

RETO: TERREMOTOS QUE SACUDEN EDIFICIOS

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY
ANÁLISIS NUMÉRICO PARA LA OPTIMIZACIÓN NO-LINEAL

INTEGRANTES DEL EQUIPO:

FRANCELIO URIEL RODRIGUEZ GARCIA A01352663

JUAN PABLO VALENZUELA DORADO A00227321

JUAN PABLO BERNAL LAFARGA A01742342

ALFREDO MURILLO MADRIGAL A01641791

AGENDA

- INTRODUCCIÓN
¿Qué estamos haciendo?
- TERREMOTOS HISTÓRICOS
¿De dónde partimos?
- ESTADO DEL ARTE
¿Qué se ha hecho?
- CONTROL
¿A dónde queremos llegar?
- MODELO MATEMÁTICO
¿Cómo logramos nuestro objetivo?
- SIMULACIÓN
¿A dónde llegamos?
- DISCUSIÓN
¿Cómo podemos mejorar?

1 — INTRODUCCIÓN

¿QUÉ ESTAMOS HACIENDO?

INTRODUCCIÓN

OBJETIVO: DISEÑAR Y ANALIZAR UN SISTEMA DE CONTROL, QUE CUMPLA CON CIERTOS CRITERIOS DE DISEÑO, CON LA FINALIDAD DE CONTROLAR UN FENÓMENO DE VIBRACIÓN

Los terremotos son fenómenos naturales que pueden tener consecuencias devastadoras para la infraestructura y la vida humana. Estos movimientos sísmicos, causados por la liberación repentina de energía acumulada en la corteza terrestre, tienen la capacidad de sacudir edificios hasta sus cimientos, poniendo a prueba la resistencia de las construcciones y la preparación de las comunidades.

En este contexto, el desarrollo de sistemas de control de vibraciones se ha convertido en una prioridad fundamental para mitigar los daños y proteger las vidas humanas.

2 — TERREMOTOS HISTÓRICOS

¿DE DÓNDE PARTIMOS?

TERREMOTOS HISTÓRICOS

Terremotos



Terremotos Históricos

CHILE, 22 DE MAYO DE
1960

MAGNITUD 9.5 | 14 MIN

- Terremoto de mayor magnitud registrado en la historia.
- Valdivia - Sur del continente.
- + 2000 muertos
- Valdivia se hundió 4m bajo el nivel del mar.

ALASKA, USA , 28 DE
MARZO DE 1964

MAGNITUD 9.2 | 4 MIN

- 3er terremoto de mayor magnitud registrado.
- Sacudió Anchorage y Valdez durante cuatro minutos.
- Destruyendo áreas clave en Anchorage.
- 60 muertes aprox.
- Alaska, la región más sísmica de EE.UU.

CIUDAD DE MÉXICO,
MÉXICO, 19 DE SEP DE 1985

MAGNITUD 8.1 | 1:30 MIN

- Víctimas: 3,692 Gobierno | +10mil Cruz Roja
- Nuevas reglas de construcción en CDMX.
- El proyecto de Alerta Sísmica Mexicano.
- Crisis social y económica.
- Muchas construcciones colapsadas eran relativamente nuevas.

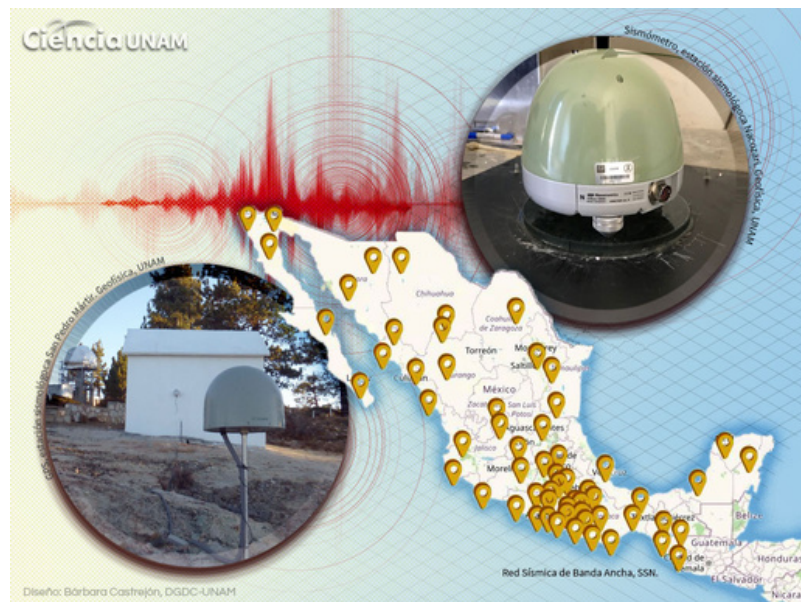
3 – ESTADO DEL ARTE

¿QUÉ SE HA HECHO?

ESTADO DEL ARTE

¿QUÉ SE HA HECHO?

DETECCIÓN Y MONITOREO



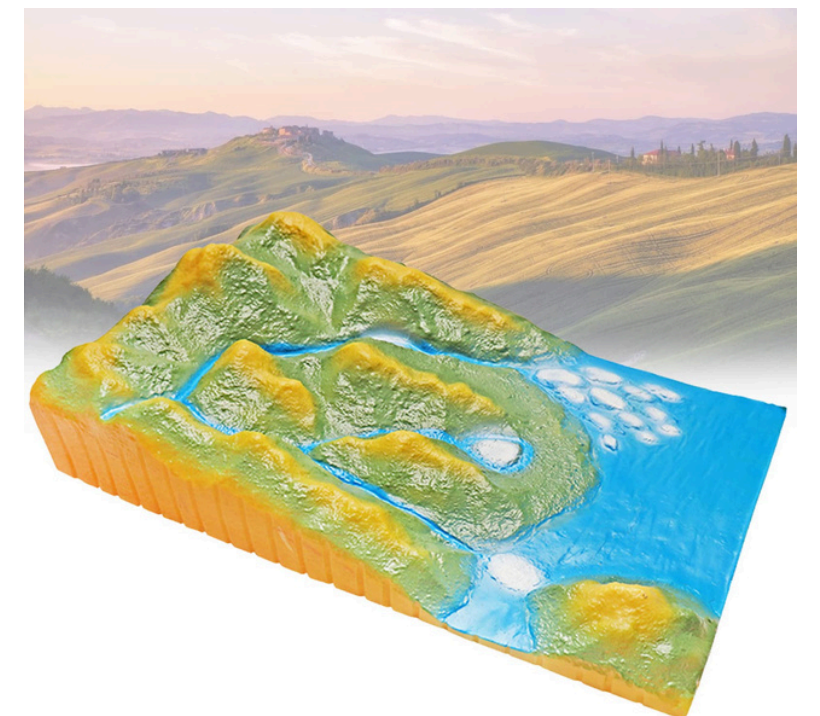
ANÁLISIS DE DATOS



INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN



INVESTIGACIÓN GEOLOGICA

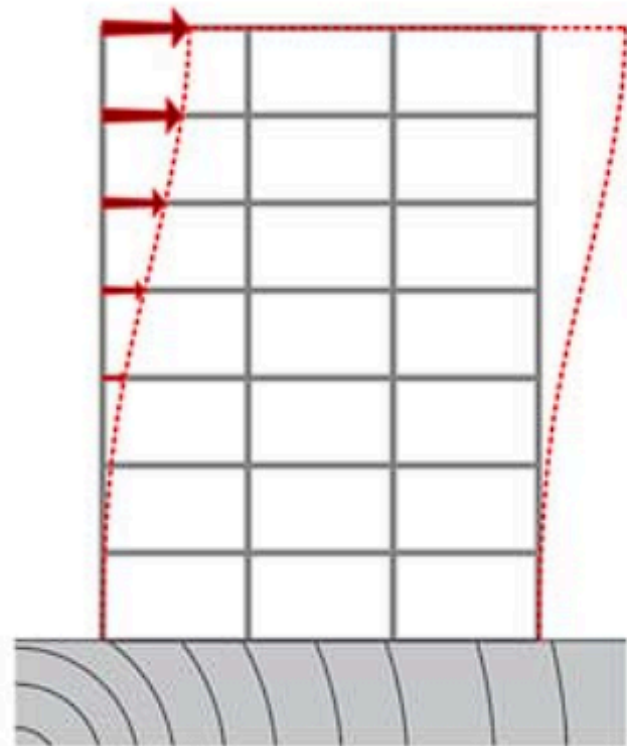


4 – CONTROL

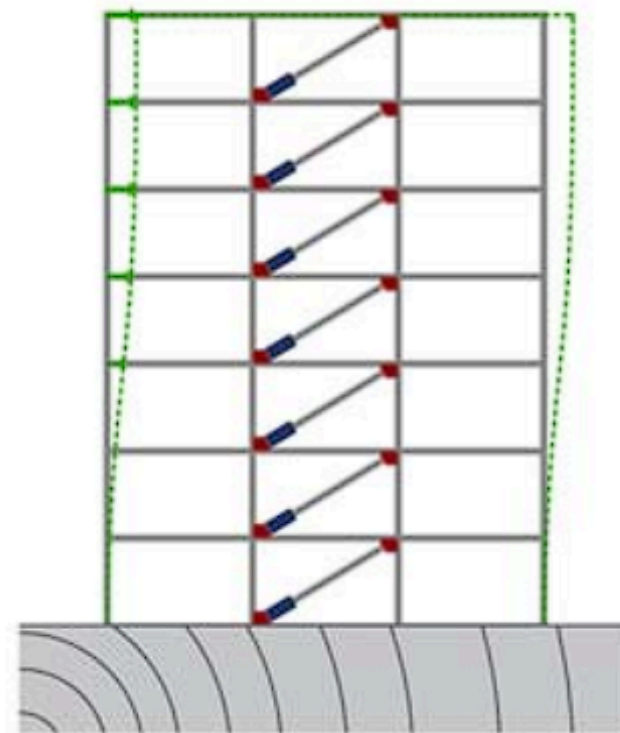
¿A DÓNDE QUEREMOS LLEGAR?

CONTROL

Un sistema de control activo en un edificio es un conjunto de dispositivos y tecnologías diseñados para monitorear y ajustar activamente la respuesta estructural del edificio en tiempo real, con el fin de mejorar su desempeño durante eventos sísmicos u otras cargas dinámicas.

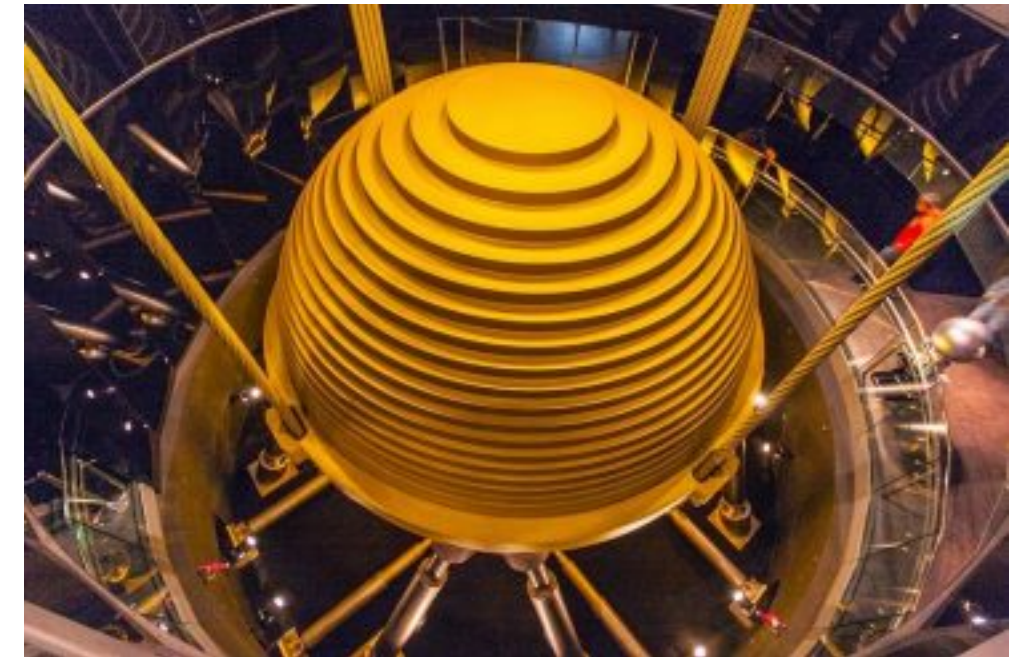


a) Estructura sin disipadores



b) Estructura con disipadores

Ejemplo:



5 – MODELO MATEMÁTICO

EDIFICIO DE 3 PISOS | CON Y SIN AMORTIGUADORES

MODELO MATEMÁTICO

EDIFICIO DE 3 PISOS

1

SIN AMORTIGUADORES

MODELO:

$$m_1 x_1'' = -k_0 x_1 + k_1 (x_2 - x_1)$$

$$m_2 x_2'' = -k_1 (x_2 - x_1) + k_2 (x_3 - x_2)$$

$$m_3 x_3'' = -k_2 (x_3 - x_2)$$

Donde:

m_i son las masas de los i -pisos

x_i'' son las aceleraciones de los i -pisos

x_i' son las velocidades de los i -pisos

x_i son los desplazamientos de los i -pisos

k_i son las constantes de resorte de los i -pisos

REPRESENTACIÓN EN EL ESPACIO DE
ESTADOS:

$$\dot{\mathbf{z}} = \mathbf{A}\mathbf{z} + \mathbf{B}u$$

$$\mathbf{z} = \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \\ z_5 \\ z_6 \end{pmatrix} \quad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{k_0+k_1}{m_1} & 0 & \frac{k_1}{m_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{k_1}{m_2} & 0 & -\frac{k_1+k_2}{m_2} & 0 & \frac{k_2}{m_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & \frac{k_2}{m_3} & 0 & -\frac{k_2}{m_3} & 0 \end{pmatrix} \quad \mathbf{B} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

MODELO MATEMÁTICO

EDIFICIO DE 3 PISOS

2

CON AMORTIGUADORES

MODELO:

$$m_1 x_1'' = -k_0 x_1 + k_1 (x_2 - x_1) - c_1 x_1' - c_2 (x_1' - x_2')$$

$$m_2 x_2'' = -k_1 (x_2 - x_1) + k_2 (x_3 - x_2) - c_2 (x_2' - x_1') - c_3 (x_2' - x_3')$$

$$m_3 x_3'' = -k_2 (x_3 - x_2) - c_3 (x_3' - x_2')$$

Donde:

m_i son las masas de los i -pisos

x_i'' son las aceleraciones de los i -pisos

x_i' son las velocidades de los i -pisos

x_i son los desplazamientos de los i -pisos

k_i son las constantes de resorte de los i -pisos

c_i son las constantes de amortiguamiento de los i -pisos

REPRESENTACIÓN EN EL ESPACIO DE
ESTADOS:

$$\dot{\mathbf{z}} = \mathbf{A}\mathbf{z} + \mathbf{B}\mathbf{u}$$

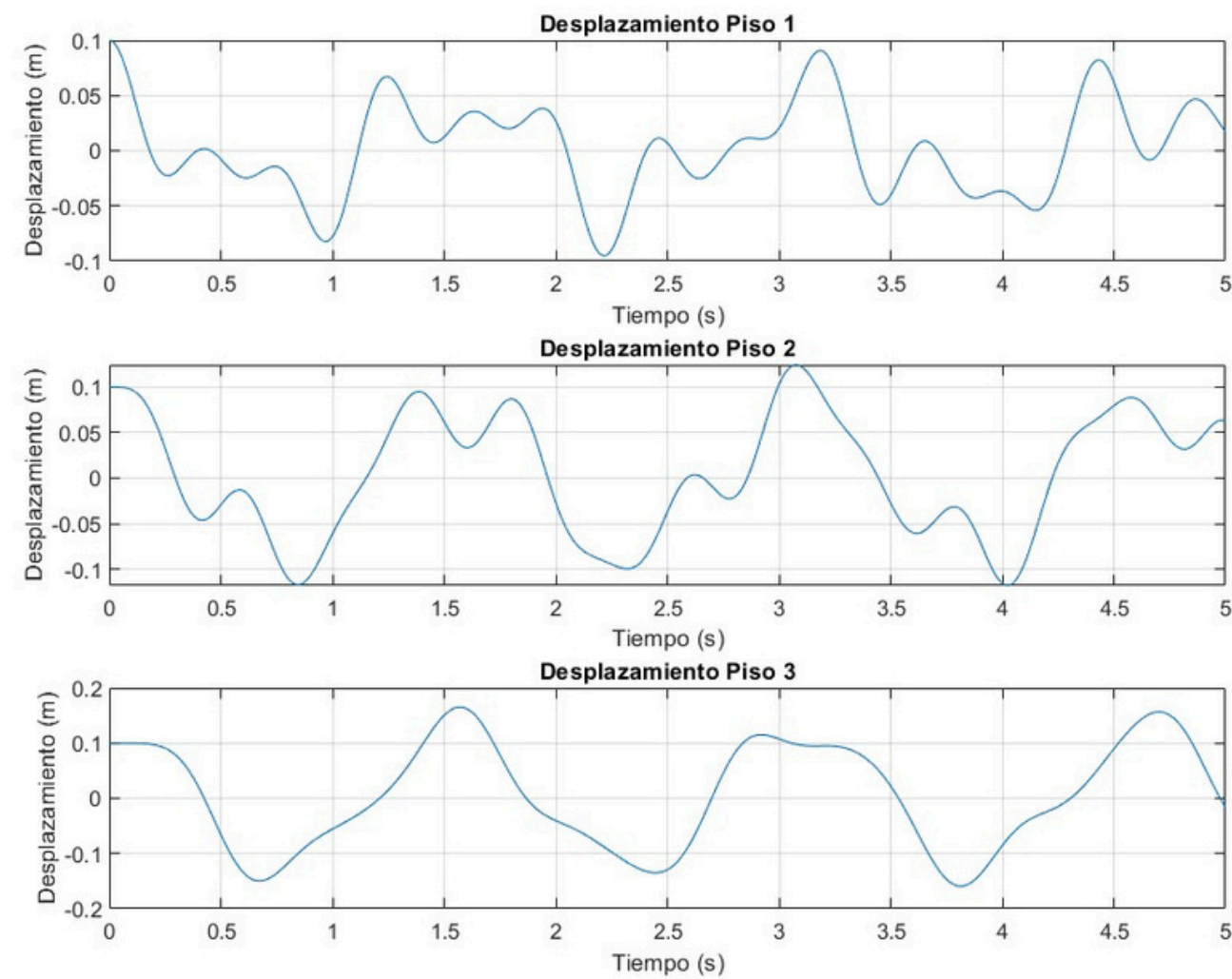
$$\mathbf{z} = \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \\ z_5 \\ z_6 \end{pmatrix} \quad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{k_0+k_1}{m_1} & -\frac{c_1+c_2}{m_1} & \frac{k_1}{m_1} & \frac{c_2}{m_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{k_1}{m_2} & \frac{c_2}{m_2} & -\frac{k_1+k_2}{m_2} & -\frac{c_2+c_3}{m_2} & \frac{k_2}{m_2} & \frac{c_3}{m_2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & \frac{k_2}{m_3} & \frac{c_3}{m_3} & -\frac{k_2}{m_3} & -\frac{c_3}{m_3} \end{pmatrix} \quad \mathbf{B} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

6 – SIMULACIÓN

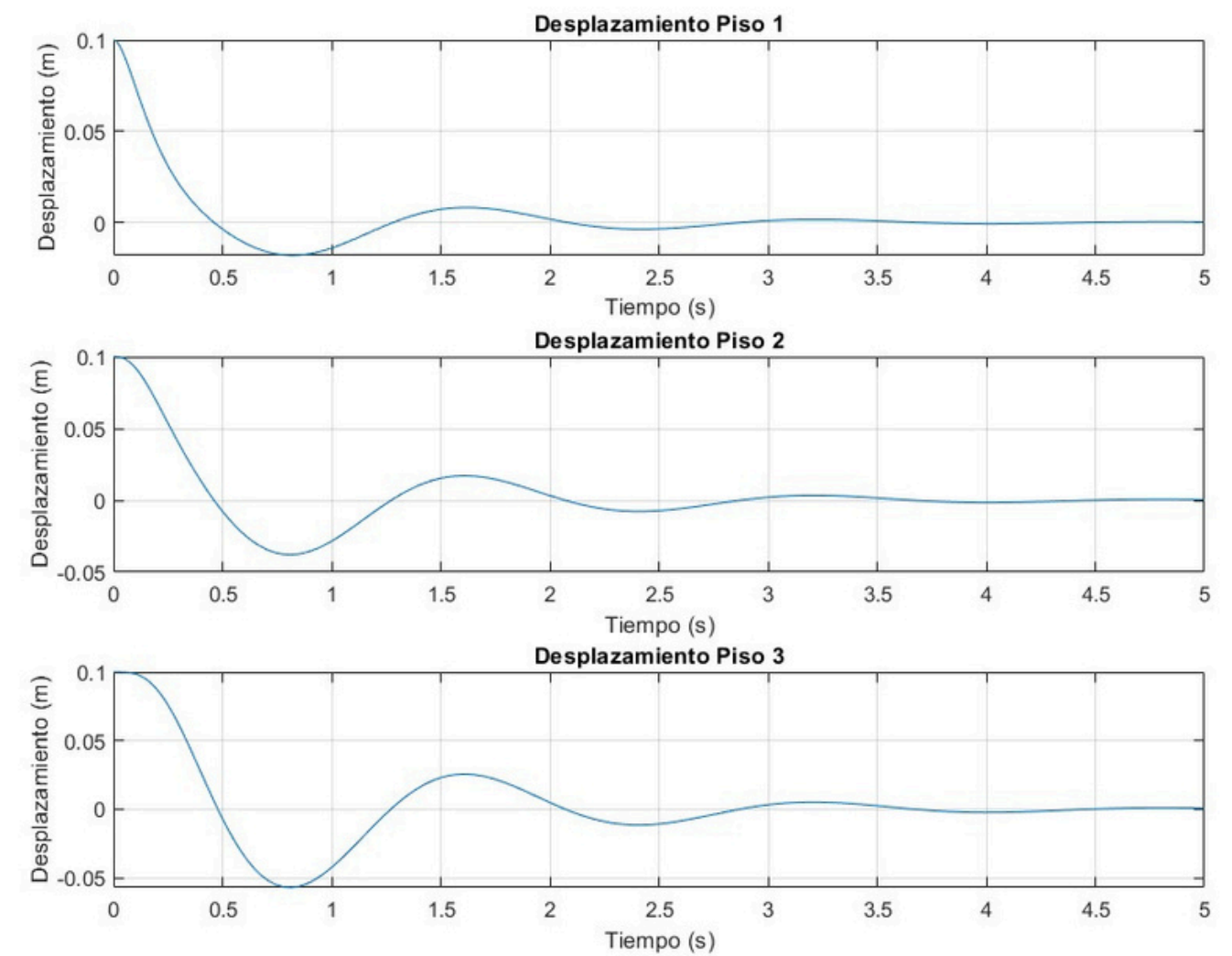
¿A DÓNDE LLEGAMOS?

$$\dot{x} = Ax \mid \text{Edificio}$$

SIN AMORTIGUADORES

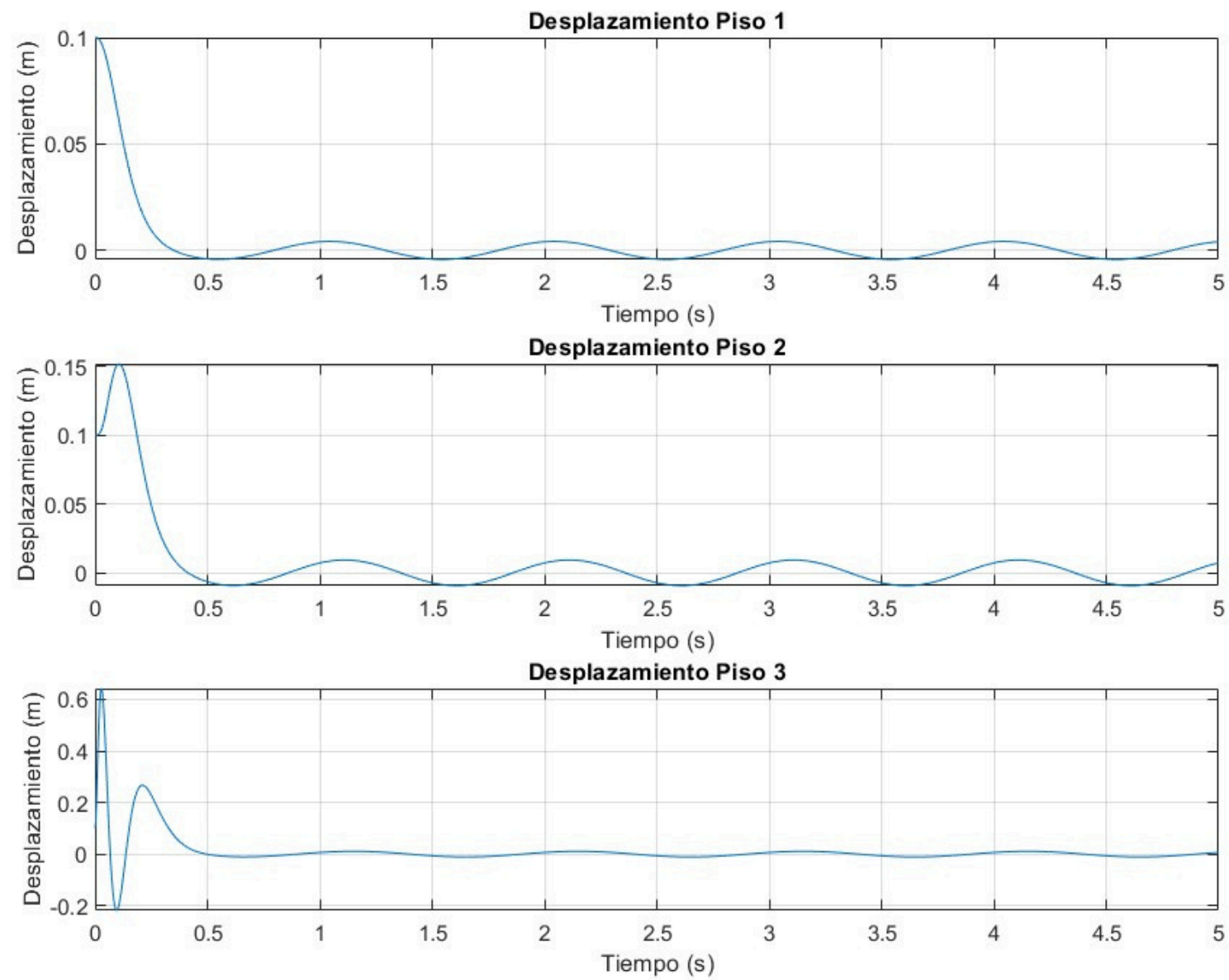


CON AMORTIGUADORES

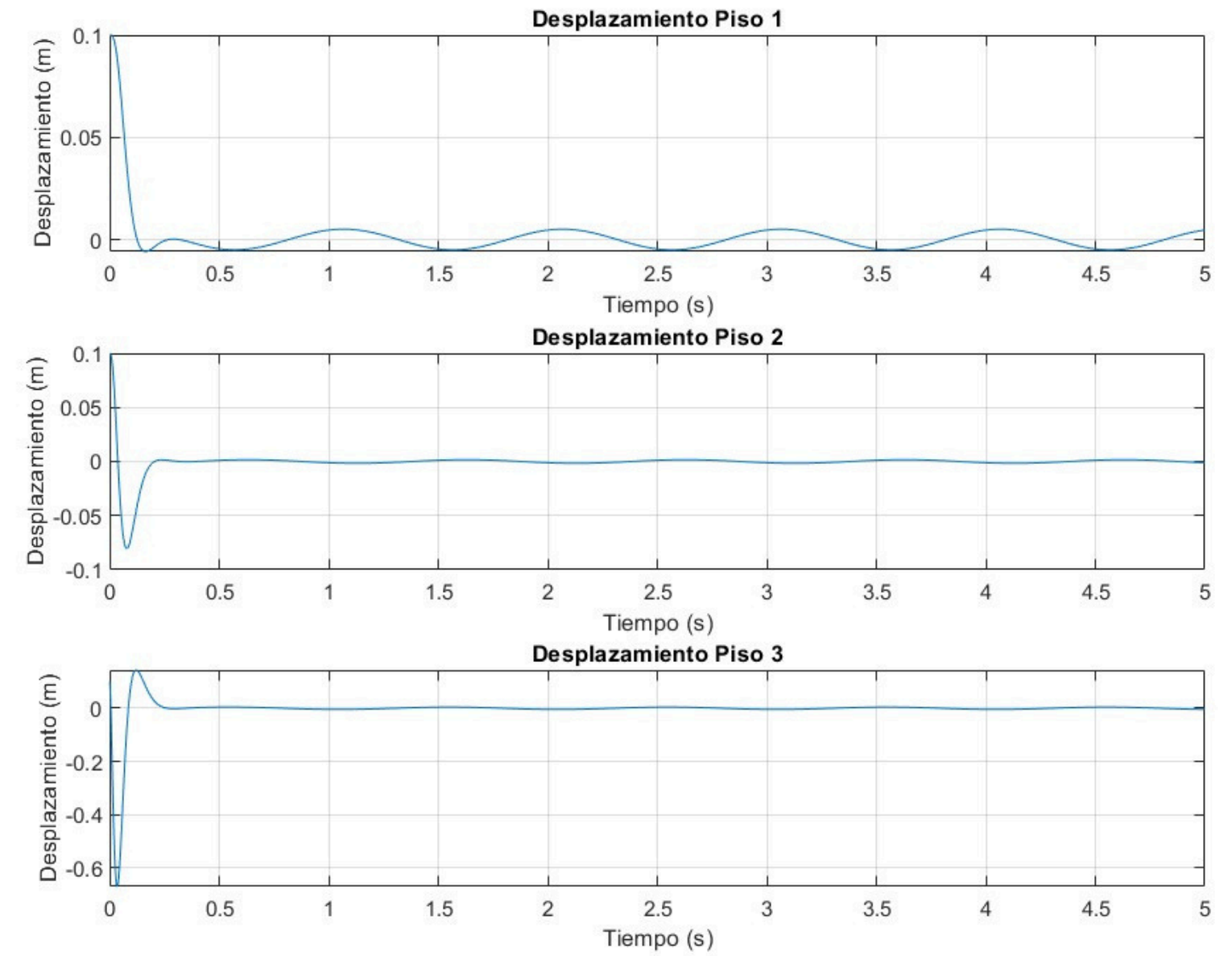


$$x' = Ax + Bu \mid \text{Edificio con Control}$$

SIN AMORTIGUADORES



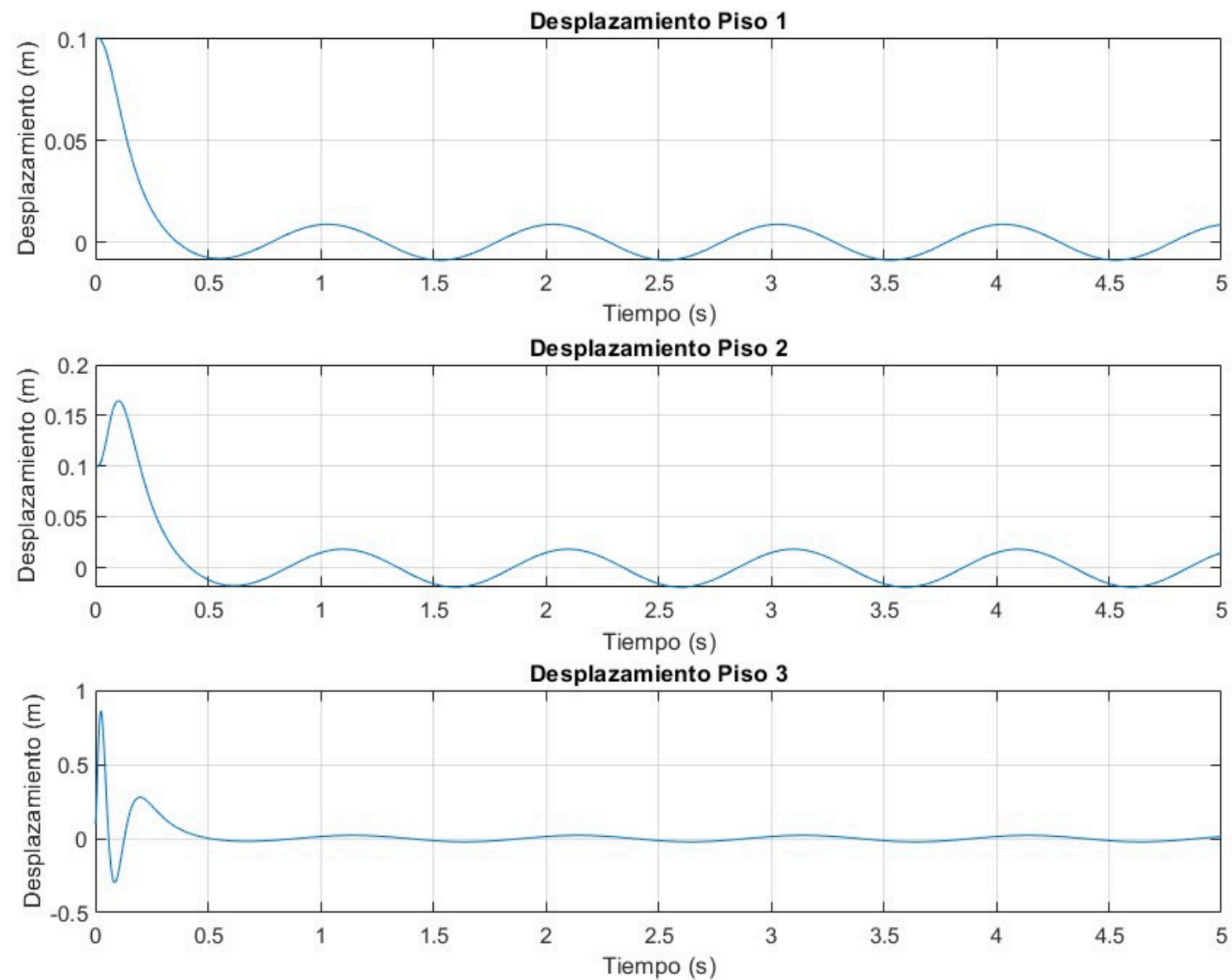
CON AMORTIGUADORES



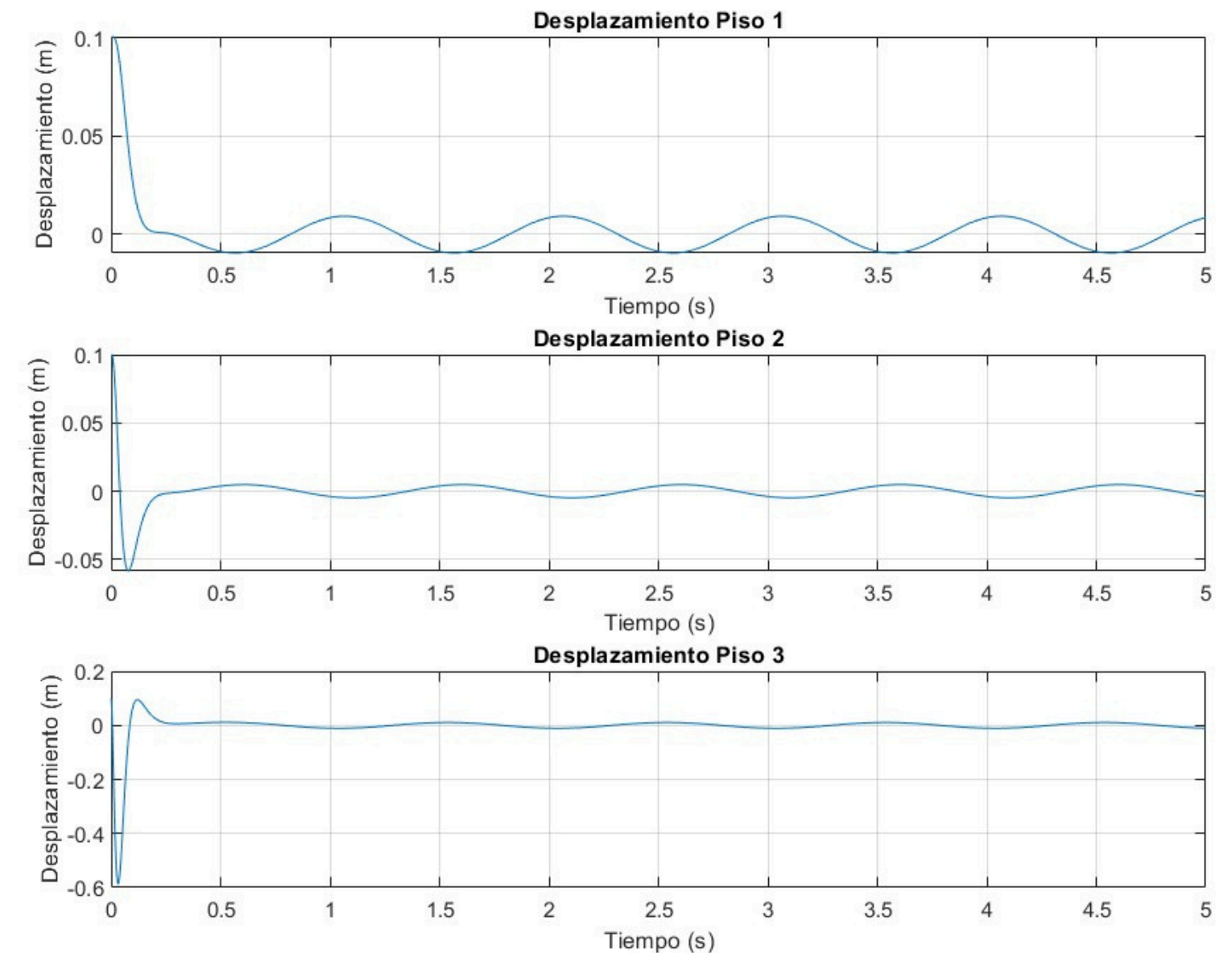
Fuerza externa: $0.5 \cos(\omega t)$

$$x' = Ax + Bu + A\cos(wt) + B\sin(wt) \mid \text{Edificio con Control y Terremoto}$$

SIN AMORTIGUADORES



CON AMORTIGUADORES

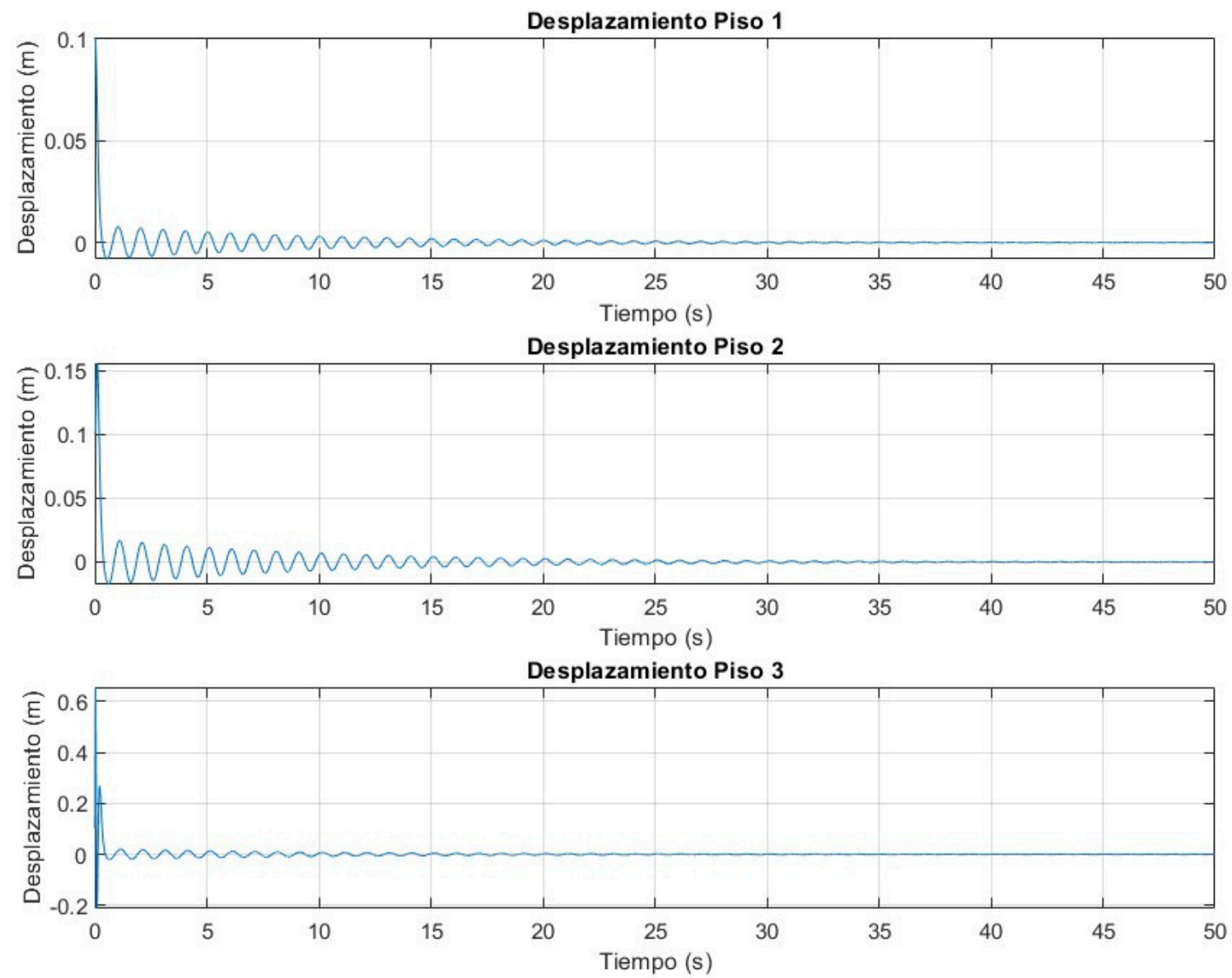


Magnitud (A y B) : 0.1

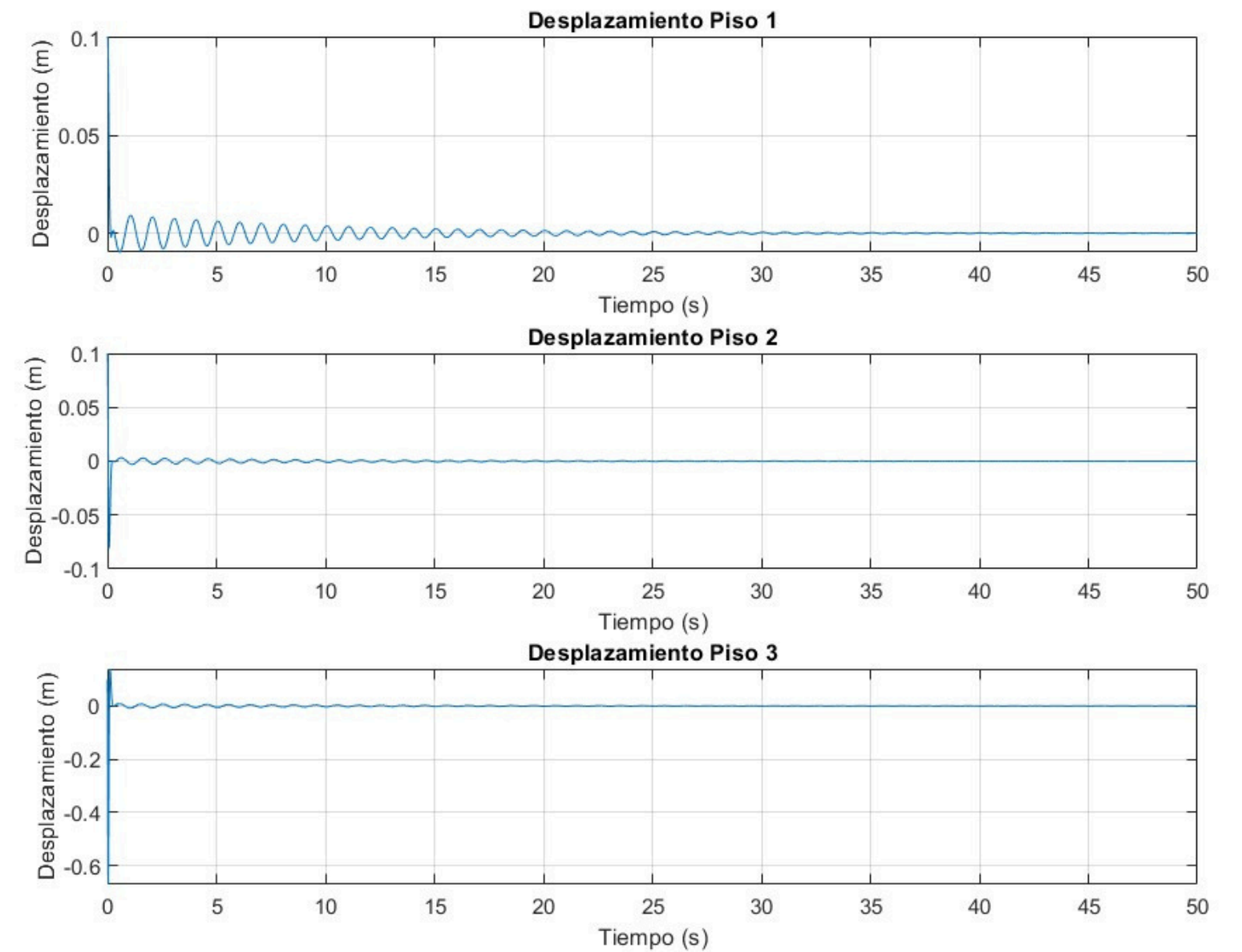
$X0 = [0.1; 0; 0.1; 0; 0.1; 0]$

$$x' = Ax + Bu + e^{-\alpha t} \cos(wt) \mid \text{Edificio con Control y Terremoto decreciente.}$$

SIN AMORTIGUADORES

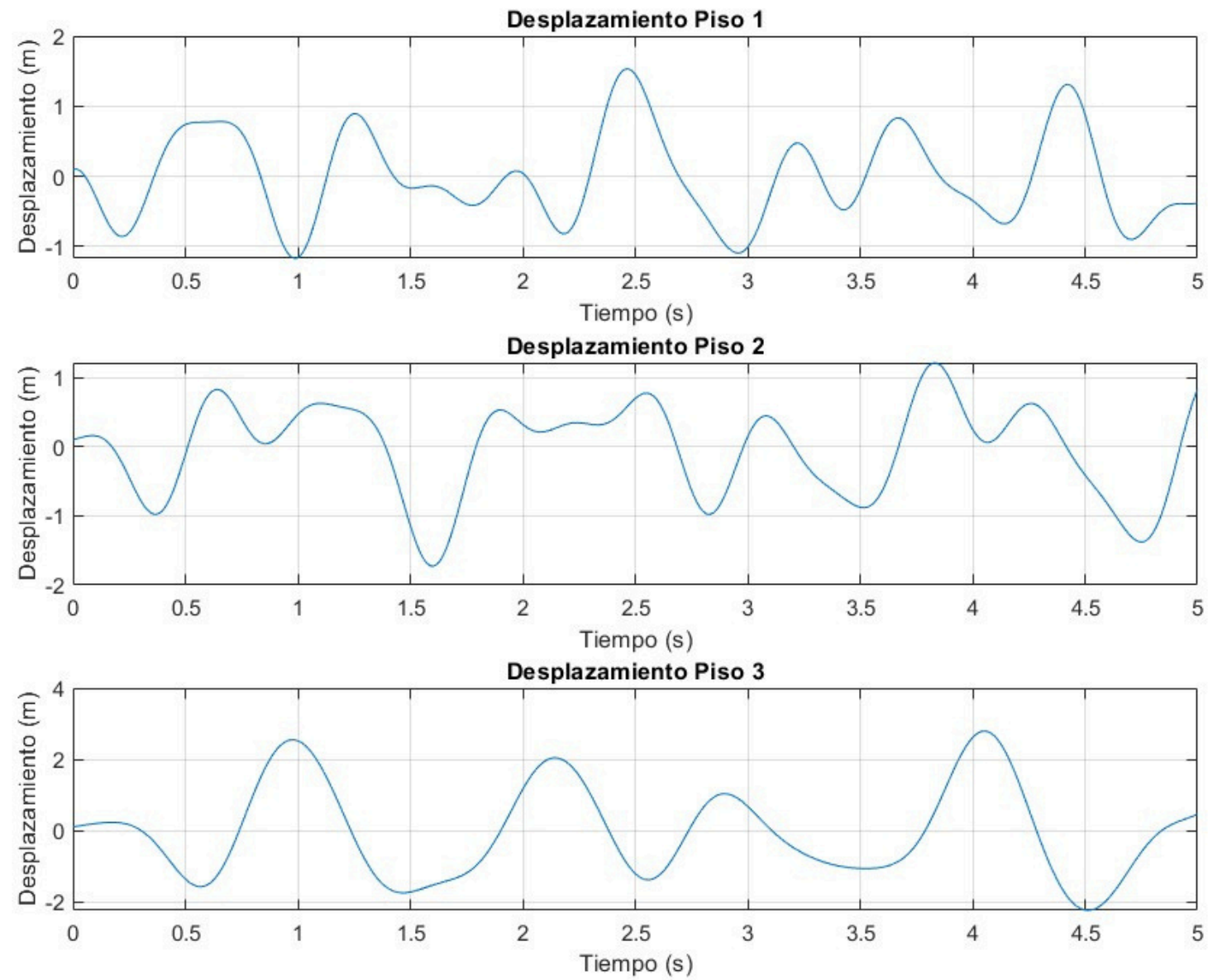


CON AMORTIGUADORES

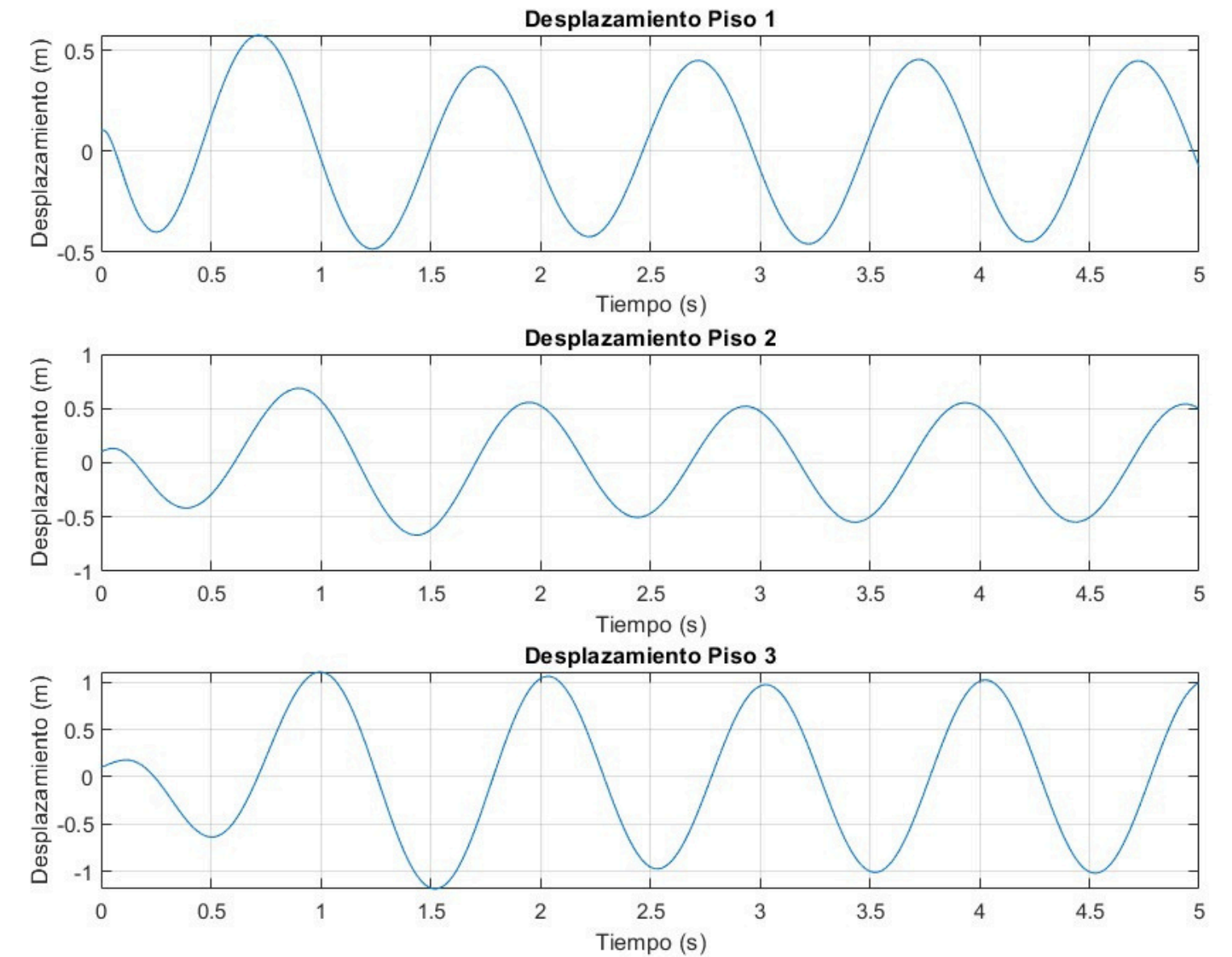


$$x' = Ax + A\cos(wt) \mid \text{Edificio sin Control y Terremoto.}$$

SIN AMORTIGUADORES

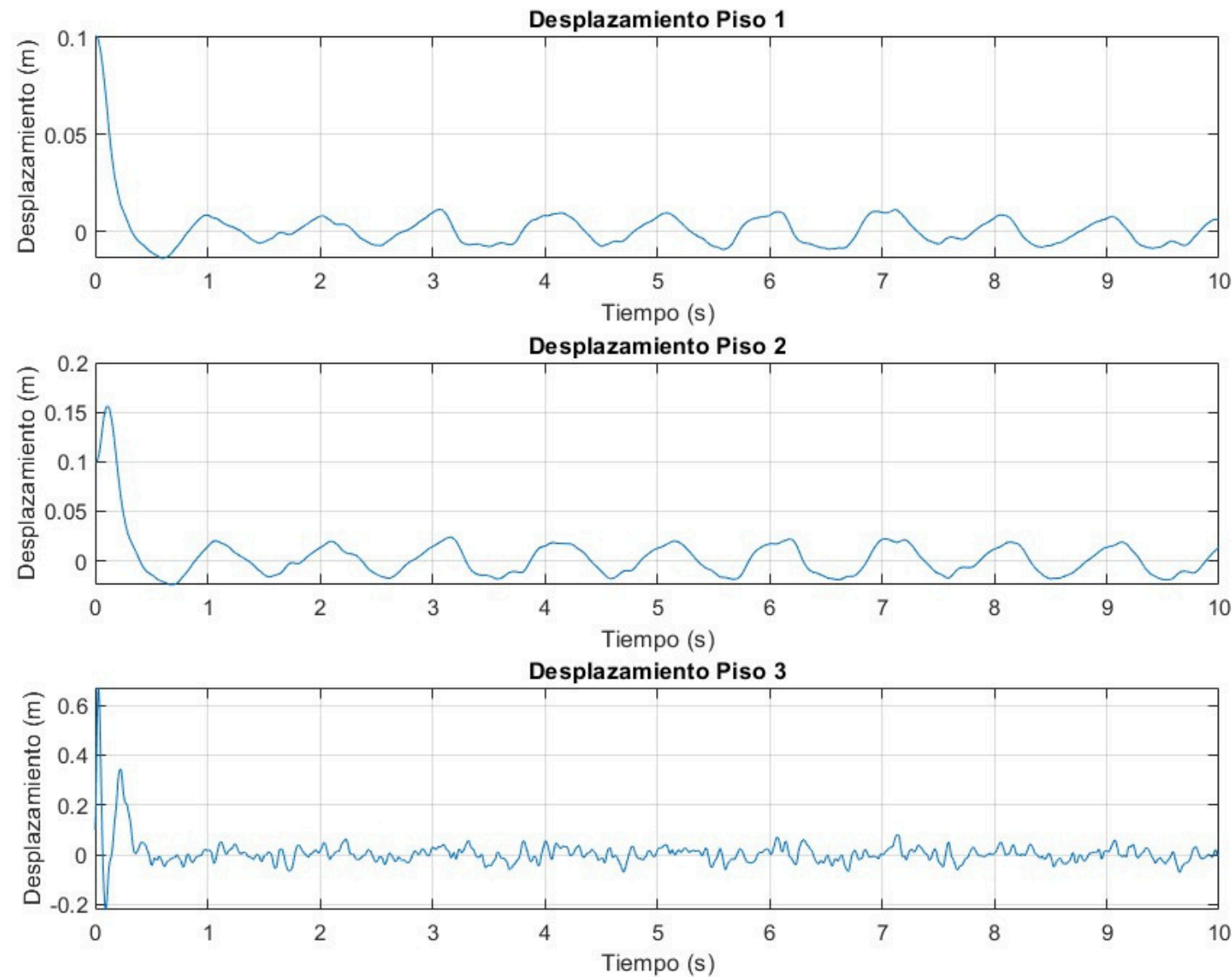


CON AMORTIGUADORES



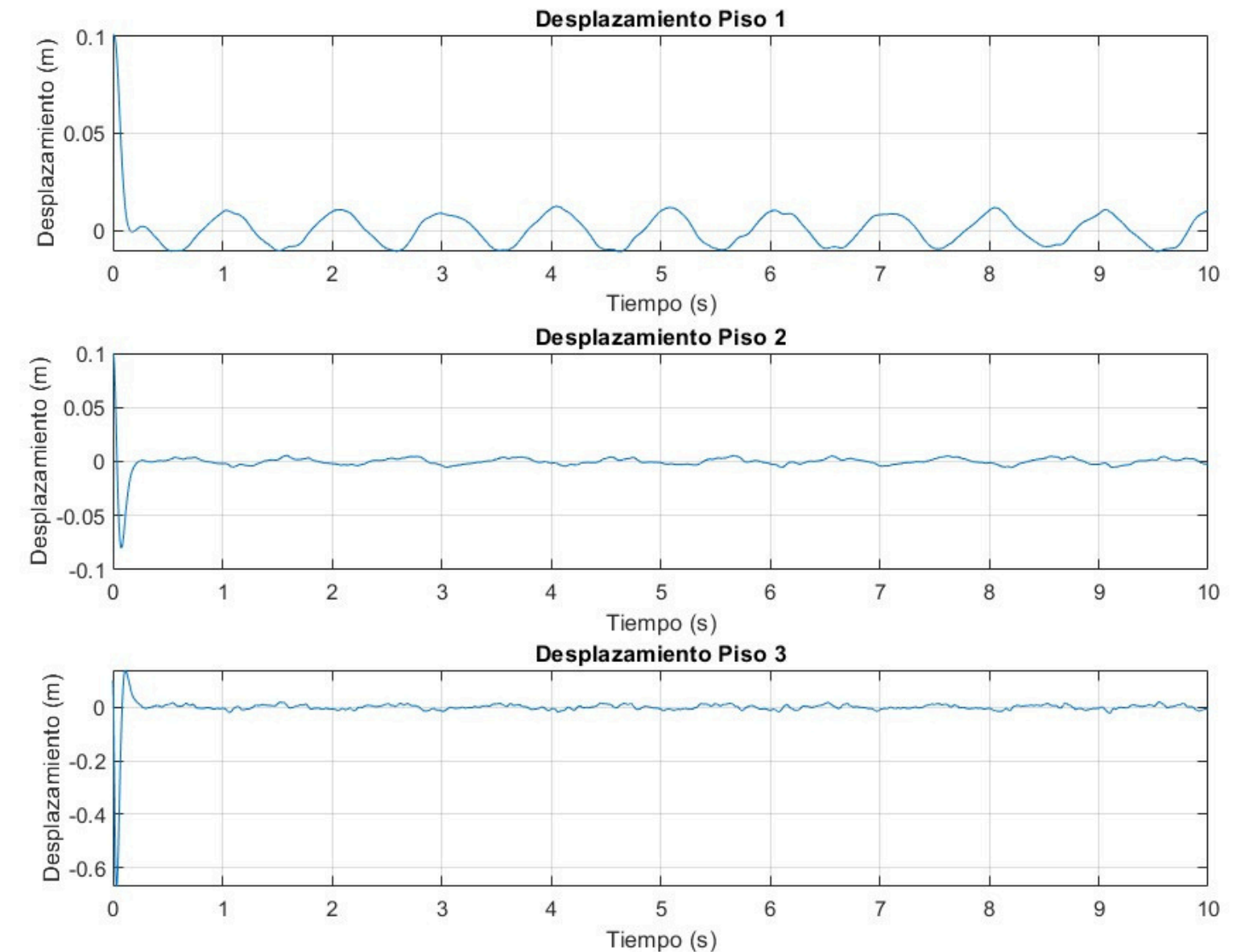
$$x' = Ax + Bu + A \cos(wt) + \eta(0, 1) \mid \text{Edificio con Control, terremoto y ruido.}$$

SIN AMORTIGUADORES



Magnitud (A) : 0.1

CON AMORTIGUADORES



Ruido gaussiano con media 0 y desviación estándar 20.

6 – DISCUSIÓN

¿CÓMO PODEMOS MEJORAR?

DISCUSIÓN

¿CÓMO PODEMOS MEJORAR?

Aquí identificamos el modelo matemático para el comportamiento de un edificio de N pisos.

$$m_1x_1'' = -k_0x_1 + k_1(x_2 - x_1)$$
$$m_2x_2'' = -k_1(x_2 - x_1) + k_2(x_3 - x_2)$$
$$m_3x_3'' = -k_2(x_3 - x_2) + k_3(x_4 - x_3)$$
$$m_4x_4'' = -k_3(x_4 - x_3) + k_4(x_5 - x_4)$$
$$m_5x_5'' = -k_4(x_5 - x_4) + k_5(x_6 - x_5)$$

.....

$$m_{n-1}x_{n-1}'' = -k_{n-2}(x_{n-1} - x_{n-2}) + k_{n-1}(x_n - x_{n-1})$$
$$m_nx_n'' = -k_{n-1}(x_n - x_{n-1})$$

Donde:

m_i son las masas de los i -pisos

x_i'' son las aceleraciones de los i -pisos

x_i' son las velocidades de los i -pisos

x_i son los desplazamientos de los i -pisos

k_i son las constantes de resorte de los i -pisos

$$\mathbf{Z}_{[2n \times 1]} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \\ z_5 \\ \vdots \\ z_n \\ \vdots \\ z_{2n-1} \\ z_{2n} \end{bmatrix} \qquad \mathbf{A}_{[2n \times 2n]} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -\frac{k_0+k_1}{m_1} & 0 & \frac{k_1}{m_1} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \frac{k_1}{m_2} & 0 & -\frac{k_1+k_2}{m_2} & 0 & \frac{k_2}{m_2} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \frac{k_2}{m_3} & 0 & -\frac{k_2+k_3}{m_3} & 0 & \dots & \frac{k_{n-1}}{m_{n-1}} & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{k_{n-1}}{m_n} & 0 & -\frac{k_{n-1}}{m_n} & 0 \end{bmatrix}$$

¡ GRACIAS !
¿PREGUNTAS?