.

- Espesor de zapata

El espesor mínimo de la zapata se determina en base a la longitud de desarrollo del refuerzo longitudinal de las columnas, el recubrimiento del acero (5cm) y el recubrimiento estructural (8 cm).

$$L_{dh} = 14,60 \text{ db varilla} \quad \# \text{ varilla a usar} = 1'' \text{ (varilla de la columna)}$$

$$L_{dh} = 46,34 \text{ cms}$$

$$h = 46,34 + 13,00 = 59,34 \text{ cm}$$

Después de varias iteraciones, se determinó que el espesor necesario para resistir la fuerza de corte es de 75 cm.

- Área de zapata

La presión efectiva que se utilizará es de 33,18 T/m<sup>2</sup>, este valor se obtiene restando a la capacidad de suelo el peso del suelo y zapata. Para el caso de la combinación CCS3, se puede estimar un área preliminar basada en:

$$A_z = \frac{1,41P't}{V_s} = \frac{1,4 * 250,61}{33,18} = 10,57 \text{ m}^2$$

Se utilizará una zapata de 3,25 m x 3,25 m, se procede a chequear este valor para cumplir los requerimientos mínimos.

- Revisión de presión sobre el suelo

La zapata transmite al suelo las cargas aplicadas a ella, por medio de la superficie en contacto con este, si no hay levantamiento, la presión sobre el suelo se define por la fórmula:

$$q = \frac{P_{cg}}{A_z} \pm \frac{M_{tx}}{S_x} \pm \frac{M_{ty}}{S_y}, \text{ donde } S = \frac{bh^2}{6}$$

Se debe tomar en cuenta que q no debe ser negativo, ni mayor que el valor de presión efectiva.

El módulo de sección  $S_x=S_y$  está dado por:

$$S_x=S_y=\frac{3,25 \cdot 3,25^2}{6} = 5,72$$

$P = P' + P_{\text{columna}} + P_{\text{suelo}} + P_{\text{cimiento}}$

$$P = 250,61 + (0,70 \cdot 0,70 \cdot 5,0 \cdot 2,4) + (10,56 \cdot 1,2 \cdot 1,60) + (10,56 \cdot 0,75 \cdot 2,40) = 270,77 \text{ t}$$

$$q_{\text{máx}} = \frac{270,77}{10,56} + \frac{0,06}{5,72} + \frac{40,77}{5,72} = 32,78 \text{ t/m}^2$$

$$q_{\text{mín}} = \frac{270,77}{10,56} - \frac{0,06}{5,72} - \frac{40,77}{5,72} = 18,50 \text{ t/m}^2$$

$q_{\text{máx}} = 32,78 \text{ t/m}^2$  cumple, no excede la presión efectiva

$q_{\text{mín}} = 18,50 \text{ t/m}^2$  cumple, solo compresiones

- Revisión por volteo

Se debe chequear que la zapata no falle por volteo en el eje X y en el eje Y. Este valor debe tener al menos un valor mínimo de 1.5.

$$M_{\text{volteo X}} = (P_{\text{axial}} \cdot \text{Lado X} / 2) / (M_x)$$

$$M_{\text{volteo X}} = (270,77 \cdot 3,25 / 2) / (0,06) = 7\,333,35 \quad \text{Conclusión: Chequea}$$

$$M_{\text{volteo Y}} = (P_{\text{axial}} \cdot \text{Lado Y} / 2) / (M_y)$$

$$M_{\text{volteo Y}} = (270,77 \cdot 3,25 / 2) / (40,77) = 10,79 \quad \text{Conclusión: Chequea}$$

- Revisión por deslizamiento

Se debe chequear que la zapata no se deslice debido a las fuerzas que se aplican en el eje X y en el eje Y. Este valor debe tener al menos un valor mínimo de 1,5.

$$M_{\text{desliz } x} = (P_{\text{axial}} * \mu_{\text{fricción}}) / (F_x)$$

$$M_{\text{desliz } x} = (270,77 * 0,50) / (20,22) = 6,70$$

Conclusión: Chequea

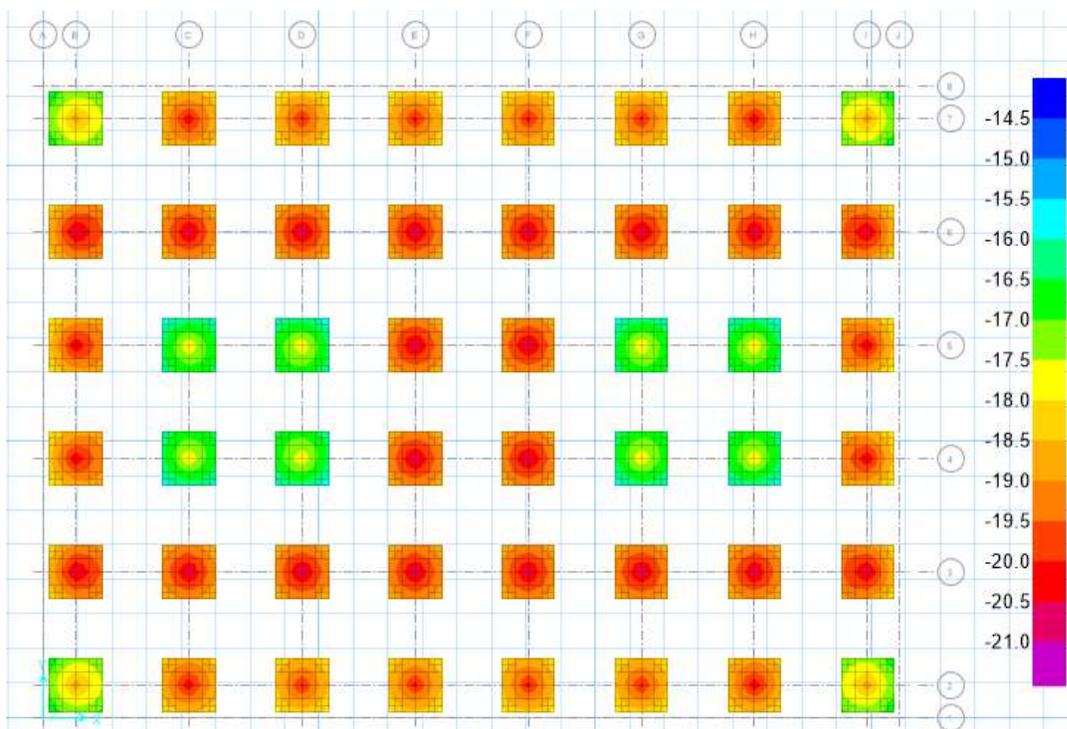
$$M_{\text{desliz } y} = (P_{\text{axial}} * \mu_{\text{fricción}}) / (F_y)$$

$$M_{\text{desliz } y} = (270,77 * 0,50) / (0,03) = 29\,333,41$$

Conclusión: Chequea

En la figura 31 se muestra el chequeo de todas las zapatas. Por código de tonos se puede ver que ninguna zapata ejerce una presión superior al valor de soporte del suelo.

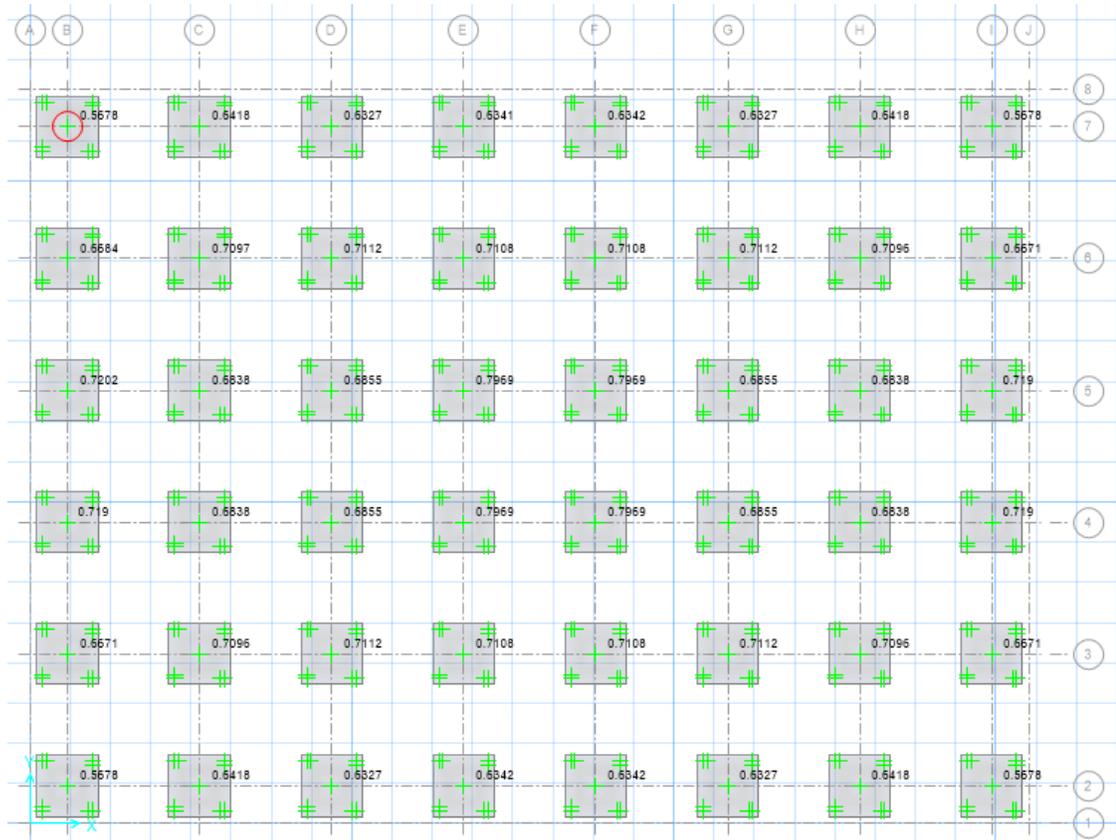
Figura 31. Presiones ejercidas por carga gravitacional (t/m<sup>2</sup>)



Fuente: elaboración propia, tomado del programa SAFE.

- Diseño del acero de la zapata  
 Se utilizará como base el programa SAFE para obtener los resultados de este análisis, basados en los datos exportados desde ETABS. Los chequeos que se harán son por corte punzonante y por flexión.
- Corte punzonante  
 La columna tiende a punzonar la zapata, debido a los esfuerzos de corte producidos en el perímetro de la columna; el límite donde ocurre la falla está a una distancia  $d/2$ , del perímetro de la columna. En la figura 32 se puede observar que la columna que más demanda tiene es la de los ejes E y 5, utilizando un 79,69% la capacidad de la resistencia a punzonamiento del elemento.

Figura 32. Corte por punzonamiento en zapatas de la estructura (%)



Fuente: elaboración propia, tomado del programa SAFE.

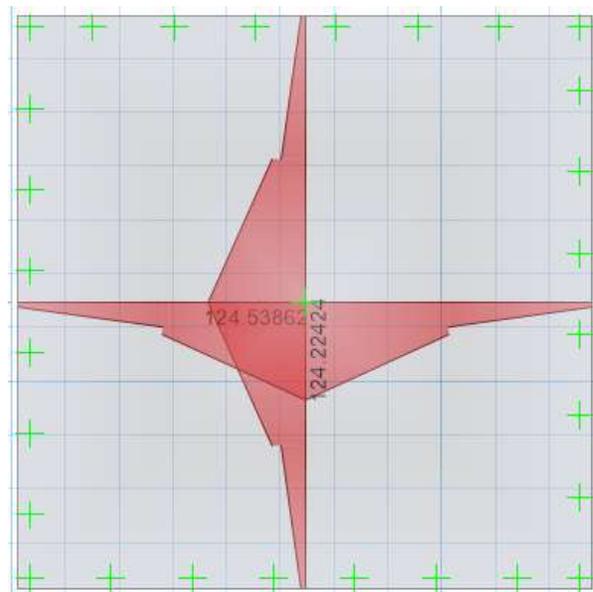
- Diseño del refuerzo a flexión

Cálculo de acero mínimo según ecuación 10.3 de ACI 318-08

$$A_{smin} = 14 \cdot b \cdot d / f_y = 14 \cdot 100 \cdot 67,00 / 4 \cdot 200$$

$$A_{smin} = 22,33 \text{ cm}^2.$$

Figura 33. Momento en zapata E5 (t-m)



Fuente: elaboración propia, tomado del programa SAFE.

Momento a resistir = 124,224 t-m (tomado de figura 33)

$$A_s \text{ necesario} = 49,59 \text{ cm}^2$$

$$\text{Diámetro de varilla} = 3/4''$$

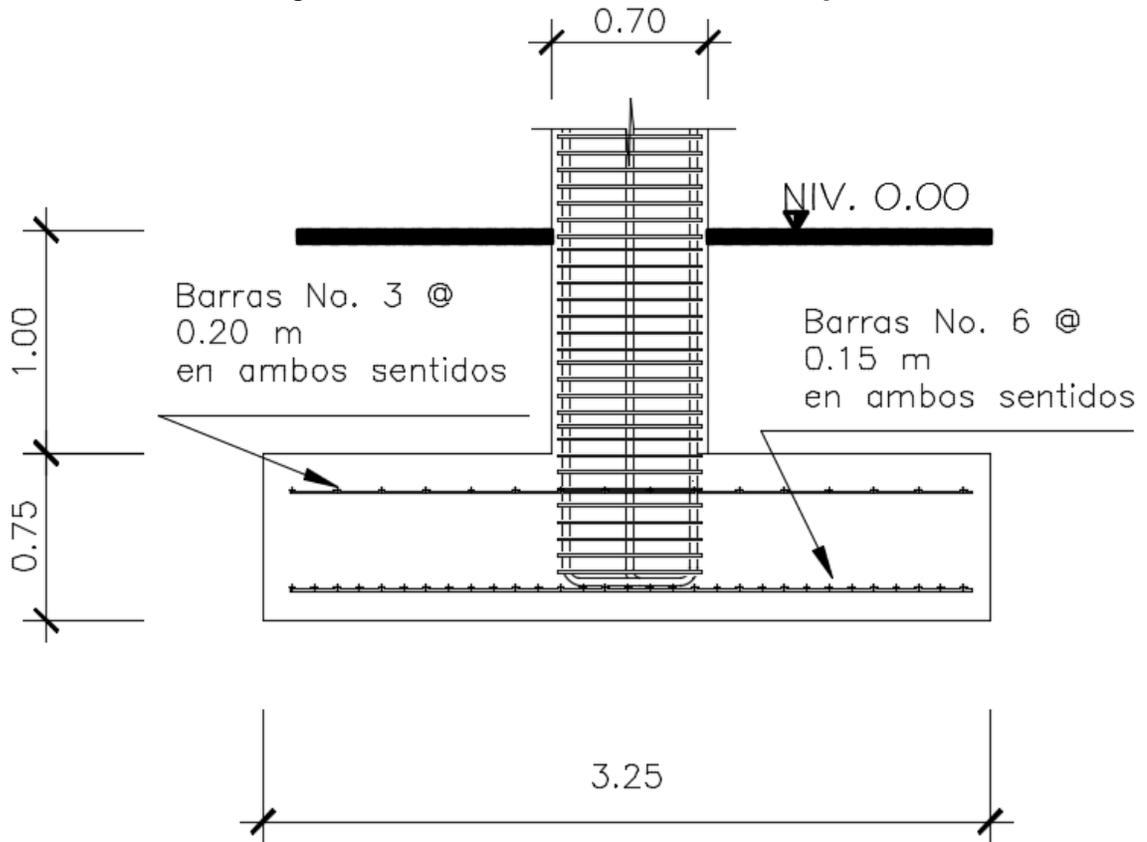
$$\text{Cantidad de varillas} = 18$$

$$\text{Separación} = 17,22 \text{ cms.}$$

Por practicidad de armado, se reforzará con varilla #3/4 @ 15 cms.

- Acero por temperatura  
As temperatura=  $0,002 \cdot b \cdot t = 0,002 \cdot 100 \cdot 75 = 15 \text{ cm}^2$ , utilizando varillas # 3  
el espaciamiento es de 20 cm en ambos sentidos, en la cama superior.

Figura 34. **Detalle del armado de la zapata**





## 4. ANÁLISIS DE ESTRUCTURA CON AISLADORES SÍSMICOS

Esta parte del trabajo sigue los requerimientos y recomendaciones del capítulo 17 del ASCE 7-10 (Requerimientos sísmicos para estructuras sísmicamente aisladas), esto debido a que en Guatemala no existe un normativo que regule las estructuras aisladas. Cabe mencionar que la normativa guatemalteca ha sido desarrollada en base al ASCE 7-10, por lo que es posible adaptar el capítulo 17 para una estructura en Guatemala.

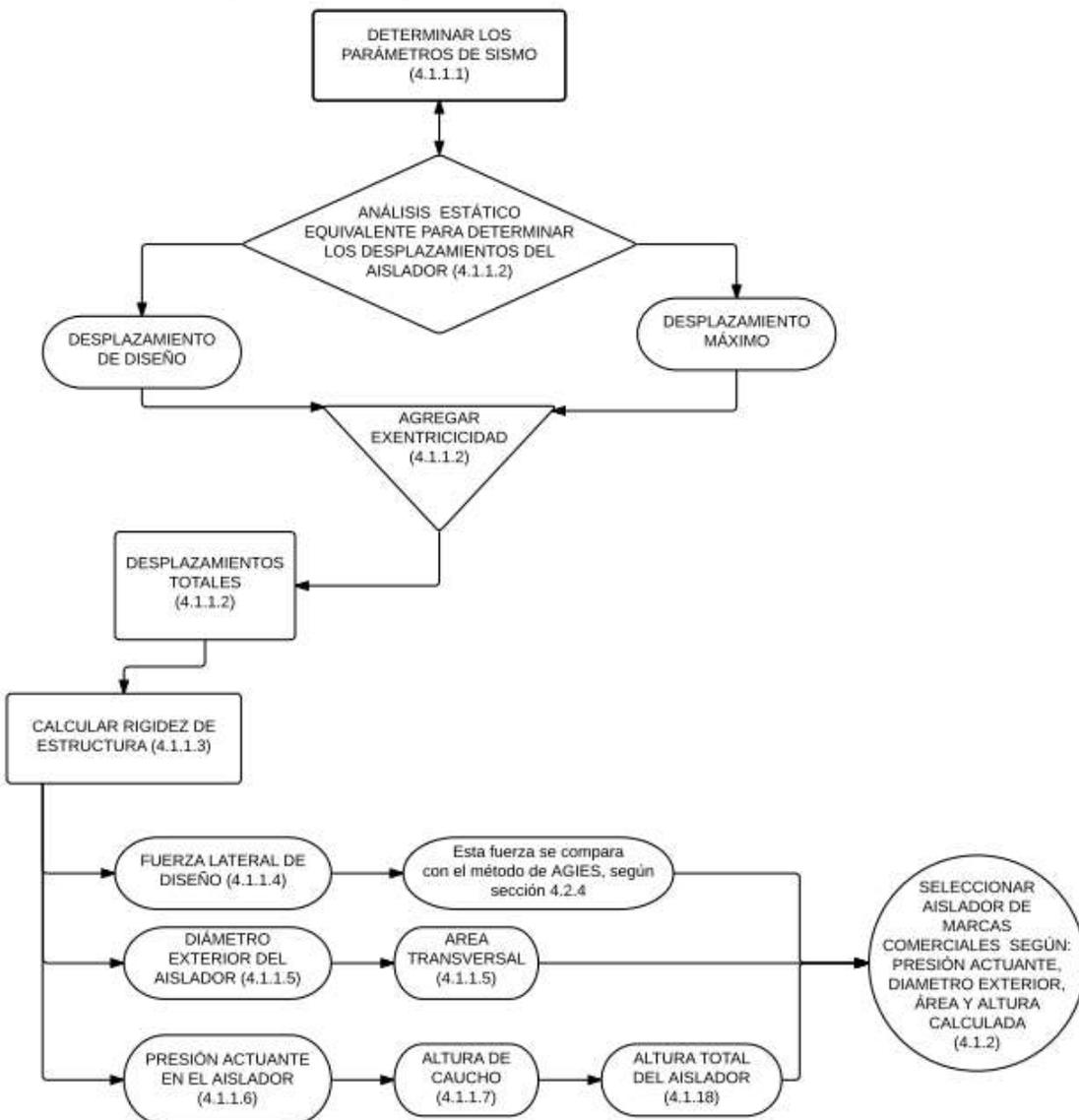
Los requisitos que se deben cumplir al diseñar un aislador elastomérico son los siguientes:

- El aislador debe ser capaz de soportar el peso propio de la estructura.
- Se debe alargar el período fundamental de vibración de la estructura, para reducir la aceleración espectral.
- Debe proveer amortiguamiento para reducir la deformación sobre el sistema de aislamiento.
- Ser capaz de soportar las deformaciones de corte que le serán impuestas por un sismo de gran magnitud.
- Debe tener rigidez suficiente para cargas de servicio de la estructura para evitar vibraciones molestas.
- El sistema de aislación debe durar, al menos, el mismo período de vida útil de una estructura de base fija.
- Se debe dejar algún mecanismo para cambiar los dispositivos.
- El sistema debe ser efectivo durante el sismo y después de él, para soportar las probables réplicas.

## 4.1. Diseño del aislador

Los parámetros necesarios para seleccionar un aislador son: la presión actuante que resisten, el diámetro externo, el área y la altura del aislador. A continuación, se presenta un diagrama de flujo en donde se ilustra el procedimiento de diseño.

Figura 35. Diagrama de flujo diseño de aislador



Fuente: elaboración propia.

Los datos para realizar esta sección de la investigación se obtienen en su mayoría del análisis estructural del capítulo 3, sin embargo, luego de varias iteraciones en el análisis y diseño de la estructura aislada se han optimizado algunas de las secciones de los elementos estructurales tal como se resume a continuación:

- Número de aisladores 48 unidades
- Dimensiones de columna 60 x 60 cm
- Dimensiones de vigas principales 50 x 30 cm
- Dimensiones de vigas nivel 5 50 x 30 cm
- Losa de nivel 0 de 12 cm
- Peso muerto de la estructura 9 306,97 t
  - Nivel 5 1 312,76
  - Nivel 4 1 645,66
  - Nivel 3 1 645,66
  - Nivel 2 1 645,66
  - Nivel 1 1 724,54
  - Nivel 0 1 332,70
- Carga viva del edificio 2 921,40 t (en el análisis para aisladores se puede aplicar una reducción del 50% a la carga viva del edificio)
- Período de la estructura  $T_D$  2,5 s
- Carga gravitacional máxima a corto plazo 1 968,68 t
- Carga gravitacional máxima a largo plazo 984,34 t
- Peso sísmico 8 625,74 t
- Capacidad mínima corte caucho 300 %
- Módulo de corte horizontal 0.45 – 0.69 Mpa
- Amortiguamiento efectivo mín. 15 %

#### 4.1.1. Determinación de parámetros del aislador

- Parámetros iniciales de la estructura y del aislador

Según la sección 17.5.4.2 del ASCE 7-10, para determinar el factor R de la estructura aislada se debe multiplicar el factor R del sistema de resistencia lateral sobre el aislador por 3/8, con un valor máximo de 2 y un mínimo de 1.

- R de la estructura sobre el aislador = 8
- R estructura aislada =  $(3/8) * R = (3/8)*8 = 3$

Debido a que el máximo valor que puede tener el R de la estructura aislada es 2, se utiliza esto para los cálculos de esta sección.

- Lado X estructura = 53,00 m
- Lado Y estructura = 39,00 m
- Excentricidad accidental X = 2,65 m (5%)
- Excentricidad accidental Y = 1,95 m (5%)
- T<sub>D</sub> deseado = 3,00 s
- Coeficiente de amortiguamiento ( $\beta_{eff}$ ) = 23%
- Módulo de rigidez a cortante = 0,62 Mpa

##### 4.1.1.1. Determinación de los parámetros de sismo

- K<sub>d</sub> de estructura fija = 0,80
- K<sub>d</sub> de estructura aislada = 0,66 (Ver sección 4.2.1)
- S<sub>D1</sub> = 0,55
- S<sub>M1</sub> = 0,83

#### 4.1.1.2. Diseño preliminar basado en análisis estático equivalente

- Determinar los desplazamientos del diseño ( $D_D$ ) y máximo ( $D_M$ ).

$$D_D = (g S_{D1} T_D) / (4\pi^2 B_D)$$

$$D_D = 25,31 \text{ cm}$$

$$D_M = (g S_{M1} T_M) / (4\pi^2 B_M)$$

$$D_M = 37,97 \text{ cm}$$

- Para determinar los desplazamientos totales es necesario tomar una excentricidad accidental, así como el centro de gravedad del eje mayor.

$$D_{TD} = D_D \{1 + y (12 e / (b^2 + d^2))\}$$

$$D_{TD} = 30,24 \text{ cm (para el chequeo dinámico es permitido usar el } 0.90D_{TD})$$

$$D_{TM} = D_M \{1 + y (12 e / (b^2 + d^2))\}$$

$$D_{TM} = 45,36 \text{ cm (para el chequeo dinámico es permitido usar el } 0.90D_{TM})$$

#### 4.1.1.3. Determinación de la rigidez efectiva del aislador

Para esta sección se debe incluir el período deseado ( $T_d = 3,0$  s para este caso).

$$K_{Dmin} = (4\pi^2 W) / (T_D^2 g)$$

$$K_{Dmin} = 4\,161,56 \text{ t / m}$$

Para obtener la rigidez de cada aislador, se divide dentro de la cantidad de aisladores (48 unidades).

$$K_{Dmin \text{ Aislador}} = 86,70 \text{ t / m}$$

$$K_{Dmax} = 5\,410,03 \text{ t / m}$$

$$K_{Dmax \text{ Aislador}} = 112,71 \text{ t / m}$$

#### 4.1.1.4. Determinación de la fuerza lateral de diseño

$$\begin{aligned}V_b &= K_{D_{MAX}} * D_D \\V_b &= 5\,410,03 * 0,2531 \\V_b &= 1\,369,54 \text{ t (chequear aisladores con este valor)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{MCE} &= K_{D_{MAX}} * D_M \\V_{MCE} &= 5\,410,03 * 0,3797 \\V_{MCE} &= 2\,054,30 \text{ t (chequear estabilidad)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_s &= K_{D_{MAX}} * D_D / R \\V_s &= 5\,410,03 * 0,2531 / 2 \\V_s &= 684,77 \text{ t (diseño superestructura).}\end{aligned}$$

#### 4.1.1.5. Determinación del diámetro exterior del aislador

Se debe verificar que diámetro del aislador sea al menos  $1,25 * D_{TM}$  (56.7 cm).

$$\begin{aligned}D_e &= 0,60 \text{ m} \\A_{\text{Aislador}} &= 0,2651 \text{ m}^2\end{aligned}$$

#### 4.1.1.6. Determinación de la presión actuante sobre el aislador

Carga máxima = 477,96 t (se obtiene haciendo la combinación de todas las cargas que actúan sobre cada columna, esta carga se obtiene en la intersección del eje 7 y E)

$$\begin{aligned}
 P_{\text{Actuante}} &= \text{Carga máxima} / \text{área de aislador} \\
 P_{\text{Actuante}} &= 467,68 / 0,2651 \\
 P_{\text{Actuante}} &= 1\,764,35 \text{ t} / \text{m}^2
 \end{aligned}$$

#### 4.1.1.7. Determinación de la altura del caucho

$$\begin{aligned}
 H_r &= \text{Módulo corte} * \text{área aislador} / K_H \text{ aislador} \\
 H_r &= 63,61 * 0,2651 / 86,70 \\
 H_r &= 0,19 \text{ m}
 \end{aligned}$$

#### 4.1.1.8. Determinación de la altura total del aislador

$$\begin{aligned}
 H_r &= 0,19 \text{ m} \\
 t_{\text{tapa}} &= 0,03 \text{ m (cada tapa)} \\
 H_{\text{acero}} &= 0,09 \text{ m} \\
 H_{\text{total}} &= 0,34 \text{ m}
 \end{aligned}$$

#### 4.1.2. Selección del aislador elastomérico

Actualmente el mercado de fabricantes de aisladores se está expandiendo, ya que existen empresas norteamericanas, japonesas que está fabricando estos dispositivos. Dentro de las marcas comerciales más conocidas tenemos:

- DIS (Dynamic Isolator Sistem)
- Bridgestone
- D.S. Brown
- Vulco
- EMKE
- MAURER SÖHNE
- ICHIJO
- ALGA
- Entre otros.

El aislador elastomérico se debe escoger con los siguientes datos. Estos datos son mínimos, por ende, se debe buscar el aislador que se exceda a los siguientes datos:

$P_{actuante}$	=	1 764,35 t / m <sup>2</sup>
$D_e$	=	0,600 m
Area	=	0,265 m <sup>2</sup>
$H_{ra\ usar}$	=	0,340 m

De las tablas mostradas en el anexo A, se toma el aislador marca Bridgestone modelo HH075 que tiene las siguientes características:

$P_{actuante}$	=	2 000,00 t / m <sup>2</sup>
$D_e$	=	0,750 m
Area	=	0,442 m <sup>2</sup>
$H_{ra\ usar}$	=	0,377 m

Las características completas del aislador se describen en la tabla XII.

Tabla XII. **Características del aislador HH075**

Diámetro ext.	0.75 cm
Altura total	37.69 cm
	<b>Altura goma</b> <b>20.00 cm</b>
	Capas 40.00 unidades
	espesor 0.50 cm
	<b>Altura acero</b> <b>12.09 cm</b>
	Capas 39.00 unidades
	espesor 0.31 cm
	<b>Altura tapa</b> <b>5.60 cm</b>
	tapas 2.00 unidades
	espesor 2.80 cm
Rigidez horizontal	124.00 t/m
Rigidez vertical	253,000.00 t/m

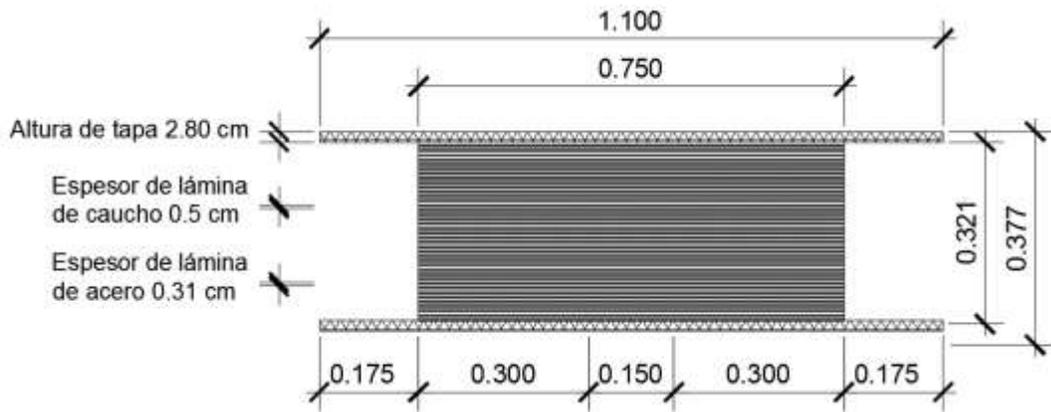
Fuente: elaboración propia.

Figura 36. **Detalles de aislador marca Bridgestone**



Fuente: [http://www.bridgestone.com/products/diversified/antiseismic\\_rubber/product.html](http://www.bridgestone.com/products/diversified/antiseismic_rubber/product.html)

Figura 37. **Esquema final de aislador (cm)**



Fuente: elaboración propia.

## 4.2. Diseño estructural

### 4.2.1. Revisión de corte basal mínimo

Según la sección 17.5.4.3 del ASCE se debe revisar el corte basal mínimo que recibe la estructura. Primero se compara con el corte estático equivalente.

Dado que la misma estructura se ubicada en el mismo sitio la mayoría de los parámetros del espectro se mantienen constantes excepto los listados a continuación:

Coeficientes de diseño

$$S_{DS} = 0,99$$

$$S_{D1} = 0,54$$

Categoría del riesgo

Obras esenciales (tipo IV)

Factor de Importancia y escala

$$K_d = 0,66$$

El factor de importancia no lo menciona AGIES, sin embargo, va implícito en el factor de escala, pudiendo suponer un factor de importancia como sigue a continuación:

$$K_d = (2/3) / I_e = 2/3 / (0,66) = 1,0$$

- Cálculo de espectro

Tabla XIII. Datos de espectro sísmico

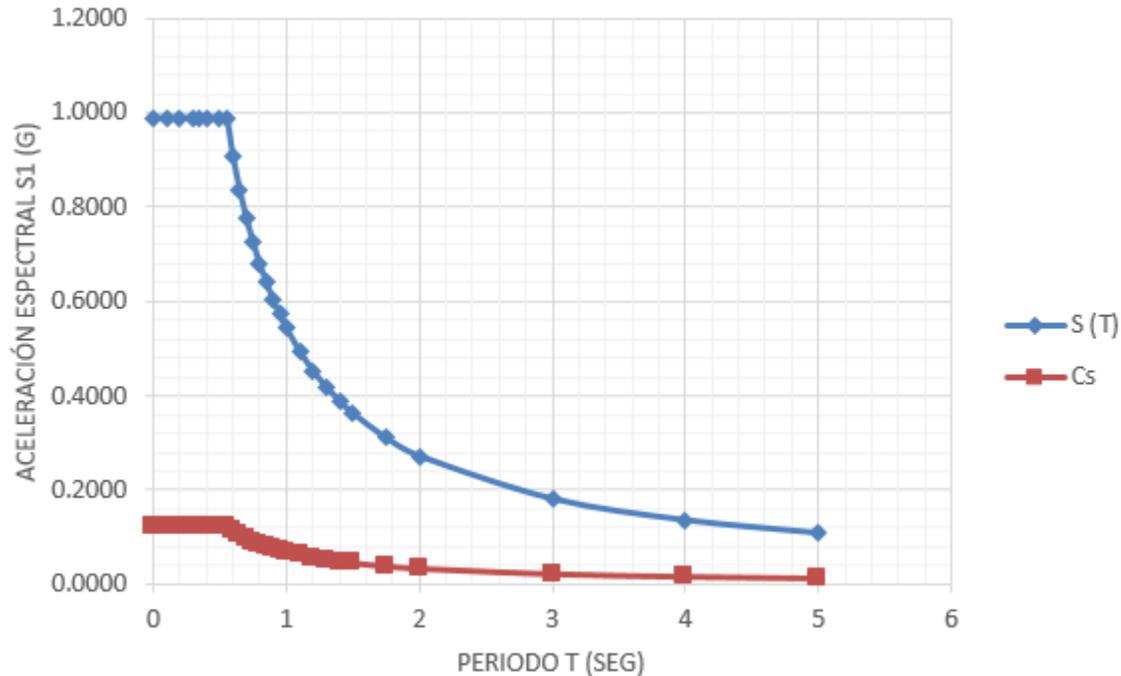
CONSTRUCCIÓN DE ESPECTRO DE RESPUESTA		
T (s)	S (T)	Cs
0	0.9900	0.1238
0.10	0.9900	0.1238
0.20	0.9900	0.1238
0.30	0.9900	0.1238
0.35	0.9900	0.1238
0.40	0.9900	0.1238
0.50	0.9900	0.1238
0.55	0.9900	0.1238
0.60	0.9075	0.1134
0.65	0.8377	0.1047
0.70	0.7779	0.0972
0.75	0.7260	0.0908
0.80	0.6806	0.0851
0.85	0.6406	0.0801
0.90	0.6050	0.0756
0.95	0.5732	0.0716
1.00	0.5445	0.0681
1.10	0.4950	0.0619
1.20	0.4538	0.0567
1.30	0.4188	0.0524
1.40	0.3889	0.0486
1.50	0.3630	0.0454
1.75	0.3111	0.0389
2.00	0.2723	0.0340
3.00	0.1815	0.0227
4.00	0.1361	0.0170
5.00	0.1089	0.0136

S(T) = Demanda sísmica de diseño  
 Cs = Coeficiente sísmico a nivel de cedencia  
 $Cs = S(T)/R$   
 R = Factor de reducción de respuesta

Fuente: elaboración propia.

Según los datos de la tabla XIII se procede a graficar el espectro de respuesta sísmica, quedando de la siguiente manera:

Figura 38. Espectro de respuesta sísmica



Fuente: elaboración propia.

- Período de la estructura

Según el capítulo 17 del ASCE, sección 17.5.4.3, se debe utilizar el período deseado de la estructura aislada.

$T_D = 3,0$ segundos
----------------------

- Corte basal a utilizar

Tal como se mencionó al inicio, el inciso 17.5.4.3 del ASCE determina que el corte basal se debe utilizar el mayor del  $V_s$  (calculado en sección 4.1.1.4 con un valor de 684,77 toneladas) y el calculado según metodología de AGIES (utilizando un período de 3,0 s).

El peso sísmico de la estructura cambia debido a la optimización de secciones estructurales que se obtuvo. Ahora se utilizan columnas de 60 x 60 cm, vigas principales de 50 x 30 cm y vigas principales del nivel 5 de 50 x 30 cm.

Además de esto se coloca una losa en el nivel cero, que ayuda a rigidizar toda la estructura y evitar excentricidades al colocar los aisladores.

Siguiendo el mismo procedimiento que en el capítulo anterior se obtiene un peso sísmico de 8 625,74 toneladas.

- Sistema para resistir cargas laterales

Tabla XIV. **Asignación de factores de acuerdo al sistema de resistencia lateral**

Dirección	Sistema Estructural	Sistema	R	Cd
X y Y	Sistema de marcos con aisladores	Marco tipo A de concreto reforzado	2,00	2,00

Fuente: elaboración propia.

Determinación del coeficiente sísmico.

$$C_{s\ 2-2} = 0,0272$$

$$C_{s\ 2-2a} = 0,0436$$

$$C_{s\ 2-2b} = 0,0340$$

$$C_s \text{ a utilizar} = 0,0436$$

El corte basal según el procedimiento de AGIES tiene un valor de 375,74 toneladas (0,0436 x 8 625,74). Por lo tanto, se utilizará el valor calculado en la sección 4.1.1.4 (684,77 t)

#### 4.2.2. Análisis modal

El corte puede reducirse un 20% ya que es una estructura regular (sección 17.6.4.2 ASCE). El corte a utilizar es 547,82 kg para la estructura sobre el

aislador. Los cortantes basales de la estructura y su distribución en cada modo de vibración en cada dirección horizontal ortogonal se determinaron con ayuda de ETABS, los resultados son:

Corte basal análisis modal 1ra iteración X      263,10 t

Corte basal análisis modal 1ra iteración Y      257,95 t

Factor calibración fuerza X =      547,82 / 264,40      =      2,072

Factor calibración fuerza Y =      547,82 / 260,62      =      2,102

#### 4.2.2.1. Determinación de modos de la estructura

El primer modo que muestra la estructura es uno con características traslacionales en Y con un período T= 2,3305 segundos. El porcentaje de participación modal = 78,43%. Por lo tanto, se necesita la participación de los otros modos para alcanzar al menos un 90% de participación.

Figura 39. Resumen de % de participación de masa en el análisis modal

Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
1	2.330469	0.0000	78.4299	0.0000	0.0000	78.4299	0.0000
2	2.279320	78.5075	0.0000	0.0000	78.5075	78.4299	0.0000
3	2.266734	0.0000	0.0000	0.0000	78.5075	78.4299	0.0000
4	0.650445	0.0000	9.6784	0.0000	78.5075	88.1082	0.0000
5	0.639800	9.6086	0.0000	0.0000	88.1162	88.1082	0.0000
6	0.637153	0.0000	0.0000	0.0000	88.1162	88.1082	0.0000
7	0.295724	0.0000	3.7972	0.0000	88.1162	91.9054	0.0000
8	0.292946	0.0000	0.0000	0.0000	88.1162	91.9054	0.0000
9	0.292841	3.7274	0.0000	0.0000	91.8435	91.9054	0.0000

Fuente: tomado del programa ETABS.

#### 4.2.2.2. Chequeo de derivas

El factor de calibración de derivas, se calcula tal y como se hizo en la sección 3.1.6.2 de este documento. Quedó de la siguiente manera:

$$\text{Factor calibración derivas } X = \text{máx. } (0,85 \cdot 0,032 / 0,0307, 1) = 1,000$$

$$\text{Factor calibración derivas } X = \text{máx. } (0,85 \cdot 0,033 / 0,0302, 1) = 1,000$$

La deriva máxima tolerable, al ser la misma estructura y del mismo uso que la analizada en el capítulo 3, es de  $0,015h_p$ . Para la determinación del factor de amplificación de desplazamientos post-elásticos ( $C_d$ ), se toma en cuenta la sección 17.5.6 del ASCE, en la cual indica se debe usar el R de la estructura aislada (en este caso utilizamos  $C_d = 2$ ).

Tabla XV. Chequeo de derivas eje X

Dirección	Nivel	hi, m	$\Delta p = 0.015$ hx,cm	$\delta_{total}$ , cm	$\delta_{nivel}$ , cm	$\delta C_d$ , cm	Conclusión
<b>X</b>	Techo	3,80	5,700	5,1238	0,5847	1,17	Ok
	4	3,80	5,700	4,5391	0,7670	1,53	Ok
	3	3,80	5,700	3,7721	0,9794	1,96	Ok
	2	3,80	5,700	2,7927	1,1662	2,33	Ok
	1	3,00	5,700	1,6265	1,6265	3,25	Ok

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. Chequeo de derivas eje Y

Dirección	Nivel	hi, m	$\Delta p = 0.015$ hx,cm	$\delta_{total}$ , cm	$\delta_{nivel}$ , cm	$\delta C_d$ , cm	Conclusión
<b>Y</b>	Techo	3,80	5,700	5,2529	0,6075	1,22	Ok
	4	3,80	5,700	4,6454	0,7904	1,58	Ok
	3	3,80	5,700	3,8550	1,0043	2,01	Ok
	2	3,80	5,700	2,8507	1,1919	2,38	Ok
	1	3,80	5,700	1,6588	1,6588	3,32	Ok

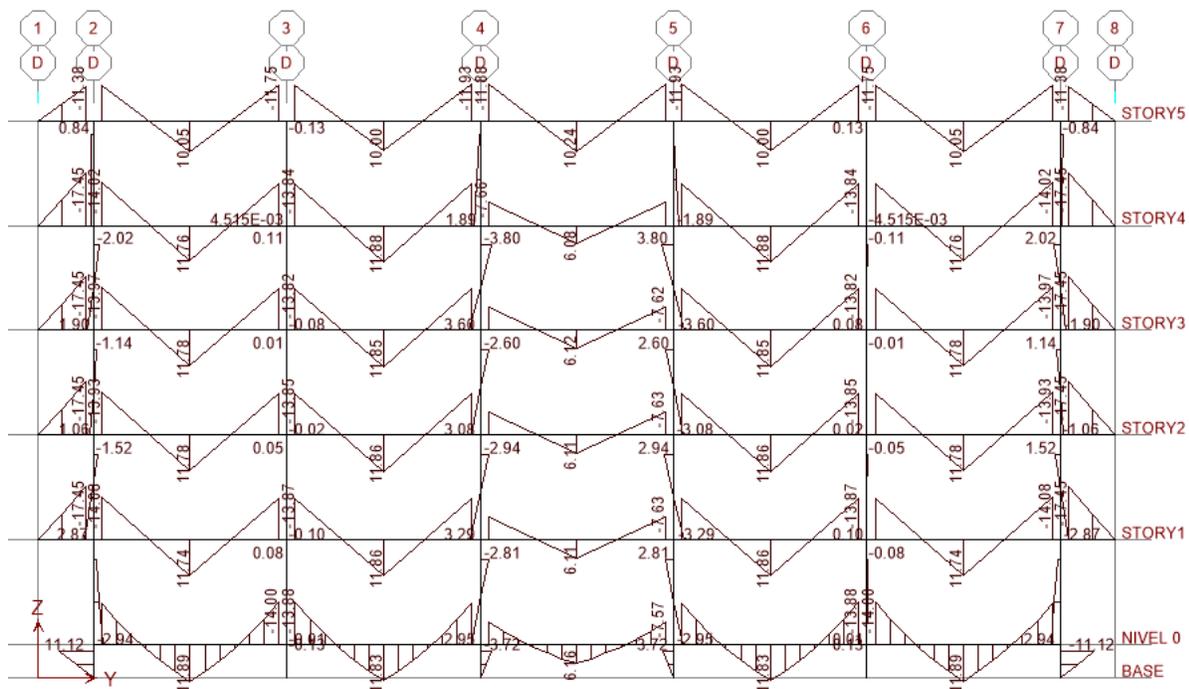
Fuente: elaboración propia.

### 4.2.3. Análisis de marcos

En esta sección se realiza el análisis estructural de la estructura aislada obteniendo los datos de ETABS 9.7.2. Los resultados obtenidos en el software de análisis se muestran a continuación, se tomó como base para presentar los resultados, el mismo eje que se analizó en el capítulo 3. Todo lo anterior, con el objetivo de realizar la comparación de resultados de manera directa.

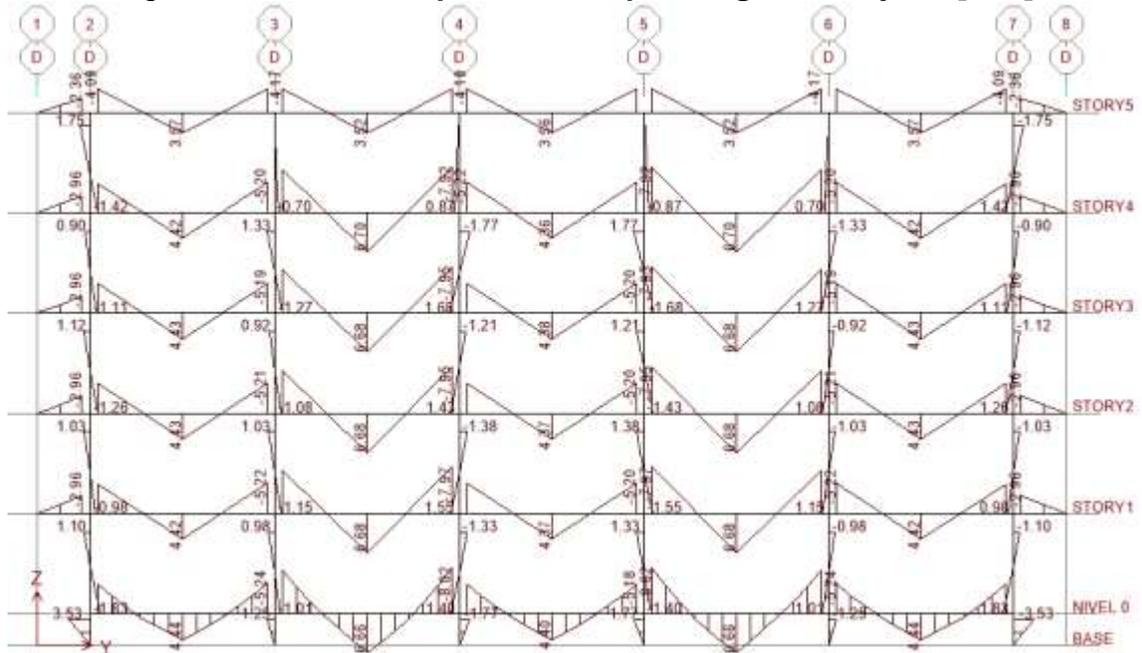
#### 4.2.3.1. Diagrama de momentos

Figura 40. Momentos provocados por carga muerta. Eje D. [t-m]



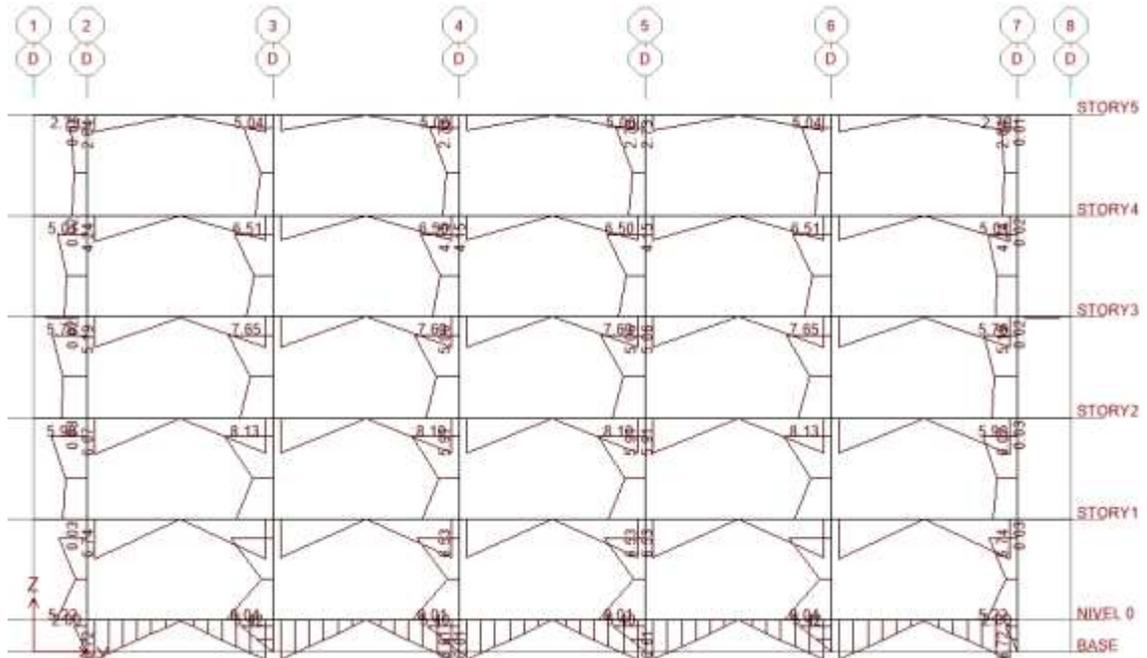
Fuente: elaboración propia, tomado del programa ETABS.

Figura 41. Momentos provocados por carga viva. Eje D. [t-m]



Fuente: elaboración propia, tomado del programa ETABS.

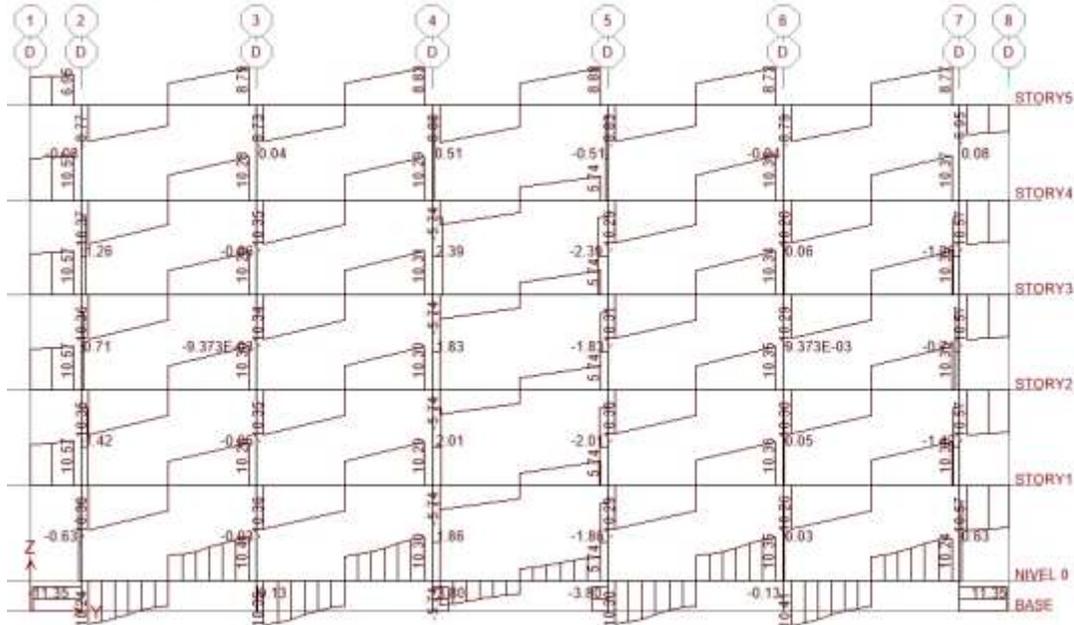
Figura 42. Momentos provocados por carga sísmica. Eje D. [t-m]



Fuente: elaboración propia, tomado del programa ETABS.

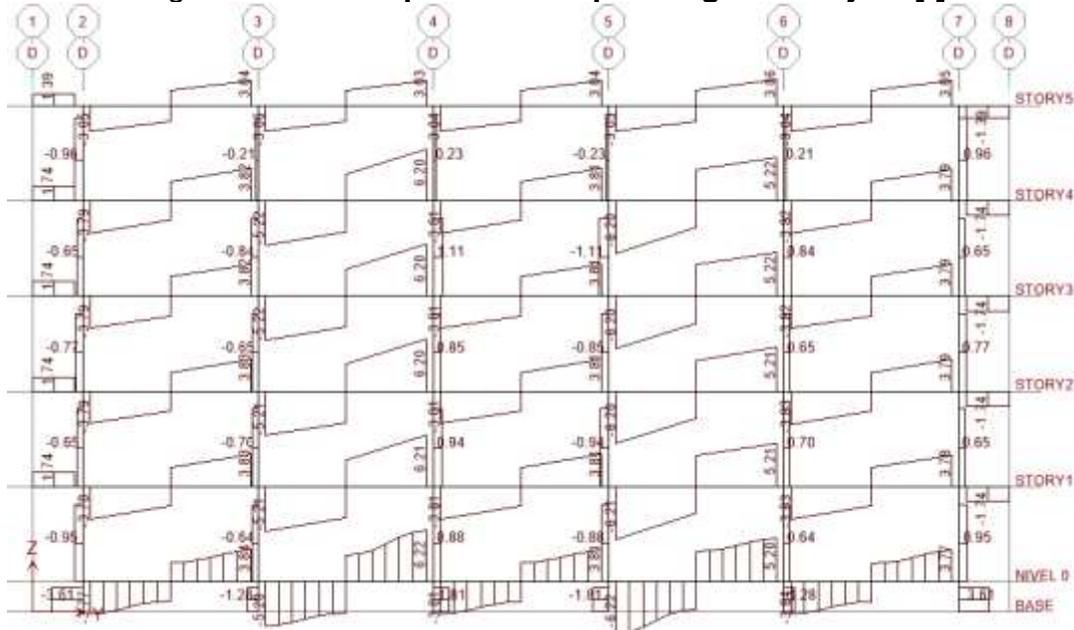
### 4.2.3.2. Diagrama de cortes

Figura 43. Cortes provocados por carga muerta. Eje D [t]



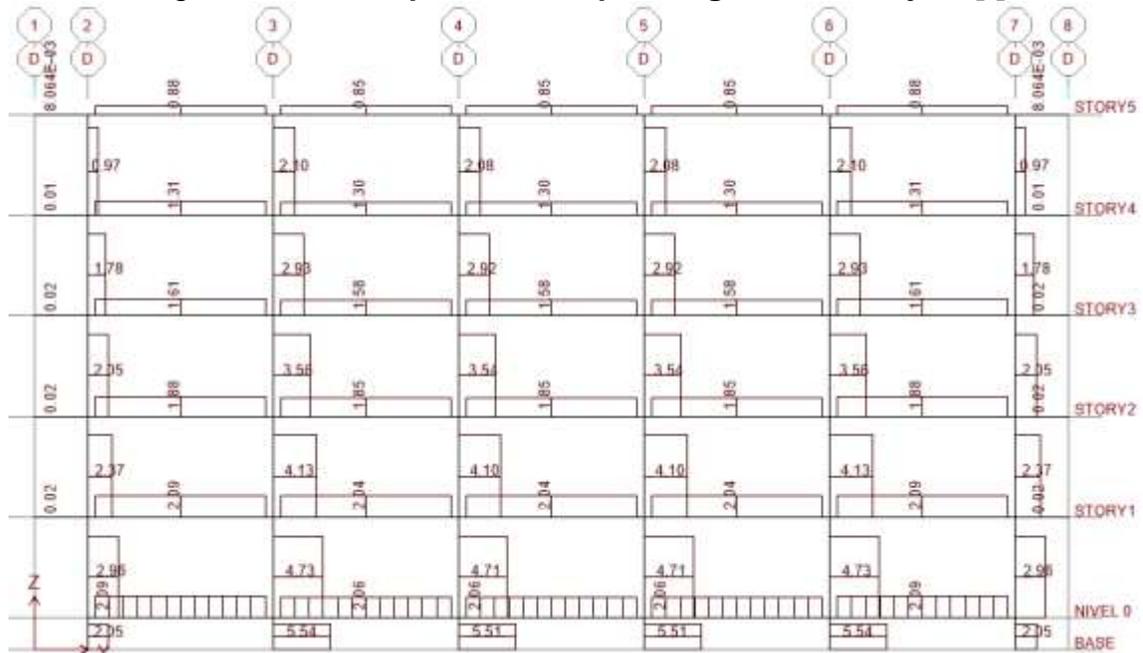
Fuente: elaboración propia, tomado del programa ETABS.

Figura 44. Cortes provocados por carga viva. Eje D [t]



Fuente: elaboración propia, tomado del programa ETABS.

Figura 45. Cortes provocados por carga sísmica. Eje D [t]

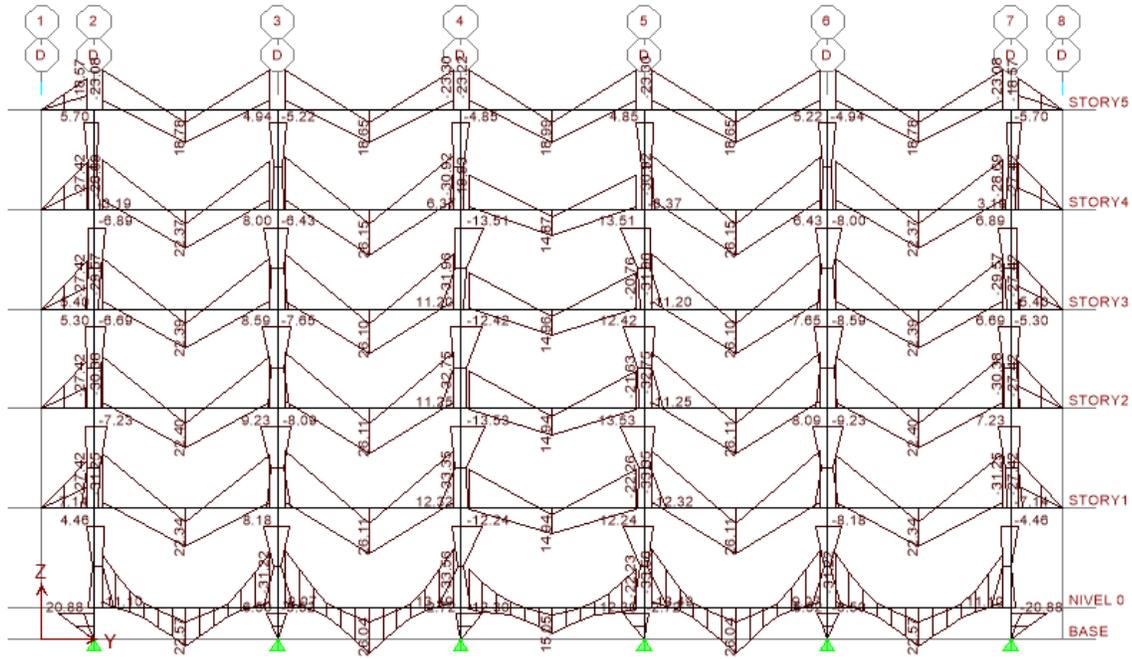


Fuente: elaboración propia, tomado del programa ETABS.

#### 4.2.3.3. Combinaciones de cargas

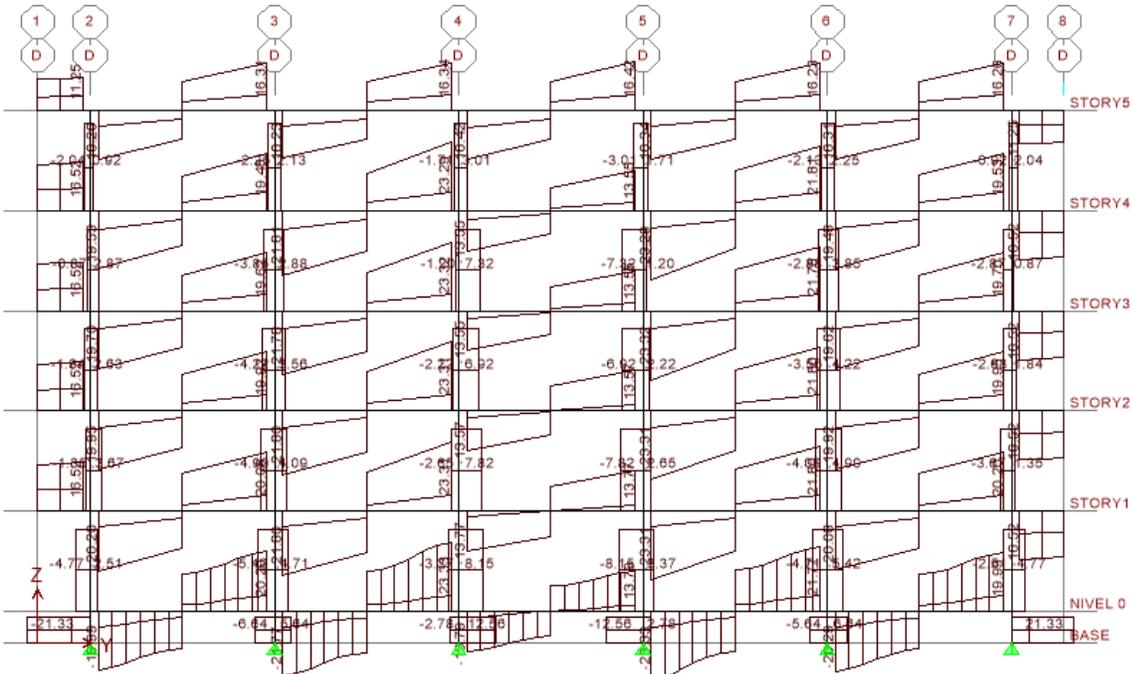
Las combinaciones de carga que se realizaron son las mismas que se utilizaron en la sección 3.1.2.3 del capítulo 3. A continuación se muestran los diagramas obtenidos de la envolvente de momento y corte para el marco D.

Figura 46. Envolvente de momentos. Eje D [t m]



Fuente: elaboración propia, tomado del programa ETABS.

Figura 47. Envolvente de corte. Eje D [t]



Fuente: elaboración propia, tomado del programa ETABS.



Acero mínimo por la ecuación 10,3:

$$As, \text{ mín} = (0,80 * (\sqrt{281}) * 30 * 47,5) / (4 218)$$

$$As, \text{ mín} = 4,51 \text{ cm}^2$$

Acero mínimo no menor a:

$$As_{\text{min}} = (14,0 / 4 218) * 30 * 47,5 = 4,73 \text{ cm}^2.$$

Se toma el 4,73 cm<sup>2</sup>, debido a que es el mayor de los dos números calculados.

Para el armado final de la viga, se utiliza la viga misma analizada en el capítulo 3 (eje D, que se encuentra entre el eje 2 y 3 del nivel 4):

- Cama superior (área a cubrir 19,25 cm<sup>2</sup>)

Colocar dos varillas corridas como mínimo, con el área mayor de las opciones:

$$As_{\text{mín}} = 4,73 \text{ cm}^2$$

$$25\% As (-) \text{ mayor} = 19,25 * 0,25 = 4,81 \text{ cm}^2$$

Para este caso será necesario colocar el mayor de los anteriores, por lo tanto, se colocan 2 #7 corridas, As= 7,76 cm<sup>2</sup>.

Para cubrir los momentos negativos en viga, se completa el As requerido colocando bastones (19,25 – 7,76 = 11,49). En este caso se colocan 3#7, As bastones = 11,64.

- Cama inferior:

Colocar 2 varillas como mínimo, con el área mayor de las opciones:

$$As_{\text{mín}} = 4,73 \text{ cm}^2$$

$$50\%As(+) = 17,77 * 0,50 = 8,89 \text{ cm}^2$$

$$25\%As(-) \text{ mayor} = 19,25 * 0,25 = 4,81 \text{ cm}^2$$

Para este caso será necesario colocar 10,61 cm<sup>2</sup>, utilizando 2 #7 corridas + 1 #6 (12,98 cm<sup>2</sup>). El procedimiento fue el mismo para cada viga de la estructura, a continuación, el resumen:

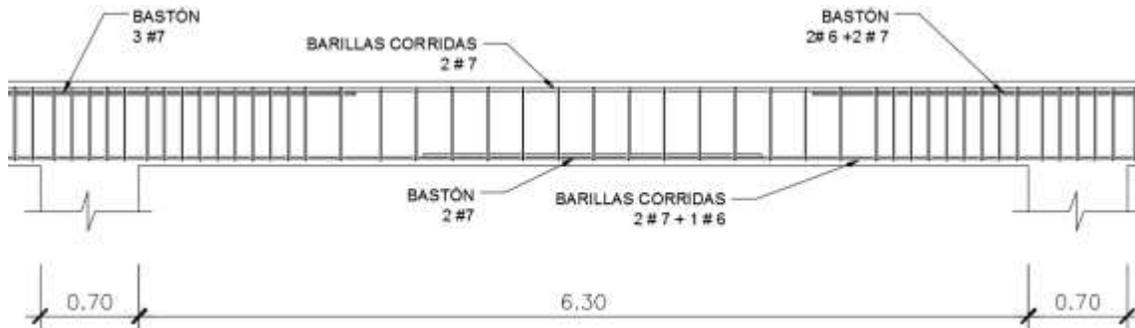
Tabla XVII. Diseño de vigas a flexión. Eje D.

VIGA	M	AS	AS min	33% M-	50% M-	50% M+	# Varillas		As - As corrido	# Varillas en bastones	
							# 6	# 7		# 6	# 7
12	M-1	0,00	4,73	6,03	4,20	9,13		2	OK		
	M+	8,41					1	2	OK		
	M-2	18,26						2	10,50	1	2
23	M-1	19,25	4,73	6,35	8,89	9,63		2	11,49		3
	M+	17,77					1	2	7,16		2
	M-2	18,95						2	11,19		3
34	M-1	20,81	4,73	6,94	11,23	10,51		2	13,051	2	2
	M+	22,46					1	2	11,85		3
	M-2	21,02						2	13,26	2	2
45	M-1	12,75	4,73	4,21	6,19	6,38		2	4,99	2	
	M+	12,37					1	2	1,76	1	
	M-2	12,75						2	4,99	2	
56	M-1	21,02	4,73	6,94	11,23	10,51		2	13,26	2	2
	M+	22,46					1	2	11,851		3
	M-2	20,81						2	13,05	2	2
67	M-1	18,95	4,73	6,35	8,89	9,63		2	11,19		3
	M+	17,77					1	2	7,16		2
	M-2	19,25						2	11,49		3
78	M-1	18,26	4,73	6,03	4,20	9,13		2	10,50	1	2
	M+	8,41					1	2	OK		
	M-2	0,00						2	OK		

Fuente: elaboración propia.

Tomar en cuenta que los bastones deben tener continuidad en los nudos, por lo tanto, se elige la combinación que represente mayor área de acero y esta se coloca en ambas vigas. Por ejemplo, en el nudo 2 (donde se une una viga 12 y 23) se elige colocar 3#7 como bastones.

Figura 49. Armado de viga entre el eje 2 y 3 del Nivel 4. Eje D



Fuente: elaboración propia.

Calculando refuerzo a corte:

Tal como se realizó en el capítulo 3, se procede a calcular el refuerzo por corte en las vigas. Se tomará la viga que se encuentra en el eje D, entre los ejes 2 y 3. El área de refuerzo que se tiene en los extremos es de:

- Eje 2 =  $A_{S \text{ Sup}} = 19,40 \text{ cm}^2$        $A_{S \text{ Inf}} = 10,61 \text{ cm}^2$
- Eje 3 =  $A_{S \text{ Sup}} = 21,22 \text{ cm}^2$        $A_{S \text{ Inf}} = 10,61 \text{ cm}^2$

Los momentos probables son:

- $M_{pr1} = 4\,007\,490,10 \text{ kg-cm}$
- $M_{pr2} = 2\,388\,194,75 \text{ kg-cm}$

La resistencia a corte que requieren las vigas ( $V_e$ ) = 12 839,98 kg.

El corte que induce el sismo = 9 993,26 kg

Debido a que el corte inducido es mayor a la mitad de la resistencia a corte de las vigas, se desprecia el aporte del concreto a corte  $V_c = 0$ .

La longitud a confinar es igual a  $2*d$ , la longitud a confinar para el diseño es 100cm. El primer estribo debe estar situado a no más de 5 cm, de la cara del elemento de apoyo.

El espaciamiento máximo de los estribos en la zona de confinamiento no debe exceder de:

$d/4 =$	10,90 cm
8 $\varnothing$ var longitudinal (#6) =	15,24 cm
24 var transversal (#4) =	30,48 cm
	30,00 cm

El S a utilizar es de 10,00 cm, dado que el máximo es de 10,90. El primer estribo se colocará a 5,00 cm, entonces se colocarán 10 estribos más a 10,00 cm. El armado de estribos propuesto tiene una resistencia a corte de 27 970,64 kg (que es mayor que el corte actuante 12 839,98 kg).

Separación de estribos en zona confinada: 10 cm y 20 cm en zona no confinada, con varilla No. 4.

#### **4.2.4.2. Diseño de columnas**

Para el diseño, se utilizaron las áreas de acero determinadas en ETABS. Los resultados se mostraron en la figura 48. El área de acero que se necesita para las columnas del nivel 1 al 4 es  $38,19 \text{ cm}^2$ , las columnas de techo necesitan  $51,36 \text{ cm}^2$

### Límites de acero

Según ACI, el área de acero en una columna debe estar dentro de los siguientes límites  $1\% A_g < A_s < 6\% A_g$ , en zona sísmica.

$$A_{s\text{mín}} = 0,01 (60 \cdot 60) = 36,00 \text{ cm}^2$$

$$A_{s\text{máx}} = 0,06 (60 \cdot 60) = 216,00 \text{ cm}^2$$

Armado propuesto para nivel del 1 al 4 es igual a 8 varillas #8 = 40,54 cm<sup>2</sup> y el armado propuesto para el nivel 5 es igual a 4 varillas #10 + 4 varillas #8 = 51,94 cm<sup>2</sup>. Con este armado se cumple lo requerido por el elemento estructural. Cálculo del acero transversal (Estribos).

La separación de refuerzo transversal en la longitud no confinada, no debe exceder del menor de los siguientes valores:

- $d/4 = 57/4 = 14,25 \text{ cm}$
- $6 \varnothing_{\text{var longitudinal}} (\#8) = 15,24 \text{ cm}$
- $S_o = 100 + (350 - h_x) / 3 = 12,16 \text{ cm}$

Se elige una separación de 12,00 cm para la longitud no confinada de la columna.

- Refuerzo por confinamiento

La longitud de confinamiento se escoge entre la mayor de las siguientes opciones.

$$L_u / 6 = 6,40 / 6 = 106,67 \text{ cm}$$

$$\text{Lado mayor de la columna} = 60 \text{ cm}$$

$$= 45 \text{ cm}$$

La longitud de confinamiento propuesta es 1,07 m, en ambos extremos.

- Cálculo de la relación volumétrica

$$\rho_s = 0,45 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \left( \frac{f'_c}{F_y} \right)$$

$$\rho_s = 0,45 \left( \frac{60^2}{50^2} - 1 \right) \left( \frac{281}{4\ 218} \right) = 0,01319$$

Es necesario chequear que  $\rho_s > 0,12 \cdot f'_c / f_y$

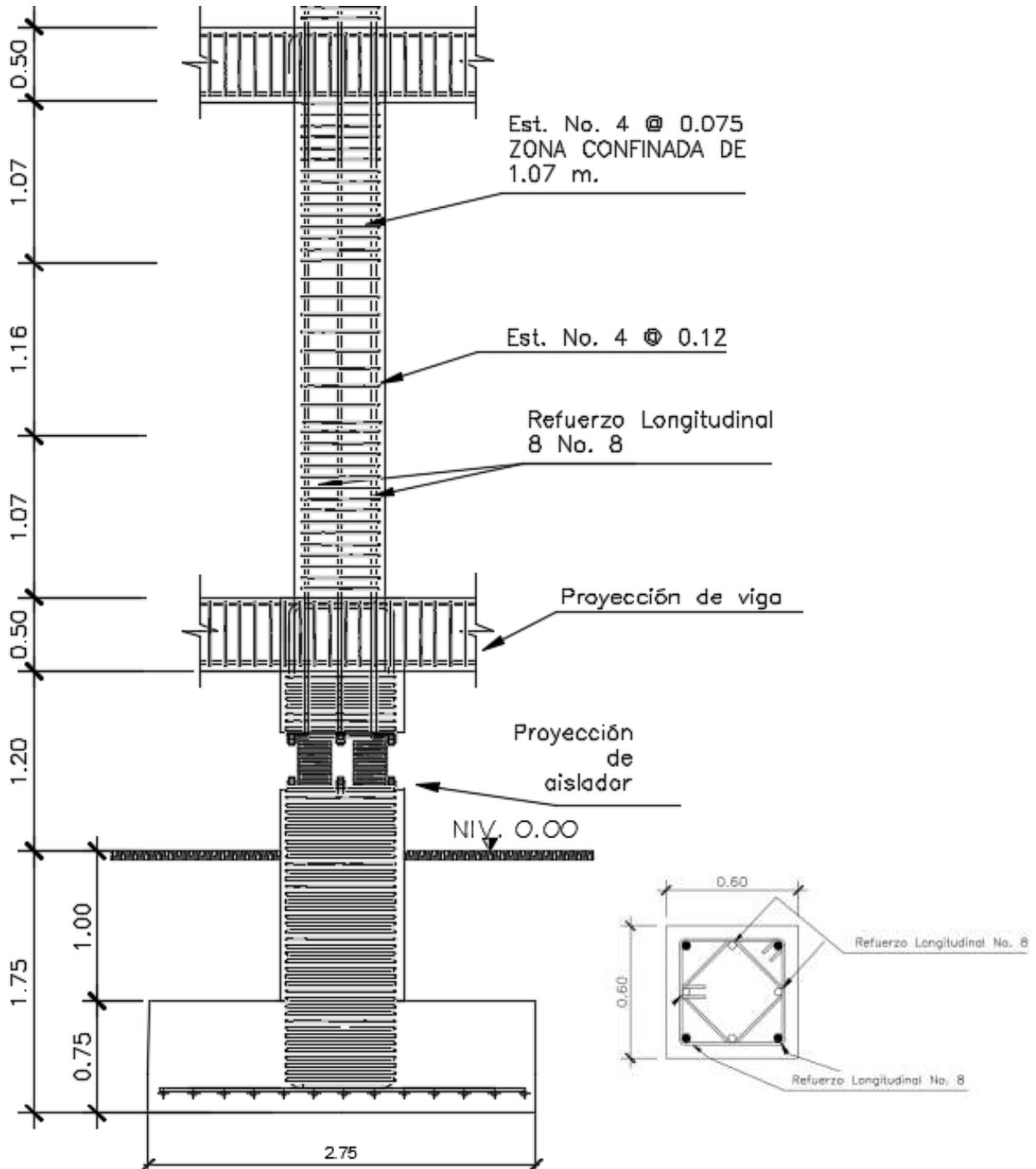
$$\rho_s > 0,12 \cdot 281 / 4\ 218 = 0,007994, \text{ Chequea.}$$

Calculando el espaciamiento en función de la cuantía volumétrica, utilizando varillas # 4:

$$S = \frac{4A_v}{\rho_s \cdot L_n} = \frac{4 \cdot 1,2668}{0,01319 \cdot 50} = 7,68 \text{ cm}$$

Por lo tanto, se colocan estribos #4 @ 7,5 cm en la zona de confinamiento. Por tener varillas en las caras de la columna, se colocarán estribos rotados a 45°, según ACI.

Figura 50. Armado típico de columna, edificio aislado



Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.4.3. Diseño de cimentación

La edificación aislada cuenta con el mismo sistema de zapatas aisladas. La diferencia radica principalmente en dos puntos:

- El nivel cero, como se mencionó en la sección 4.1, cuenta con una losa que rigidiza todo el nivel.
- Para inspección del aislador la estructura cuenta con una “fosa”, es decir entre el nivel cero y las zapatas, como se aprecia en la figura 50.

Para ejemplificar el proceso de diseño de la cimentación tomaremos la misma zapata que se evaluó en la sección 3.1.8.3, los cuales presenta los siguientes datos:

Figura 51. Reacciones en la zapata eje E-5 (t, t-m)

Story	Point	Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
BASE	24	DEAD	0.43	0.89	181.37	0.000	0.000	0.001
BASE	24	LIVE	0.40	-0.36	91.07	0.000	0.000	0.000
BASE	24	ROOF	0.00	0.00	9.80	0.000	0.000	0.000
BASE	24	DINX	5.10	0.00	0.01	0.000	0.000	0.000
BASE	24	DINY	0.05	4.86	0.01	0.000	0.000	0.000
BASE	24	VIVAS	0.40	-0.36	100.87	0.000	0.000	0.000
BASE	24	IVOLVENTE MA	6.10	5.73	386.39	0.000	0.000	0.001
BASE	24	IVOLVENTE MI	-4.79	-4.22	130.58	0.000	0.000	0.000
Summation	0, 0, Base	DEAD	0.43	0.89	181.37	4171.409	-2901.850	4.250
Summation	0, 0, Base	LIVE	0.40	-0.36	91.07	2094.622	-1457.128	-14.945
Summation	0, 0, Base	ROOF	0.00	0.00	9.80	225.401	-156.801	0.000

Fuente: elaboración propia, tomado del programa ETABS.

Los datos del suelo son los mismos usados en la sección 3.1.8.3, que se replican nuevamente a continuación:

$\rho$ suelo	= 1,60 t/m <sup>3</sup>	Desplante	= 1,75 m
$\mu$ fricción	= 0,5	Valor soporte	= 35 t/m <sup>2</sup>
Módulo de balasto	= 5,6 kg/cm <sup>3</sup>		

- Dimensionamiento de la zapata

En esta parte se utilizaron las combinaciones expuestas en la sección 3.1.8.3. El espesor de la zapata, así como la presión efectiva se utilizará el mismo que utilizado en la sección anterior.

Espesor de zapata = 75,00 cm  
 Presión efectiva = 33,18 t/m<sup>2</sup>

- Área de zapata:

El área de la zapata se basa en:

$$A_z = \frac{1,41P't}{V_s} = \frac{1,4 * 181,37}{33,18} = 7,65 \text{ m}^2$$

Se utilizará una zapata de 2,75 m x 2,75 m, se procede a chequear este valor para cumplir los requerimientos mínimos.

- Revisión de presión sobre el suelo

$$q = \frac{P_{cg}}{A_z} \pm \frac{M_{tx}}{S_x} \pm \frac{M_{ty}}{S_y}, \text{ donde } S = \frac{bh^2}{6}$$

Debido a que el aislador no transmite momento a la zapata, no se chequea por deslizamiento, volteo, ni se toma en cuenta el aporte del mismo para el chequeo de la presión al suelo.

$$P = P' + P_{\text{columna}} + P_{\text{suelo}} + P_{\text{cimiento}}$$

$$P = 181,37 + (0,60 * 0,60 * 3,8 * 2,4) + (10,56 * 1,2 * 1,60) + (10,56 * 0,75 * 2,40) = 249,49 \text{ t}$$

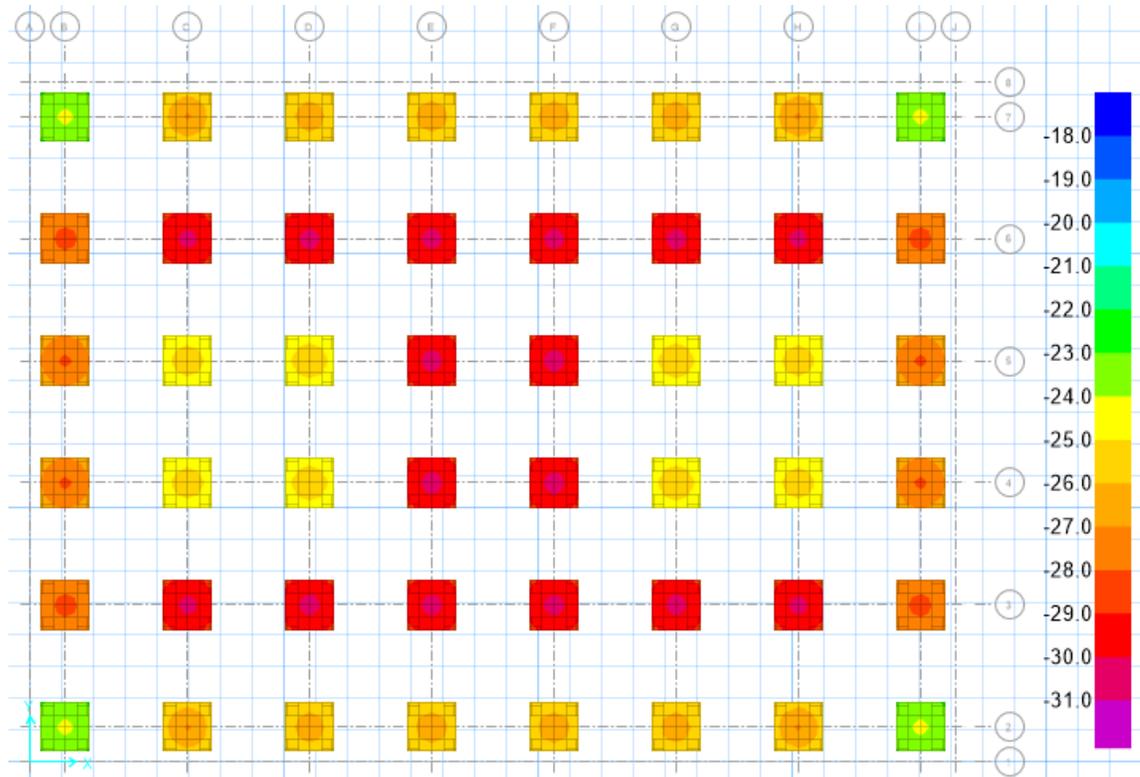
$$q_{\text{max}} = \frac{249,49}{7,56} = 33,02 \text{ t/m}^2$$

$q_{\text{máx}} = 33,02 \text{ t/m}^2$  cumple, no excede la presión efectiva

$q_{\text{mín}} = 33,02 \text{ t/m}^2$  cumple, solo compresiones

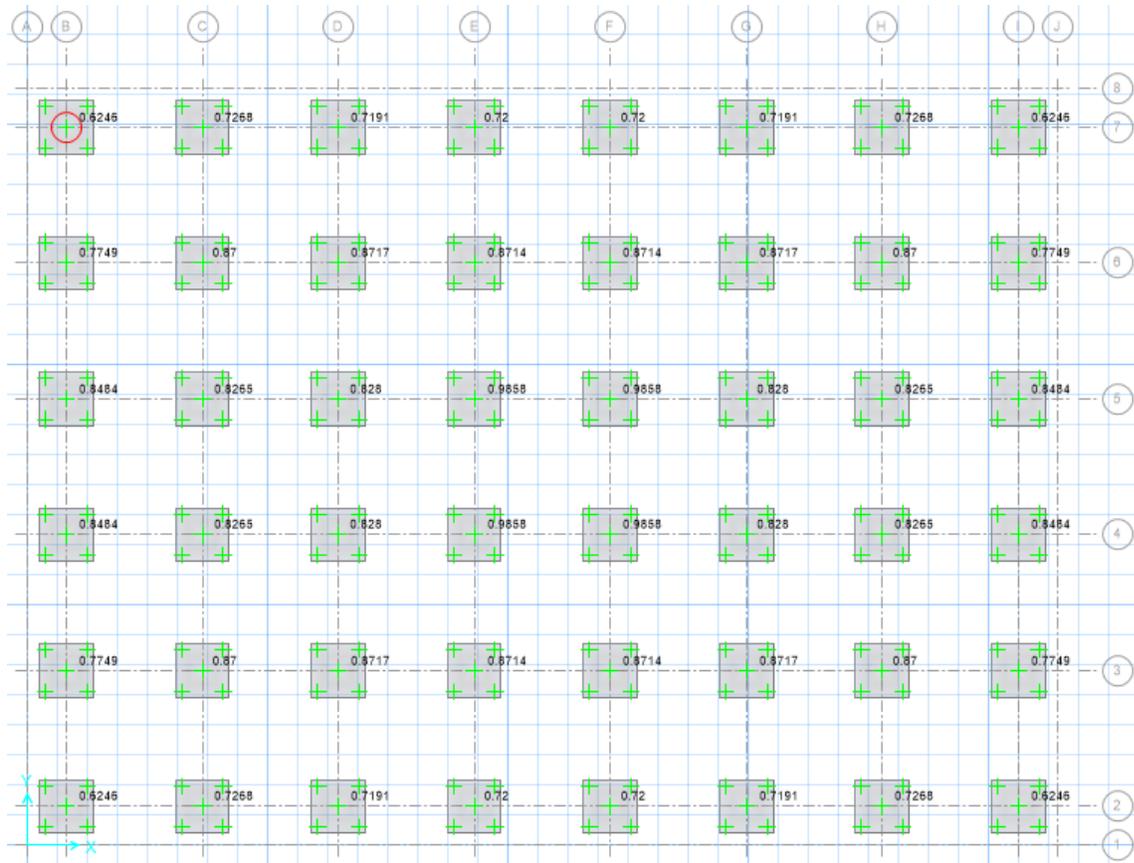
En la figura 52 se muestra el chequeo de todas las zapatas, por código de tonos se puede ver que ninguna zapata ejerce una presión superior al valor de soporte del suelo.

Figura 52. Presiones ejercidas por carga gravitacional (t/m<sup>2</sup>)



Fuente: elaboración propia, tomado del programa SAFE.

Figura 53. Corte por punzonamiento en zapatas de la estructura (%)



Fuente: elaboración propia, tomado del programa SAFE.

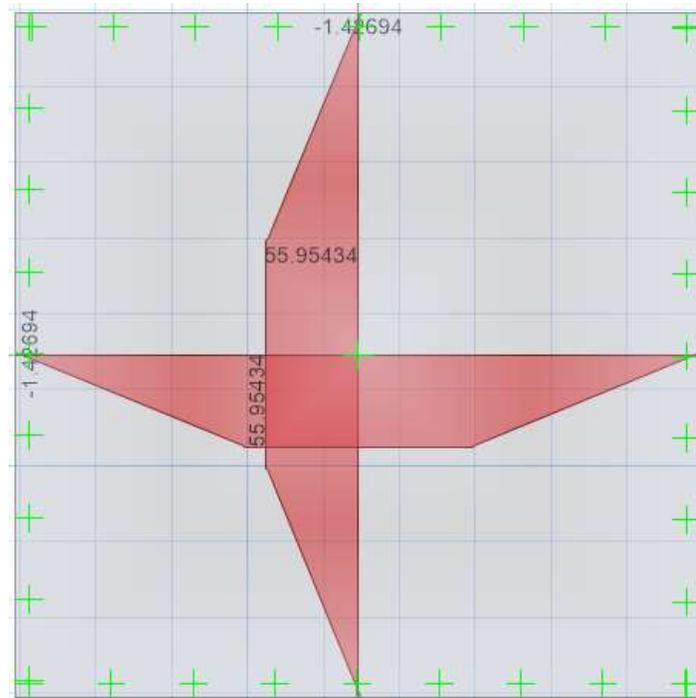
### Diseño del refuerzo a flexión

Cálculo de acero mínimo, según ecuación 10.3 de ACI 318-08

$$A_{smin} = 14 \cdot b \cdot d / f_y = 14,1 \cdot 100 \cdot 67,00 / 4 \cdot 200$$

$$A_{smin} = 22,33 \text{ cm}^2.$$

Figura 54. **Momento en zapata E5 (t-m)**



Fuente: elaboración propia, tomado del programa SAFE.

Momento a resistir = 55.95434 t-m (tomado de figura 54)

As necesario = 22.07 cm<sup>2</sup> (se puede reforzar únicamente con Asmin)

Diámetro de varilla = 5/8"

Cantidad de varillas = 22

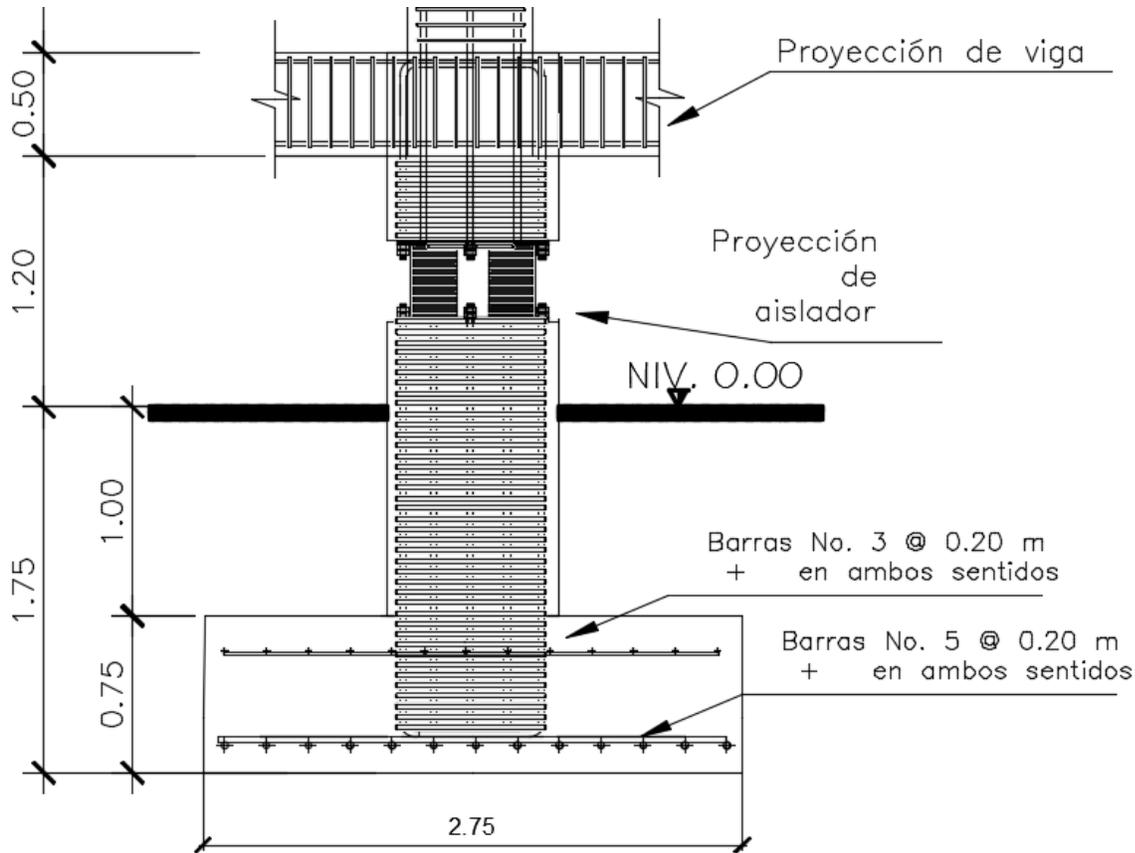
Separación = 21.67 cm.

Por practicidad de armado, se reforzará con varilla #5/8 @ 20 cm.

- Acero por temperatura

As temperatura= 0,002\*b\*t= 0,002\*100\*75= 15 cm<sup>2</sup>, utilizando varillas # 3 el espaciamiento es de 20 cm en ambos sentidos, en la cama superior.

Figura 55. Detalle del armado de la zapata



Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.4.3.1. Aisladores elastoméricos en suelos blandos

No se recomienda implementar estructuras aisladas cuando se presentan suelos blandos (licuefacción de suelos). La licuefacción es un fenómeno más dramáticos y destructivos, se considera consecuencia de los terremotos. Sucede en los suelos no consolidados, no cohesivos o fácilmente disgregables y saturados en agua. Cuando se presenta el sismo, el suelo se separa y el agua de saturación tiende a salir, comportándose como material licuado, cuyo resultado es la producción de un desplazamiento o falla del terreno

## 5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se compara la estructura tradicional con la estructura aislada en la base. Es importante hacer notar que el análisis de resultados se divide en 3 secciones: a) comparación de parámetros para el análisis de carga lateral por sismo, b) comparación de fuerzas de diseño para los elementos estructurales, y c) comparación de secciones de elementos estructurales y cantidad de materiales.

### 5.1. Comparación de parámetros para el análisis de carga lateral de sismo

#### 5.1.1. Período y modos de vibración de la estructura

En esta sección se puede observar la comparación del período entre una estructura de base fija, sistema aislador – estructura y una estructura aislada sísmicamente en la base. Además, se compara los modos de vibración de la estructura fija y la estructura aislada.

Según la tabla XVIII, la estructura aislada tiene período de vibración más amplia. Esto es lógico ya que al tener un punto de menor rigidez (el aislador) esto tiende a alargar el período de la estructura.

Tabla XVIII. **Comparación de período de vibración de la estructura (s)**

Estructura Base fija	Estructura aislada basalmente
1,552	2,330

Fuente: elaboración propia.

De lo anterior se puede notar que al tener períodos de vibración más grandes se reduce la carga lateral que se produce en el momento del sismo.

La estructura aislada disipa de mejor manera la energía sísmica, entonces la demanda sísmica en los elementos estructurales es menor que en una estructura de base fija.

**Tabla XIX. Comparación de los modos de vibración**

Estructura Base fija				Estructura aislada basalmente		
Modo	Período (s)	Comportamiento	% masa	Período (s)	Comportamiento	% masa
1	1,552	Traslación Y	81,62	2,330	Traslación Y	78,43
2	1,525	Traslación X	81,83	2,279	Traslación X	78,51
3	1,519	Rotacional	0,00	2,267	Rotacional	0,00

Fuente: elaboración propia.

### **5.1.2. Peso de la estructura**

El peso del edificio es un dato muy importante debido al costo que los materiales representan en el presupuesto de una estructura, en este apartado se trata acerca del peso sísmico de la estructura con el que se calcula el corte basal.

Además, se calcula el peso muerto con el que se diseña el aislador, el peso total de la estructura se calcula en la sección 5.3.4. Cabe destacar que la estructura aislada muestra un peso total de la estructura (solo carga muerta) mucho mayor debido a que esta estructura tiene una losa adicional a nivel del suelo.

**Tabla XX. Comparación peso de las estructuras**

Peso	Estructura fija en la base	Estructura aislada en la base
Peso total (sirve para diseño aislador)	8 401,20 t	9 306,97 t
Peso sísmico (incluye 25% carga viva)	9 097,65 t	8 625,74 t

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar en la tabla XX que el peso sísmico en la estructura aislada es menor, esto ayuda a que el corte basal de la estructura sea menor en la misma.

### 5.1.3. Corte basal

El corte basal es otro aspecto que se ve afectado de gran manera cuando se introducen aisladores elastoméricos en la base de edificaciones, en la tabla XXI se puede ver la comparativa del corte que afecta a las estructuras.

**Tabla XXI. Comparación de corte basal en las estructuras**

	Estructura fija en la base	Estructura aislada
Corte basal	1 059,49 t	684,77 t
Coefficiente sísmico	0,117	0,0794
% de la estructura fija	100 %	64,63 %

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXI se ejemplifica que el corte basal es mayor, (35 %) en una estructura fija, esto es debido a que el aislador, por sus características, absorbe gran cantidad de la demanda sísmica, provocando que el corte que le llega a los elementos estructurales sea sumamente menor al percibido por la estructura fija.

#### 5.1.4. Factor R

El factor R es otro parámetro que se diferencia de una estructura fija y una estructura aislada. Mientras una estructura fija toma el valor dependiendo exclusivamente del sistema que resiste la carga lateral (marcos especiales de concreto  $R=8$ , para este caso), la estructura aislada toma un valor de  $3R/8$ , siendo el valor máximo 2.

Tabla XXII. Comparación del factor R de la estructura

	Estructura Base fija	Estructura aislada basalmente
Factor R	8	2

Fuente: elaboración propia.

Es importante hacer notar que una estructura aislada puede ser tratada como un marco intermedio por lo que los detalles de refuerzo y cantidad de confinamiento pueden ser más económicos que para un marco especial.

#### 5.1.5. Derivas de la estructura

Incorporar aisladores en una estructura también modifica las derivas de una estructura fija (Tabla XXIII). Al colocar dispositivos de baja rigidez en la base, se modifica la respuesta dinámica de la estructura por lo que se obtienen las siguientes diferencias:

Tabla XXIII. Comparación de derivas en las estructuras

		Estructura Fija		Estructura Aislada	
Dirección	Nivel	hi, m	$\delta C_d$ , cm	hi, m	$\delta C_d$ , cm
<b>X</b>	Techo	3,8	3,77	3,8	1,17
	4	3,8	4,39	3,8	1,53
	3	3,8	5,21	3,8	1,96
	2	3,8	5,51	3,8	2,33
	1	5,0	4,68	3,8	3,25
Dirección	Nivel	hi, m	$\delta C_d$ , cm	hi, m	$\delta C_d$ , cm
<b>Y</b>	Techo	3,8	3,82	3,8	1,22
	4	3,8	4,5	3,8	1,58
	3	3,8	5,32	3,8	2,01
	2	3,8	5,6	3,8	2,38
	1	5,0	4,72	3,8	3,32

Fuente: elaboración propia.

Debido a que el sismo es menor, en una estructura aislada, los desplazamientos también lo son, respecto a una estructura fija. Otro factor importante es que una estructura fija que se diseña para resistir un sismo por medio de marcos de concreto y se castiga con un factor de ampliación de desplazamientos post-elásticos ( $C_d = 5,5$ ), mientras a una estructura aislada se utiliza un factor de ampliación máximo de 2.

## 5.2. Comparación de fuerzas de diseño para los elementos estructurales

### 5.2.1. Diagramas de momentos

Comparando los diagramas (figura 22 y 46) muestra la envolvente de momentos. En la tabla XXIV, se nota cuánto varían los momentos máximos tanto en vigas como en columnas, en el eje en análisis (Eje D).

Tabla XXIV. **Comparación de momentos máximos en estructuras**

Estructura fija en la base		Estructura aislada en la base	
Momento máx. En vigas	25,97 t-m	Momento máx. En vigas	26,11 t-m
Momento máx. En columnas	61,80 t-m	Momento máx. En columnas	33,56 t-m

Fuente: elaboración propia.

Tal como es visible los aisladores sísmicos reducen de manera significativa la demanda sísmica en las columnas. En vigas lo que predomina es la carga gravitacional, por ello no hay mayor reducción en vigas.

### 5.2.2. Diagrama de corte

En el caso de los cortes que afectan a los elementos estructurales sucede lo mismo que con los momentos, los cortes en una estructura aislada son mucho menores que los de una estructura con base fija, se muestra un resumen de esto en la tabla XXV.

Tabla XXV. **Comparación de cortes máximos en estructuras**

Estructura fija en la base		Estructura aislada en la base	
Corte máx. En vigas	25,60 t	Corte máx. En vigas	23,31 t
Corte máx. En columnas	15,75 t	Corte máx. En columnas	12,56 t

Fuente: elaboración propia.

Tal como se mostró en los momentos máximos sobre los elementos estructurales, los aisladores sísmicos reducen de manera significativa la demanda sísmica.

### 5.3. Comparación de elementos estructurales

Los elementos estructurales que se analizan en el presente trabajo se limitan a vigas principales y columnas. La comparación se realiza verificando 3 aspectos: Sección de concreto, volumen de concreto y peso de acero designada.

#### 5.3.1. Vigas

En la estructura fija las derivas gobiernan el diseño, por lo que las secciones se ven mayoradas, debido a este efecto. En el diseño de la estructura aislada no gobierna, por lo que los resultados son los siguientes:

Tabla XXVI. **Comparación de vigas principales**

	Estructura fija en la base	Estructura aislada en la base
Secciones en nivel 5	50 x 30 cm	50 x 30cm
Secciones en nivel 4 al 1	60 x 30 cm	50 x 30 cm
Volumen de concreto	1 123,92 m <sup>3</sup>	1 143,01 m <sup>3</sup>
Peso de concreto	2 697,41 t	2 743,22 t
Peso de acero	145,54 t	139,65 t

Fuente: elaboración propia.

Cuando se incluyen aisladores elastoméricos en la base de un edificio se reduce la sección de vigas. En la tabla XXVI el acero se redujo un 6% y el concreto un 2%.

### 5.3.2. Columnas

Tal como sucede en las vigas, las secciones se ven mayoradas debido al efecto de desplazamientos en la edificación y al gobierno de derivas en el diseño.

Tabla XXVII. **Comparación de columnas**

	Estructura fija en la base	Estructura aislada en la base
Secciones de columna	70 x 70 cm	60 x 60 cm
Peso de columnas	1 000,22 t	788,83 t
Volumen de concreto	416,76 m <sup>3</sup>	328,68 m <sup>3</sup>
Peso de acero	38,00 t	29,35 t

Fuente: elaboración propia.

Cuando se incluyen aisladores elastoméricos en la base de un edificio se reduce la sección de columnas. En la tabla XXVII el acero se redujo un 30% y el concreto un 26%.

### 5.3.3. Cimentación

En la cimentación también existe variación de dimensiones, pesos y volúmenes tanto del concreto como del acero. A continuación, se detallan estas diferencias:

Tabla XXVIII. **Comparación de zapatas**

	Estructura fija en la base	Estructura aislada en la base
Secciones de zapata	325 x 325 cm	275 x 275 cm
Peso de zapatas	912,60 t	653,40 t
Volumen de concreto	380,25 m <sup>3</sup>	272,25 m <sup>3</sup>
Peso de acero	16,48 t	13,60 t

Fuente: elaboración propia.

Cuando se incluyen aisladores elastoméricos en la base de un edificio se reduce la sección de zapatas. En la tabla XXVIII el acero se redujo un 21 % y el concreto un 40 %.

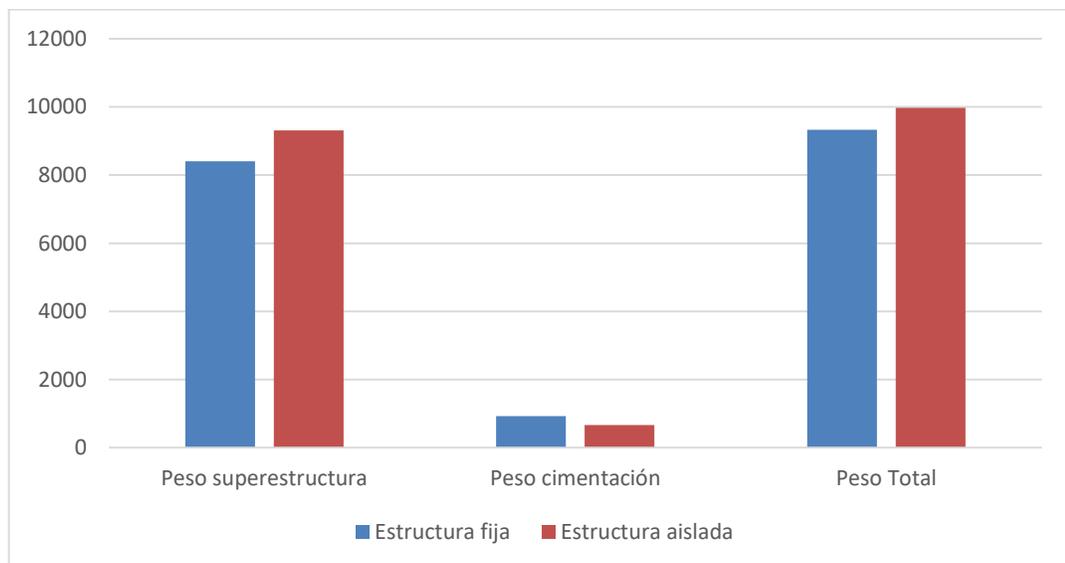
### 5.3.4. Peso final y volumen de materiales

Tabla XXIX. **Comparación de pesos y volumen de materiales**

	Estructura fija en la base	Estructura aislada en la base
Peso total de la superestructura	8 401,20 t	9 306,97 t
Peso de cimentación	929,08 t	667,00 t
Volumen de concreto	3 500,00 m <sup>3</sup>	3 877,90 m <sup>3</sup>
Volumen de acero	128,34 m <sup>3</sup>	140,80 m <sup>3</sup>

Fuente: elaboración propia.

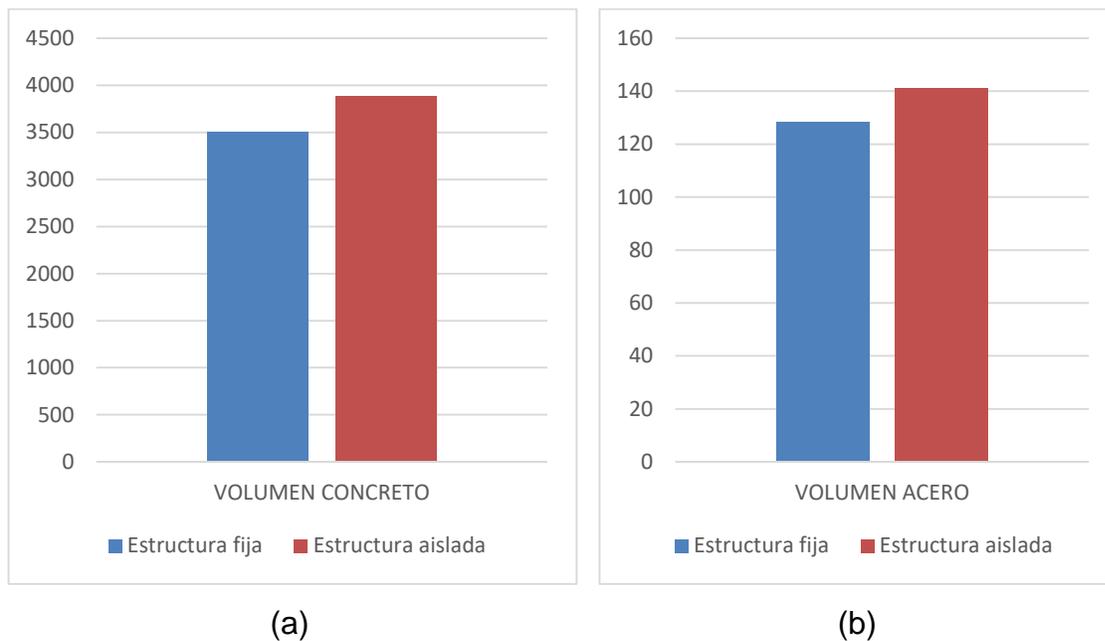
Figura 56. **Comparación peso estructura**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 56 se muestra el peso total de las estructuras en donde se puede observar que la estructura aislada es un 7% más pesada que la estructura fija, esto se debe en gran medida a la losa adicional que la estructura necesita para tener una integridad estructural en la base.

Figura 57. Volumen total de concreto y acero



Fuente: elaboración propia.

En la figura 57 (a) se muestra el volumen total del concreto en ambas estructuras. El concreto de la estructura aislada es un 10% más alto que el de la estructura fija. En la figura 57 (b) el acero de la estructura aislada también es un 9.5 % mayor al de la estructura fija.

Estos resultados eran previsibles ya que a pesar que la estructura aislada nos da secciones más pequeñas que la estructura fija, necesita una losa adicional en el nivel 0. Lo anterior sube el volumen de los materiales y por ende el peso de la edificación.

## 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de esta investigación comprueban la hipótesis propuesta. Se comprueba que el comportamiento estructural de una edificación de concreto mejora al incluirle aisladores elastoméricos en la base, respecto a una estructura reforzada con marcos dúctiles. El comportamiento mejora debido a que los aisladores elastoméricos separan la estructura del suelo, mediante dotar a la estructura de un punto con poca rigidez y una alta capacidad de disipación de energía. El aislador absorbe gran parte del corte basal, lo que reduce la carga que llega a los elementos estructurales, como vigas y columnas.

Además de mejorar el comportamiento estructural de la edificación, también la inclusión de aisladores elastoméricos en la base tiene otros aspectos a destacar:

- La estructura tiene un período de vibración mayor a una estructura de marcos dúctiles de concreto, esto debido a que el elastómero del aislador tiene la capacidad de deformarse en un rango más amplio que un elemento de concreto.
- El peso sísmico de la estructura aislada es menor que la estructura de marcos de concreto. Esto debido a que la losa del nivel 0, no se toma en cuenta para este cálculo.
- El corte basal de una estructura aislada equivale a un 64.63% del corte basal de una estructura de base fija. Esto es por dos motivos: una como se mencionó anteriormente es por el peso sísmico de la estructura aislada

(Es menor), y la segunda es porque el coeficiente sísmico de la estructura aislada es el 67 % del coeficiente de la estructura de base fija.

- Debido a que el aislador absorbe un alto porcentaje del corte basal, las derivas en una estructura aislada no son críticas, mientras en una estructura de base fija es un tema de consideración.
- El factor de desplazamiento post-elásticos ( $C_d$ ) es menor en una estructura aislada, debido a que se utiliza el valor R. En este caso el  $C_d$  de la estructura aislada es un 38.46% del  $C_d$  de la estructura fija.
- El factor de reducción del espectro R para una estructura aislada corresponde a  $3/8$  de R de una estructura fija (número máximo 2). El factor R para una estructura reforzada con marcos dúctiles de concreto es de 8, mientras para una estructura aislada de marcos dúctiles es de 2.
- Los elementos estructurales pueden ser ligeramente menores en una estructura aislada comparado con una estructura de base fija. Tanto vigas, columnas como cimentación son menores en estructuras aisladas. Esto es afectado también por el tema de derivas, ya que en este caso en particular los elementos de la estructura fija se aumentan debido al requisito de desplazamientos máximos por normativa (tomar en cuenta que es una estructura esencial).
- El peso y volumen de una estructura aislada es mayor a una estructura de base fija. En este caso, cinco niveles, el aumento se le atribuye a la losa que se coloca en el nivel cero. Con esto podemos entender que con una estructura de mayor altura los resultados pueden ser diferentes. Además, podemos concluir que, al tener mayor volumen de materiales, una estructura aislada es más costosa que una de base fija.

## CONCLUSIONES

Las edificaciones frecuentemente son sometidas a fuerzas que no se pueden predecir en su mayoría originadas por amenazas naturales (sismo, viento, nieve, lluvia, etc). Las mismas deben ser tomadas en cuenta, diseñar una estructura que resista estas fuerzas, especialmente si esta estructura presta un servicio a la comunidad. En esta investigación se analizó un hospital, debido a que esta estructura debe permanecer siempre funcionando especialmente cuando hay emergencias. De la afirmación anterior, se puede decir que un hospital es una estructura que percibe muchos beneficios al agregarle aisladores elastoméricos. Además, se lista una serie de conclusiones que pueden ser de utilidad para futuras investigaciones o ampliaciones del tema:

1. Los aisladores elastoméricos mejoran el desempeño estructural de una edificación. Esto es debido a que los aisladores proporcionan un método de disipación de energía muy eficiente cuando es sometido a cargas sísmicas. El aislador absorbe gran parte del corte basal, lo que reduce la carga que llega a los elementos estructurales, como vigas y columnas.
2. El sistema de aislación basal reduce secciones de elementos estructurales, lo que permite reducir el peso sísmico y por ende el cortante basal.

3. Todas las características y parámetros mínimos de los aisladores son diseñadas, sin embargo, cuando se tienen estos se debe seleccionar un aislador, según la oferta que se encuentre en el mercado.
4. Existen diseños de estructuras que se deben mayorar en sus secciones debido a las restricciones de desplazamiento que los normativos limitan. Es decir, el diseño es gobernado por derivas, una solución para este tipo de estructuras es dotarlo de un sistema de aislación basal, que mejora esta condición.
5. El sistema de aislación basal no se puede construir en suelos blandos, debido a que producto de los sismos, pudiera presentarse el fenómeno de licuefacción del mismo.
6. Un edificio con un sistema de resistencia lateral muy flexible ( $R$  alto) aprovecha de menor forma las ventajas del sistema de aisladores. Ya que el sistema en sí ya es flexible.
7. Los períodos y modos de una estructura aislada en la base son mayores, esto provoca que tengan una frecuencia de vibración menor.
8. La implementación de aisladores basales sísmicos en estructuras existentes es un tema muy costoso, se estima que el costo es similar al de construir de nuevo el edificio.
9. Una estructura aislada es más pesada y requiere volúmenes de concreto y aceros mayores a una estructura de base fija. Esto en gran medida debido a la losa adicional que se debe agregar al edificio. Sin embargo esto da un espacio adicional en el edificio, que puede aprovecharse para parqueo o sótano.

## RECOMENDACIONES

1. Introducir aisladores sísmicos en la base de edificios esenciales. Esto se basa en las numerosas ventajas que este sistema ofrece, que se máxima en este tipo de edificaciones que deben mantenerse íntegras después de un evento sísmico.
2. Al modelar una estructura aislada en Guatemala se debe utilizar el Normativo de AGIES. Sin embargo, para modelar una estructura aislada en la base, se debe verificar información con el ASCE 7-10 capítulo 17.
3. Se sugiere introducir aisladores elastoméricos en sistemas de resistencia lateral rígidas, principalmente, ya que estas aprovechan de mejor manera la flexibilidad que un sistema de aisladores proporciona a la estructura.
4. Las edificaciones con aislamiento sísmico deben tener una base rígida, es decir deben rigidizarse con vigas y una losa antes de entrar en contacto con el aislador. Esto ayuda a garantizar que los aisladores van a trabajar de manera conjunta al momento del sismo. Además, proporciona un espacio adicional en la edificación que puede utilizarse como parqueo o sótano.
5. Se debe profundizar en el tema de modelación de estructuras aisladas sísmicamente desde un software de diseño, ya que no existe actualmente una explicación contundente de la manera de modelación de este tipo de estructuras en los paquetes de diseño actuales.

6. Es aconsejable realizar una formulación financiera sobre proyectos con aisladores, para conocer los detalles de introducir estos dispositivos en los diseños y construcciones de edificaciones en Guatemala.
7. Es conveniente la implementación de aisladores en proyectos nuevos, no así tratar de implementarlos en edificios existentes por su alto costo.
8. Se recomienda implementar un capítulo para aisladores elastoméricos en la base de edificaciones en el normativo de AGIES. Tal capítulo puede basarse en la propuesta presentada en los anexos de este trabajo.

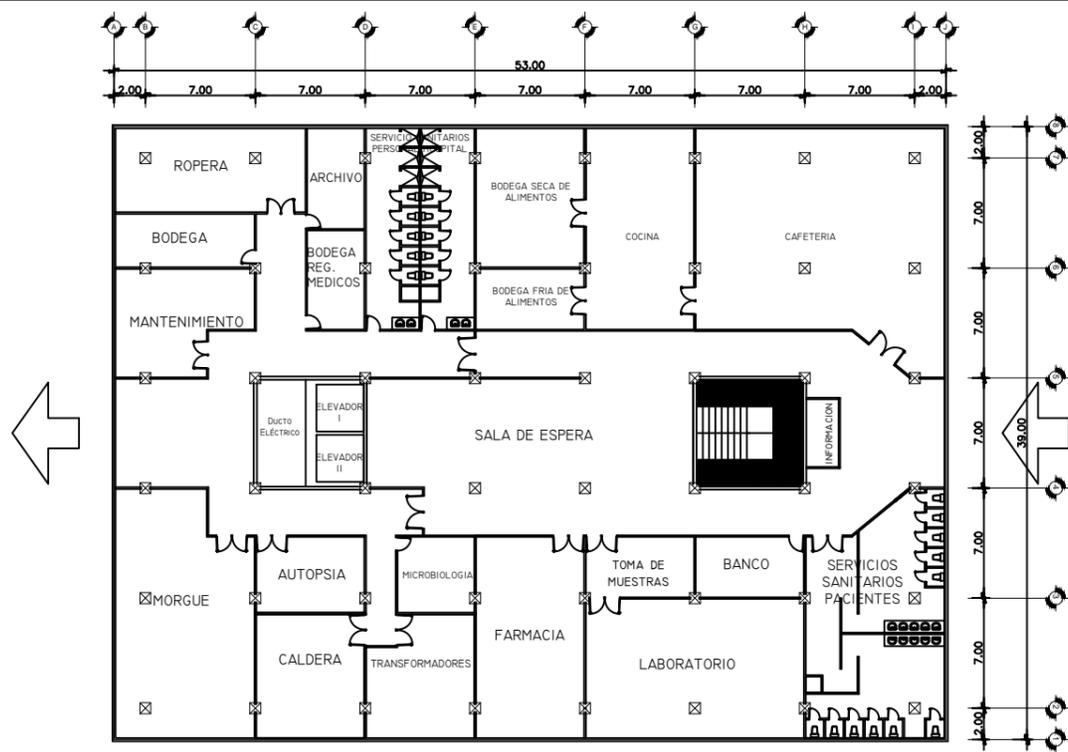
## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. American Concrete Institute. (2008). *Reglamento de las construcciones reforzado (ACI 318-2008) y comentarios*. 11<sup>a</sup> ed. México D.F: Farmington. 467 p.
2. American Society Civil Engineers. (2010). *Minimum Design Loads for Building and Other Structures*. Reston, Virginia.
3. BRAJA M., Das. (2006) *Principios de ingeniería de cimentaciones*. 5<sup>a</sup> ed. México: International Thomson. 743 p. ISBN: 9706864814.
4. Chopra, Anil K. (2005). *Dynamics of Structures*. Englewood Cliff, New Jersey: Prentice - Hall.
5. NILSON, Arthur H. (1999). *Diseño de estructuras de concreto*. 12<sup>a</sup> ed. Colombia: McGraw-Hill. 722 p. ISBN: 958600953X.
6. Cando Cando, F. A., Monrroy Rocano, C. M., Ortega Sarmiento, J. C., & Puerres Guilcazo, O. A. (2012). *Aislación Sísmica de un edificio (Análisis comparativo de comportamiento y costos con un edificio tradicional)*. Ecuador: Univerdiad Central del Ecuador.
7. Auqi Parra, M. V. (2012). *Análisis de aisladores sísmicos elastoméricos construidos en el Ecuador*. Ecuador: Univerdiad Central del Ecuador.

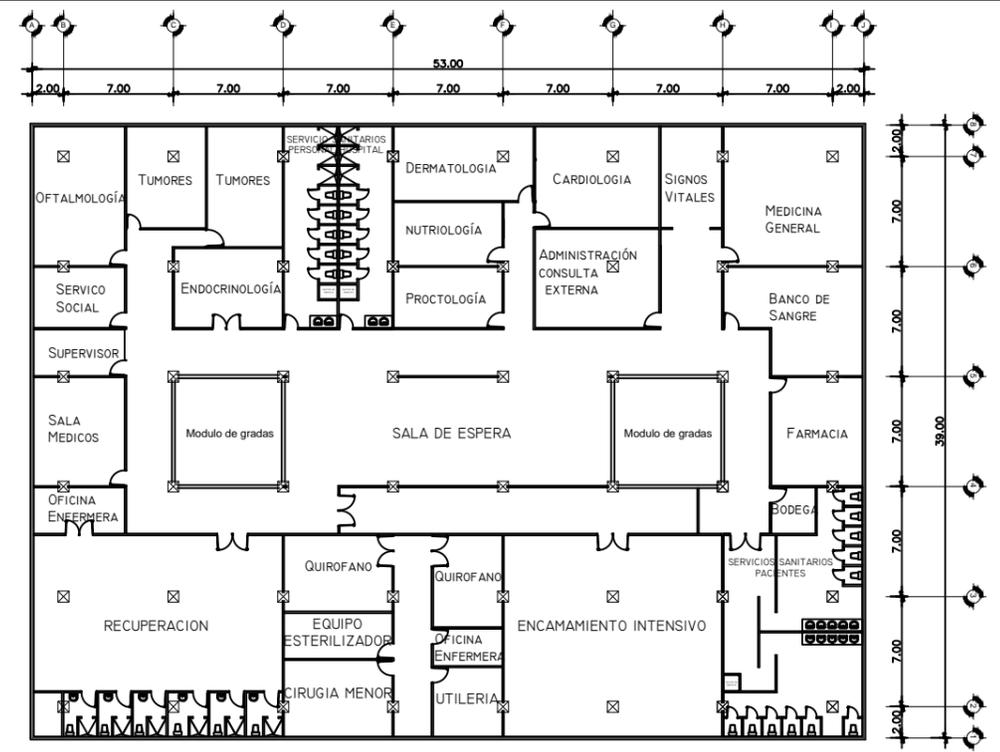
8. Farzad Naeim, J. Kelly. (1999). Design of Seismic Isolated Structures. New York.
9. Stuardi, J.E. (2003). Dispositivos viscoelásticos para protección sísmica de edificios: residencia estudiantil en Mendoza, Argentina, 6o. EIPAC Encuentro de Investigadores y Profesionales Argentinos de la Construcción, XI SIBIS Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sísmica, Mendoza, Argentina, 25 al 27 de agosto.
10. Nawrotzki, P. (2001). Passive control systems for buildings in seismically active regions”, ECCM-2001, European Conference on Computational Mechanics, Cracow, Poland, June 26-29.
11. Sanchez Garcia, E. E., & Meza Blandón, R. I. (2010). Guia de diseño sísmico de aisladores elastoméricos. Nicaragua.
12. Tornello, M. y Sarrazin, A.M. (2003). “Desarrollo e implementación de un sistema de aislamiento sísmica para un edificio civil”. 6to. EIPAC Encuentro de Investigadores y Profesionales Argentinos de la Construcción, XI SIBIS Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sísmica, Mendoza, Argentina , 25 al 27 de agosto.
13. Barbat, Bozzo. (2000).Diseño sismoresistente de edificios. España: Reverté.
14. A joint report of EERI and AGIES. (2013). The November 7, 2012 M7.4 Guatemala Earthquake and its Implications for Disaster Reduction and Mitigation. Guatemala,

**APÉNDICE I: Planos arquitectónicos y estructurales de las edificaciones**

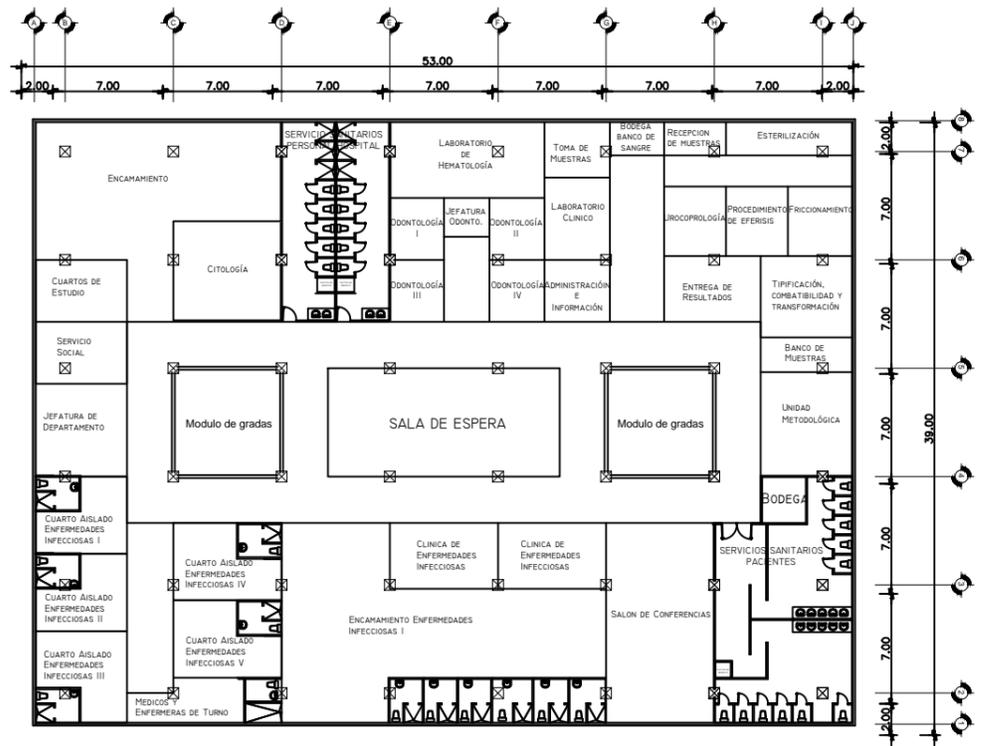




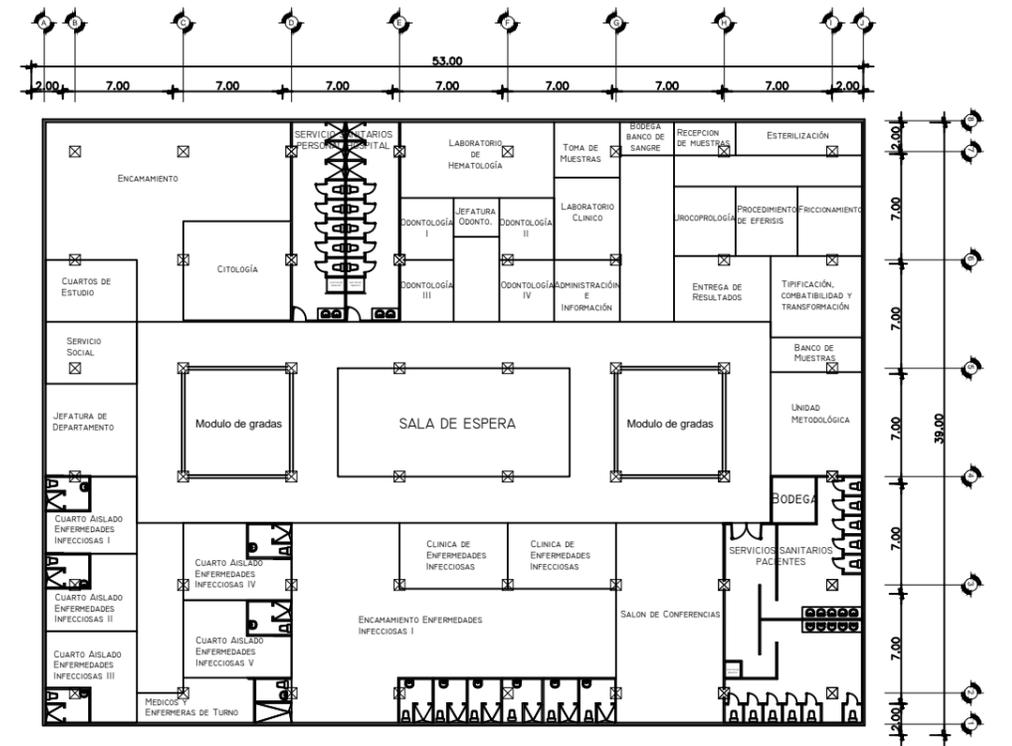
**PLANTA ACOTADA PRIMER NIVEL** Escala 1/450  
HOSPITAL DE 5 NIVELES



**PLANTA ACOTADA SEGUNDO NIVEL** Escala 1/450  
HOSPITAL DE 5 NIVELES



**PLANTA ACOTADA TERCER NIVEL** Escala 1/450  
HOSPITAL DE 5 NIVELES



**PLANTA ACOTADA CUARTO NIVEL** Escala 1/450  
HOSPITAL DE 5 NIVELES

**ESTRUCTURAS 2016**

CONTIENE:

**PLANTA ACOTADA EDIFICACIÓN FIJA Y AISLADA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**ASESOR  
MSC. FRANCISCO ARRECIS**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
ESCUELA DE POSGRADO, FACULTAD DE INGENIERIA**

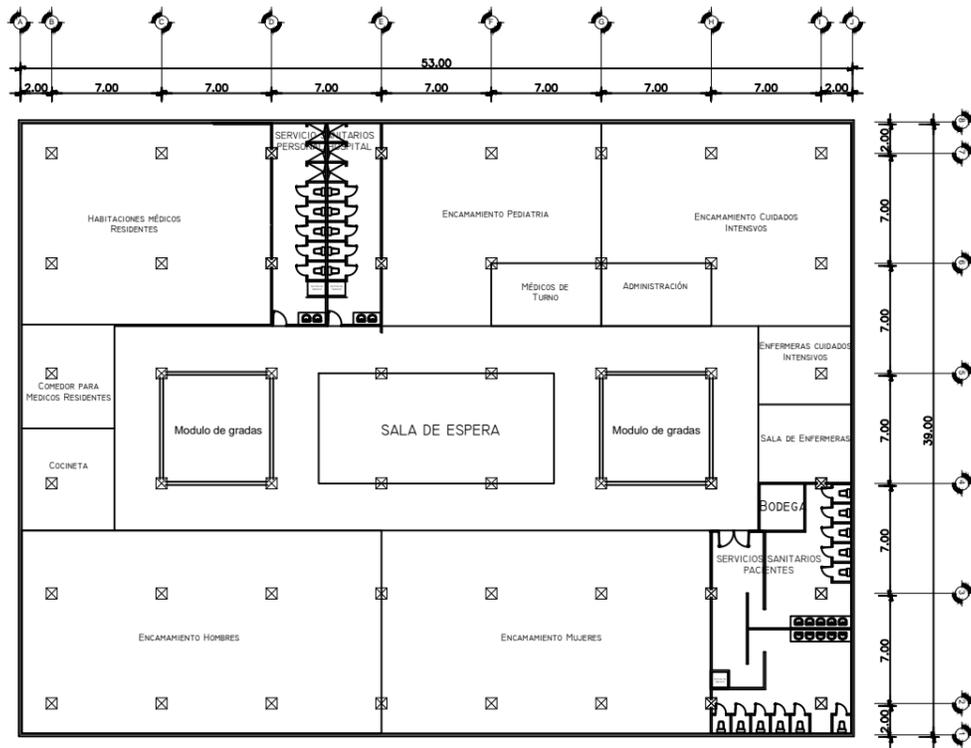
**LOCALIZACIÓN**  
ZONA 16,  
GUATEMALA, GUATEMALA.

**PROYECTO**  
**HOSPITAL CON AISLADORES BASALES**

**DIBUJO, DISEÑO Y CALCULO**  
**ING. RONALD URIZAR  
MONZÓN**

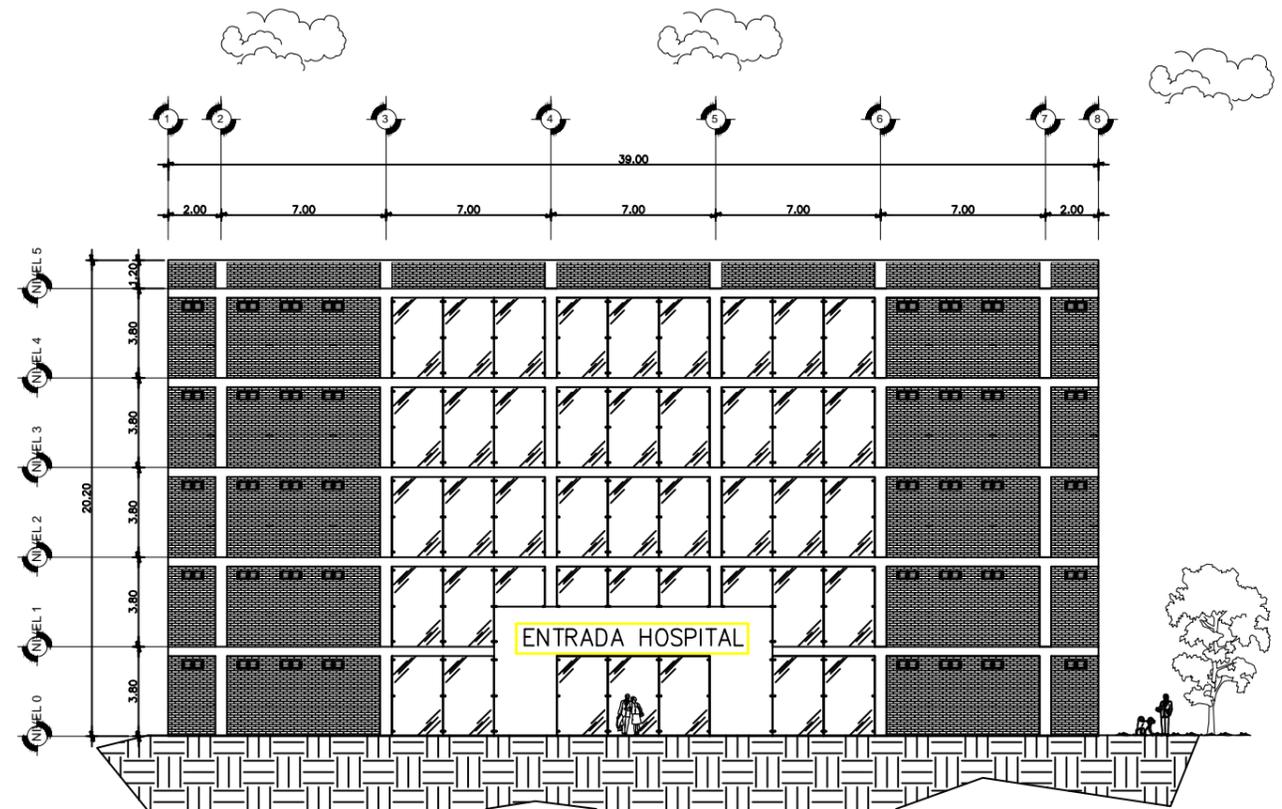
**TITULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN: COMPARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL  
DE EDIFICACIÓN DE CONCRETO, UTILIZANDO AISLADORES ELASTOMÉRICOS EN LA BASE.**

**No. 01  
06**



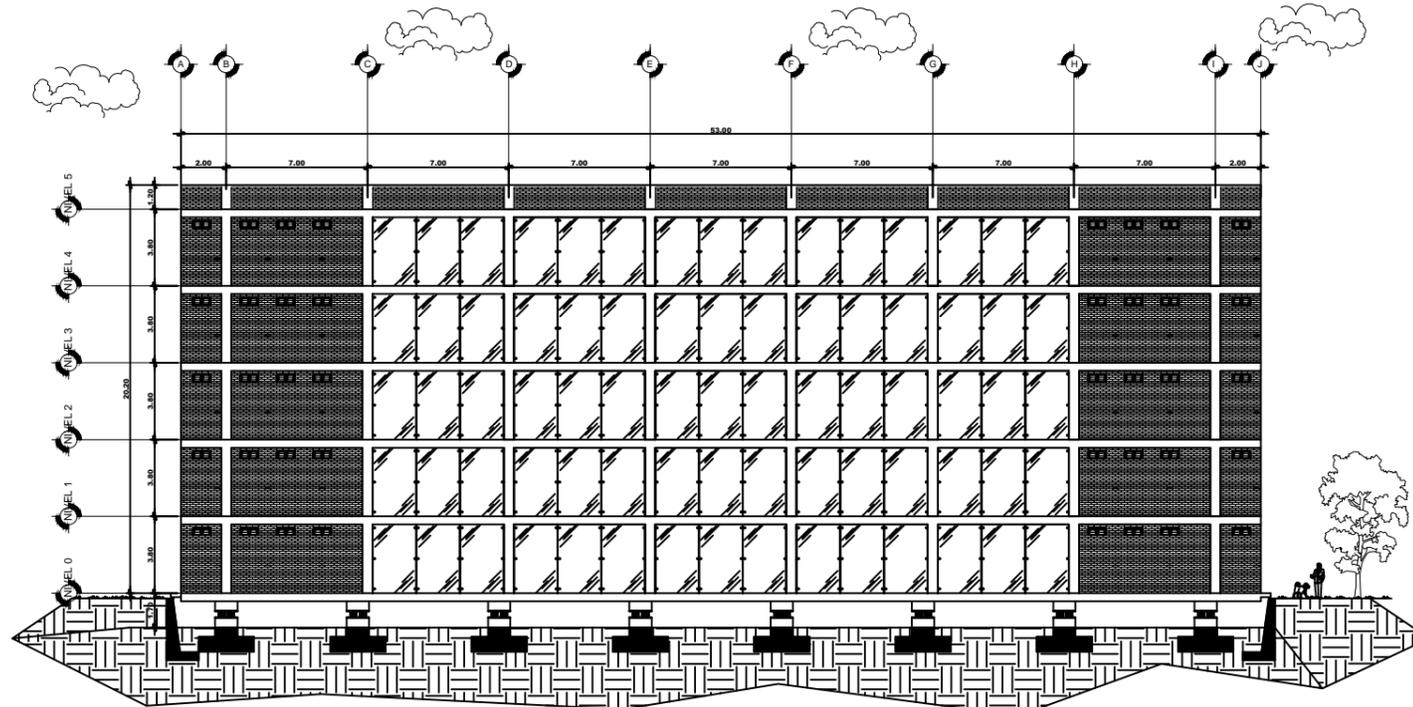
**PLANTA ACOTADA PRIMER NIVEL**  
HOSPITAL DE 5 NIVELES

Escala 1/450



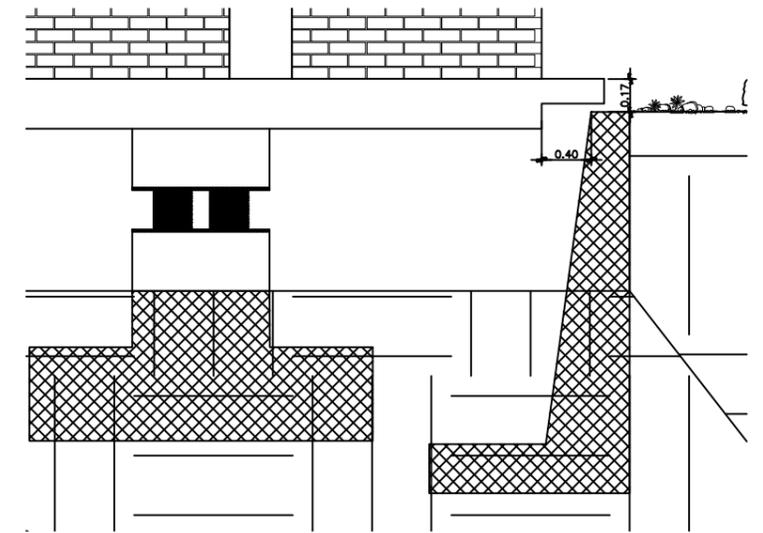
**ELEVACIÓN ESTE**  
ESTRUCTURA FIJA

Escala 1/300



**ELEVACIÓN SUR**  
ESTRUCTURA AISLADA

Escala 1/350



**DETALLE DE SÓTANO DE INSPECCIÓN**  
ESTRUCTURA AISLADA

**ESTRUCTURAS 2016**

CONTIENE:

**PLANTA ARQUITECTÓNICA Y ELEVACIONES ESTRUCTURA FIJA Y AISLADA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**ASESOR**  
**MSC. FRANCISCO ARRECIS**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**ESCUELA DE POSGRADO, FACULTAD DE INGENIERIA**

LOCALIZACIÓN  
ZONA 16,  
GUATEMALA, GUATEMALA.

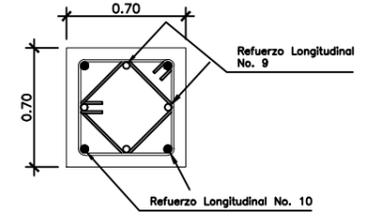
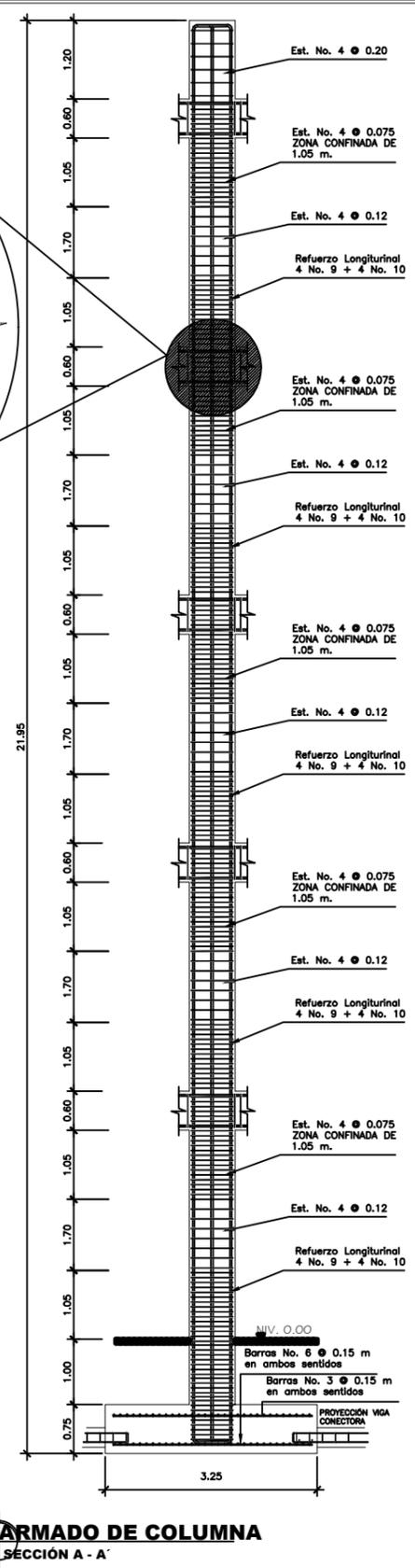
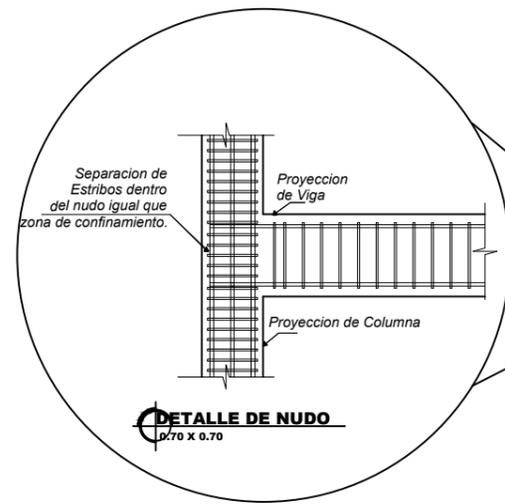
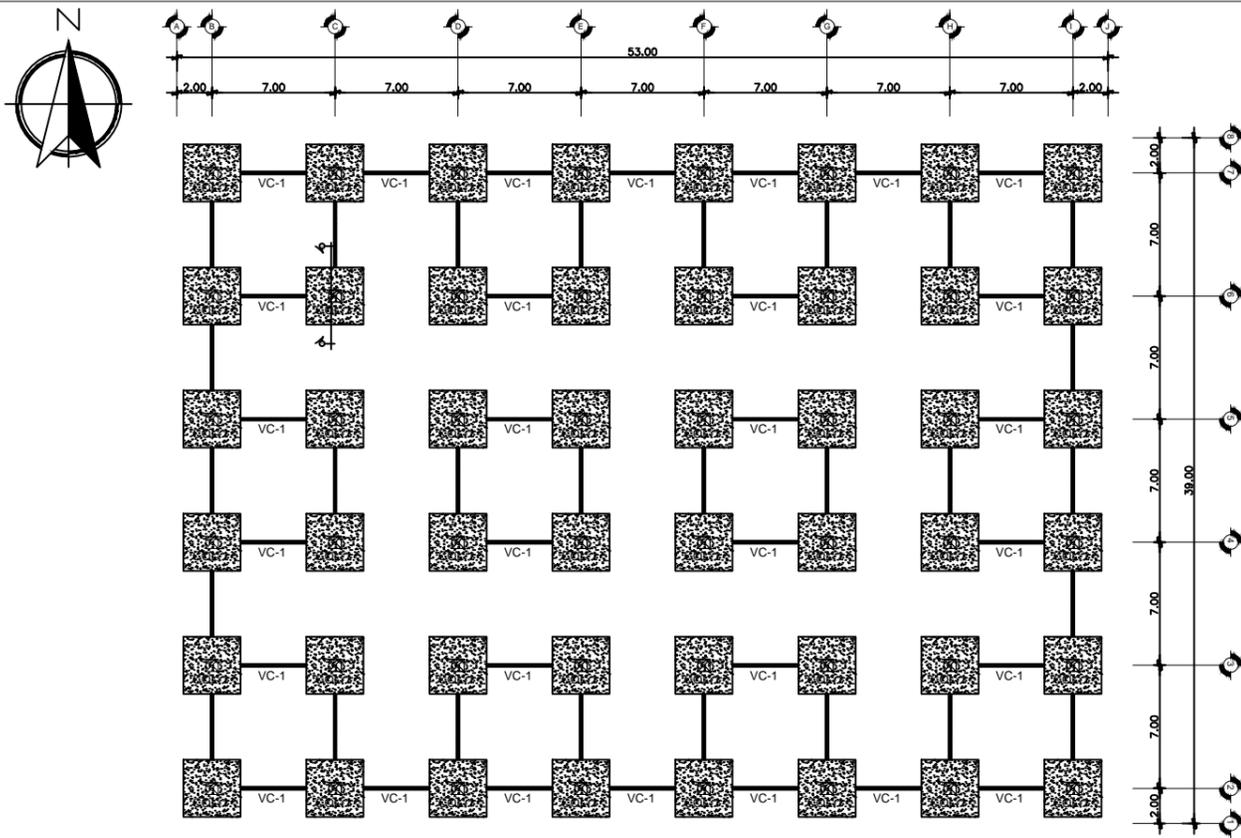
PROYECTO  
**HOSPITAL CON AISLADORES BASALES**

DIBUJO, DISEÑO Y CALCULO  
**ING. RONALD URIZAR MONZÓN**

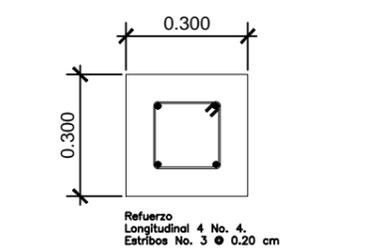
TITULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN: *COMPARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIÓN DE CONCRETO, UTILIZANDO AISLADORES ELASTOMÉRICOS EN LA BASE.*

No. **02**  
**06**



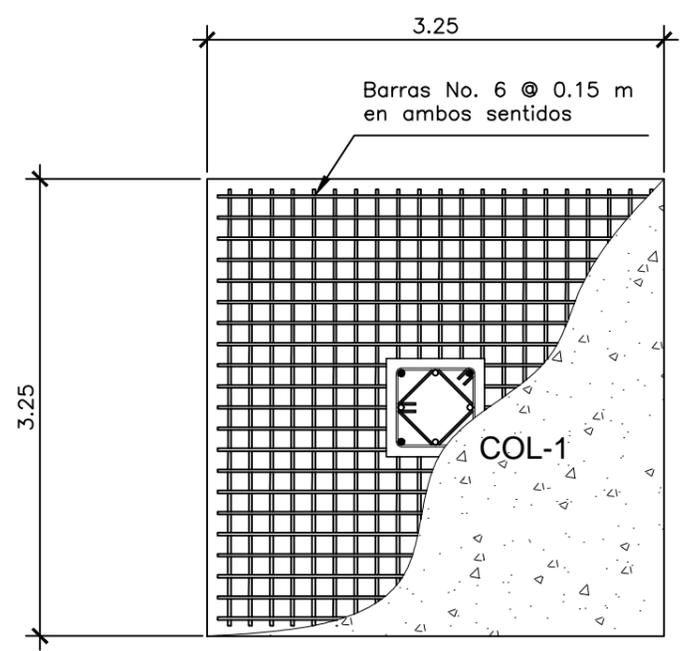


**COLUMNA C-1**  
0.70 X 0.70

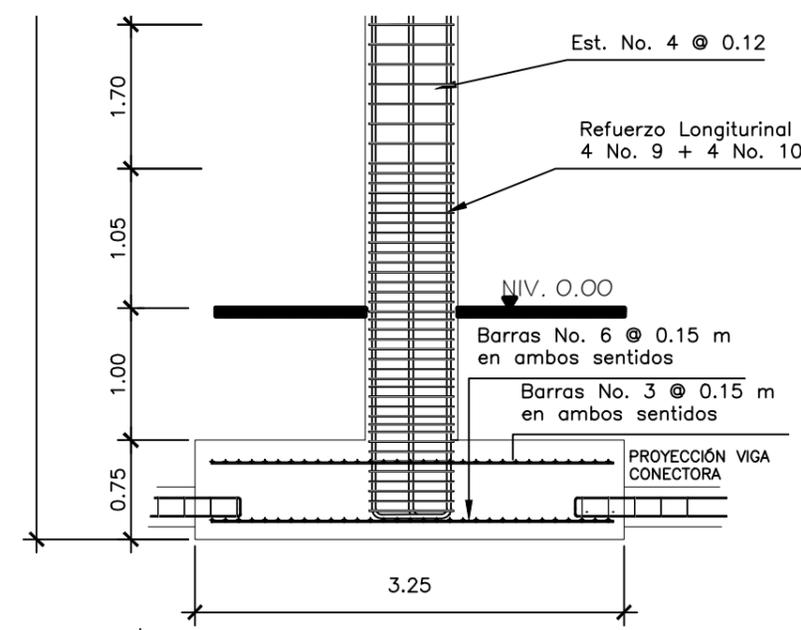


**VIGA CONECTORA VC -1**  
0.30 X 0.30

**PLANTA DE CIMENTACIÓN**  
HOSPITAL DE 5 NIVELES  
Escala 1/400



**PLANTA ZAPATA Z-1**  
3.25 X 3.25



**ELEVACIÓN ZAPATA Z-1**  
3.25 X 3.25

- NOTAS**
- CODIGOS DE DISEÑO**
- ELEMENTOS DE CONCRETO
    - 1.1 ACI 318-08
  - CARGAS
    - 2.1 AGIES 2010
  - DEFLEXIONES:
    - 3.1 AGIES 2010
- MATERIALES**
- CONCRETO
    - 1.1 LOSAS: 3000 psi
    - 1.2 VIGAS: 4000 psi
    - 1.3 VIGAS SECUNDARIAS PARALELAS A X
    - 1.4 COLUMNAS: 4000 psi
    - 1.5 CIMENTACIONES: 4000 psi
    - 1.6 ACERO DE REFUERZO  
Fy= 60,000 psi (vigas y losas)  
Fy= 60,000 psi (columnas y cimentaciones)
- CARGAS APLICADAS**
- SOBRECARGA MUERTA
    - 1.1 ENTREPISOS: 245.00 kg/m<sup>2</sup>
    - 1.2 TECHO: 170.00 kg/m<sup>2</sup>
  - CARGA VIVA
    - 2.1 CLINICAS: 250.00 kg/m<sup>2</sup>
    - 2.2 PASILLOS: 500.00 kg/m<sup>2</sup>
    - 2.3 TECHO: 200.00 kg/m<sup>2</sup>
    - 2.4 ARENA: 90.00 kg/m<sup>2</sup>
  - SISMO
    - 3.1 PARAMETROS DE ACCELERACION
      - 3.1.1 Scr= 1.50
      - 3.1.2 S1= 0.55.
    - 3.2 SUELO TIPO D
    - 3.3 NIVEL DE SISMO: SEVERO
    - 3.4 SISTEMA ESTRUCTURAL MARCOS TIPO A DE CONCRETO REFORZADO
- SUELO**
1. VALOR SOPORTE = 35,0 t/m<sup>2</sup>

**ESTRUCTURAS 2016**

CONTIENE: **PLANTA DE CIMENTACIÓN Y DETALLES DE COLUMNAS, ESTRUCTURA FIJA**



**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

LOCALIZACIÓN  
ZONA 16.  
GUATEMALA, GUATEMALA.

**ASESOR**  
MSC. FRANCISCO ARRECIS

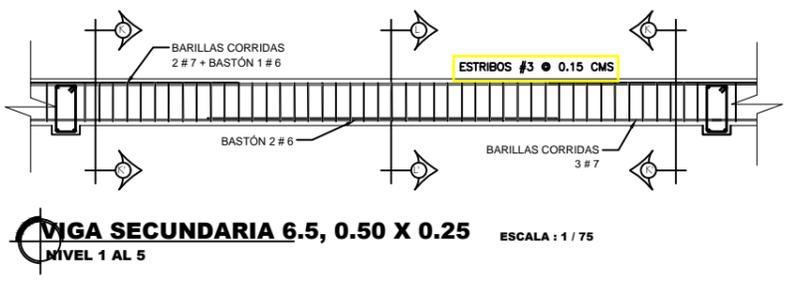
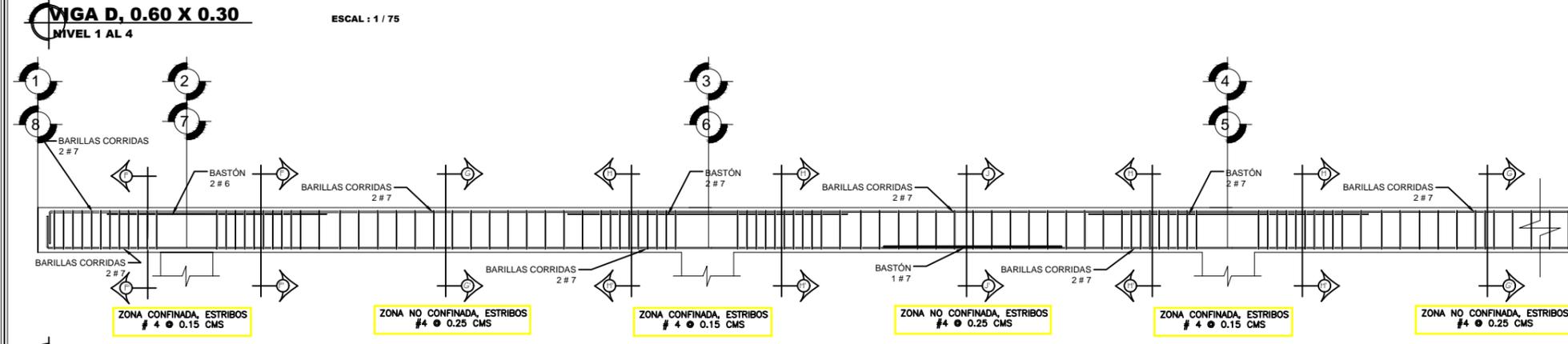
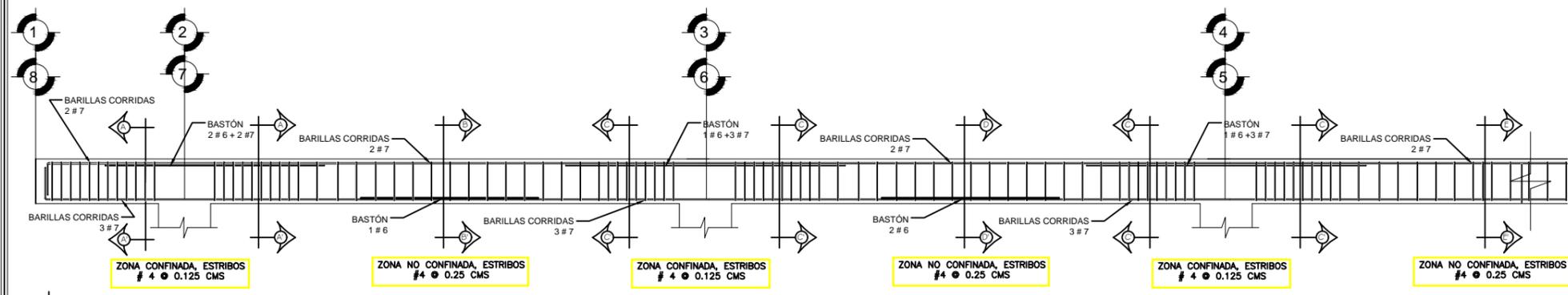
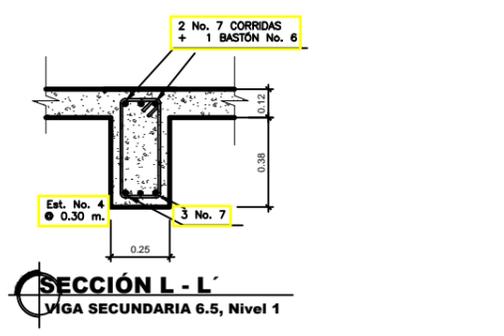
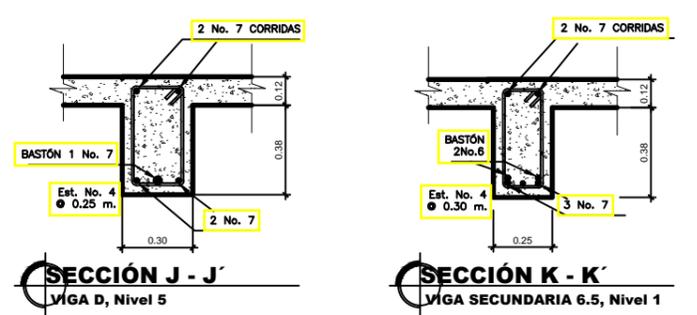
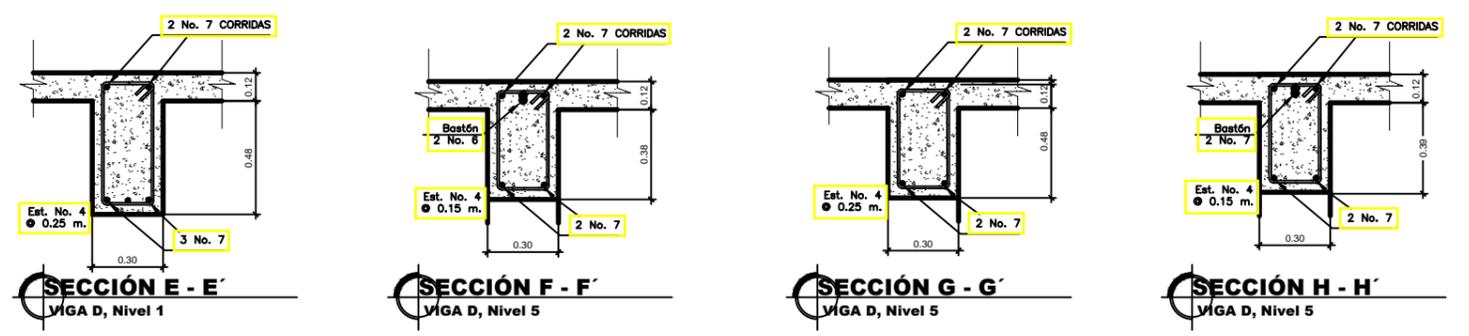
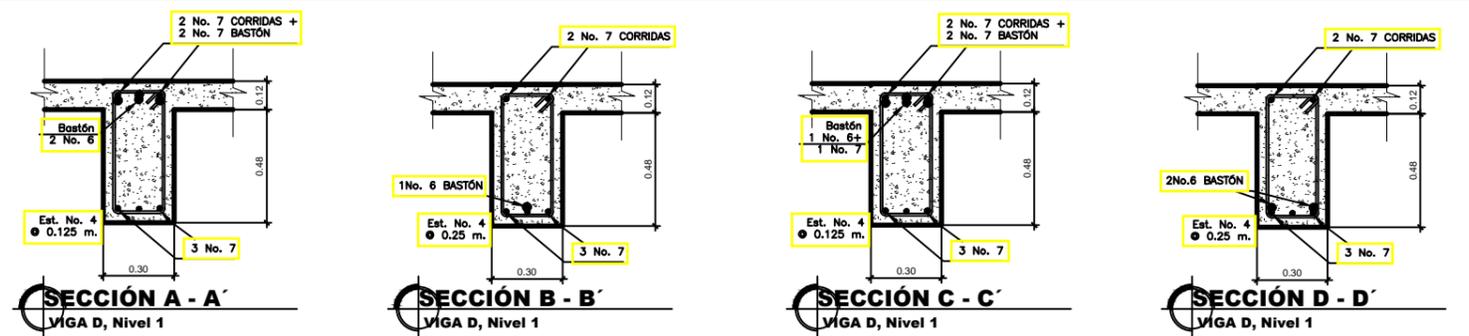
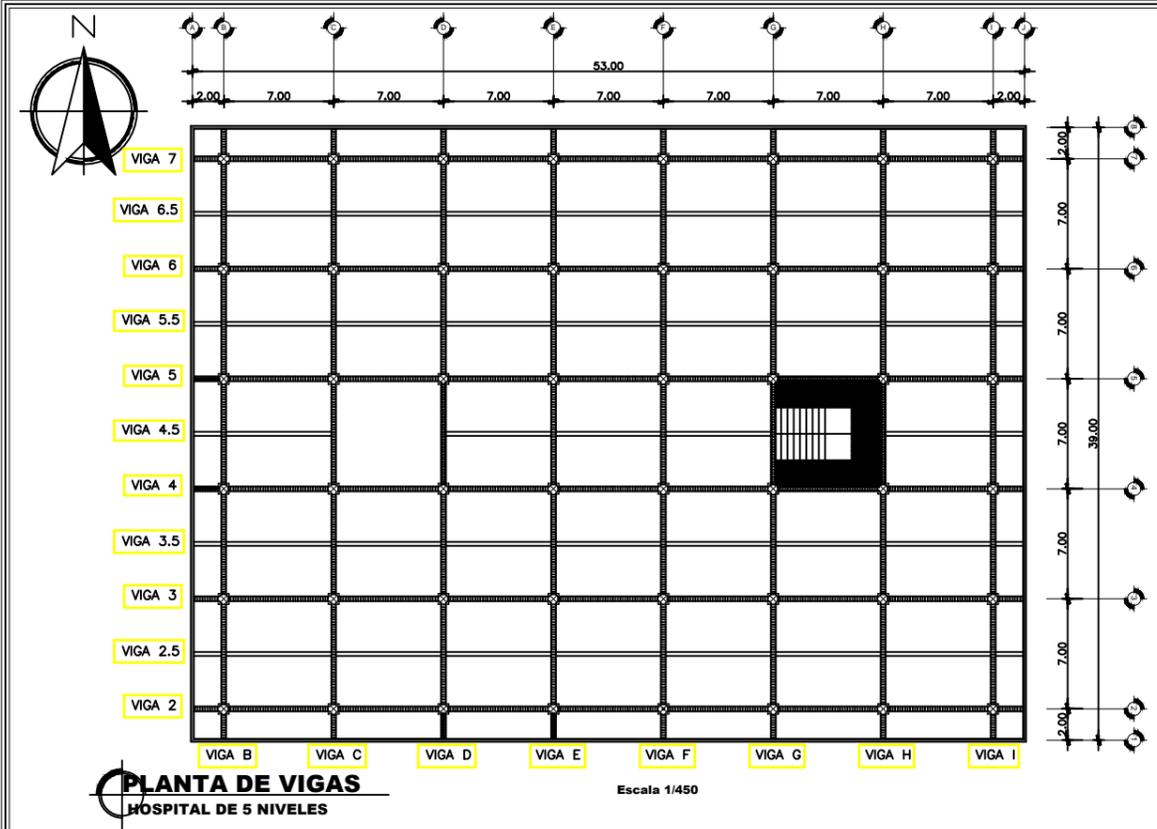
PROYECTO  
**HOSPITAL CON AISLADORES BASEALES**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**ESCUELA DE POSGRADO, FACULTAD DE INGENIERIA**

DIBUJO, DISEÑO Y CALCULO  
ING. RONALD URIZAR MONZÓN

TITULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN: *COMPARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIÓN DE CONCRETO, UTILIZANDO AISLADORES ELASTOMÉRICOS EN LA BASE.*

No. **03**  
**06**



**ESTRUCTURAS 2016**

CONTIENE: **PLANTA DE VIGAS Y DETALLES ESTRUCTURALES, ESTRUCTURA FIJA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**  
**ASESOR**  
**MSC. FRANCISCO ARRECIS**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**ESCUELA DE POSGRADO, FACULTAD DE INGENIERIA**



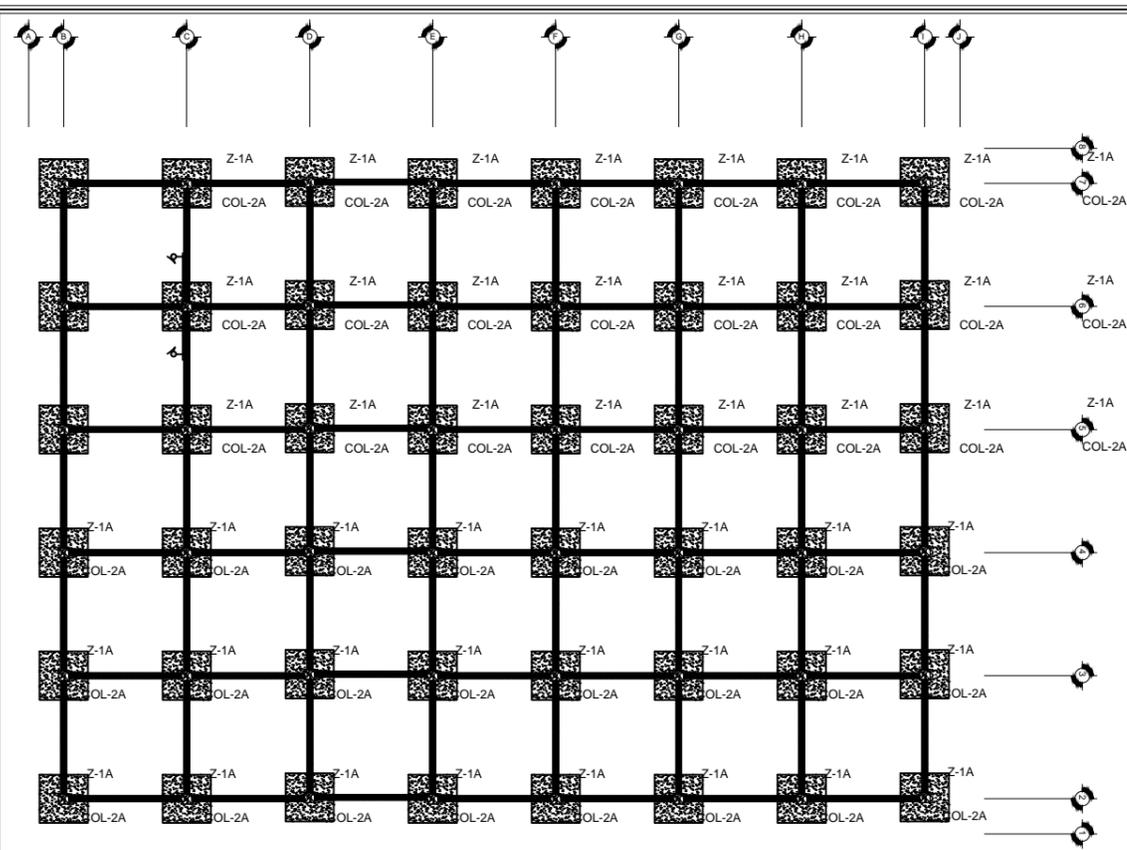
LOCALIZACIÓN  
ZONA 16,  
GUATEMALA, GUATEMALA.

PROYECTO  
**HOSPITAL CON AISLADORES BASALES**

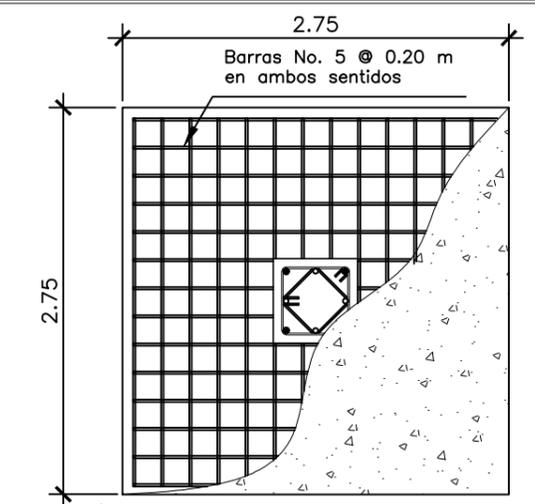
DIBUJO, DISEÑO Y CALCULO  
ING. RONALD URIZAR  
MONZÓN

TITULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN: *COMPARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIÓN DE CONCRETO, UTILIZANDO AISLADORES ELASTOMÉRICOS EN LA BASE.*

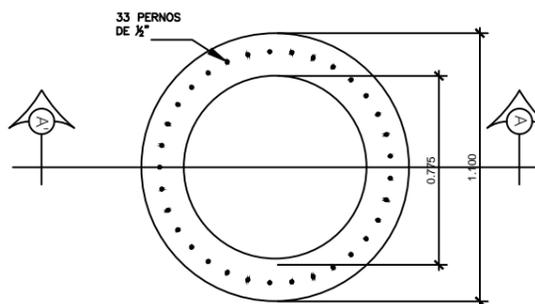
No. **04**  
**06**



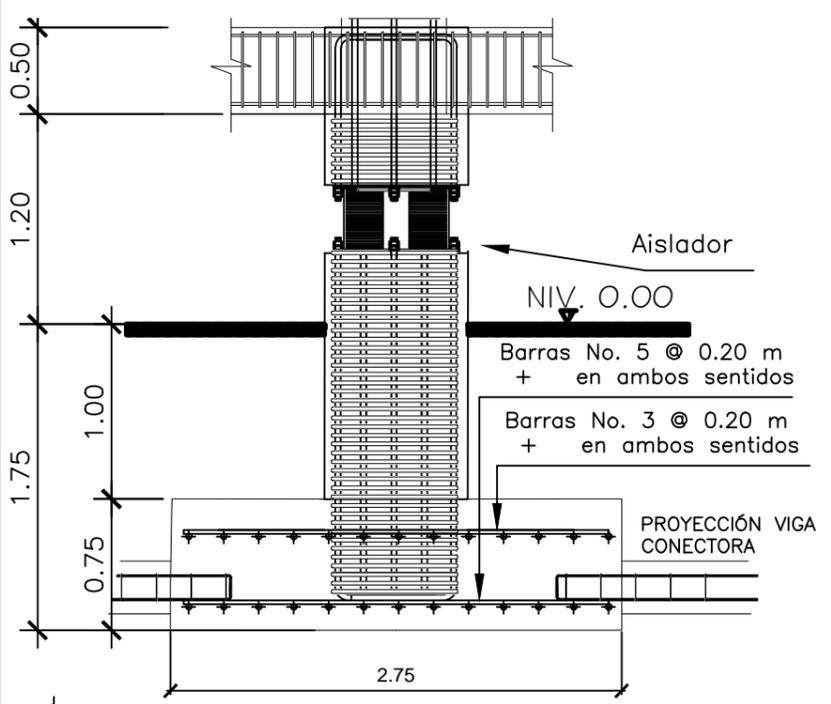
**PLANTA DE CIMENTACIÓN**  
HOSPITAL DE 5 NIVELES, AISLADO  
Escala 1/400



**PLANTA ZAPATA Z-1A**  
2.75 X 2.75



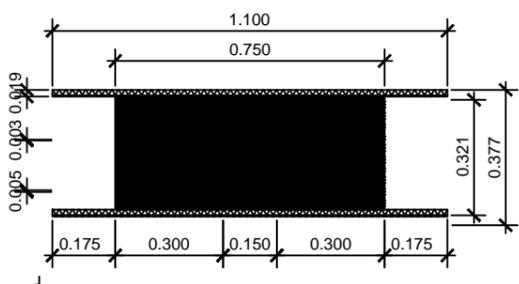
**PLANTA DE AISLADOR**  
DETALLE TÍPICO



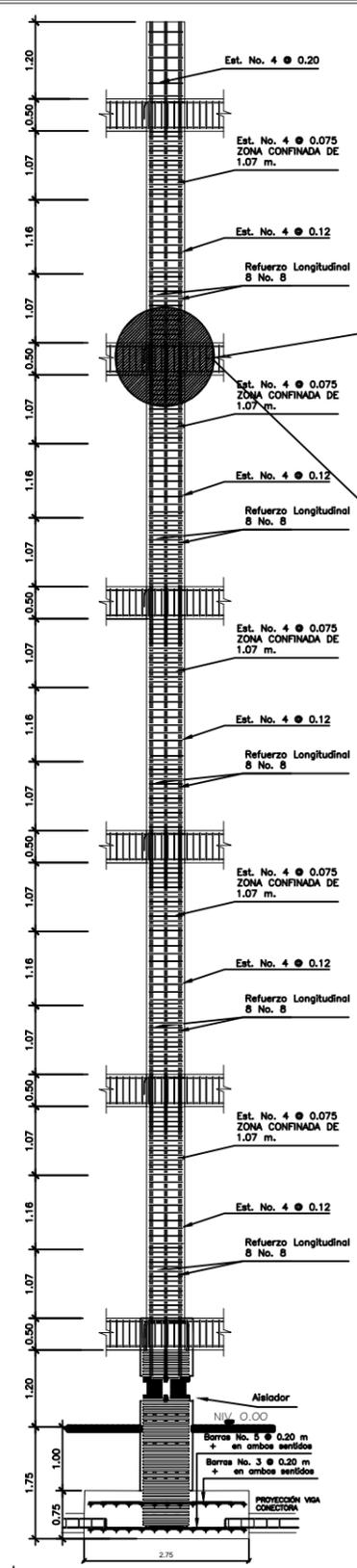
**ELEVACIÓN ZAPATA Z-1A**  
2.75 X 2.75



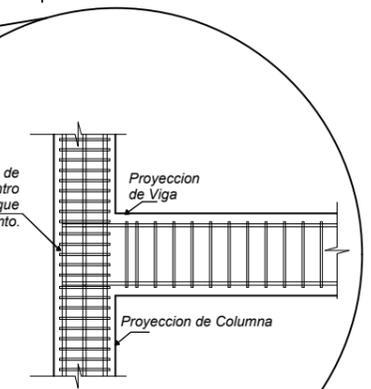
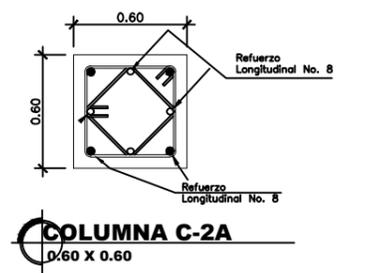
**DETALLE DE AISLADOR**  
DETALLE TÍPICO



**ELEVACIÓN DE AISLADOR**  
DETALLE TÍPICO



**ARMADO DE COLUMNA C-2A**  
SECCIÓN A - A



**DETALLE DE NUDO**  
0.60 X 0.60

- NOTAS**
- CODIGOS DE DISEÑO**
- ELEMENTOS DE CONCRETO
    - 1.1 ACI 318-08
  - CARGAS
    - 2.1 AGIES 2010
  - DEFLEXIONES:
    - 3.1 AGIES 2010
- MATERIALES**
- CONCRETO
    - 1.1 LOSAS: 3000 psi
    - 1.2 VIGAS: 4000 psi
    - 1.3 VIGAS SECUNDARIAS PARALELAS A X
    - 1.4 COLUMNAS: 4000 psi
    - 1.5 CIMENTACIONES: 4000 psi
    - 1.6 ACERO DE REFUERZO  
Fy= 60,000 psi (vigas y losas)  
Fy= 60,000 psi (columnas y cimentaciones)
  - CARGAS APLICADAS
    1. SOBRECARGA MUERTA
      - 1.1 ENTREPISOS: 245.00 kg/m<sup>2</sup>
      - 1.2 TECHO: 170.00 kg/m<sup>2</sup>
    2. CARGA VIVA
      - 2.1 CLINICAS: 250.00 kg/m<sup>2</sup>
      - 2.2 PASILLOS: 500.00 kg/m<sup>2</sup>
      - 2.3 TECHO: 200.00 kg/m<sup>2</sup>
      - 2.4 ARENA: 90.00 kg/m<sup>2</sup>
    3. SISMO
      - 3.1 PARAMETROS DE ACELERACION
        - 3.1.1 Scr= 1.50
        - 3.1.2 S1r= 0.55.
      - 3.2 SUELO TIPO D
      - 3.3 NIVEL DE SISMO: SEVERO
      - 3.4 SISTEMA ESTRUCTURAL MARCOS TIPO A DE CONCRETO REFORZADO
- SUELO**
1. VALOR SOPORTE = 35,0 t/m<sup>2</sup>

**ESTRUCTURAS 2016** CONTIENE: **PLANTA DE CIMENTACIÓN Y DETALLES DE COLUMNAS, ESTRUCTURA AISLADA**



**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

LOCALIZACIÓN  
ZONA 16.  
GUATEMALA, GUATEMALA.

**ASESOR**  
MSC. FRANCISCO ARRECIS

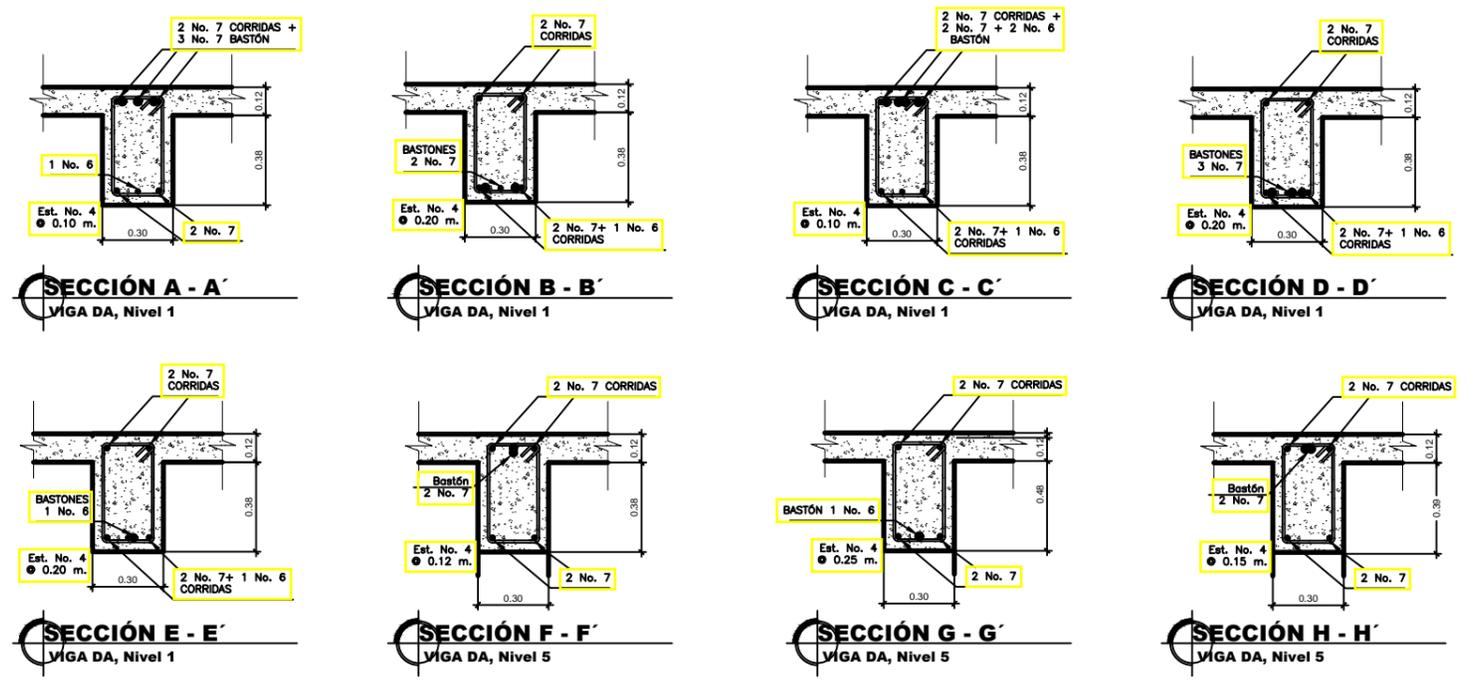
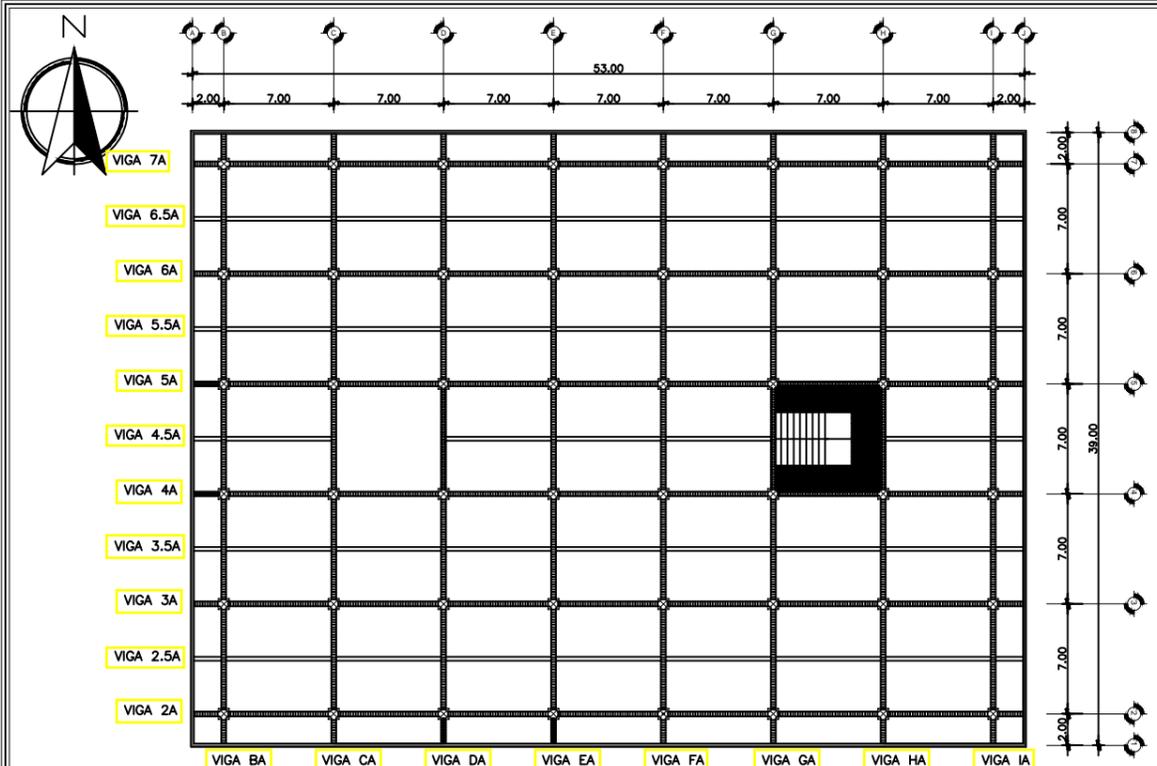
PROYECTO  
**HOSPITAL CON AISLADORES BASALES**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**ESCUELA DE POSGRADO, FACULTAD DE INGENIERIA**

DIBUJO, DISEÑO Y CALCULO  
ING. RONALD URIZAR MONZÓN

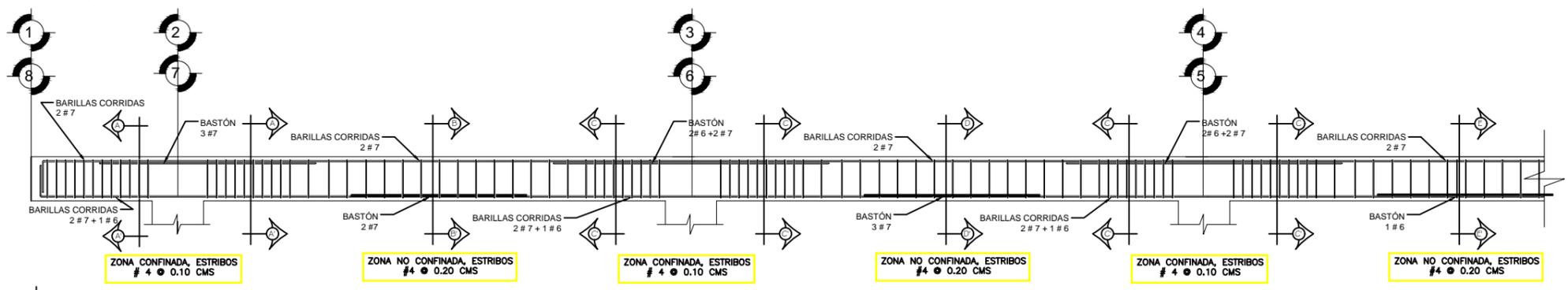
TITULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN: COMPARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIÓN DE CONCRETO, UTILIZANDO AISLADORES ELASTOMÉRICOS EN LA BASE.

No. 05/06



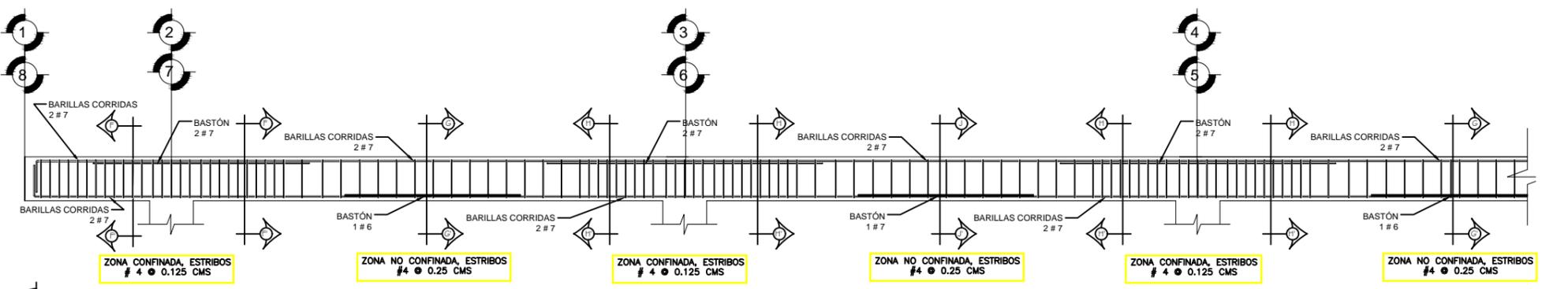
**PLANTA DE VIGAS**  
HOSPITAL DE 5 NIVELES

Escala 1/450



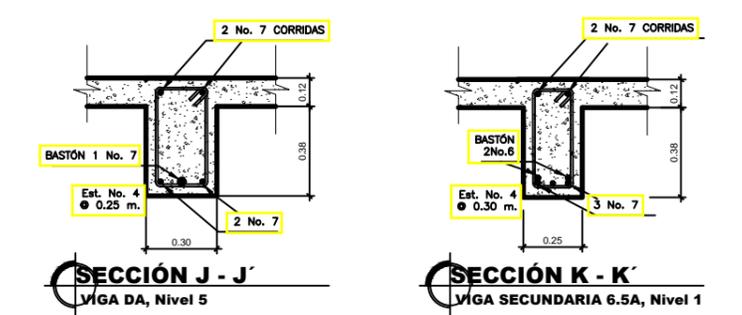
**VIGA D, 0.50 X 0.30**  
NIVEL 1 AL 4

ESCALA : 1 / 75



**VIGA D, 0.50 X 0.30**  
NIVEL 5

ESCALA : 1 / 75



**VIGA SECUNDARIA 6.5 A, 0.50 X 0.25**  
NIVEL 1 AL 5

ESCALA : 1 / 75

**ESTRUCTURAS 2016**

CONTIENE:

**PLANTA DE VIGAS Y DETALLES ESTRUCTURALES, ESTRUCTURA AISLADA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**ASESOR**  
**MSC. FRANCISCO ARRECIS**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**ESCUELA DE POSGRADO, FACULTAD DE INGENIERIA**



LOCALIZACIÓN  
ZONA 16,  
GUATEMALA, GUATEMALA.

PROYECTO  
**HOSPITAL CON AISLADORES BASALES**

DIBUJO, DISEÑO Y CALCULO  
ING. RONALD URIZAR  
MONZÓN

TITULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN: *COMPARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIÓN DE CONCRETO, UTILIZANDO AISLADORES ELASTOMÉRICOS EN LA BASE.*

No. **06**  
**06**

**ANEXO A: Tablas de diseño de aisladores, marca Bridgestone**



# Design Characteristics of High Damping Rubber Bearing

## Dimension and Performance Properties of H-RB

### ●HH-Series (Total Rubber Thickness 200mm)

#### Code

Designation	Compound	Shear Modulus (N/mm <sup>2</sup> )	Equivalent Damping Ratio
X6R	X0.6R	0.624	0.240

Characteristics		HH060XR	HH065XR	HH070XR	HH075XR	HH080XR	HH085XR	HH090XR	HH095XR	HH100XR	HH110XR	HH120XR	HH130XR	HH140XR	HH150XR	HH160XR	
Physical Dimensions	Outer Diameter (mm)	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	
	Inner Diameter (mm)	15	15	15	15	20	20	20	20	25	55	55	55	55	55	50	
	Effective Plan Area (×10 <sup>4</sup> mm <sup>2</sup> )	2826	3317	3847	4418	5023	5671	6359	7085	7849	9480	11286	13249	15361	17638	20256	
	Thickness of One Rubber Layer (mm)	4.0	4.4	4.7	5.0	5.4	5.7	6.0	6.4	6.7	7.4	8.0	8.7	9.5	10	10.4	
	Number of Rubber Layers (-)	50	45	43	40	37	35	33	31	30	27	25	23	21	20	19	
	Total Rubber Thickness (mm)	200	198	202	200	200	200	198	198	201	200	200	200	200	200	200	198
	First Shape Factor (-)	36.6	36.1	36.4	36.8	36.1	36.4	36.7	36.3	36.4	35.3	35.8	35.8	35.1	35.9	36.5	
	Second Shape Factor (-)	3.00	3.28	3.46	3.75	4.00	4.26	4.55	4.79	4.98	5.51	6.00	6.50	7.02	7.50	8.10	
	Diameter of Flange (mm)	900	950	1000	1100	1150	1200	1250	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	
	Thickness of Flange (mm)	22/28	22/28	22/28	22/28	24/32	24/32	24/32	24/32	28/36	30/38	32/40	32/40	37/45	50/100	50/100	
	Diameter of Bolt Center (mm)	775	825	875	950	1000	1050	1100	1150	1250	1350	1450	1550	1650	1700	1800	
	Diameter (Number) of Fixing Bolts (mm)	33(12)	33(12)	33(12)	33(12)	33(12)	33(12)	33(12)	33(12)	39(12)	39(12)	39(12)	39(12)	42(12)	42(12)	45(12)	
	Supposed Bolt (-)	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M36	M36	M36	M36	M39	M39	M42	
	Thickness of One Reinforcing Steel Plate (mm)	3.1	3.1	3.1	3.1	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	5.8	5.8	5.8	
	Height (mm)	407.9	390.4	388.3	376.9	422.2	413.1	402.8	394.4	400.6	390.2	385.6	376.9	405.5	510.2	522.0	
Total Weight (kN)	6.5	7.0	7.9	8.9	11.9	12.9	13.8	14.8	17.3	20.1	23.3	26.0	34.0	55.2	55.1		
Compression Properties	Critical Stress (N/mm <sup>2</sup> ) $\gamma=0, \sigma_c$	43	52	56	69	76	89	101	113	122	136	148	160	173	185	200	
	Ultimate Compressive Stress (N/mm <sup>2</sup> )	$(\gamma_1, \sigma_1)$	(0.22)	(0.30)	(0.35)	(0.42)	(0.48)	(0.52)	(0.56)	(0.59)	(0.60)	(0.60)	(0.60)	(0.60)	(0.60)	(0.60)	
		$(\gamma_2, \sigma_2)$	(1.522)	(1.430)	(1.435)	(1.542)	(1.548)	(1.852)	(2.156)	(2.359)	(2.560)	(3.160)	(3.660)	(3.860)	(3.960)	(3.960)	
		$(\gamma_3, \sigma_3)$	(2.74)	(3.05)	(3.16)	(3.47)	(3.411)	(3.517)	(3.523)	(3.629)	(3.634)	(3.745)	(3.756)	-	-	-	-
	Compressive Stiffness (×10 <sup>4</sup> kN/m)	1970	2340	2680	3090	3510	3970	4480	4980	5450	6590	7660	9220	10700	12300	14200	
	Nominal Long Term Compressive Stress (N/mm <sup>2</sup> )	6.6	8.1	9.1	10.7	12.0	13.4	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	
Nominal Long Term Column Load (kN)	1860	2690	3500	4710	6050	7620	9540	10630	11770	14220	16900	19670	23040	26460	30080		
Allowable Tensile Stress ( $\gamma=100\%$ ) (N/mm <sup>2</sup> )	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
Shear Properties ( $\gamma=100\%$ )	Initial Stiffness (×10 <sup>4</sup> kN/m)	5.19	6.15	6.99	8.10	9.23	10.43	11.79	13.11	14.33	17.41	20.71	24.30	28.26	32.37	37.25	
	Post-Yield Stiffness ( $\gamma=100\%$ ) (×10 <sup>4</sup> kN/m)	0.519	0.615	0.699	0.810	0.923	1.043	1.179	1.311	1.433	1.741	2.071	2.430	2.826	3.237	3.725	
	Characteristic Strength (kN)	71.5	83.9	97.3	112	127	143	161	179	199	240	285	335	389	446	507	
	Equivalent Shear Stiffness (×10 <sup>4</sup> kN/m)	0.89	1.04	1.18	1.37	1.56	1.76	1.99	2.21	2.42	2.94	3.50	4.11	4.77	5.47	6.29	
	Equivalent Damping Ratio (-)	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	

●HL-Series (Total Rubber Thickness 160mm)

Code

Designation	Compound	Shear Modulus (N/mm <sup>2</sup> )	Equivalent Damping Ratio
X6R	XO.6R	0.624	0.240

Characteristics		H.060x6R	H.065x6R	H.070x6R	H.075x6R	H.080x6R	H.085x6R	H.090x6R	H.100x6R	H.110x6R	H.120x6R	H.130x6R
Physical Dimensions	Outer Diameter (mm)	600	650	700	750	800	850	900	1000	1100	1200	1300
	Inner Diameter (mm)	15	15	15	15	20	20	20	25	55	55	55
	Effective Plan Area (x10 <sup>2</sup> mm <sup>2</sup> )	2826	3317	3947	4416	5023	5671	6359	7849	9490	11286	13248
	Thickness of One Rubber Layer (mm)	3.96	4.4	4.9	4.85	5.1	5.25	5.65	6.35	7.2	7.7	8.0
	Number of Rubber Layers (-)	41	37	34	34	33	32	30	26	23	22	21
	Total Rubber Thickness (mm)	162	163	167	165	168	168	170	165	166	169	168
	First Shape Factor (-)	37.0	36.1	34.9	37.9	38.2	39.5	38.9	38.4	36.3	37.2	36.9
	Second Shape Factor (-)	3.70	3.99	4.20	4.55	4.75	5.06	5.31	6.06	6.84	7.08	7.74
	Diameter of Flange (mm)	900	950	1000	1100	1150	1200	1250	1400	1500	1600	1700
	Thickness of Flange (mm)	22/28	22/28	22/28	22/28	24/32	24/32	24/32	26/36	30/38	32/40	32/40
	Diameter of Bolt Center (mm)	775	825	875	950	1000	1050	1100	1250	1350	1450	1550
	Diameter (Number) of Fixing Bolt(mm)	33(12)	33(12)	33(12)	33(12)	33(12)	33(12)	33(12)	39(12)	39(12)	39(12)	39(12)
	Supposed Bolt (-)	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M36	M36	M36	M36
	Thickness of One Reinforcing Steel Plate (mm)	3.1	3.1	3.1	3.1	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	5.8
	Height (mm)	342.0	330.4	324.9	323.2	373.1	368.4	361.1	347.1	338.4	341.8	364.0
Total Weight (kN)	5.7	6.3	6.9	8.1	11.0	12.1	13.0	15.9	18.4	21.9	27.5	
Compressor Properties	Critical Stress (N/mm <sup>2</sup> ) ( $\gamma=0. \sigma_c$ )	67	78	86	102	111	125	131	149	164	175	191
	Ultimate Compressive Stress (N/mm <sup>2</sup> )	( $\gamma_c, \sigma_c$ )	(0.41)	(0.48)	(0.51)	(0.56)	(0.59)	(0.60)	(0.60)	(0.60)	(0.60)	(0.60)
		( $\gamma_c, \sigma_c$ )	(1.441)	(1.548)	(1.751)	(2.156)	(2.259)	(2.660)	(2.960)	(3.660)	(3.660)	(3.660)
		( $\gamma_c, \sigma_c$ )	(3.3.7)	(3.4.11)	(3.5.15)	(3.5.23)	(3.6.28)	(3.6.36)	(3.6.41)	(3.7.57)	-	-
	Compressive Stiffness (x10 <sup>3</sup> kN/m)	2440	2940	3200	3780	4190	4780	5280	6680	7990	9330	11110
	Nominal Long Term Compressive Stress (N/mm <sup>2</sup> )	10.4	12.0	13.1	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
	Nominal Long Term Column Load (kN)	2940	3670	5040	6620	7540	8510	9540	11770	14820	16930	19670
Allowable Tensile Stress ( $\gamma=100\%$ ) (N/mm <sup>2</sup> )	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
Shear Properties ( $\gamma=100\%$ )	Initial Stiffness (x10 <sup>3</sup> kN/m)	6.40	7.48	8.47	9.83	10.96	12.39	13.77	17.45	21.01	24.45	28.95
	Post-Yield Stiffness ( $\gamma=100\%$ ) (x10 <sup>3</sup> kN/m)	0.640	0.748	0.847	0.983	1.096	1.239	1.377	1.745	2.101	2.445	2.895
	Characteristic Strength (kN)	71.5	83.9	97.3	111.7	127.1	143.5	160.8	198.6	239.8	285.5	336.2
	Equivalent Shear Stiffness (x10 <sup>3</sup> kN/m)	1.06	1.26	1.43	1.65	1.85	2.09	2.33	2.95	3.55	4.13	4.89
	Equivalent Damping Ratio (-)	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240

## HT-Series (Total Rubber Thickness 250mm)

### Code

Designation	Compound	Shear Modulus (N/mm <sup>2</sup> )	Equivalent Ratio
X6R	X0.6R	0.624	0.240

Characteristics		HT090X6R	HT100X6R	HT110X6R	HT120X6R	HT130X6R	HT140X6R	HT150X6R	HT160X6R	
Physical Dimensions	Outer Diameter (mm)	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	
	Inner Diameter (mm)	20	25	35	35	35	35	35	30	
	Effective Plan Area (X10 <sup>4</sup> mm <sup>2</sup> )	6359	7849	9480	11266	13249	15361	17638	20056	
	Thickness of One Rubber Layer (mm)	6	6.7	7.4	8	8.7	9.5	10	10.4	
	Number of Rubber Layers(-)	42	37	34	31	29	26	25	24	
	Total Rubber Thickness (mm)	252	248	252	248	252	247	250	250	
	First Shape Factor (-)	35.7	36.4	36.3	35.8	35.8	35.1	35.9	36.5	
	Second Shape Factor (-)	3.6	4.0	4.4	4.8	5.2	5.7	6.0	6.4	
	Diameter of Flange (mm)	1250	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	
	Thickness of Flange (mm)	24/32	28/36	30/36	32/40	32/40	37/45	50/100	50/110	
	Diameter of Bolt Center (mm)	1100	1250	1350	1450	1550	1650	1700	1800	
	Diameter (Number) of Fixing Bolt(mm)	33(12)	39(12)	39(12)	39(12)	39(12)	42(12)	42(12)	45(12)	
	Supposed Bolt (-)	M30	M36	M36	M36	M36	M39	M39	M42	
	Thickness of One Reinforcing Steel Plate (mm)	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	5.8	5.8	5.8	
	Height (mm)	496.4	478.3	472.8	460.0	455.5	482.0	589.2	603.0	
	Total Weight (kN)	16.2	19.6	23.0	26.3	29.5	36.3	60.7	70.8	
	Compression Properties	Critical Stress (N/mm <sup>2</sup> ) $\gamma=0 \sigma_c$	62	80	94	115	127	140	148	158
Ultimate Compressive Stress (N/mm <sup>2</sup> ) $(\gamma_c, \sigma_c)$		(0.38)	(0.48)	(0.53)	(0.60)	(0.60)	(0.60)	(0.60)	(0.60)	
Compressive Stress (N/mm <sup>2</sup> ) $(\gamma_c, \sigma_c)$		$(\gamma_c, \sigma_c)$	(1.4,38)	(1.6,48)	(1.9,53)	(2.3,60)	(2.7,60)	(3.2,60)	(3.6,60)	(3.6,60)
		$(\gamma_c, \sigma_c)$	(3.2,6)	(3.4,12)	(3.5,19)	(3.6,30)	(3.6,38)	(3.7,48)	(3.7,56)	-
Compressive Stiffness (X10 <sup>3</sup> kN/m)		3,530	4,420	5,270	6,370	7,340	8,690	9,860	11,200	
Nominal Long Term Compressive Stiffness (N/mm <sup>2</sup> )		9.7	12.2	14.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	
Nominal Long Term Column Load (kN)		6170	9580	13270	16930	19870	23040	26480	30060	
Shear Properties ( $\gamma=100\%$ )	Allowable Tensile Stress ( $\gamma=100\%$ ) (N/mm <sup>2</sup> )	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	Initial Stiffness (X10 <sup>3</sup> kN/m)	9.26	11.62	13.83	16.70	19.28	22.83	25.90	29.49	
	Post-Yield Stiffness ( $\gamma=100\%$ ) (X10 <sup>3</sup> kN/m)	0.926	1.162	1.383	1.670	1.928	2.283	2.590	2.949	
	Characteristic Strength (kN)	161	199	240	285	335	389	446	507	
	Equivalent Shear Stiffness (X10 <sup>3</sup> kN/m)	1.56	1.96	2.34	2.82	3.26	3.86	4.37	4.98	
Equivalent Damping Ratio (-)	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240		



**ANEXO B: Propuesta de normativo sobre aisladores para AGIES**



# PROPUESTA DE NORMATIVO PARA ESTRUCTURAS AISLADAS

## Contenido

<b>Capítulo 1: REQUISITOS DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS AISLADAS SÍSMICAMENTE..</b>	<b>125</b>
<b>1.1 GENERAL</b> .....	<b>125</b>
1.1.1 Las variaciones de las propiedades del material .....	125
1.1.2 Definiciones .....	125
1.1.3 Notación .....	126
<b>1.2 REQUISITOS DE DISEÑO GENERALES</b> .....	<b>128</b>
1.2.1.....	128
1.2.2 Aceleración máxima del suelo, ajustes de calibración espectral y parámetros, $S_{cs}$ y $S_{1s}$ .....	128
1.2.3 Configuración .....	128
1.2.4 Sistema de Aislamiento.....	128
1.2.4.1 Condiciones Ambientales .....	128
1.2.4.2 Fuerzas de viento .....	129
1.2.4.3 Resistencia al fuego.....	129
1.2.4.4 Fuerza lateral restauradora .....	129
1.2.4.5 Restricción de los desplazamientos .....	129
1.2.4.6 Estabilidad de la carga vertical.....	130
1.2.4.7 Volteo.....	130
1.2.4.8 Inspección y reemplazo .....	130
1.2.4.9 Control de Calidad .....	131
1.2.5 Sistema Estructural.....	131
1.2.5.1 Distribución horizontal de la Fuerza .....	131
1.2.5.2 Separación de estructura .....	131
1.2.5.3 Estructuras distintas a edificios .....	131
1.2.6 Elementos de estructuras y componentes no estructurales.....	131
1.2.6.1 Componentes en o por encima de la interfaz de aislamiento .....	131
1.2.6.2 Componentes que cruzan el interfaz de aislamiento .....	131
1.2.6.3 Los componentes por debajo de la interfaz de aislamiento.....	132
<b>1.3 CONDICIONES DE SITIO PARA SISTEMAS AISLADOS</b> .....	<b>132</b>
1.3.1 Espectros de Diseño .....	132
1.3.2 Historia de la respuesta sísmica en el tiempo .....	132
<b>1.4 SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS</b> .....	<b>132</b>

1.4.1	Procedimiento de carga sísmica estática equivalente.....	132
1.4.2	Procedimientos Dinámicos .....	133
1.4.2.1	Procedimiento de análisis modal espectral .....	133
1.4.2.2	Procedimiento de análisis historia de la respuesta sísmica en el tiempo .....	133
1.5	PROCEDIMIENTO DE ESTÁTICO EQUIVALENTE .....	133
1.5.1	General .....	133
1.5.2	Características de deformación del sistema de aislamiento .....	133
1.5.3	Desplazamientos laterales mínimo .....	134
1.5.3.1	Desplazamiento de diseño .....	134
1.5.3.2	Período efectivo del desplazamiento de diseño .....	134
1.5.3.3	Desplazamiento máximo .....	135
1.5.3.4	Período efectivo en el desplazamiento máximo .....	135
1.5.3.5	Desplazamiento total .....	135
1.5.4	Fuerzas lateral mínima.....	136
1.5.4.1	Sistema de aislamiento y elementos estructurales por debajo del sistema de aislamiento.....	136
1.5.4.2	Elementos Estructurales sobre el sistema de aislamiento.....	137
1.5.4.3	Límites de $V_s$ .....	137
1.5.6	Límites de derivas .....	138
1.6.1	General .....	138
1.6.2	Modelado.....	138
1.6.2.1	Sistema de Aislamiento .....	138
1.6.2.2	Estructura Aislada.....	138
1.6.3	Descripción de procedimientos.....	139
1.6.3.1	General .....	139
1.6.3.2	Sismo de diseño.....	139
1.6.3.3	Procedimiento del análisis modal del espectro de respuesta.....	139
1.6.3.4	Procedimiento de historia de respuesta sísmica en el tiempo .....	140
1.6.4	Desplazamiento y fuerzas laterales mínimas .....	140
1.6.4.1	Sistema de aislamiento y elementos estructurales bajo el sistema de aislación .....	140
1.6.4.2	Elementos estructurales sobre el sistema de aislación .....	141
1.6.4.3	Ajuste de resultados .....	142
1.6.4.4	Límite de derivas .....	142
1.8.1	General .....	143

# Capítulo 1: REQUISITOS DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS SÍSMICAMENTE AISLADAS

## 1.1 GENERALIDADES

Cada estructura sísmicamente aislada y cada parte de éstas, deberán estar diseñadas y construidas de acuerdo con los requisitos de esta sección y con los requisitos aplicables de esta norma.

### 1.1.1 Variaciones en las propiedades de los materiales

El análisis de las estructuras sísmicamente aisladas, incluyendo la subestructura, los aisladores y la superestructura, deberá considerar las variaciones en las propiedades del material del aislador sísmico durante la vida útil proyectada de la estructura que, incluyendo los cambios debidos a la edad, la contaminación, la exposición del medio ambiente, la velocidad de carga, scragging y temperatura.

### 1.1.2 Definiciones

#### **DESPLAZAMIENTO:**

**Desplazamiento de diseño:** Es el desplazamiento lateral correspondiente al sismo de diseño, excluyendo el desplazamiento adicional debido a la torsión real y accidental, requerido para el diseño del sistema de aislamiento.

**Desplazamiento total de diseño:** Es el desplazamiento lateral correspondiente al sismo de diseño,

incluyendo el desplazamiento adicional debido a la torsión real y accidental, requerido para el diseño del sistema de aislamiento o un elemento de la misma.

**Desplazamiento total máximo:** El desplazamiento lateral correspondiente al máximo sismo considerado, incluyendo el desplazamiento adicional debido a la torsión real y accidental, necesario para la verificación de la estabilidad del sistema de aislamiento o elementos de los mismos, el diseño de las separaciones alrededor de la estructura, y las pruebas de carga vertical de prototipos unidad de aisladores.

**SISTEMA DE RESTRICCIÓN AL DESPLAZAMIENTO:** Una colección de elementos estructurales que limitan el desplazamiento lateral de las estructuras aisladas sísmicamente debido al sismo máximo considerado.

**AMORTIGUAMIENTO EFECTIVO:** Es el valor de amortiguamiento viscoso equivalente correspondiente a la energía disipada durante la respuesta cíclica del sistema de aislamiento.

**RIGIDEZ EFECTIVA:** Es el valor de la fuerza lateral en el sistema de aislamiento, o en un elemento del

mismo, dividido por el desplazamiento lateral correspondiente.

**INTERFAZ DE AISLAMIENTO:** El límite entre la parte superior de la estructura, la cual está aislada, y la porción inferior de la estructura, la cual se mueve rígidamente con el suelo.

**SISTEMA DE AISLAMIENTO:** La colección de elementos estructurales que incluye todas las unidades individuales de aisladores, todos los elementos estructurales que transmiten fuerza entre los elementos del sistema de aislamiento, y todas las conexiones a otros elementos estructurales. El sistema de aislamiento también incluye el sistema de control de viento, los dispositivos de disipación de energía, y / o el sistema de restricción de desplazamiento si tales sistemas y dispositivos se utilizan para cumplir con los requisitos de diseño de este capítulo.

**UNIDAD DE AISLADOR:** Elemento estructural horizontalmente flexible y verticalmente rígido del sistema de aislamiento que permite grandes deformaciones laterales bajo la acción de la carga sísmica de diseño. Las unidades de aislador pueden ser usadas como parte de, o además de, el sistema de soporte de peso de la estructura.

**DESPLAZAMIENTO MÁXIMO:** Es el desplazamiento lateral

correspondiente al máximo sismo considerado, excluyendo el desplazamiento adicional debido a la torsión real y accidental.

**SCRAGGING:** Aplicación de carga cíclica o de algún trabajo a productos de caucho, incluyendo aisladores elastoméricos, para efectuar una reducción en las propiedades de rigidez, una parte del cual se recuperará con el tiempo.

**SISTEMA DE RESTRICCIÓN POR VIENTO:** El conjunto de elementos estructurales que proporciona restricción a la estructura aislada sísmicamente para las cargas de viento. El sistema de restricción al viento puede ser una parte integral de las unidades de aislamiento o un dispositivo separado.

#### 1.1.3 Notación

$\beta_D$  = coeficiente numérico como se expone en la Tabla 1.5-1 para amortiguamiento efectivo igual a  $\beta_D$ .

$\beta_M$  = coeficiente numérico como se expone en la Tabla 1.5-1 para amortiguamiento efectivo igual a  $\beta_M$ .

$b$  = dimensión en planta más corta de la estructura, en pies (mm) medida perpendicularmente a  $d$ .

$D_D$  = desplazamiento de diseño, en pulg (mm), en el centro de la rigidez del sistema de aislamiento en la dirección considerada, según lo prescrito por la ecuación 1.5-1.

$D'_D$  = desplazamiento de diseño, en pulg (mm), en el centro de la rigidez del sistema de aislamiento en la

dirección considerada, según lo prescrito por la ecuación 1.6-1.

$D_M$  = desplazamiento máximo, en pulg (mm), en el centro de la rigidez del sistema de aislamiento en la dirección considerada, según lo prescrito por la ecuación 1.5-3.

$D'_M$  = desplazamiento máximo, en pulg (mm), en el centro de la rigidez del sistema de aislamiento en la dirección considerada, según lo prescrito por la ecuación 1.6-2.

$D_{TD}$  = desplazamiento total de diseño, en plg (mm), de un elemento del sistema de aislamiento incluyendo tanto el desplazamiento traslacional en el centro de la rigidez y el componente de desplazamiento de torsión en la dirección considerada, según lo prescrito por la ecuación 1.5-5.

$D_{TM}$  = desplazamiento total máximo, en pulg (mm), de un elemento del sistema de aislamiento incluyendo tanto el desplazamiento traslacional en el centro de la rigidez y el componente de desplazamiento de torsión en la dirección considerada, según la ecuación 1.5-6.

$d$  = dimensión en planta más larga de la estructura, en pies (mm).

$e$  = excentricidad real, en pies (mm), medida en planta entre el centro de masa de la estructura por encima de la interfaz de aislamiento y el centro de la rigidez del sistema de aislamiento, más la excentricidad accidental, en pies (mm), tomada como 5 por ciento de la dimensión máxima del edificio

perpendicular a la dirección de la fuerza considerada.

$F^-$  = La máxima fuerza negativa en kips (kN) en una unidad de aislador durante un único ciclo de pruebas de prototipo en una amplitud de desplazamiento de  $\Delta^-$ .

$F^+$  = la máxima fuerza positiva en kips (kN) en una unidad de aislador durante un único ciclo de pruebas de prototipo en una amplitud de desplazamiento de  $\Delta^+$ .

$F_x$  = fuerza total distribuida sobre la altura de la estructura por encima de la interfaz de aislamiento según lo prescrito por la ecuación 1.5-9.

$k_{Dmax}$  = Rigidez efectiva máxima, en kips / in. (kN / mm), del sistema de aislamiento en el desplazamiento de diseño en la dirección horizontal bajo consideración, según lo prescrito por la ecuación 1.8-3.

$k_{Dmin}$  = rigidez efectiva mínima, en kips / in. (kN / mm), del sistema de aislamiento en el desplazamiento de diseño en la dirección horizontal bajo consideración, según lo prescrito por la ecuación 1.8-4.

$k_{Mmax}$  = Rigidez efectiva máxima, en kips / in. (kN / mm), del sistema de aislamiento en el desplazamiento máximo en la dirección horizontal bajo consideración, según lo prescrito por la ecuación 1.8-5.

$k_{Mmin}$  = rigidez efectiva mínima, en kips / in. (kN / mm), del sistema de aislamiento en el desplazamiento máximo en la dirección horizontal bajo consideración, según lo prescrito por la ecuación 1.8-6.

$k_{eff}$  = rigidez efectiva de una unidad de aislador, según lo prescrito por la ecuación 1.8-1.

$L$  = efecto de la carga viva.

$T_D$  = período efectivo, en s, de la estructura aislada sísmicamente en el desplazamiento de diseño en la dirección considerada, según lo prescrito por la ecuación 1.5-2.

$T_M$  = período efectivo, en s, de la estructura aislada sísmicamente en el desplazamiento máximo en la dirección considerada, según lo prescrito por la ecuación 1.5-4.

$V_b$  = fuerza lateral total de diseño sísmico o de corte en elementos del sistema de aislamiento o elementos bajo sistema de aislamiento, según lo prescrito por la ecuación 1.5-7.

$V_s$  = Fuerza lateral total de diseño sísmico o corte en elementos sobre el sistema de aislamiento, según lo prescrito por la ecuación 1.5-8.

$y$  = distancia, en pies (mm), entre el centro de la rigidez del sistema de aislamiento y el elemento de interés medida en dirección perpendicular a la carga sísmica bajo consideración.

$\beta_D$  = amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento en el desplazamiento de diseño, según lo prescrito por la ecuación 1.8-7.

$\beta_M$  = amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento en el desplazamiento máximo, según lo prescrito por la ecuación 1.8-8.

$\beta_{eff}$  = amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento, según lo prescrito por la ecuación 1.8-2.

## 1.2 REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO

### 1.2.1 Factor de Escala

Todas las partes de la estructura, incluyendo la estructura sobre el sistema de aislamiento, se les asignarán un nivel mínimo de protección sísmica de acuerdo con la Tabla 4-1 de AGIES NSE 2-10. El factor de escala,  $K_d$ , se deberá tomar como 0,66 para una estructura aislada sísmicamente, independientemente de su nivel mínimo de protección sísmica.

### 1.2.2 Parámetros de aceleración de la respuesta espectral del sismo extremo $S_{CS}$ y $S_{1S}$

Los parámetros de aceleración de la respuesta espectral del sismo extremo  $S_{CS}$  y  $S_{1S}$  se determinarán de acuerdo con la Sección 4.3.3 de AGIES NSE 2-10.

### 1.2.3 Configuración

Cada estructura será designada como regular o irregular basada en la configuración estructural por encima del sistema de aislamiento.

### 1.2.4 Sistema de Aislamiento

#### 1.2.4.1 Condiciones Ambientales

Además de los requisitos para las cargas verticales y laterales inducidas por el viento y sismo, el sistema de aislamiento deberá prever otras condiciones ambientales, incluyendo los efectos del envejecimiento, flujo plástico, fatiga, temperatura de

funcionamiento, y la exposición a la humedad o sustancias dañinas.

#### 1.2.4.2 Fuerzas de viento

Las estructuras aisladas deberán resistir las cargas de viento de diseño en todos los niveles por encima de la interfaz de aislamiento. En la interfaz de aislamiento, se instalará un sistema de restricción de desplazamientos por viento para limitar el desplazamiento lateral en el sistema de aislamiento a un valor igual al requerido entre los pisos de la estructura por encima de la interfaz de aislamiento de acuerdo con la Sección 1.5.6.

#### 1.2.4.3 Resistencia al fuego

La resistencia al fuego para el sistema de aislamiento deberá cumplir la requerida para las columnas, paredes, u otros elementos de soporten cargas gravitacionales en la misma región de la estructura.

#### 1.2.4.4 Fuerza lateral restauradora

El sistema de aislamiento deberá configurarse para producir una fuerza de restauración de tal manera que la fuerza lateral en el desplazamiento total de diseño sea al menos  $0.025W$  mayor que la fuerza lateral al 50 por ciento del desplazamiento total de diseño.

#### 1.2.4.5 Restricción de los desplazamientos

El sistema de aislamiento no estará configurado para incluir un sistema de restricción de desplazamiento que

limite el desplazamiento lateral debido al sismo máximo considerado, a un desplazamiento menor que el desplazamiento máximo total, salvo que el diseño de la estructura sísmicamente aislada de acuerdo con los siguientes criterios sea más estricto que los requisitos de la sección 1.2:

1. Que la respuesta al máximo sismo considerado sea calculada de acuerdo con los requisitos de análisis dinámicos de la Sección 1.6, teniendo en cuenta de manera explícita las características no lineales del sistema de aislamiento y de la estructura por encima del sistema de aislamiento.
2. La capacidad máxima del sistema de aislamiento y elementos estructurales por debajo del sistema de aislamiento será superior a la fuerza y demandas de desplazamiento del máximo sismo considerado.
3. Que la estructura sobre el sistema de aislamiento sea revisada para la estabilidad y demanda de ductilidad del máximo sismo considerado.
4. La restricción de desplazamiento no se hace efectiva en un desplazamiento inferior a 0,75 veces el desplazamiento total de diseño a menos que se demuestre mediante análisis que la activación de la restricción de desplazamientos a desplazamientos menores no se traduce en un desempeño insatisfactorio.

#### 1.2.4.6 Estabilidad bajo carga vertical

Cada elemento del sistema de aislamiento deberá ser diseñado para ser estable bajo la carga vertical de diseño al estar sometido a un desplazamiento horizontal igual al desplazamiento total máximo. La carga vertical de diseño se calcula utilizando la combinación de carga CR4 de la Sección 8.2.2 (AGIES NSE 2-10) de la carga vertical máxima. Las cargas verticales que resultan de la aplicación de las fuerzas sísmicas horizontales,  $Q_E$ , se basarán en la respuesta pico debido al máximo sismo considerado.

#### 1.2.4.7 Volteo

El factor de seguridad contra el volteo estructural en la interfaz de aislamiento no deberá ser inferior a 1.0 para las combinaciones de carga requeridas. Todas las condiciones de carga gravitacional y sísmica deben ser investigadas. Para las fuerzas sísmicas de volteo los cálculos se basan en el máximo sismo considerado, y  $W$  se utilizarán para la fuerza de estabilidad vertical. No se permitirá el levantamiento local de elementos individuales a menos que las deflexiones resultantes no causen exceso de esfuerzo o de la inestabilidad de las unidades de aisladores u otros elementos de la estructura.

#### 1.2.4.8 Inspección y reemplazo

- a. Se deberá proveer un espacio de acceso para la inspección y

sustitución de todos los componentes del sistema de aislamiento.

- b. Un profesional de diseño registrado deberá completar una serie final de las inspecciones u observaciones de las zonas de separación de la estructura y los componentes que atraviesan la interfaz de aislamiento previo a la emisión del certificado de ocupación de la estructura aislada sísmicamente. Estas inspecciones y observaciones deberán indicar que las condiciones existentes permiten el desplazamiento libre y sin restricción de la estructura a los niveles máximos de diseño y que todos los componentes que atraviesan la interfaz de aislamiento son capaces de acomodar los desplazamientos previstos.
- c. Las estructuras sísmicamente aisladas tendrán un monitoreo, inspección y programa de mantenimiento para el sistema de aislamiento establecido por el profesional registrado de diseño responsable del diseño del sistema de aislamiento.
- d. Remodelación, reparación o reforzamiento en la interfaz del sistema de aislamiento, incluyendo el de los componentes que atraviesan la interfaz de aislamiento, se llevarán a cabo bajo la dirección de un profesional de diseño registrado.

#### 1.2.4.9 Control de Calidad

Un programa de pruebas de control de calidad de las unidades de aisladores deberá ser establecido por el profesional responsable del diseño estructural.

### 1.2.5 Sistema Estructural

#### 1.2.5.1 Distribución horizontal de la Fuerza

Un diafragma horizontal u otros elementos estructurales deberán proporcionar continuidad por encima de la interfaz de aislamiento y deberá tener una resistencia y ductilidad adecuada para transmitir las fuerzas (debido a movimiento no uniforme del terreno) de una parte de la estructura a otra.

#### 1.2.5.2 Separación de estructura

Las separaciones mínimas entre la estructura aislada y los muros de contención u otras obstrucciones fijas que la rodean no podrán ser inferiores al desplazamiento máximo total.

#### 1.2.5.3 Estructuras distintas a edificios

Los requisitos para estructuras distintas a edificios serán los estipulados en el capítulo 15 de ASCE 7-10. Se debe utilizar los desplazamientos de diseño y las fuerzas calculadas conforme a las secciones 1.5 o 1.6.

### 1.2.6 Elementos de estructuras y componentes no estructurales

Las porciones o partes de una estructura aislada, los componentes no estructurales permanentes y sus anclajes, para equipo permanente apoyados sobre una estructura se diseñarán para resistir las fuerzas sísmicas y desplazamientos según lo prescrito en la presente sección y los requisitos que apliquen del capítulo 13 de ASCE 7-10.

#### 1.2.6.1 Componentes en o por encima de la interfaz de aislamiento

Los elementos de estructuras sísmicamente aisladas y los componentes no estructurales, o partes de ellos, que están en o por encima de la interfaz de aislamiento deben ser diseñados para resistir una fuerza sísmica lateral total igual a la respuesta dinámica máxima del elemento o componente en cuestión.

**EXCEPCIÓN:** Elementos de estructuras sísmicamente aislados y componentes no estructurales o partes diseñados para resistir fuerzas sísmicas y desplazamientos según lo prescrito en AGIES NSE 3-10 y el capítulo 13 de ASCE 7-10.

#### 1.2.6.2 Componentes que cruzan el interfaz de aislamiento

Elementos de estructuras sísmicamente aislados y componentes no estructurales, o partes de los mismos, que atraviesan la interfaz de aislamiento deben ser diseñados para resistir el desplazamiento máximo total.

### 1.2.6.3 Los componentes por debajo de la interfaz de aislamiento

Elementos de estructuras sísmicamente aislados y componentes no estructurales, o partes de los mismos, que están por debajo de la interfaz de aislamiento deberán estar diseñados y construidos de acuerdo con los requisitos de AGIES NSE 3-10.

## 1.3 CONDICIONES DE SITIO PARA SISTEMAS AISLADOS

### 1.3.1 Espectros de Diseño

Se permiten los procedimientos para determinar sismos específicos para un sitio determinado, según lo establecido en la sección 4.4 de AGIES NSE 2-10 para cualquier estructura. Para las estructuras que se encuentren en sitios clase F, se realiza el mismo procedimiento que se describe en la norma y capítulo citado anteriormente. Para estructuras sísmicamente aisladas en sitios con  $S_{1r}$  mayor o igual a 0.6, se realizará un análisis de amenaza sísmica, de acuerdo con la Sección 21.2 del ASCE 7-10. Las estructuras que no requieren o utilizan procedimientos de análisis de condiciones específicas de sitio serán analizadas utilizando el espectro de diseño para el sismo de diseño desarrollado de acuerdo con la Sección 4.3.4 de AGIES NSE 2-10.

Un espectro de diseño se construirá para el máximo sismo considerado ( $M_{sc}$ ). Este espectro de diseño para el

máximo sismo considerado no se tomará menor de 1,5 veces el espectro de diseño del sismo de diseño.

### 1.3.2 Historias de tiempo de movimientos sísmicos

Cuando se utilicen procedimientos de respuesta de historia de tiempo, los movimientos de sísmicos estarán constituidos por pares de componentes de la aceleración del movimiento sísmico horizontal apropiados, desarrollados según el capítulo 1 de AGIES NSE 3-10.

## 1.4 SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

Las estructuras aisladas sísmicamente, excepto las definidas en la Sección 1.4.1, se diseñarán siguiendo los procedimientos dinámicos de la Sección 1.6.

### 1.4.1 Procedimiento de carga sísmica estática equivalente

Se permite utilizar el procedimiento de la fuerza lateral equivalente a la Sección 1.5 para el diseño de una estructura aislada sísmicamente siempre que:

1. La estructura se encuentra en un sitio con  $S_{1r}$  menos de 0,60 g.
2. La estructura se encuentra en un sitio de Clase A, B, C, o D.
3. La estructura por encima de la interfaz de aislamiento es menor o igual a cuatro pisos o 65 pies (19,8 m) de altura estructural,  $H_N$ .
4. El período efectivo de la estructura aislada en el desplazamiento

- máximo,  $T_M$ , es menor o igual a 3,0 s.
5. El período efectivo de la estructura aislada en el desplazamiento de diseño,  $T_D$ , es mayor que tres veces el período fundamental, de base fija de la estructura por encima del sistema de aislamiento según se determina por la ecuación 2-3 de AGIES NSE 3.
  6. La estructura por encima del sistema de aislamiento tiene una configuración regular.
  7. El sistema de aislamiento cumple con todos los siguientes criterios:
    - a. La rigidez efectiva del sistema de aislamiento en el desplazamiento de diseño es mayor que un tercio de la rigidez efectiva en el 20 por ciento del desplazamiento de diseño.
    - b. El sistema de aislamiento es capaz de producir una fuerza de restauración como específica en la Sección 1.2.4.4.
    - c. El sistema de aislamiento no limita el desplazamiento del máximo sismo considerado a un valor menor que el desplazamiento total máximo.

#### 1.4.2 Procedimientos Dinámicos

Se permiten los procedimientos dinámicos de la Sección 1.6 para ser utilizados como se especifica en esta sección.

##### 1.4.2.1 Procedimiento de análisis modal espectral

El procedimiento de análisis modal espectral no se utilizará para el diseño de una estructura aislada sísmicamente a menos que:

1. La estructura se encuentra en un sitio de Clase A, B, C, o D.
2. El sistema de aislamiento cumple con los criterios del numeral 7 de la sección 1.4.1.

##### 1.4.2.2 Procedimiento de análisis de la respuesta de historia de tiempo

El procedimiento de la respuesta de historia de tiempo se permite para el diseño de cualquier estructura aislada sísmicamente y se utilizará para el diseño de todas las estructuras sísmicamente aislada que no cumplen con los criterios de la Sección 1.4.2.1.

## 1.5 PROCEDIMIENTO ESTÁTICO EQUIVALENTE

### 1.5.1 General

Cuando se utilice el procedimiento estático equivalente para diseñar estructuras aisladas sísmicamente, se aplicarán los requisitos de esta sección.

### 1.5.2 Características de deformación del sistema de aislamiento

Los desplazamientos laterales mínimos de diseño y las fuerzas en estructuras sísmicamente aisladas se basarán en las características de deformación del sistema de aislamiento. Las características de deformación del sistema de aislamiento deberán incluir

explícitamente los efectos del sistema de restricción de desplazamientos por viento si un sistema de este tipo se utiliza para cumplir con los requisitos de diseño de esta norma. Las características de la deformación del sistema de aislamiento se basarán en pruebas debidamente documentadas, realizadas de conformidad con la Sección 17.8 del ASCE 7-10.

### 1.5.3 Desplazamientos laterales mínimo

#### 1.5.3.1 Desplazamiento de diseño

El sistema de aislamiento debe ser diseñado y construido para soportar los desplazamientos laterales mínimos del diseño sísmico,  $D_D$ , que actúan en la dirección de cada uno de los principales ejes horizontales de la estructura utilizando la ecuación. 1.5-1:

$$D_D = \frac{g S_{1D} T_D}{4\pi^2 B_D} \quad (1.5-1)$$

Dónde:

$g$  = aceleración de la gravedad. Las unidades de  $g$  se in/s<sup>2</sup> (mm/s<sup>2</sup>) si las unidades del desplazamiento de diseño,  $D_D$ , son pulgadas (mm)

$S_{1D}$  = Aceleración espectral de diseño para un período de 1 s en unidades de  $g$ -s, determinado según la ecuación 4-5 de AGIES NSE 2-10 para un 5% de amortiguamiento para su sismo de diseño.

$T_D$  = período efectivo de la estructura aislada sísmicamente en segundos, para el desplazamiento de diseño en

la dirección considerada, según lo prescrito por la ecuación 1.5-2.

$B_D$  = coeficiente numérico relacionado al amortiguamiento efectivo,  $\beta_D$ , del sistema de aislamiento en el desplazamiento de diseño como se establece en la Tabla 1.5-1.

Tabla 1.5-1 Coeficientes de amortiguamiento,  $B_D$  o  $B_M$

Amortiguamiento efectivo, $\beta_D$ o $\beta_M$ (porcentaje de crítico)	Factor $B_D$ o $B_M$
≤2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
≥50	2.0

Fuente: tabla tomada del ASCE 7-10, sección 17.5.3.1

#### 1.5.3.2 Período efectivo para desplazamiento de diseño

El período de la estructura aislada para el desplazamiento de diseño,  $T_D$ , se determinará según las características de deformación del sistema de aislamiento y la Eq. 1.5-2:

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{Dmin} g}} \quad (1.5-2)$$

donde

$W$  = peso sísmico de la estructura por encima de la interfaz de aislamiento

como se define en la sección 1.10.3 de AGIES NSE 3-10.

$k_{Dmin}$  = rigidez efectiva mínima en kips / in. (kN / mm) del sistema de aislamiento en el desplazamiento de diseño en la dirección horizontal bajo consideración, según lo prescrito por la ecuación. 1.8-4

$g$  = aceleración de la gravedad

### 1.5.3.3 Desplazamiento máximo

El desplazamiento máximo del sistema de aislamiento,  $D_M$ , en el sentido más crítico de la respuesta horizontal se calculará mediante la ecuación. 1.5-3:

$$D_M = \frac{g S_{1s} T_M}{4\pi^2 B_M} \quad (1.5-3)$$

Donde

$g$  = aceleración de la gravedad

$S_{1s}$  = Aceleración espectral de diseño para un período de 1 s en unidades de  $g$ -s, determinado según la ecuación 4-5 de AGIES NSE 2-10 para un 5% de amortiguamiento para su máximo sismo considerado.

$T_M$  = período efectivo, en segundos, de la estructura aislada sísmicamente en el desplazamiento máximo en la dirección considerada, según lo prescrito por la ecuación. 1.5-4

$B_M$  = coeficiente numérico relacionado al amortiguamiento efectivo,  $\beta_M$ , del sistema de aislamiento en el desplazamiento máximo tal como se expone en la Tabla 1.5-1

### 1.5.3.4 Período efectivo en el desplazamiento máximo

El período de la estructura aislada en el desplazamiento máximo,  $T_M$ , se determinará según las características de deformación del sistema de aislamiento y Eq. 1.5-4:

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{Mmin} g}} \quad (1.5-4)$$

Donde

$W$  = peso sísmico de la estructura por encima de la interfaz de aislamiento como se define en la sección 1.10.3 de AGIES NSE 3-10.

$k_{Mmin}$  = rigidez efectiva mínima, en kips / in. (kN / mm), del sistema de aislamiento en el desplazamiento máximo en la dirección horizontal bajo consideración, según lo prescrito por la ecuación. 1.8-6

$g$  = aceleración de la gravedad

### 1.5.3.5 Desplazamiento total

El desplazamiento total de diseño,  $D_{TD}$ , y el desplazamiento total máximo,  $D_{TM}$ , de elementos del sistema de aislamiento deberán incluir el desplazamiento adicional debido a la torsión real y accidental calculado a partir de la distribución espacial de la rigidez lateral del sistema de aislamiento y la ubicación más desfavorable de excentricidad de la masa.

El desplazamiento total de diseño,  $D_{TD}$ , y el desplazamiento total máximo,  $D_{TM}$ , de los elementos de un sistema de aislamiento con una distribución espacial uniforme de rigidez lateral no

se tomarán como inferior a la especificada por las ecuaciones. 1.5-5 y 1.5-6:

$$D_{TD} = D_D \left[ 1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad (1,5-5)$$

$$D_{TM} = D_M \left[ 1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad (1,5-6)$$

Donde

$D_D$  = desplazamiento de diseño desde el centro de la rigidez del sistema de aislamiento en la dirección considerada según lo prescrito por la ecuación. 1.5-1

$D_M$  = desplazamiento máximo en el centro de la rigidez del sistema de aislamiento en la dirección considerada según lo prescrito por la ecuación. 1.5-3

$y$  = la distancia entre los centros de rigidez del sistema de aislamiento y el elemento de interés medido perpendicular a la dirección de la carga sísmica bajo consideración

$e$  = la excentricidad real medida en planta entre el centro de masa de la estructura por encima de la interfaz de aislamiento y el centro de la rigidez del sistema de aislamiento, además de la excentricidad accidental, en pies (mm), tomada como 5 por ciento de la dimensión más larga en planta de la estructura perpendicular a la dirección de la fuerza bajo consideración

$b$  = la dimensión corta de la estructura en planta medida perpendicularmente a  $d$ .

$d$  = la dimensión más larga en planta de la estructura

**EXCEPCIÓN:** El desplazamiento total de diseño,  $D_{TD}$ , y el desplazamiento total máximo,  $D_{TM}$ , puede ser tomado menor que el valor calculado por las ecuaciones. 1.5-5 y 1.5-6, respectivamente, pero no inferior a 1.1 veces  $D_D$  y  $D_M$ , respectivamente, siempre que se demuestre mediante cálculo el sistema de aislamiento está configurado para resistir la torsión resultante.

#### 1.5.4 Fuerzas lateral mínima

##### 1.5.4.1 Sistema de aislamiento y elementos estructurales por debajo del sistema de aislamiento

El sistema de aislamiento, la cimentación, y todos los elementos estructurales por debajo del sistema de aislamiento deben ser diseñados y construidos para resistir una fuerza sísmica lateral mínima,  $V_b$ , utilizando todos los requisitos adecuados para una estructura no aislada y según lo prescrito por la ecuación. 1.5-7:

$$V_b = k_{D_{max}} D_D \quad (1.5-7)$$

Donde

$k_{D_{max}}$  = rigidez máxima efectiva, en kips / in. (kN / mm), del sistema de aislamiento en el desplazamiento de diseño en la dirección horizontal en consideración según lo prescrito por la ecuación. 1.8-3.

$D_D$  = desplazamiento de diseño, en mm (pulg), en el centro de la rigidez del sistema de aislamiento en la

dirección considerada, según lo prescrito por la ecuación. 1.5-1

$V_b$ , será al menos igual a la fuerza máxima en el sistema de aislamiento en cualquier desplazamiento hasta el desplazamiento de diseño.

#### 1.5.4.2 Elementos Estructurales sobre el sistema de aislamiento

La estructura sobre el sistema de aislamiento debe ser diseñada y construida para soportar una fuerza de corte mínimo,  $V_s$ , utilizando todos los requisitos adecuados para una estructura no aislada y según lo prescrito por la ecuación. 1.5-8:

$$V_s = \frac{k_{Dmax} D_D}{R_I} \quad (1.5-8)$$

Donde

$k_{Dmax}$  = rigidez máxima efectiva, en kips / in. (kN / mm), del sistema de aislamiento en el desplazamiento de diseño en la dirección horizontal bajo consideración.

$D_D$  = desplazamiento de diseño, en mm (pulg), en el centro de la rigidez del sistema de aislamiento en la dirección considerada, según lo prescrito por la ecuación. 1.5-1.

$R_I$  = coeficiente numérico relacionado con el tipo de sistema sismo resistente por encima del sistema de aislamiento. El factor de  $R_I$  se basará en el tipo de sistema sismo resistente utilizado para la estructura sobre el sistema de aislamiento y será de tres octavos del valor de  $R$  dada en la Tabla 1-1 de AGIES NSE 3-10, con un

valor máximo no superior a 2,0 y un valor mínimo no inferior a 1,0.

#### 1.5.4.3 Límites de $V_s$

El valor de  $V_s$ , no se tomará menor a lo siguiente:

1. La fuerza sísmica lateral requerida por el capítulo 2 de AGIES NSE 3-10 para una estructura fija del mismo peso sísmico,  $W$ , y un período igual al período aislado,  $T_D$ .
2. El cortante en la base correspondiente a la carga de diseño de viento factorizada.
3. La fuerza sísmica lateral necesaria para activar completamente el sistema de aislamiento multiplicado por 1.5.

#### 1.5.5 Distribución vertical de la fuerza

La fuerza de corte  $V_s$  se distribuye en la altura de la estructura por encima de la interfaz de aislamiento usando la ecuación. 1.5-9:

$$F_x = \frac{V_s w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \quad (1.5-9)$$

Donde

$F_x$  = porción de  $V_s$  que se asigna a Nivel  $x$

$V_s$  = fuerza lateral sísmica de diseño o cortante en elementos sobre el sistema de aislamiento según lo prescrito por la ecuación. 1.5-8

$w_x$  = porción de  $W$  que se asigna al Nivel  $x$

$h_x$  = altura sobre la base del nivel  $x$ .

En cada nivel designado como  $x$ , la fuerza,  $F_x$ , se aplica sobre el área de la estructura de acuerdo con la distribución de la masa en el nivel.

#### 1.5.6 Límites de derivas

El límite máximo de derivas de la estructura sobre el sistema de aislamiento no excederá  $0.015h_{sx}$ . La deriva se calcula por la ecuación 4-4 de AGIES NSE 3-10 con  $C_d$  para la estructura aislada igual a  $R_l$  como está definido en la Sección 1.5.4.2.

## 1.6 PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DINÁMICOS

### 1.6.1 General

Cuando se utilice el análisis dinámico para diseñar estructuras aisladas sísmicamente, se aplicarán los requisitos de esta sección.

### 1.6.2 Modelado

Los modelos matemáticos de la estructura aislada, incluyendo el sistema de aislamiento, el sistema de resistencia lateral, y otros elementos estructurales deben cumplir con el capítulo 3 de AGIES NSE 3-10, la sección 12.7.3 del ASCE 7-10 y los requisitos de las Secciones 1.6.2.1 y 1.6.2.2.

#### 1.6.2.1 Sistema de Aislamiento

El modelo del sistema de aislamiento deberá basarse en las características de deformación obtenidas y verificadas por las pruebas de conformidad con los requisitos de la

sección 1.5.2. El sistema de aislamiento se puede modelar con suficiente detalle para:

- a. Mostrar la distribución de las unidades de aisladores.
- b. Cálculo de translación, en ambas direcciones horizontales y la torsión de la estructura por encima de la interfaz de aislamiento teniendo en cuenta la ubicación más desfavorable de excentricidad de la masa.
- c. Evaluar volteo / fuerzas de levantamiento de unidades aislantes individuales.
- d. Considerar para los efectos de la carga vertical, la carga bilateral, y / o la tasa de carga si las propiedades fuerza - deformación del sistema de aislamiento son dependientes de uno o más de estos atributos.

El desplazamiento de diseño total y el desplazamiento máximo total del sistema de aislamiento deben ser calculados utilizando un modelo de la estructura aislada que incorpore las características de la fuerza de deflexión de elementos no lineales del sistema de aislamiento y el sistema resistente a fuerzas sísmicas.

#### 1.6.2.2 Estructura Aislada

El desplazamiento máximo de cada nivel y el diseño de fuerzas y desplazamientos en los elementos del sistema resistente a fuerzas sísmicas puede ser calculado utilizando un modelo elástico lineal de la estructura

aislada siempre que ambas de las siguientes condiciones se cumplen:

1. Las propiedades de rigidez asumidos para los componentes no lineales del sistema de aislamiento se basan en la rigidez máxima eficaz del sistema de aislamiento; y
2. Todos los elementos del sistema de resistencia lateral de la estructura por encima del sistema de aislamiento permanecen elásticos para el sismo de diseño.

Sistemas de resistencia lateral con elementos elásticos incluyen, pero no se limitan a, sistemas estructurales irregulares diseñados para una fuerza lateral no menos de 100 por ciento de  $V_s$  y sistemas estructurales regulares diseñados para una fuerza lateral no menos de 80 por ciento de  $V_s$ , donde  $V_s$  se determina de acuerdo con la Sección 1.5.4.2.

### 1.6.3 Descripción de procedimientos

#### 1.6.3.1 General

Los procedimientos de análisis modal del espectro de respuesta sísmica e historia de respuesta sísmica en el tiempo deben ser desarrollados de acuerdo al capítulo 3 de AGIES NSE 3-10, capítulo 16 de ASCE 7-10 y los requerimientos de esta sección.

#### 1.6.3.2 Sismo de diseño

El sismo de diseño debe ser usado para calcular el desplazamiento total de diseño del sistema de aislamiento y las fuerzas laterales y

desplazamientos en la estructura aislada. El máximo sismo considerado debe ser usado para calcular el desplazamiento máximo total del sistema aislado.

#### 1.6.3.3 Procedimiento del análisis modal del espectro de respuesta

El análisis modal del espectro de respuesta debe ser desarrollado usando un valor de amortiguamiento para el modo fundamental en la dirección de interés no mayor al amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento o 30 por ciento del sismo crítico, cualquiera que sea menor.

El análisis modal del espectro de respuesta se realiza usando un valor de amortiguamiento modal para el modo fundamental en la dirección de interés no mayor que el amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento o 30 por ciento del crítico, el que sea menor. Los valores modales de amortiguamiento para los modos más altos serán seleccionados consistentemente con los que sería apropiado para el análisis modal del espectro de respuesta de la estructura por encima del sistema de aislamiento suponiendo una base fija.

El análisis modal del espectro de respuesta utilizado para determinar el desplazamiento total de diseño y el desplazamiento total máximo debe incluir la excitación simultánea del modelo en un 100 por ciento del

movimiento del suelo en la dirección crítica y 30 por ciento del movimiento del suelo en la dirección perpendicular, horizontal. El desplazamiento máximo del sistema de aislamiento se calcula como la suma vectorial de los dos desplazamientos ortogonales. El corte de diseño en cualquier piso no debe ser inferior al corte resultante de la aplicación de las fuerzas de nivel calculados usando la ecuación 1.5-9 y un valor de  $V_s$  igual al corte basal obtenido desde el análisis modal del espectro de respuesta en la dirección de interés.

#### 1.6.3.4 Procedimiento de historia de respuesta sísmica en el tiempo

Cuando se lleva a cabo un procedimiento de historia de respuesta sísmica en el tiempo, un conjunto de no menos de tres pares de movimientos de suelo se utilizará en el análisis; los pares de movimientos sísmicos serán seleccionados, y se ajustan de acuerdo con la Sección 1.3.2.

Cada par de componentes de movimiento sísmico se aplica simultáneamente al modelo teniendo en cuenta la ubicación más desfavorable de la masa excéntrica. El desplazamiento máximo del sistema de aislamiento se calcula a partir de la suma vectorial de los dos desplazamientos ortogonales en cada paso de tiempo.

Los parámetros de interés se calcularán para cada movimiento del suelo utilizado para el análisis de la historia de la respuesta. Si se utilizan siete o más pares de movimientos sísmicos para el análisis de la historia de la respuesta, se permite usar el valor medio del parámetro de respuesta de interés para el diseño. Si se usan menos de siete pares de movimientos sísmicos para el análisis, el valor máximo del parámetro de respuesta de interés se utilizará para el diseño.

#### 1.6.4 Desplazamiento y fuerzas laterales mínimas

##### 1.6.4.1 Sistema de aislamiento y elementos estructurales bajo el sistema de aislación

El sistema de aislamiento, la cimentación, y todos los elementos estructurales por debajo del sistema de aislamiento deberán ser diseñados utilizando todos los requisitos adecuados para una estructura no aislada y las fuerzas obtenidas del análisis dinámico sin reducción, pero las fuerzas laterales de diseño no se tendrán como menos del 90 por ciento de  $V_b$  determinada de conformidad a lo prescrito por la ecuación. 1.5-7.

El desplazamiento de diseño total del sistema de aislamiento no debe ser tomado menor al 90 por ciento de  $D_{TD}$  como se especifica en la Sección 1.5.3.5. El desplazamiento máximo

total del sistema de aislamiento no debe ser tomado como menor al 80 por ciento de  $D_{TM}$  según lo prescrito por la Sección 1.5.3.5.

Los límites en los desplazamientos especificados por esta sección deberán ser evaluados utilizando los valores de  $D_{TD}$  y  $D_{TM}$  determinados de acuerdo con la Sección 1.5.5, excepto que  $D_D$  se puede utilizar en lugar de  $D_D$  y  $D'_M$  se puede ser utilizado en lugar de  $D_M$  como se prescribe en las ecuaciones. 1.6-1 y 1.6-2:

$$D'_D = \frac{D_D}{\sqrt{1+(T/T_D)^2}} \quad (1.6-1)$$

$$D'_M = \frac{U_M}{\sqrt{1+(T/T_M)^2}} \quad (1.6-2)$$

Donde

$D_D$  = desplazamiento de diseño, en mm (pulg.), en el centro de la rigidez del sistema de aislamiento en la dirección considerada, según lo prescrito por la Ec. 1.5-1

$D_M$  = desplazamiento máximo en mm (pulg.), en el centro de la rigidez del sistema de aislamiento en la dirección considerada, según lo prescrito por la Ec. 1.5-3

$T$  = Período de la estructura fija por encima del sistema de aislamiento según se determina en la ecuación 2-5 de AGIES NSE 3.

$T_D$  = período efectivo, en s, de la estructura sísmicamente aislada, en el desplazamiento de diseño en la dirección que se trate, según lo prescrito por la Ec. 1.5-2

$T_M$  = período efectivo, en s, de la estructura sísmicamente aislado, en el desplazamiento máximo en la dirección considerada, según lo prescrito por la Ec. 1.5-4

#### 1.6.4.2 Elementos estructurales sobre el sistema de aislamiento

Sujeto a los límites específicos del procedimiento de esta sección, los elementos estructurales sobre el sistema de aislamiento deberán ser diseñados usando los requisitos adecuados para una estructura no aislada y las fuerzas obtenidos del análisis dinámico reducido por un factor de  $R_I$ , definido de conformidad a la sección 1.5.4.2.

La fuerza de corte lateral de diseño para la estructura por encima del sistema de aislamiento, si es de configuración regular, no deberá usarse menor al 80 por ciento de  $V_s$ , o inferior a los límites especificados en la Sección 1.5.4.3.

**EXCEPCIÓN:** La fuerza de corte lateral sobre la estructura por encima del sistema de aislamiento, si es regular en configuración, para ser tomada menor al 80 por ciento, pero no inferior al 60 por ciento de  $V_s$ , cuando se utiliza el procedimiento de la historia de la respuesta sísmica en el tiempo de la estructura sísmicamente aislado.

El diseño de la fuerza cortante lateral sobre la estructura por encima del

sistema de aislamiento, si es irregular en configuración, no se tomará menor a  $V_s$  o inferior a los límites especificados en la Sección 1.5.4.3.

EXCEPCIÓN: El diseño de la fuerza de corte lateral sobre la estructura por encima del sistema de aislamiento, si es irregular en configuración, podrá ser tomada menor de 100 por ciento, pero no inferior al 80 por ciento de  $V_s$ , cuando se utiliza el procedimiento de análisis de historia de la respuesta sísmica de la estructura sísmicamente aislada.

#### 1.6.4.3 Ajuste de resultados

Cuando la fuerza de corte lateral factorizada en los elementos estructurales, determinada utilizando ya sea el análisis modal por espectro de respuesta o el procedimiento de historia de la respuesta sísmica en el tiempo, es inferior a los valores mínimos exigidos por las secciones 1.6.4.1 y 1.6.4.2, todos los parámetros de respuesta, incluidas las fuerzas y los momentos en los miembros, se ajustarán hacia arriba proporcionalmente.

#### 1.6.4.4 Límite de derivas

La deriva de piso máxima correspondiente a la fuerza lateral de diseño incluyendo el desplazamiento debido a la deformación vertical del sistema de aislamiento no deberá exceder de los límites siguientes:

1. La deriva de piso máxima de la estructura sobre el sistema de

aislamiento calculado por análisis modal no excederá  $0.015h_{sx}$ .

2. La deriva de piso máxima de la estructura sobre el sistema de aislamiento calculada por análisis de la historia de la respuesta sísmica basada en las características de esfuerzo-deformación de los elementos no lineales a la fuerza sísmica del sistema de resistencia no excederá  $0.020h_{sx}$ .

La deriva se calculará mediante las ecuaciones 4.4 a 4.6 de AGIES NSE 3-10, con el  $C_d$  de la estructura aislada igual a  $R_i$  como se define en la Sección 1.5.4.2. Los efectos secundarios del desplazamiento lateral máximo considerado de la estructura por encima del sistema de aislamiento combinada con las fuerzas de gravedad se investigan si la relación de la deriva de piso excede  $0.010 / R_i$ .

## 1.7 REVISIÓN DE DISEÑO

Una revisión del diseño del sistema de aislamiento y programas de prueba relacionados deberá ser realizada por un equipo de ingenieros independientes con licencia en las disciplinas apropiadas y con experiencia en métodos de análisis sísmicos y la teoría y aplicación de aislamiento sísmico. La revisión del diseño del sistema de aislamiento deberá incluir, pero no limitarse a, lo siguiente:

1. Revisión de criterios sísmicos específicos del sitio, incluyendo el

desarrollo del espectro de diseño y de movimientos sísmicos específicos del sitio y todos los demás criterios de diseño desarrollados específicamente para el proyecto.

2. Revisión del diseño preliminar incluyendo la determinación del desplazamiento total del diseño, el desplazamiento máximo total y el nivel de fuerza lateral.

3. Descripción y observación de las pruebas de prototipos (Sección 17.8 del ASCE 7-10).

4. Revisión del diseño final de todo el sistema estructural y todos los análisis de apoyo.

5. Revisión del programa de pruebas de control de calidad del sistema de aislamiento (Sección 1.2.4.9).

## 1.8 PRUEBAS

### 1.8.1 General

Debido a que no existe fabricación local de aisladores, cualquier consulta o información sobre las pruebas que se realizan a los prototipos consultar la sección 17.8 de la ASCE 7-10.

Fuente: traducción del capítulo 17 del ASCE 7-10, adaptando parámetros para Guatemala.