

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“XXXXXXXXXXXXX TÍTULO DE LA TESIS  
XXXXXXXXXXXXX”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR:**

**NOMBRE1 NOMBRE2 APELLIDO1 APELLIDO2**

**ASESOR:**

**DR. NOMBRE DEL ASESOR**

**LIMA - PERÚ**

**2021**

© 2021, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir de la tesis en su totalidad o en parte,  
con fines estrictamente académicos.”**

Apellido1 Apellido2, Nombre1 Nombre2

CoreoXXXXX@uni.pe

987654321

*Aquí va la dedicatoria  
a tus padres, hermanos, amigos, etc.*

## AGRADECIMIENTOS

Curabitur tellus magna, porttitor a, commodo a, commodo in, tortor. Donec interdum. Praesent scelerisque. Maecenas posuere sodales odio. Vivamus metus lacus, varius quis, imperdiet quis, rhoncus a, turpis. Etiam ligula arcu, elementum a, venenatis quis, sollicitudin sed, metus. Donec nunc pede, tincidunt in, venenatis vitae, faucibus vel, nibh. Pellentesque wisi. Nullam malesuada. Morbi ut tellus ut pede tincidunt porta. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam congue neque id dolor.

Sed feugiat. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Ut pellentesque augue sed urna. Vestibulum diam eros, fringilla et, consectetur eu, nonummy id, sapien. Nullam at lectus. In sagittis ultrices mauris. Curabitur malesuada erat sit amet massa. Fusce blandit. Aliquam erat volutpat. Aliquam euismod. Aenean vel lectus. Nunc imperdiet justo nec dolor.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>VII</b>
<b>PRÓLOGO</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS</b>	<b>XI</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 GENERALIDADES . . . . .	1
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN . . . . .	1
1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO . . . . .	1
1.3.1 Objetivo General . . . . .	1
1.3.2 Objetivos Específicos . . . . .	1
1.4 HIPÓTESIS DEL ESTUDIO . . . . .	2
1.4.1 Hipótesis General . . . . .	2
1.4.2 Hipótesis Específicas . . . . .	2
1.5 METODOLOGÍA . . . . .	2
<b>CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO Y CONCEPTUAL</b>	<b>3</b>
2.1 PRIMER TEMA . . . . .	3
2.1.1 Aisladores Sísmicos . . . . .	3
2.1.2 Disipadores de Fluido Viscoso . . . . .	4
2.2 SEGUNDO TEMA . . . . .	4
2.2.1 Modelo Histerético de Bouc-Wen . . . . .	5
2.3 TERCER TEMA . . . . .	6
2.3.1 Modelo de Masas Concentradas . . . . .	6
2.4 CUARTO TEMA . . . . .	6
2.4.1 Registros Sísmicos Ajustados . . . . .	7
<b>CAPÍTULO III: NOMBRE DEL CAPÍTULO 3</b>	<b>8</b>
3.1 PRIMERA SECCIÓN . . . . .	8
3.2 SEGUNDA SECCIÓN . . . . .	9

3.2.1	Formulación Incremental del Método Beta de Newmark . . .	9
3.3	TERCERA SECCIÓN . . . . .	9
3.3.1	Predimensionamiento . . . . .	9
3.3.2	Resultados . . . . .	9
3.4	CUARTA SECCIÓN . . . . .	10
3.4.1	Importancia de la Razón de Aislamiento . . . . .	11
<b>CAPÍTULO IV: NOMBRE DEL CAPÍTULO 4</b>		<b>12</b>
4.1	PRIMERA SECCIÓN . . . . .	12
4.1.1	Algoritmo de Solución para Edificaciones con Disipadores de Fluido Viscoso . . . . .	12
4.2	SEGUNDA SECCIÓN . . . . .	13
4.2.1	Resultados . . . . .	13
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>14</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>		<b>15</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>		<b>16</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>17</b>
ANEXO A: CÓDIGOS EN PYTHON . . . . .		17
	Respuesta Sísmica de una Edificación con AS . . . . .	17
	Funciones . . . . .	17
ANEXO B: HISTÉRESIS DE LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL . . . . .		19
	Edificio Principal del Aeropuerto Jorge Chavez . . . . .	19

## RESUMEN

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

## ABSTRACT

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.



## PRÓLOGO

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.

## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 3.1	Parámetros de la interfaz de aislamiento . . . . .	9
Tabla N° 3.2	Parámetros de la interfaz de aislamiento $r = 2$ . . . . .	11

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 2.1	Dispositivos de aislamiento sísmico . . . . .	4
Figura N° 2.2	Disipador de fluido viscoso . . . . .	4
Figura N° 2.3	Modelo histerético de Bouc-Wen . . . . .	5
Figura N° 2.4	Acelerogramas espectrocompatibles - Pisco 2007 . . . . .	7
Figura N° 3.1	Histéresis de la interfaz de aislamiento . . . . .	10
Figura N° 3.2	Desplazamiento de la interfaz de aislamiento . . . . .	10
Figura N° 3.3	Desplazamiento máximo de la interfaz de aislamiento . . . . .	11
Figura N° 4.1	Algoritmo de solución para edificaciones con DFV . . . . .	12
Figura N° 4.2	$\delta$ y $\eta_\delta$ en edificaciones con DFV . . . . .	13
Figura N° 4.3	Desplazamiento máximo del último nivel . . . . .	13

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

### **SÍMBOLOS**

- $\alpha$  : Razón entre la rigidez postfluencia y la rigidez elástica
- $A$  : Área de la sección transversal de la viga
- $\beta$  : Porcentaje de amortiguamiento crítico de la superestructura
- $\beta_a$  : Fracción de amortiguamiento crítico del AMS
- $\beta_M$  : Amortiguamiento efectivo de la edificación aislada
- $B_M$  : Factor de reducción asociado al amortiguamiento efectivo  $\beta_M$
- $c_a$  : Amortiguamiento del AMS

**SIGLAS**

- ADAS : Added damping and stiffness  
AMS : Amortiguador de masa sintonizada  
AS : Aislador sísmico  
ASCE : American society of civil engineers

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1 GENERALIDADES

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

### 1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Donec odio elit, dictum in, hendrerit sit amet, egestas sed, leo. Praesent feugiat sapien aliquet odio. Integer vitae justo. Aliquam vestibulum fringilla lorem. Sed neque lectus, consectetur at, consectetur sed, eleifend ac, lectus. Nulla facilisi. Pellentesque eget lectus. Proin eu metus. Sed porttitor. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse eu lectus. Ut mi mi, lacinia sit amet, placerat et, mollis vitae, dui. Sed ante tellus, tristique ut, iaculis eu, malesuada ac, dui. Mauris nibh leo, facilisis non, adipiscing quis, ultrices a, dui.

### 1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

#### 1.3.1 Objetivo General

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Objetivo específico 1.
- Objetivo específico 2.

- Objetivo específico 3.

## 1.4 HIPÓTESIS DEL ESTUDIO

### 1.4.1 Hipótesis General

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

### 1.4.2 Hipótesis Específicas

- Hipótesis Específica 1.
- Hipótesis Específica 2.
- Hipótesis Específica 3.

## 1.5 METODOLOGÍA

La metodología seguida para el desarrollo de la presente tesis es la siguiente:

- Paso 1.
- Paso 2.
- Paso 3.
- Paso 4.

## CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

Donec et nisl id sapien blandit mattis. Aenean dictum odio sit amet risus. Morbi purus. Nulla a est sit amet purus venenatis iaculis. Vivamus viverra purus vel magna. Donec in justo sed odio malesuada dapibus. Nunc ultrices aliquam nunc. Vivamus facilisis pellentesque velit. Nulla nunc velit, vulputate dapibus, vulputate id, mattis ac, justo. Nam mattis elit dapibus purus. Quisque enim risus, congue non, elementum ut, mattis quis, sem. Quisque elit.

### 2.1 PRIMER TEMA

#### 2.1.1 Aisladores Sísmicos

Son dispositivos que desacoplan la estructura y su contenido de los efectos de un sismo. Este desacople se alcanza incrementando la flexibilidad del sistema y proporcionándole un amortiguamiento adecuado (Skinner et al., 1993).

Existen diversos tipos de aisladores sísmicos, siendo los más usados en la actualidad los aisladores elastoméricos y los aisladores friccionantes.

##### 2.1.1.1 Aisladores Elastoméricos

- Aisladores de elastómero natural o de bajo amortiguamiento

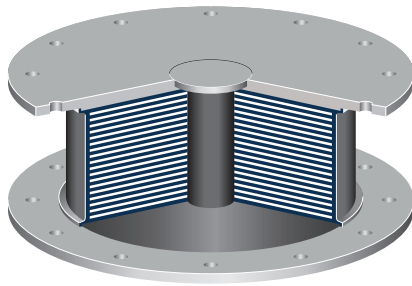
Los dispositivos NRB (*Natural Rubber Bearing*) consisten en capas alternadas de caucho y acero unidas mediante un proceso de vulcanización. Se caracterizan por su bajo nivel de amortiguamiento (alrededor de 2-3%), poseen una curva fuerza deformación casi lineal y una fuerza restitutiva estable (Naeim y Kelly, 1999).

##### 2.1.1.2 Aisladores Friccionantes

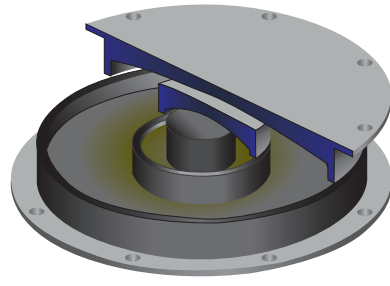
- Aisladores de péndulo de fricción simple

Los dispositivos FPS (*Frictional Pendulum System*) constan de un deslizador articulado que se mueve sobre una superficie de fricción esférica. La superficie de contacto está revestida de un material compuesto autolubrificante. Cuando el deslizador se mueve sobre la superficie esférica, la masa soportada se levantará y el movimiento proporcionará la fuerza restitutiva del sistema. El radio de curvatura de la superficie cóncava dominará la rigidez y el periodo del sistema (Wu, 2001).





(a) Aislador elastomérico LRB. Adaptado de Bridgestone (2015)



(b) Aislador friccionante TFPB. Adaptado de Fenz y Constantinou (2008)

FIGURA N° 2.1: Dispositivos de aislamiento sísmico

### 2.1.2 Disipadores de Fluido Viscoso

Son dispositivos que incrementan el amortiguamiento de la estructura sin incrementar la rigidez y cuyo funcionamiento depende fundamentalmente de la velocidad relativa de sus extremos. Los DFV están compuestos por un pistón de acero inoxidable, con cabezal de bronce y un acumulador, que se encuentran alojados dentro en un cilindro metálico lleno con un fluido de alta viscosidad. La cabeza del pistón tiene orificios que están diseñados con una serie de formas especiales para alterar las características de flujo con la velocidad del fluido, disipando de esta manera energía en forma de calor. La construcción mecánica y las propiedades del orificio se pueden variar para obtener las propiedades amortiguadoras deseadas (Constantinou y Symans, 1993).

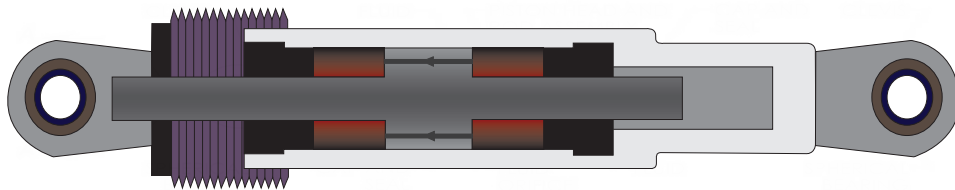


FIGURA N° 2.2: Disipador de fluido viscoso. Adaptado de Berquist et al. (2019)

## 2.2 SEGUNDO TEMA

En esta sección se revisan modelos matemáticos capaces de describir de forma analítica una amplia gama de comportamientos inelásticos complejos presentes en muchos sistemas y materiales.

### 2.2.1 Modelo Histerético de Bouc-Wen

Es un modelo que se usa para predecir el comportamiento dinámico no lineal de aisladores sísmicos, así como de disipadores histeréticos. El modelo de Bouc-Wen necesita cuatro parámetros de entrada, los cuales son: la rigidez elástica, la rigidez postfluencia, la fuerza característica y un parámetro adimensional que controla la forma del lazo histerético.

De acuerdo con Charalampakis (2010) la fuerza en el tiempo  $t$  del modelo histerético de Bouc-Wen se evalúa en función del desplazamiento de la siguiente manera:

$$F(t) = \alpha \frac{F_y}{D_y} u(t) + (1 - \alpha) F_y z(t) \quad (2.1)$$

$$\dot{z}(t) = [1 - |z(t)|^\eta \operatorname{sgn}(\dot{u}(t)z(t))] \frac{\dot{u}(t)}{D_y}, \quad z(0) = 0 \quad (2.2)$$

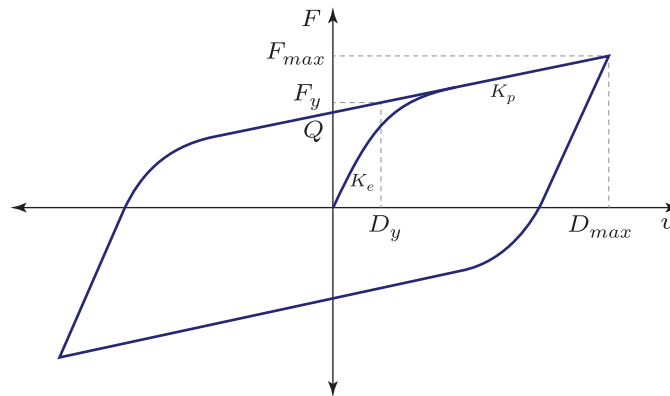


FIGURA N° 2.3: Modelo histerético de Bouc-Wen. Adaptado de Charalampakis (2010)

En la Figura N° 2.3 y en las ecuaciones 2.1 y 2.2 se muestran los parámetros necesarios para definir un ciclo histerético con comportamiento de Bouc-Wen.

Donde:

- $K_e$  : Rigidez elástica
- $K_p$  : Rigidez postfluencia
- $Q$  : Fuerza característica
- $D_y$  : Desplazamiento de fluencia
- $F_y$  : Fuerza de fluencia
- $\alpha$  : Razón entre la rigidez postfluencia y la rigidez elástica
- $\eta$  : Parámetro adimensional que controla la forma del lazo histerético

## 2.3 TERCER TEMA

### 2.3.1 Modelo de Masas Concentradas

Es un modelo físico discreto conformado por una serie de masas interconectadas por resortes sin peso (sistema de acoplamiento cercano). Este modelo puede describir adecuadamente el comportamiento de edificaciones con un sistemas estructural basado en pórticos con vigas muy rígidas y donde las deformaciones axiales de las columnas se desprecian.

#### 2.3.1.1 Matrices de Masa y Rigidez

Para un modelo discreto de masas concentradas de  $n$  GDL, la matriz de masas  $M$  es diagonal, con la masa  $i_{ésimo}$ ,  $m_i$ , como el elemento diagonal  $i_{ésimo}$ .

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & m_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & m_n \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (2.3)$$

#### 2.3.1.2 Matriz de Amortiguamiento

Usando el amortiguamiento de Rayleigh se puede construir una matriz de amortiguamiento que sea consisten con los datos experimentales (Chopra, 2016). Tal como se aprecia en la ecuación 2.4, Rayleigh propone que la matriz de amortiguamiento sea una combinación lineal de la matriz de masa y la matriz de rigidez.

$$C = a_0 M + a_1 K \quad (2.4)$$

## 2.4 CUARTO TEMA

De acuerdo con la ASCE 7-16 y la norma E.031 cuando se realice un análisis tiempo historia para diseñar edificaciones que incorporen algún sistema de control pasivo se debe usar un mínimo de siete registros sísmico, los cuales deben estar escalados correctamente. Dado que el objetivo de la presente tesis no es realizar un diseño detallado sino más bien conocer la eficiencia de cada sistema de control pasivo en la reducción de la respuesta sísmica, se usaron solo tres registros.

### 2.4.1 Registros Sísmicos Ajustados

A continuación se presentan los registros sísmicos usados en la presente tesis.

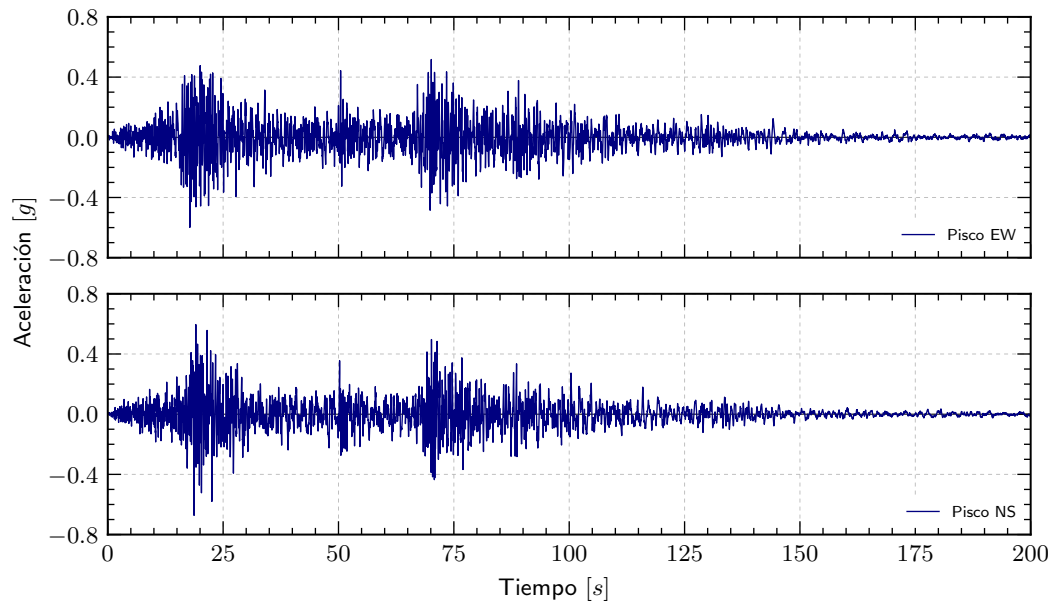


FIGURA N° 2.4: Acelerogramas espectrocompatibles - Pisco 2007.

### CAPÍTULO III: NOMBRE DEL CAPÍTULO 3

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

#### 3.1 PRIMERA SECCIÓN

En la figura anterior se observa que:

$$u_{iT} = u_g + u_b + u_i \quad \rightarrow \quad \ddot{u}_{iT} = \ddot{u}_g + \ddot{u}_b + \ddot{u}_i \quad (3.1a)$$

$$u_{bT} = u_g + u_b \quad \rightarrow \quad \ddot{u}_{bT} = \ddot{u}_g + \ddot{u}_b \quad (3.1b)$$

Remplazando y simplificando se puede llegar a una expresión matricial de la forma:

$$M_s \ddot{u}_s(t) + M_s \tau \ddot{u}_b(t) + C_s \dot{u}_s(t) + K_s u_s(t) = -M_s \tau \ddot{u}_g(t) \quad (3.2)$$

Donde  $M_s$  es la matriz de masa de la superestructura y se obtiene de la ecuación 2.3,  $C_s$  es la matriz de amortiguamiento y viene dada por la ecuación 2.4,  $K_s$  es la matriz de rigidez y  $\tau = [1, 1, \dots, 1]^T$  es un vector de  $n \times 1$ .

A continuación se muestra la 3.3.

$$\overline{M} \ddot{u}(t) + \overline{C} \dot{u}(t) + \overline{K} u(t) + \overline{R}(t) = -v \ddot{u}_g(t) \quad (3.3)$$

Donde:

$$\overline{M} = \begin{bmatrix} M_s & M_s \tau \\ \tau^T M_s & m_{tot} \end{bmatrix}; \quad \overline{C} = \begin{bmatrix} C_s & 0 \\ 0^T & 0 \end{bmatrix}; \quad \overline{K} = \begin{bmatrix} K_s & 0 \\ 0^T & 0 \end{bmatrix}; \quad (3.4a)$$

$$\overline{R}(t) = \begin{bmatrix} 0 \\ R(t) \end{bmatrix}; \quad u(t) = \begin{bmatrix} u_s(t) \\ u_b(t) \end{bmatrix}; \quad v = \begin{bmatrix} M_s \tau \\ m_{tot} \end{bmatrix} \quad (3.4b)$$

## 3.2 SEGUNDA SECCIÓN

### 3.2.1 Formulación Incremental del Método Beta de Newmark

Las aproximaciones de diferencias finitas para el método Beta de Newmark se muestran a continuación:

$$d_{i+1} \approx d_i + (\Delta t)\dot{d}_i + (\Delta t)^2 \left[ \left( \frac{1}{2} - \beta \right) \ddot{d}_i + \beta \ddot{d}_{i+1} \right] \quad (3.5a)$$

$$\dot{d}_{i+1} \approx \dot{d}_i + \Delta t \left[ (1 - \gamma) \ddot{d}_i + \gamma \ddot{d}_{i+1} \right] \quad (3.5b)$$

Si en la ecuación 3.5 se considera  $\beta = 1/4$  y  $\gamma = 1/2$  el método Beta de Newmark es implícito e incondicionalmente estable.

## 3.3 TERCERA SECCIÓN

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.

### 3.3.1 Predimensionamiento

A continuación, se muestra la Tabla N° 3.1 con los parámetros necesarios para definir el modelo bilineal de la interfaz de aislamiento.

TABLA N° 3.1: Parámetros de la interfaz de aislamiento

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Rigidez postfluencia normalizada	$K_p^*$	36.84	$1/s^2$
Rigidez elástica normalizada	$K_e^*$	368.40	$1/s^2$
Fuerza característica normalizada	$Q^*$	0.133	$g$

### 3.3.2 Resultados

Sed feugiat. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Ut pellentesque augue sed urna. Vestibulum diam eros, fringilla et, consectetur eu, nonummy id, sapien. Nullam at lectus. In sagittis ultrices mauris. Curabitur malesuada erat sit amet massa. Fusce blandit. Aliquam erat volutpat.

Aliquam euismod. Aenean vel lectus. Nunc imperdiet justo nec dolor.

Luego de usar los parámetros de la Tabla N° 3.1 se obtuvieron los resultados que se muestran a continuación.

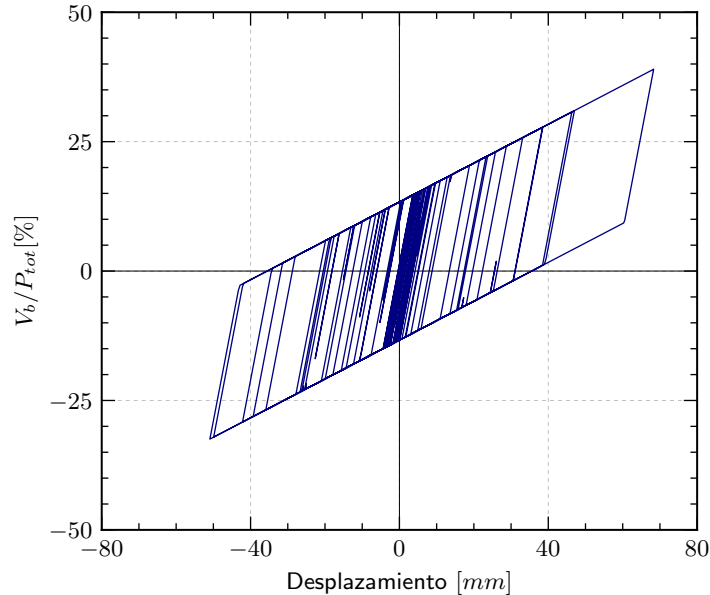


FIGURA N° 3.1: Histéresis de la interfaz de aislamiento.

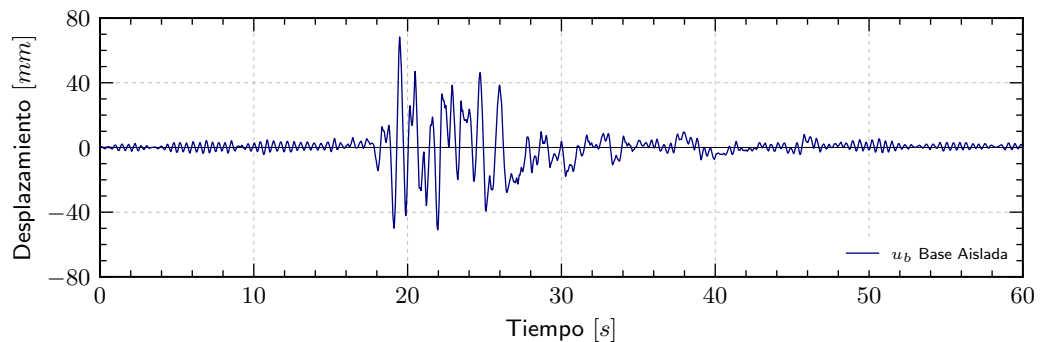


FIGURA N° 3.2: Desplazamiento de la interfaz de aislamiento.

### 3.4 CUARTA SECCIÓN

Nulla ac nisl. Nullam urna nulla, ullamcorper in, interdum sit amet, gravida ut, risus. Aenean ac enim. In luctus. Phasellus eu quam vitae turpis viverra pellentesque. Duis feugiat felis ut enim. Phasellus pharetra, sem id porttitor sodales, magna nunc aliquet nibh, nec blandit nisl mauris at pede. Suspendisse risus risus, lobortis eget, semper at, imperdiet sit amet, quam. Quisque scelerisque dapibus nibh. Nam enim. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nunc ut metus. Ut metus justo, auctor at, ultrices eu, sagittis ut, purus. Aliquam aliquam.

A continuación, se presentan tablas con los parámetros que definen al comporta-

miento histerético bilineal para edificaciones con aislamiento de base con diferentes razones de aislamiento ( $r = T_M/T_f$ ).

TABLA N° 3.2: Parámetros de la interfaz de aislamiento  $r = 2$

Símbolo	Unidad	Número de Niveles					
		$n = 3$	$n = 6$	$n = 9$	$n = 12$	$n = 15$	$n = 18$
$T_f$	$s$	0.30	0.60	0.90	1.20	1.50	1.80
$Q^*$	$g$	0.191	0.095	0.064	0.047	0.030	0.022
$K_p^*$	$1/s^2$	75.16	18.79	8.51	4.70	3.01	2.19
$K_e^*$	$1/s^2$	751.59	187.90	85.12	46.97	30.06	21.91

### 3.4.1 Importancia de la Razón de Aislamiento

Cras dapibus, augue quis scelerisque ultricies, felis dolor placerat sem, id porta velit odio eu elit. Aenean interdum nibh sed wisi. Praesent sollicitudin vulputate dui. Praesent iaculis viverra augue. Quisque in libero. Aenean gravida lorem vitae sem ullamcorper cursus. Nunc adipiscing rutrum ante. Nunc ipsum massa, faucibus sit amet, viverra vel, elementum semper, orci. Cras eros sem, vulputate et, tincidunt id, ultrices eget, magna. Nulla varius ornare odio. Donec accumsan mauris sit amet augue. Sed ligula lacus, laoreet non, aliquam sit amet, iaculis tempor, lorem. Suspendisse eros. Nam porta, leo sed congue tempor, felis est ultrices eros, id mattis velit felis non metus. Curabitur vitae elit non mauris varius pretium. Aenean lacus sem, tincidunt ut, consequat quis, porta vitae, turpis. Nullam laoreet fermentum urna. Proin iaculis lectus.

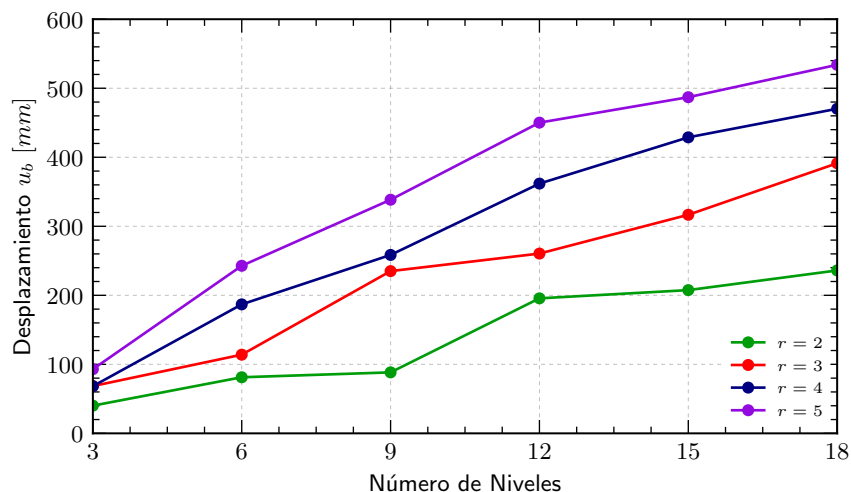


FIGURA N° 3.3: Desplazamiento máximo de la interfaz de aislamiento.



## CAPÍTULO IV: NOMBRE DEL CAPÍTULO 4

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.

### 4.1 PRIMERA SECCIÓN

#### 4.1.1 Algoritmo de Solución para Edificaciones con Disipadores de Fluido Viscoso

A continuación, se presenta el diagrama de flujo del algoritmo usado.

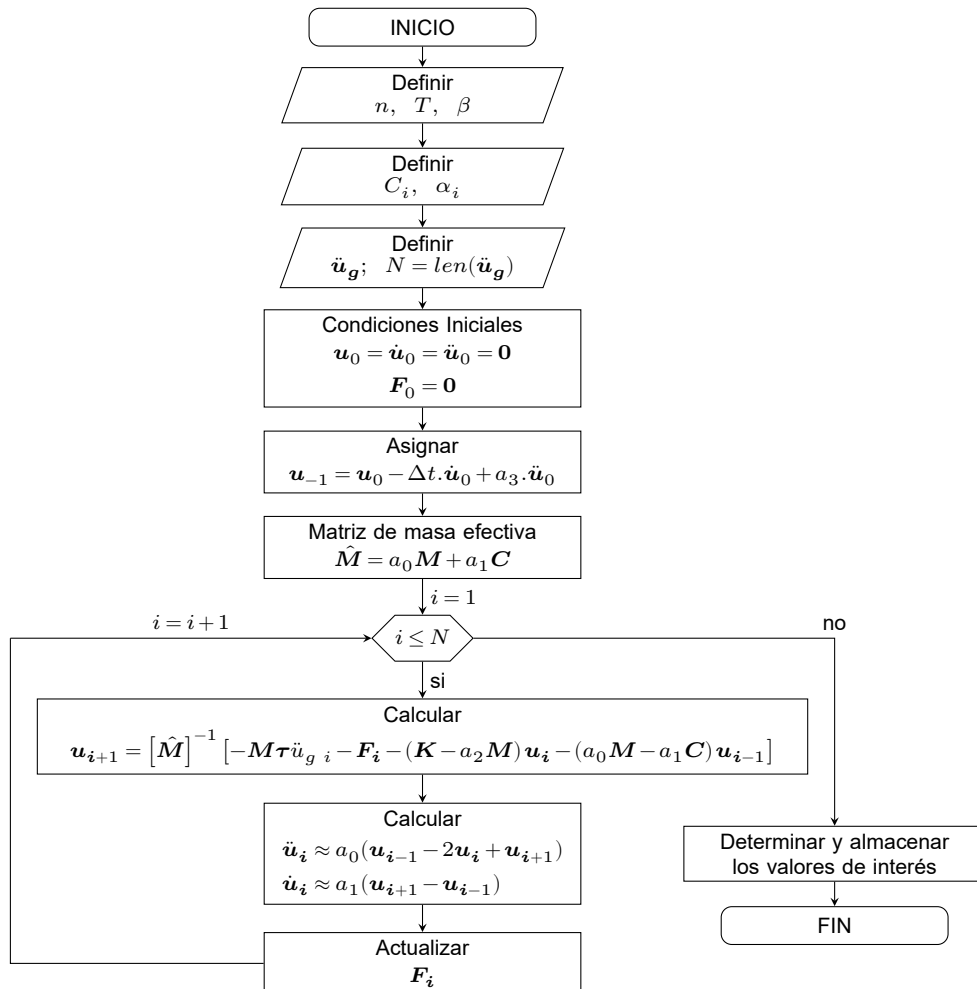


FIGURA N° 4.1: Algoritmo de solución para edificaciones con DFV.

## 4.2 SEGUNDA SECCIÓN

### 4.2.1 Resultados

Luego de aplicar el algoritmo mostrado en la Figura N° 4.1 se obtuvieron las respuestas sísmicas de la edificación.

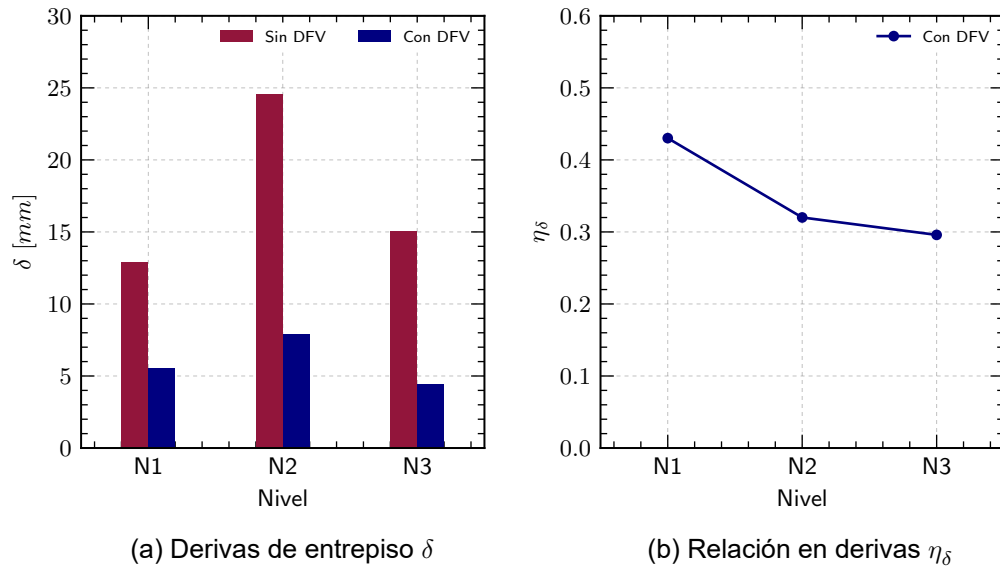
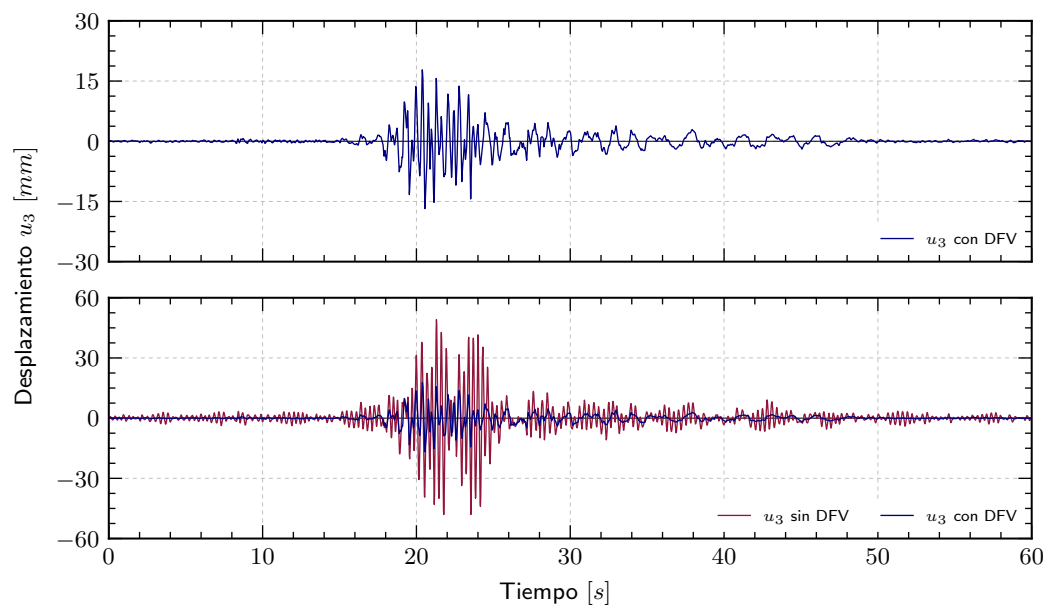


FIGURA N° 4.2:  $\delta$  y  $\eta_\delta$  en edificaciones con DFV.



## CONCLUSIONES

1. Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbiauctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et,tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna,vitae ornare odio metus a mi.
2. Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbiauctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et,tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna,vitae ornare odio metus a mi.
3. Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbiauctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et,tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna,vitae ornare odio metus a mi.

## RECOMENDACIONES

1. Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbiauctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et,tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna,vitae ornare odio metus a mi.
2. Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbiauctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et,tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna,vitae ornare odio metus a mi.
3. Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbiauctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et,tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna,vitae ornare odio metus a mi.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berquist, M., DePasquale, R., Frye, S., Gilani, A., y Klembczyk, A. (2019). *Fluid viscous dampers-general guidelines for engineers including a brief history*. Taylor Devices Inc.
- Bridgestone. (2015). *Seismic isolation product line-up* (Vol. 1). Tokio.
- Charalampakis, A. E. (2010). Parameters of Bouc-Wen hysteretic model revisited. *Proceedings of the 9th HSTAM International Congress on Mechanics*.
- Chopra, A. K. (2016). *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering* (5th ed.). NJ, USA: Prentice Hall.
- Constantinou, M. C., y Symans, M. D. (1993). Experimental study of seismic response of buildings with supplemental fluid dampers. *The Structural Design of Tall Buildings*, 2(2), 93–132.
- Fenz, D. M., y Constantinou, M. C. (2008). *Mechanical behavior of multi-spherical sliding bearings*. Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research.
- Naeim, F., y Kelly, J. M. (1999). *Design of seismic isolated structures: from theory to practice*. John Wiley & Sons.
- Skinner, R. I., Robinson, W. H., y McVerry, G. H. (1993). *An introduction to seismic isolation*. John Wiley & Sons.
- Wu, T. C. (2001). *Design of base isolation system for buildings* (Master thesis). Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.

## ANEXOS

### ANEXO A: CÓDIGOS EN PYTHON

A continuación se presentan los códigos desarrollados en *Python*. En este sentido, el Código A.1 muestra el algoritmo usado para edificaciones con aislamiento de base con comportamiento bilineal. El Código A.2 muestra las funciones usadas por los algoritmos anteriormente mencionados.

#### Respuesta Sísmica de una Edificación con AS

```
1 # REPUESTA SÍSMICA DE UNA EDIFICACIÓN DE n NIVELES CON AS
2 import Funciones_KS as fun
3 import numpy as np
4 from scipy import linalg as LA
5 import copy
6
7 # PROPIEDADES DINÁMICAS
8 # Parámetros dinámicos de la Superestructura
9 n=3                # N° de Pisos
10 gdl=n+1            # GDL = N° de Pisos+1
11 Tnf=0.3            # Periodo base fija , [s]
12 ξ=5                # Amortiguamiento , [%]
13 λ=(gdl-1)/gdl      # Relación de masas
14
15 # Parámetros dinámicos de la interfaz de aislamiento
16 r=0.1              # Razón de rigideces Kp/Ke
17 Q=105              # Fuerza característica normalizada , [cm/s2]
18 K2=30              # Rigidez postfluencia normalizada , [1/s2]
19
20 # LECTURA DEL REGISTRO SÍSMICO
21 ug=np.genfromtxt("./Sismo_Lima66NS.txt") #[cm/s2]
22 Δt=0.002; N=len(ug)
23 t=[i*Δt for i in range(N)]
```

Código A.1: Edificación con aislamiento sísmico bilineal

#### Funciones

```
1 import numpy as np
2 from scipy import linalg as LA
3 import copy
4
5 # FUNCIÓN EIGEN
6 def eigen(Tsf=1,n=5):
7     Z=np.identity(n); ke=(4*n/Tsf)**2; k=np.zeros(n)
8     for i in range(n):
```

```
9         if i==0:
10             k[i]=2*ke
11         else:
12             k[i]=ke
13     K=tridiag(k,n); M=np.identity(n)
14     vp,φp=LA.eigh(K,M); φp=φp.T; FP=[]; MP=[]
15     for i in range(n):
16         FP.append(sum(φp[i].T@M))
17     for i in range(n):
18         MP.append((sum(φp[i].T@M)**2))
19     T=2*np.pi/(vp**0.5); MMP=MP/sum(MP)
20     return T,φp,FP,MMP
```

Código A.2: Funciones-KS

## ANEXO B: HISTÉRESIS DE LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.

### Edificio Principal del Aeropuerto Jorge Chavez

La Figura B.1 muestra las histéresis de uno de los dos los DFV instalados en el eje 5-5 del primer nivel del edificio principal del aeropuerto Jorge Chavez. Asimismo, la Figura B.2 presenta la histéresis de uno de los tres DH-SLB colocado en el eje 5-5 del primer nivel de la misma edificación.

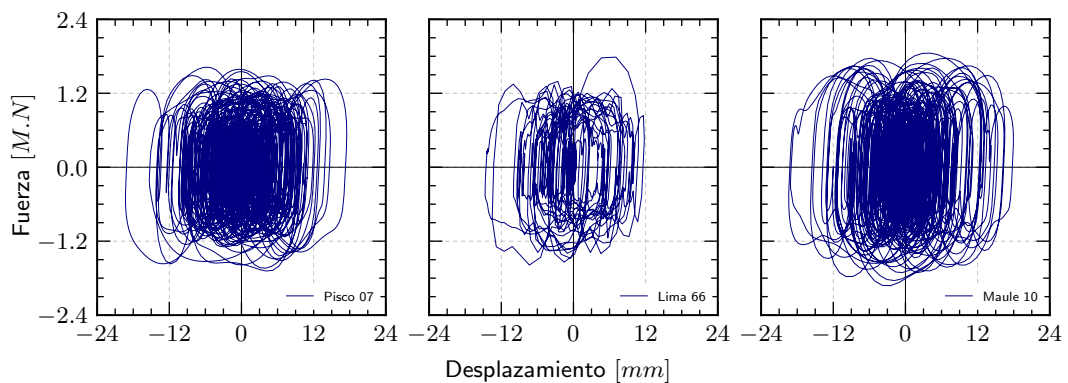


FIGURA B.1: Histéresis del DFV del edificio del aeropuerto Jorge Chavez.

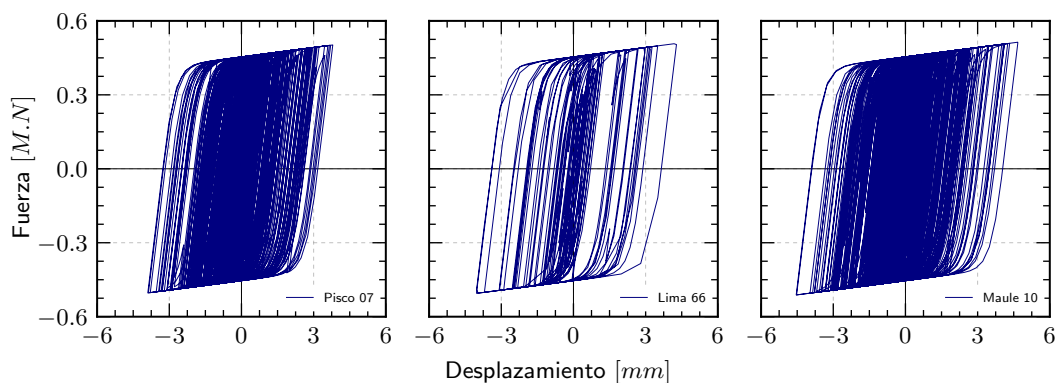


FIGURA B.2: Histéresis del DH-SLB del edificio del aeropuerto Jorge Chavez.