



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE  
ESCUELA DE INGENIERÍA

# **INTERACCION SUELO ESTRUCTURA EN UN EDIFICIO DE PLANTA IRREGULAR**

**EDWIN ASTETE JUAREZ**

Informe de Actividad de Graduación para optar al Grado de  
Magíster en Ingeniería Estructural y Geotécnica

Profesor Supervisor:  
**ESTEBAN SAEZ ROBERT**

Santiago de Chile, Noviembre 2015

Dedicado:

A mi hija y a mi esposa por su comprensión  
y sacrificio al permitirme concluir esta  
meta.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres y hermanos por su constante aliento.

A la plana docente y administrativa del programa Magister en Ingeniería Estructural y Geotécnica, por su orientación y acompañamiento en mi formación académica.

A las personas que fueron parte de esta experiencia, con las que compartí momentos agradables y adversos que forjaron mi espíritu.

## INDICE

1. INTRODUCCION .....	1
2. CASO DE ESTUDIO .....	5
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA: .....	5
2.2. PARÁMETROS DE DISEÑO DE HORMIGÓN:.....	7
2.3. PARÁMETROS DEL SUELO DE FUNDACIÓN:.....	7
3. ANÁLISIS SÍSMICA.....	10
3.1. NORMA PERUANA E.30:.....	10
3.2. DEFINICIÓN MODELO ÉTABS:.....	14
3.3. MODELO DINÁMICO DE INTERACCIÓN SÍSMICA SUELO-ESTRUCTURA: .....	16
4. RESULTADOS Y COMENTARIOS .....	26
5. CONCLUSIONES .....	32
ANEXOS .....	34
REFERENCIAS.....	45

## INDICE FIGURAS

Figura 1: VISTAS DE LA EDIFICACION EN ESTUDIO .....	2
Figura 2: DISTRIBUCION DE ZAPATAS.....	3
Figura 3: ESTRATIGRAFÍA TERRENO .....	8
Figura 4: APLICACIÓN NORMA PERUANA E.30 .....	10
Figura 5: ESPECTRO DE SISMO NORMA E-30 .....	11
Figura 6: ACELEROGRAMA SINTETICO.....	12
Figura 7: GENERACIÓN ALEATORIA DE ESPECTRO DE ACELERACIONES .....	13
Figura 8: EDIFICACION 3D.....	14
Figura 9: MODOS DE LA ESTRUCTURA .....	15
Figura 10: ESPECTRO ELASTICO .....	17
Figura 11: SOLUCIONES ELASTICAS POR RESORTES LIMITADOS PARA CIMENTACIONES RIGIDAS.....	19
Figura 12: ESPECTRO DE SISMO CONSIDERANDO EFECTO CINEMATICO .....	23
Figura 13: ESPECTRO DE LOS SISMOS SINTETICOS CONSIDERANDO EFECTO CINEMATICO .....	23
Figura 14: COMPARACION ACELEROGRAMAS SINTETICOS CON Y SIN EFECTO CINEMATICO .....	24
Figura 15 : COMPARACIÓN DE ESPECTROS SINTÉTICOS PROMEDIOS .....	25
Figura 16 : DETALLE DE ESPECTROS SINTETICOS Y PERIODOS DE MODOS TRASLACIONALES.....	25
Figura 17 : COMPARACION RESPUESTAS -- BASE EMPOTRADA VS BASE ELASTICA – SISMO .....	29
Figura 18 : COMPARACION RESPUESTAS -- BASE EMPOTRADA VS BASE ELASTICA – SISMO YY .....	31
Figura A 1 : SISMOS SINTETICOS SENTIDO XX – BASE EMPOTRADA .....	35
Figura A 2 : SISMOS SINTETICOS SENTIDO YY – BASE EMPOTRADA .....	36
Figura A 3 : SISMOS SINTETICOS SENTIDO XX – BASE ELASTICA .....	37
Figura A 4 : SISMOS SINTETICOS SENTIDO YY – BASE ELASTICA .....	38
Figura A 5 : Tiempo Historia - DESPLAZAMIENTOS DE ENTREPISOS .....	39
Figura A 6 : Tiempo Historia - ACELERACIONES DE PISOS.....	41
Figura A 7 : Tiempo Historia - FUERZAS CORTANTES POR PISO .....	43

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: DATOS DE LA ESTRATIGRAFIA.....	8
Tabla 2: DATOS GENERALES DE CÁLCULO .....	9
Tabla 3: PERIODOS Y MODOS ESTRUCTURA EMPOTRADA .....	16
Tabla 4: PORCENTAJE DE MODULO CORTANTE (FEMA 356) .....	18
Tabla 5: COEFICIENTES DE RIGIDEZ - INTERACCION SUELO ESTRUCTURA.....	20
Tabla 6: PERIODOS Y MODOS - ESTRUCTURA CON BASE ELASTICA.....	20
Tabla 7 : TABLA RESUMEN DE RESPUESTAS ESTRUCTURALES .....	27

## **RESUMEN**

El propósito de este trabajo es investigar el rol de la interacción dinámica suelo estructura en los esfuerzos internos de una estructura de sección irregular.

Para lograr dicho objetivo, se analizará una estructura mixta de 6 niveles, compuesta por pórticos y muros de corte, que está destinada a funcionar como edificio multifamiliar.

La edificación fue calculada bajo el reglamento nacional de edificaciones del Perú, específicamente con las normas peruanas E.030 “Diseño sismo resistente”.

Las edificaciones se diseñan principalmente bajo el concepto de zapatas empotradas (base empotrada), sin considerar el propio movimiento del suelo de fundación del sismo normado en dicha norma.

Para poder representar la interacción suelo estructura, se aplicara la metodología planteada por el FEMA 356 y FEMA 440.

Se realizará la comparación entre el análisis de la edificación con base empotrada, frente al análisis con base flexible. Los resultados presentados nos indicarán los efectos de la interacción suelo estructura en el diseño de la edificación.

Las respuestas obtenidas, indican variaciones en los drifts como en los esfuerzos cortantes, estos datos son importantes que influyen directamente en el diseño de las estructuras.

## **ABSTRACT**

The goal of the present work is to investigate the role of the dynamic soil-structure interaction in the internal forces of a structure with irregular section.

To achieve this goal, we analyze a mixed six-level structure, consisting of frames and shear walls, intended to serve as a multi-family building.

The building was designed under the National Building Regulations of Peru, specifically with E.030 "earthquake resistant design."

According to this regulations, the building must be designed under the hypothesis of fixed base, regardless of the motion of the foundation soil as indicated in the Peruvian law.

To represent the soil - structure interaction, the methodology proposed by the FEMA 356 and 440 was applied.

Comparing the analysis of the building design under the "fixed based analysis" against the "flexible base analysis", the study clearly highlights effects of soil - structure interaction on the internal forces of the building.

The results obtained show the variation in drifts and shear forces and they are rather important as they directly influence the design of this structures.

## **1. INTRODUCCION**

El Perú pertenece a una zona altamente sísmica, por lo que la seguridad estructural de las edificaciones es muy importante para salvaguardar a la población en su conjunto. La norma actual vigente considera como modelo físico que la edificación vibra junto con el suelo de fundación (el suelo es considerado extremadamente rígido en la cual esta empotrada la cimentación), sin considerar la interacción dinámica que existe entre suelo y la estructura.

El problema a estudiar y analizar es la interacción dinámica suelo estructura en una edificación de seis niveles con planta irregular, cuyos componentes estructurales serán muros de corte, pórticos de concreto, zapatas combinadas y zapatas aisladas. La figura 1 nos muestra diferentes vistas de la edificación mencionada.

Para poder representar de mejor manera las fuerzas internas que se producen en una edificación considerando la interacción del suelo, es necesario conocer las características geométricas de las zapatas de fundación. La figura 2 muestra las dimensiones de las zapatas de fundación de espesor de 0.60 m, cuyo nivel de desplante se encuentra a una profundidad de 3m a partir de la superficie del terreno.

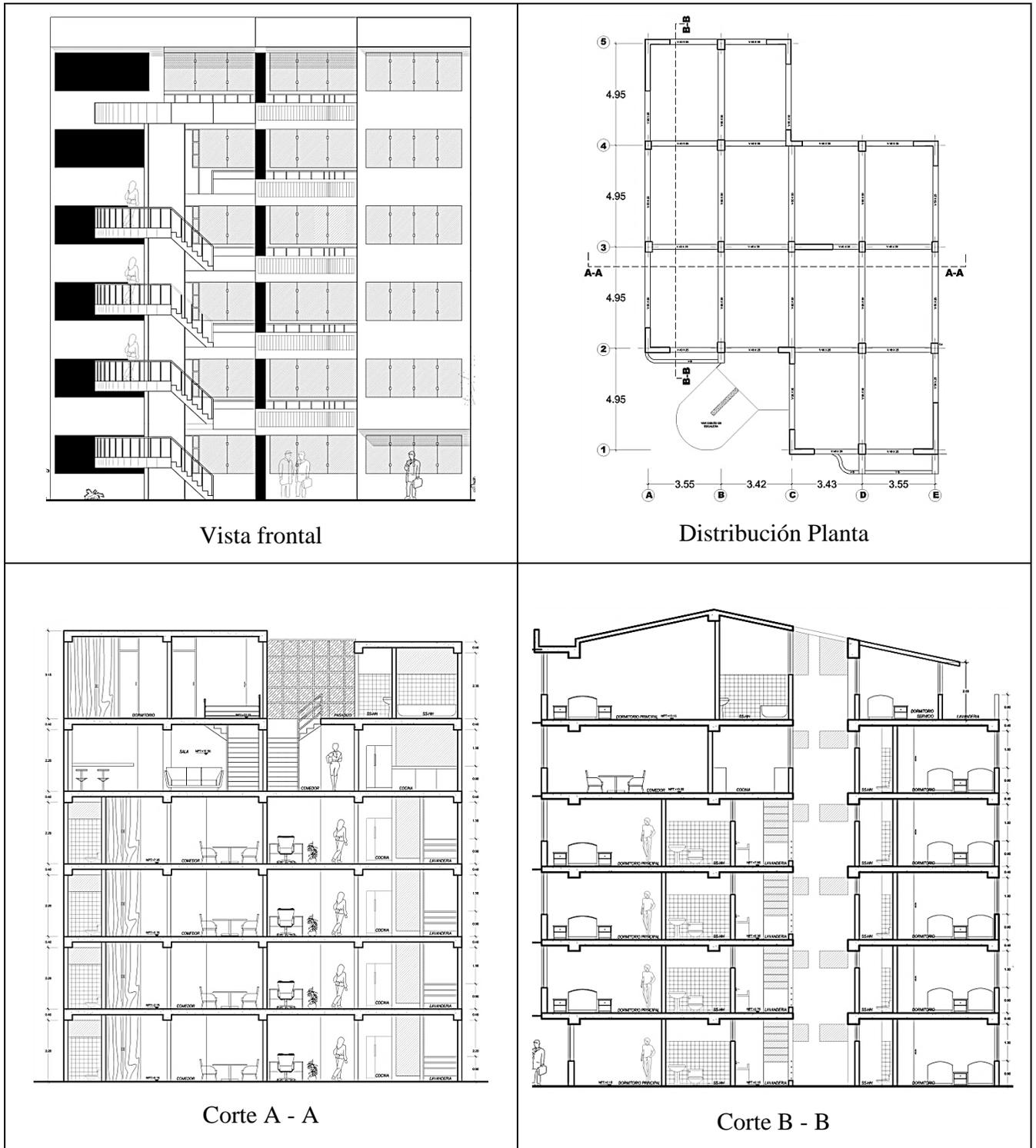


Figura 1: VISTAS DE LA EDIFICACION EN ESTUDIO

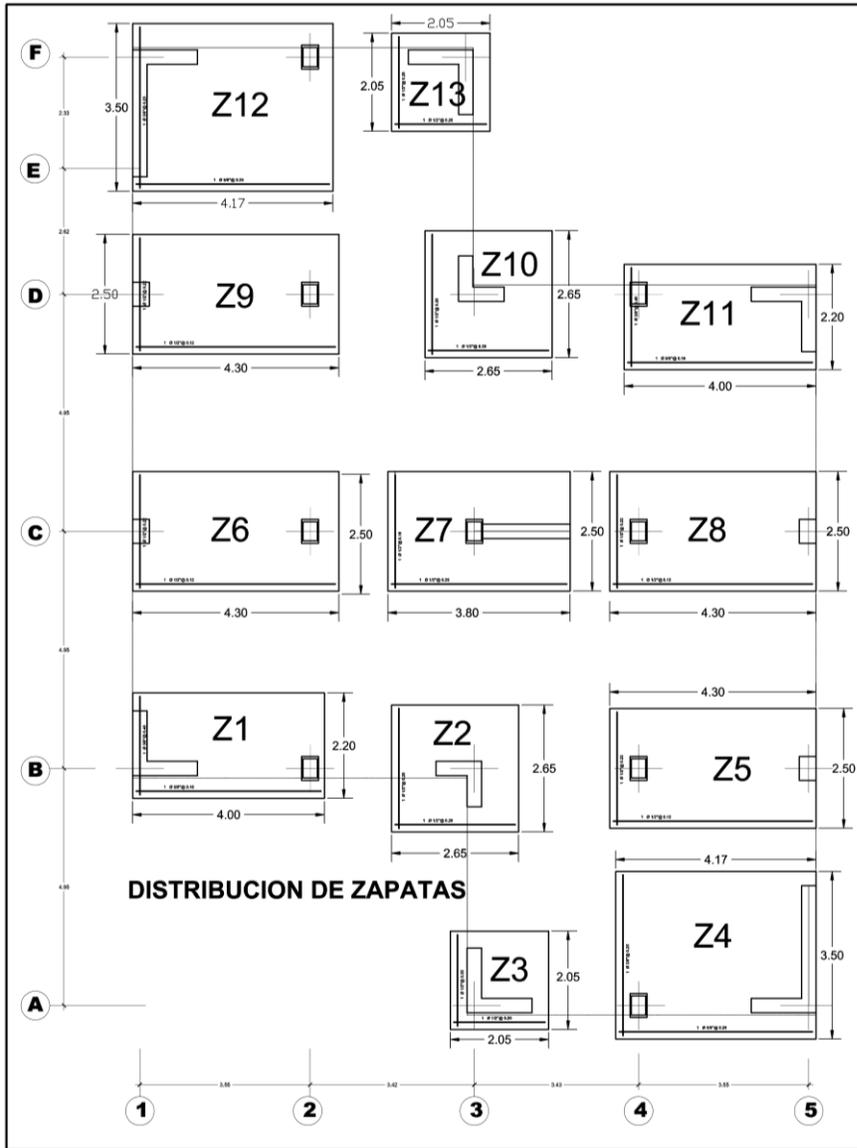


Figura 2: DISTRIBUCION DE ZAPATAS

La investigación que se desarrolla tiene el objetivo de estudiar y comparar los resultados de esfuerzos cortantes y deformaciones de la edificación obtenida con el análisis de elementos finitos (EF) considerando bases empotradas y bases flexibles representadas mediante coeficientes de rigidez. En ambos casos se someterán a un análisis dinámico tiempo historia mediante el software Etabs<sup>1</sup>.

El objetivo principal es mostrar que una edificación diseñada bajo normas peruanas representa en forma parcial el fenómeno real que sucede en una estructura al ser sometida a un sismo considerando la interacción dinámica suelo estructura de una edificación, y que estos efectos influyen directamente en el diseño de las estructuras.

Por lo que se determinaran parámetros de comparación como son las deformaciones, drifts y fuerzas cortantes bajo las normas peruana (base empotrada) para luego someter a esta misma estructura a un sismo y condiciones físicas que representan la interacción dinámica suelo estructura y obtener los mismos parámetros de comparación, para luego realizar una contrastación final.

## **2. CASO DE ESTUDIO**

### **2.1. Descripción de la Estructura:**

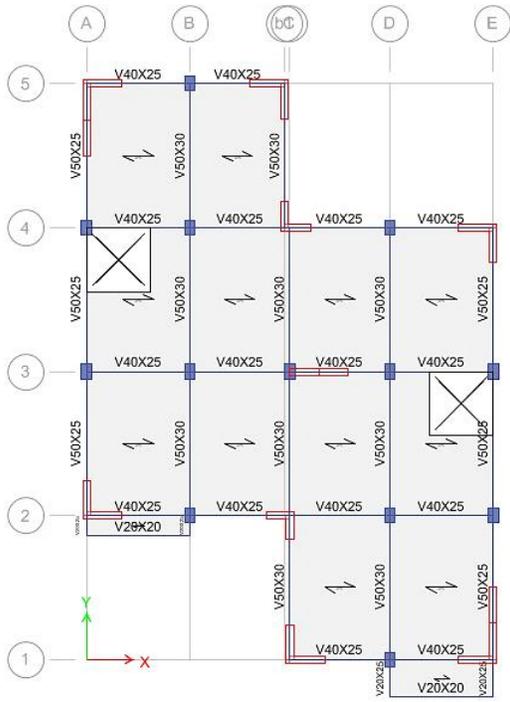
La estructura se encuentra proyectada en la ciudad de Cusco, que cuenta con fundaciones superficiales, con un nivel de desplante de 3m de profundidad, posee un ancho aproximado de 14m y un largo aproximado de 20m, de 6 niveles con una altura total de 15.60m, y estructurado en base a muros cortantes, columnas, vigas, losas aligeradas de hormigón armado. Esta estructura está destinada a ser departamentos familiares.

Al ser una estructura con planta irregular, se debe tener cuidado que los primeros modos deban ser traslacionales, por lo que la disposición de los muros de corte toma importancia para controlar los modos rotacionales durante los primeros modos.

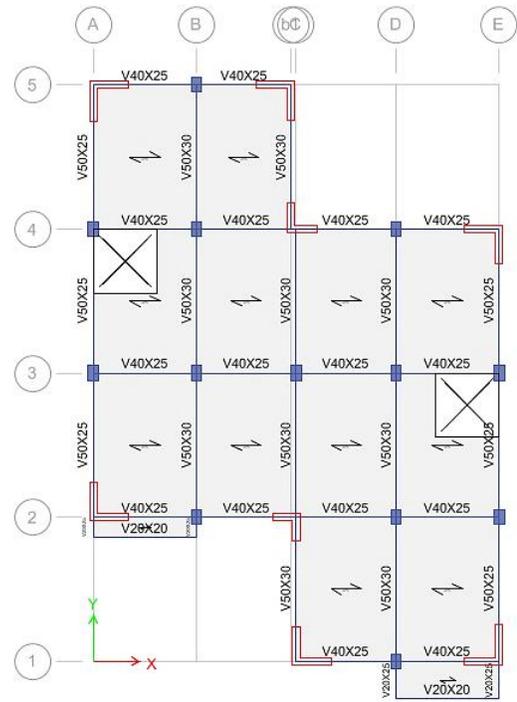
Los muros de corte poseen un espesor de 25cm, las columnas son de 35cm × 50cm, y 30cm × 40cm, las vigas de 40cm × 25cm, 50cm × 25cm, y 50cm × 30cm.

La figura 3, muestra las diferentes distribuciones estructurales que presenta la edificación. Se puede observar que en los elementos estructurales del primer y segundo nivel, los ejes A y E muestran muros de corte de 2.5m y 1.2m de longitud, las columnas en toda la planta son de 35cm × 50cm, en el eje C se encuentran muros cortantes de sección en L con lados de 1.2m y 0.90m, y en el eje 3 se encuentra un muro de corte de 2m de longitud

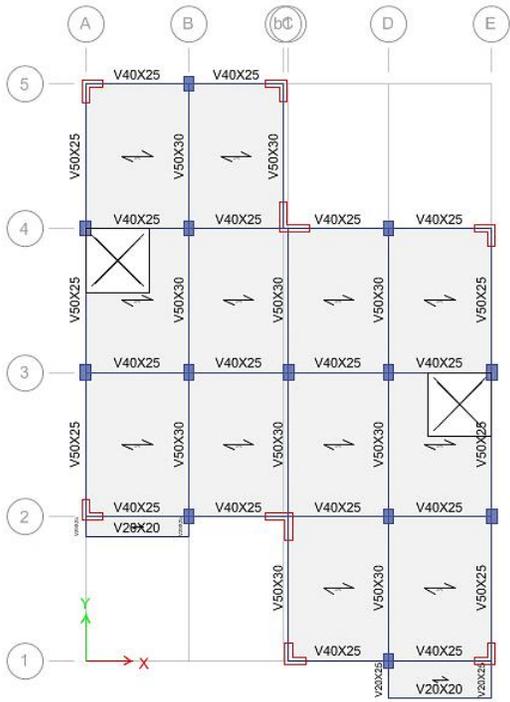
En la descripción de la distribución de los elementos estructurales del tercer nivel, el eje A y E muestra muros de corte de sección L de 1.2m de longitud por lado, las columnas en toda la planta son de 35cm × 50cm, en el eje C se encuentran muros cortantes de sección en L con lados de 1.2m y 0.90m.



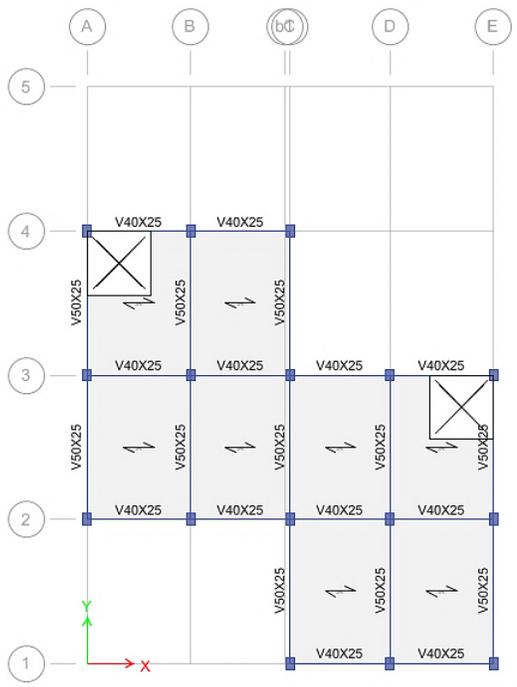
DISTRIBUCION NIVEL 1 Y 2



DISTRIBUCION NIVEL 3



DISTRIBUCION NIVEL 4 y 5



DISTRIBUCION NIVEL 6

Figura 3: DISTRIBUCION ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Continuando con descripción de la distribución de los elementos estructurales del cuarto y quinto nivel, el eje A y E muestra muros de corte de sección L de 0.6m de longitud por lado, en el eje C se encuentran muros cortantes de sección en L con lados de 0.90m, las columnas en toda la tercera planta son de 35cm × 50cm, la columnas en la cuarta planta son de 30cm × 40cm.

Por último observamos en la distribución de los elementos estructurales del sexto nivel, las columnas son de 30cm × 40cm

## **2.2. Parámetros de Diseño de Hormigón:**

El valor del módulo de elasticidad para concretos de densidad normal se puede tomar (ACI 318-08/8.5-1)

$$E_c = 15000 \times \sqrt{f'_c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

El concreto a usar en la superestructura: Columnas, muros estructurales, vigas, losas aligeradas, tienen las siguientes propiedades:

Peso Específico	:	2400 kg/m <sup>3</sup> .
Resistencia a la compresión del concreto	:	210 kg/cm <sup>2</sup> .
Esfuerzo de Fluencia del Acero	:	4200 kg/cm <sup>2</sup> .
Módulo de Elasticidad	:	217 370 kg/cm <sup>2</sup> .
Módulo de Corte	:	0.417 x E <sub>c</sub> = 90 571 kg/cm <sup>2</sup> .
Módulo de Poisson	:	0.20

## **2.3. Parámetros del Suelo de Fundación:**

Las características del suelo se obtienen del informe geotécnico desarrollado por la empresa INGEOTECNIA Geociencias Aplicadas. En dicho Informe se establecen los antecedentes geotécnicos y se definen los parámetros del suelo de fundación.

Al ser una fundación superficial, el laboratorio de mecánica de suelos realizó prospecciones mediante calicatas de hasta 4 metros de profundidad, realizando un reconocimiento visual de la estructura del suelo y su respectiva recolección de muestras para ensayos en laboratorios.

El informe geotécnico indica la presencia de dos estratos. El primer estrato de 0.0 a -1.0 m. corresponde a un relleno antrópico constituido por gravas, arenas, limos y piedras en matriz arcillosa. El segundo estrato de -1.0 m a -4.0 m corresponde a un suelo grueso identificado como una grava mal graduada con limo y arena GP-GM, que presenta una consistencia media y color marrón claro. Además no se evidencia nivel freático superficial. La estratigrafía se muestra en la figura 3.

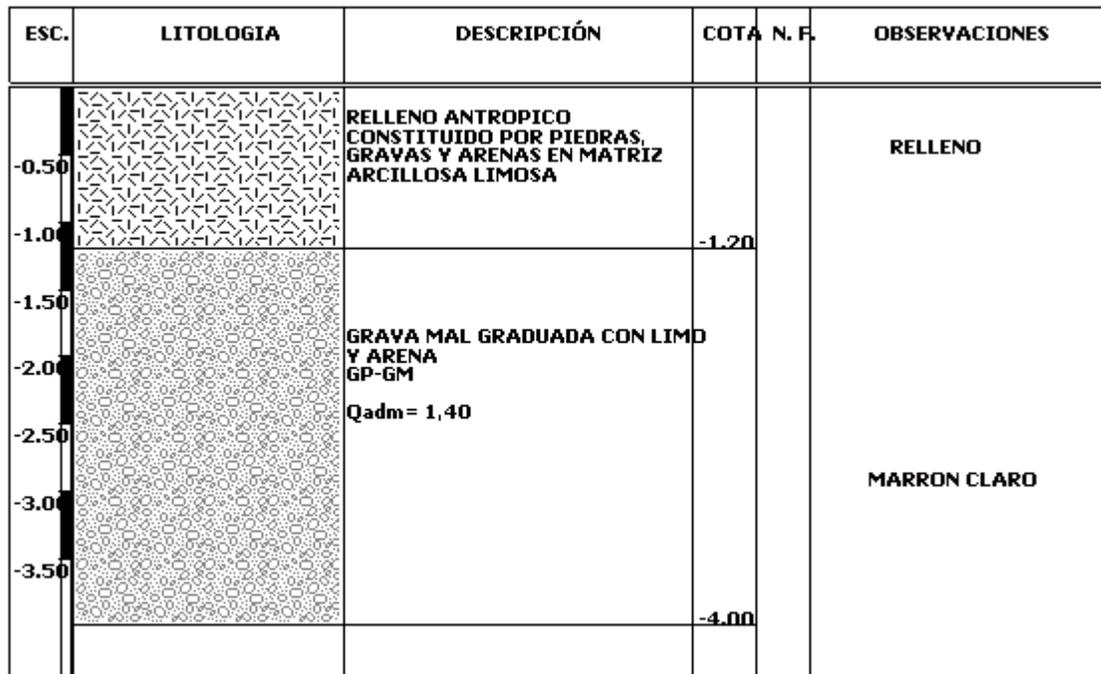


Figura 3: ESTRATIGRAFÍA TERRENO

DH (m)	Gam (kN/m <sup>3</sup> )	Gams (kN/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Fi Corr. (°)	c (kN/m <sup>2</sup> )	c Corr. (kN/m <sup>2</sup> )	Ey (kN/m <sup>2</sup> )	Ed (kN/m <sup>2</sup> )
1.0	18.63	20.59	16.0	10.88	1.96	1.313	0.0	2451.66
4.0	19.12	20.59	33.0	23.51	0.0	0.0	49033.25	0.0

Tabla 1: DATOS DE LA ESTRATIGRAFIA

La tabla 1, muestra el resumen de las características de los suelos indicadas en el informe de suelos, donde DH: Espesor del estrato; Gam: Peso específico; Gams: Peso específico saturado; Fi: Ángulo de rozamiento interno; Ficorr: Ángulo de rozamiento interno corregido según Terzaghi; c: Cohesión; c Corr: Cohesión corregida según Terzaghi; Ey: Módulo elástico; Ed: Módulo edométrico;

El laboratorio toma en consideración los datos de la tabla 2, para determinar la capacidad de carga del suelo, aplicando la fórmula de Meyerhof, cuyo resultado final indica una presión admisible de 1.40 kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 2: DATOS GENERALES DE CÁLCULO**

Ancho cimentación	1.5 m
Largo cimentación	1.5 m
Profundidad plano de cimentación	2.30 m
Inclinación plano de cimentación	0.0°
Inclinación talud	0.0°
Factor de seguridad (Fc)	3.0
Factor de seguridad (Fq)	3.0
Factor de seguridad (Fg)	3.0
Aceleración máxima horizontal	0.15
Asientos después de T años	5.0
Presión última	422.56 kN/m <sup>2</sup>
<b>Presión admisible</b>	<b>140.85 kN/m<sup>2</sup> = 1,40 kg/cm<sup>2</sup></b>

El informe de suelos recomienda que el nivel de fundación deberá ser de -2.50m como mínimo. Además el informe indica la sismicidad de la zona, indicando ser un perfil de suelo tipo S2 de acuerdo a la Norma Peruana, con periodo predominante Tp=0.6 seg.

La experiencia de terremotos ocurridos a nivel mundial, ha mostrado repetidamente que la intensidad del movimiento sísmico y la intensidad de los daños que produce están fuertemente influenciadas por las condiciones del suelo local, que aún no están consideradas dentro de las normas vigentes de diversos países, como es el Perú.

### 3. ANÁLISIS SÍSMICO

#### 3.1. Norma Peruana E.30:

Se determina el espectro de sismo según norma peruana, dicho procedimiento se muestra resumida en la figura 4.

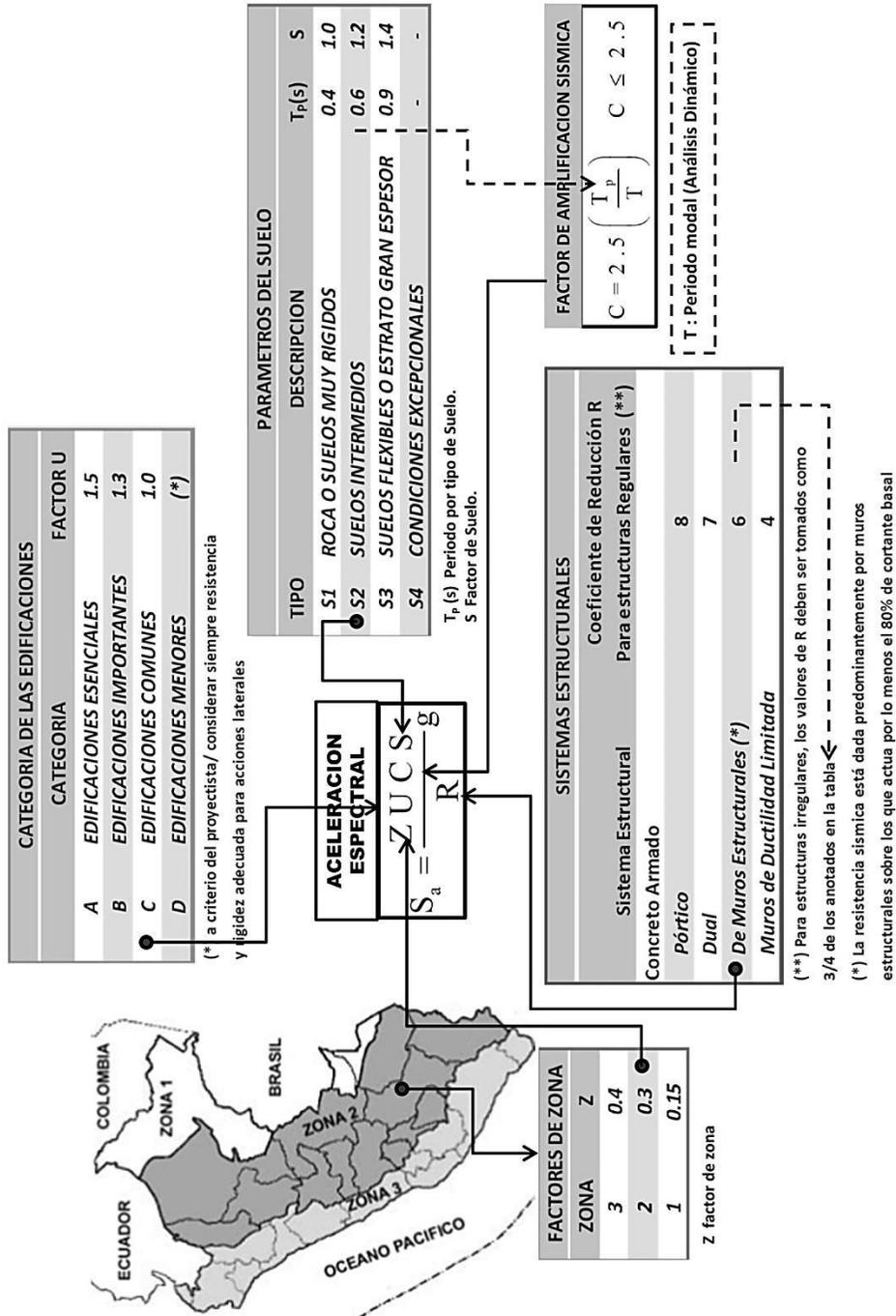


Figura 4: APLICACIÓN NORMA PERUANA E.30

Luego de aplicar la norma peruana para las condiciones anteriormente descritas se obtiene el espectro de diseño de la figura 5, normalizado por la aceleración de la gravedad.

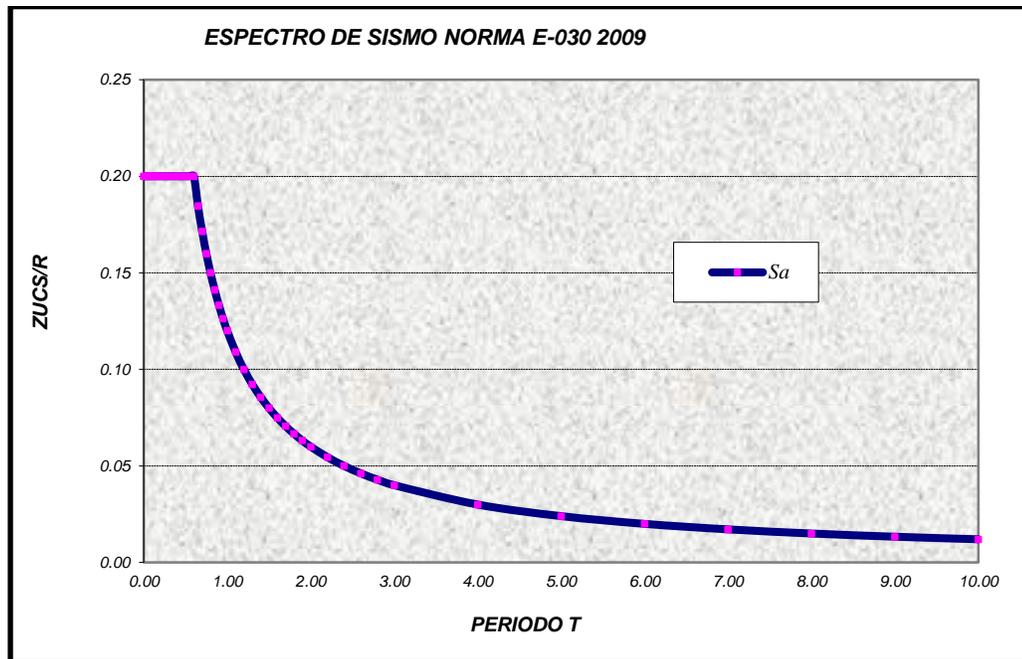


Figura 5: ESPECTRO DE SISMO NORMA E-30

Ya que el objetivo de esta investigación es estudiar el comportamiento de la edificación en el rango no lineal, los métodos basados en los espectros elásticos de respuesta no son los más adecuados. A falta de registros de terremotos pasados la obtención de acelerogramas sintéticos es necesaria para realizar cálculos dinámicos directos en estructuras, que nos permiten estudiar en mejor detalle la respuesta de la estructura frente a un sismo en términos del tiempo.

Por lo anteriormente explicado, se ha utilizado en programa **AcelSin<sup>ii</sup>** para generar acelerogramas compatibles con el espectro de respuesta definida mediante norma peruana E.030.

Dicho software utiliza el método propuesto por Gasparini y Vanmarcke (1976)<sup>iii</sup>. Este método se basa en la posibilidad de expandir la aceleración de la señal sísmica en una serie de ondas sinusoidales con una función de intensidad envolvente, determinista, predefinida que permite simular el carácter transitorio de los acelerogramas.

$$\ddot{x}(t) = I(t) \sum_{i=1}^n A_i \cdot \text{sen}(\omega_i \cdot t + \phi_i)$$

$\ddot{x}(t)$  Aceleración

$I(t)$  Función de intensidad envolvente

$\phi_i$  Angulos de fase

$\omega_i$  Frecuencias

$A_i$  Amplitudes

De acuerdo con dicho método, el algoritmo de generación de acelerogramas sintéticos comienza por fijar un número de **n** frecuencias equi-espaciadas en el rango de interés, de manera que el registro contenga todo el rango de frecuencias deseado. Seguidamente se genera de manera aleatoria el mismo número **n** de ángulos de fase, con valores entre 0 y  $2\pi$ , que da a la señal el carácter estocástico. Para distintos ángulos de fase y un espectro de respuesta en velocidades prefijadas, se obtienen diferentes registros artificiales de aceleración, que son similares en su contenido de frecuencias pero diferentes en su forma.

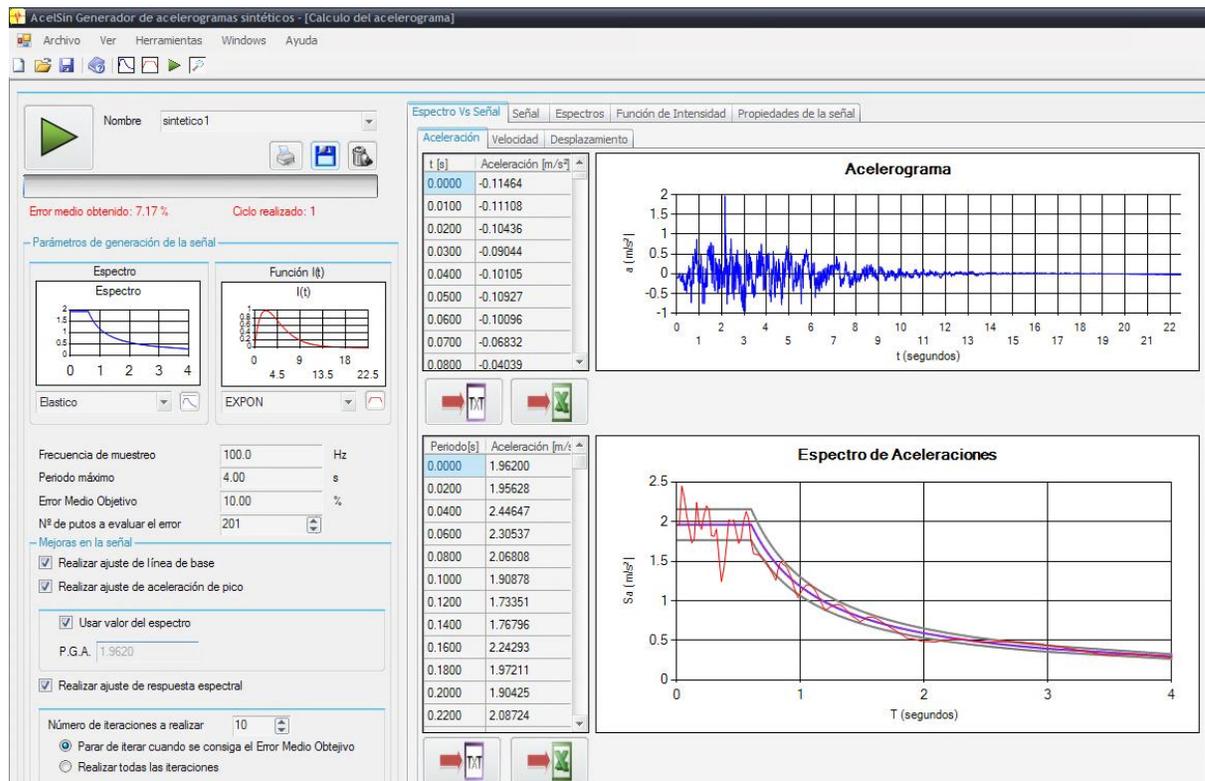
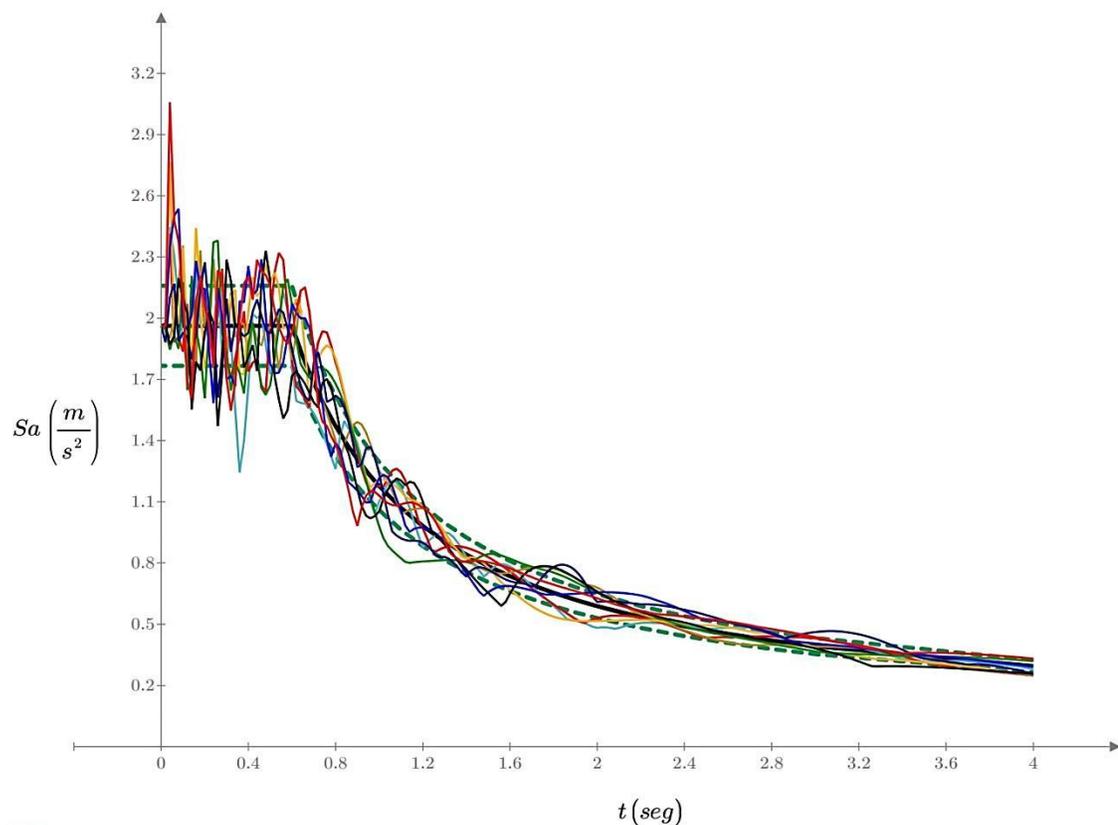


Figura 6: ACELEROGRAMA SINTETICO

La envolvente de las amplitudes de los sismos registrados en el Perú presenta la forma de una función exponencial, por lo que para la generación de los sismos sintéticos se selecciona una envolvente con dicho comportamiento. Además la característica de dicha envolvente es que en un tiempo de 25 segundos las intensidad solo es de 0.001 I(t), que podría ser considerado como el fin del sismo. Otros parámetros también fueron considerados en dicho proceso, como la frecuencia de muestreo de 100 Hz, que nos generará registros con incrementos de 0.01 segundos. Se consideró un periodo máximo de 4 segundos, ya que dicho rango abarca los periodos fundamentales de la estructura. Todos los sismos sintéticos se generarán con un error medio objetivo del 10%. Todas estas consideraciones son plasmadas en la figura 6.



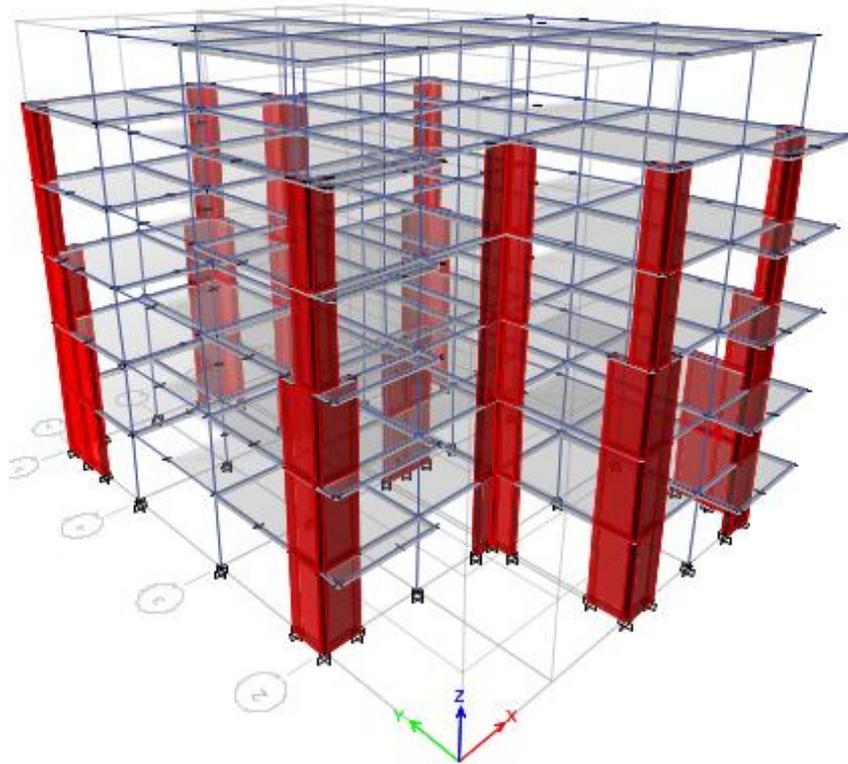
**Figura 7: GENERACIÓN ALEATORIA DE ESPECTRO DE ACELERACIONES**

Se generaron 10 acelerogramas sintéticos para el presente trabajo, al ser estas de carácter aleatorias, forman distintos espectros de aceleraciones, tal como se muestra en la figura 7, pero dichos espectros se encuentran ajustados con los parámetros especificados anteriormente.

### **3.2. Definición Modelo Etabs:**

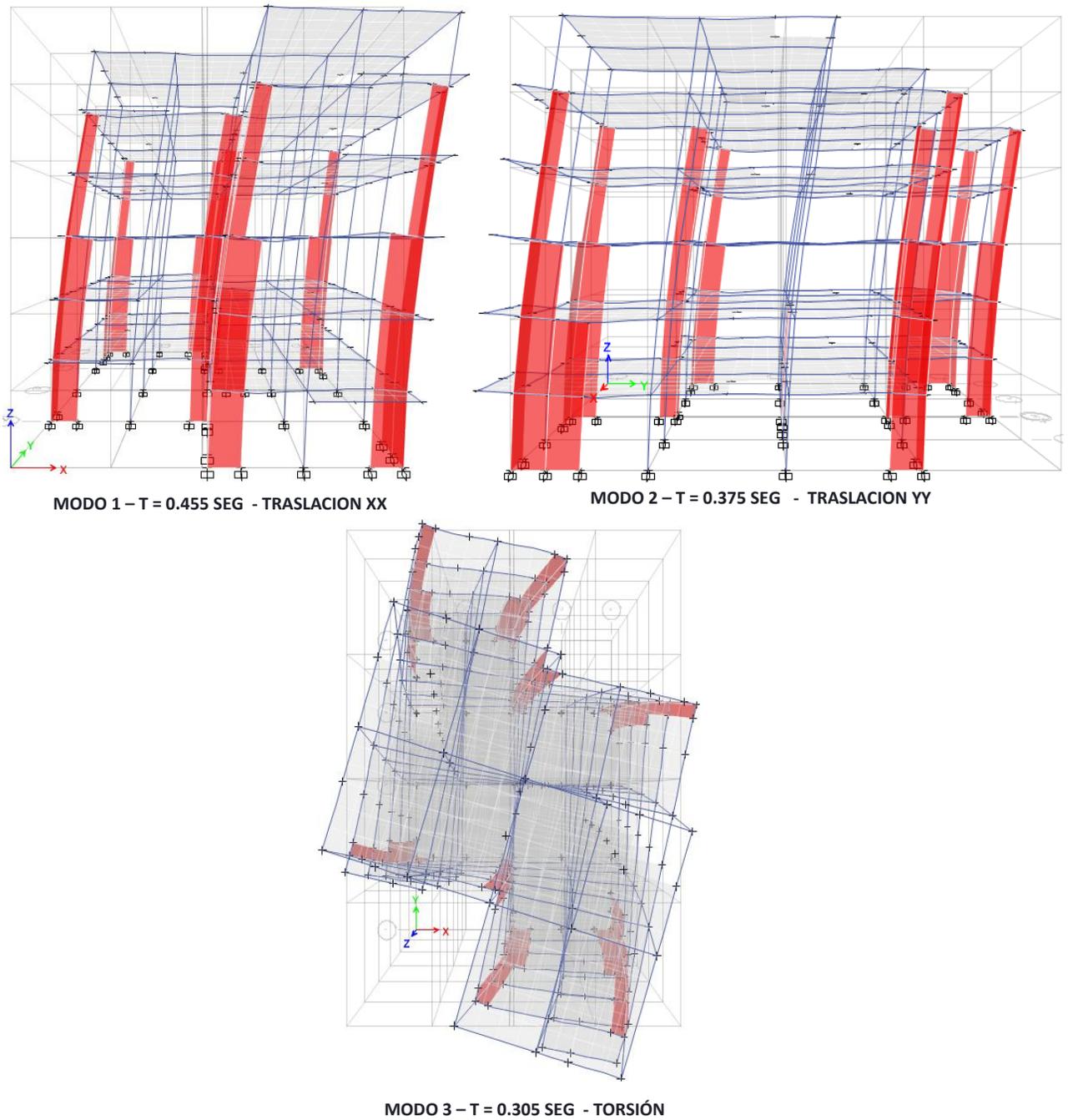
El programa a utilizar para el estudio dinámico de la edificación es el software ETABS 2013, este software realiza modelamiento en 3D, basado en la aplicación de los elementos finitos, y está diseñado exclusivamente para modelar estructuras de edificios, con diferentes secciones geométricas. Algunas bondades de este software es que puede realizar un cálculo automático de coordenadas de centros de masa y centros de rigideces.

Al ser de sección irregular la edificación, se dispuso los elementos estructurales para que los primeros modos sean traslacionales, esta disposición se puede observar en la figura 3. Se debe también indicar que los muros de corte en los primeros niveles poseen mayor longitud que los muros de corte superiores, esto se debe que ya controlado el modo torsional en los primeros niveles, se permite que la estructura desarrolle deformaciones controladas en los pisos superiores.



**Figura 8: EDIFICACION 3D**

Para el análisis de base fija se consideró a la zapata empotrada al terreno. La figura 9 nos indica los tres primeros modos de la edificación.



**Figura 9: MODOS DE LA ESTRUCTURA**

**Tabla 3: PERIODOS Y MODOS ESTRUCTURA EMPOTRADA**

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
Modal	1	0.455	<b>0.6421</b>	0.0039	0	0.6421	0.0039	0	0.0029	0.3715	0.0169	0.0029	0.3715	0.0169
Modal	2	0.375	0.0045	<b>0.6599</b>	0	0.6466	0.6637	0	0.3689	0.0021	0.0003	0.3718	0.3735	0.0172
Modal	3	0.305	0.0223	0.00003529	0	0.6689	0.6638	0	0.00001183	0.0001	<b>0.5957</b>	0.3719	0.3736	0.6129
Modal	4	0.179	0.1181	0.0014	0	0.787	0.6651	0	0.0017	0.1754	0.0085	0.3736	0.5491	0.6214
Modal	5	0.145	0.00004165	0.1266	0	0.787	0.7918	0	0.1867	0.0003	0.00004833	0.5603	0.5494	0.6214
Modal	6	0.128	0.000007014	5.578E-06	0	0.787	0.7918	0	0.00002382	0.00003153	0.1153	0.5603	0.5494	0.7367
Modal	7	0.111	0.0786	0.0003	0	0.8656	0.7921	0	0.0001	0.1239	0.0036	0.5604	0.6733	0.7403
Modal	8	0.09	0.0015	0.08	0	0.8671	0.8721	0	0.1254	0.0033	0.0001	0.6858	0.6766	0.7404
Modal	9	0.082	0.00001665	3.066E-06	0	0.8671	0.8721	0	2.445E-06	5.362E-07	0.109	0.6858	0.6766	0.8493
Modal	10	0.057	0.0666	0.0081	0	0.9337	0.8802	0	0.017	0.1466	0	0.7028	0.8232	0.8493
Modal	11	0.047	0.0089	0.0622	0	0.9426	0.9424	0	0.1362	0.0203	0.00001143	0.8391	0.8436	0.8494

El modo 1 posee un periodo de 0.455 segundos que es usado en la elaboración del espectro sísmico normalizado, este modo tiene una participación de 64.21% de la masa de la edificación en el sentido XX, y a pesar que posee una planta irregular es netamente traslacional ya que sólo participa un 0.39% de participación de masa en la dirección YY. Para el modo 2 la participación de la masa del edificio en el sentido XX es de 0.45% y para el sentido YY la participación de la masa es de 66% y también es considerada traslacional en el sentido YY, posee un periodo de 0.375seg. Como observación final la tabla 3 muestra que el modo 3 es rotacional con una participación de 60% de masa de la edificación.

### **3.3. Modelo Dinámico de Interacción Sísmica Suelo-Estructura:**

El suelo es considerado como un semiespacio elástico y la acción sísmica como un proceso ondulatorio. En general se acepta un comportamiento lineal de las fuerzas de interacción entre las fundaciones superficiales y el suelo, entonces el problema principal al considerar la elasticidad de la base de fundación, consiste en la determinación de los coeficientes de rigidez.

Para determinar los coeficientes de rigidez seguiremos la metodología planteada por el FEMA 356 y FEMA 440. Por lo que se comienza con una velocidad de onda igual a 182.88 m/s, para luego calcular el módulo de corte inicial mediante la siguiente fórmula:

$$v_s := 600 \frac{ft}{s} = 182.88 \frac{m}{s} \quad \gamma := 19.12 \frac{kN}{m^3} \quad g = 9.807 \frac{m}{s^2}$$

$$G_o := \frac{\gamma \cdot v_s^2}{g} = 65208 \frac{kN}{m^2}$$

Donde “ $\gamma$ ” es el peso específico del suelo en kilo Newton por metro cubico, “ $v_s$ ” es la velocidad de la onda de corte en bajas deformaciones en metros sobre segundos, y “ $g$ ” es la aceleración de la gravedad en metros sobre segundos al cuadrado.

Continuando con el método del FEMA se determina un espectro de sismo elástico con un amortiguamiento al 5%, y no se considera el factor reductor R

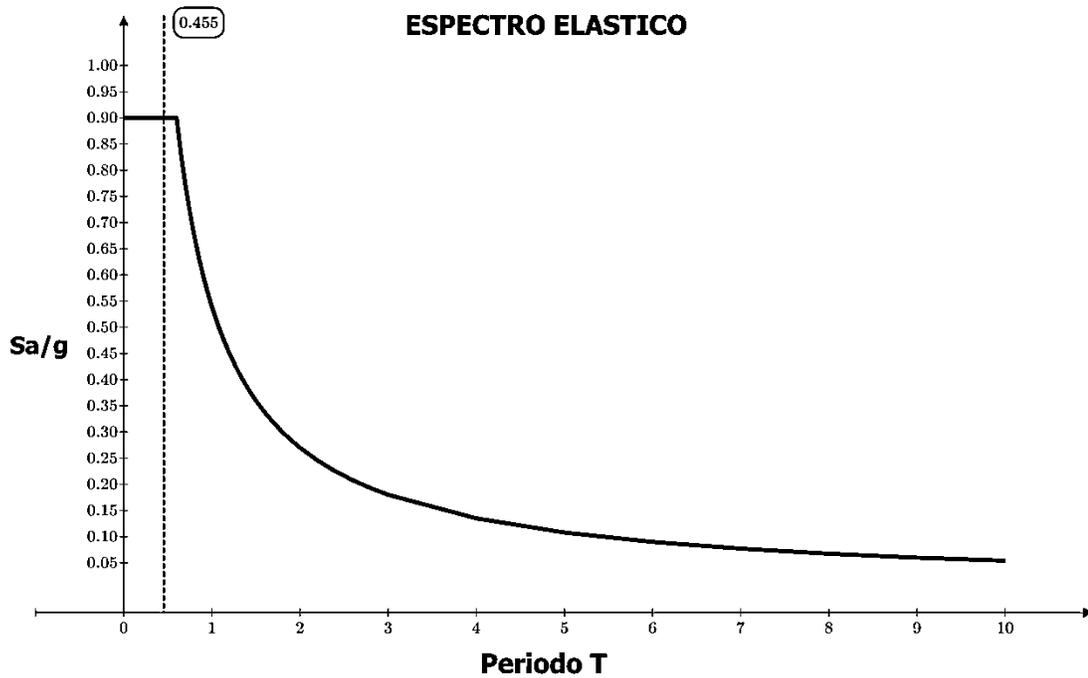


Figura 10: ESPECTRO ELASTICO

El módulo de corte efectivo del suelo se calculará con la relación existente entre el módulo de corte efectivo y el módulo de corte inicial, que se especifica en la tabla 4-7 del FEMA 356. El valor de  $S_{XS}$  es el valor de la aceleración que corresponde al primer modo de vibración para un espectro elástico, por tanto  $S_{XS}=0.9$ , pues  $T=0.455$  seg.

Para continuar con la metodología del FEMA, primeramente debemos realizar la clasificación del suelo de fundación según los criterios de dicha norma. El FEMA clasifica los suelos de la siguiente manera, suelo clase A es considerada Roca Dura, el suelo clase B es roca, el suelo clase C es un suelo denso con rocas suaves, el suelo clase D son suelos rígidos, el suelo clase E son arcillas blandas y los suelos clase F son suelos especiales (suelos licuables, suelos altamente colapsables bajo cargas sísmicas, arcillas sensibles, suelos orgánicos, arcillas con plasticidad alta). Para el presente proyecto, el estudio geotécnico nos indica que el suelo de fundación es una grava mal graduada con limo y arena (GP-GM) por lo que según el FEMA sería un suelo de clase D es decir un suelo rígido.

El valor de la proporción del módulo de corte efectivo ( $G/G_0$ ) se obtiene de la tabla 2, teniendo presente el tipo de suelo anteriormente determinado, en la fila de la clase de suelo D, se realiza una interpolación para un valor de  $S_{XS}/2.5 = 0.36$  se obtiene  $G/G_0 = 0.553$ . Para luego obtener el valor de módulo de corte efectivo “G” que será igual a  $0.406 \text{ tonf/cm}^2$ , con un  $v_s$  correspondiente de 136 m/seg.

Tabla 4: PORCENTAJE DE MODULO CORTANTE (FEMA 356)

<b>Effective Shear Modulus Ratio (<math>G/G_0</math>)</b>				
<b>Effective Peak Acceleration, <math>S_{XS}/2.5</math></b>				
<b>Site Class</b>	<b><math>S_{XS}/2.5</math> =0</b>	<b><math>S_{XS}/2.5</math> =0.1</b>	<b><math>S_{XS}/2.5</math> =0.4</b>	<b><math>S_{XS}/2.5</math> =0.8</b>
A	1.00	1.00	1.00	1.00
B	1.00	1.00	0.95	0.90
C	1.00	0.95	0.75	0.60
D	1.00	0.90	0.50	0.10
E	1.00	0.60	0.05	*
F	*	*	*	*

Note: Use straight-line interpolation for intermediate values of  $S_{XS}/2.5$ .

\* Site-specific geotechnical investigation and dynamic site response analyses shall be performed.

Para el cálculo de las rigideces en los resortes se tomaran en cuenta las fórmulas indicadas en el documento FEMA 356 para cimentaciones rígidas (Figura 11).

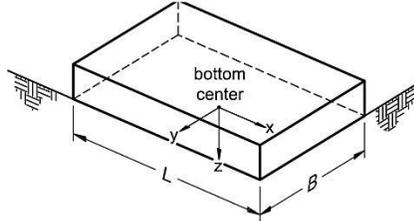
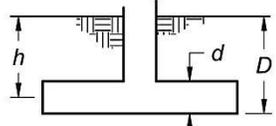
Degree of Freedom	Stiffness of Foundation at Surface	Note
Translation along x-axis	$K_{x, sur} = \frac{GB}{2-\nu} \left[ 3.4 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.65} + 1.2 \right]$	 <p>Orient axes such that <math>L \geq B</math></p>
Translation along y-axis	$K_{y, sur} = \frac{GB}{2-\nu} \left[ 3.4 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.65} + 0.4 \frac{L}{B} + 0.8 \right]$	
Translation along z-axis	$K_{z, sur} = \frac{GB}{1-\nu} \left[ 1.55 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.75} + 0.8 \right]$	
Rocking about x-axis	$K_{xx, sur} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[ 0.4 \left( \frac{L}{B} \right) + 0.1 \right]$	
Rocking about y-axis	$K_{yy, sur} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[ 0.47 \left( \frac{L}{B} \right)^{2.4} + 0.034 \right]$	
Torsion about z-axis	$K_{zz, sur} = GB^3 \left[ 0.53 \left( \frac{L}{B} \right)^{2.45} + 0.51 \right]$	
Degree of Freedom	Correction Factor for Embedment	Note
Translation along x-axis	$\beta_x = \left( 1 + 0.21 \sqrt{\frac{D}{B}} \right) \cdot \left[ 1 + 1.6 \left( \frac{hd(B+L)}{BL^2} \right)^{0.4} \right]$	 <p><math>d</math> = height of effective sidewall contact (may be less than total foundation height)  <math>h</math> = depth to centroid of effective sidewall contact</p> <p>For each degree of freedom, calculate  <math>K_{emb} = \beta K_{sur}</math></p>
Translation along y-axis	$\beta_y = \beta_x$	
Translation along z-axis	$\beta_z = \left[ 1 + \frac{1}{21} \frac{D}{B} \left( 2 + 2.6 \frac{B}{L} \right) \right] \cdot \left[ 1 + 0.32 \left( \frac{d(B+L)}{BL} \right)^{2/3} \right]$	
Rocking about x-axis	$\beta_{xx} = 1 + 2.5 \frac{d}{B} \left[ 1 + \frac{2d}{B} \left( \frac{d}{D} \right)^{-0.2} \sqrt{\frac{B}{L}} \right]$	
Rocking about y-axis	$\beta_{yy} = 1 + 1.4 \left( \frac{d}{L} \right)^{0.6} \left[ 1.5 + 3.7 \left( \frac{d}{L} \right)^{1.9} \left( \frac{d}{D} \right)^{-0.6} \right]$	
Torsion about z-axis	$\beta_{zz} = 1 + 2.6 \left( 1 + \frac{B}{L} \right) \left( \frac{d}{B} \right)^{0.9}$	

Figure 4-4 Elastic Solutions for Rigid Footing Spring Constraints

Figura 11: SOLUCIONES ELASTICAS POR RESORTES LIMITADOS PARA CIMENTACIONES RIGIDAS

Zapata	B(m)	L(m)	RIGIDEZ CORREGIDA POR EMPOTRAMIENTO					
			$K_x$	$K_y$	$K_z$	$K_{xx}$	$K_{yy}$	$K_{zz}$
			(tonf/m)	(tonf/m)	(tonf/m)	(tonf-m)/rad	(tonf-m)/rad	(tonf-m)/rad
Z1	2.20	4.00	79970.207	84181.537	59359.039	104089.399	221852.618	272543.64
Z2	2.65	2.65	77358.113	77358.113	53526.071	103025.66	119183.665	185710.726
Z3	2.05	2.05	68892.53	68892.53	45113.412	56886.832	66296.511	98873.738
Z4	3.50	4.17	92310.969	93721.829	69991.948	232047.698	328289.597	455390.646
Z5	2.50	4.30	84217.502	88235.194	63525.045	134980.414	277946.844	340279.569
Z6	2.50	4.30	84217.502	88235.194	63525.045	134980.414	277946.844	340279.569
Z7	2.50	3.80	27219.115	28218.772	20058.645	40823.547	72721.233	92120.28
Z8	2.50	4.30	84217.502	88235.194	63525.045	134980.414	277946.844	340279.569
Z9	2.50	4.30	84217.502	88235.194	63525.045	134980.414	277946.844	340279.569
Z10	2.65	2.65	77358.113	77358.113	53526.071	103025.66	119183.665	185710.726
Z11	2.20	4.00	79970.207	84181.537	59359.039	104089.399	221852.618	272543.64
Z12	3.50	4.17	92310.969	93721.829	69991.948	232047.698	328289.597	455390.646
Z13	2.05	2.05	68892.53	68892.53	45113.412	56886.832	66296.511	98873.738

Tabla 5: COEFICIENTES DE RIGIDEZ - INTERACCION SUELO ESTRUCTURA

Luego de determinar los coeficientes de rigidez, estos se implementan en el modelo del ETABS, para luego obtener los periodos y modos del edificio, cuyos resultados se muestran en la tabla 6

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
Modal	1	0.532	<b>0.5937</b>	0.0144	0	0.5937	0.0144	0	0.0084	0.3765	0.0218	0.0084	0.3765	0.0218
Modal	2	0.439	0.0127	<b>0.6469</b>	0	0.6065	0.6612	0	0.3466	0.0087	0.0013	0.355	0.3852	0.0231
Modal	3	0.363	0.023	0.0002	0	0.6294	0.6615	0	0.0001	0.0025	<b>0.5962</b>	0.3551	0.3876	0.6193
Modal	4	0.189	0.0976	0.0021	0	0.7271	0.6636	0	0.0048	0.1175	0.0079	0.3599	0.5051	0.6271
Modal	5	0.16	0.0006	0.1001	0	0.7277	0.7637	0	0.1731	0.0011	0.0003	0.533	0.5062	0.6274
Modal	6	0.141	0.0008	0.00001553	0	0.7284	0.7638	0	0.00001246	0.001	0.0963	0.533	0.5072	0.7237
Modal	7	0.117	0.0551	0.0001	0	0.7835	0.7639	0	0.0001	0.065	0.0015	0.5331	0.5723	0.7252
Modal	8	0.099	0.0011	0.0486	0	0.7846	0.8125	0	0.0728	0.0016	0.0002	0.6059	0.5739	0.7254
Modal	9	0.092	0.0001	0.00004928	0	0.7848	0.8125	0	0.0001	0.0001	0.0652	0.6059	0.574	0.7907
Modal	10	0.085	0.000005363	0.000002643	0	0.7848	0.8125	0	0.000001037	0.000002873	0.000002837	0.6059	0.574	0.7907
Modal	11	0.085	0.000005712	0.000004392	0	0.7848	0.8125	0	0.000002414	0.00000306	0.000006624	0.6059	0.574	0.7907

Tabla 6: PERIODOS Y MODOS - ESTRUCTURA CON BASE ELASTICA

En la tabla 6 podemos observar que el primer modo posee un periodo de 0.532 segundos es decir un 17% de más que el periodo con base empotrada, también podemos señalar que el 59% de la masa participa en este modo, con un decremento en 5%, con respecto a la participación de la base empotrada. Para el segundo modo el periodo es de 0.439 seg que representa un 17% mayor que el

periodo con base fija, además con una participación del 65% de masa en este periodo que representa el 1% por encima de la masa cuando la base es empotrada.

Con la anterior observación podemos deducir que el incremento de periodos indica mayores deformaciones en la edificación, y el decremento de la participación de la masa en el primer modo nos indica disminución de fuerzas cortantes en la edificación. Caso contrario sucede en la participación de la masa del segundo modo, ya que al incrementarse también se incrementa las fuerzas cortantes.

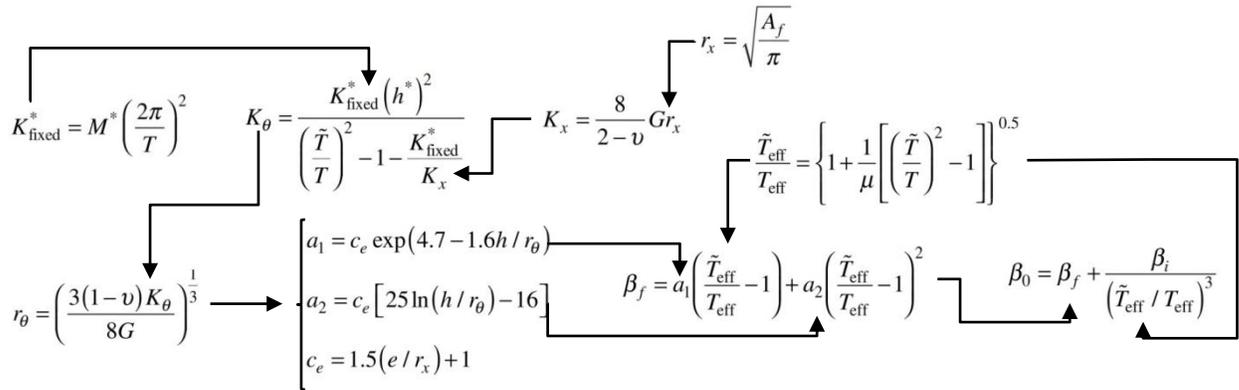
Siguiendo la metodología del FEMA para considerar el efecto cinemático de la interacción suelo estructura se debe determinar un nuevo espectro de sismo considerando el efecto cinemático. Para esto se aplica la siguiente fórmula.

$$RRS_{bsa} = 1 - \frac{1}{14,100} \left( \frac{b_e}{T} \right)^{1.2} \geq \text{the value for } T = 0.2 \text{ s}$$

Dónde :  $b_e = \sqrt{ab}$  tamaño efectivo de la fundación  
a y b dimensiones que abarca toda la fundación

A este último espectro se le aplica un factor de amortiguamiento de la fundación, para obtener el espectro final con que se desarrolla el presente trabajo.

Para determinar el factor de amortiguamiento de la fundación, se aplica las fórmulas que a continuación se muestra:



Dónde:

$A_f$  : Área efectiva de la fundación (abarca toda el área del proyecto)

$M^*$  : Masa efectiva del primer modo, (fundación empotrada)

$T$  : Periodo del primer modo cuando la fundación se encuentra empotrada.

$\bar{T}$  : Periodo del primer modo cuando la fundación se encuentra con comportamiento elástico.

$G$  : módulo de corte efectivo del suelo

$\nu$  : módulo de Poisson del suelo

$\mu$  : ductilidad esperada = 3

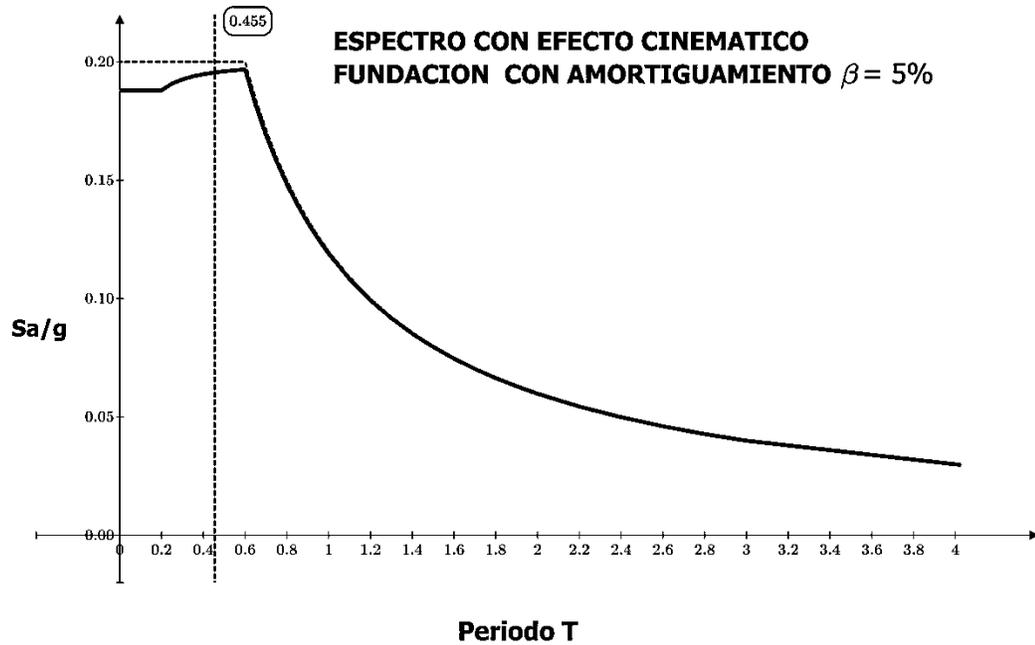
$h$  : altura total de la edificación

$h^*$  : altura efectiva de la edificación

$\beta_i$  : coeficiente de amortiguamiento inicial de la base fija.

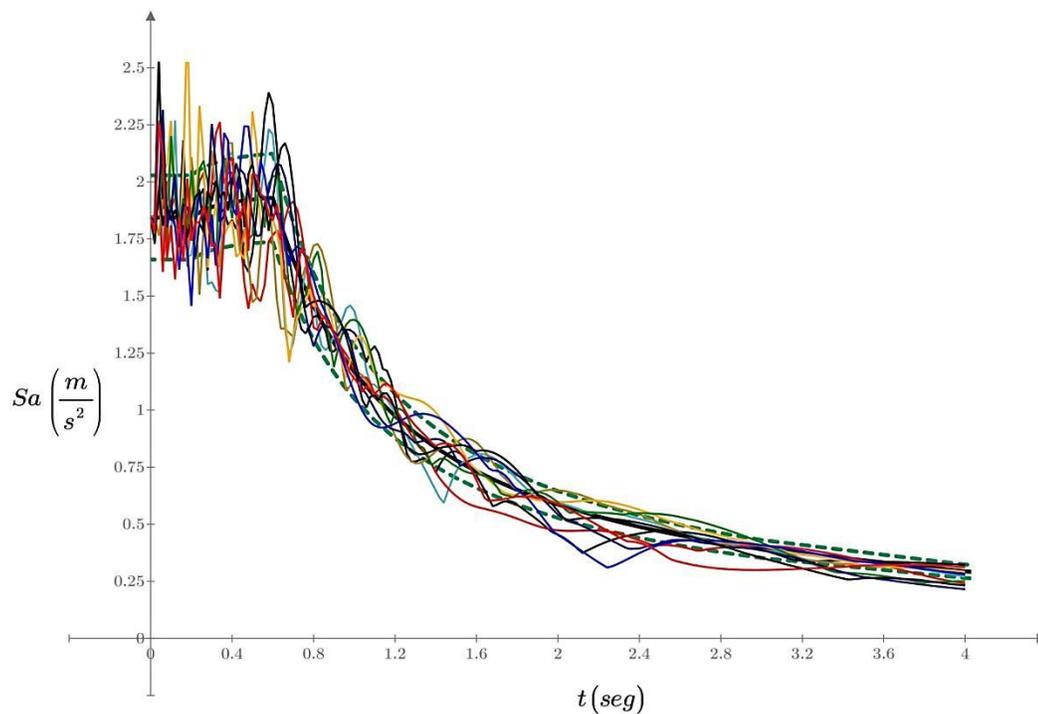
$\beta_0$  : coeficiente final de amortiguamiento.

Luego de aplicar las fórmulas arriba presentadas se obtuvo un coeficiente de amortiguamiento aproximado de 4.85% que fue redondeado al 5%, con la que se obtuvo el espectro final a desarrollar.



**Figura 12: ESPECTRO DE SISMO CONSIDERANDO EFECTO CINEMATICO**

Con el espectro hallado se generan 10 sismos sintéticos usando el programa AcelSin, los cuales forman espectros de aceleraciones cuyas señales se ajustan al espectro objetivo, como se muestra en la figura 13.



**Figura 13: ESPECTRO DE LOS SISMOS SINTETICOS CONSIDERANDO EFECTO CINEMATICO**

Con este nuevo acelerograma se calculan las diferentes respuesta de la estructura

En la figura 14 se hace una comparación de dos acelerogramas sintéticos con y sin efecto cinemáticos, podemos señalar que el sismo con efecto cinemático posee el 94% del pico de aceleración de un sismo sin efecto cinemático.

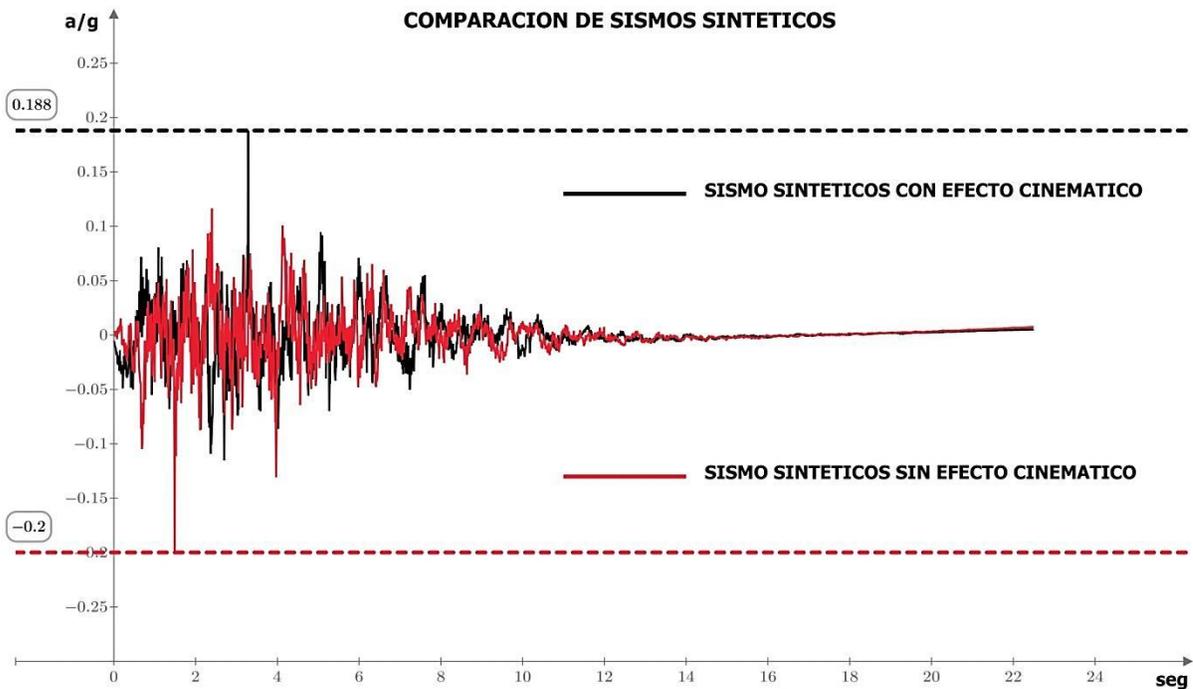


Figura 14: COMPARACION ACCELEROGRAMAS SINTETICOS CON Y SIN EFECTO CINEMATICO

La figura 15 presenta los espectros sintéticos promedios con efecto y sin efecto cinemático, en la que se incluyen los periodos de los primeros modos traslacionales tanto de la edificación con base empotrada y con base flexible.

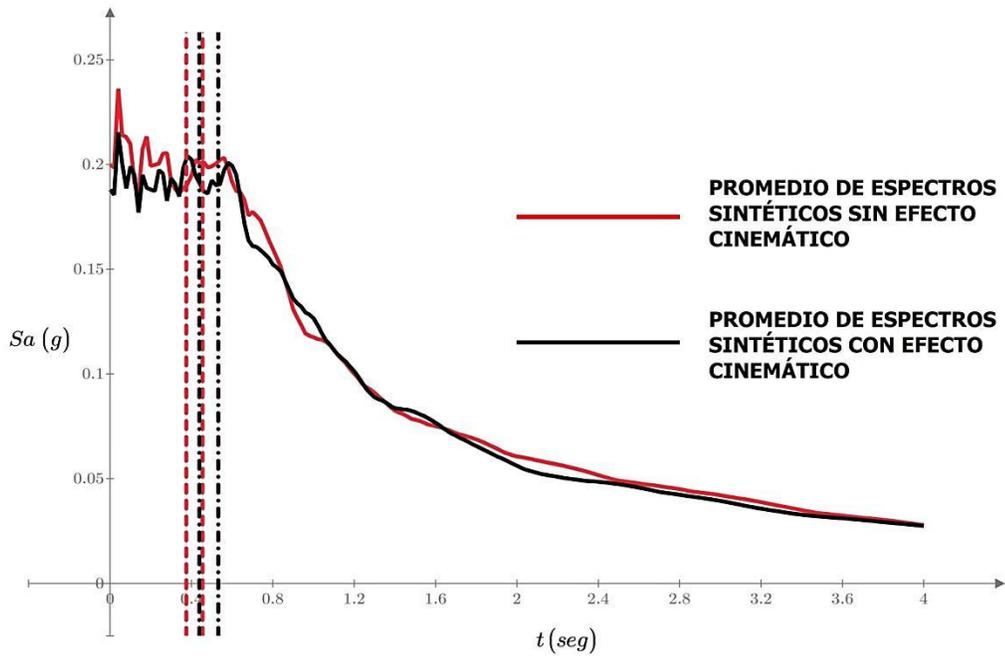


Figura 15 : COMPARACIÓN DE ESPECTROS SINTÉTICOS PROMEDIOS

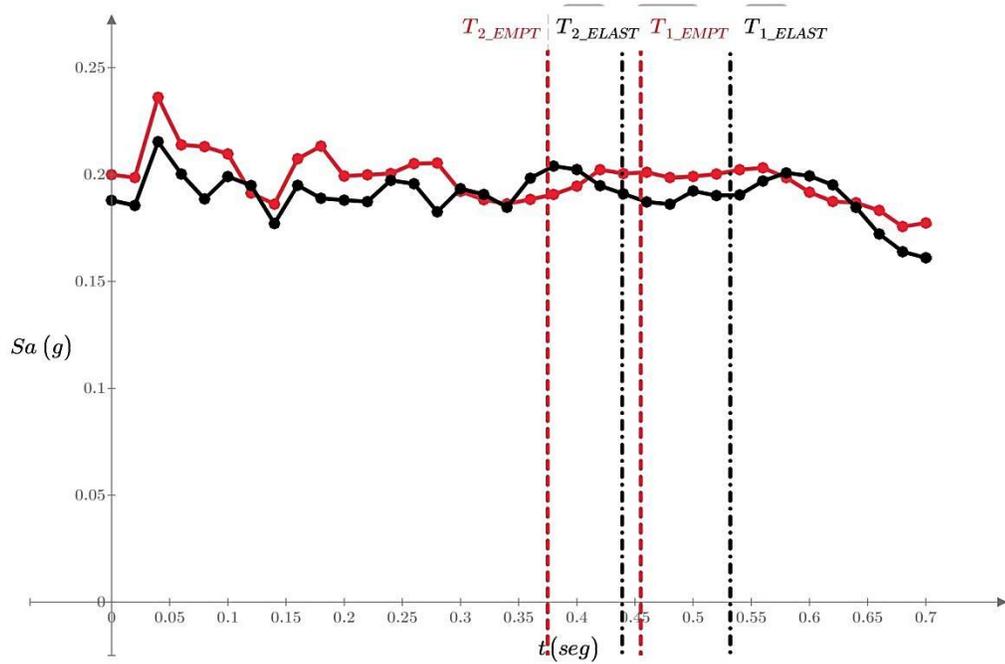


Figura 16 : DETALLE DE ESPECTROS SINTÉTICOS Y PERIODOS DE MODOS TRASLACIONALES

La figura 16 nos muestra a mayor detalle los espectros sintéticos y los modos traslacionales, en las que se puede observar lo siguiente

Base empotrada

Modo 1 :  $T= 0.455 \text{ seg} \rightarrow Sa=0.20 \text{ g}$

Modo 2 :  $T= 0.375 \text{ seg} \rightarrow Sa=0.191 \text{ g}$

Base Flexible

Modo 1 :  $T= 0.532 \text{ seg} \rightarrow Sa=0.191 \text{ g}$

Modo 2 :  $T= 0.439 \text{ seg} \rightarrow Sa=0.191 \text{ g}$

Se observa el incremento los periodos traslacionales cuando se considera las bases elásticas, pero dichos incrementos no llegan a intersectar la curva decreciente del espectro cinemático, lo que indica que no existe decaimiento de la aceleración espectral para la edificación.

#### **4. RESULTADOS Y COMENTARIOS**

Luego de ser sometido la estructura a los diferentes acelerogramas sintéticos , tanto para la edificación con base empotrada como para la base flexible, obtuvimos diversas respuestas estructurales cuyo resumen se observa en la tabla 7 en la cual se presentan la media y su respectiva desviación estándar.

En la sección de anexos se puede observar las figuras A1, A2, A3, y A4 que muestran las respuestas de la edificación con respecto a los sismos sintéticos en las direcciones respectivas, apreciándose las tendencias de comportamiento y el promedio de las respuestas, tanto para la edificación con base empotrada como con base elástica.

BASE EMPOTRADA												BASE ELASTICA													
DESPLAZAMIENTO (cm)				DRIFT				CORTE (tonf)				DESPLAZAMIENTO (cm)				DRIFT				CORTE (tonf)					
DIRECCION X		DIRECCION Y		DIRECCION X		DIRECCION Y		DIRECCION X		DIRECCION Y		DIRECCION X		DIRECCION Y		DIRECCION X		DIRECCION Y		DIRECCION X		DIRECCION Y			
STORY 6	6.5 ± 0.94	1.25 ± 0.14	0.0054 ± 0.00049	0.001 ± 0.0001	40.61 ± 4.26	4.72 ± 0.38	7.71 ± 0.82	1.85 ± 0.25	0.0055 ± 0.00068	0.0012 ± 0.00016	37.49 ± 5.36	6.82 ± 1.01	STORY 6	0.54 ± 0.05	3.37 ± 0.37	0.0005 ± 0.00003	0.0028 ± 0.00019	4.7 ± 0.54	36.84 ± 2.58	1.23 ± 0.15	4.41 ± 0.3	0.001 ± 0.00013	0.0027 ± 0.00018	7.32 ± 1.02	33.45 ± 2.35
STORY 5	5.22 ± 0.84	1 ± 0.11	0.0061 ± 0.0009	0.0014 ± 0.00014	84.47 ± 12.58	9.75 ± 0.86	6.48 ± 0.7	1.55 ± 0.21	0.0064 ± 0.00068	0.0016 ± 0.00019	79.37 ± 8.8	15.28 ± 1.86	STORY 5	0.43 ± 0.05	2.7 ± 0.35	0.0005 ± 0.00007	0.0029 ± 0.00029	9.19 ± 0.87	77.5 ± 6.37	1.01 ± 0.13	3.76 ± 0.29	0.0011 ± 0.00014	0.0032 ± 0.00018	15.45 ± 1.94	75.69 ± 3.73
STORY 4	3.66 ± 0.61	0.65 ± 0.08	0.0055 ± 0.00088	0.0012 ± 0.00013	117.46 ± 15.84	12.97 ± 1.53	4.83 ± 0.54	1.13 ± 0.16	0.0062 ± 0.00064	0.0016 ± 0.00019	110.89 ± 12.51	20.45 ± 2.62	STORY 4	0.3 ± 0.04	1.96 ± 0.27	0.0004 ± 0.00006	0.0029 ± 0.00036	12.29 ± 1.55	109.9 ± 13.58	0.73 ± 0.1	2.94 ± 0.24	0.001 ± 0.00013	0.0034 ± 0.00025	20.93 ± 2.71	113.1 ± 8.22
STORY 3	2.25 ± 0.35	0.35 ± 0.04	0.0042 ± 0.00069	0.0007 ± 0.00008	141.17 ± 18.66	15.15 ± 2.05	3.24 ± 0.39	0.72 ± 0.11	0.0052 ± 0.00058	0.0013 ± 0.00017	134.95 ± 15.01	25.79 ± 3.29	STORY 3	0.19 ± 0.02	1.21 ± 0.19	0.0004 ± 0.00004	0.0023 ± 0.00032	14.67 ± 2.04	132.59 ± 18.93	0.46 ± 0.07	2.05 ± 0.17	0.0009 ± 0.00011	0.0032 ± 0.00027	25.93 ± 3.21	142.31 ± 13.7
STORY 2	1.16 ± 0.17	0.17 ± 0.02	0.0031 ± 0.00046	0.0004 ± 0.00005	158.14 ± 20.08	15.41 ± 2.03	1.89 ± 0.24	0.4 ± 0.07	0.0044 ± 0.00052	0.0011 ± 0.00016	151.86 ± 17.35	27.62 ± 3.34	STORY 2	0.1 ± 0.01	0.63 ± 0.09	0.0003 ± 0.00003	0.0016 ± 0.00025	15.26 ± 2.02	150.62 ± 21.27	0.23 ± 0.04	1.23 ± 0.1	0.0007 ± 0.00009	0.0028 ± 0.00024	27.61 ± 3.64	164.17 ± 15.58
STORY 1	0.36 ± 0.05	0.05 ± 0.01	0.0014 ± 0.00019	0.0002 ± 0.00003	171.84 ± 20.78	18.36 ± 2.85	0.75 ± 0.1	0.12 ± 0.02	0.0031 ± 0.00041	0.0009 ± 0.00014	163.95 ± 19.47	30.38 ± 3.2	STORY 1	0.03 ± 0	0.2 ± 0.03	0.0001 ± 0.00002	0.0008 ± 0.00011	18.36 ± 2.85	165.74 ± 19.84	0.05 ± 0.02	0.49 ± 0.04	0.0006 ± 0.00008	0.0028 ± 0.00022	30.49 ± 3.18	177.68 ± 15.95
BASE	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	171.84 ± 20.78	18.36 ± 2.85	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	163.95 ± 19.47	30.38 ± 3.2	BASE	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	18.36 ± 2.85	165.74 ± 19.84	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	30.49 ± 3.18	177.68 ± 15.95

XX OMSIS

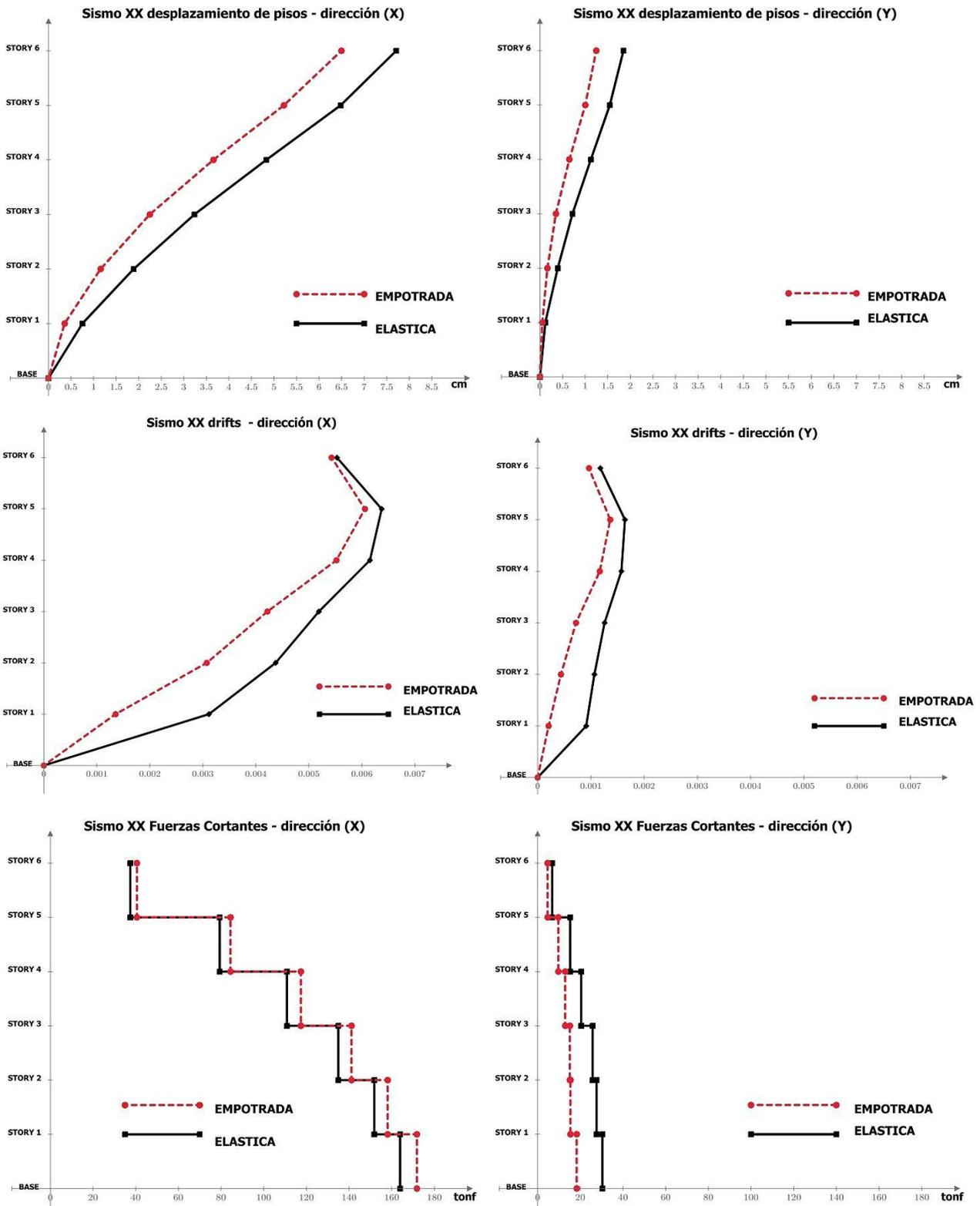
YS OMSIS

Tabla 7 : TABLA RESUMEN DE RESPUESTAS ESTRUCTURALES

La figura 17 muestra la comparación realizada entre respuestas representativas de la edificación con base empotrada y base elástica con respecto al sismo en la dirección XX, en la cual se pudo realizar las siguientes observaciones:

- El máximo desplazamiento en el sentido X obtenido por la edificación con base empotrada es de 6.5cm y con base elástica es de 7.7 cm que representa un incremento del 18%.
- El máximo drift obtenido se encuentra en el 5to nivel, el edificio con base empotrada registra un drift de 0.0061, y con base elástica de 0.0064 aproximándose al límite permitido por la norma peruana, lo que indica la importancia de tomar en consideración la interacción del suelo para el diseño de los diferentes elementos estructurales.
- Con respecto a fuerzas de corte se aprecian que el edificio con bases elásticas registra fuerzas de corte basal de 164 tonf, y el edificio con base empotrada registra una fuerza cortante basal de 172 tonf, por lo que existe un decremento del 4.6% en el registro de la edificación con base elástica, esto concuerda con la participación de la masa en el primer modo de ambos tipos de fundación y las señales que siguen los patrones de los espectros con y sin amortiguamiento adicional.

Figura 17 : COMPARACION RESPUESTAS -- BASE EMPOTRADA VS BASE ELASTICA – SISMO

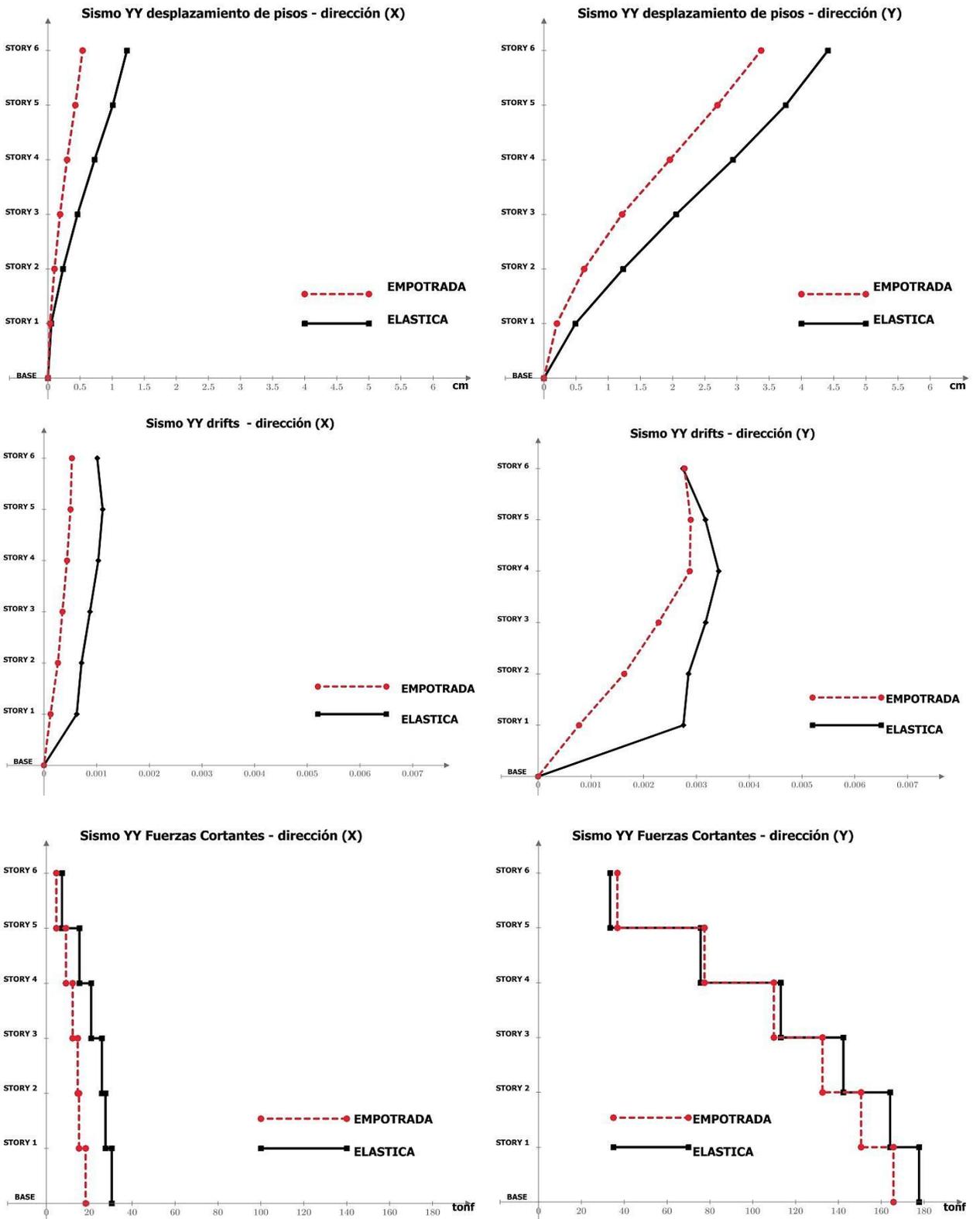


La figura 18 muestra la comparación realizada entre respuestas representativas de la edificación con base empotrada y base elástica con respecto al sismo en la dirección YY, en la cual se pudo realizar las siguientes observaciones:

- El máximo desplazamiento en el sentido Y obtenido por la edificación con base empotrada es de 3.4cm y con base elástica es de 4.4 cm que representa un incremento del 29%.
- El máximo drift obtenido se encuentra en el 4to nivel, el edificio con base empotrada registra un drift de 0.00295, y con base elástica de 0.0034 que representa un incremento del 15%.
- Con respecto a fuerzas de corte se aprecian que el edificio con bases elásticas registra fuerzas de corte basal de 178 tonf, y el edificio con base empotrada registra una fuerza cortante basal de 166 tonf, por lo que existe un incremento del 7% en el registro de la edificación con base elástica, esto concuerda con la participación de la masa en el segundo modo de ambos tipos de fundación.
- Podemos indicar que el sismo en el sentido YY afecta en mayor manera la interacción suelo estructura por que el edificio con base elástica presenta mayor participación de la masa en dicha dirección con respecto a un edificio de base empotrada, lo que incrementa las fuerzas cortantes basales, a pesar que las señales son menores en la aceleración espectral.

Las figuras A5, A6 y A7 que se encuentran en la sección de anexos, son un ejemplo de los registros tiempo-historia, que ocurren en los diversos niveles de la edificación con base empotrada y base elástica. Como comentarios a estos registros podemos indicar que en la figura A5 se encuentran los desplazamientos de entretrepisos, en la que se puede observar que las lecturas para el primer nivel indican que los registros de la edificación con base elástica son mayores que los registros con base empotrada, disminuyendo esta diferencia en los pisos superiores del edificación teniendo concordancia con las figuras 17 y 18.

Figura 18 : COMPARACION RESPUESTAS -- BASE EMPOTRADA VS BASE ELASTICA – SISMO YY



## 5. CONCLUSIONES

La flexibilidad del suelo afecta los periodos fundamentales de la estructura y consecuentemente su respuesta sísmica global.

La participación porcentual de la masa en el análisis modal de la edificación considerando base elástica, se ve refleja directamente en la generación de las fuerzas cortantes, siendo estas de menor magnitud para un sismo en la dirección XX, pero incrementándose para un sismo en la dirección YY, en comparación con las fuerzas cortantes de la edificación con base empotrada.

La interacción suelo – estructura no resulta beneficiosa para el sistema estructural bajo carga sísmica ya que alarga el período fundamental traslacional y lleva al incremento de los drifts del sistema estructural, que indica mayores esfuerzos internos.

Los desplazamientos de último nivel tienen un incremento considerable, el cual debe ser tomado en cuenta, al considerar la junta de separación sísmica frente otra edificación contigua.

Por ser una estructura de planta irregular, el fenómeno de torsión está controlado bajo el diseño de base empotrada, considerando a la infraestructura estable. Pero la torsión surge cuando se considera la interacción suelo estructura, lo que incide directamente al diseño de los elementos estructurales, principalmente en los elementos perimetrales.

Se deben considerar los esfuerzos adicionales que generan las bases flexibles, para realizar los diseños del concreto, de los diferentes elementos estructurales.

Se debe tomar mayor atención a los elementos estructurales del primer nivel, por ser estos los que reciben los mayores incrementos de esfuerzos internos.

Es importante considerar los efectos de la interacción suelo estructura para diseñar edificaciones con mayores factores de seguridad.

Las condiciones del suelo local, influye directamente el efecto cinemático de la interacción suelo estructura.

De acuerdo al presente trabajo, se observa que ante la interacción suelo estructura existe tendencia a superar los límites de desplazamiento de entrepiso regulado por las normas peruanas, si esta fuese superada, se debe replantear la estructura.

La estructura con base elástica bajo señales de sismos sintéticos, generan registros de esfuerzos internos con mayores desviaciones estándar, frente a los registros de la estructura con base empotrada. Lo que indica una mayor sensibilidad del comportamiento sísmico del edificio con interacción suelo estructura.

Para el presente estudio, el suelo es considerado rígido por lo que para la edificación con base elástica el incremento de los periodos no llega a intersectar la curva descendente de los espectros de aceleraciones, descartando decremento de la energía sísmica con respecto a dichos espectros calculados. Sin embargo, la misma estructura en un suelo más blando podría verse más beneficiada por los efectos de interacción dinámica si los incrementos de periodos fueran mayores.

Las propiedades geométricas de las zapatas son importantes para determinar las rigideces de los resortes para las cimentaciones rígidas, por lo que el diseño de las zapatas es fundamental para brindar las garantías necesarias en la estabilidad de la edificación, y generar las respuestas más aproximadas en la interacción suelo estructura.

La interacción suelo estructura pone en consideración debatir las normas peruanas para implementar nuevas indicaciones con respecto al diseño de las edificaciones.

## **ANEXOS**

Figura A 1 : SISMOS SINTETICOS SENTIDO XX – BASE EMPOTRADA

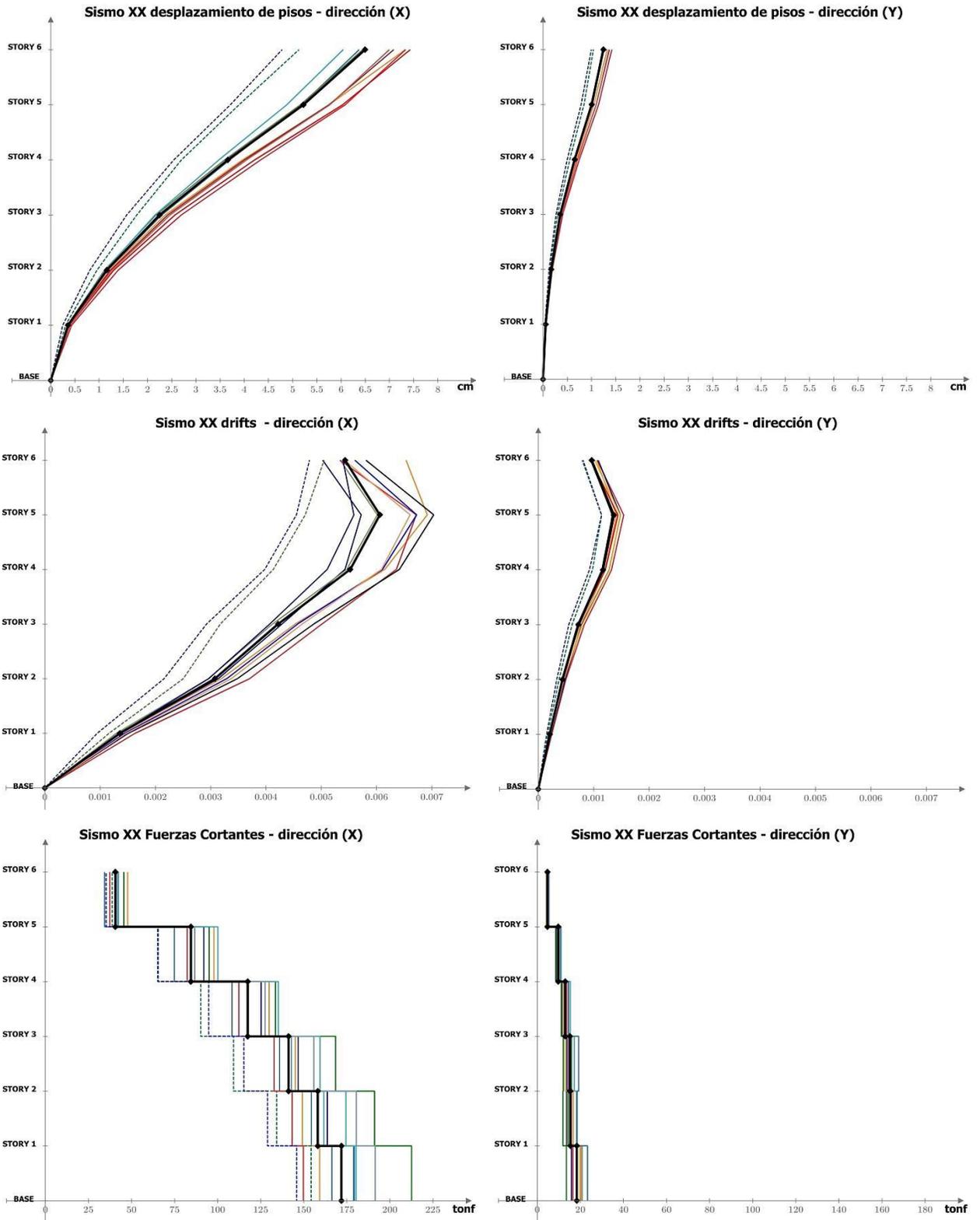


Figura A 2 : SISMOS SNTETICOS SENTIDO YY – BASE EMPOTRADA

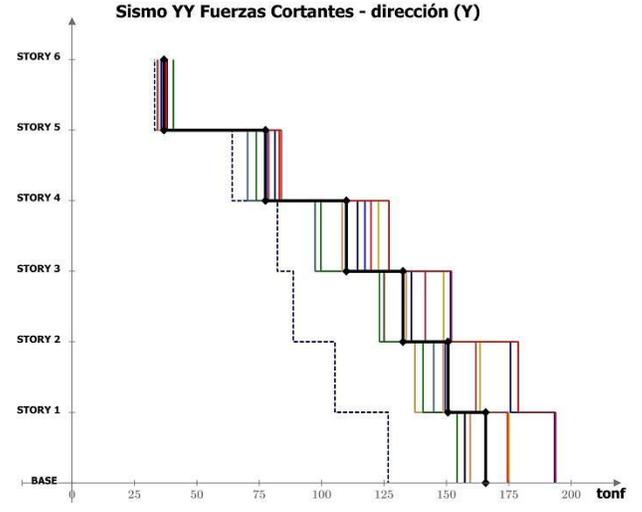
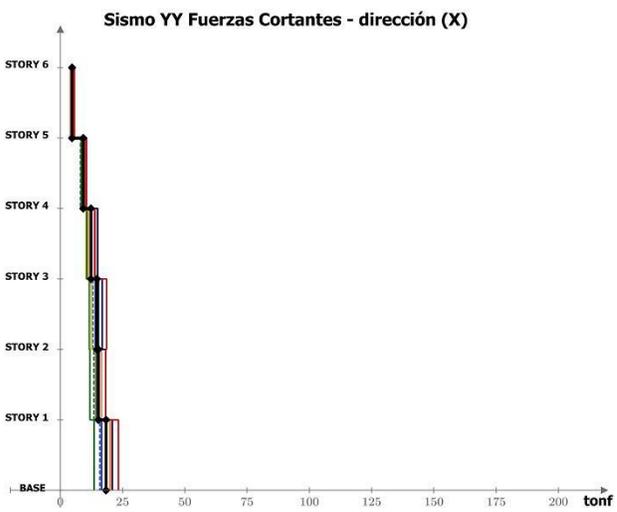
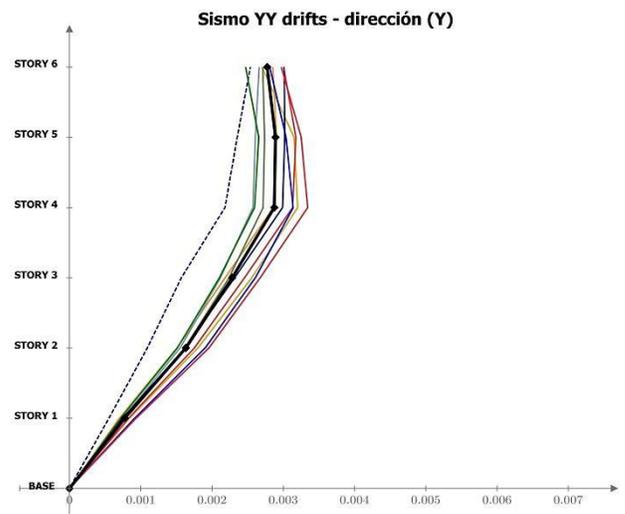
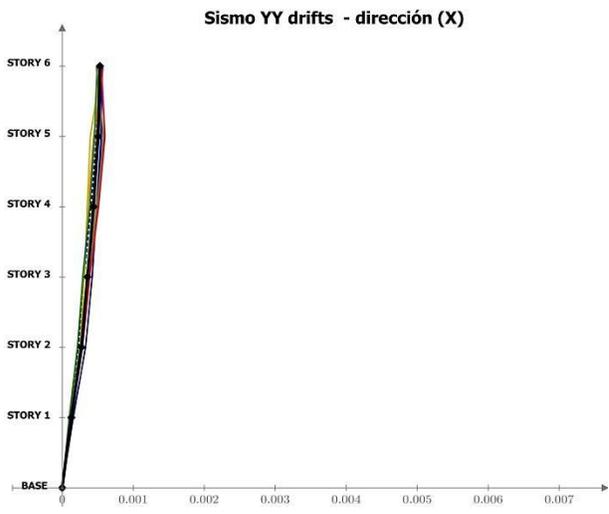
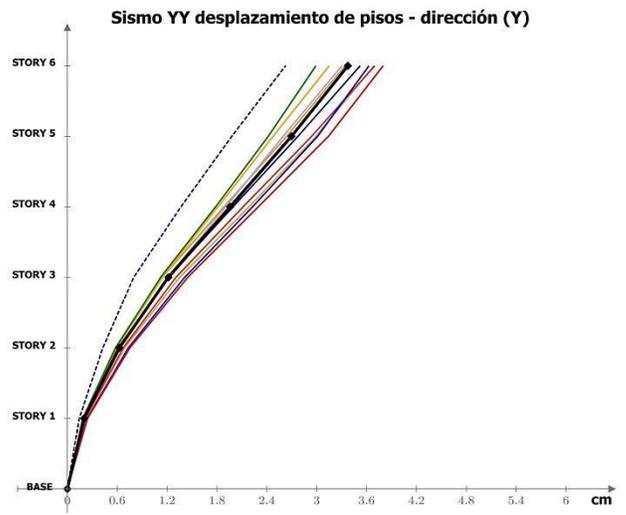
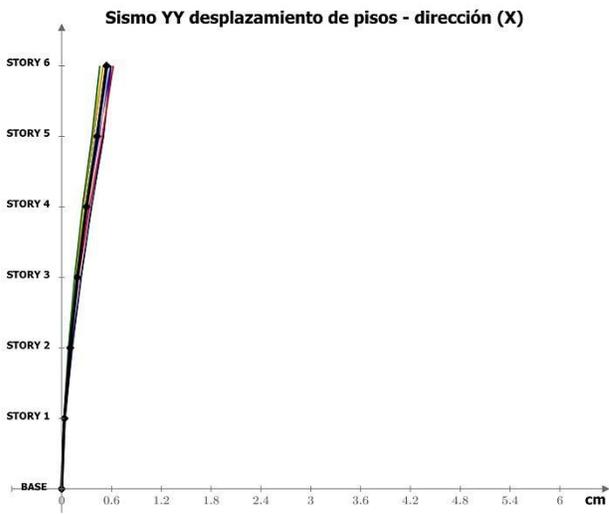


Figura A 3 : SISMOS SINTETICOS SENTIDO XX – BASE ELASTICA

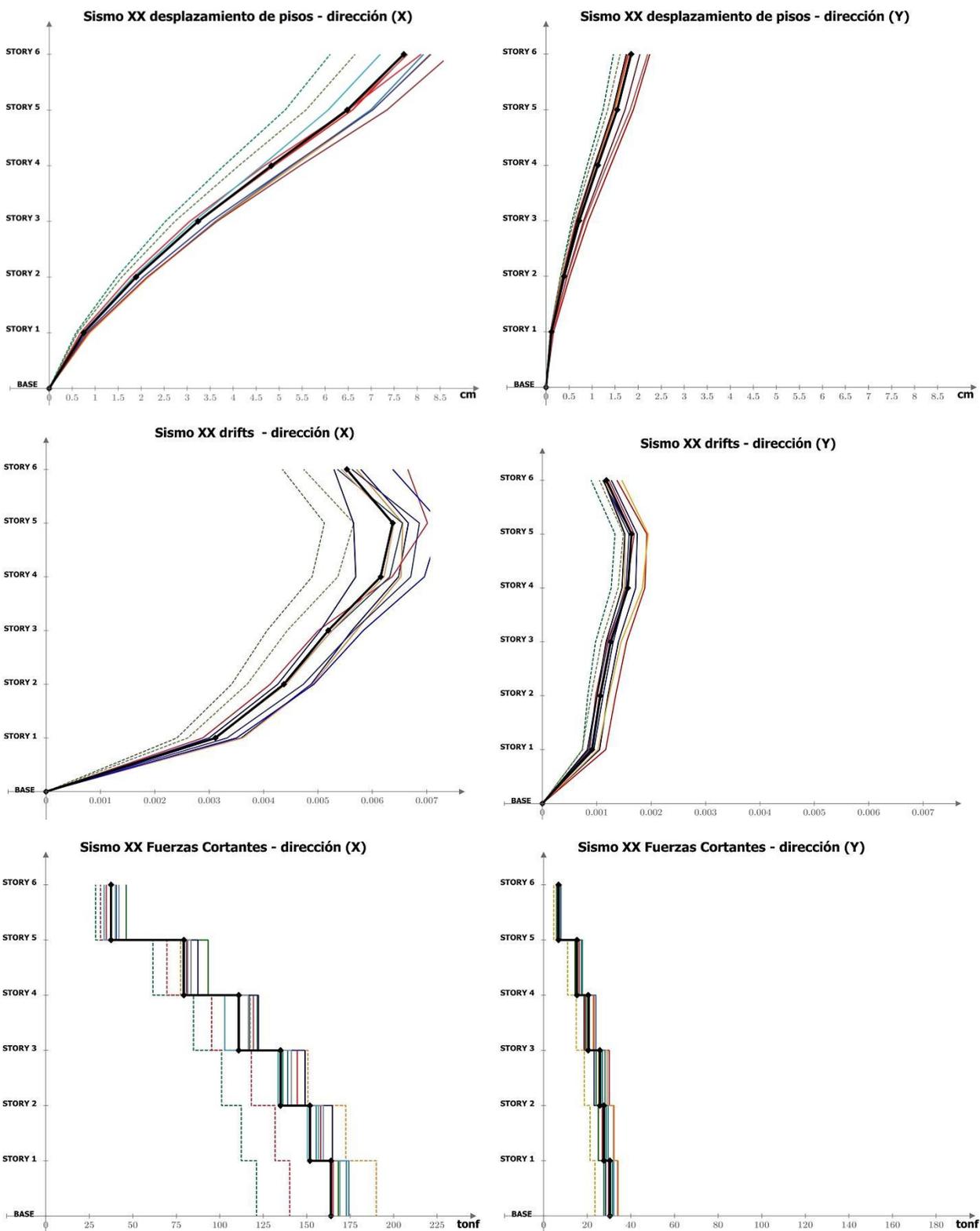


Figura A 4 : SISMOS SINTETICOS SENTIDO YY – BASE ELASTICA

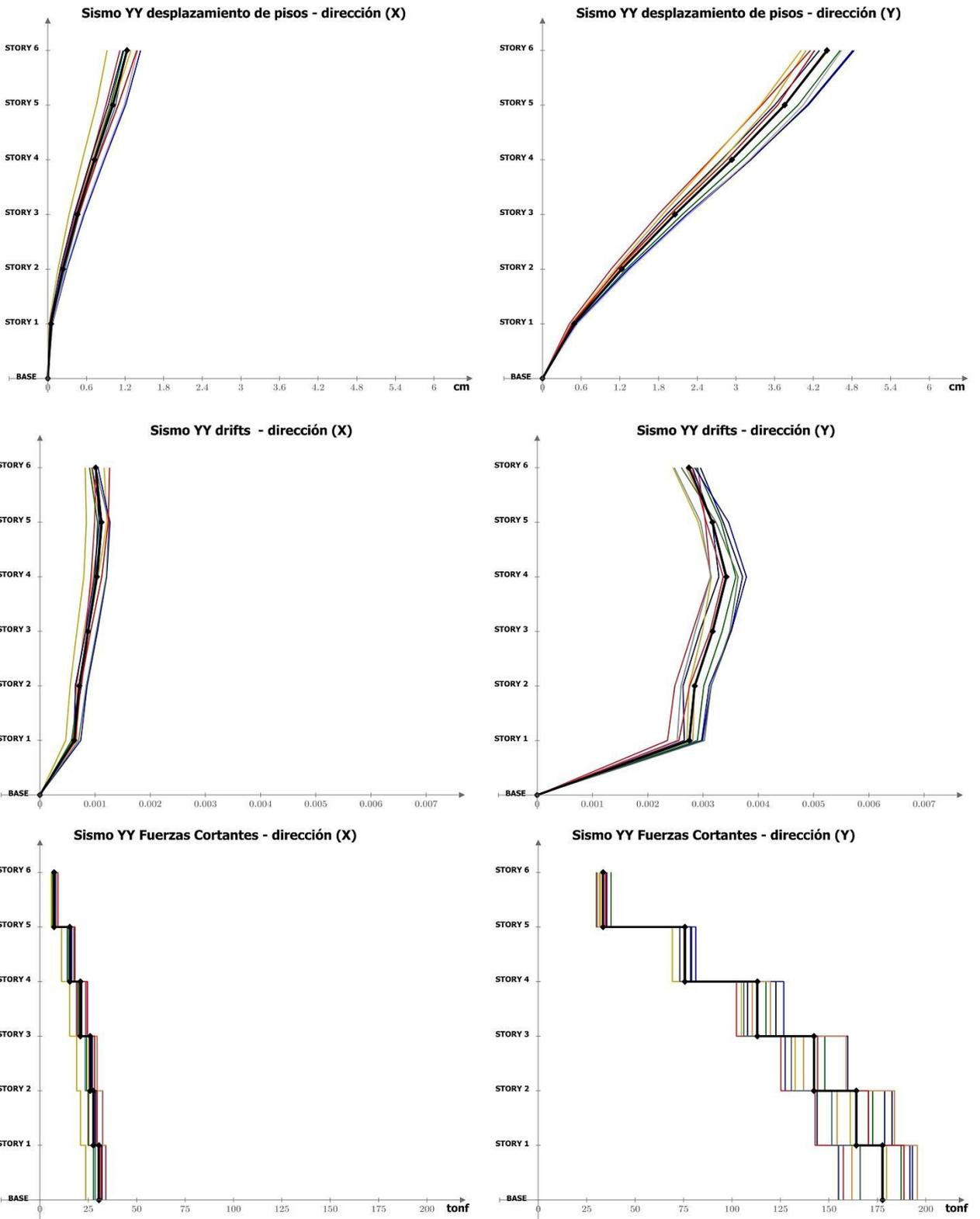
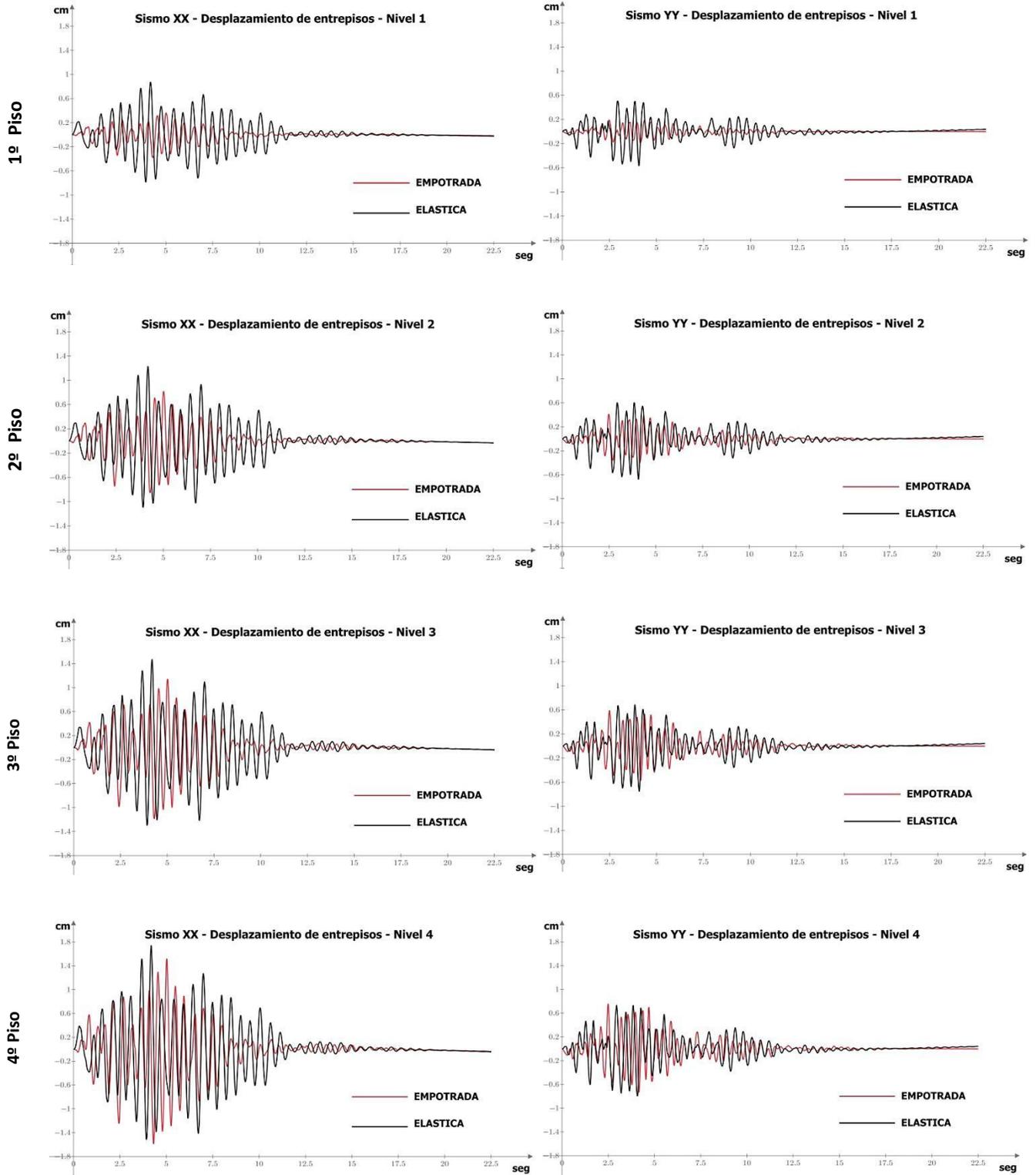


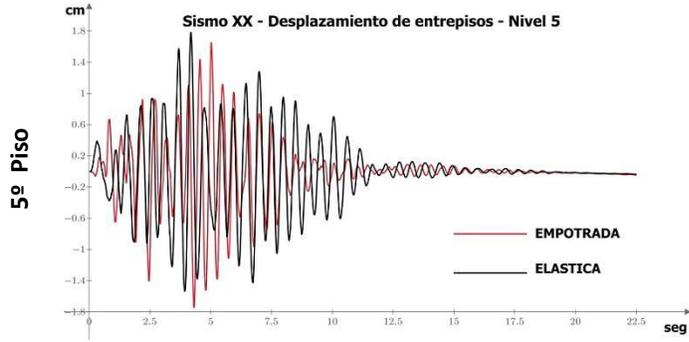
Figura A 5 : Tiempo Historia - DESPLAZAMIENTOS DE ENTREPISOS

SISMO XX

SISMO YY



### SISMO XX



### SISMO YY

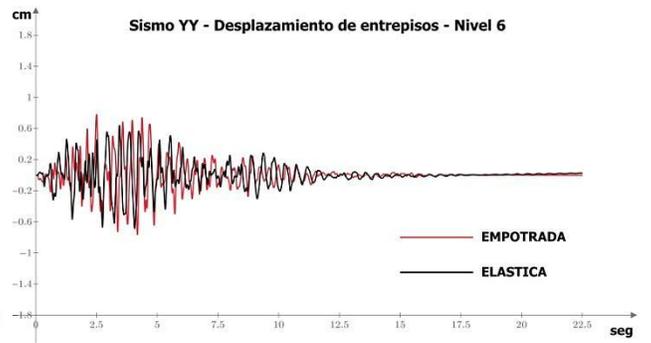
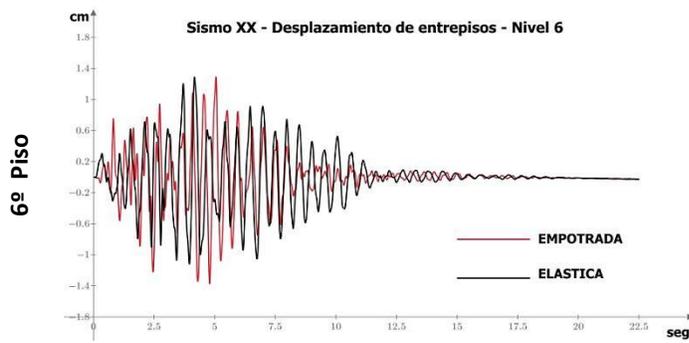
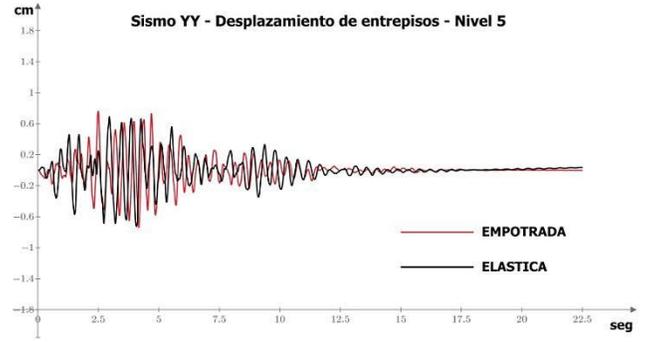
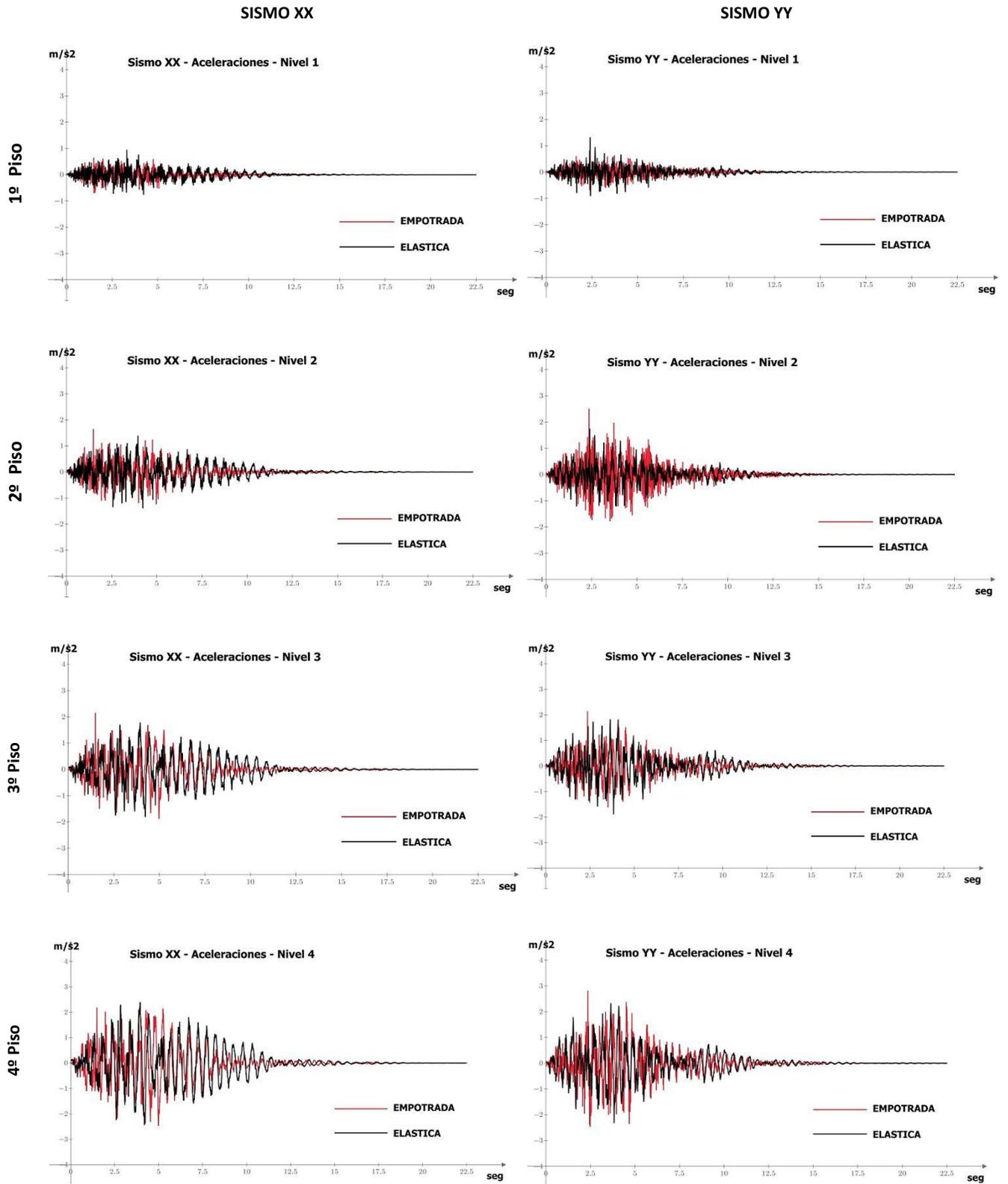


Figura A 6 : Tiempo Historia - ACELERACIONES DE PISOS



### SISMO XX

### SISMO YY

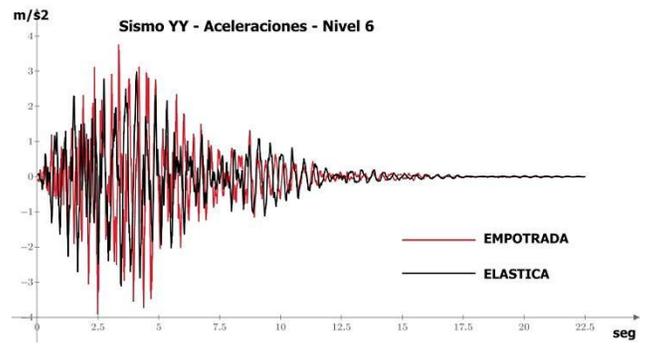
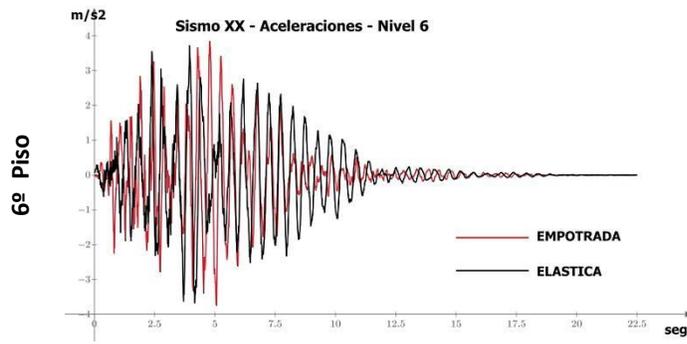
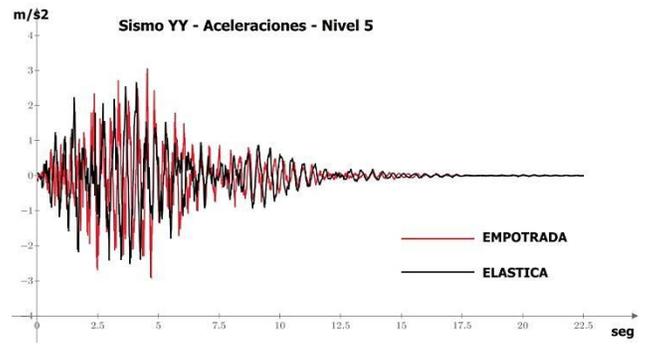
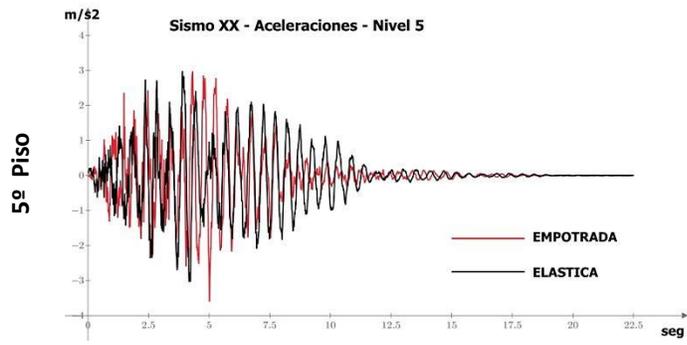
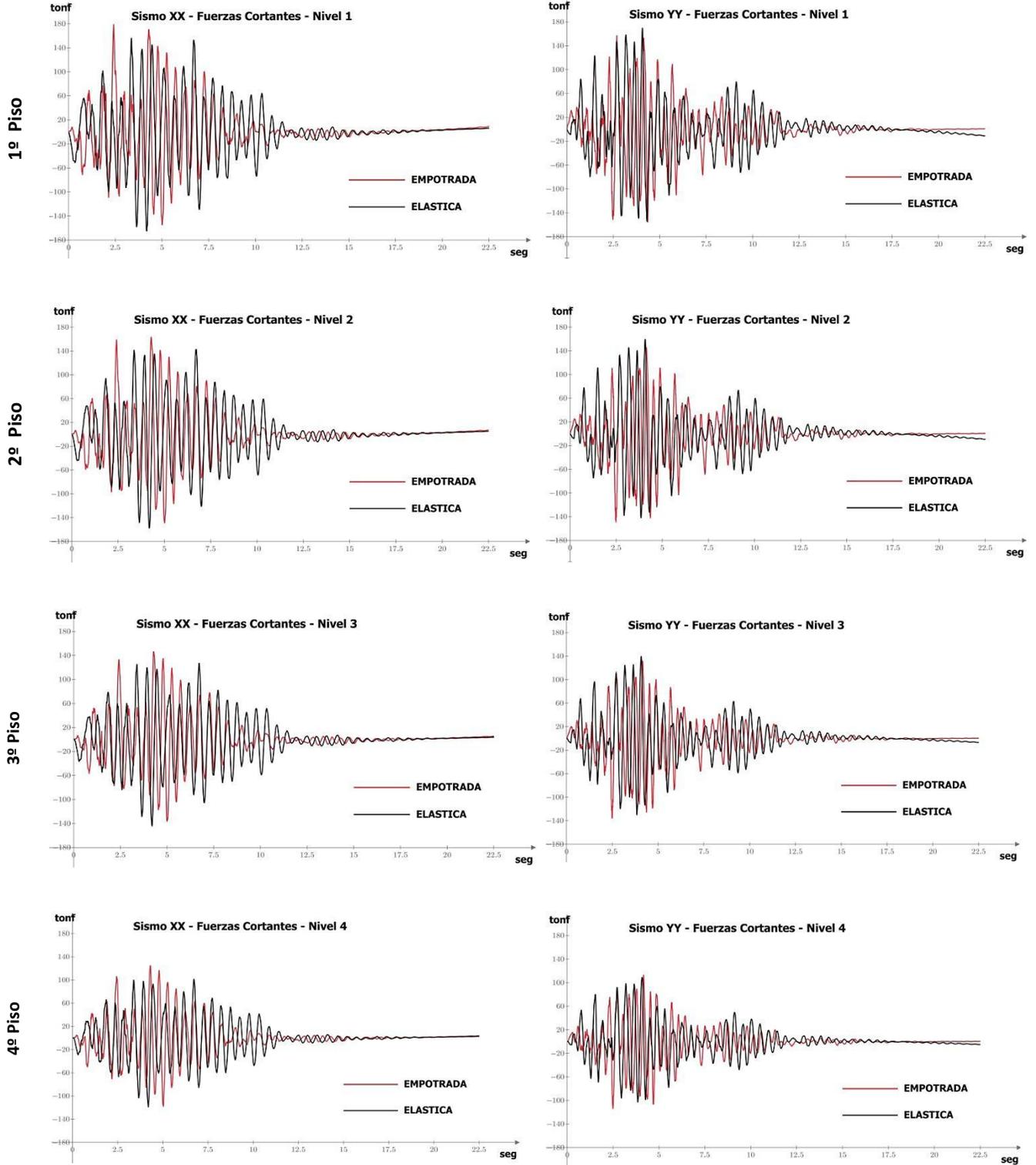


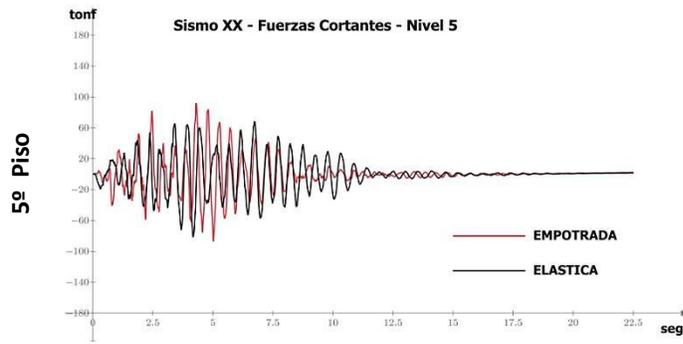
Figura A 7 : Tiempo Historia - FUERZAS CORTANTES POR PISO

SISMO XX

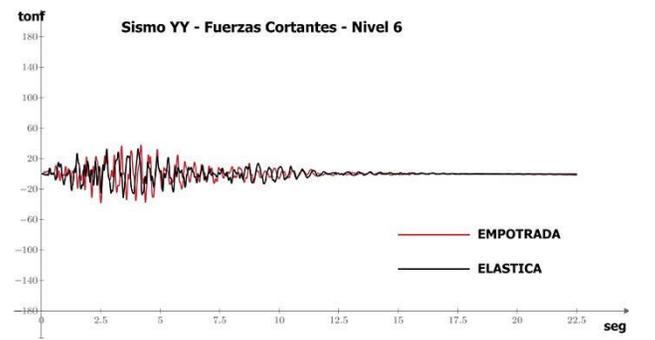
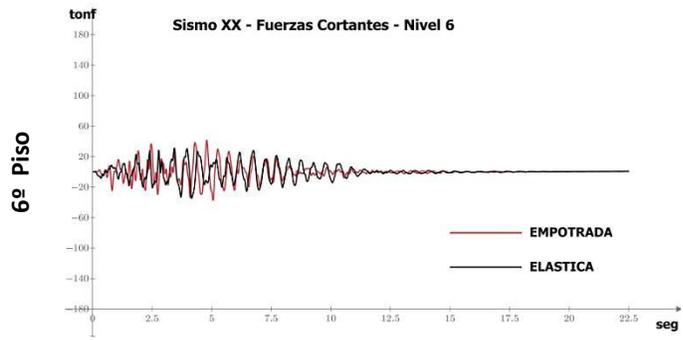
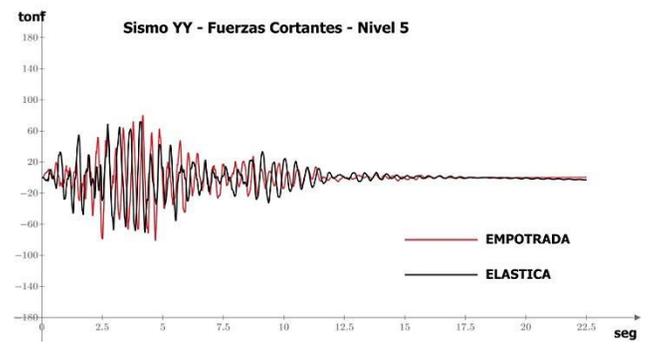
SISMO YY



### SISMO XX



### SISMO YY



## REFERENCIAS

---

<sup>i</sup> Computers & Structures. INC , Structural and Earthquake Software, ETABS Integrated Analysis, Design and Drafting of Building Systems.

<sup>ii</sup> Agudelo Zapata, José Antonio (2014), “AcelSin” Programa Informático que obtiene Acelerogramas Sintéticos.

<sup>iii</sup> D. Gasparini y E. Vanmarcke, “*Simulated Earthquake Motions Compatible with Prescribed Response Spectra*”, Report R76-4 of a Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 1976