

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE AMORTIGUADORES DE MASA
SINTONIZADA EN EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE EDIFICACIONES
REGULARES DE MEDIANA ALTURA**

**STYVEN ARMANDO CARVAJAL MEJIA
NATALIA DIAZ ACOSTA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2018

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE AMORTIGUADORES DE MASA
SINTONIZADA EN EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE EDIFICACIONES
REGULARES DE MEDIANA ALTURA**

**STYVEN ARMANDO CARVAJAL MEJIA
NATALIA DIAZ ACOSTA**

Trabajo de grado para optar al Título de Ingeniero Civil

Director

**OSCAR JAVIER BEGAMBRE CARRILLO
Ph.D. en Ingeniería de Estructuras**

Codirector

**JESÚS DANIEL VILLALBA MORALES
Ph.D. en Ingeniería de Estructuras**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2018

DEDICATORIA

A Dios por darme la sabiduría, la fortaleza y el acompañamiento a lo largo de mi vida y permitirme alcanzar esta meta.

A mis padres Marleny Mejía y Alirio Carvajal por ser el apoyo incondicional en cada una de las etapas de mi vida, por su esfuerzo constante y dedicación ejemplar para mi formación integral.

A mi hermana Andrea Carvajal por su constante apoyo y ser un motivo más para esforzarme y seguir adelante.

A toda mi familia por su colaboración recibida y contribuir a ser una mejor persona.

Styven Carvajal

Primeramente, a Dios, a quien todo debo y de quien todo recibo, por darme fortaleza, guía y amor en medio del camino.

A mi familia quienes contribuyeron en mi formación como persona y siempre estuvieron cuando los necesite, especialmente a mi madre Gladys Díaz y abuela Alicia Acosta los motores de mi vida, sinónimo de valentía y entrega, gracias por todo el esfuerzo y el apoyo que me brindaron a lo largo de este proceso, sobre todo gracias por creer en mí, son el tesoro más grande que Dios me dio.

Mi amor y gratitud por siempre.

Natalia Díaz

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestro director del proyecto el Ingeniero Ph.D. Oscar Begambre Carrillo y al codirector el Ingeniero Ph.D. Jesús Daniel Villalba Morales por el seguimiento realizado durante el proceso, por los consejos, opiniones, interés constante y enseñanzas que contribuyeron al desarrollo de esta investigación.

A la Universidad Industrial de Santander y su escuela de Ingeniería Civil por todos los aportes recibidos que permitieron nuestra formación como profesionales.

A nuestras familias por su apoyo, compañía, motivación y comprensión a lo largo de estos años para lograr esta gran meta.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS.....	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2. DEFINICIÓN DEL AMORTIGUADOR DE MASA SINTONIZADA (AMS)	17
2.1 MODELO MATEMÁTICO.....	18
2.2 PARÁMETROS Y PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.....	19
3. MÉTODO DE ANÁLISIS	25
4. MODELACIÓN DE ESTRUCTURAS	30
4.1 MODELO SIN AMS.....	31
4.2 MODELO CON AMS.....	32
5. RESULTADOS NUMÉRICOS.....	34
5.1 EDIFICIO 7 NIVELES	34
5.2 EDIFICIO 10 NIVELES	38
5.3 EDIFICIO 12 NIVELES	41
5.4 ANÁLISIS CONTENIDO FRECUENCIAL – PORCENTAJES DE VARIACIÓN	45
5.5 RESULTADOS COMPLEMENTARIOS	47
6. CONCLUSIONES	50
7. RECOMENDACIONES.....	52
BIBLIOGRAFÍA.....	53
ANEXOS.....	55

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores de ξ , Δs y θ_{max}	24
Tabla 2. Características utilizadas para definir el espectro elástico de aceleraciones de Bucaramanga.....	25
Tabla 3. Sismos del estudio de microzonificación.....	26
Tabla 4. Sismos usados para el análisis de las estructuras.....	27
Tabla 5. Frecuencias dominantes de los sismos utilizados del estudio de microzonificación.	29
Tabla 6. Propiedades del aislador.....	33
Tabla 7. Resultados y variación de la respuesta mecánica (100%X – 30%Y) de todos los sismos (Edificio 7 niveles).	36
Tabla 8. Resultados y variación de la respuesta mecánica (100%X – 30%Y) de todos los sismos (Edificio 10 niveles).	39
Tabla 9. Resultados y variación de la respuesta mecánica (100%X – 30%Y) de todos los sismos (Edificio 12 niveles).	43
Tabla 10. Frecuencia fundamental de cada edificio.....	45
Tabla 11. Frecuencia dominante de los sismos vs variación de desplazamiento. .	45
Tabla 12. Frecuencia dominante de los sismos vs variación de Cortante V_x	46
Tabla 13. Frecuencia dominante de los sismos vs variación de Cortante V_y	46
Tabla 14. Frecuencia dominante de los sismos vs variación de Momento M_x	46
Tabla 15. Frecuencia dominante de los sismos vs variación de Momento M_y	47
Tabla 16. Propiedades del aislador Edificio 7 niveles – Relación de masa 3%.	48
Tabla 17. Porcentajes de variación de la resultante de desplazamiento (Edificio 7 niveles) – Relación de masa 3%.....	49

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Modelo de interacción estructura – AMS.	18
Figura 2. Modelos 3D sin AMS – Edificio 7, 10 y 12 niveles.	32
Figura 3. Modelos 3D con AMS – Edificio 7, 10 y 12 niveles.	33

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Primera verificación para el sismo de Coalinga – Edificio 7 niveles.	27
Gráfica 2. Segunda verificación del promedio de las ordenadas espectrales de los sismos – Edificio 7 niveles.....	28
Gráfica 3. Desplazamiento Ux (Edificio 7 niveles) – Sismo Helena.	35
Gráfica 4. Cortante Vx (Edificio 7 niveles) – Sismo Helena.	35
Gráfica 5. Momento Mx (Edificio 7 niveles) – Sismo Helena.....	36
Gráfica 6. Desplazamiento Ux (Edificio 10 niveles) – Sismo Helena.	38
Gráfica 7. Cortante Vx (Edificio 10 niveles) – Sismo Helena.	39
Gráfica 8. Momento Mx (Edificio 10 niveles) – Sismo Helena.	39
Gráfica 9. Desplazamiento Ux (Edificio 12 niveles) – Sismo Helena.	42
Gráfica 10. Cortante Vx (Edificio 12 niveles) – Sismo Helena.	42
Gráfica 11. Momento Mx (Edificio 12 niveles) – Sismo Helena.	43
Gráfica 12. Desplazamiento Ux (Edificio 7 niveles) – Sismo Helena. Relación de masa 3%.	48
Gráfica 13. Desplazamiento Uy (Edificio 7 niveles) – Sismo Helena. Relación de masa 3%.	49

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. RESULTADOS CASO DE APLICACIÓN CARGA SÍSMICA 100% X – 30% Y	55
ANEXO B. RESULTADOS CASO DE APLICACIÓN CARGA SÍSMICA 30% X – 100% Y	124
ANEXO C. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL CONTENIDO FRECUENCIAL DE LOS SISMOS Y LA VARIACIÓN DE RESPUESTA.....	193

RESUMEN

TITULO: EVALUACIÓN DEL EFECTO DE AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA EN EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE EDIFICACIONES REGULARES DE MEDIANA ALTURA*.

AUTORES: STYVEN ARMANDO CARVAJAL MEJÍA
NATALIA DIAZ ACOSTA**

PALABRAS CLAVE: Amortiguador de masa sintonizada, Análisis cronológico lineal, Acelerogramas.

DESCRIPCIÓN:

En esta investigación se realiza un análisis del efecto del amortiguador de masa sintonizada (AMS) en tres edificaciones regulares tipo pórtico de mediana altura diseñadas para la ciudad de Bucaramanga y modeladas en el software ETABS 2016. Para ello se realiza una comparación numérica con y sin AMS hallando los porcentajes de variación entre los valores máximos registrados en términos de desplazamientos en la parte superior, cortantes en la base y momentos flectores en las direcciones X y Y, mediante un análisis cronológico lineal, utilizando los sismos del estudio de microzonificación del área metropolitana de Bucaramanga a los cuales se les realiza un ajuste espectral y posteriormente se realizan las verificaciones de acuerdo a las exigencias del reglamento colombiano de construcción sismo resistente del 2010 (NSR-10), además para las tres estructuras se consideran los efectos ortogonales como lo define este mismo reglamento, suponiendo simultáneamente la aplicación del 100 % de la carga sísmica en una dirección y el 30% de la carga sísmica en la dirección perpendicular. En la segunda fase de la investigación se evalúa el efecto de las frecuencias dominantes de los sismos sobre los porcentajes de variación obtenidos en cada una de las estructuras, dichas frecuencias se identificaron mediante el espectro de amplitudes de Fourier el cual se obtuvo a partir del registro de los acelerogramas con la ayuda del software SeismoSignal 2016.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Oscar Javier Begambre Carrillo, Ingeniero Civil, Ph.D.

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF THE EFFECT OF TUNED MASS DAMPERS IN THE SEISMIC BEHAVIOR OF REGULAR BUILDINGS OF MEDIUM HEIGHT *

AUTHORS: STYVEN ARMANDO CARVAJAL MEJÍA
NATALIA DIAZ ACOSTA **

KEYWORDS: Tuned mass damper, Linear time history analysis, Accelerograms.

DESCRIPTION:

In this research, an analysis of the effect of the Tuned Mass Damper (TMD) is performed on three medium-height regular gantry type buildings designed for the city of Bucaramanga and modeled in the ETABS 2016 software. For this, a numerical comparison is made with and without TMD finding the variation percentages between the maximum values recorded in terms of displacements in the upper part, shear in the base and bending moments in the X and Y directions, through a lineal chronological analysis, using the earthquakes of the microzonification study of the metropolitan area of Bucaramanga to which a spectral adjustment is done and subsequently the verifications are made according to the requirements of the Colombian earthquake resistant construction regulation of 2010 (NSR-10), in addition for three structures, the orthogonal effects are considered as defined by the same regulation, assuming simultaneously the application of 100% of the seismic load in one direction and 30% of the seismic load in the perpendicular direction. In the second phase of the investigation, the effect of the dominant frequencies of the earthquakes on the percentages of variation obtained in each of the structures is evaluated, mentioned frequencies were identified by the Fourier amplitude spectrum which was obtained from the register of the accelerograms with the help of the SeismoSignal 2016 software.

* Bachelor Thesis.

** Faculty of Physics and Mechanical Engineering. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Oscar Javier Begambre Carrillo, Ingeniero Civil, Ph.D.

INTRODUCCIÓN

Desde hace algunos años se ha estudiado el desarrollo de nuevas tecnologías para la protección de las estructuras ante eventos sísmicos, una de las alternativas es la utilización de sistemas de control pasivo de vibraciones, particularmente del amortiguador de masa sintonizada (AMS), este dispositivo se presenta como una opción de bajo costo para el mejoramiento de la seguridad de estructuras existentes¹. La función principal del AMS es entrar en resonancia, disipando así la energía absorbida a través de los mecanismos de amortiguamiento que este posee.

El territorio colombiano es un lugar en constante actividad sísmica, según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente de 2010 (NSR-10)², Bucaramanga pertenece a una zona de alta amenaza sísmica y a pesar de la existencia de las técnicas de control, estas no han tenido acogida.

En el presente trabajo de investigación se estudiará la incidencia en el comportamiento sísmico de estructuras regulares de mediana altura, cuando se emplean amortiguadores de masa sintonizada para controlar las vibraciones generadas por fuerzas sísmicas; para ello se presenta la comparación de la respuesta mecánica de tres edificios diseñados para la ciudad de Bucaramanga con y sin AMS. Finalmente, se presentan las conclusiones con base en los resultados obtenidos.

Se espera que los resultados de esta investigación contribuyan a posteriores estudios, que originen la implementación en el contexto colombiano de sistemas de

¹ AMBROSINI D., CUITIÑO G., Y REBECCO J., “Eficiencia de amortiguadores de masa sintonizados en estructuras sismorresistentes,” *Mecánica Comput.*, vol. XXIII, pp. 447–462, 2004

² COMISION ASESORA PERMANENTE PARA EL REGIMEN DE CONTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10. 2010

protección sísmica, como los amortiguadores de masa sintonizada en las estructuras del territorio nacional.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el comportamiento sísmico de edificios tipo pórtico de mediana altura en concreto reforzado, equipados con amortiguadores de masa sintonizada.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Definir el porcentaje de variación de la respuesta mecánica para tres (3) edificios de diferente altura con y sin amortiguador de masa sintonizada, en términos de momentos flectores máximos en la base, valores de cortante basal y desplazamientos máximos en la parte superior de las edificaciones mediante un análisis lineal en el tiempo.

Evaluar el efecto del contenido frecuencial de los diez (10) sismos del estudio de microzonificación de la ciudad de Bucaramanga elaborado por el Servicio Geológico Colombiano en el año 2001 sobre los resultados de variación de la respuesta mecánica.

2. DEFINICIÓN DEL AMORTIGUADOR DE MASA SINTONIZADA (AMS)

El amortiguador de masa sintonizada (AMS) es un dispositivo instalado en estructuras para proporcionar control sísmico, es formado por una masa, un resorte y un amortiguador viscoso que trabajan con el objetivo principal de reducir las vibraciones causadas por fuerzas laterales como cargas de viento o de sismo. Su funcionamiento se basa en la sintonización de la frecuencia del amortiguador con la frecuencia natural de la estructura principal cuando esta vibra, permitiendo que entren en resonancia y de esta forma la energía es absorbida y disipada por el sistema instalado³.

El AMS es uno de los dispositivos de disipación más llamativo debido a que no demanda una gran intervención estructural y arquitectónica en las edificaciones⁴. Una de las ventajas evidentes en la construcción de amortiguadores de masa sintonizada es que estos pueden ser incorporados tanto en estructuras a diseñar como en estructuras existentes que requieran mejoramiento en el comportamiento sísmico⁵.

³ AMBROSINI D., CUITIÑO G., Y REBECCO J., Op. Cit.

⁴ GARRIDO B. I., "Amortiguadores de masa sintonizada en edificios sometidos a registros sísmicos en Chile," Tesis de maestría. Universidad de Chile, 2016

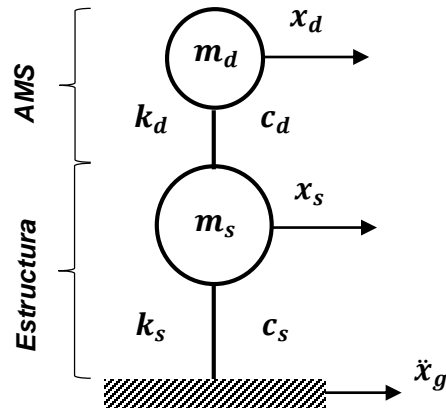
⁵ BASSOTTI R. y AMBROSINI D., "Sobre la utilización de amortiguadores de masa sintonizados en la provincia de mendoza," *Mecánica Comput.*, pp. 2321–2340

2.1 MODELO MATEMÁTICO

Se considera un sistema estructural idealizado en un modelo de un solo grado de libertad como la estructura principal, con un AMS unido a ella como se muestra en la Figura 1 y en la ecuación (1) ⁶.

El modelo de interacción de la estructura y el AMS se puede representar, de forma simplificada, como un sistema de dos grados de libertad⁷.

Figura 1. Modelo de interacción estructura – AMS.



Fuente: CHANG C. M., SHIA S., and LAI Y. A., “Seismic design of passive tuned mass damper parameters using active control algorithm,” J. Sound Vib., vol. 426, pp. 150–165, 2018

La estructura consta de una masa m_s , con rigidez k_s y coeficiente de amortiguamiento c_s . Los valores de m_d , k_d , y c_d son la masa, la rigidez y el coeficiente de amortiguamiento del AMS, respectivamente (ver Figura 1). El sistema tiene en cuenta la aceleración del suelo \ddot{x}_g debido a la presencia de carga sísmica.

⁶ CHANG C. M., SHIA S., and LAI Y. A., “Seismic design of passive tuned mass damper parameters using active control algorithm,” J. Sound Vib., vol. 426, pp. 150–165, 2018

⁷ *Ibíd.*

Para esas condiciones, la ecuación de movimiento se expresa como⁸:

$$\begin{bmatrix} m_s & 0 \\ 0 & m_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_s \\ \ddot{x}_d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_s + c_d & -c_d \\ -c_d & c_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_s \\ \dot{x}_d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_s + k_d & -k_d \\ -k_d & k_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_s \\ x_d \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} m_s & 0 \\ 0 & m_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \ddot{x}_g \quad (1)$$

En este trabajo, la ecuación (1) se integra directamente usando el método de Hilber-Hughes-Taylor definido dentro del programa ETABS 2016⁹ (versión licenciada para el grupo INME). Para este fin se usó el modelo de amortiguamiento proporcional de Rayleigh¹⁰.

2.2 PARÁMETROS Y PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

En los últimos años se han realizado investigaciones con el fin de determinar los parámetros óptimos de diseño del AMS¹¹ que reduzcan la respuesta de estructuras ante cargas sísmicas, sin embargo, no se ha obtenido un modelo particular capaz de adaptarse a todo tipo de estructura, que genere un buen desempeño ante cualquier evento sísmico.

Una de estas investigaciones ha sido desarrollada por Ambrosini¹², donde propone que los parámetros de diseño del AMS para lograr una máxima eficiencia, son la relación de frecuencia (frecuencia del amortiguador /frecuencia de la estructura), la relación de amortiguamiento y la relación de masa (masa AMS/masa de la estructura).

⁸ MURUDI M. M. and MANE S. M., "Seismic effectiveness of tuned mass damper (TMD) for different ground motion parameters," 13 th World Conf. Earthq. Eng., no. 2, pp. 1–8, 2004

⁹ CSIAMERICA "Software ETABS 2016 v16.2.1." Obtenido en:<https://www.csiamerica.com/products/etabs>

¹⁰ CHOPRA Anil K., Dinámica De Estructuras, Ed. 4. Pearson Educación, México, pp. 455–457, 2014.

¹¹ BASSOTTI R. y AMBROSINI D., "Influencia de amortiguadores de masa sintonizados en la disminución de efectos torsionales de estructuras sismorresistentes," Mecánica Comput., vol. XXIII, pp. 481–497, 2004

¹² Ibíd.

Para el procedimiento de diseño del AMS se sigue la propuesta realizada en el trabajo de grado de maestría de Manrique y Meza¹³. Este diseño se complementa con la información proporcionada en el la tesis de maestría de Aliante¹⁴.

El modelo del AMS usando en este trabajo de investigación, se compone de un bloque de hormigón armado sobre cuatro aisladores elastoméricos, los cuales adoptan la función de resorte y amortiguador.

Se determinaron los parámetros del AMS considerando sintonía perfecta (relación de frecuencias igual a 1) y se tomó el 1% de la masa de la edificación como la masa del AMS según la recomendación dada por Manrique y Meza¹⁵, los valores de rigidez y amortiguamiento se definen por medio del procedimiento de diseño.

La *rigidez horizontal* de cada aislador del AMS se calcula mediante la siguiente ecuación, la cual se encuentra en la ASCE/SEI 7-05 (Ec. 17.5-2)¹⁶, documento avalado por la NSR-10 (A.3.9)¹⁷ para el uso de elementos disipadores de energía:

$$K_h = \frac{4\pi^2 \cdot P_t}{T^2 \cdot g} \quad (2)$$

Donde:

P_t : Carga de compresión máxima actuando sobre un aislador

T : Periodo del modo de vibración fundamental de la estructura

¹³ MANRIQUE D. F. y MEZA J. A., "Evaluación técnica y de costos del uso de sistemas de control pasivo de respuesta sísmica en centros médicos: caso de estudio aplicado a una estructura regular de siete pisos de altura ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia," Trabajo de grado de maestría. Pontificia Universidad Javeriana - Bogotá, 2016

¹⁴ ALIANTE E., "Control de efectos torsionales en un edificio asimétrico de hormigón armado con amortiguadores de masa sintonizados," Tesis de maestría. Universidad Austral de Chile, 2009

¹⁵ MANRIQUE D. F. y MEZA J. A., Op. Cit.

¹⁶ AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, ASCE/SEI 7-05 Minimum Design Loads for buildings and other Structures. 2006

¹⁷ COMISION ASESORA PERMANENTE PARA EL REGIMEN DE CONTRUCCIONES SISMO RESISTENTES Op. Cit.

La *rigidez para el grado de libertad rotacional* se calcula de la siguiente manera:

$$K_{R1} = K_h \cdot (X_1^2 + Y_1^2) \quad (3)$$

Donde:

X_1 : Distancia del CM del AMS al CM del aislador en dirección X

Y_1 : Distancia del CM del AMS al CM del aislador en dirección Y

CM: Centro de masa

El *amortiguamiento efectivo* del sistema de aisladores se calcula mediante la expresión:

$$c = 2\xi\sqrt{K_{ht} \cdot (m)} \quad (4)$$

Donde:

ξ : Factor de amortiguamiento del sistema de aisladores.

K_{ht} : Rigidez total de los aisladores

m : Masa del AMS

Verificaciones del diseño:

- Según la AASHTO LRFD el diseño de los aisladores elastoméricos requiere un balance entre la rigidez vertical para resistir grandes cargas de compresión y la flexibilidad para soportar desplazamiento y rotación, este balance se debe realizar por medio de las siguientes verificaciones¹⁸:

Módulo de corte (G)

¹⁸ ALIANTE E., Op. Cit.

$$G = \frac{K_h \cdot h_{rt}}{LW} \quad (5)$$

$$0.55 \text{ MPa} \leq G \leq 1.25 \text{ MPa}$$

Factor de forma (S)

$$S = \frac{LW}{2h_{ri}(L + W)} \quad (6)$$

Donde:

h_{rt} : Altura total del elastómero

LW: Dimensiones en planta del aislador

h_{ri} : Altura de una capa de elastómero

- Para prevenir el volcamiento y daño por exceso de fatiga se debe tener en cuenta:

$$h_{rt} \geq 2\Delta_s$$

Donde:

Δ_s : Traslación de diseño

- Verificación del límite de compresión y rotación combinada:

$$\sigma_T \geq G \cdot S \left(\frac{\theta_{m\acute{a}x}}{n} \right) \left(\frac{B}{h_{ri}} \right)^2 \quad (7)$$

Donde:

B: Dimensión del plano horizontal perpendicular al eje de rotación

$\theta_{m\acute{a}x}$: Máxima rotación de servicio alrededor de cualquier eje

n: Número de capas de elastómeros

h_{ri} : Altura de una capa de elastómero

- El daño por fatiga durante la vida útil de la estructura es controlado limitando la tensión por deformación combinada por compresión y corte:

$$\sigma_T \leq 1.66GS \leq 11 \text{ MPa}$$

Donde:

La *tensión de compresión* debido a la carga total es:

$$\sigma_T = \frac{P_t}{LW} \quad (8)$$

- Requisitos por levantamiento para apoyos rectangulares con traslación, compresión y rotación combinada:

$$\sigma_T \leq 1.875GS \left(1 - 0.2 \left(\frac{\theta_{m\acute{a}x}}{n} \right) \left(\frac{B}{h_{ri}} \right)^2 \right) \quad (9)$$

- Y por último se deben satisfacer las limitaciones de estabilidad para apoyos que están restringidos lateralmente:

$$\sigma_T \leq \frac{G}{\left(\frac{1.92 \left(\frac{h_{rt}}{L} \right)}{S \sqrt{1 + 2 \left(\frac{L}{W} \right)}} \right) - \left(\frac{2.67}{S(S + 2) \left(1 + \frac{L}{4W} \right)} \right)} \quad (10)$$

Para esta ecuación:

L: Dimensión que está en la dirección de volcamiento

W: Dimensión perpendicular al volcamiento

Los valores de ξ , Δ_s y $\theta_{m\acute{a}x}$ son parámetros de diseño tomados de la tesis de Manrique y Meza¹⁹.

Tabla 1. Valores de ξ , Δ_s y θ_{max} .

ξ	Δ_s [cm]	$\theta_{m\acute{a}x}$ [rad]
0.20	5.00	0.00363

¹⁹ MANRIQUE D. F. y MEZA J. A., Op. Cit.

3. MÉTODO DE ANÁLISIS

Para el desarrollo del proyecto se utilizó como método dinámico el análisis cronológico lineal, el cual requiere de registros sísmicos para su aplicación.

Según el numeral A.2.7.1 de la NSR-10²⁰, se indica que los espectros de respuesta de los acelerogramas seleccionados para un análisis dinámico, deberán ser escalados de acuerdo con la amenaza, para este caso se utilizaron los sismos propuestos por el estudio de microzonificación del área metropolitana de Bucaramanga²¹, y con el uso del software SeismoMatch 2016²² se realizó el ajuste espectral de cada registro utilizando como referencia el espectro elástico de aceleraciones de Bucaramanga.

Tabla 2. Características utilizadas para definir el espectro elástico de aceleraciones de Bucaramanga.

Aa	Av	Fa	Fv	I	T0	TC	TL
0.25	0.25	1.15	1.55	1	0.135	0.647	3.72

Los requerimientos exigidos por el numeral A.2.7.1 (c) que debe cumplir el espectro de respuesta de cada acelerograma escalado son los siguientes:

- Las ordenadas espectrales para los periodos de vibración comprendidos entre 0.8T y 1.2T, donde T es el periodo fundamental inelástico esperado de la

²⁰ COMISION ASESORA PERMANENTE PARA EL REGIMEN DE CONTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, Op. Cit.

²¹ SERVICIO GEOLOGICO, Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga. 2001

²² SEISMOSOFT “SeismoMatch v2016” Licencia academica obtenida en <http://www.seismosoft.com/>.

estructura no pueden ser menores al 80% de las ordenadas espectrales del movimiento esperado del terreno.

- Para los periodos comprendidos entre 0.2T y 1.5T, las ordenadas espectrales del promedio de los acelerogramas utilizados, no deben ser menores a las ordenadas espectrales del movimiento esperado del terreno en el mismo rango de periodos.

Tabla 3. Sismos del estudio de microzonificación.

Fecha	Hora	Nombre Sismo	Estación	Código
22/07/1983	2:39:54 a. m.	Coalinga (As)	Oil. Fie.	Coalinga
12/11/1999	4:57:20 p. m.	Duzce	Mud-Kaym. Bin.	Duzce
15/09/1976	3:09:19 p. m.	Friuli	Robic	Friuli
31/10/1935	6:37:49 p. m.	Helena	Carr. Coll	Helena
18/10/1989	12:04:02 a. m.	Loma Prieta	Gilroy 1	Loma Prieta
27/05/1980	2:50:57 p. m.	Mam. Lak. (As)	Long Val. D.	Mammoth
25/04/1992	6:06:04 p. m.	C. Mendocino	Butler Val. 2	Pretolia
1/10/1987	2:42:20 p. m.	Whittier Narr.	Wilson	Whittier
26/09/1997	9:40:30 a. m.	Umbria-Marche	Nocera Umbra	Umbria
15/04/1979	6:19:41 a. m.	Montenegro	Herceg Nov.	Montenegro

Fuente: Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga, 2001.

Las estructuras seleccionadas cuentan con periodos fundamentales aproximados de 0.69 seg, 1.01 seg y 1.48 seg para los edificios de 7, 10 y 12 niveles respectivamente, una vez escalados se procede a realizar las verificaciones de los 10 sismos que proporciona el estudio de microzonificación para cada una de las estructuras (Gráfica 1), lo cual permite identificar que en común en el primer chequeo para las tres edificaciones, 1 de los 10 registros de los acelerogramas (Umbria) no cumple individualmente las exigencias de la norma sismorresistente, por ello con los 9 registros restantes se continua a la siguiente verificación.

La revisión del segundo criterio arrojo que el promedio de las ordenadas espectrales de los acelerogramas chequeados, no fueron superiores a las ordenadas espectrales del movimiento esperado del terreno y por ello fue necesario suprimir

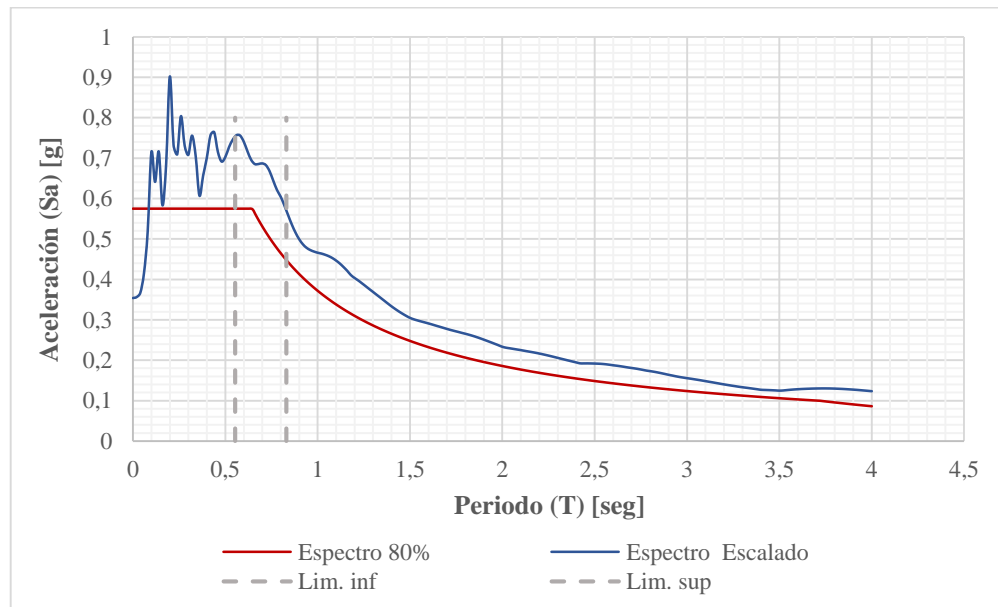
hasta dos sismos adicionales lo cual permitió encontrar un grupo de 7 acelerogramas (Tabla 3) con una mejor aproximación del cumplimiento de dicho criterio como se observa en la Gráfica 2.

Tabla 4. Sismos usados para el análisis de las estructuras.

Fecha	Hora	Nombre Sismo	Estación	Código
22/07/1983	2:39:54 a. m.	Coalinga (As)	Oil. Fie.	Coalinga
12/11/1999	4:57:20 p. m.	Duzce	Mud-Kaym. Bin.	Duzce
15/09/1976	3:09:19 p. m.	Friuli	Robic	Friuli
31/10/1935	6:37:49 p. m.	Helena	Carr. Coll	Helena
18/10/1989	12:04:02 a. m.	Loma Prieta	Gilroy 1	Loma Prieta
27/05/1980	2:50:57 p. m.	Mam. Lak. (As)	Long Val. D.	Mammoth
25/04/1992	6:06:04 p. m.	C. Mendocino	Butler Val. 2	Pretolia

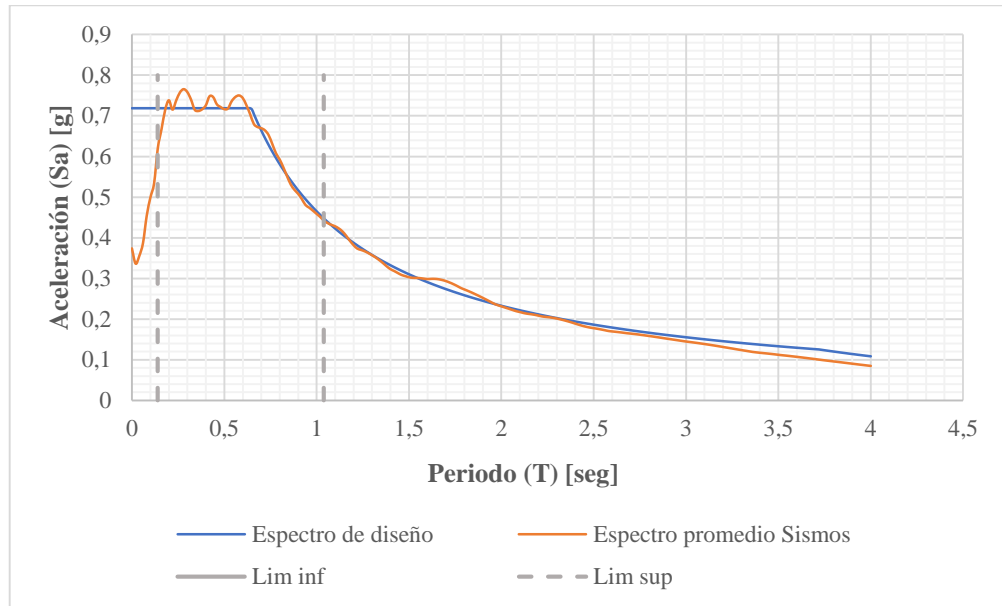
Fuente: Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga, 2001.

Gráfica 1. Primera verificación para el sismo de Coalinga – Edificio 7 niveles.



Fuente: Grafica obtenida de SeismoMatch 2016.

Gráfica 2. Segunda verificación del promedio de las ordenadas espectrales de los sismos – Edificio 7 niveles.



Fuente: Grafica obtenida de SeismoMatch 2016.

Una vez se definieron los sismos a utilizar en el análisis de las tres edificaciones, fueron ingresados al programa ETABS 2016²³, asignando en este programa el método de integración directa para la solución de la ecuación dinámica y usando las ecuaciones de Rayleigh²⁴ para determinar los coeficientes de amortiguamiento para cada estructura; además se tuvo en cuenta los casos de carga definidos en el numeral A.3.6.3 de la NSR-10²⁵, donde indica considerar los efectos ortogonales con la aplicación del 100% de la carga sísmica en una dirección y en la dirección perpendicular el 30% de la misma simultáneamente.

Con la finalidad de cumplir con el segundo objetivo del proyecto, resulta necesario determinar la frecuencia dominante de cada sismo empleado en el análisis. Esto se

²³ CSIAMERICA “Software ETABS 2016 v16.2.1.” Op. Cit.

²⁴ CHOPRA Anil K., Op. Cit.

²⁵ COMISION ASESORA PERMANENTE PARA EL REGIMEN DE CONTRUCCIONES SISMO RESISTENTES Op. Cit.

lleva a cabo por medio espectro de amplitudes de Fourier el cual permite transformar una función dada en el tiempo a una función de frecuencias, donde en el eje de las abscisas se ubica la frecuencia y en el eje de las ordenadas la amplitud. La ordenada donde se encuentra el mayor valor, es decir la máxima amplitud, le corresponde una abscisa que será la frecuencia dominante del sismo²⁶.

En la Tabla 4 se presentan las frecuencias dominantes de los sismos utilizados:

Tabla 5. Frecuencias dominantes de los sismos utilizados del estudio de microzonificación.

Sismo	Frecuencia Dominante [Hz]
<i>Coalinga</i>	1.12
<i>Duzce</i>	3.69
<i>Friuli</i>	3.88
<i>Helena</i>	2.47
<i>Loma</i>	2.70
<i>Mammoth</i>	1.81
<i>Mendocino</i>	1.27

Fuente: SeismoSignal 2016.

²⁶ MORA M. A. y VILLALBA J. D., “Análisis sísmico inelástico y cálculo de índices de daño en una edificación de mediana altura utilizando diferentes metodologías,” Trabajo de grado - Pregrado. Universidad Industrial de Santander, 2005

4. MODELACIÓN DE ESTRUCTURAS

Las estructuras estudiadas poseen un sistema de pórticos resistente a momentos de concreto reforzado, diseñadas para la ciudad de Bucaramanga y se aprecian en la Figura 2.

El primer edificio cuenta con siete niveles, la altura del primer nivel es de 2.4 m y los demás de 2.55 m, sus dimensiones en planta son de 11.6 m x 8.3 m más un voladizo frontal y posterior de 1.1 m. Las columnas son cuadradas de 0.6 m de lado con continuidad en altura. Las vigas de todos los niveles son de 0.35 m x 0.45 m y las losas son nervadas en una sola dirección.

El segundo edificio cuenta con una planta de 20 m x 8 m, con 3 m de altura de entre piso en cada uno de sus 10 niveles. La sección transversal de las vigas en los primeros dos niveles es de 0.6 m x 0.7 m, en los siguientes dos niveles es de 0.55 m x 0.4 m y en los seis restantes es de 0.3 m x 0.5 m. Las columnas tienen una sección transversal en todos los niveles de 0.6 m x 0.7 m. La estructura cuenta con losas nervadas en una sola dirección.

El tercer edificio cuenta con 2.75 m de altura de entrepiso en cada uno de sus 12 niveles, con dimensiones en planta de 16.1 m x 15 m. Las columnas son continuas en altura con sección transversal de 0.65 m x 0.9 m y las vigas presentan la siguiente distribución en planta de cada nivel:

Eje 1 y 6: 0.4 m x 0.4 m

Eje 2,3,4 y 5: 0.4 m x 0.45 m

Eje A, C y E: 0.3 m x 0.4 m

Eje B y D: 0.4 m x 0.5 m

Teniendo en cuenta que los ejes horizontales corresponden a los numéricos y los verticales a los alfabéticos. Posee losas nervadas en una sola dirección.

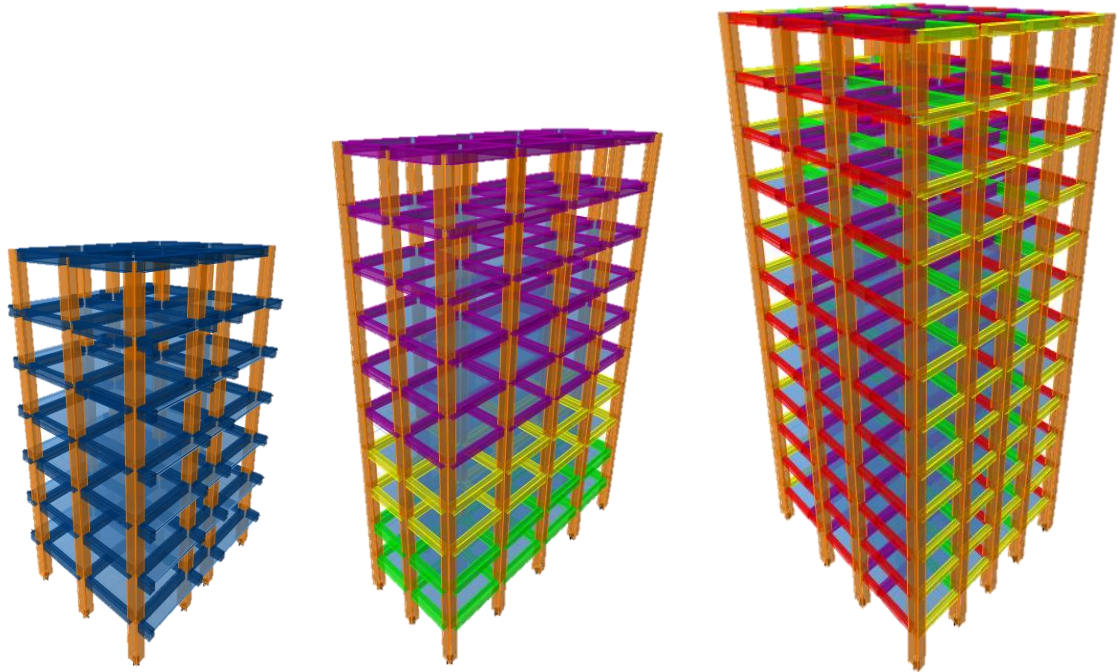
4.1 MODELO SIN AMS

Cada edificio fue modelado en el software ETABS 2016²⁷, donde se tuvieron en cuenta las cargas generadas por el peso propio de los elementos estructurales y no estructurales, así como también las cargas permanentes (Sobreimpuestas) que define la norma sismorresistente (NSR-10)²⁸. Las placas de entrepiso se modelaron como diafragmas rígidos lo cual permite generar un comportamiento uniforme en todo el elemento y a los nodos de la base se les fue asignado apoyos tipo empotramiento. Posteriormente se determinaron los periodos fundamentales de las tres edificaciones que fueron necesarios para seleccionar los acelerogramas a utilizar en el análisis dinámico y evaluar la respuesta mecánica.

²⁷ CSIAMERICA "Software ETABS 2016 v16.2.1." Op. Cit.

²⁸ COMISION ASESORA PERMANENTE PARA EL REGIMEN DE CONTRUCCIONES SISMO RESISTENTE Op. Cit.

Figura 2. Modelos 3D sin AMS – Edificio 7, 10 y 12 niveles.



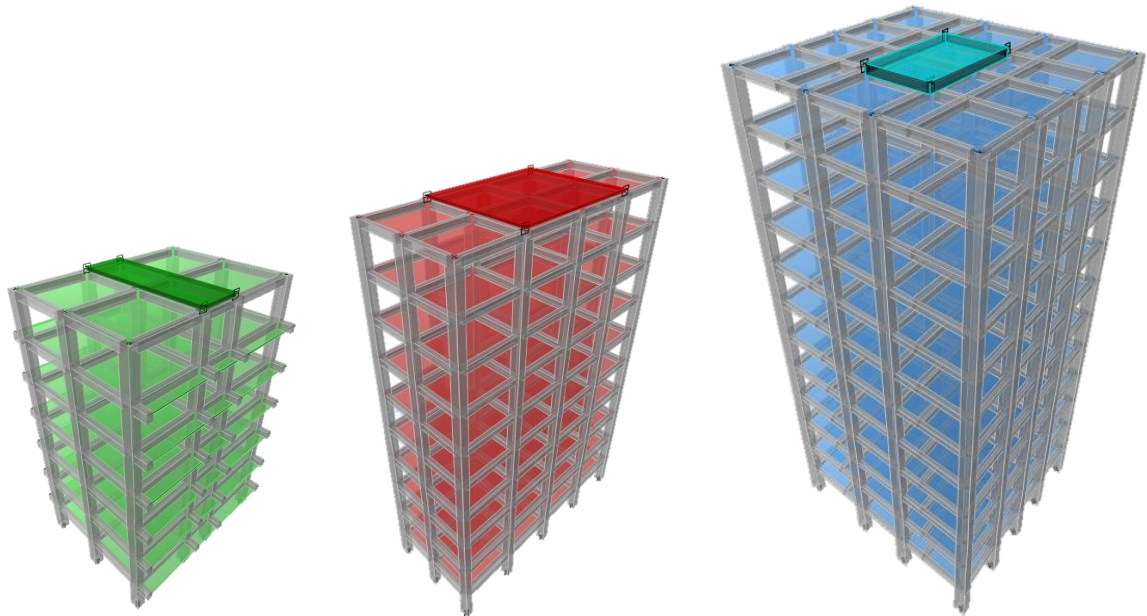
Fuente: Modelos elaborados en el software ETABS 2016.

4.2 MODELO CON AMS

En cada edificio se incorpora un AMS a través de un modelo equivalente, que consiste en un bloque de hormigón correspondiente al 1% de la masa total del edificio, modelado mediante un elemento Shell y montado sobre cuatro aisladores elastoméricos modelados por medio de elementos de enlace “links” tipo “rubber isolator”, a los cuales se les asignaron las características calculadas siguiendo el procedimiento de diseño descrito anteriormente en el numeral 2.2.

Cabe aclarar que los parámetros de diseño del AMS se obtienen de considerar como frecuencia de sintonía la correspondiente al primer modo de vibración, la cual cuenta con la mayor masa de participación.

Figura 3. Modelos 3D con AMS – Edificio 7, 10 y 12 niveles.



Fuente: Modelos elaborados en el software ETABS 2016.

En la Tabla 5, se muestran las propiedades introducidos para cada aislador en el software y las masas respectivas de los AMS para cada edificio.

Tabla 6. Propiedades del aislador.

Propiedades	Unidad	Edificio		
		7 niveles	10 niveles	12 niveles
M	Kg	9722.462	19945.106	37007.627
K_h	Kg/m	20426.540	19439.257	16906.518
c	Kg*s/m	899.873	1257.342	1597.233
K_{R1}	Kg/m	3824486570	7970095542	2830573796

Donde:

M : Masa del AMS

K_h : Rigidez horizontal

c : Amortiguamiento efectivo

K_{R1} : Rigidez para el grado de libertad rotacional

5. RESULTADOS NUMÉRICOS

Se realizó el análisis cronológico lineal para los diferentes casos de carga, sometiendo las tres estructuras sin AMS a los siete sismos del estudio de microzonificación, donde se obtuvieron los valores máximos de desplazamiento en la parte superior, cortante en la base y momento flector en las direcciones X y Y, que se registraron durante cada evento sísmico. Posteriormente, se efectuó el mismo procedimiento obteniendo dichos valores de respuesta mecánica para las estructuras con el AMS, los cuales permiten junto con los resultados sin AMS calcular los porcentajes de variación. Sin embargo, es necesario resaltar que los porcentajes de variación de desplazamiento, fueron calculados con la resultante de las respuestas en direcciones X y Y, y no individualmente en cada dirección.

A continuación, se presentan los resultados hallados de las tres edificaciones para el caso de aplicación de carga sísmica en 100% dirección X y 30% dirección Y. Además, en las Gráficas 3, 6 y 9 se muestra el desplazamiento en la parte superior en X, en las Gráficas 4, 7 y 10 cortante basal en X y en las Gráficas 5, 8 y 11 momento flector en X para los edificios de 7, 10 y 12 niveles respectivamente, sometidos al sismo de Helena, con y sin AMS.

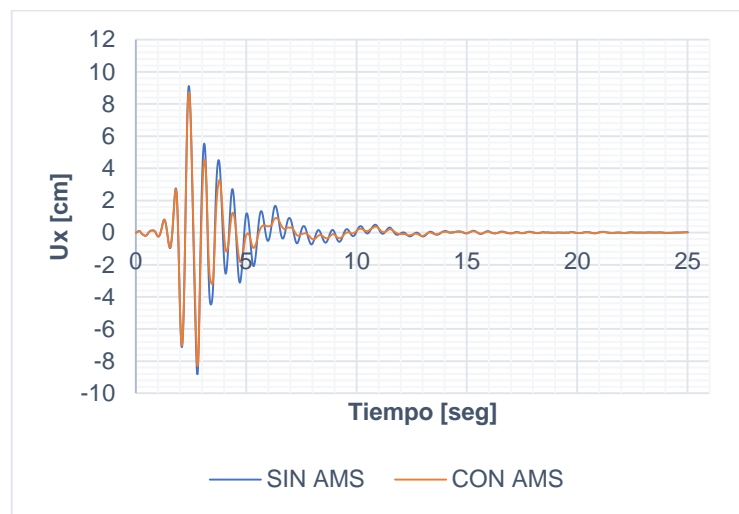
5.1 EDIFICIO 7 NIVELES

En las Gráficas 3, 4 y 5 se aprecia la variación de la respuesta mecánica de la estructura al incorporar el dispositivo de disipación de energía.

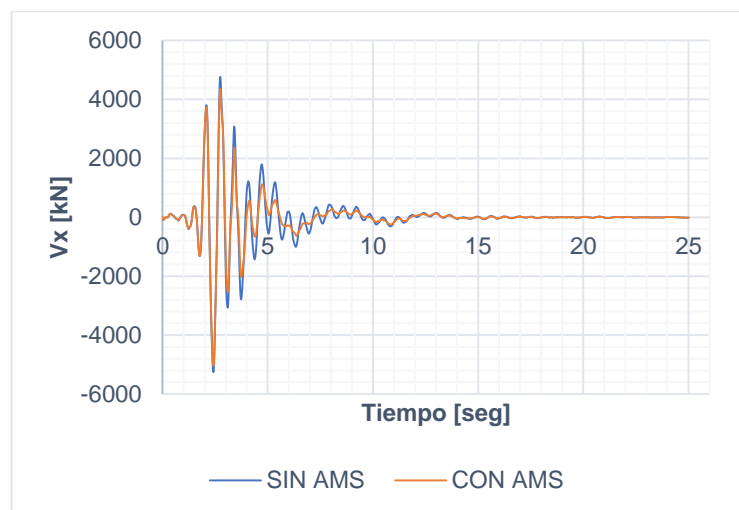
Se aprecia gráficamente reducciones mayores aproximadamente a partir del segundo 4 en las variables evaluadas.

Se puede observar en la Tabla 6, que para el caso del sismo Coalinga en el edificio de 7 niveles no se generan mejoras en la respuesta de V_x y V_y con el uso del AMS. Además, los porcentajes de variación obtenidos con la acción de los sismos de Coalinga y Mammoth son bajos comparados con los resultados de las demás acciones sísmicas, como en el caso del sismo Loma donde se presentó la reducción más alta en M_y con 15% y en la resultante de desplazamiento con 14.75%.

Gráfica 3. Desplazamiento U_x (Edificio 7 niveles) – Sismo Helena.



Gráfica 4. Cortante V_x (Edificio 7 niveles) – Sismo Helena.



Gráfica 5. Momento Mx (Edificio 7 niveles) – Sismo Helena.

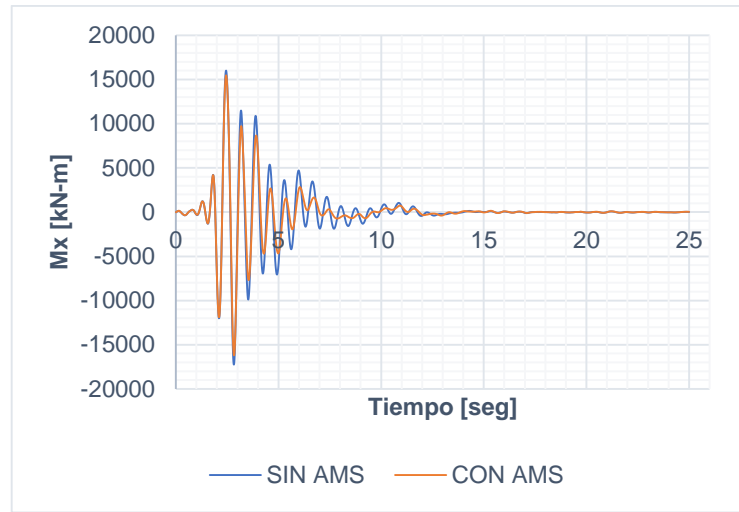


Tabla 7. Resultados y variación de la respuesta mecánica (100%X – 30%Y) de todos los sismos (Edificio 7 niveles).

Variables	Sismo Coalinga			Sismo Duzce		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	10.13	10.00	1.28	10.54	9.32	11.54
Vmax-x [kN]	4777.35	4872.88	-2.00	5509.21	4854.31	11.89
Vmax-y [kN]	1470.96	1481.45	-0.71	1477.67	1284.57	13.07
Mmax-x [kN-m]	17859.22	17319.25	3.02	17811.18	15627.34	12.26
Mmax-y [kN-m]	59896.73	59280.58	1.03	64792.08	57254.70	11.63

Variables	Sismo Friuli			Sismo Helena		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	10.58	9.81	7.29	9.51	9.13	4.01
Vmax-x [kN]	6157.64	5715.43	7.18	5259.88	5038.14	4.22
Vmax-y	1793.04	1638.53	8.62	1493.80	1436.30	3.85

Variables	Sismo Friuli			Sismo Helena		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
[kN]						
Mmax-x	19115.36	17548.09	8.20	17235.46	16174.07	6.16
[kN-m]						
Mmax-y	65763.36	60278.54	8.34	58462.77	56119.17	4.01
[kN-m]						

Variables	Sismo Loma			Sismo Mammoth		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax	9.66	8.23	14.75	11.13	11.10	0.25
[cm]						
Vmax-x	4710.85	4359.00	7.47	5743.78	5715.34	0.50
[kN]						
Vmax-y	1514.63	1401.77	7.45	1619.65	1582.41	2.30
[kN]						
Mmax-x	16737.38	15652.39	6.48	19475.95	19111.81	1.87
[kN-m]						
Mmax-y	60034.41	51032.20	15.00	67347.37	67259.19	0.13
[kN-m]						

Variables	Sismo Mendocino		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax	9.59	8.95	6.62
[cm]			
Vmax-x	4878.63	4601.80	5.67
[kN]			
Vmax-y	1258.62	1256.22	0.19
[kN]			
Mmax-x	15206.01	15135.17	0.47
[kN-m]			
Mmax-y	58504.25	54450.88	6.93
[kN-m]			

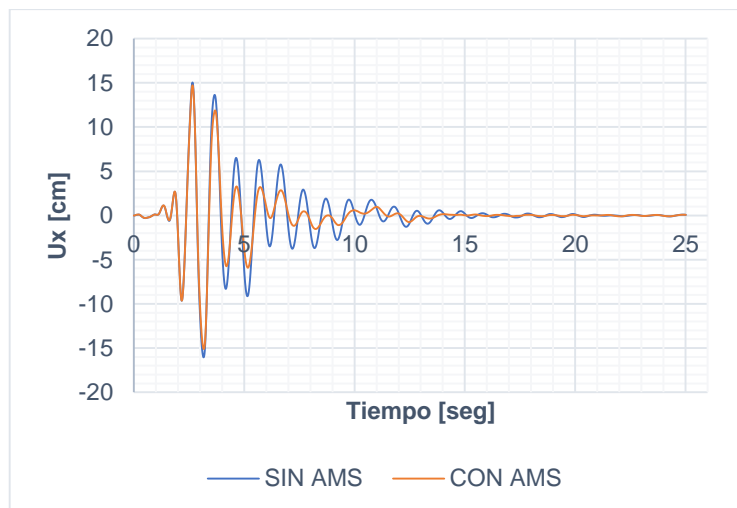
5.2 EDIFICIO 10 NIVELES

En las Gráficas 6, 7 y 8 se aprecia la variación de la respuesta mecánica de la estructura al incorporar el dispositivo de disipación de energía.

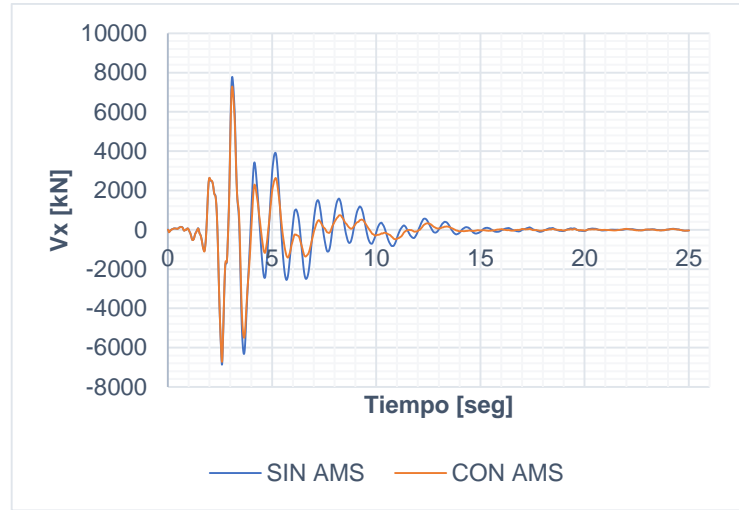
Los resultados presentan un comportamiento similar a lo obtenido en el edificio de 7 niveles, gráficamente es posible observar que las reducciones en los picos más altos no son tan considerables al compararlas con aquellas que se presentan en otros puntos de respuesta.

Se puede observar en la Tabla 7, que el AMS mejoro el comportamiento de la estructura en todos los eventos sísmicos, con la excepción del sismo de Coalinga, sin embargo, en Helena, Loma, Mammoth y Mendocino los porcentajes de variación de las respuestas fueron poco significativos. En los sismos de Duzce y Friuli se obtuvieron reducciones que variaron entre el 12% y el 24%, siendo estos los que presentaron el mejor comportamiento del AMS.

Gráfica 6. Desplazamiento Ux (Edificio 10 niveles) – Sismo Helena.



Gráfica 7. Cortante Vx (Edificio 10 niveles) – Sismo Helena.



Gráfica 8. Momento Mx (Edificio 10 niveles) – Sismo Helena.

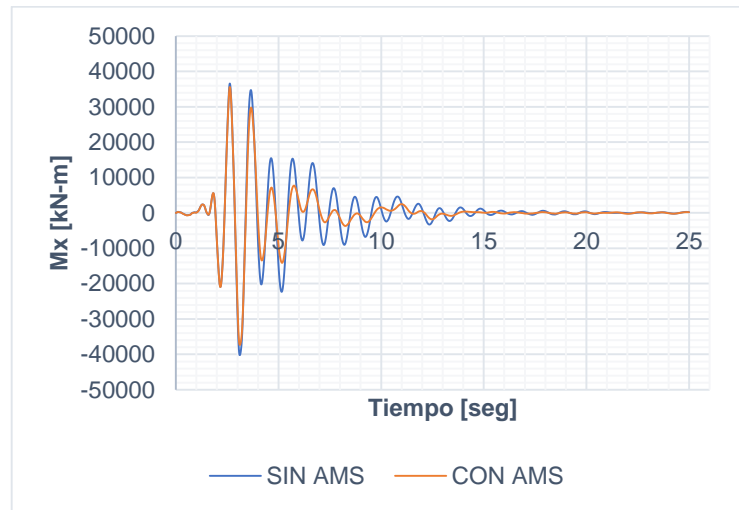


Tabla 8. Resultados y variación de la respuesta mecánica (100%X – 30%Y) de todos los sismos (Edificio 10 niveles).

Variables	Sismo Coalinga			Sismo Duzce		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	17.56	17.74	-1.06	14.19	12.39	12.67
Vmax-x [kN]	8225.41	7874.82	4.26	5558.28	4663.94	16.09
Vmax-y	2473.95	2356.84	4.73	1611.53	1339.92	16.85

Variables	Sismo Coalinga			Sismo Duzce		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
[kN]						
Mmax-x	40992.33	40712.65	0.68	31619.66	27302.83	13.65
[kN-m]						
Mmax-y	136977.37	137025.63	-0.04	108526.63	94633.66	12.80
[kN-m]						

Variables	Sismo Friuli			Sismo Helena		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax	18.31	14.28	22.01	16.80	15.81	5.90
[cm]						
Vmax-x	7108.63	5595.27	21.29	7784.72	7289.74	6.36
[kN]						
Vmax-y	2075.39	1634.12	21.26	2304.11	2153.18	6.55
[kN]						
Mmax-x	42645.45	32527.78	23.73	40251.62	37315.20	7.30
[kN-m]						
Mmax-y	143817.50	111805.31	22.26	136176.98	126918.11	6.80
[kN-m]						

Variables	Sismo Loma			Sismo Mammoth		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax	18.05	17.07	5.44	18.79	18.32	2.51
[cm]						
Vmax-x	6016.06	5832.87	3.05	5739.73	5560.79	3.12
[kN]						
Vmax-y	1844.61	1786.45	3.15	1782.00	1721.65	3.39
[kN]						
Mmax-x	38807.53	36386.21	6.24	39607.62	38449.29	2.92
[kN-m]						
Mmax-y	132214.91	124466.33	5.86	135685.30	132008.17	2.71
[kN-m]						

Variables	Sismo Mendocino		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax	16.59	15.94	3.94
[cm]			
Vmax-x	6999.60	6600.17	5.71
[kN]			
Vmax-y	2099.00	1970.48	6.12
[kN]			

Variables	Sismo Mendocino		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
Mmax-x [kN-m]	38886.97	36896.07	5.12
Mmax-y [kN-m]	130688.70	124662.25	4.61

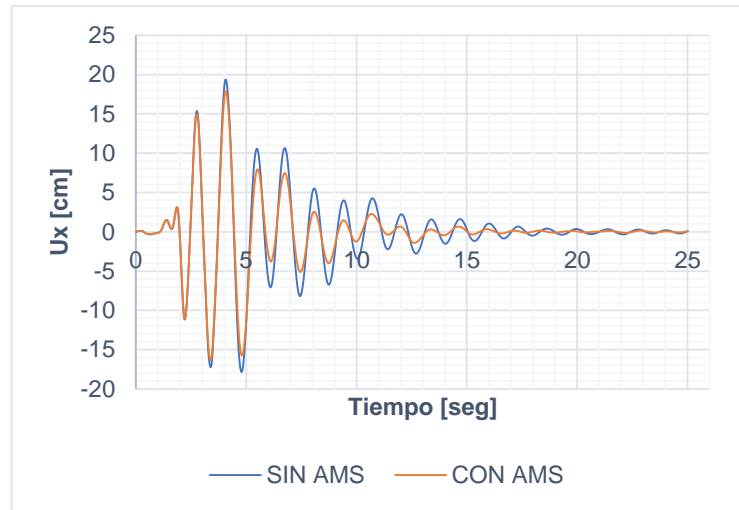
5.3 EDIFICIO 12 NIVELES

En las Gráficas 9, 10 y 11 se aprecia la variación de la respuesta mecánica de la estructura al incorporar el dispositivo de disipación de energía.

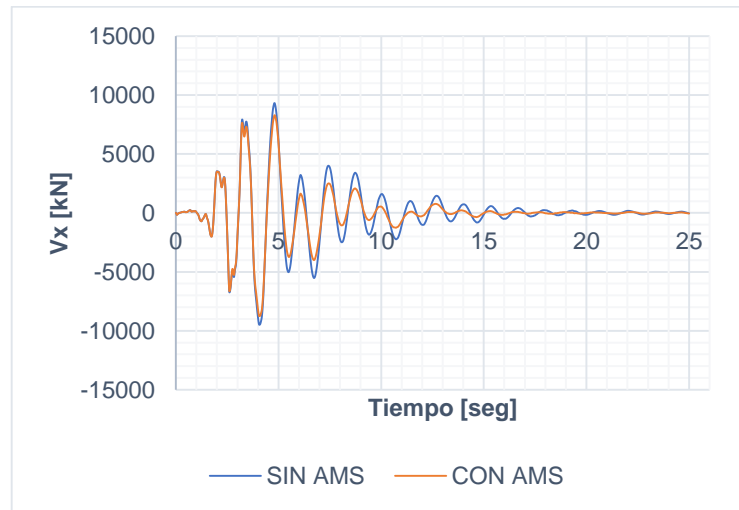
Además, como información complementaria, para este caso de caga sísmica se identificó la reducción máxima del desplazamiento en la dirección X de 3.34 cm en el segundo 6.07, con una reducción del 47.94% respecto al valor registrado en el mismo instante de tiempo en el modelo sin AMS.

Se puede observar en la Tabla 8, que los resultados de la respuesta mecánica presentaron reducciones en cada uno de los sismos considerados cuando el AMS fue instalado, con la excepción del sismo Mendocino en las variables Vy y Mx, sin embargo, en este mismo se presentó la reducción más alta con 13.93% en Vx. La reducción más baja fue de 0.02% en Vx con el sismo Mammoth.

Gráfica 9. Desplazamiento Ux (Edificio 12 niveles) – Sismo Helena.



Gráfica 10. Cortante Vx (Edificio 12 niveles) – Sismo Helena.



Gráfica 11. Momento Mx (Edificio 12 niveles) – Sismo Helena.

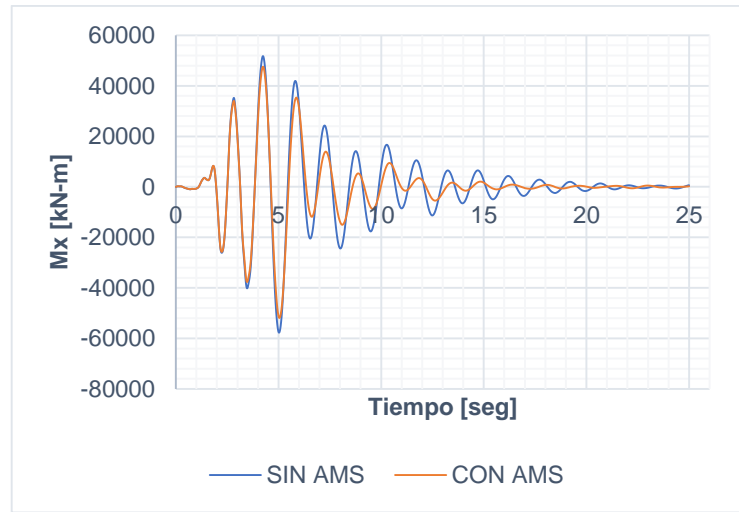


Tabla 9. Resultados y variación de la respuesta mecánica (100%X – 30%Y) de todos los sismos (Edificio 12 niveles).

Variables	Sismo Coalinga			Sismo Duzce		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	24.02	22.97	4.38	19.57	18.44	5.76
Vmax-x [kN]	10929.54	10454.56	4.35	8298.10	7742.53	6.70
Vmax-y [kN]	3273.87	3135.02	4.24	2316.65	2084.30	10.03
Mmax-x [kN-m]	62299.72	59645.91	4.26	49982.17	45601.99	8.76
Mmax-y [kN-m]	245798.49	235160.19	4.33	200390.56	188932.20	5.72

Variables	Sismo Friuli			Sismo Helena		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	22.51	21.31	5.30	19.96	18.41	7.79
Vmax-x [kN]	10236.38	9367.61	8.49	9500.06	8759.07	7.80
Vmax-y [kN]	2557.28	2287.67	10.54	2758.24	2469.02	10.49
Mmax-x [kN-m]	55889.94	52393.60	6.26	57646.39	51916.59	9.94

Variables	Sismo Friuli			Sismo Helena		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
Mmax-y [kN-m]	230572.96	218428.81	5.27	208504.01	192257.45	7.79

Variables	Sismo Loma			Sismo Mammoth		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	19.84	19.80	0.17	21.55	21.37	0.81
Vmax-x [kN]	11300.08	10819.37	4.25	9722.43	9720.61	0.02
Vmax-y [kN]	2939.24	2832.24	3.64	3123.36	3072.54	1.63
Mmax-x [kN-m]	57782.99	56930.26	1.48	58410.03	57116.94	2.21
Mmax-y [kN-m]	203141.44	201762.84	0.68	212204.50	211327.32	0.41

Variables	Sismo Mendocino		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	21.09	20.31	3.71
Vmax-x [kN]	9791.96	8428.05	13.93
Vmax-y [kN]	3015.37	3043.10	-0.92
Mmax-x [kN-m]	56109.30	56963.94	-1.52
Mmax-y [kN-m]	222688.72	199554.43	10.39

En el **Anexo A** y **Anexo B**, para los casos de carga sísmica 100% en la dirección X – 30% en la dirección Y y 30% en la dirección X – 100% en la dirección Y, respectivamente, se encuentran las gráficas del comportamiento de U_x , U_y , V_x , V_y , M_x y M_y para los tres edificios con y sin AMS de cada uno de los sismos

considerados en el análisis, adicionalmente se anexa la tabla de resultados de variación de los valores máximos.

5.4 ANÁLISIS CONTENIDO FRECUENCIAL – PORCENTAJES DE VARIACIÓN

Las tablas 9 a 14 muestran la recopilación de los resultados obtenidos para evaluar el efecto del contenido frecuencial de los sismos sobre los resultados de variación de la respuesta mecánica, para el caso de carga sísmica 100% en la dirección X y 30% en la dirección Y.

Tabla 10. Frecuencia fundamental de cada edificio.

Edificio	Frecuencia [Hz]
<i>7 niveles</i>	1.45
<i>10 niveles</i>	0.98
<i>12 niveles</i>	0.67

Tabla 11. Frecuencia dominante de los sismos vs variación de desplazamiento.

Variación de desplazamiento %				
Sismos		Edificios		
Nombre	F [Hz]	7 niveles	10 niveles	12 niveles
<i>Coalinga</i>	1.12	1.28	-1.06	4.38
<i>Duzce</i>	3.69	11.54	12.67	5.76
<i>Friuli</i>	3.88	7.29	22.01	5.30
<i>Helena</i>	2.47	4.01	5.90	7.79
<i>Loma</i>	2.70	14.75	5.44	0.17
<i>Mammoth</i>	1.81	0.25	2.51	0.81
<i>Mendocino</i>	1.27	6.62	3.94	3.71

Tabla 12. Frecuencia dominante de los sismos vs variación de Cortante Vx.

Variación de Vx %				
Sismos		Edificios		
Nombre	F [Hz]	7 niveles	10 niveles	12 niveles
<i>Coalinga</i>	1.12	-2.00	4.26	4.35
<i>Duzce</i>	3.69	11.89	16.09	6.70
<i>Friuli</i>	3.88	7.18	21.29	8.49
<i>Helena</i>	2.47	4.22	6.36	7.80
<i>Loma</i>	2.70	7.47	3.05	4.25
<i>Mammoth</i>	1.81	0.50	3.12	0.02
<i>Mendocino</i>	1.27	5.67	5.71	13.93

Tabla 13. Frecuencia dominante de los sismos vs variación de Cortante Vy.

Variación de Vy %				
Sismos		Edificios		
Nombre	F [Hz]	7 niveles	10 niveles	12 niveles
<i>Coalinga</i>	1.12	-0.71	4.73	4.24
<i>Duzce</i>	3.69	13.07	16.85	10.03
<i>Friuli</i>	3.88	8.62	21.26	10.54
<i>Helena</i>	2.47	3.85	6.55	10.49
<i>Loma</i>	2.70	7.45	3.15	3.64
<i>Mammoth</i>	1.81	2.30	3.39	1.63
<i>Mendocino</i>	1.27	0.19	6.12	-0.92

Tabla 14. Frecuencia dominante de los sismos vs variación de Momento Mx.

Variación de Mx %				
Sismos		Edificios		
Nombre	F [Hz]	7 niveles	10 niveles	12 niveles
<i>Coalinga</i>	1.12	3.02	0.68	4.26
<i>Duzce</i>	3.69	12.26	13.65	8.76
<i>Friuli</i>	3.88	8.20	23.73	6.26
<i>Helena</i>	2.47	6.16	7.30	9.94
<i>Loma</i>	2.70	6.48	6.24	1.48
<i>Mammoth</i>	1.81	1.87	2.92	2.21
<i>Mendocino</i>	1.27	0.47	5.12	-1.52

Tabla 15. Frecuencia dominante de los sismos vs variación de Momento My.

Variación de My %				
Sismos		Edificios		
Nombre	F [Hz]	7 niveles	10 niveles	12 niveles
<i>Coalinga</i>	1.12	1.03	-0.04	4.33
<i>Duzce</i>	3.69	11.63	12.80	5.72
<i>Friuli</i>	3.88	8.34	22.26	5.27
<i>Helena</i>	2.47	4.01	6.80	7.79
<i>Loma</i>	2.70	15.00	5.86	0.68
<i>Mammoth</i>	1.81	0.13	2.71	0.41
<i>Mendocino</i>	1.27	6.93	4.61	10.39

Según lo evidenciado en las tablas para los dos casos de carga sísmica evaluados, se puede afirmar que los resultados de variación de los sismos de Duzce y Friuli son sobresalientes a los obtenidos en los demás eventos sísmicos, de acuerdo al análisis hecho es posible que se presente este comportamiento en aquellos sismos con frecuencias dominantes superiores a 3 Hz, tal como sucede en estos casos, sin embargo, en los demás casos a pesar de existir disminuciones importantes en la respuesta, no se observa una influencia o tendencia marcada de la frecuencia de los sismos sobre los resultados de cada edificio.

En el **Anexo C**, se encuentran las tablas con los resultados de la evaluación del efecto del contenido frecuencial de los sismos y los resultados de variación de la respuesta mecánica, para los casos de carga sísmica 100% en la dirección X – 30% en la dirección Y y 30% en la dirección X – 100% en la dirección Y.

5.5 RESULTADOS COMPLEMENTARIOS

Como complemento a este trabajo de grado se realizó un análisis que permitiera encontrar un AMS que mejorara el comportamiento de las variables analizadas con respecto a los resultados obtenidos siguiendo el modelo propuesto en el trabajo de grado de maestría de Manrique y Meza, por ello se realizó un ejemplo con el edificio

de 7 niveles analizando la resultante de desplazamiento en cada uno de los sismos para el caso de carga sísmica aplicada en 100% dirección X y 30% dirección Y , donde se modificó el modelo de diseño seguido aumentando al 3% la relación de masa entre el AMS y la edificación , y como consecuencia de ello los valores de rigidez y amortiguamiento de los aisladores también cambiaron.

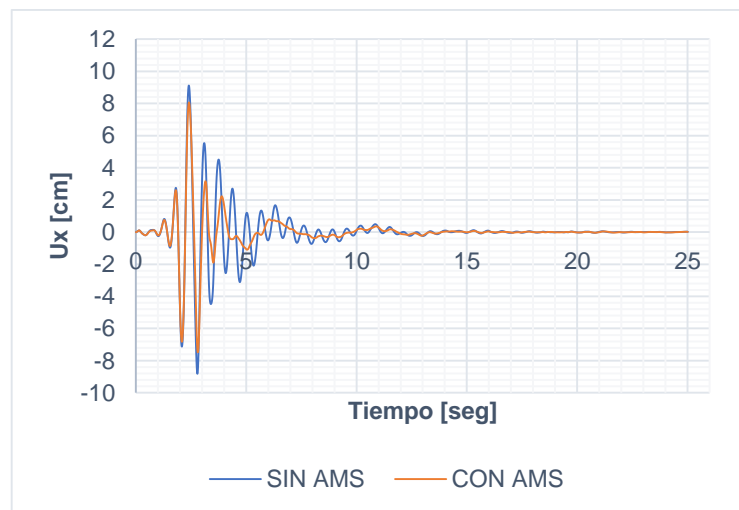
En la Tabla 15, se muestran las propiedades introducidas en el software para cada aislador y la masa del bloque de hormigón.

Tabla 16. Propiedades del aislador Edificio 7 niveles – Relación de masa 3%.

Propiedades	Unidad	Edificio 7 niveles
<i>M</i>	Kg	29167.386
<i>Kh</i>	Kg/m	61279.61925
<i>c</i>	Kg*s/m	2699.617754
<i>KR1</i>	Kg/m	11473459711

A continuación, se presentan los resultados hallados para la edificación:

Gráfica 12. Desplazamiento Ux (Edificio 7 niveles) – Sismo Helena. Relación de masa 3%.



Gráfica 13. Desplazamiento Uy (Edificio 7 niveles) – Sismo Helena. Relación de masa 3%.

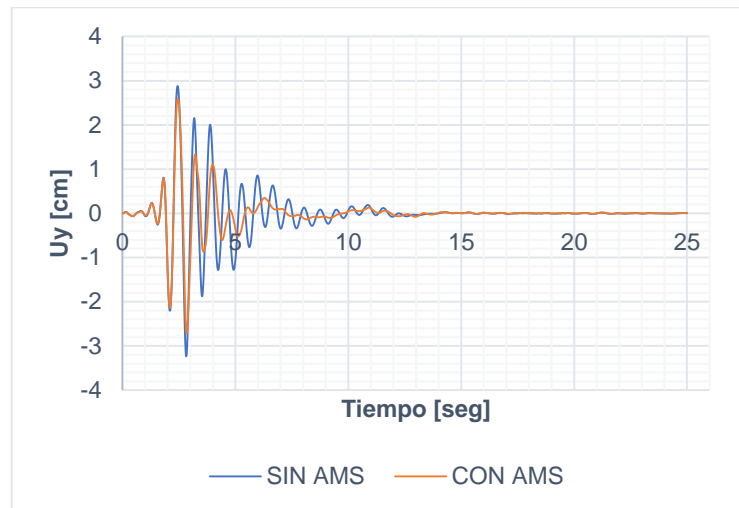


Tabla 17. Porcentajes de variación de la resultante de desplazamiento (Edificio 7 niveles) – Relación de masa 3%.

Resultante de desplazamiento			
Sismo	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
<i>Coalinga</i>	10.126	9.567	5.52
<i>Duzce</i>	10.54	7.68	27.11
<i>Friuli</i>	10.58	9.15	13.54
<i>Helena</i>	9.51	8.43	11.37
<i>Loma</i>	9.66	7.85	18.75
<i>Mammoth</i>	11.13	10.93	1.77
<i>Mendocino</i>	9.59	8.53	11.06

Se puede observar en la Tabla 16, que el AMS mejoró el comportamiento de la estructura en la resultante de desplazamiento en todos los eventos sísmicos evaluados, mostrando mejores porcentajes de variación con respecto a los obtenidos utilizando la relación de masa del 1%.

6. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta el objetivo general de esta investigación, se estudió numéricamente la respuesta mecánica de las estructuras. Los resultados obtenidos permiten realizar las siguientes conclusiones:

Los valores máximos de las variables de respuesta mecánica, mostraron disminución cuando se implementó el AMS como era de esperarse, obteniendo una variación máxima del 23.73% en la resultante de desplazamiento del edificio de 10 niveles, sin embargo, existen casos donde los efectos del AMS amplifican la respuesta mecánica como se aprecia en los dos casos de carga, para los resultados de V_x y V_y en el edificio de 7 niveles, resultante de desplazamiento y M_y en el edificio de 10 niveles, ambos sometidos al sismo de Coalinga, así como V_y y M_x en el edificio de 12 niveles con el sismo de Mendocino, cabe tener en cuenta que estas ampliaciones no son significativas dado que las variaciones oscilaron entre el 0.1% y el 2%; no obstante a lo largo de la ocurrencia del sismo estas variables presentan reducciones progresivas, debido a la influencia del disipador instalado, esto se puede observar en las gráficas presentadas en los Anexos A y B.

Las gráficas muestran que el AMS no genera una influencia inmediata en el control de la respuesta mecánica para los primeros segundos de la ocurrencia de los sismos y en cualquier caso de carga evaluada, de lo cual se puede deducir que el AMS necesita un tiempo para que empiece a actuar y su funcionamiento afecte la respuesta.

Se observa un mejor desempeño del AMS en el edificio de 10 niveles para el sismo de Friuli, ya que se lograron reducciones considerables en la mayoría de las variables analizadas; en el caso de la resultante de desplazamiento se alcanzó una

reducción aproximadamente del 22% y en el momento flector evaluado en la dirección X se presentó una reducción del 23.73%.

En el análisis realizado gran parte de los datos obtenidos reflejaron reducciones en las variables de respuesta, unas de mayor y otras de menor magnitud, probablemente este comportamiento se deba a que los parámetros de diseño del AMS asumidos para cada edificación no sean los óptimos.

De acuerdo a lo planteado en el segundo objetivo se analizó si existía un efecto del contenido frecuencial de los sismos sobre los resultados de variación de la respuesta mecánica, de lo cual se observó que no hay una tendencia definida que permita generalizar un comportamiento de cada edificio respecto a las frecuencias dominantes de los sismos, sin embargo, se identificaron que las reducciones de las todas las variables evaluadas oscilaron aproximadamente entre el 6% y 24% para los tres edificios en todos los casos de carga, cuando las frecuencias dominantes de los sismos fueron superiores a 3 Hz.

7. RECOMENDACIONES

Como complemento a este trabajo y contribución a próximas investigaciones, se sugiere que para cada estructura a la cual se le desee implementar un AMS, se realice un análisis de sensibilidad y de esta manera se determinen los parámetros óptimos de diseño de este dispositivo, es por ello que se recomienda en primera instancia variar la relación de masa del sistema, descrita como la masa del AMS sobre la masa total de la estructura.

BIBLIOGRAFÍA

ALIANTE E., “Control de efectos torsionales en un edificio asimétrico de hormigón armado con amortiguadores de masa sintonizados,” Tesis de maestría. Universidad Austral de Chile, 2009.

AMBROSINI D., CUITIÑO G., Y REBECCO J., “Eficiencia de amortiguadores de masa sintonizados en estructuras sismorresistentes,” *Mecánica Comput.*, vol. XXIII, pp. 447–462, 2004.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, ASCE/SEI 7-05 Minimum Design Loads for buildings and other Structures. 2006.

BASSOTTI R. y AMBROSINI D., “Influencia de amortiguadores de masa sintonizados en la disminución de efectos torsionales de estructuras sismorresistentes,” *Mecánica Comput.*, vol. XXIII, pp. 481–497, 2004.

BASSOTTI R. y AMBROSINI D., “Sobre la utilización de amortiguadores de masa sintonizados en la provincia de mendoza,” *Mecánica Comput.*, pp. 2321–2340.

CHANG C. M., SHIA S., and LAI Y. A., “Seismic design of passive tuned mass damper parameters using active control algorithm,” *J. Sound Vib.*, vol. 426, pp. 150–165, 2018.

CHOPRA Anil K., *Dinámica De Estructuras*, Ed. 4. Pearson Educación, México, pp. 455–457, 2014.

COMISION ASESORA PERMANENTE PARA EL REGIMEN DE CONTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10. 2010.

CSIAMERICA “Software ETABS 2016 v16.2.1.” Obtenido en:<https://www.csiamerica.com/products/etabs> .

GARRIDO B. I., “Amortiguadores de masa sintonizada en edificios sometidos a registros sísmicos en Chile,” Tesis de maestría. Universidad de Chile, 2016.

MANRIQUE D. F. y MEZA J. A., “Evaluación técnica y de costos del uso de sistemas de control pasivo de respuesta sísmica en centros médicos: caso de estudio aplicado a una estructura regular de siete pisos de altura ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia,” Trabajo de grado de maestría. Pontificia Universidad Javeriana - Bogotá, 2016.

MORA M. A. y VILLALBA J. D., “Análisis sísmico inelástico y cálculo de índices de daño en una edificación de mediana altura utilizando diferentes metodologías,” Trabajo de grado - Pregrado. Universidad Industrial de Santander, 2005.

MURUDI M. M. and MANE S. M., “Seismic effectiveness of tuned mass damper (TMD) for different ground motion parameters,” 13 th World Conf. Earthq. Eng., no. 2, pp. 1–8, 2004.

SEISMOSOFT “SeismoMatch v2016” Licencia academica obtenida en <http://www.seismosoft.com/>.

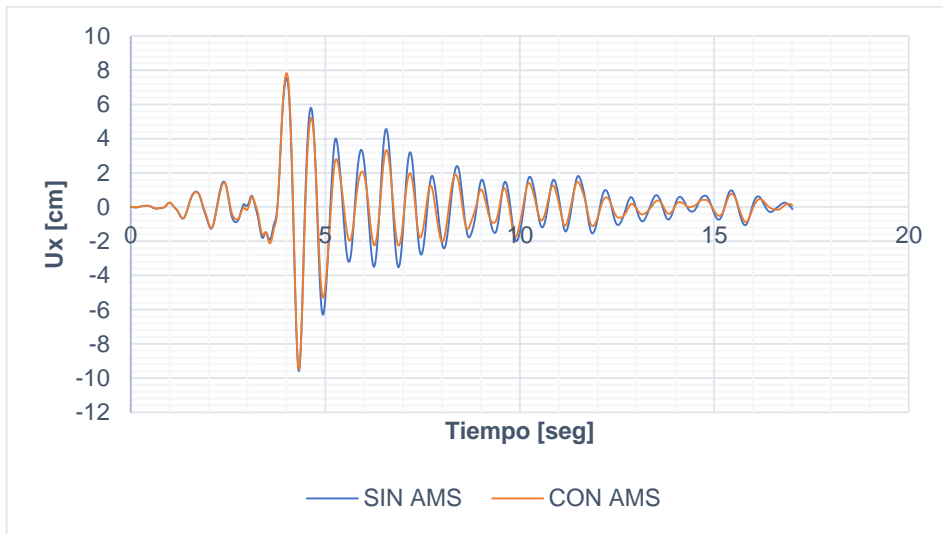
SERVICIO GEOLOGICO, Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga. 2001.

ANEXOS

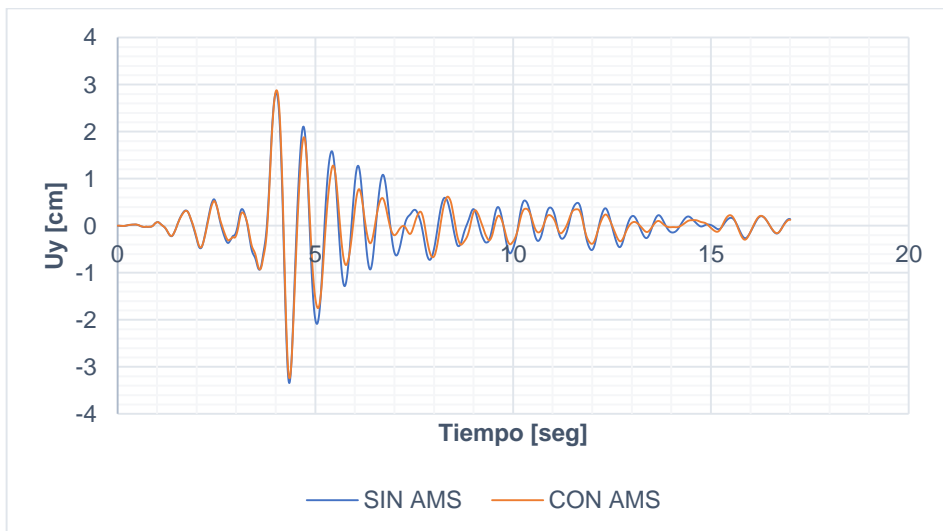
ANEXO A. RESULTADOS CASO DE APLICACIÓN CARGA SÍSMICA 100% X – 30% Y

ANEXO A-1. EDIFICIO 7 NIVELES

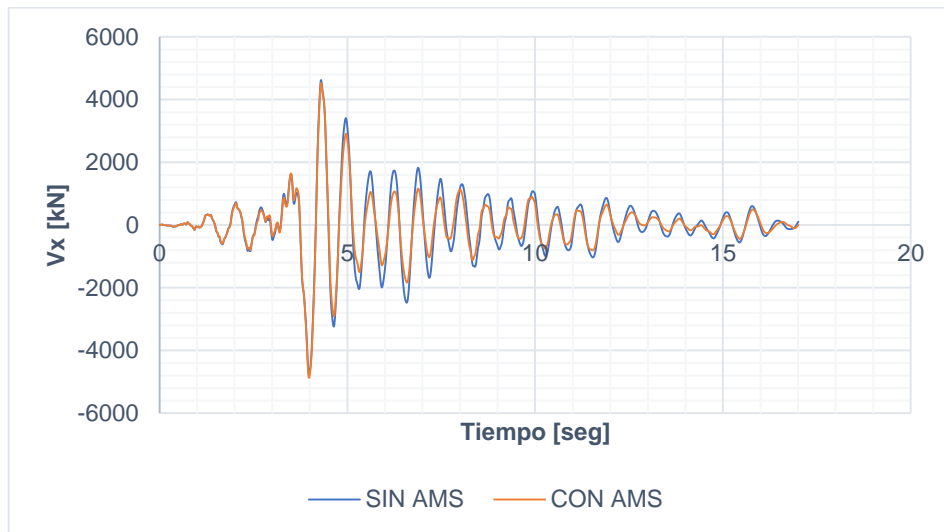
Gráfica A-1.1. Desplazamiento U_x (E. 7 niveles) – Sismo Coalinga.



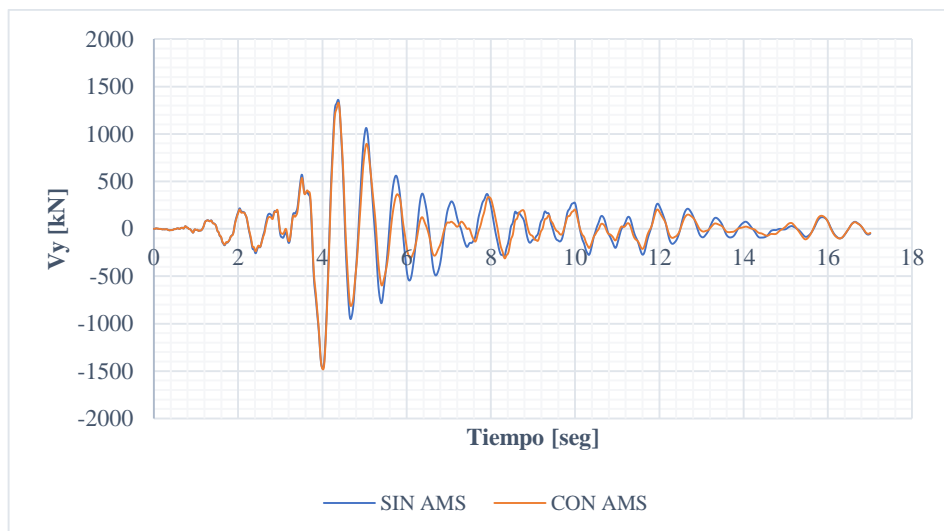
Gráfica A-1.2. Desplazamiento U_y (E. 7 niveles) – Sismo Coalinga.



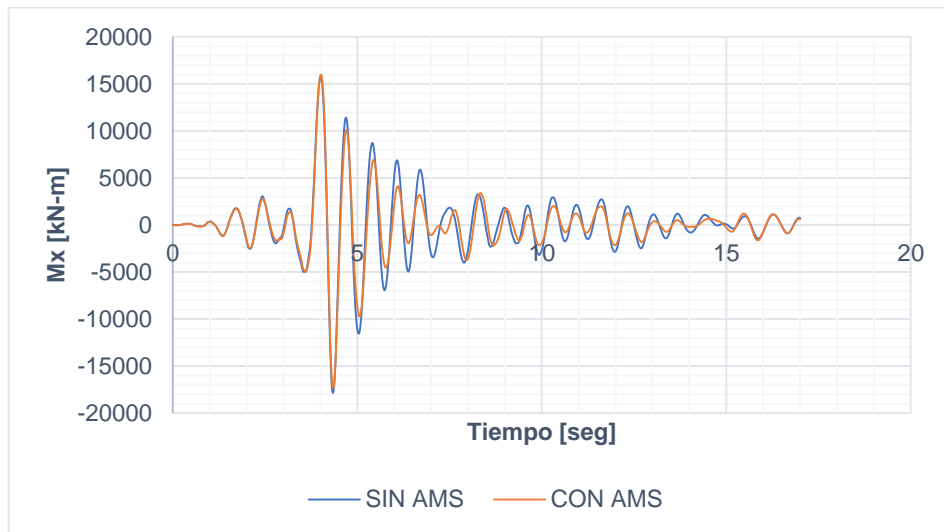
Gráfica A-1.3. Cortante V_x (E. 7 niveles) – Sismo Coalinga.



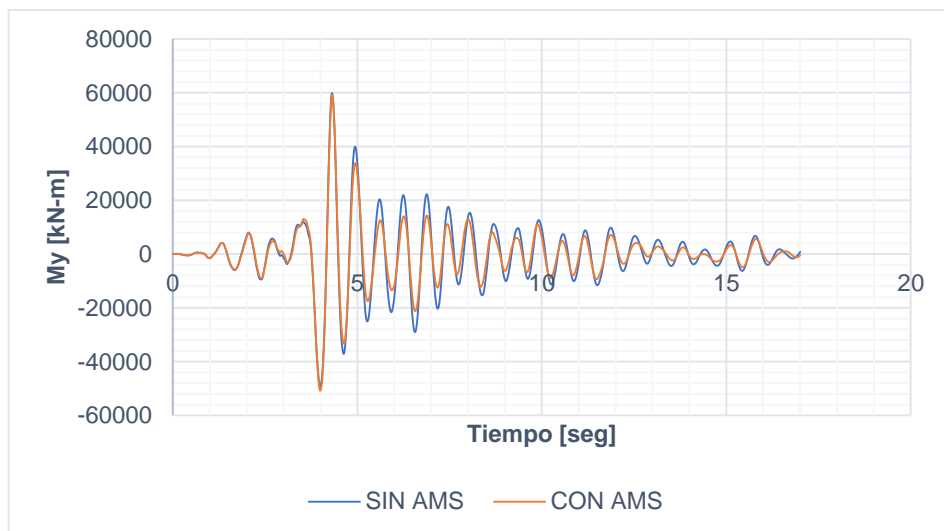
Gráfica A-1.4. Cortante V_y (E. 7 niveles) – Sismo Coalinga.



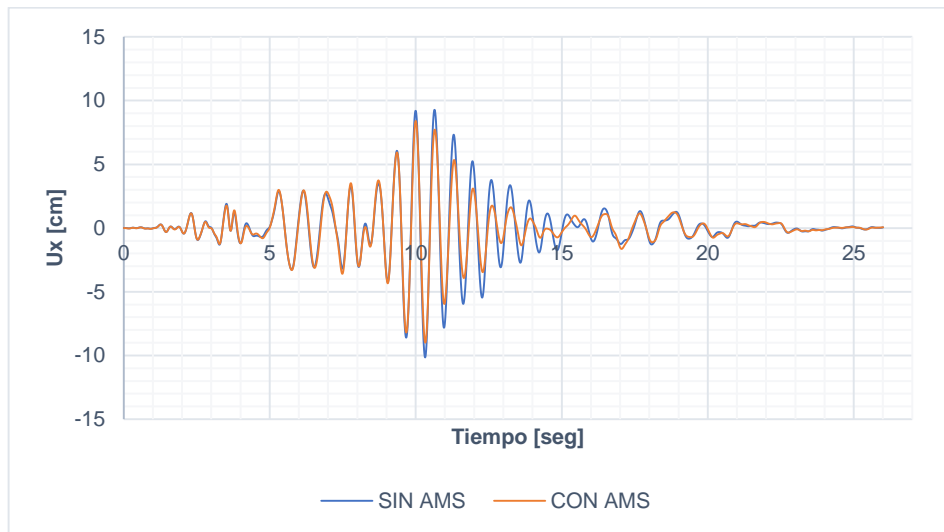
Gráfica A-1.5. Momento Mx (E. 7 niveles) – Sismo Coalinga.



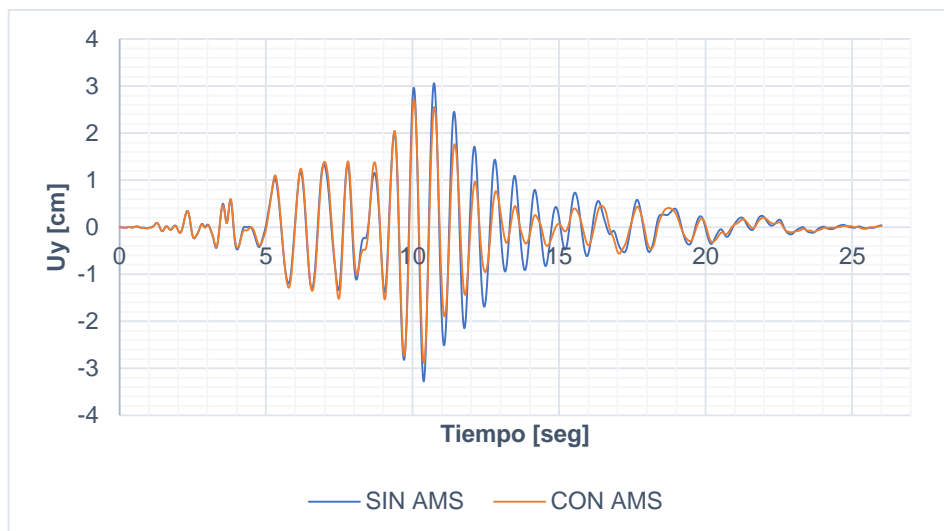
Gráfica A-1.6. Momento My (E. 7 niveles) – Sismo Coalinga.



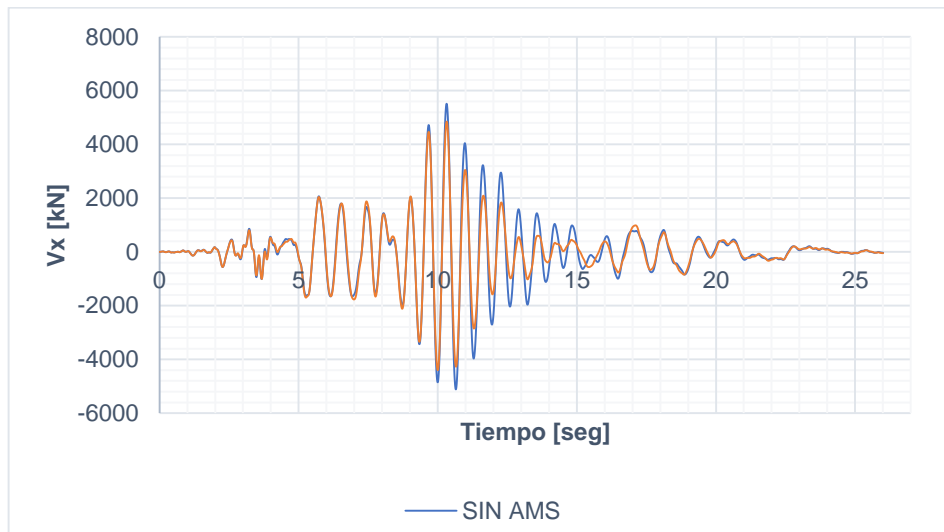
Gráfica A-1.7. Desplazamiento Ux (E. 7 niveles) – Sismo Duzce.



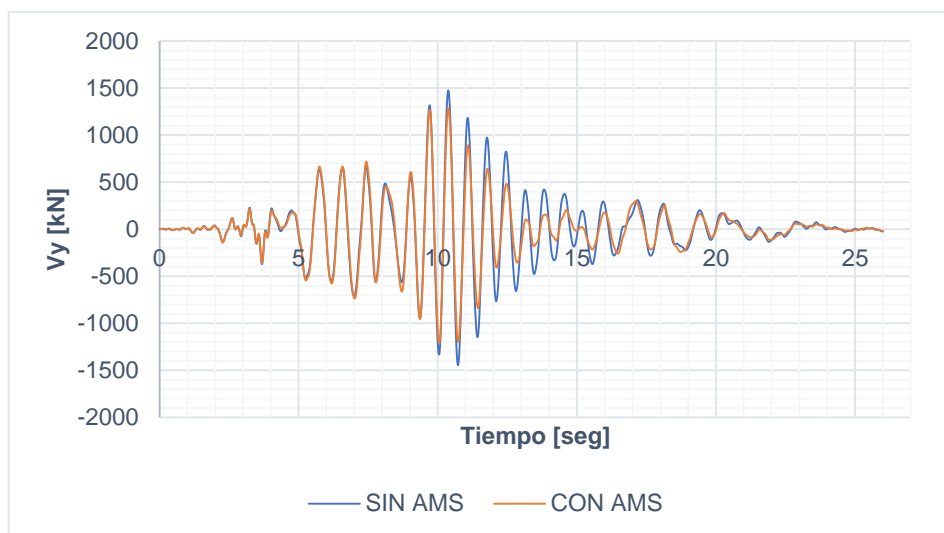
Gráfica A-1.8. Desplazamiento Uy (E. 7 niveles) – Sismo Duzce.



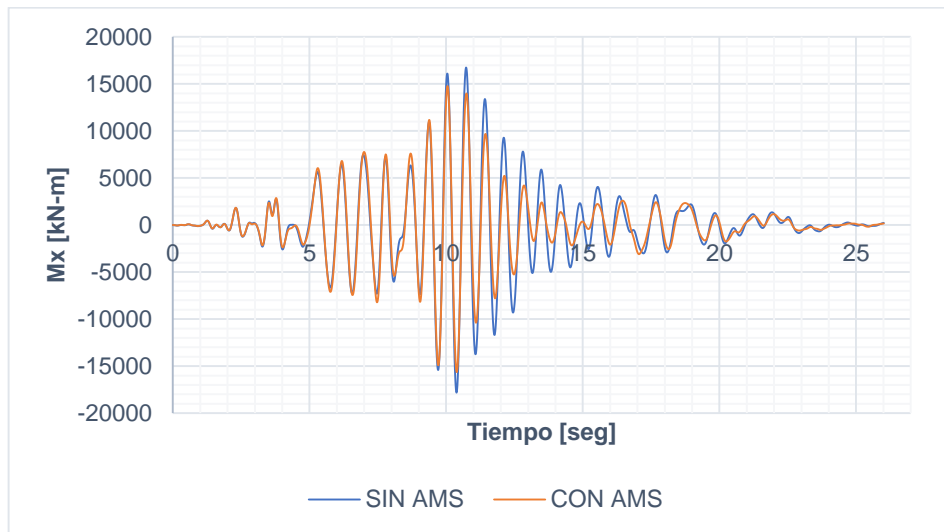
Gráfica A-1.9. Cortante Vx (E. 7 niveles) – Sismo Duzce.



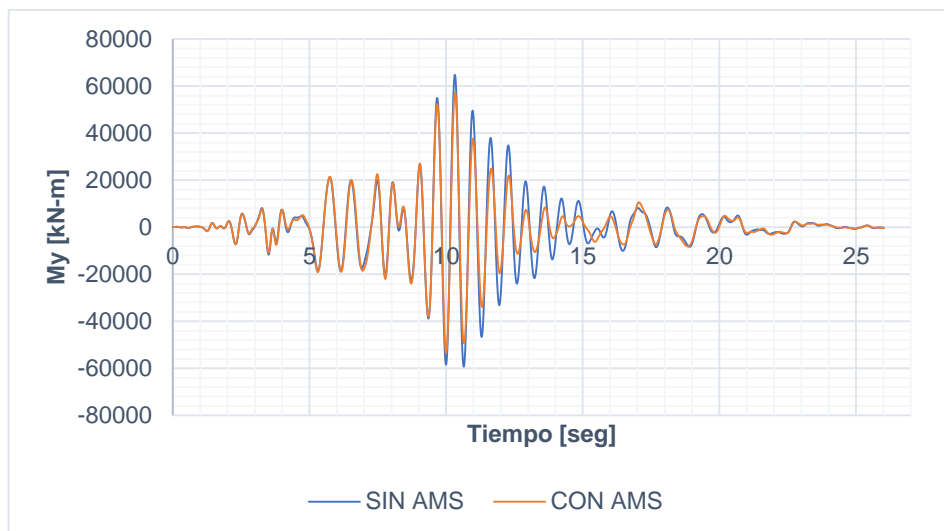
Gráfica A-1.10. Cortante Vy (E. 7 niveles) – Sismo Duzce.



Gráfica A-1.11. Momento Mx (E. 7 niveles) – Sismo Duzce.



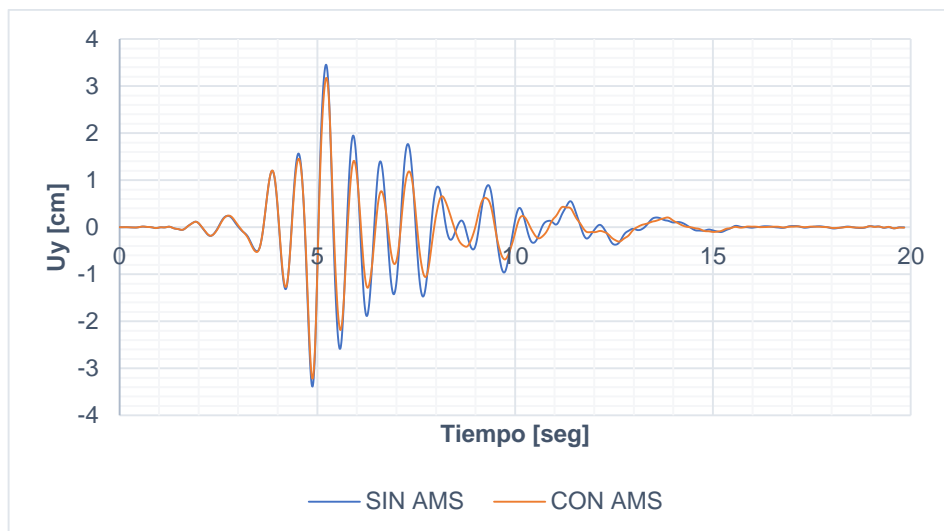
Gráfica A-1.12. Momento My (E. 7 niveles) – Sismo Duzce.



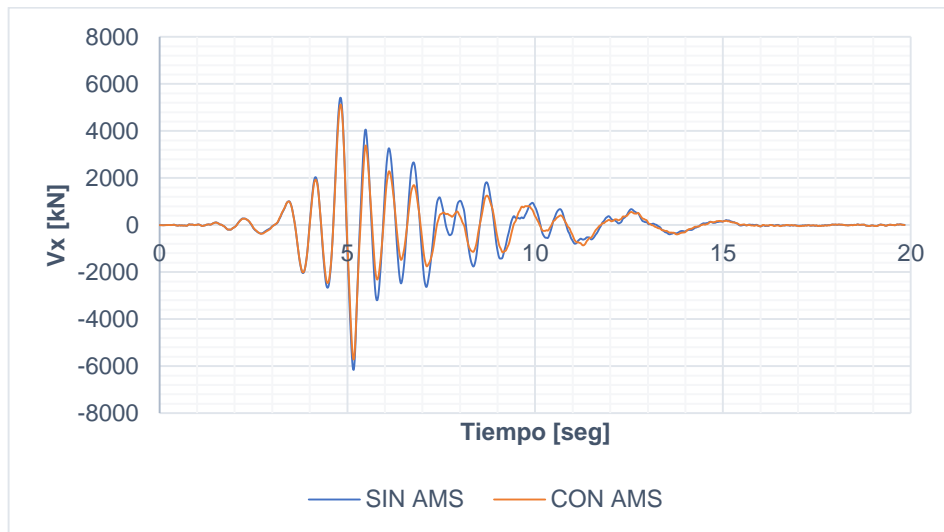
Gráfica A-1.13. Desplazamiento Ux (E. 7 niveles) – Sismo Friuli.



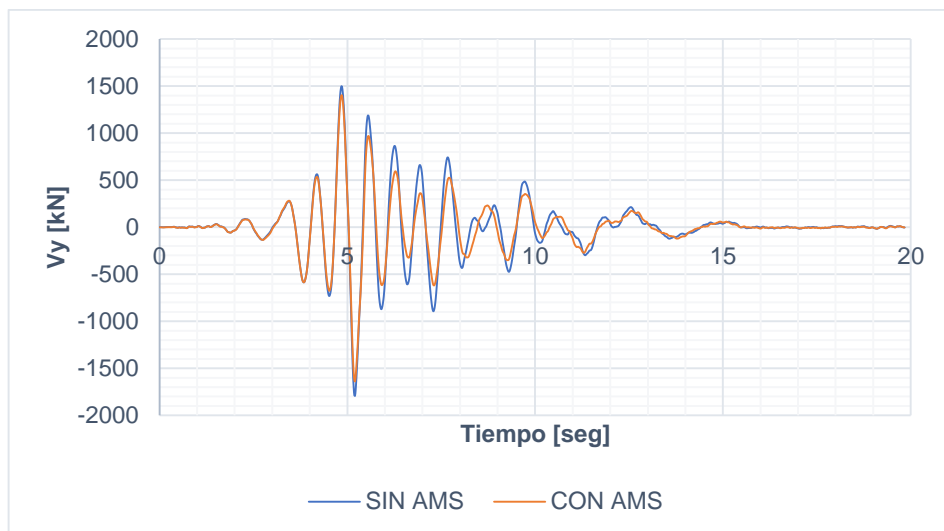
Gráfica A-1.14. Desplazamiento Uy (E. 7 niveles) – Sismo Friuli.



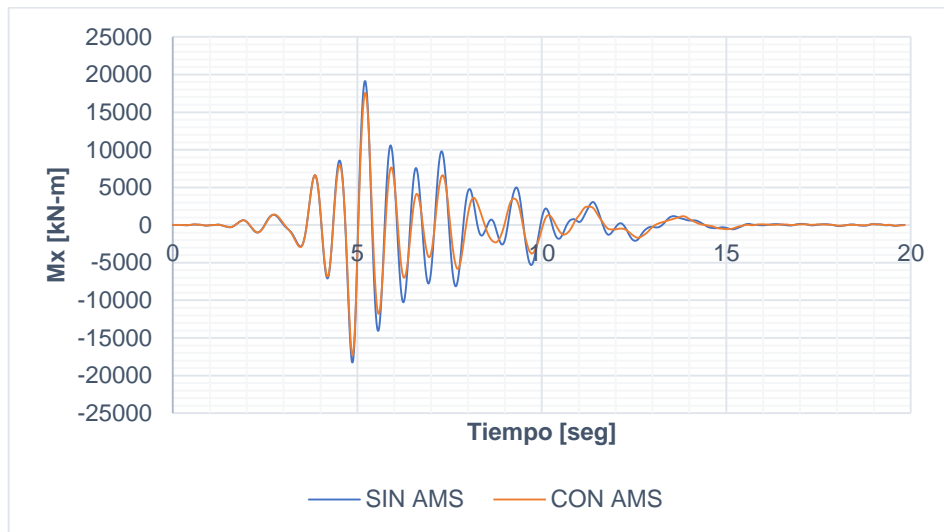
Gráfica A-1.15. Cortante V_x (E. 7 niveles) – Sismo Friuli.



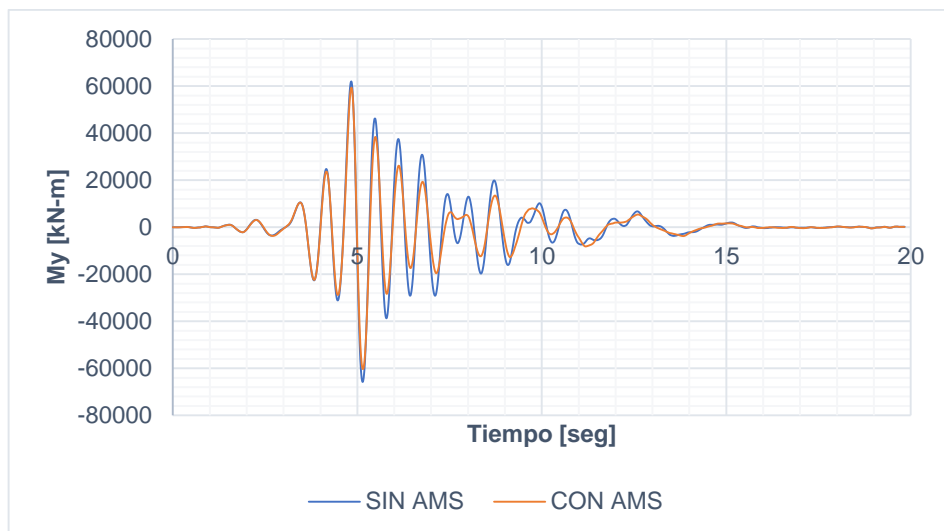
Gráfica A-1.16. Cortante V_y (E. 7 niveles) – Sismo Friuli.



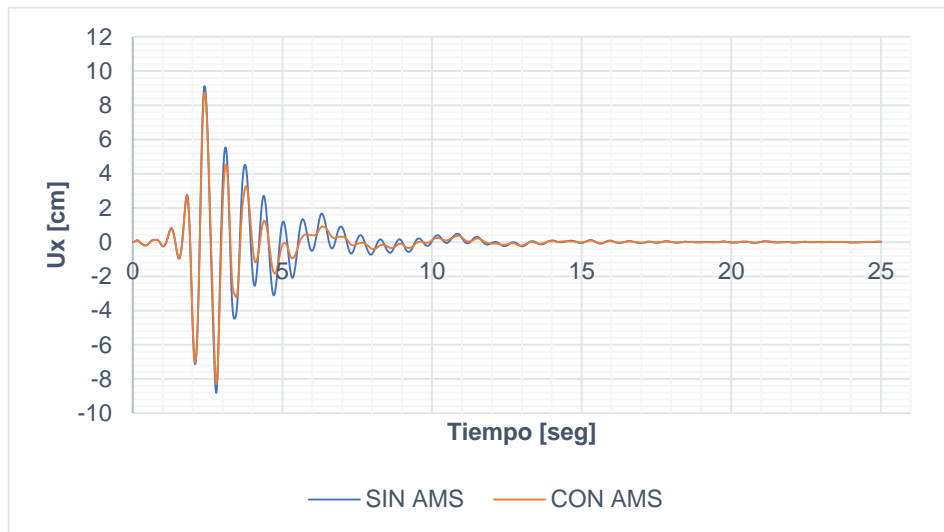
Gráfica A-1.17. Momento Mx (E. 7 niveles) – Sismo Friuli.



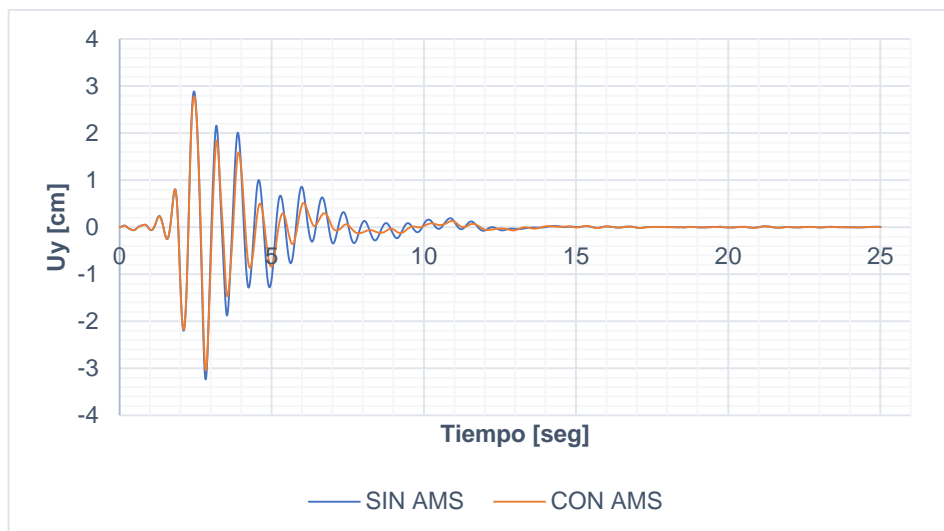
Gráfica A-1.18. Momento My (E. 7 niveles) – Sismo Friuli.



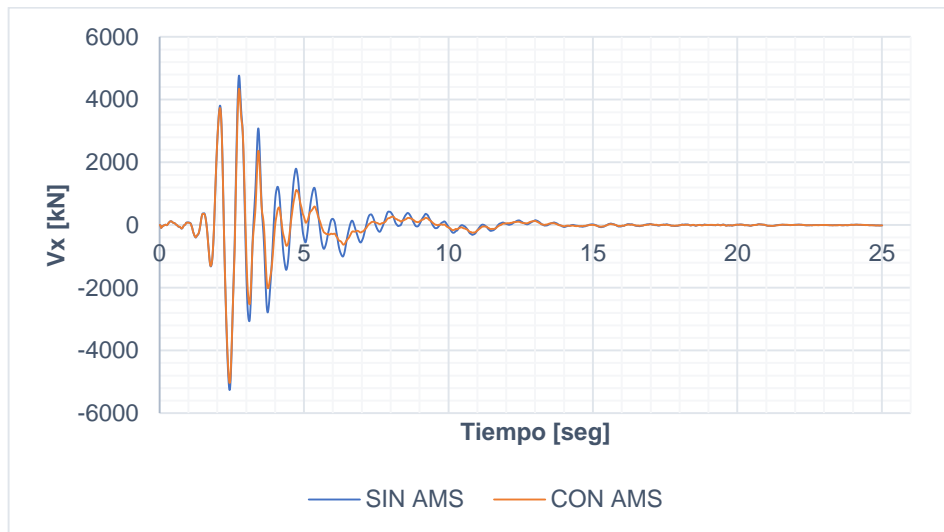
Gráfica A-1.19. Desplazamiento Ux (E. 7 niveles) – Sismo Helena.



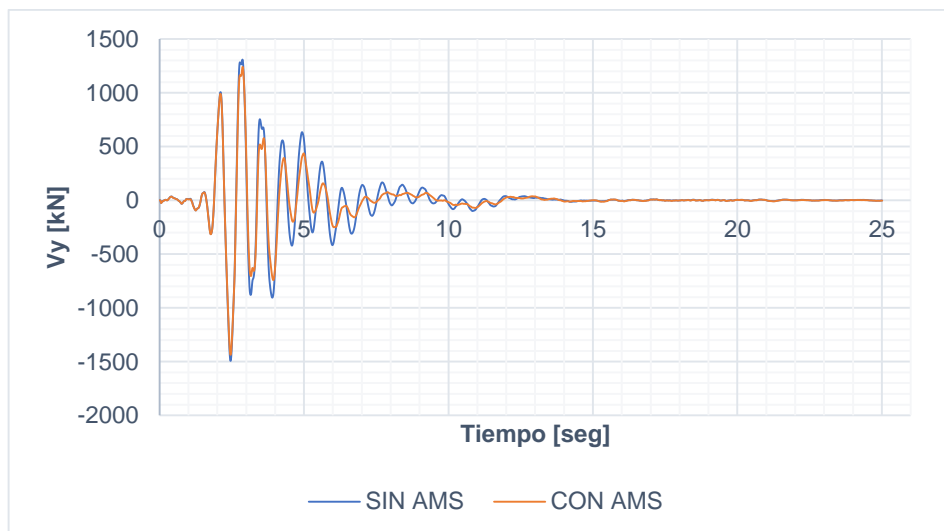
Gráfica A-1.20. Desplazamiento Uy (E. 7 niveles) – Sismo Helena.



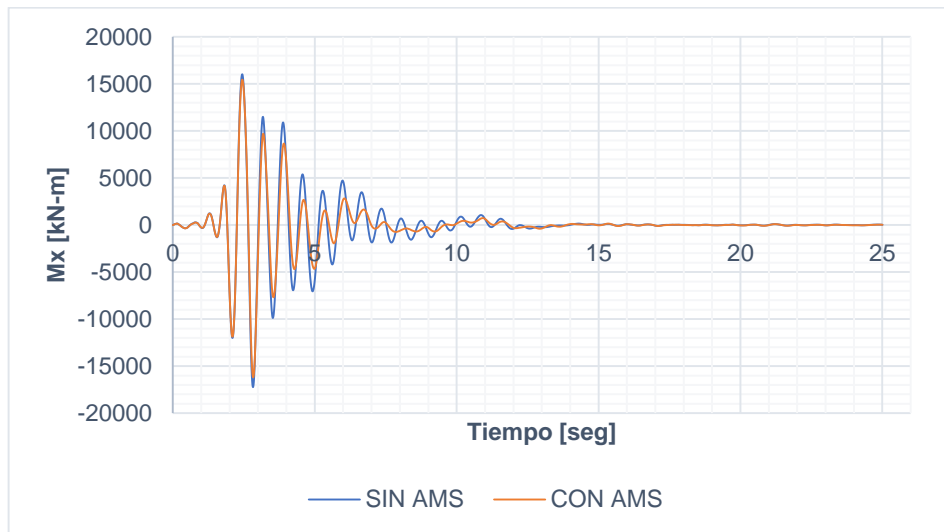
Gráfica A-1.21. Cortante V_x (E. 7 niveles) – Sismo Helena.



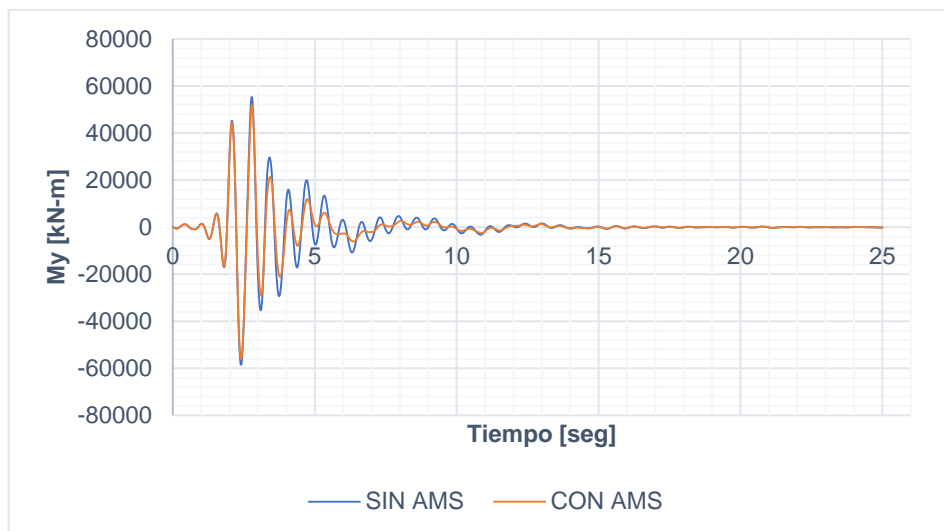
Gráfica A-1.22. Cortante V_y (E. 7 niveles) – Sismo Helena.



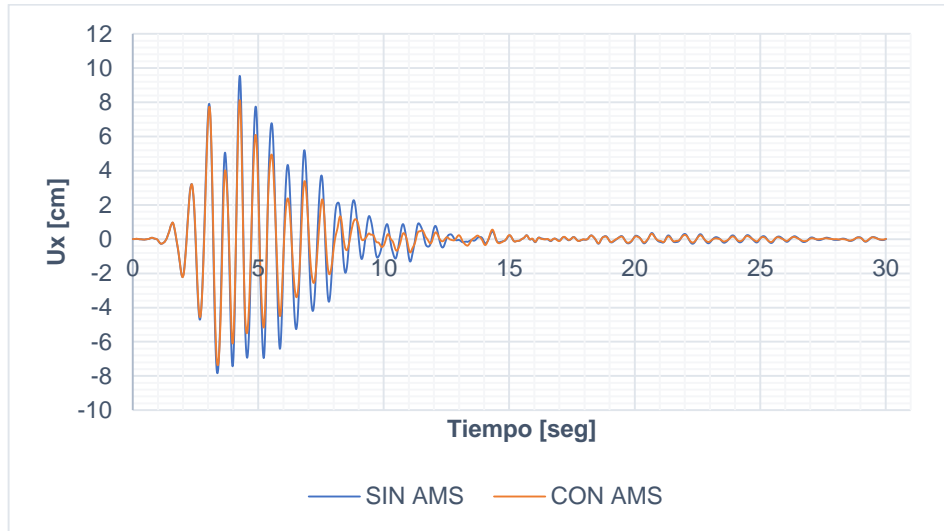
Gráfica A-1.23. Momento Mx (E. 7 niveles) – Sismo Helena.



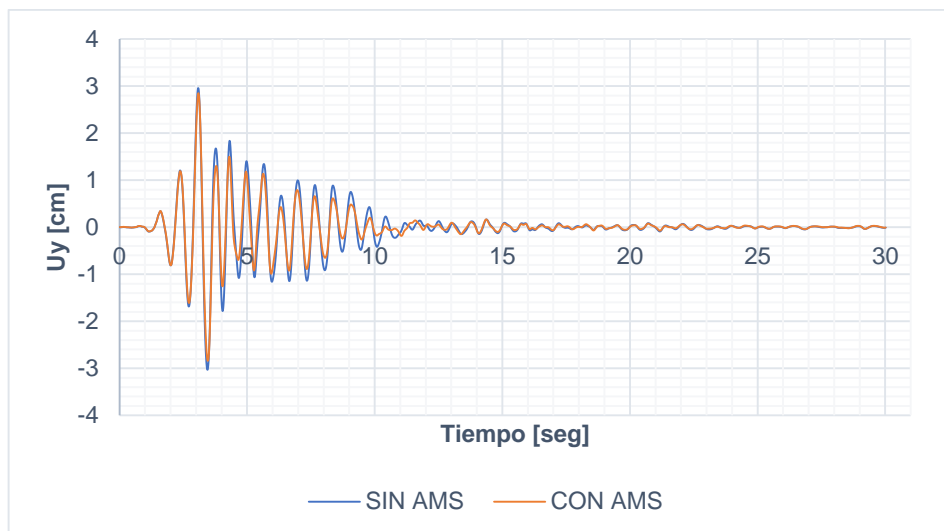
Gráfica A-1.24. Momento My (E. 7 niveles) – Sismo Helena.



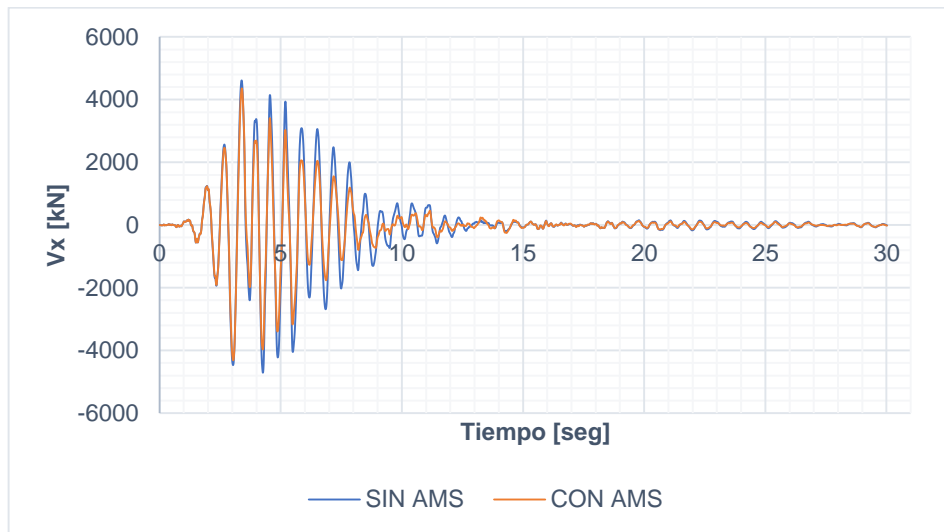
Gráfica A-1.25. Desplazamiento U_x (E. 7 niveles) – Sismo Loma.



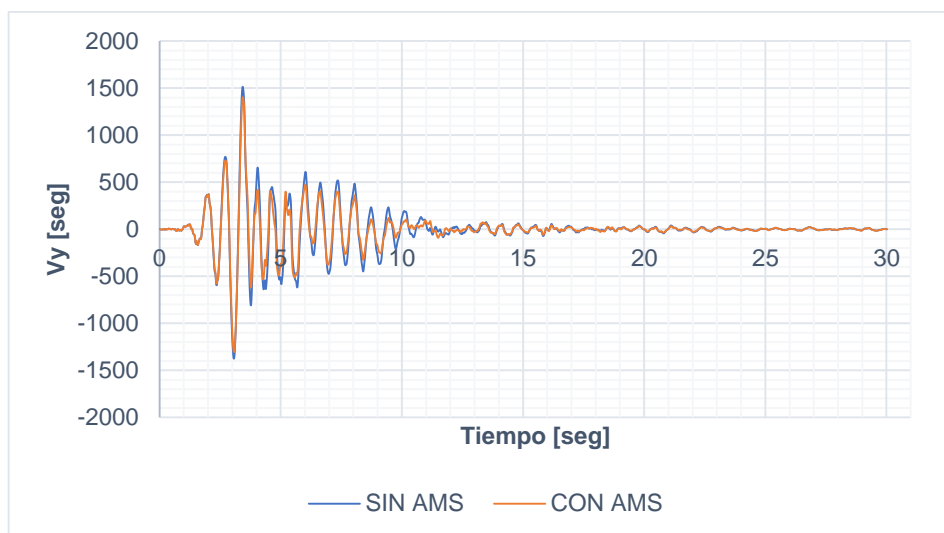
Gráfica A-1.26. Desplazamiento U_y (E. 7 niveles) – Sismo Loma.



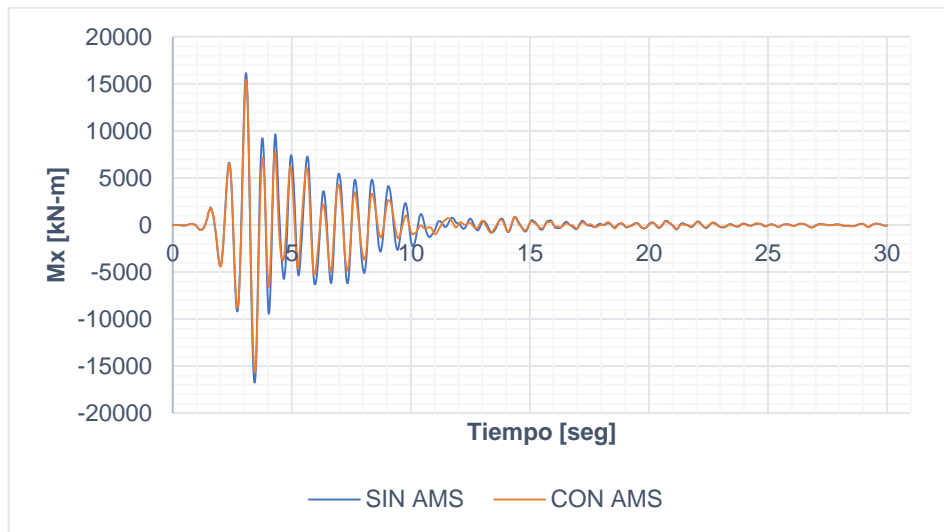
Gráfica A-1.27. Cortante V_x (E. 7 niveles) – Sismo Loma.



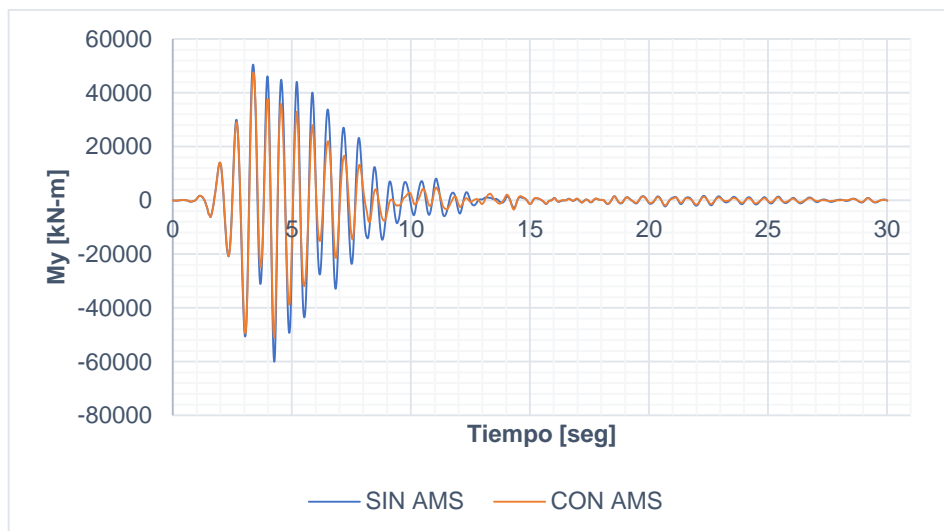
Gráfica A-1.28. Cortante V_y (E. 7 niveles) – Sismo Loma.



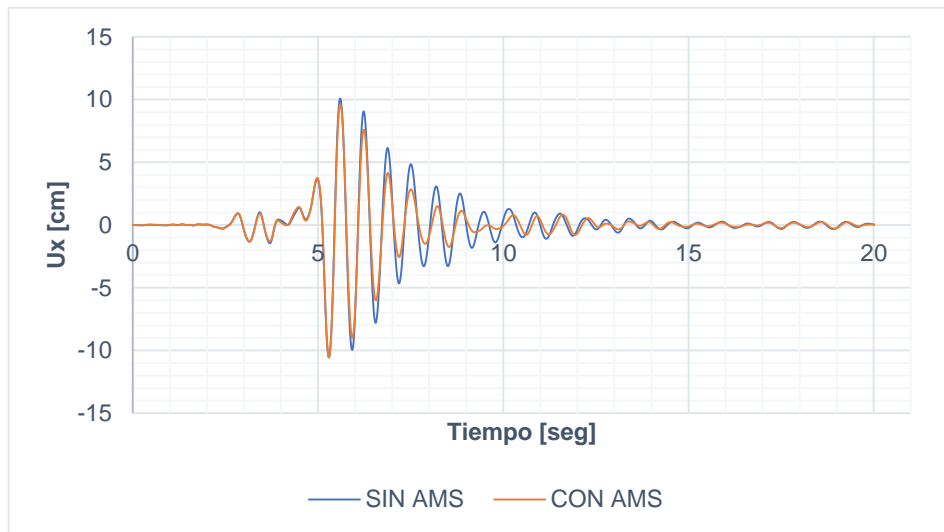
Gráfica A-1.29. Momento Mx (E. 7 niveles) – Sismo Loma.



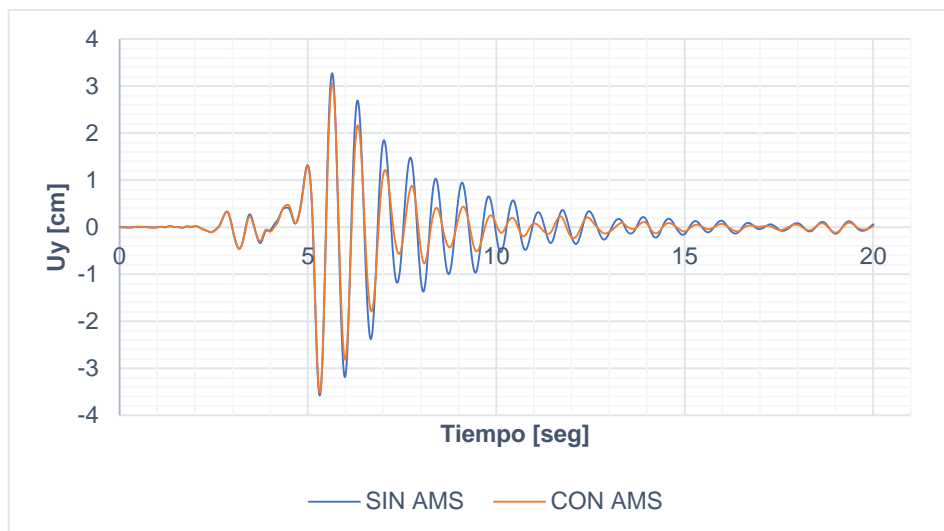
Gráfica A-1.30. Momento My (E. 7 niveles) – Sismo Loma.



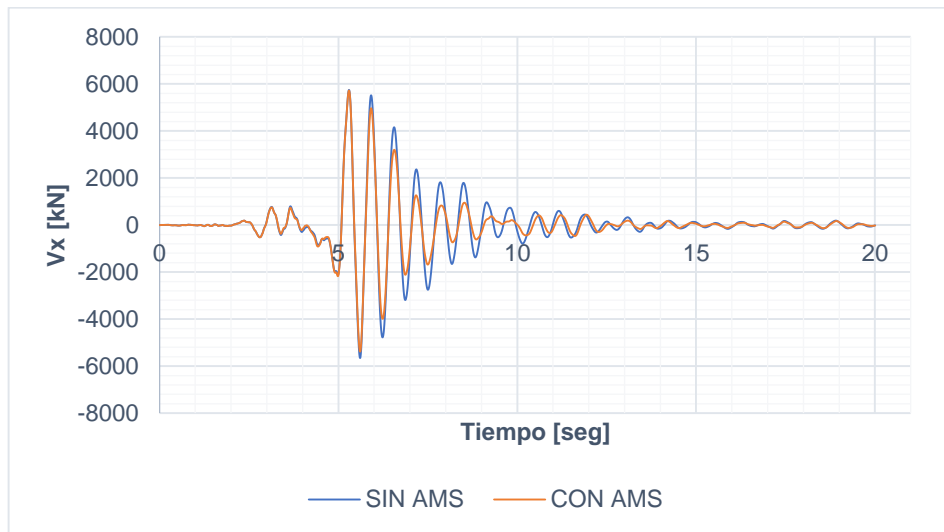
Gráfica A-1.31. Desplazamiento U_x (E. 7 niveles) – Sismo Mammoth.



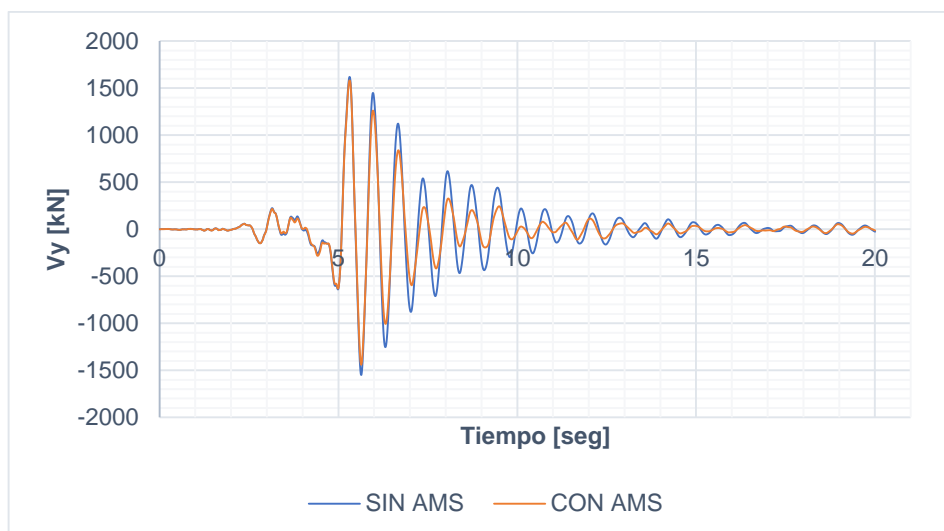
Gráfica A-1.32. Desplazamiento U_y (E. 7 niveles) – Sismo Mammoth.



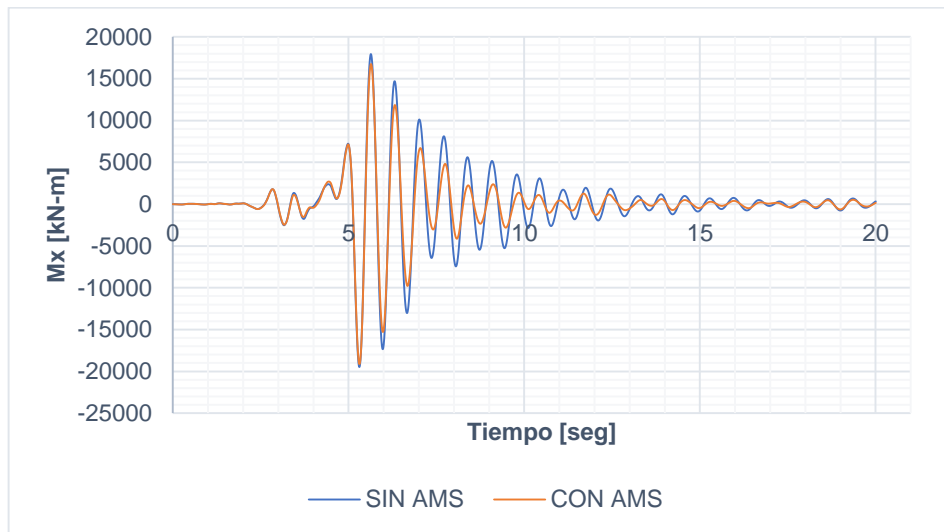
Gráfica A-1.33. Cortante V_x (E. 7 niveles) – Sismo Mammoth.



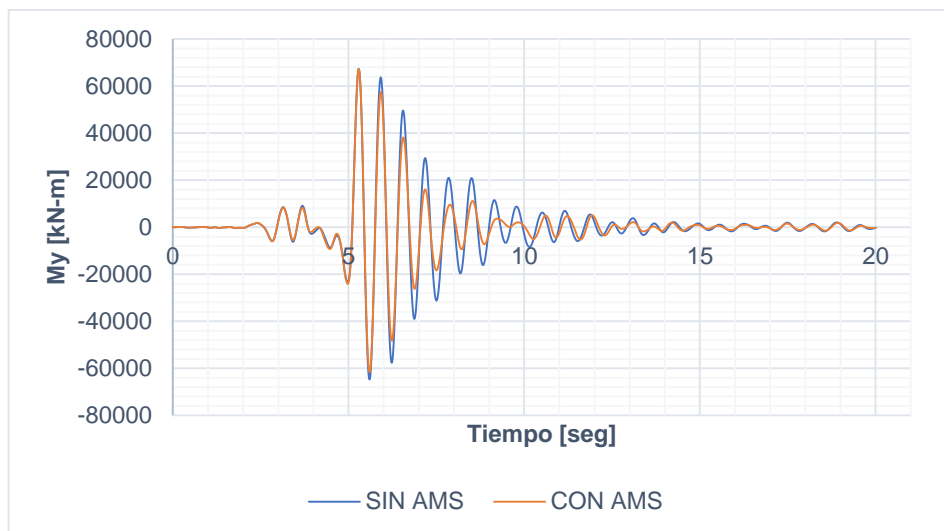
Gráfica A-1.34. Cortante V_y (E. 7 niveles) – Sismo Mammoth.



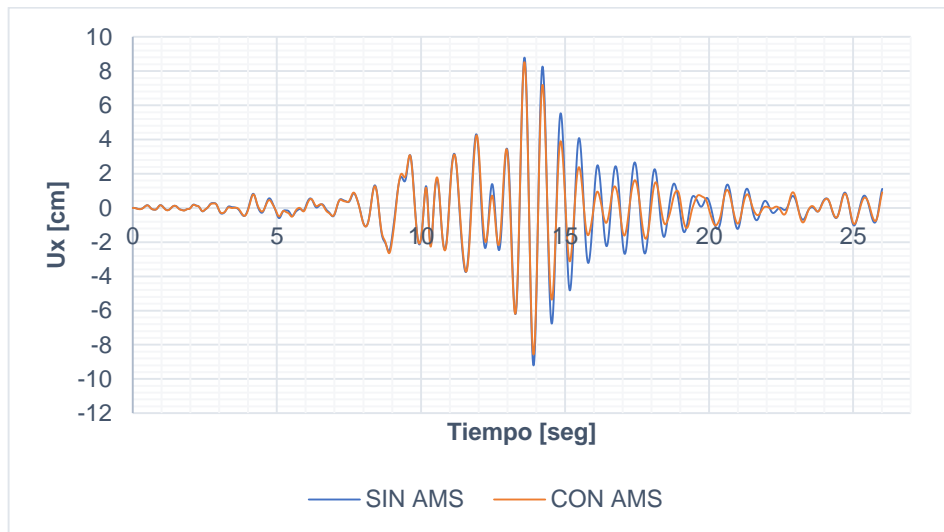
Gráfica A-1.35. Momento Mx (E. 7 niveles) – Sismo Mammoth.



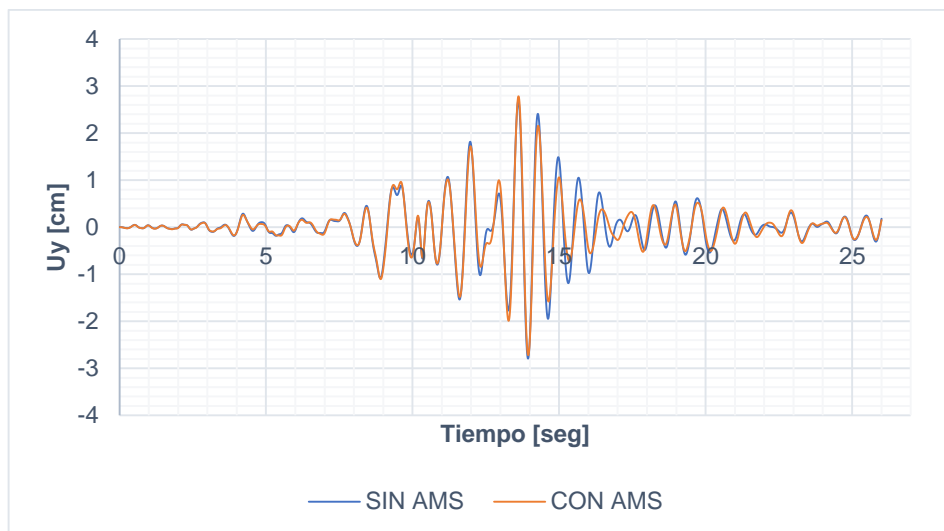
Gráfica A-1.36. Momento My (E. 7 niveles) – Sismo Mammoth.



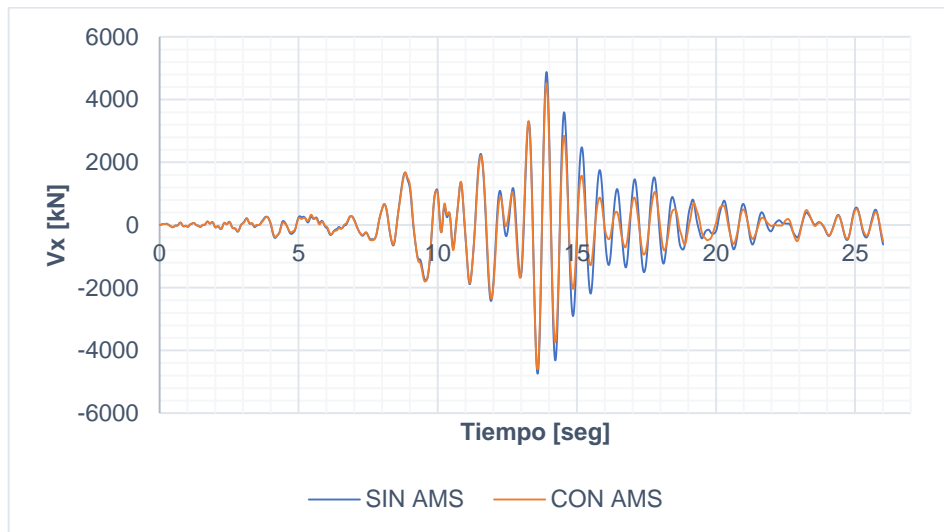
Gráfica A-1.37. Desplazamiento U_x (E. 7 niveles) – Sismo Mendocino.



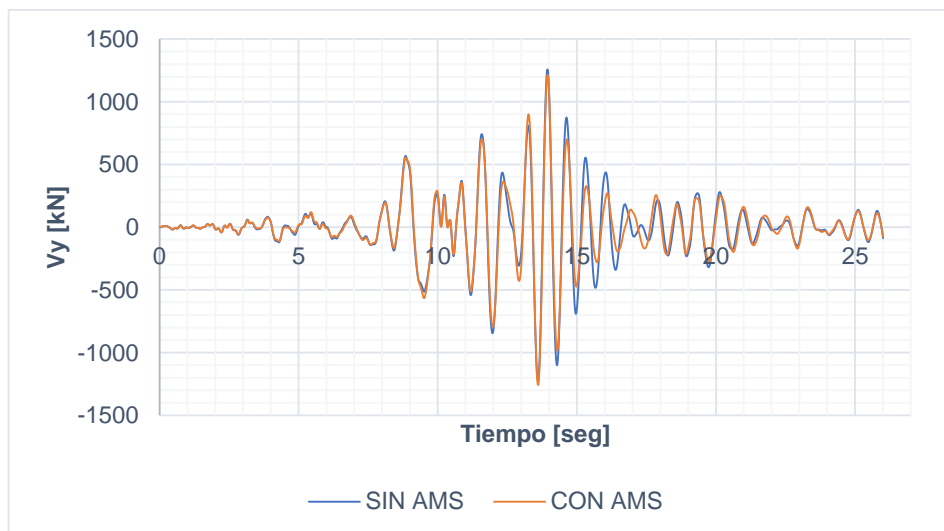
Gráfica A-1.38. Desplazamiento U_y (E. 7 niveles) – Sismo Mendocino.



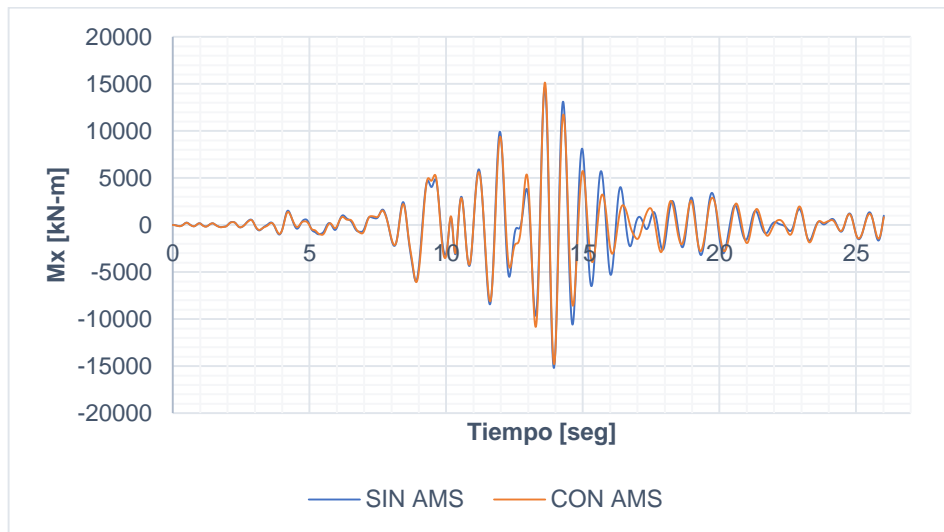
Gráfica A-1.39. Cortante V_x (E. 7 niveles) – Sismo Mendocino.



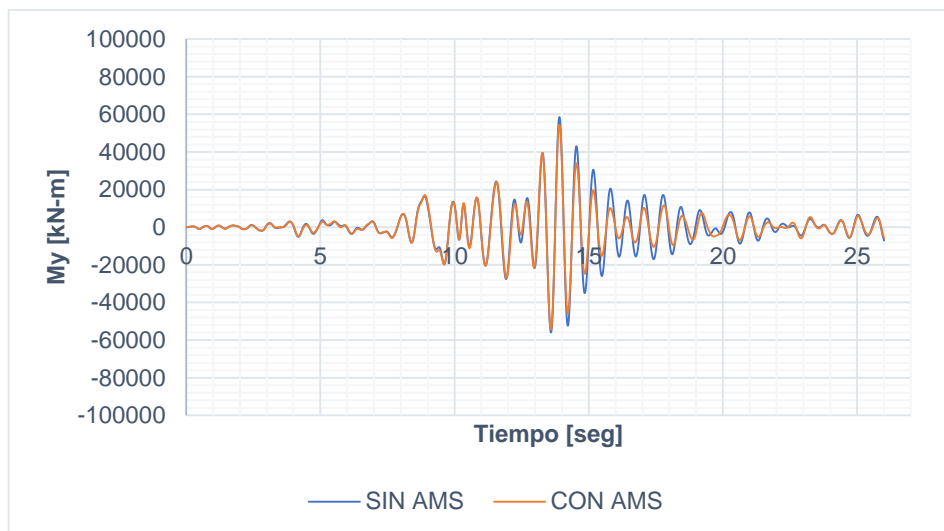
Gráfica A-1.40. Cortante V_y (E. 7 niveles) – Sismo Mendocino.



Gráfica A-1.41. Momento Mx (E. 7 niveles) – Sismo Mendocino.

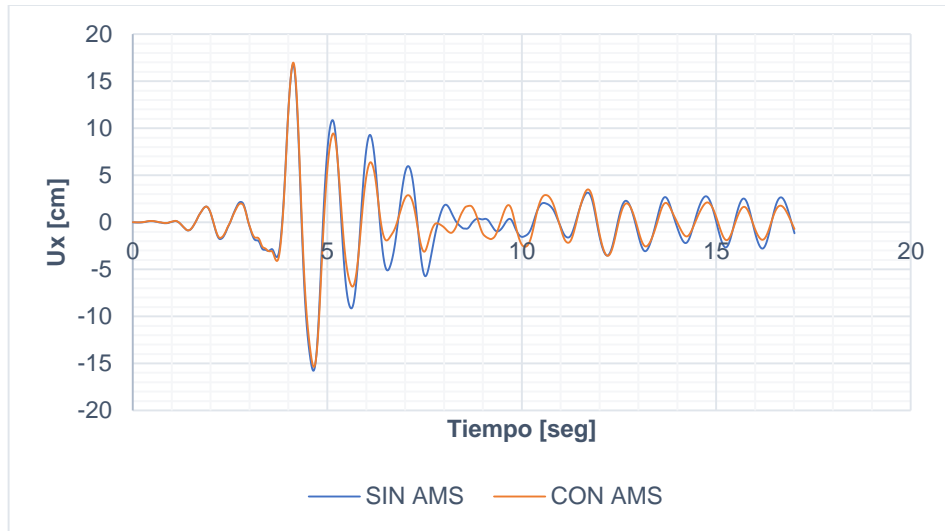


Gráfica A-1.42. Momento My (E. 7 niveles) – Sismo Mendocino.

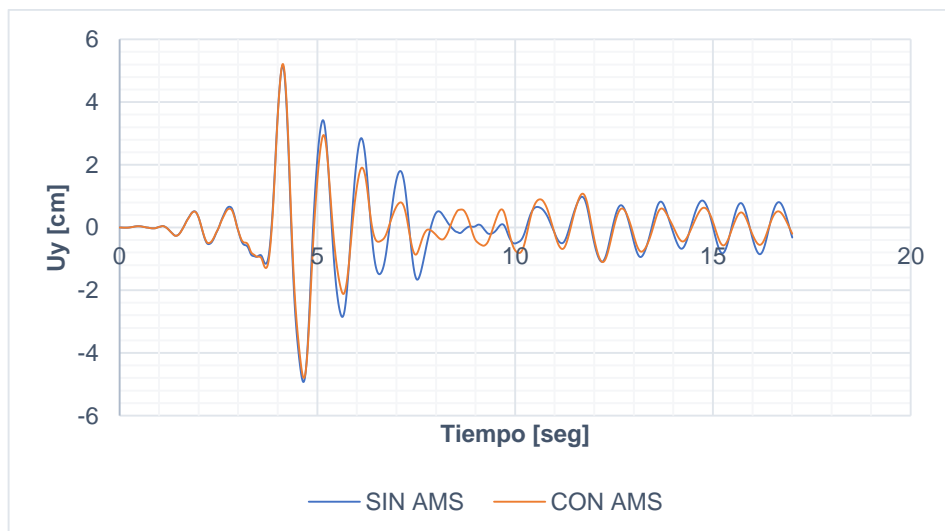


ANEXO A-2. EDIFICIO 10 NIVELES

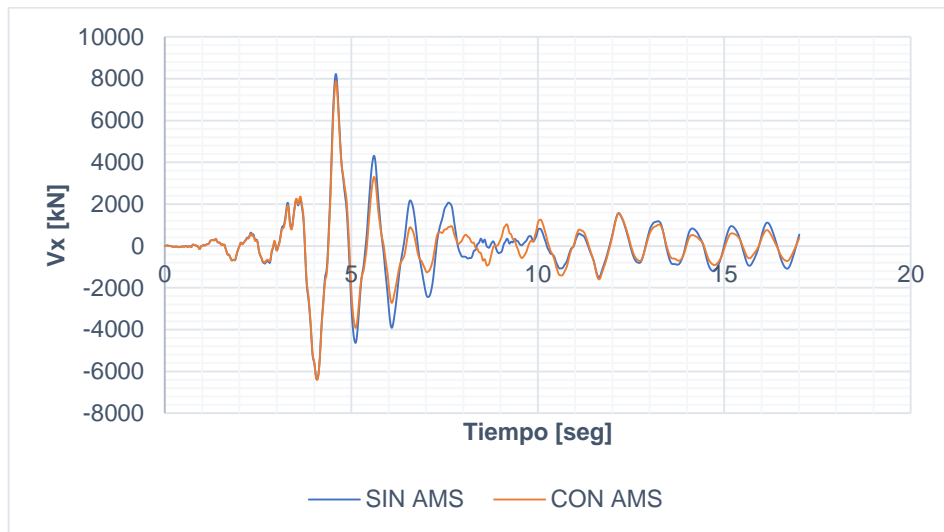
Gráfica A-2.1. Desplazamiento U_x (E. 10 niveles) – Sismo Coalinga.



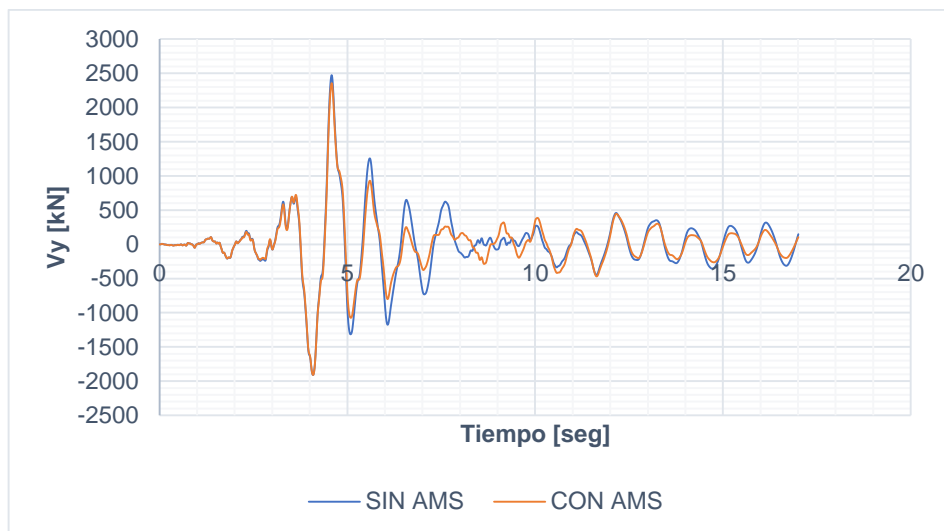
Gráfica A-2.2. Desplazamiento U_y (E. 10 niveles) – Sismo Coalinga.



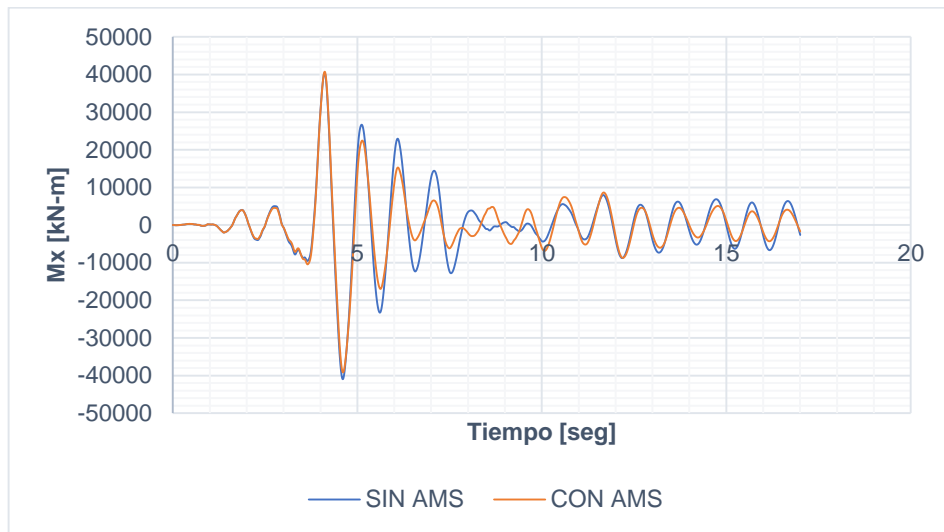
Gráfica A-2.3. Cortante V_x (E. 10 niveles) – Sismo Coalinga.



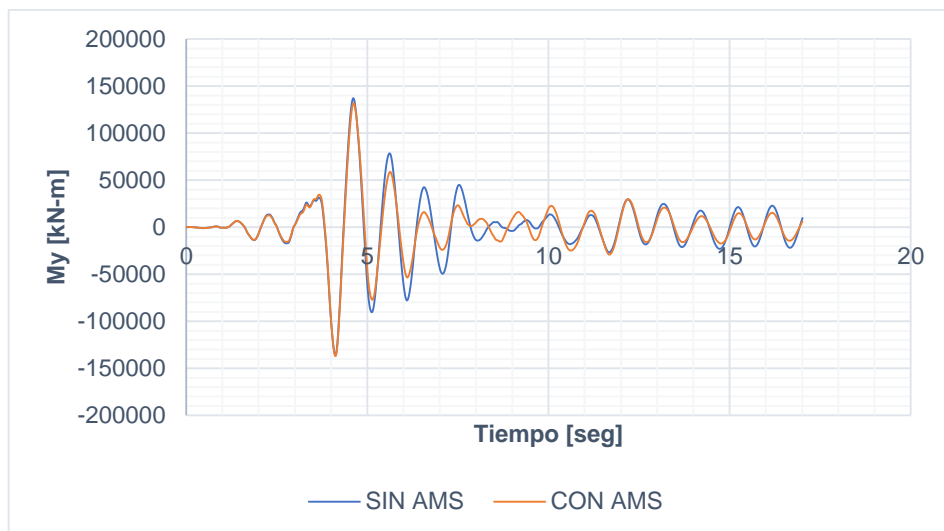
Gráfica A-2.4. Cortante V_y (E. 10 niveles) – Sismo Coalinga.



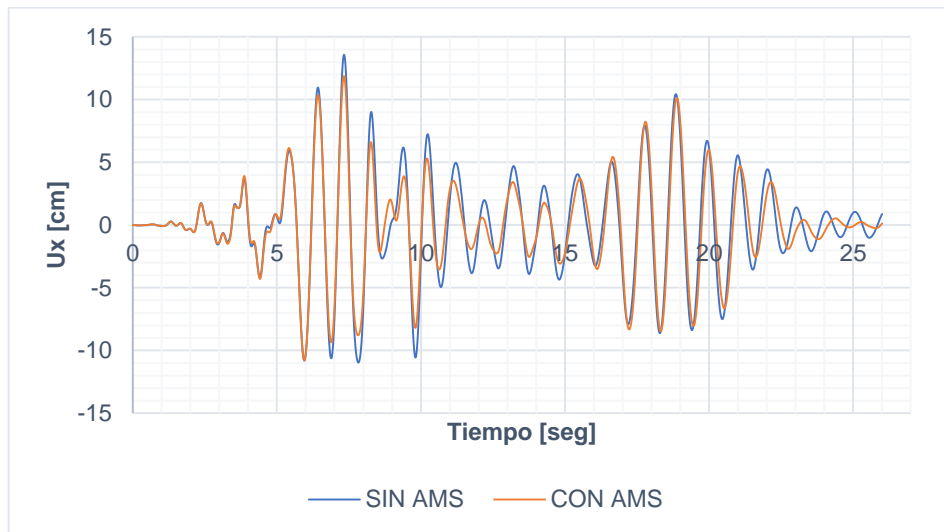
Gráfica A-2.5. Momento Mx (E. 10 niveles) – Sismo Coalinga.



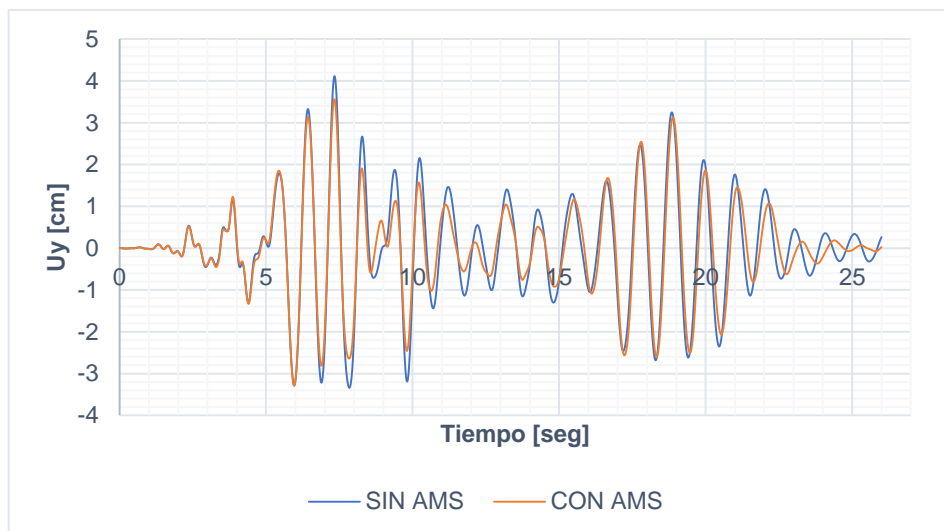
Gráfica A-2.6. Momento My (E. 10 niveles) – Sismo Coalinga.



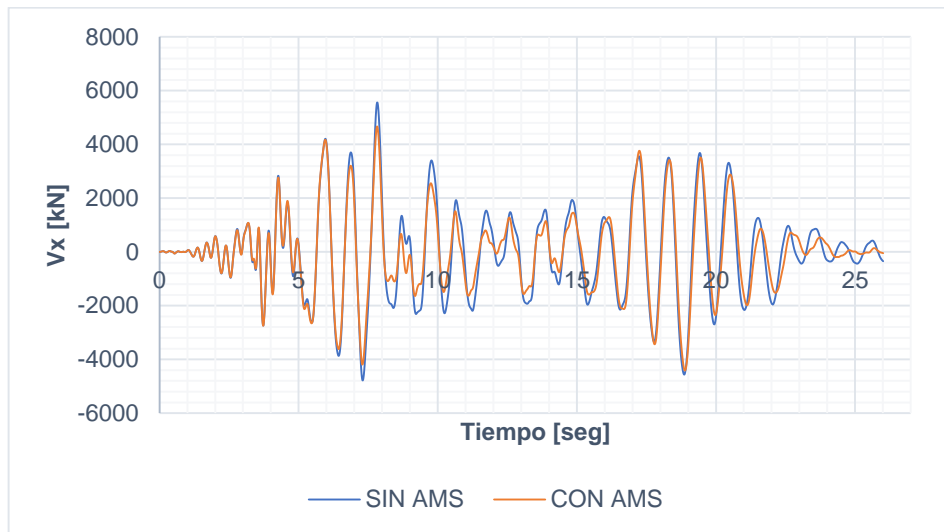
Gráfica A-2.7. Desplazamiento U_x (E. 10 niveles) – Sismo Duzce.



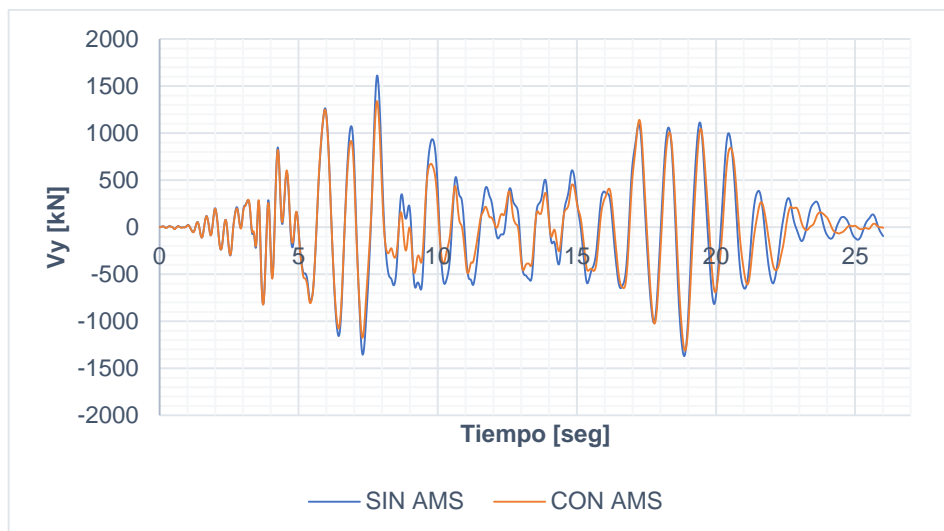
Gráfica A-2.8. Desplazamiento U_y (E. 10 niveles) – Sismo Duzce



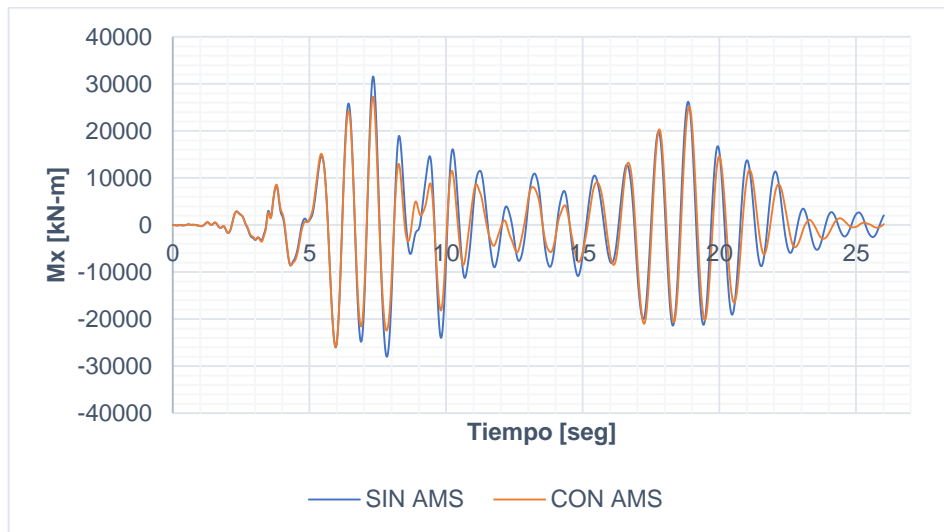
Gráfica A-2.9. Cortante V_x (E. 10 niveles) – Sismo Duzce.



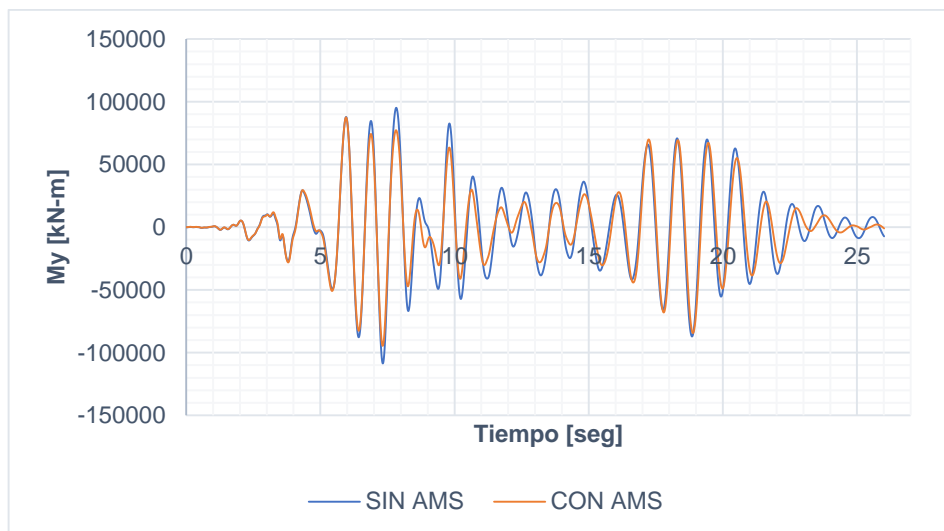
Gráfica A-2.10. Cortante V_y (E. 10 niveles) – Sismo Duzce.



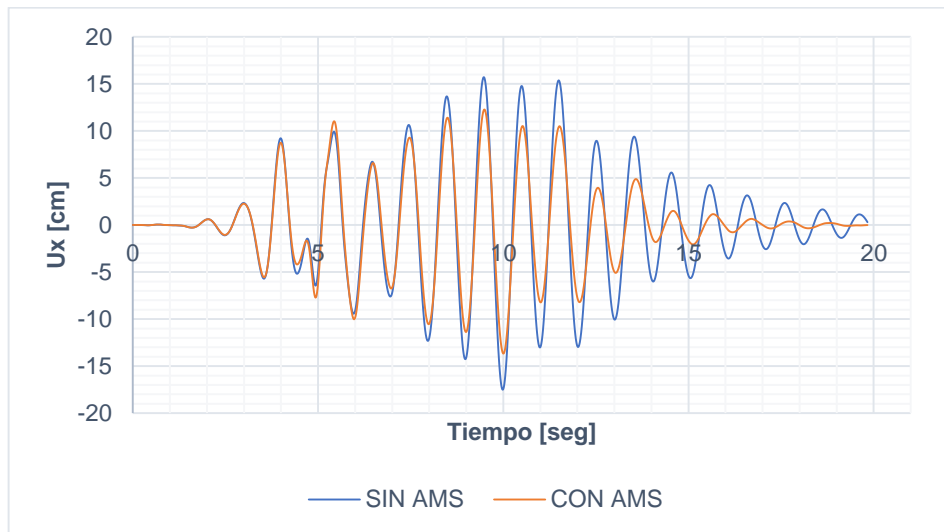
Gráfica A-2.11. Momento Mx (E. 10 niveles) – Sismo Duzce.



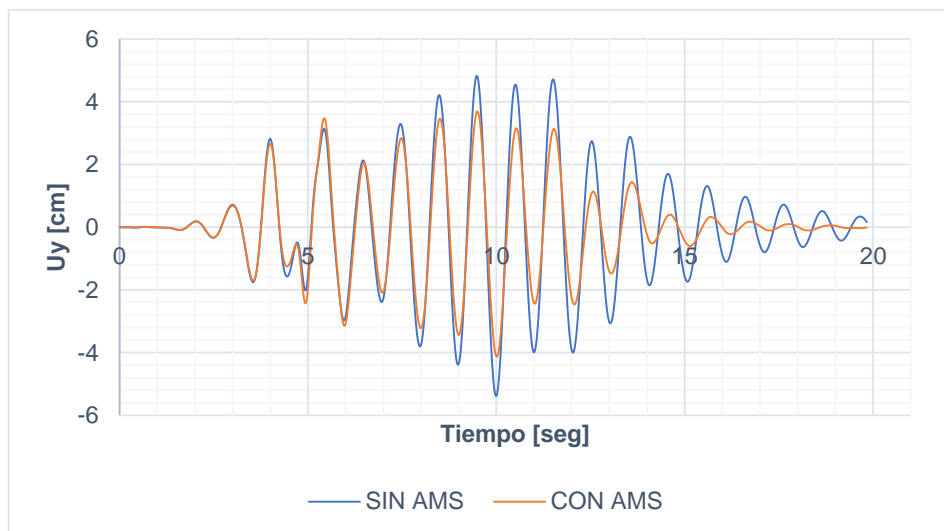
Gráfica A-2.12. Momento My (E. 10 niveles) – Sismo Duzce.



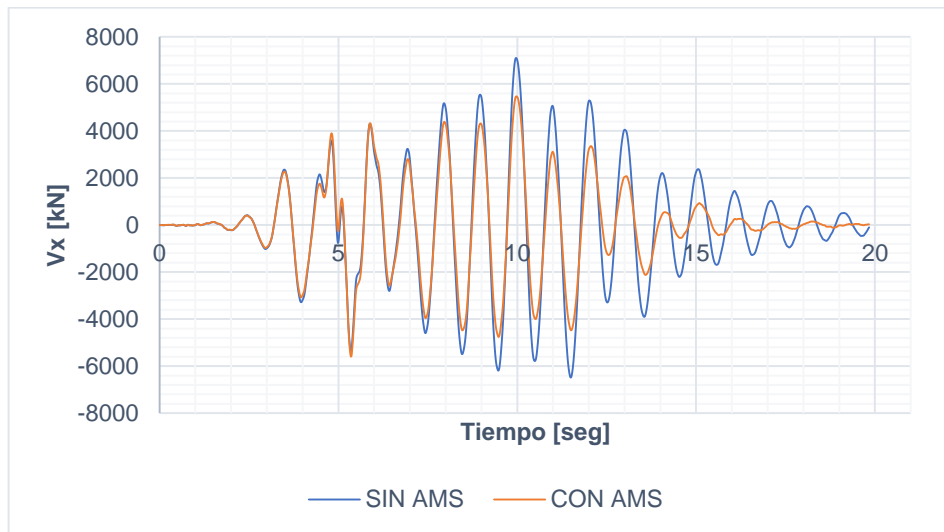
Gráfica A-2.13. Desplazamiento U_x (E. 10 niveles) – Sismo Friuli.



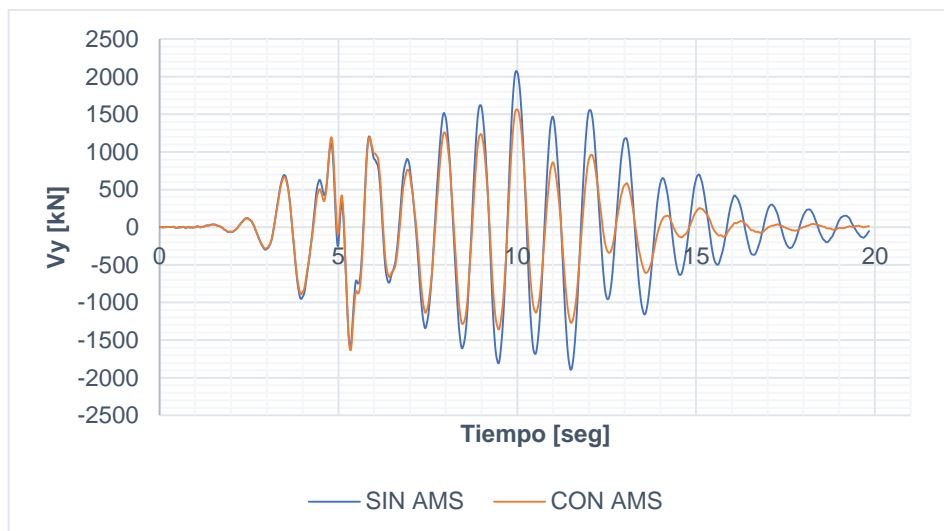
Gráfica A-2.14. Desplazamiento U_y (E. 10 niveles) – Sismo Friuli.



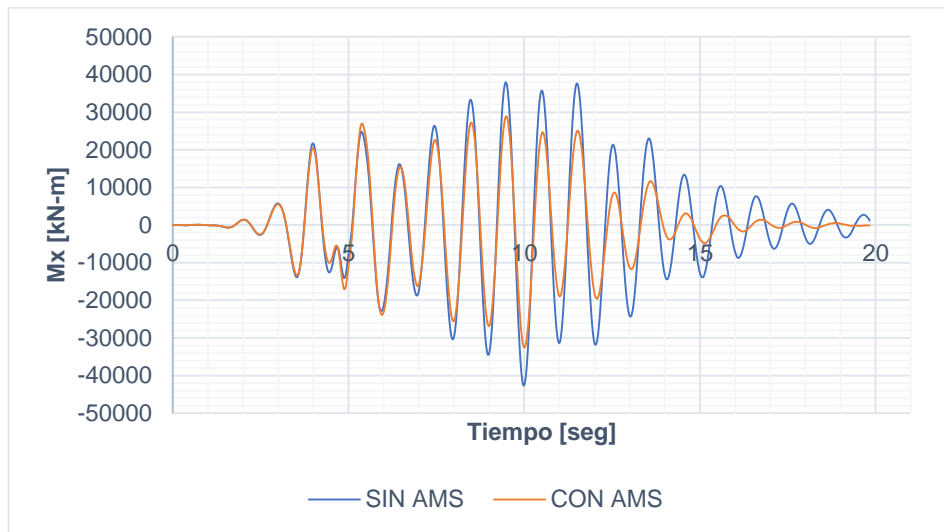
Gráfica A-2.15. Cortante V_x (E. 10 niveles) – Sismo Friuli.



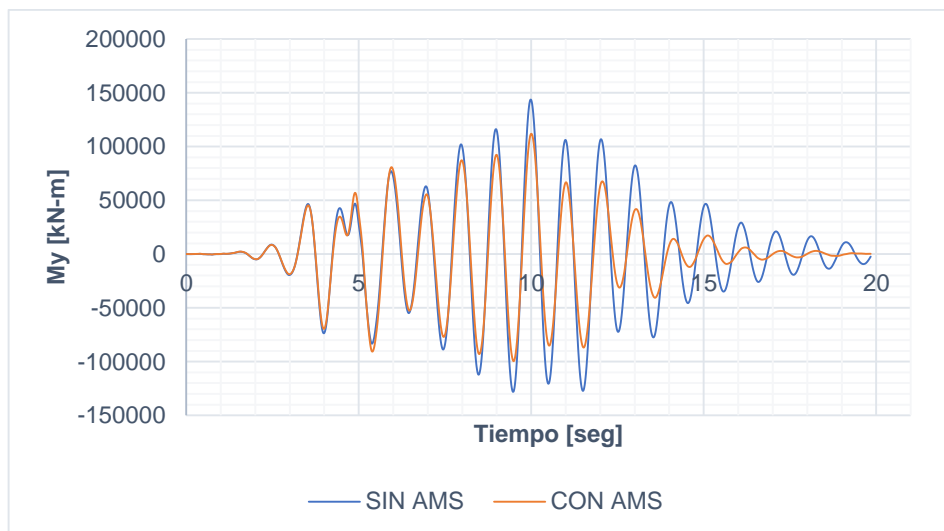
Gráfica A-2.16. Cortante V_y (E. 10 niveles) – Sismo Friuli.



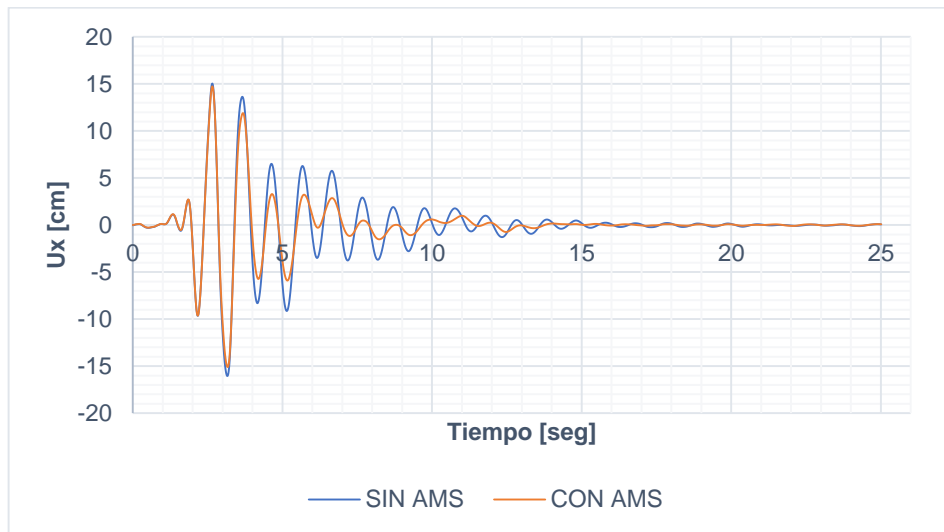
Gráfica A-2.17. Momento Mx (E. 10 niveles) – Sismo Friuli.



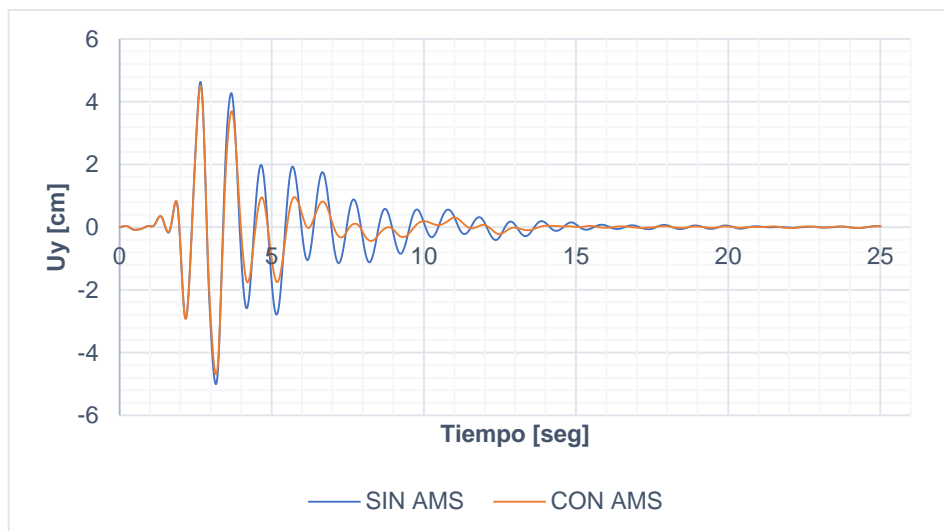
Gráfica A-2.18. Momento My (E. 10 niveles) – Sismo Friuli.



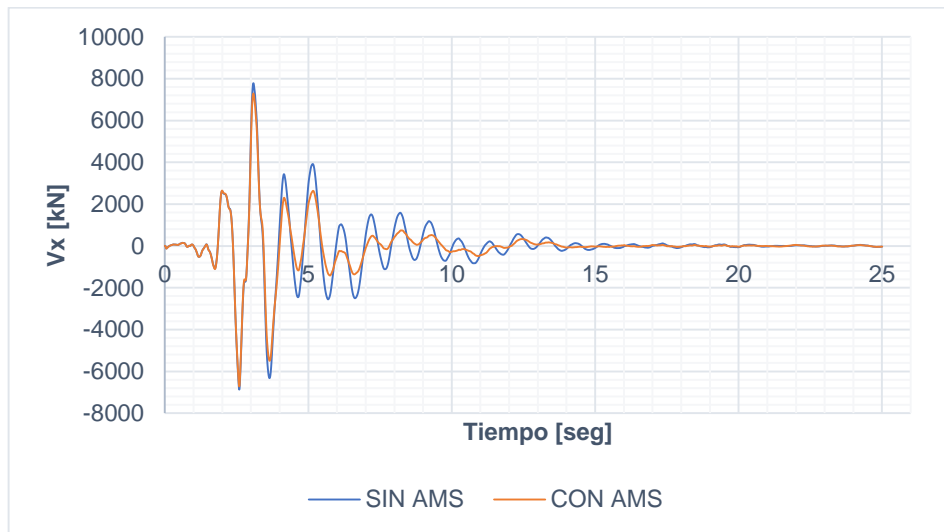
Gráfica A-2.19. Desplazamiento Ux (E. 10 niveles) – Sismo Helena.



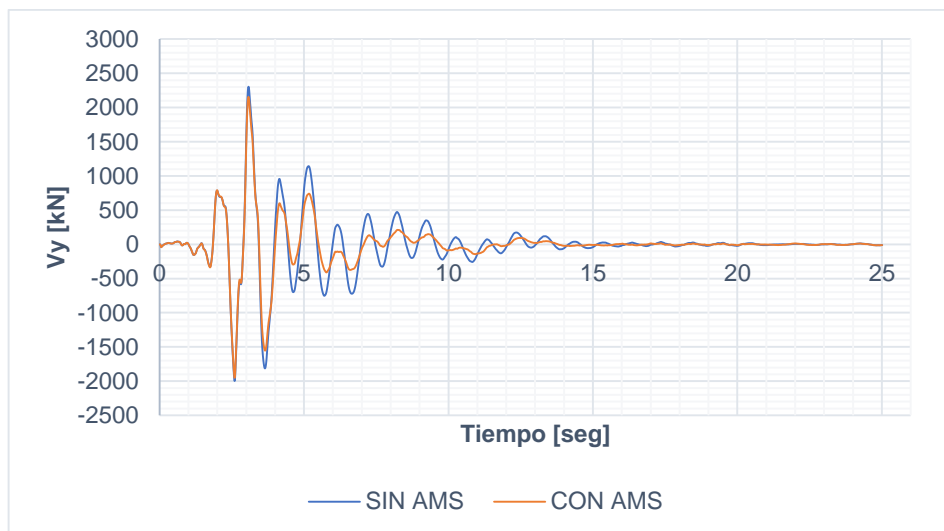
Gráfica A-2.20. Desplazamiento Uy (E. 10 niveles) – Sismo Helena.



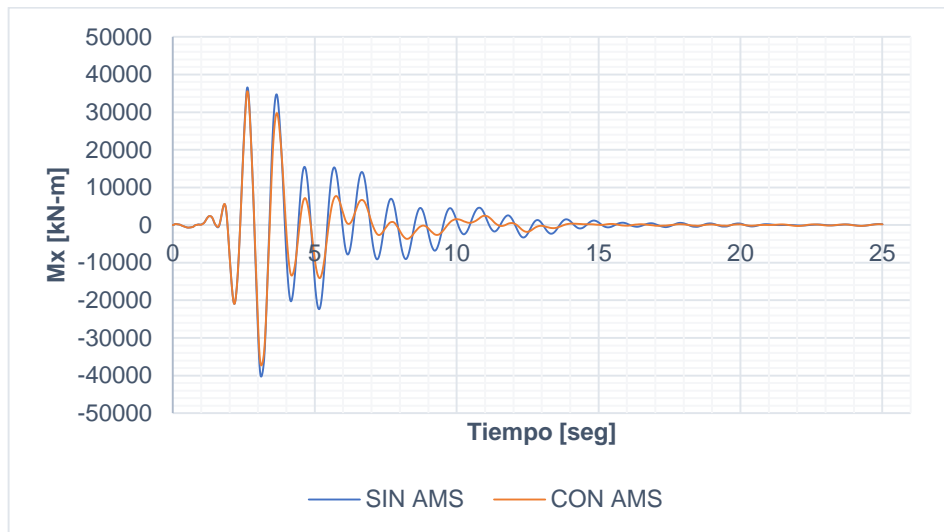
Gráfica A-2.21. Cortante V_x (E. 10 niveles) – Sismo Helena.



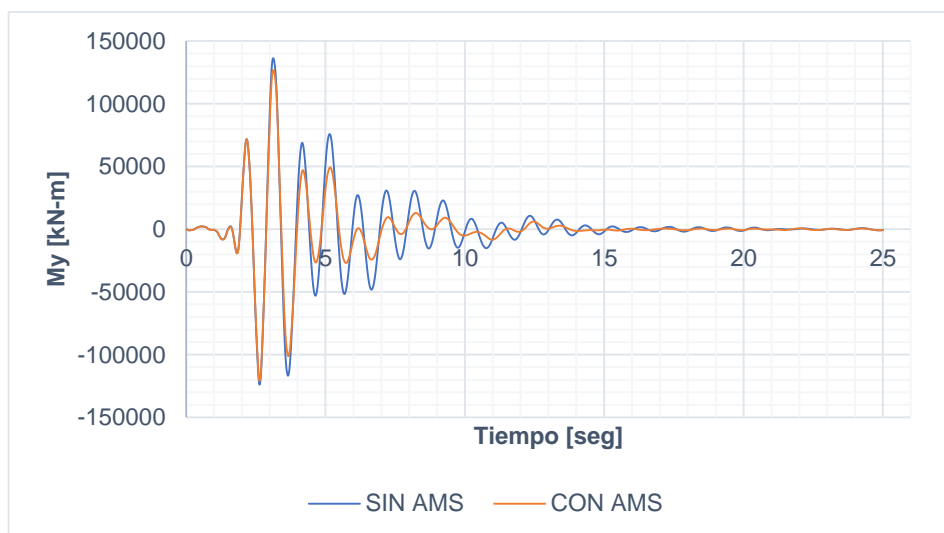
Gráfica A-2.22. Cortante V_y (E. 10 niveles) – Sismo Helena.



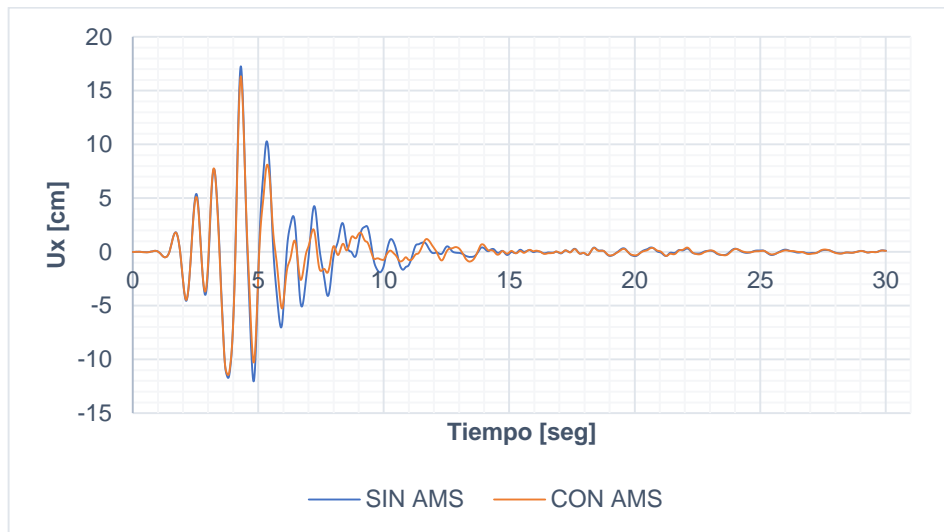
Gráfica A-2.23. Momento M_x (E. 10 niveles) – Sismo Helena.



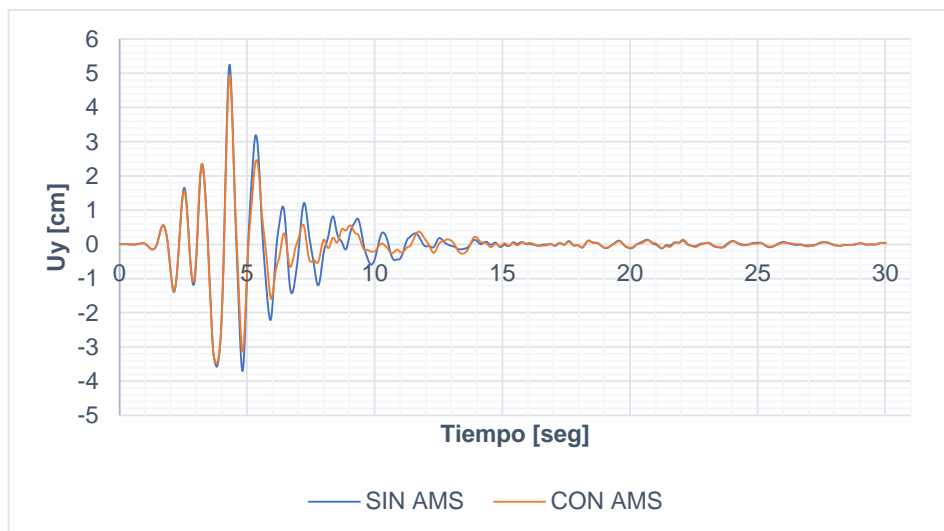
Gráfica A-2.24. Momento M_y (E. 10 niveles) – Sismo Helena.



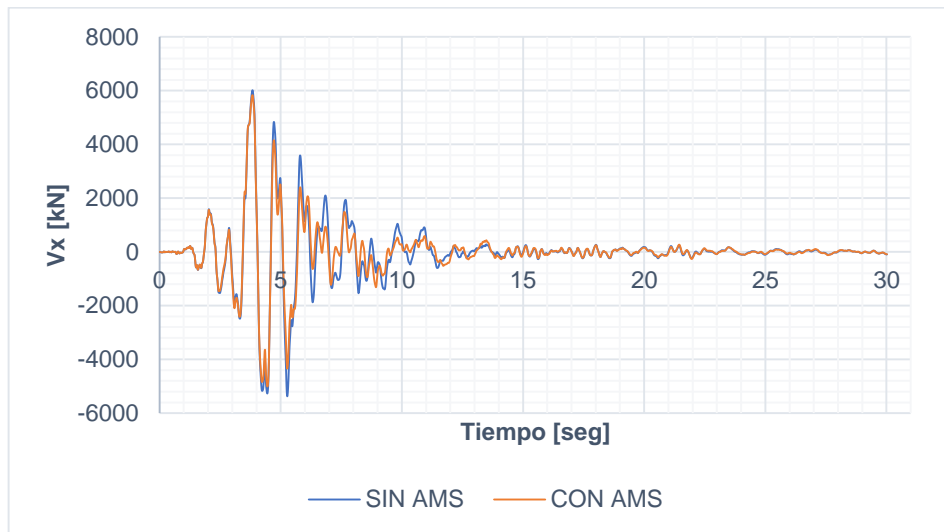
Gráfica A-2.25. Desplazamiento U_x (E. 10 niveles) – Sismo Loma.



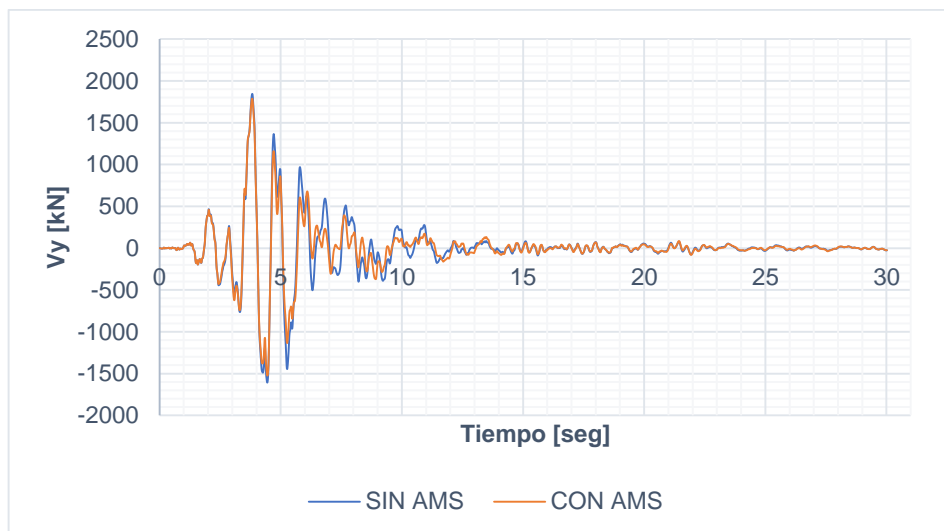
Gráfica A-2.26. Desplazamiento U_y (E. 10 niveles) – Sismo Loma.



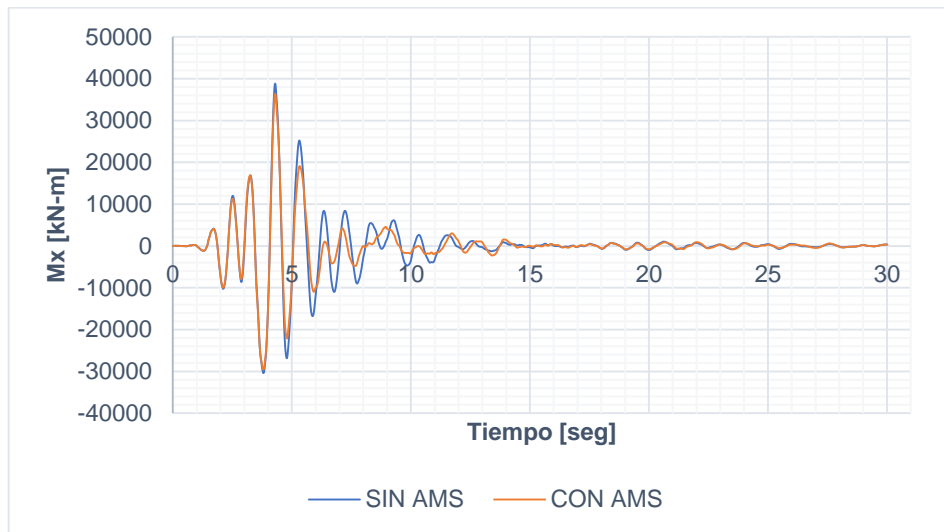
Gráfica A-2.27. Cortante V_x (E. 10 niveles) – Sismo Loma.



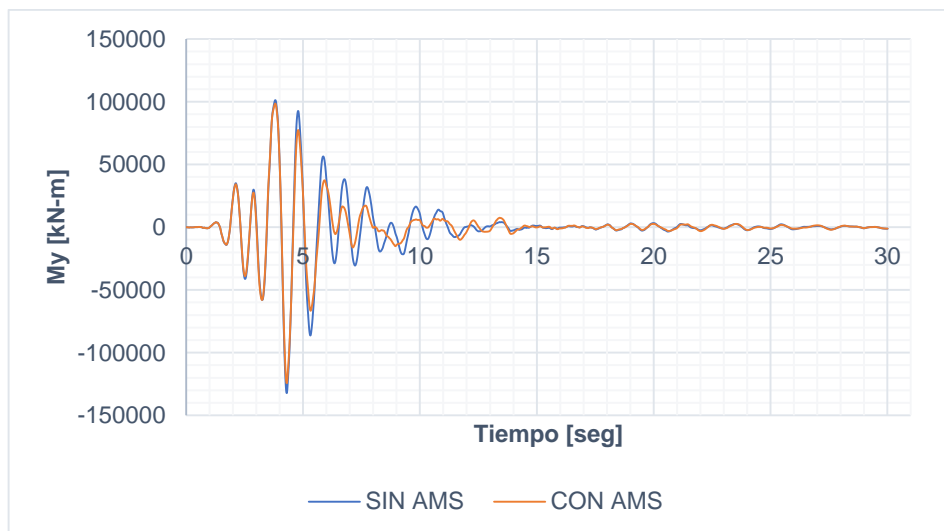
Gráfica A-2.28. Cortante V_y (E. 10 niveles) – Sismo Loma.



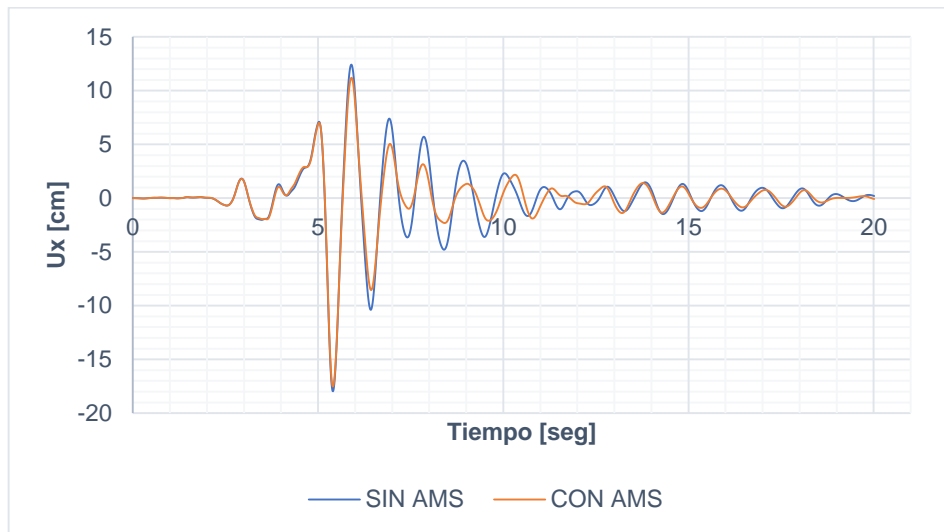
Gráfica A-2.29. Momento Mx (E. 10 niveles) – Sismo Loma.



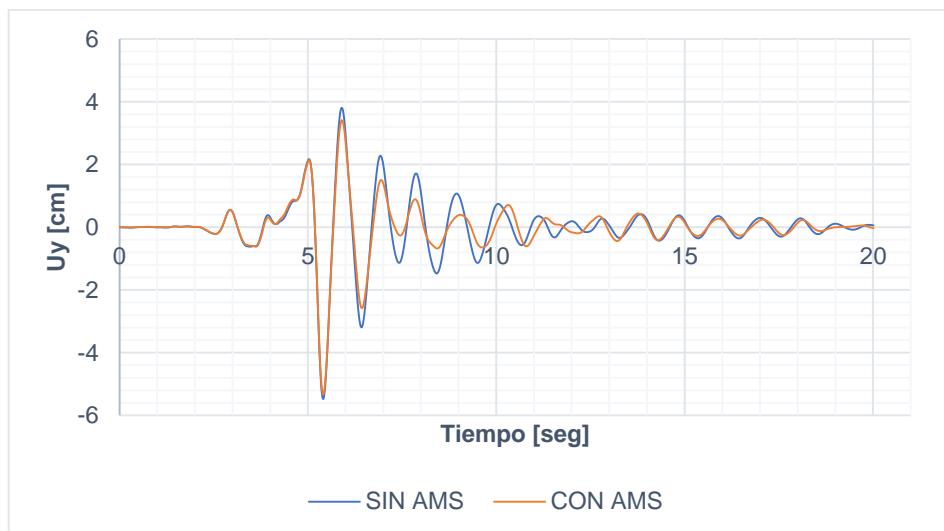
Gráfica A-2.30. Momento My (E. 10 niveles) – Sismo Loma.



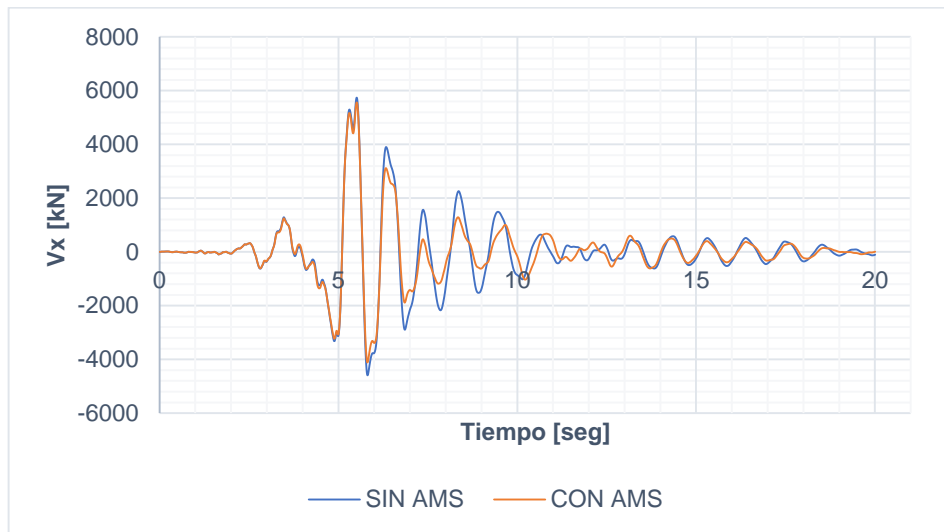
Gráfica A-2.31. Desplazamiento U_x (E. 10 niveles) – Sismo Mammoth.



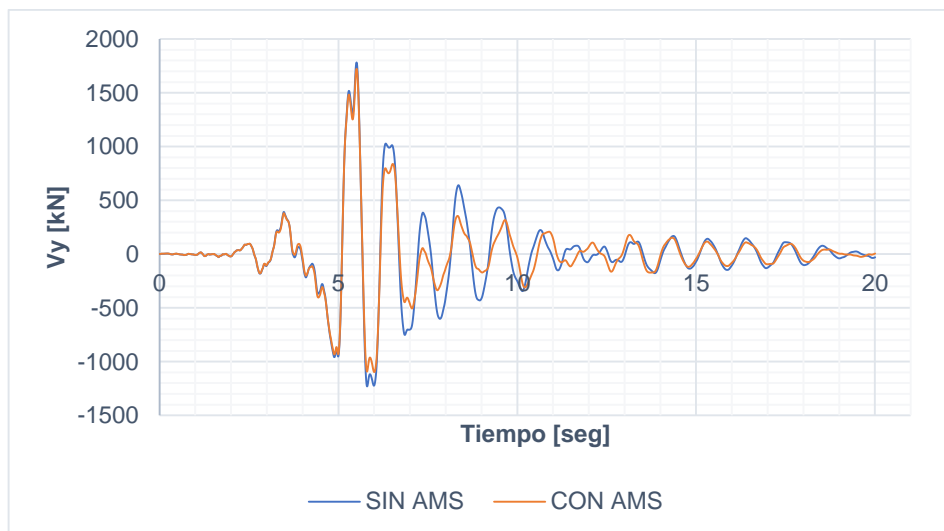
Gráfica A-2.32. Desplazamiento U_y (E. 10 niveles) – Sismo Mammoth.



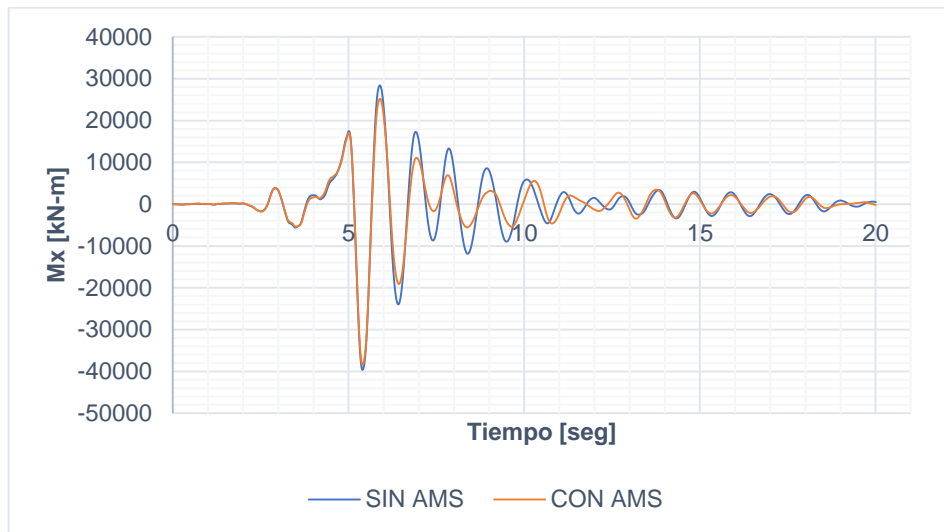
Gráfica A-2.33. Cortante V_x (E. 10 niveles) – Sismo Mammoth.



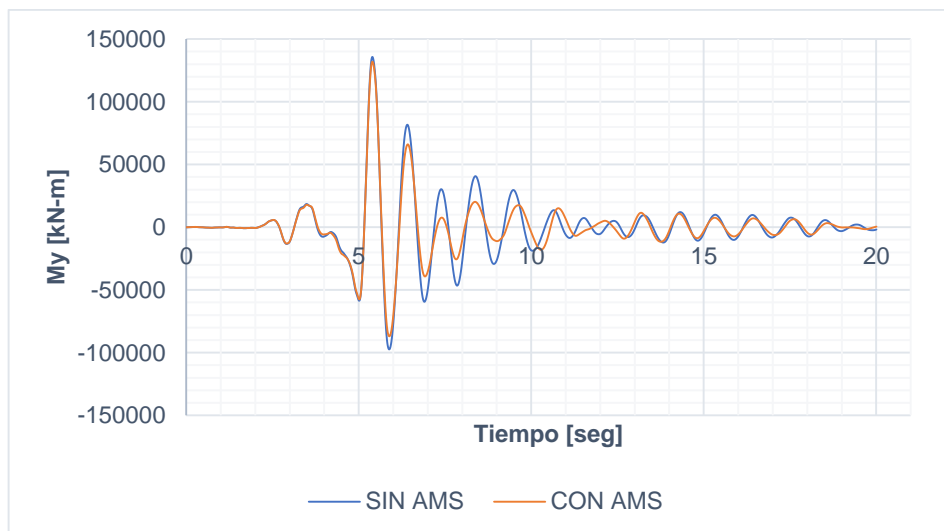
Gráfica A-2.34. Cortante V_y (E. 10 niveles) – Sismo Mammoth.



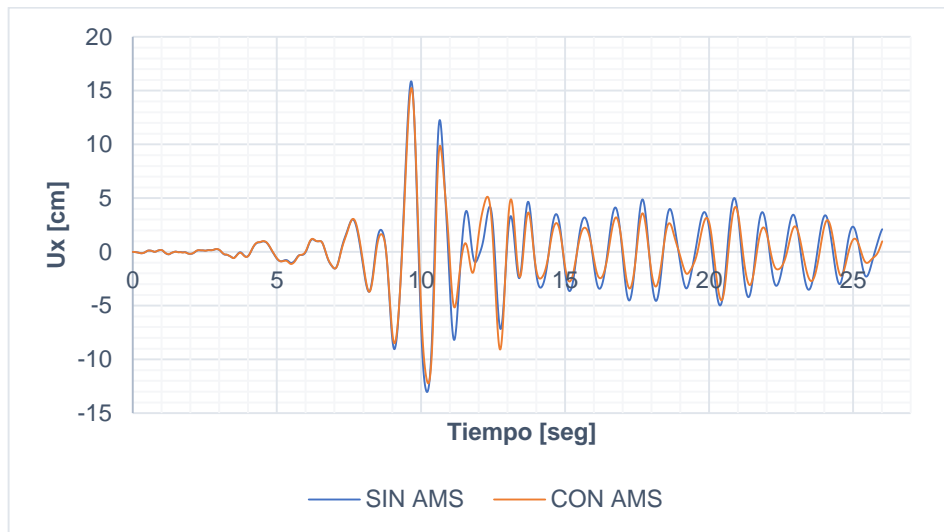
Gráfica A-2.35. Momento Mx (E. 10 niveles) – Sismo Mammoth.



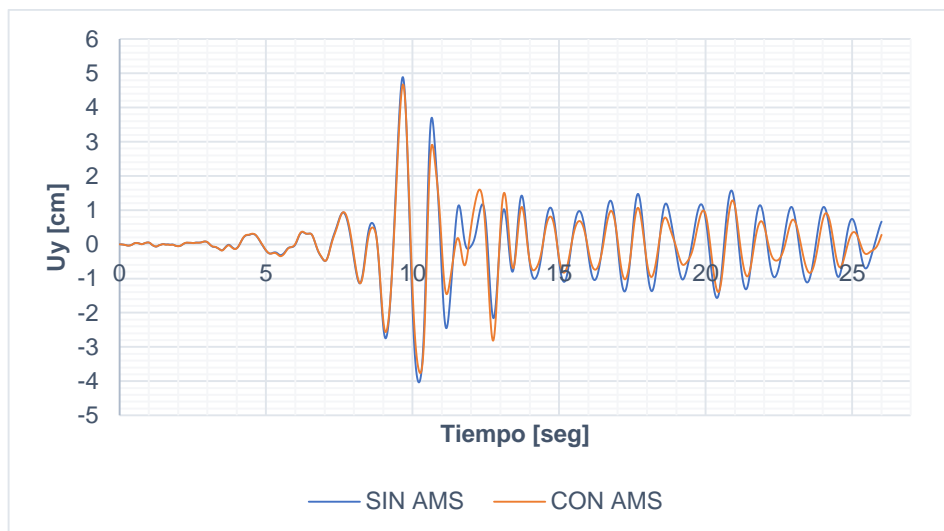
Gráfica A-2.36. Momento My (E. 10 niveles) – Sismo Mammoth.



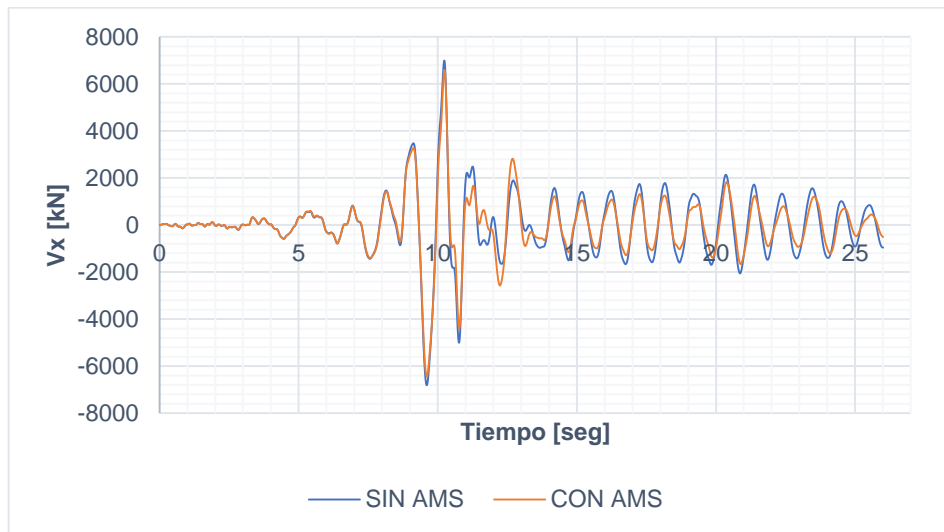
Gráfica A-2.37. Desplazamiento U_x (E. 10 niveles) – Sismo Mendocino.



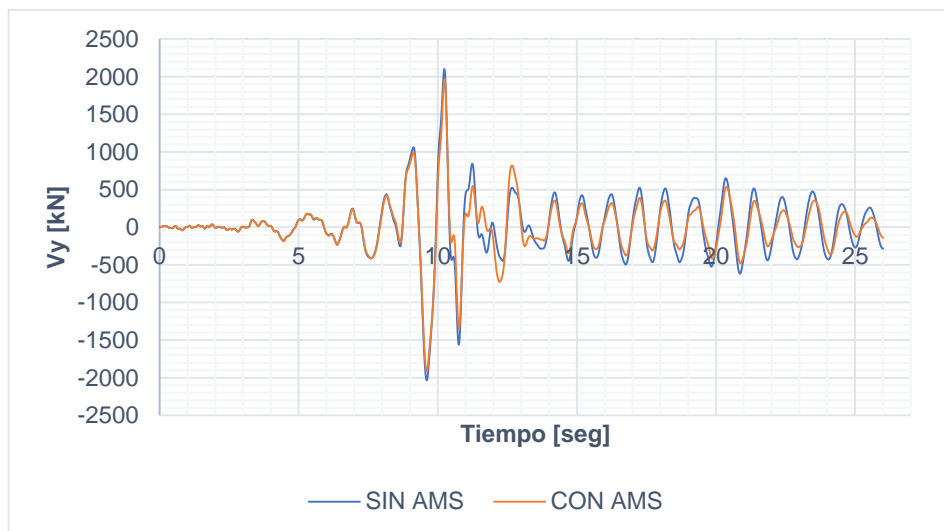
Gráfica A-2.38. Desplazamiento U_y (E. 10 niveles) – Sismo Mendocino.



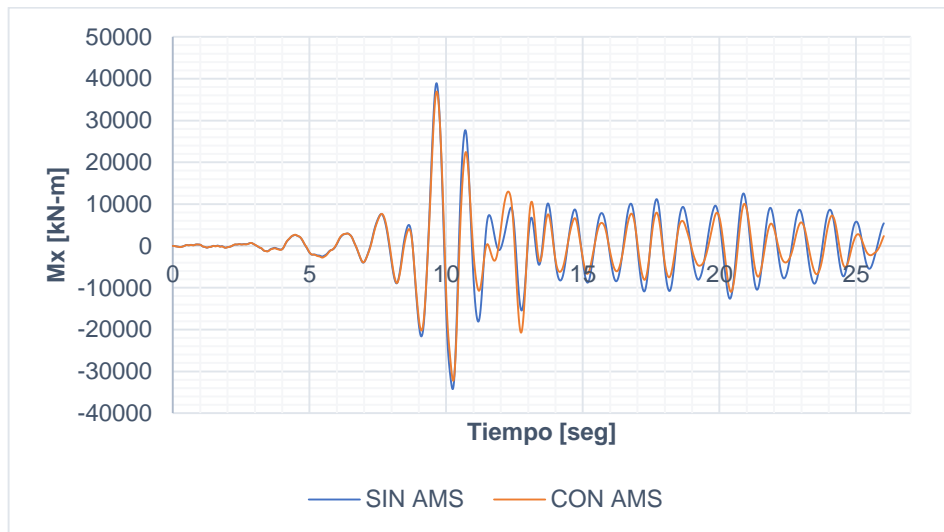
Gráfica A-2.39. Cortante V_x (E. 10 niveles) – Sismo Mendocino.



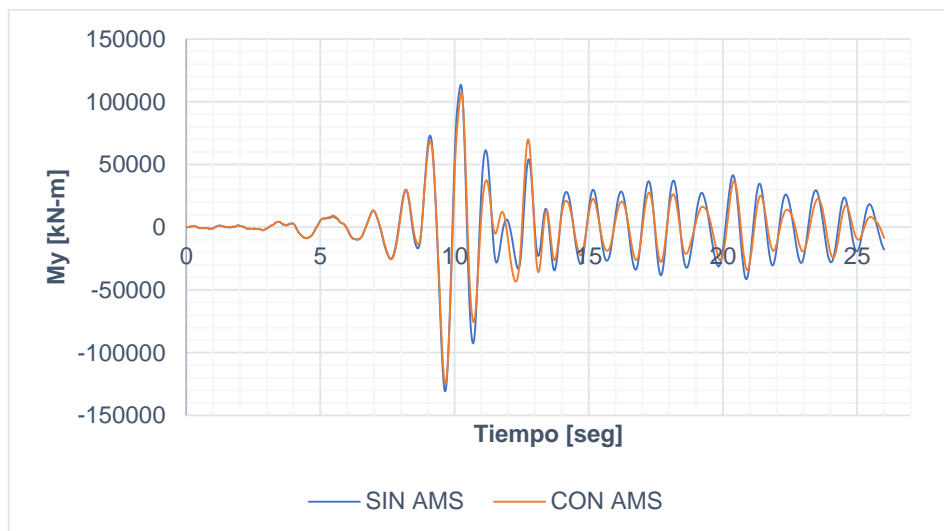
Gráfica A-2.40. Cortante V_y (E. 10 niveles) – Sismo Mendocino.



Gráfica A-2.41. Momento Mx (E. 10 niveles) – Sismo Mendocino.

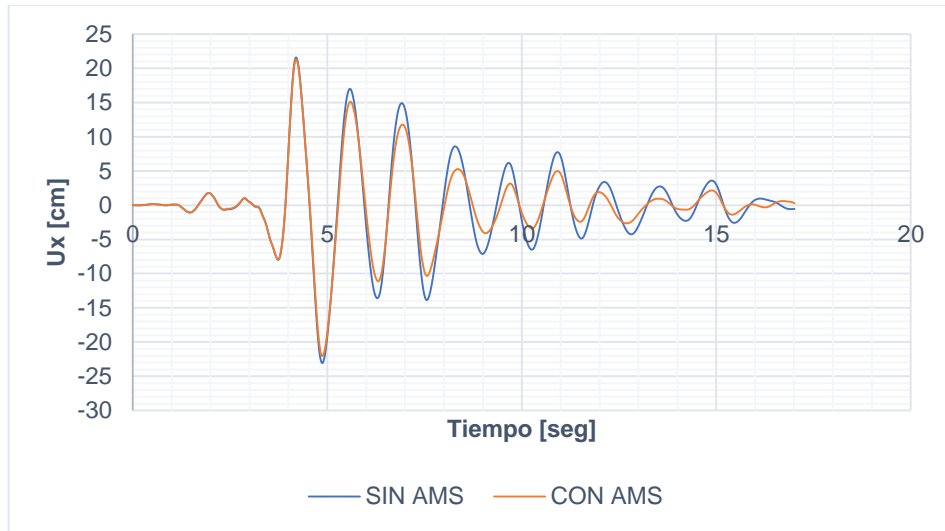


Gráfica A-2.42. Momento My (E. 10 niveles) – Sismo Mendocino.

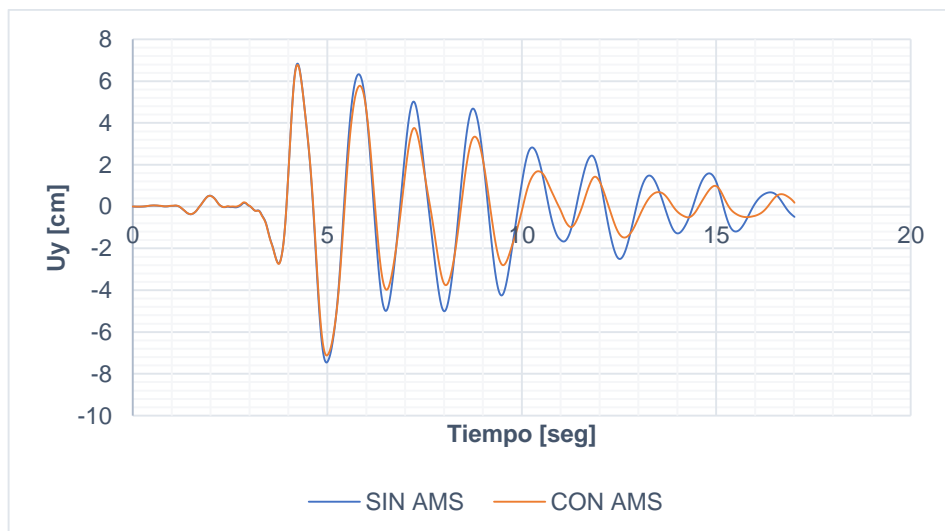


ANEXO A-3. EDIFICIO 12 NIVELES

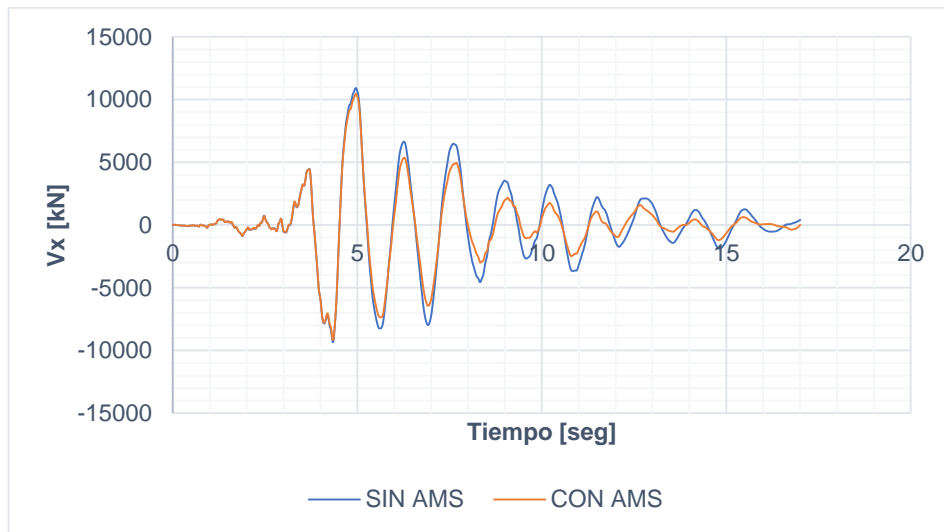
Gráfica A-3.1. Desplazamiento U_x (E. 12 niveles) – Sismo Coalinga.



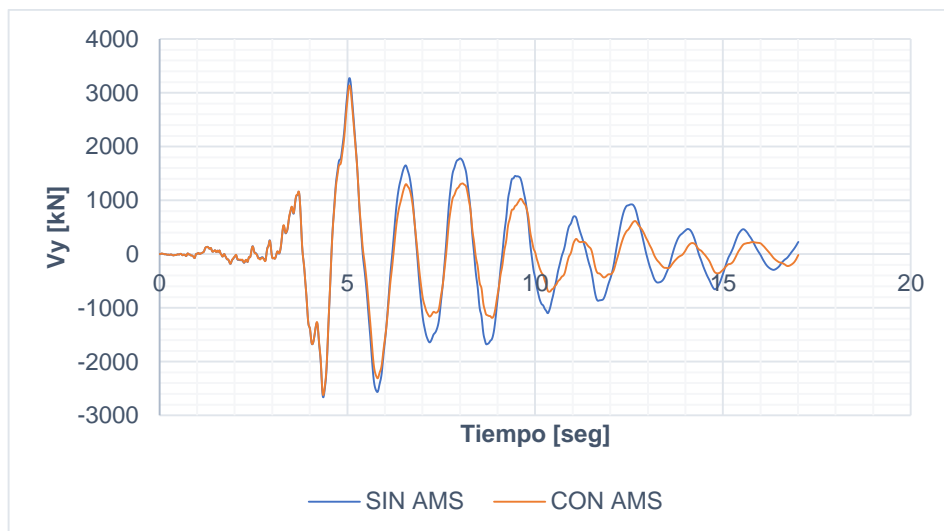
Gráfica A-3.2. Desplazamiento U_y (E. 12 niveles) – Sismo Coalinga.



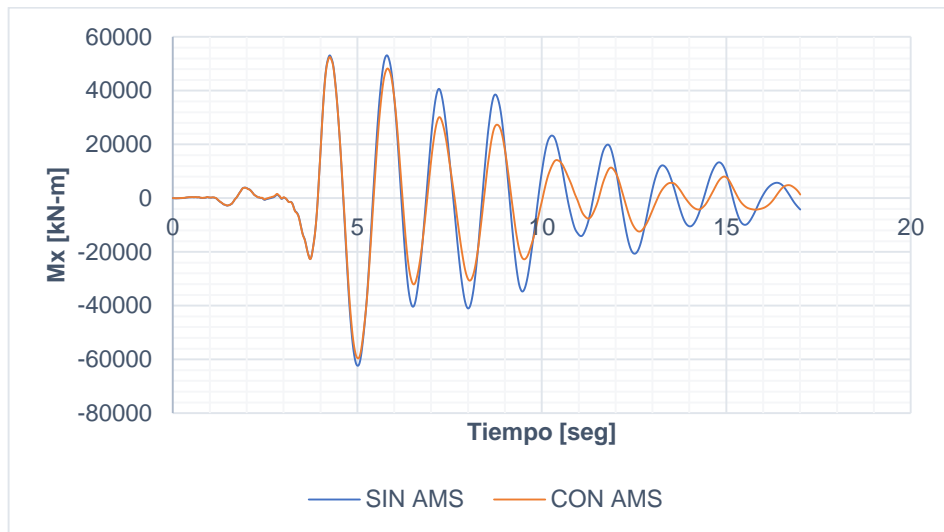
Gráfica A-3.3. Cortante V_x (E. 12 niveles) – Sismo Coalinga.



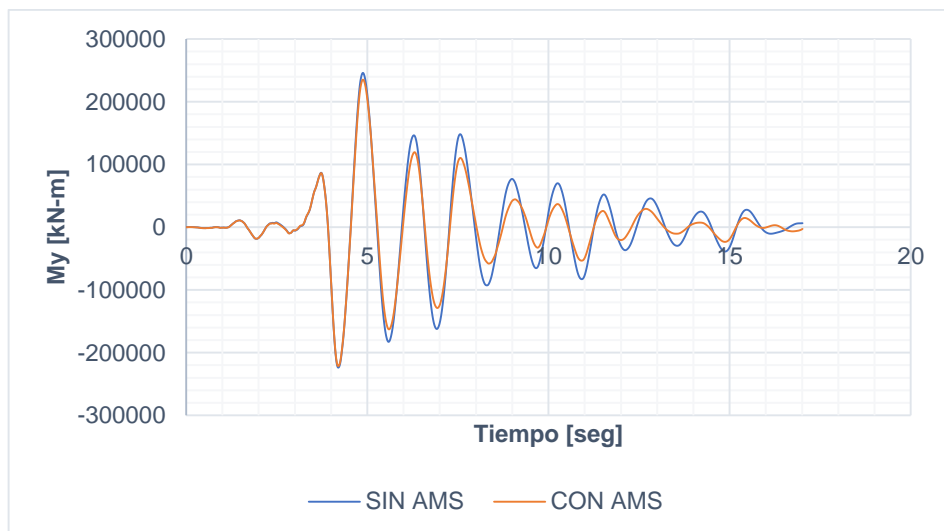
Gráfica A-3.4. Cortante V_y (E. 12 niveles) – Sismo Coalinga.



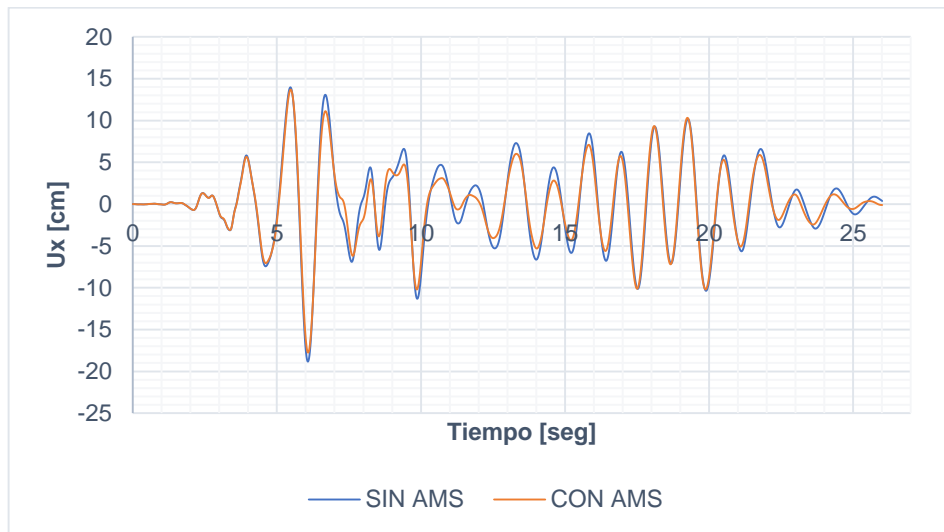
Gráfica A-3.5. Momento Mx (E. 12 niveles) – Sismo Coalinga.



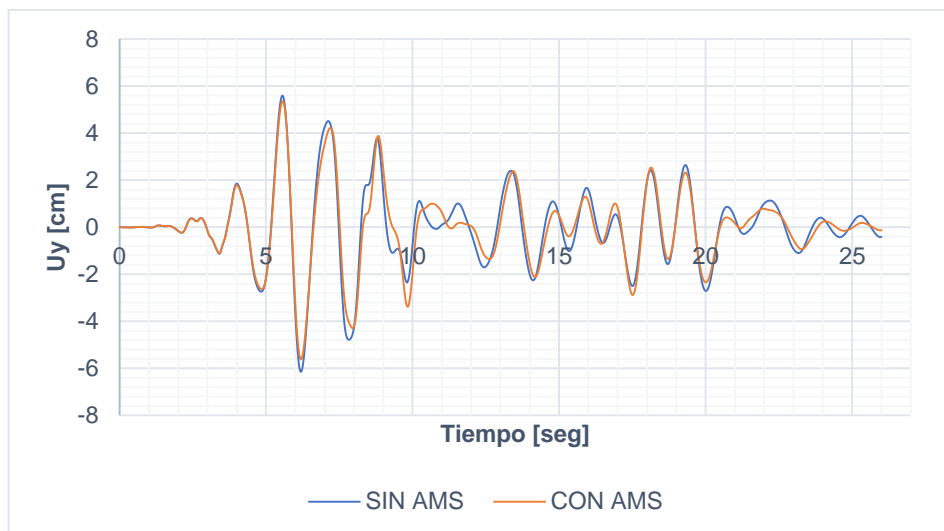
Gráfica A-3.6. Momento My (E. 12 niveles) – Sismo Coalinga.



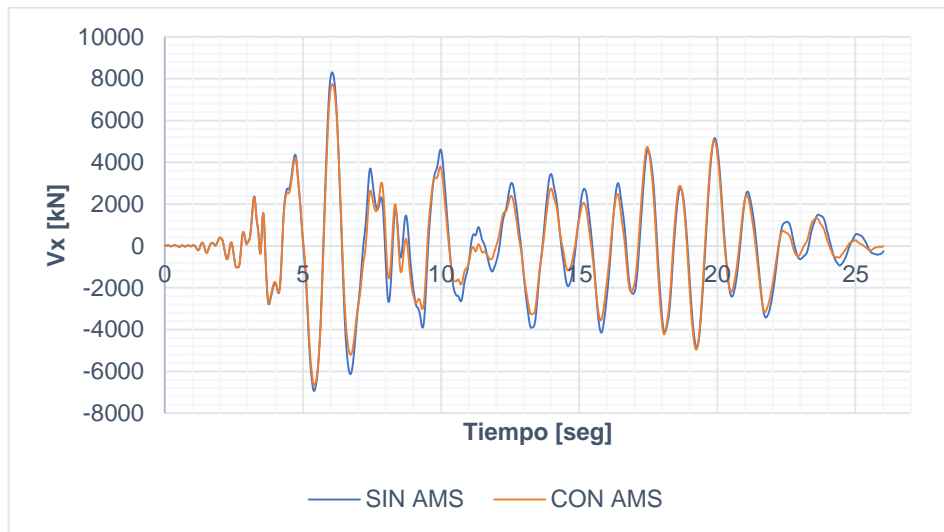
Gráfica A-3.7. Desplazamiento U_x (E. 12 niveles) – Sismo Duzce.



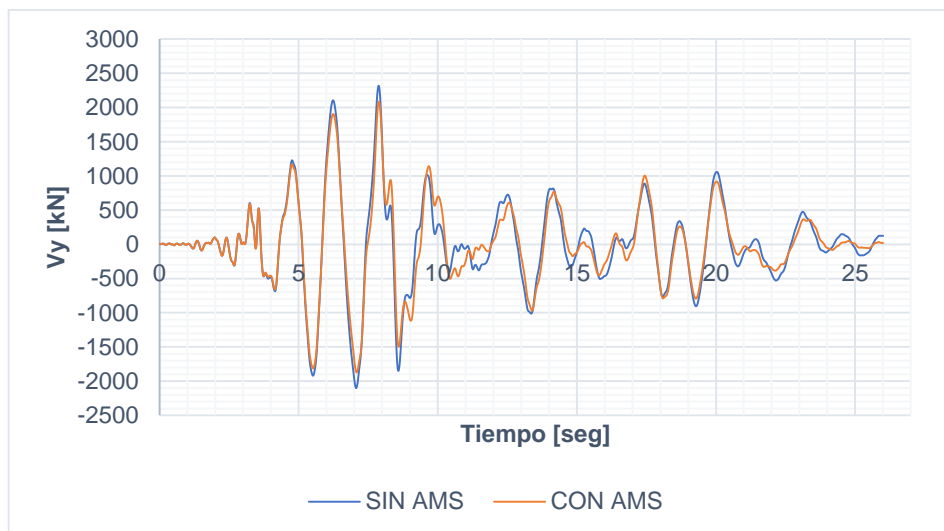
Gráfica A-3.8. Desplazamiento U_y (E. 12 niveles) – Sismo Duzce.



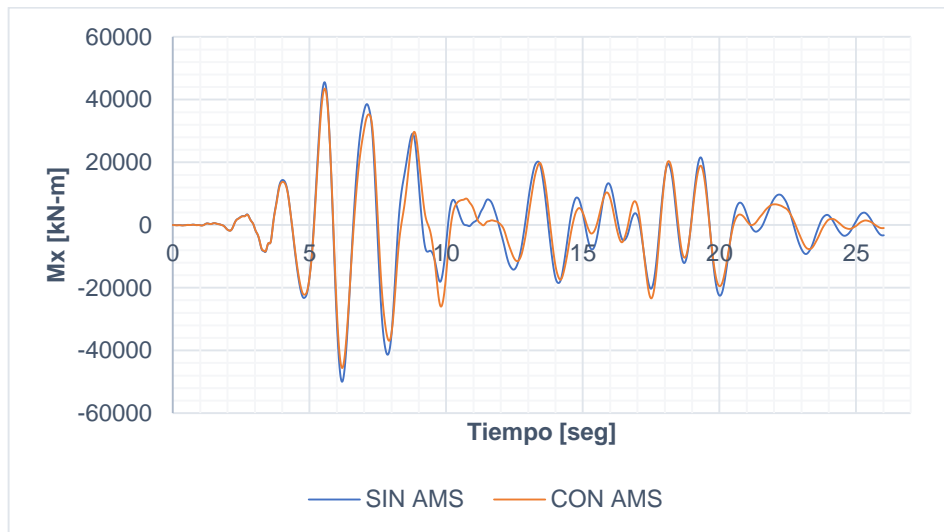
Gráfica A-3.9. Cortante V_x (E. 12 niveles) – Sismo Duzce.



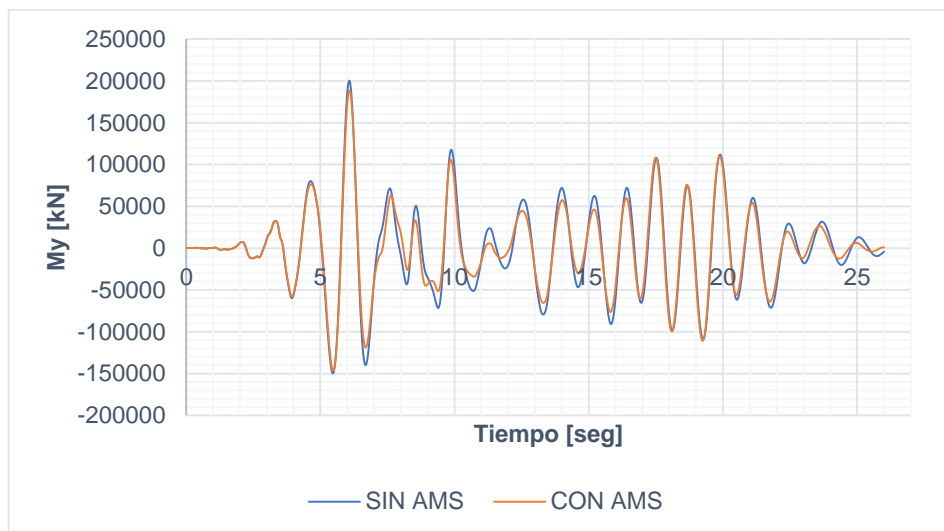
Gráfica A-3.10. Cortante V_y (E. 12 niveles) – Sismo Duzce.



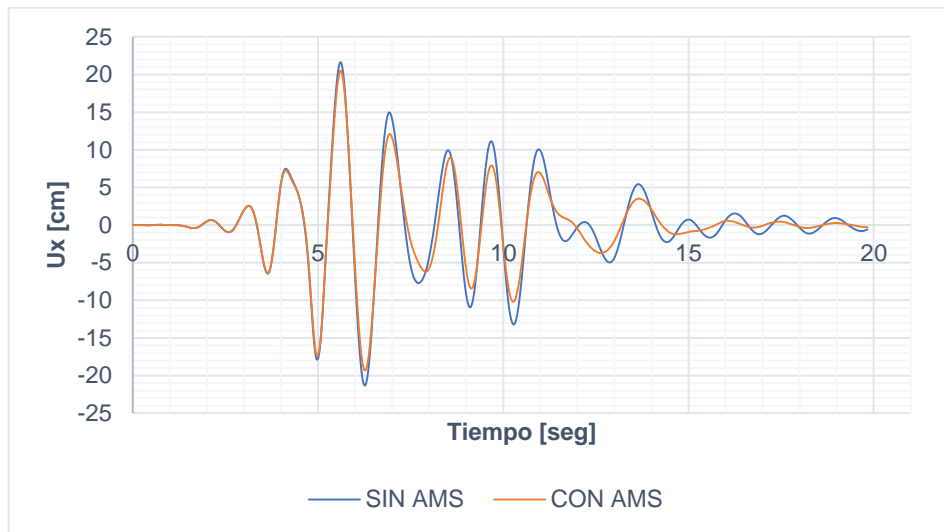
Gráfica A-3.11. Momento Mx (E. 12 niveles) – Sismo Duzce.



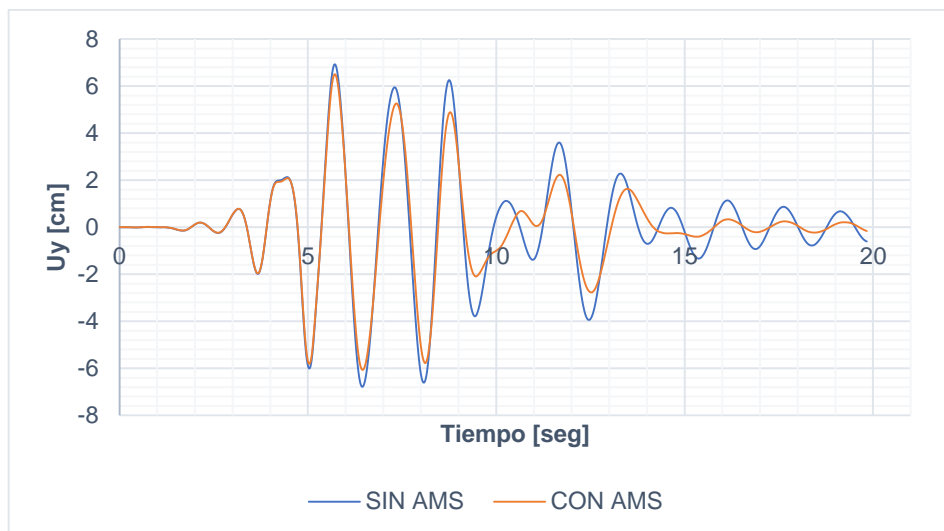
Gráfica A-3.12. Momento My (E. 12 niveles) – Sismo Duzce.



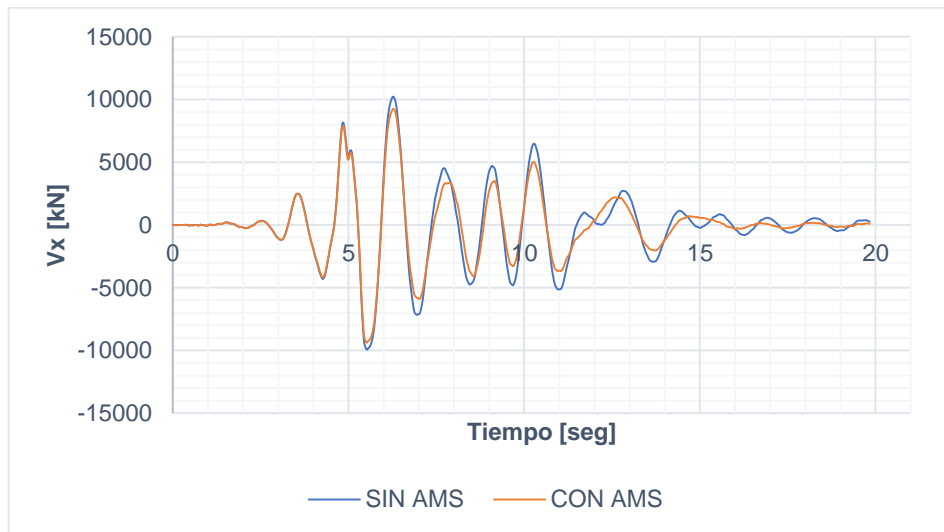
Gráfica A-3.13. Desplazamiento U_x (E. 12 niveles) – Sismo Friuli.



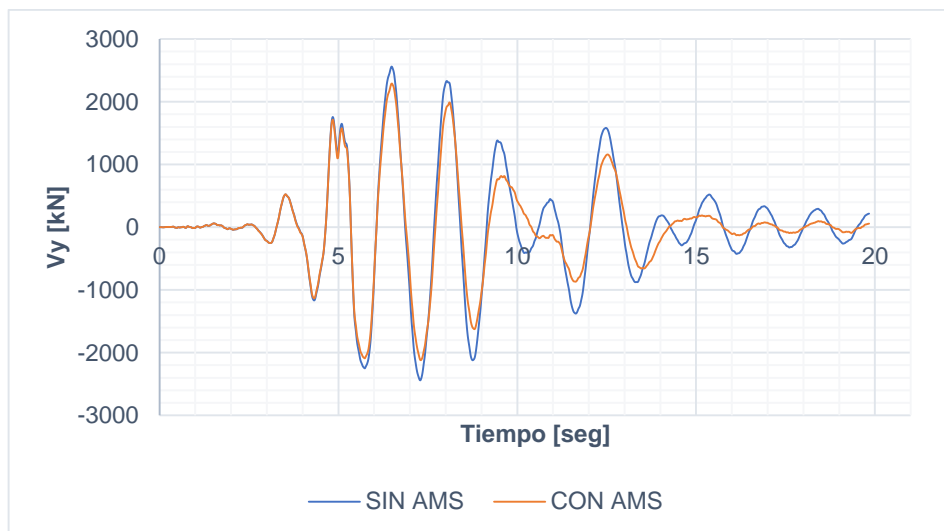
Gráfica A-3.14. Desplazamiento U_y (E. 12 niveles) – Sismo Friuli.



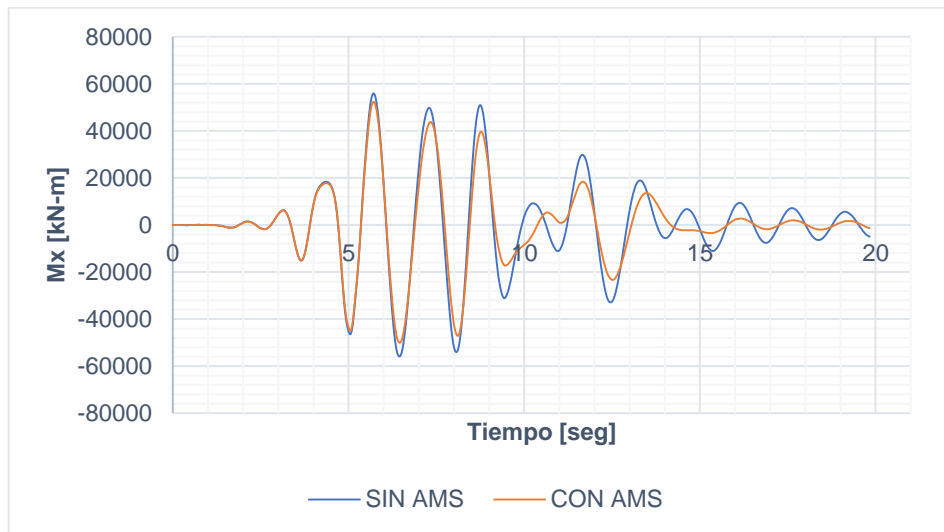
Gráfica A-3.15. Cortante V_x (E. 12 niveles) – Sismo Friuli.



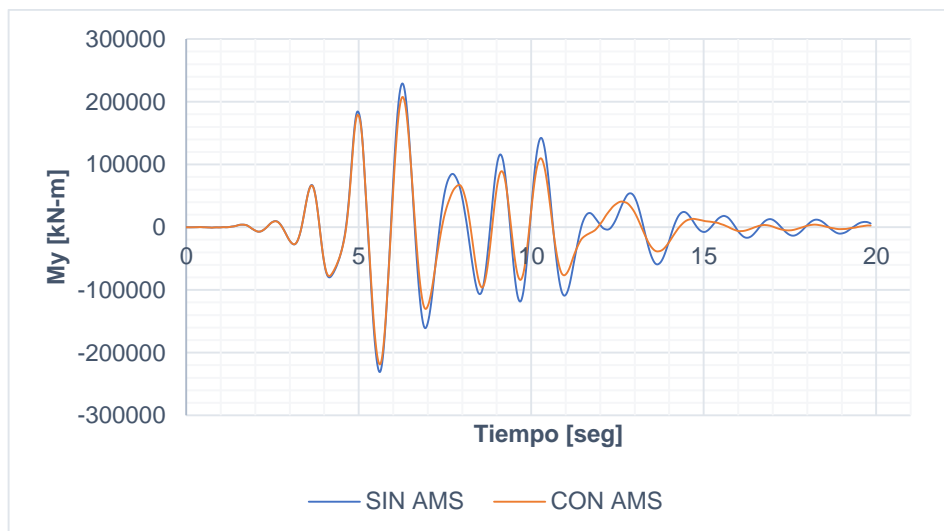
Gráfica A-3.16. Cortante V_y (E. 12 niveles) – Sismo Friuli.



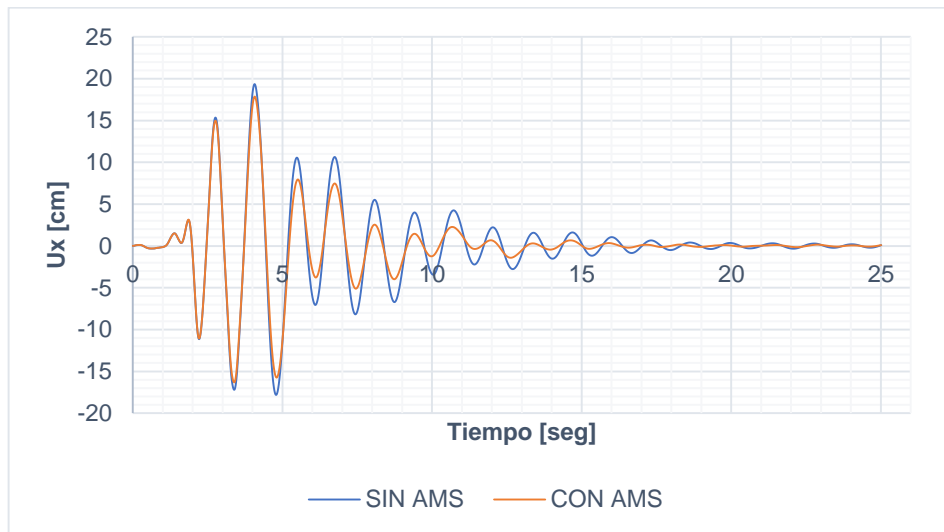
Gráfica A-3.17. Momento Mx (E. 12 niveles) – Sismo Friuli.



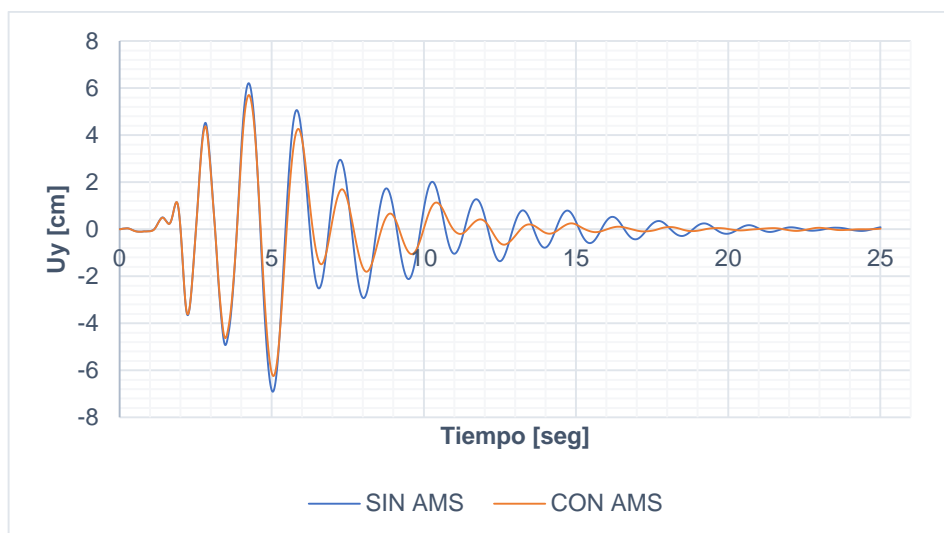
Gráfica A-3.18. Momento My (E. 12 niveles) – Sismo Friuli.



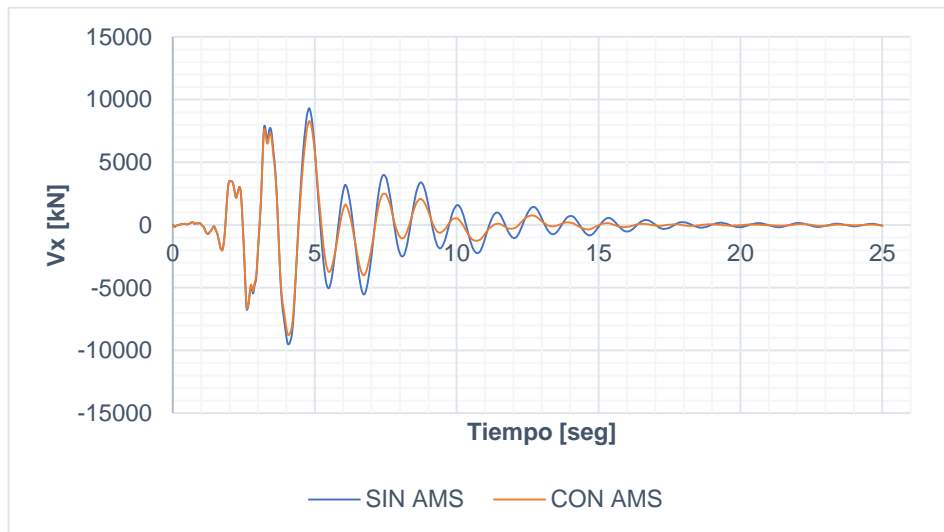
Gráfica A-3.19. Desplazamiento Ux (E. 12 niveles) – Sismo Helena.



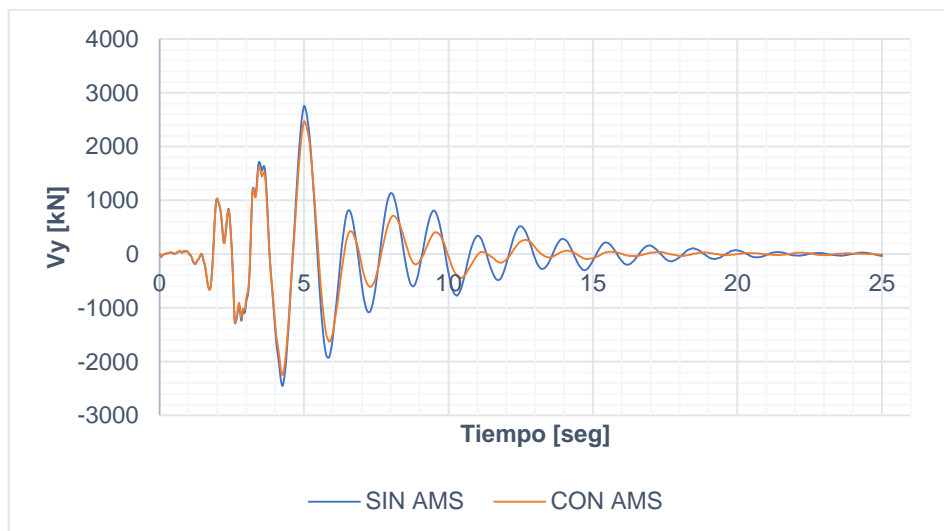
Gráfica A-3.20. Desplazamiento Uy (E. 12 niveles) – Sismo Helena.



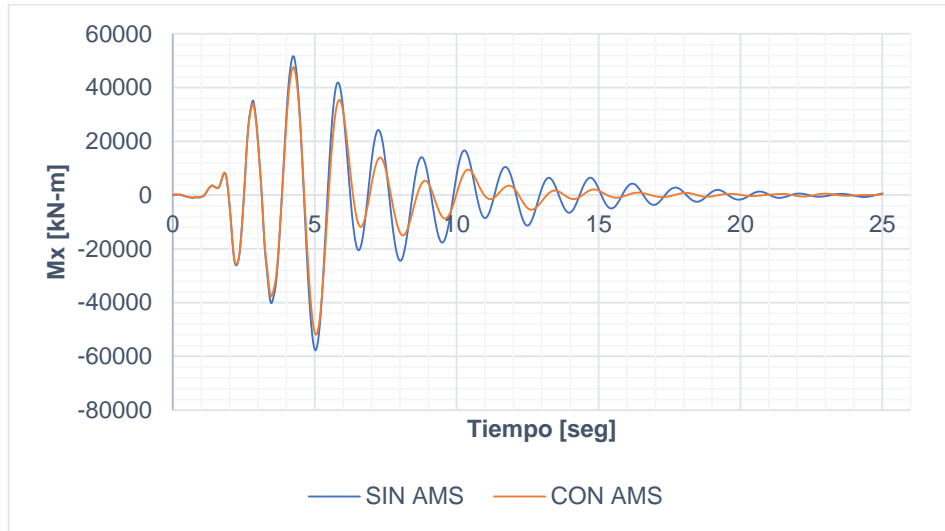
Gráfica A-3.21. Cortante V_x (E. 12 niveles) – Sismo Helena.



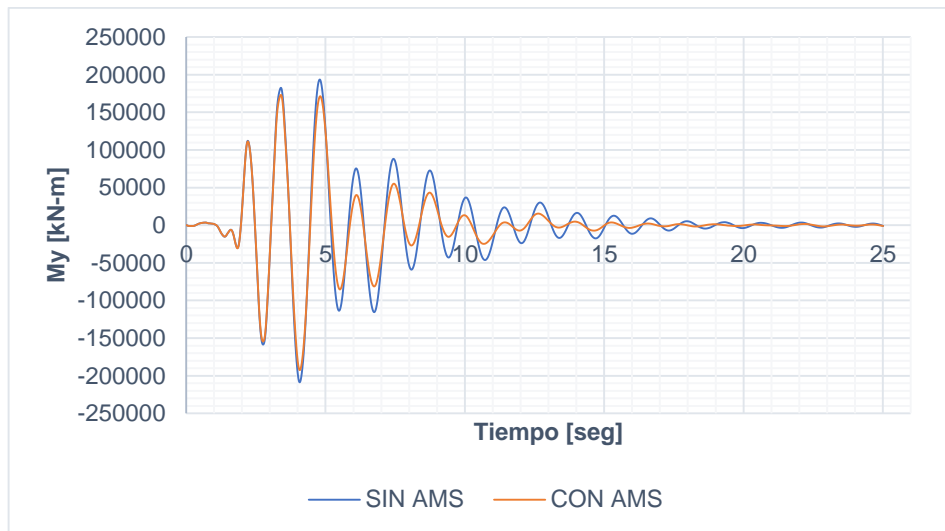
Gráfica A-3.22. Cortante V_y (E. 12 niveles) – Sismo Helena.



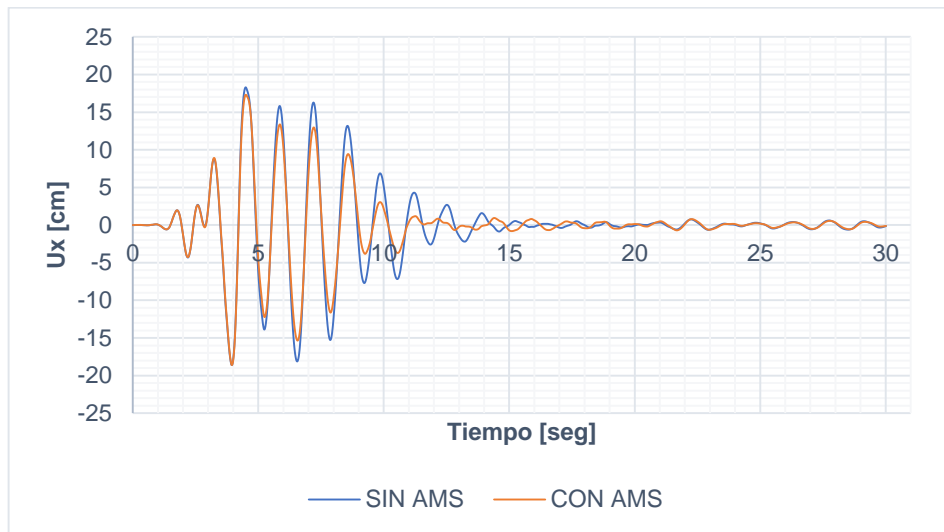
Gráfica A-3.23. Momento Mx (E. 12 niveles) – Sismo Helena.



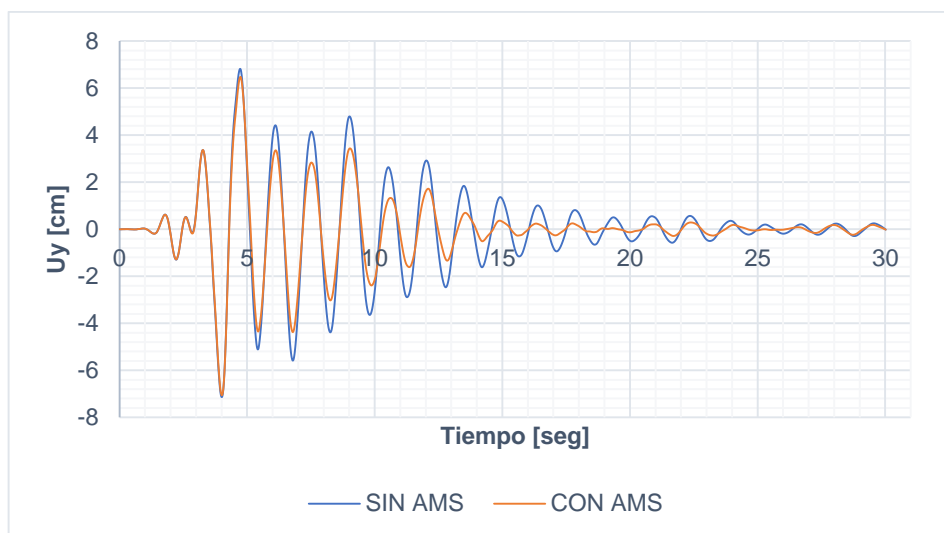
Gráfica A-3.24. Momento My (E. 12 niveles) – Sismo Helena.



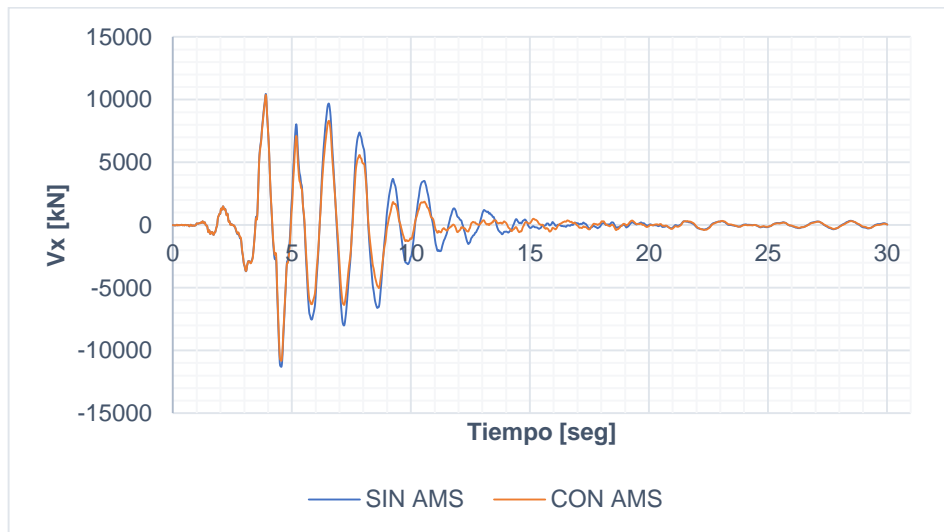
Gráfica A-3.25. Desplazamiento U_x (E. 12 niveles) – Sismo Loma.



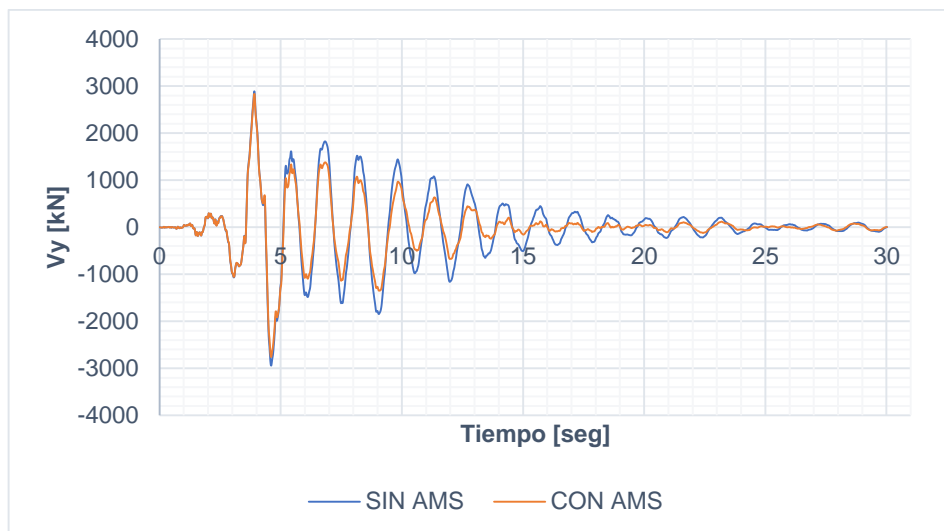
Gráfica A-3.26. Desplazamiento U_y (E. 12 niveles) – Sismo Loma.



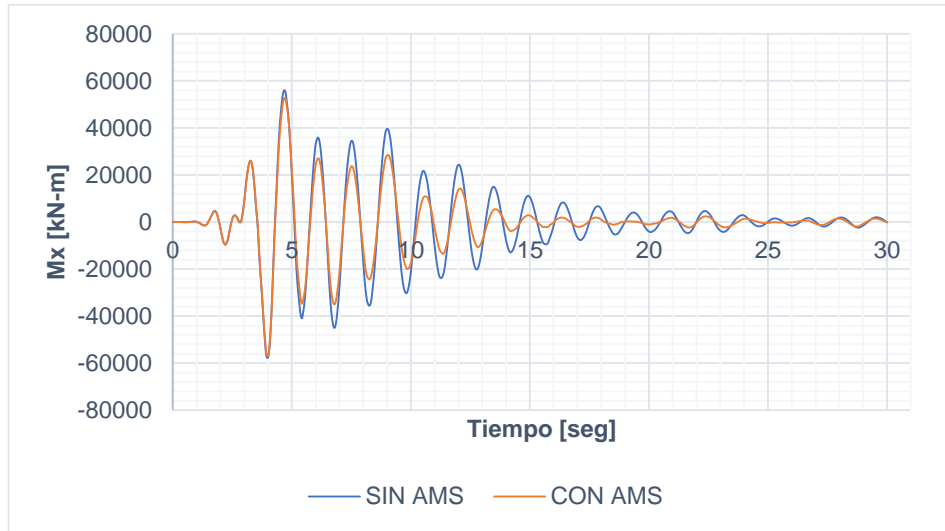
Gráfica A-3.27. Cortante V_x (E. 12 niveles) – Sismo Loma.



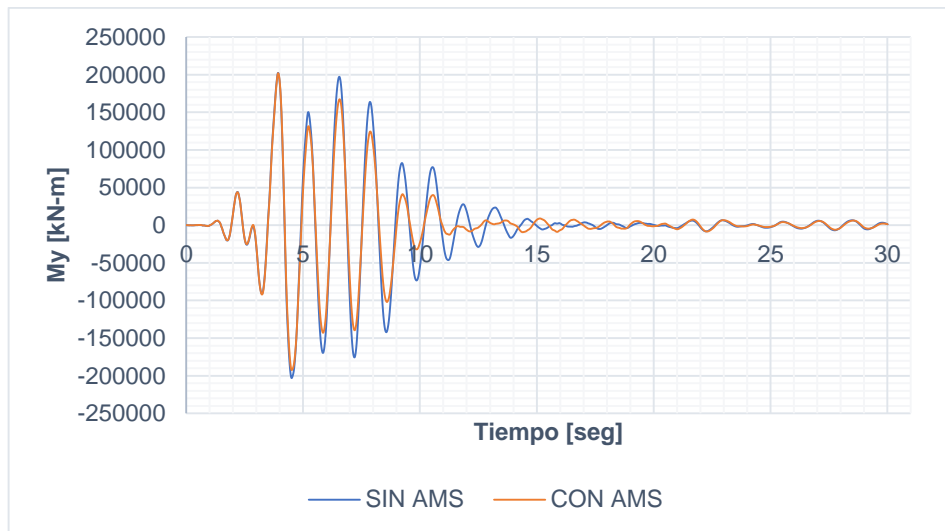
Gráfica A-3.28. Cortante V_y (E. 12 niveles) – Sismo Loma.



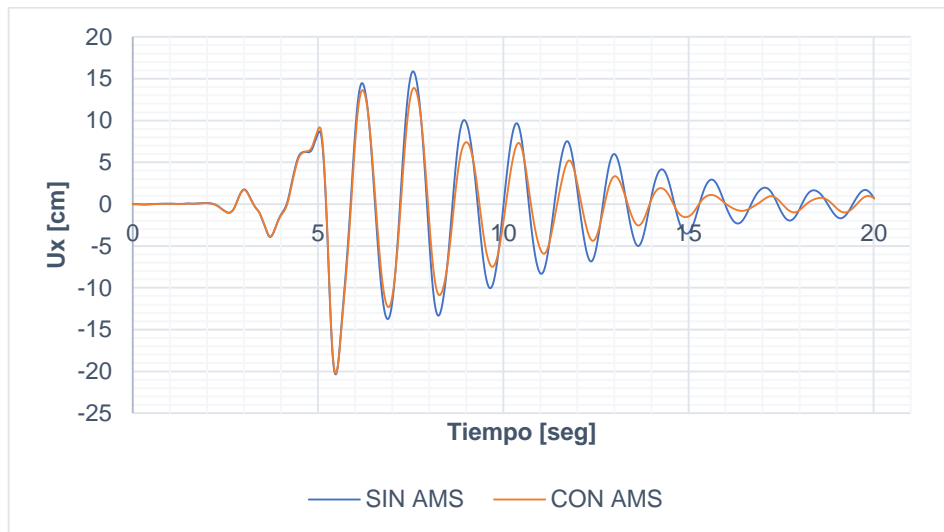
Gráfica A-3.29. Momento Mx (E. 12 niveles) – Sismo Loma.



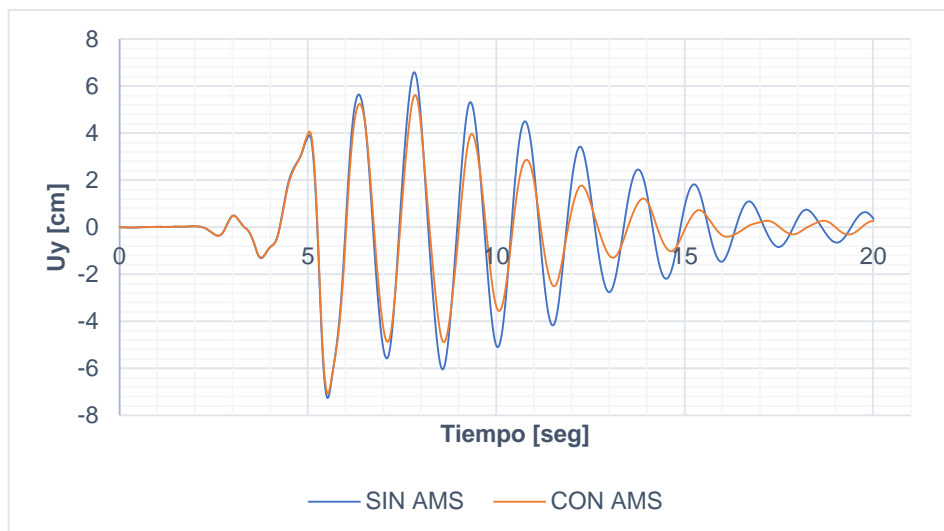
Gráfica A-3.30. Momento My (E. 12 niveles) – Sismo Loma.



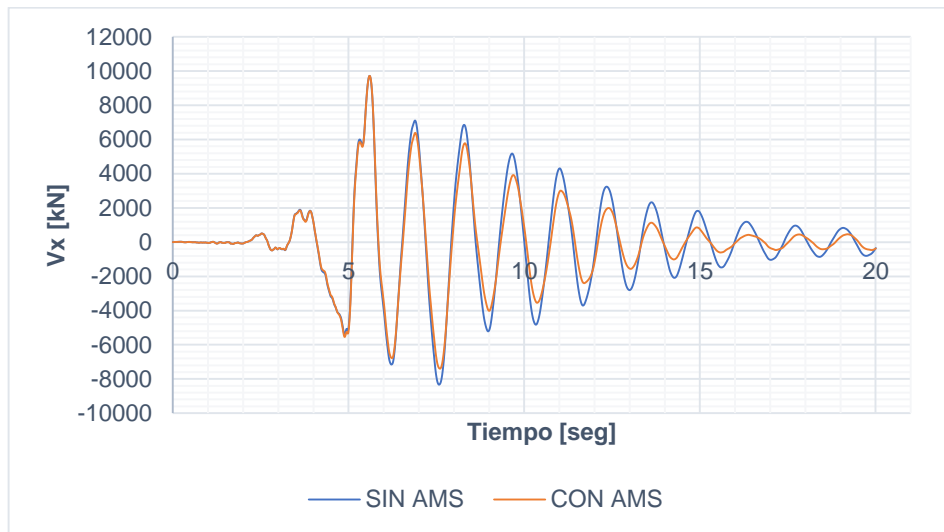
Gráfica A-3.31. Desplazamiento U_x (E. 12 niveles) – Sismo Mammoth.



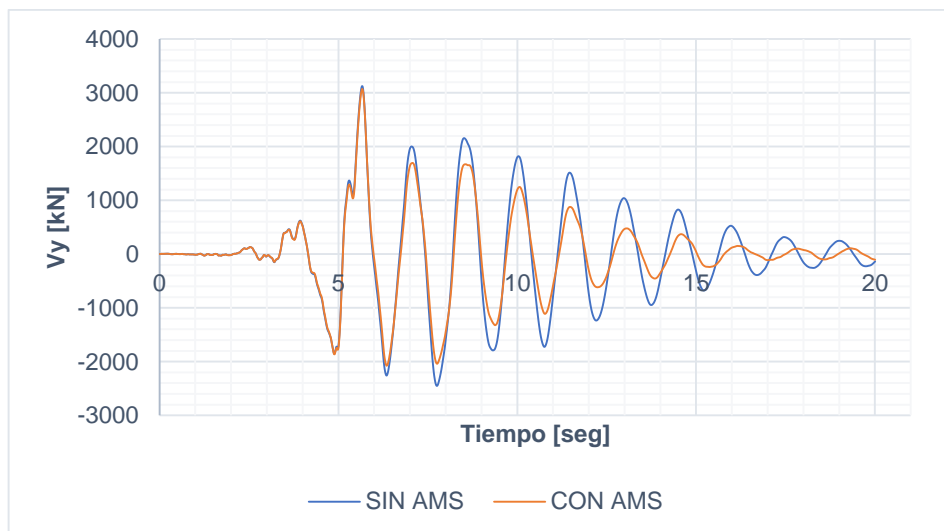
Gráfica A-3.32. Desplazamiento U_y (E. 12 niveles) – Sismo Mammoth.



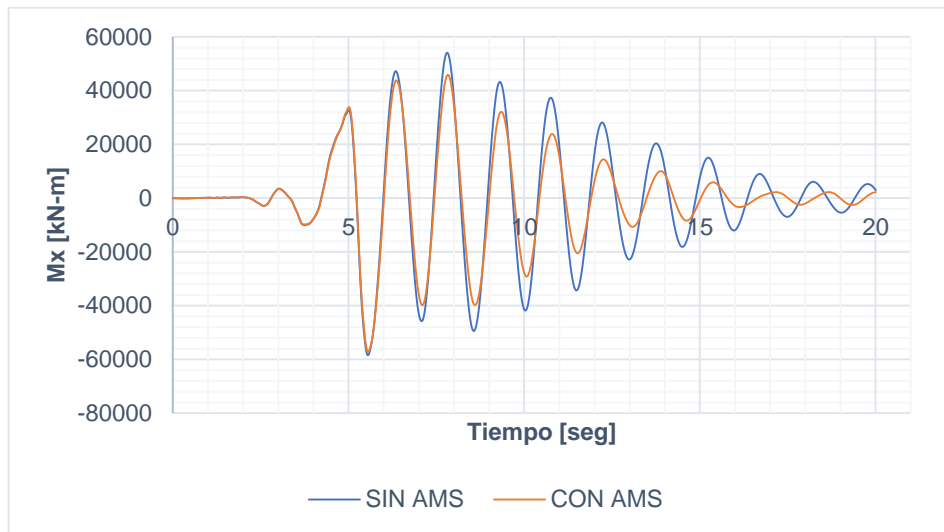
Gráfica A-3.33. Cortante V_x (E. 12 niveles) – Sismo Mammoth.



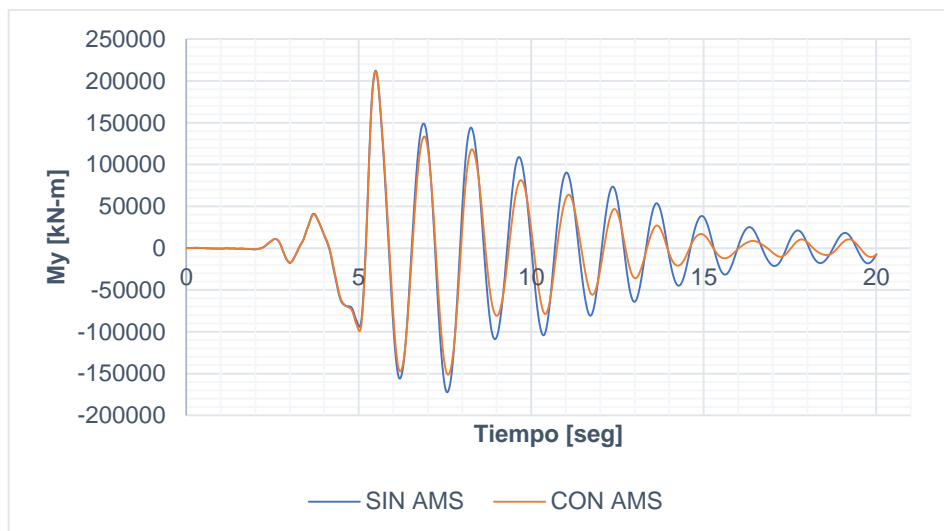
Gráfica A-3.34. Cortante V_y (E. 12 niveles) – Sismo Mammoth.



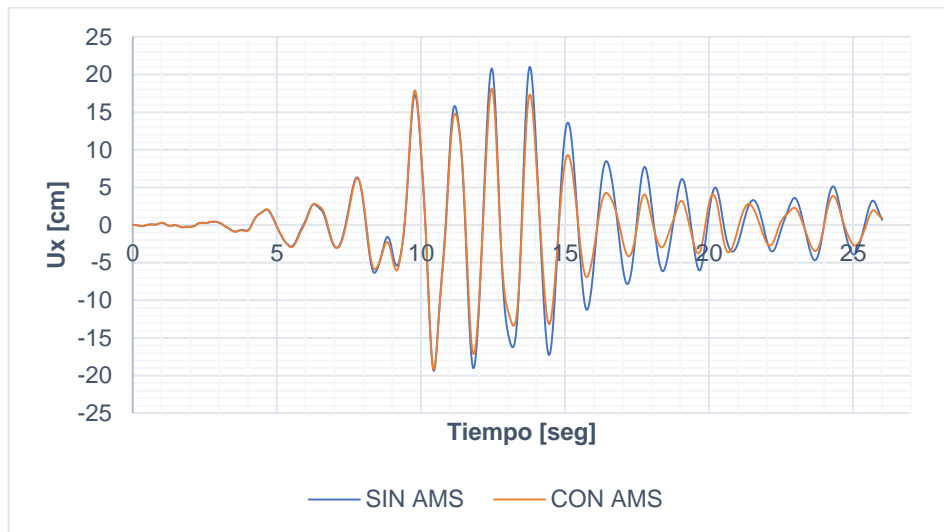
Gráfica A-3.35. Momento Mx (E. 12 niveles) – Sismo Mammoth.



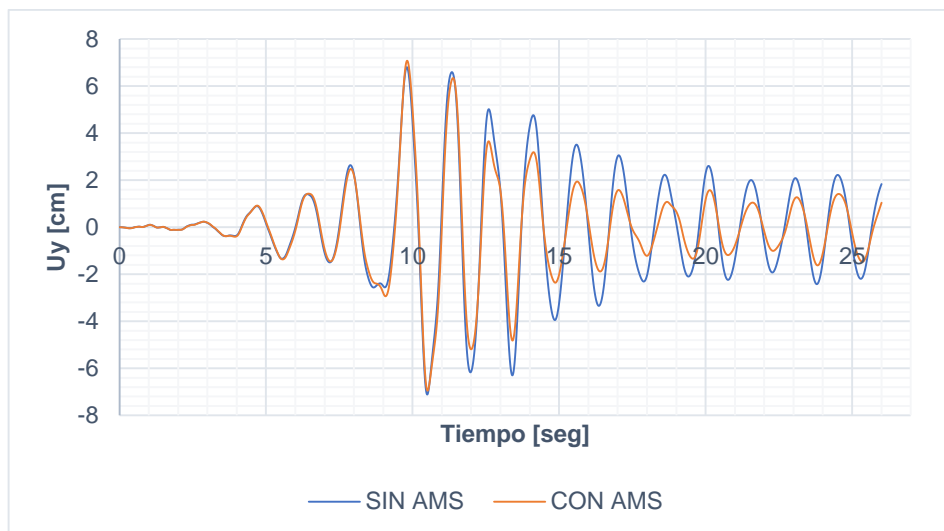
Gráfica A-3.36. Momento My (E. 12 niveles) – Sismo Mammoth.



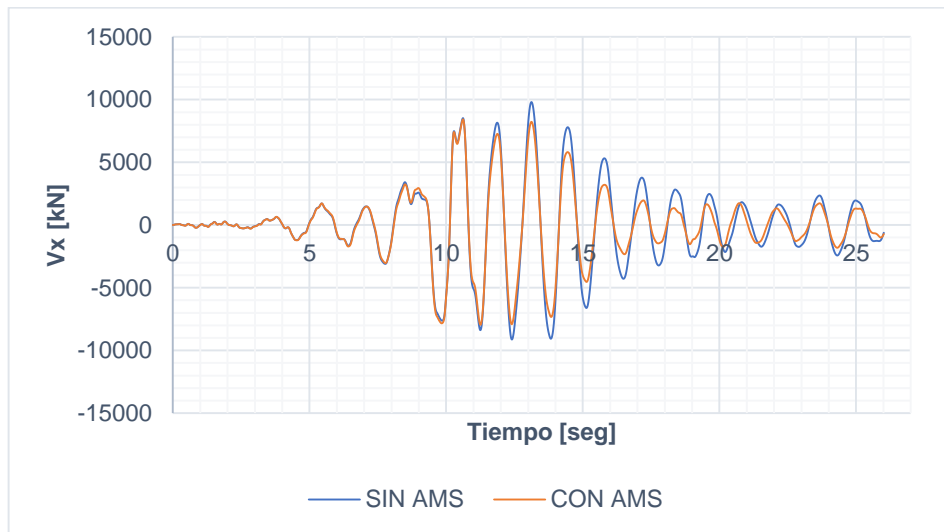
Gráfica A-3.37. Desplazamiento U_x (E. 12 niveles) – Sismo Mendocino.



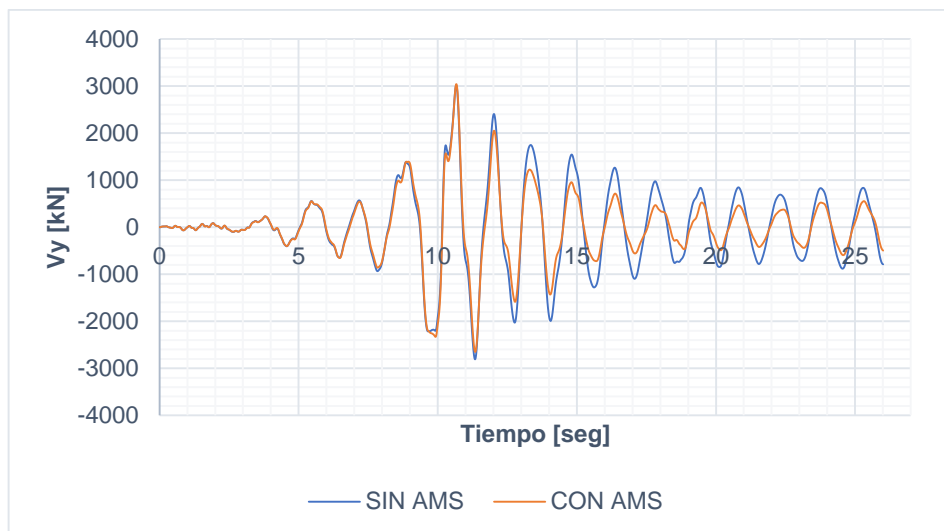
Gráfica A-3.38. Desplazamiento U_y (E. 12 niveles) – Sismo Mendocino.



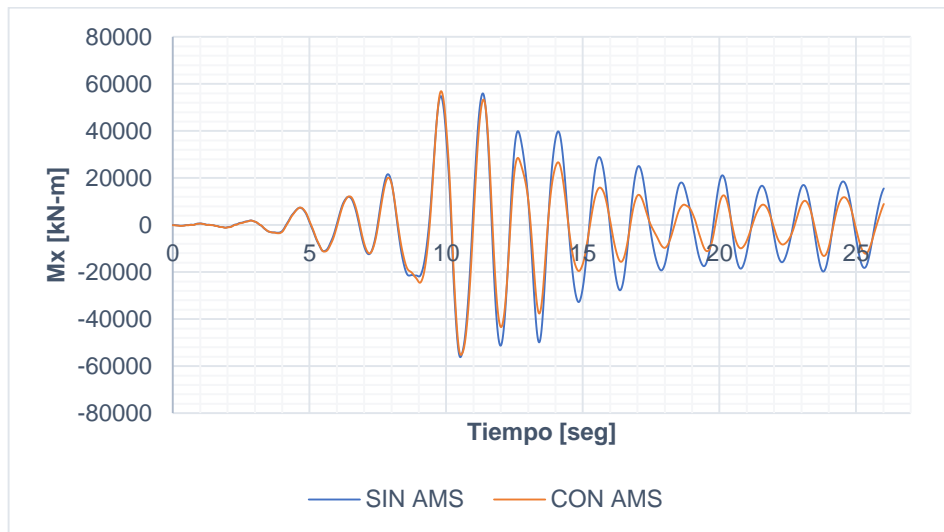
Gráfica A-3.39. Cortante V_x (E. 12 niveles) – Sismo Mendocino.



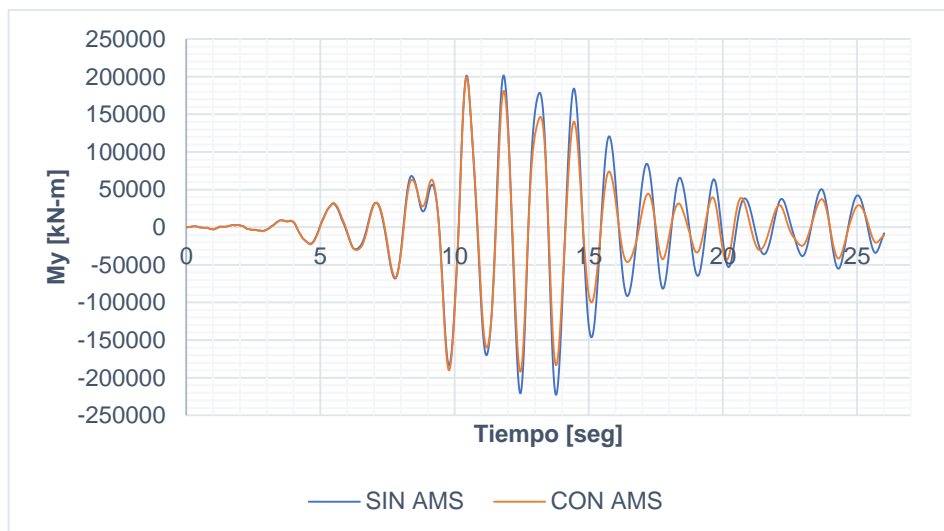
Gráfica A-3.40. Cortante V_y (E. 12 niveles) – Sismo Mendocino.



Gráfica A-3.41. Momento Mx (E. 12 niveles) – Sismo Mendocino.



Gráfica A-3.42. Momento My (E. 12 niveles) – Sismo Mendocino.



ANEXO A-4. TABLA DE RESULTADOS DE VARIACIÓN

Tabla A-4.1. Resultados y variación de la respuesta mecánica (100%X – 30%Y) de todos los sismos (Edificio 7 niveles).

Variables	Sismo Coalinga			Sismo Duzce		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	10.13	10.00	1.28	10.54	9.32	11.54
Vmax-x [kN]	4777.35	4872.88	-2.00	5509.21	4854.31	11.89
Vmax-y [kN]	1470.96	1481.45	-0.71	1477.67	1284.57	13.07
Mmax-x [kN-m]	17859.22	17319.25	3.02	17811.18	15627.34	12.26
Mmax-y [kN-m]	59896.73	59280.58	1.03	64792.08	57254.70	11.63

Tabla A-4.1. (Continuación).

Variables	Sismo Friuli			Sismo Helena		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	10.58	9.81	7.29	9.51	9.13	4.01
Vmax-x [kN]	6157.64	5715.43	7.18	5259.88	5038.14	4.22
Vmax-y [kN]	1793.04	1638.53	8.62	1493.80	1436.30	3.85
Mmax-x [kN-m]	19115.36	17548.09	8.20	17235.46	16174.07	6.16
Mmax-y [kN-m]	65763.36	60278.54	8.34	58462.77	56119.17	4.01

Tabla A-4.1. (Continuación).

Variables	Sismo Loma			Sismo Mammoth		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	9.66	8.23	14.75	11.13	11.10	0.25
Vmax-x [kN]	4710.85	4359.00	7.47	5743.78	5715.34	0.50
Vmax-y [kN]	1514.63	1401.77	7.45	1619.65	1582.41	2.30
Mmax-x [kN-m]	16737.38	15652.39	6.48	19475.95	19111.81	1.87
Mmax-y [kN-m]	60034.41	51032.20	15.00	67347.37	67259.19	0.13

Tabla A-4.1. (Continuación).

Variables	Sismo Mendocino		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	9.59	8.95	6.62
Vmax-x [kN]	4878.63	4601.80	5.67
Vmax-y [kN]	1258.62	1256.22	0.19
Mmax-x [kN-m]	15206.01	15135.17	0.47
Mmax-y [kN-m]	58504.25	54450.88	6.93

Tabla A-4.2. Resultados y variación de la respuesta mecánica (100%X – 30%Y) de todos los sismos (Edificio 10 niveles).

Variables	Sismo Coalinga			Sismo Duzce		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	17.56	17.74	-1.06	14.19	12.39	12.67
Vmax-x [kN]	8225.41	7874.82	4.26	5558.28	4663.94	16.09
Vmax-y [kN]	2473.95	2356.84	4.73	1611.53	1339.92	16.85
Mmax-x [kN-m]	40992.33	40712.65	0.68	31619.66	27302.83	13.65
Mmax-y [kN-m]	136977.37	137025.63	-0.04	108526.63	94633.66	12.80

Tabla A-4.2. (Continuación).

Variables	Sismo Friuli			Sismo Helena		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	18.31	14.28	22.01	16.80	15.81	5.90
Vmax-x [kN]	7108.63	5595.27	21.29	7784.72	7289.74	6.36
Vmax-y [kN]	2075.39	1634.12	21.26	2304.11	2153.18	6.55
Mmax-x [kN-m]	42645.45	32527.78	23.73	40251.62	37315.20	7.30
Mmax-y [kN-m]	143817.50	111805.31	22.26	136176.98	126918.11	6.80

Tabla A-4.2. (Continuación).

Variables	Sismo Loma			Sismo Mammoth		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	18.05	17.07	5.44	18.79	18.32	2.51
Vmax-x [kN]	6016.06	5832.87	3.05	5739.73	5560.79	3.12
Vmax-y [kN]	1844.61	1786.45	3.15	1782.00	1721.65	3.39
Mmax-x [kN-m]	38807.53	36386.21	6.24	39607.62	38449.29	2.92
Mmax-y [kN-m]	132214.91	124466.33	5.86	135685.30	132008.17	2.71

Tabla A-4.2. (Continuación).

Variables	Sismo Mendocino		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	16.59	15.94	3.94
Vmax-x [kN]	6999.60	6600.17	5.71
Vmax-y [kN]	2099.00	1970.48	6.12
Mmax-x [kN-m]	38886.97	36896.07	5.12
Mmax-y [kN-m]	130688.70	124662.25	4.61

Tabla A-4.3. Resultados y variación de la respuesta mecánica (100%X – 30%Y) de todos los sismos (Edificio 12 niveles).

Variables	Sismo Coalinga			Sismo Duzce		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	24.02	22.97	4.38	19.57	18.44	5.76
Vmax-x [kN]	10929.54	10454.56	4.35	8298.10	7742.53	6.70
Vmax-y [kN]	3273.87	3135.02	4.24	2316.65	2084.30	10.03
Mmax-x [kN-m]	62299.72	59645.91	4.26	49982.17	45601.99	8.76
Mmax-y [kN-m]	245798.49	235160.19	4.33	200390.56	188932.20	5.72

Tabla A-4.3. (Continuación).

Variables	Sismo Friuli			Sismo Helena		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	22.51	21.31	5.30	19.96	18.41	7.79
Vmax-x [kN]	10236.38	9367.61	8.49	9500.06	8759.07	7.80
Vmax-y [kN]	2557.28	2287.67	10.54	2758.24	2469.02	10.49
Mmax-x [kN-m]	55889.94	52393.60	6.26	57646.39	51916.59	9.94
Mmax-y [kN-m]	230572.96	218428.81	5.27	208504.01	192257.45	7.79

Tabla A-4.3. (Continuación).

Variables	Sismo Loma			Sismo Mammoth		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	19.84	19.80	0.17	21.55	21.37	0.81
Vmax-x [kN]	11300.08	10819.37	4.25	9722.43	9720.61	0.02
Vmax-y [kN]	2939.24	2832.24	3.64	3123.36	3072.54	1.63
Mmax-x [kN-m]	57782.99	56930.26	1.48	58410.03	57116.94	2.21
Mmax-y [kN-m]	203141.44	201762.84	0.68	212204.50	211327.32	0.41

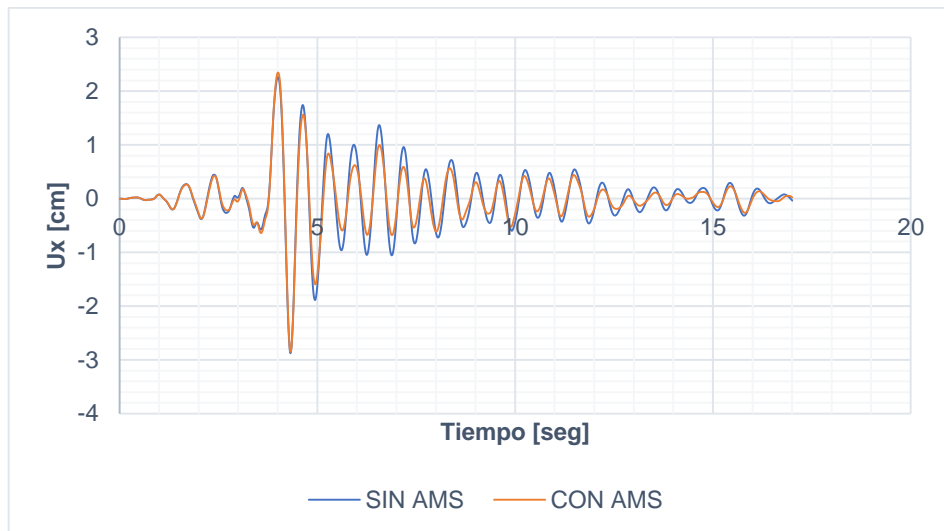
Tabla A-4.3. (Continuación).

Variables	Sismo Mendocino		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	21.09	20.31	3.71
Vmax-x [kN]	9791.96	8428.05	13.93
Vmax-y [kN]	3015.37	3043.10	-0.92
Mmax-x [kN-m]	56109.30	56963.94	-1.52
Mmax-y [kN-m]	222688.72	199554.43	10.39

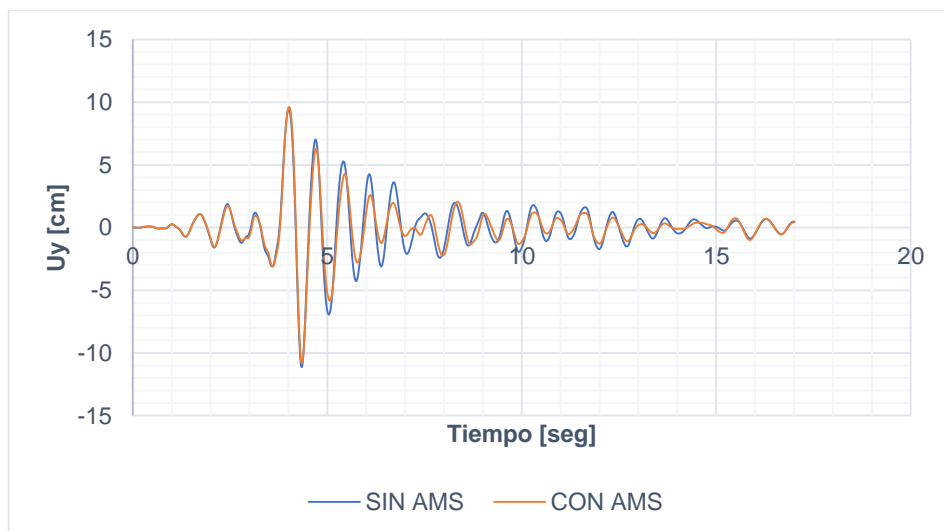
ANEXO B. RESULTADOS CASO DE APLICACIÓN CARGA SÍSMICA 30% X – 100% Y

ANEXO B-1. EDIFICIO 7 NIVELES

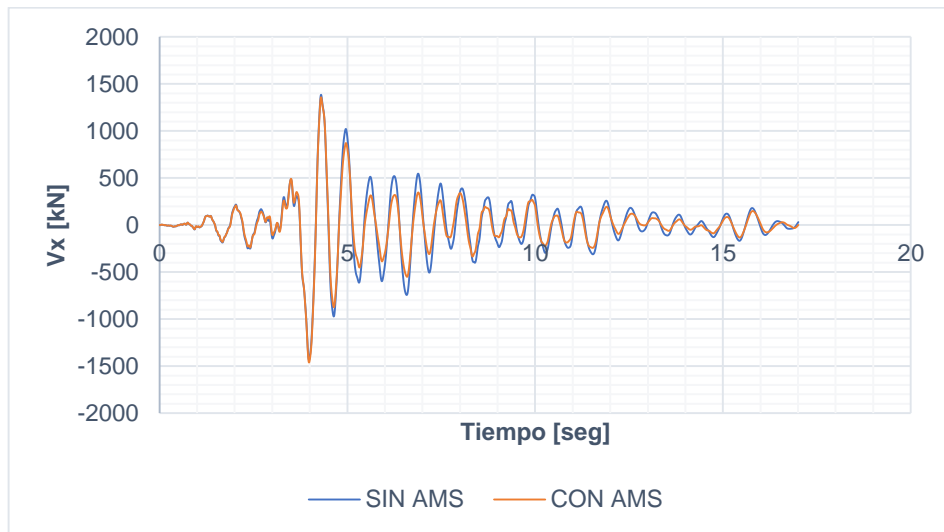
Gráfica B-1.1. Desplazamiento U_x (E. 7 niveles) – Sismo Coalinga.



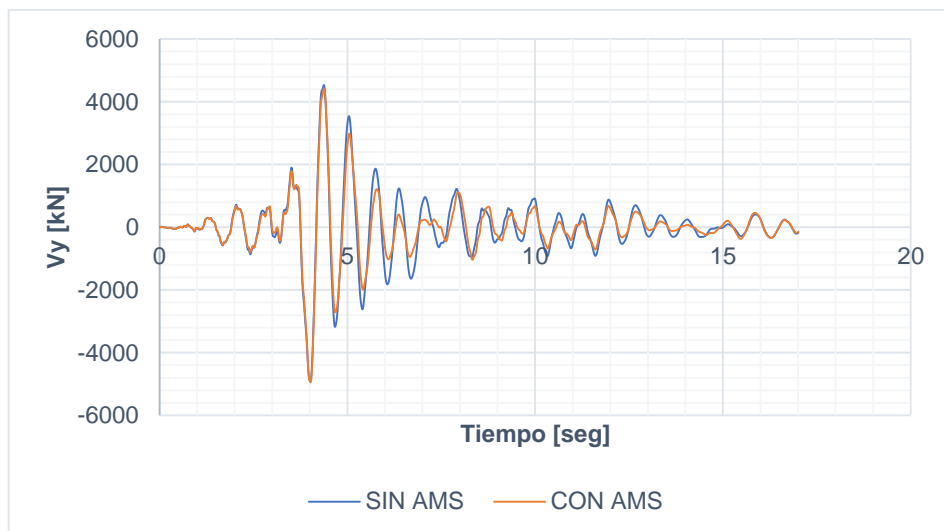
Gráfica B-1.2. Desplazamiento U_y (E. 7 niveles) – Sismo Coalinga.



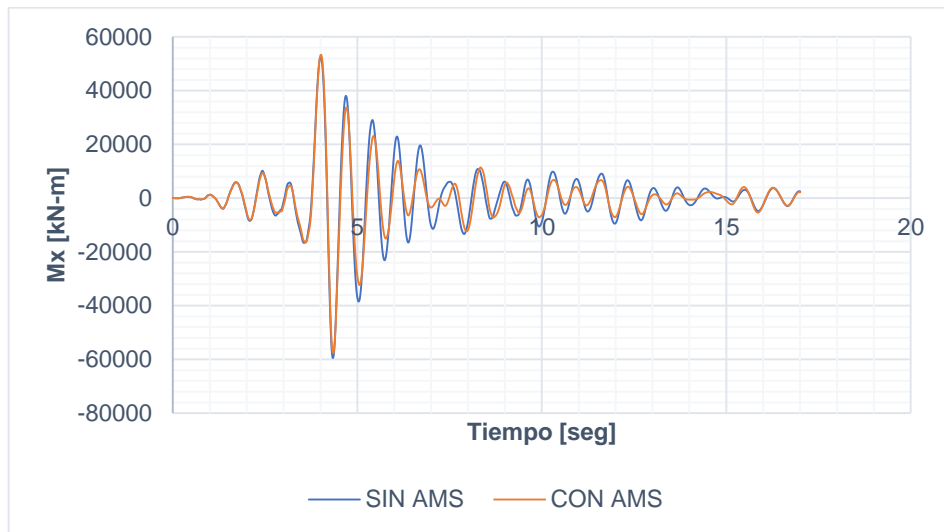
Gráfica B-1.3. Cortante Vx (E. 7 niveles) – Sismo Coalinga.



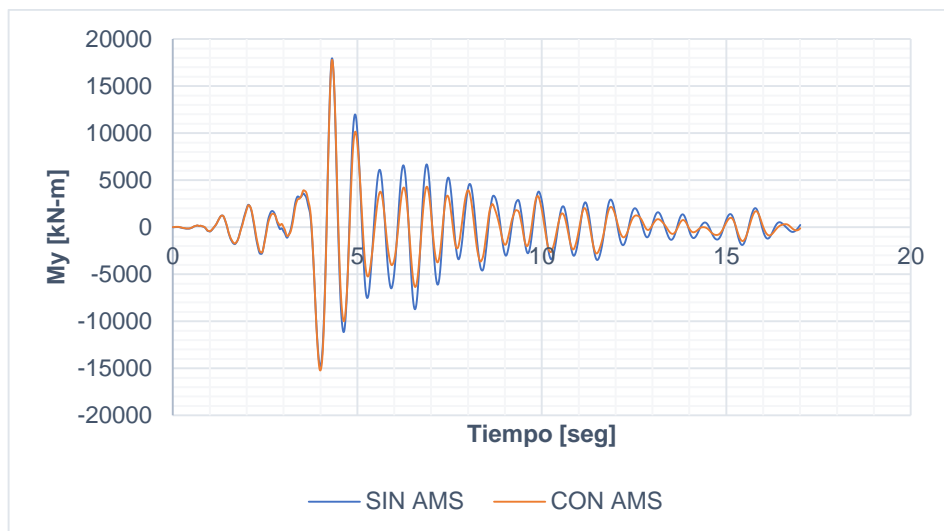
Gráfica B-1.4. Cortante Vy (E. 7 niveles) – Sismo Coalinga.



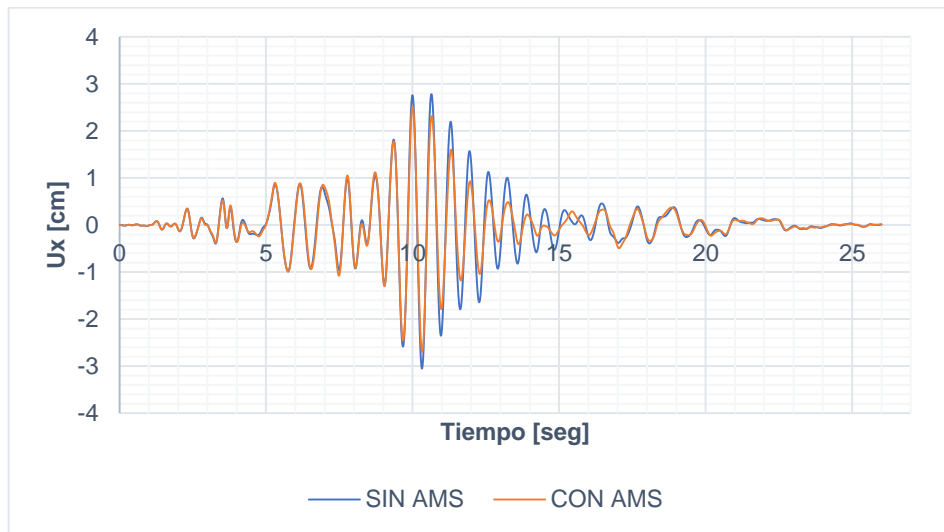
Gráfica B-1.5. Momento Mx (E. 7 niveles) – Sismo Coalinga.



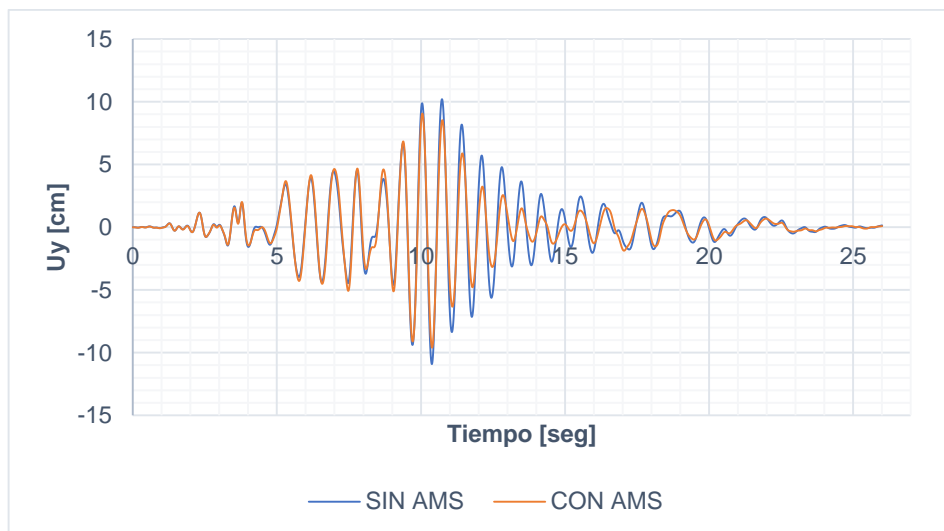
Gráfica B-1.6. Momento My (E. 7 niveles) – Sismo Coalinga.



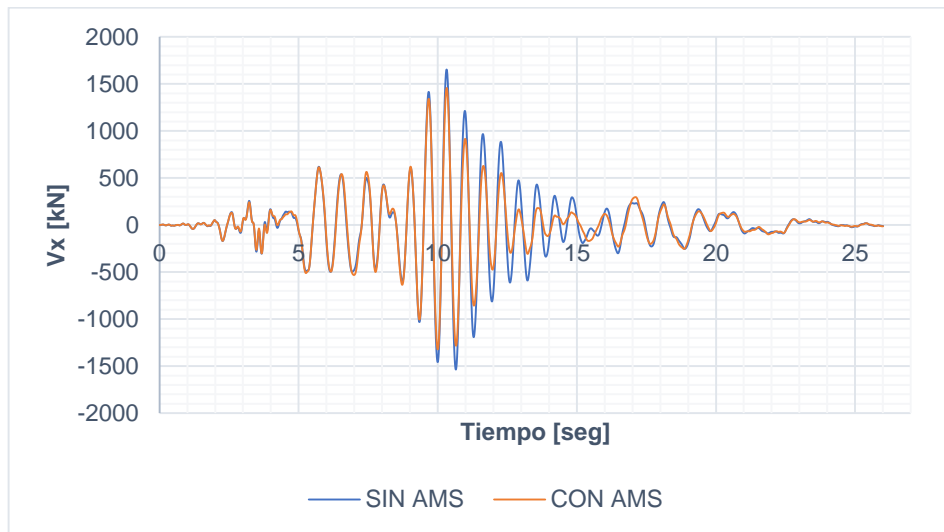
Gráfica B-1.7. Desplazamiento U_x (E. 7 niveles) – Sismo Duzce.



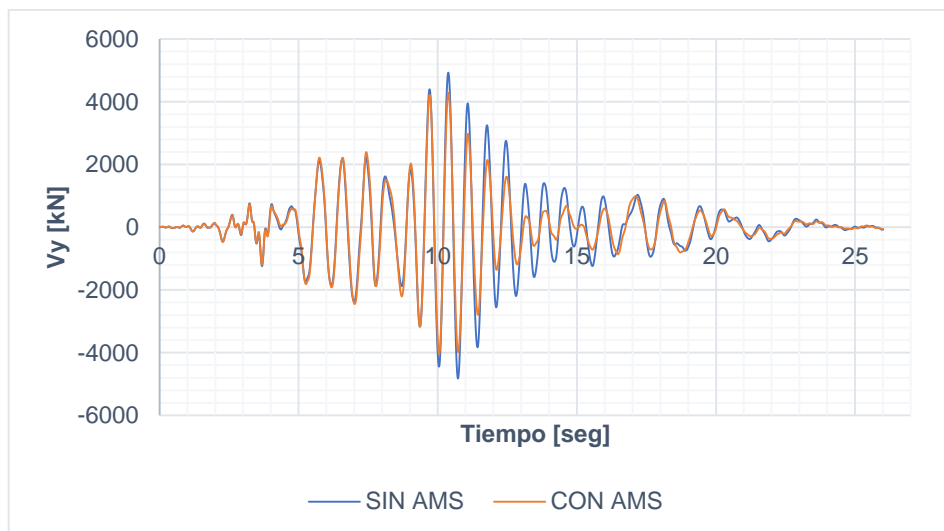
Gráfica B-1.8. Desplazamiento U_y (E. 7 niveles) – Sismo Duzce.



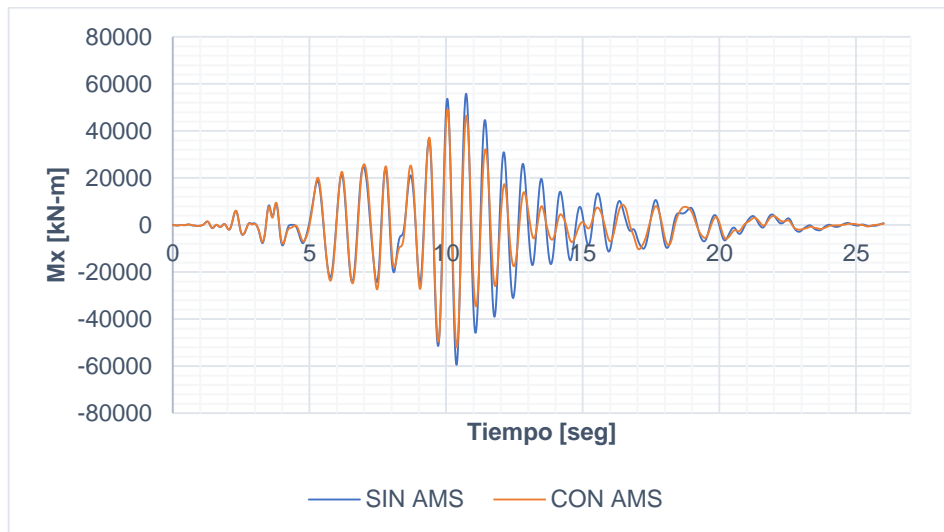
Gráfica B-1.9. Cortante V_x (E. 7 niveles) – Sismo Duzce.



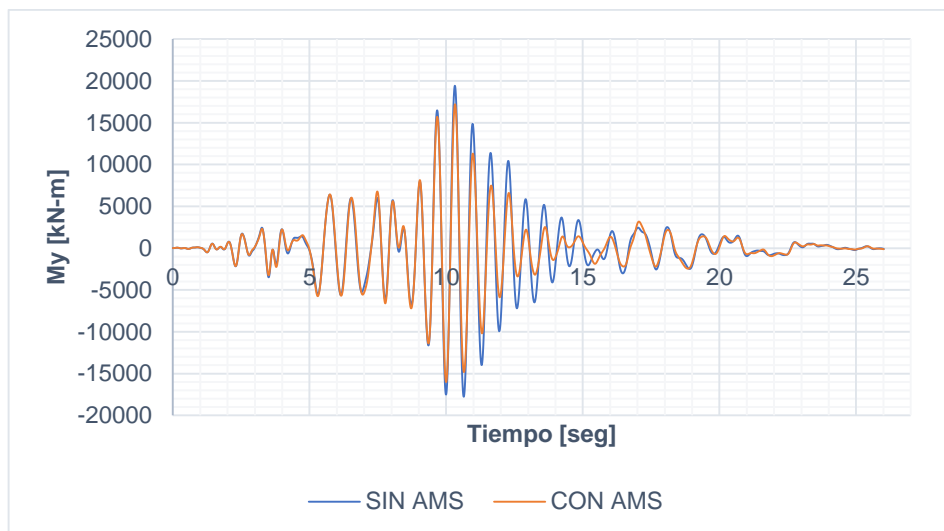
Gráfica B-1.10. Cortante V_y (E. 7 niveles) – Sismo Duzce.



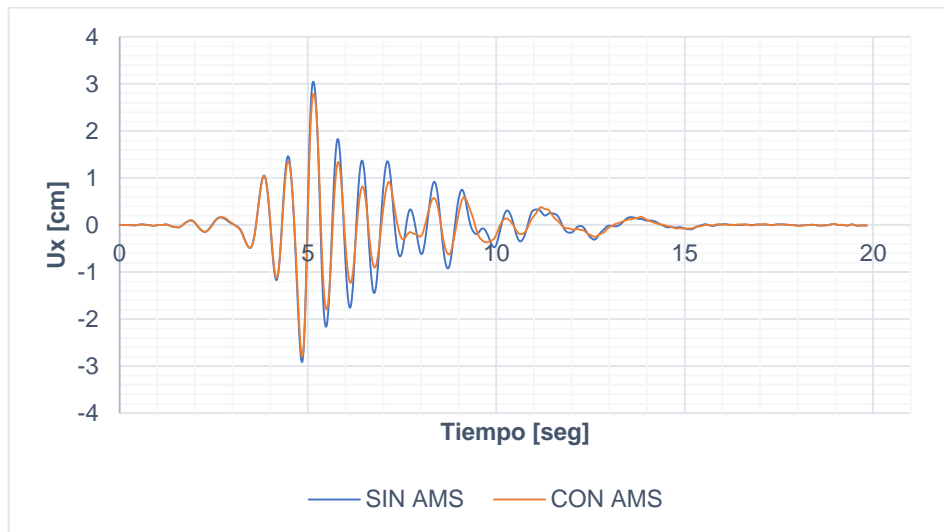
Gráfica B-1.11. Momento Mx (E. 7 niveles) – Sismo Duzce.



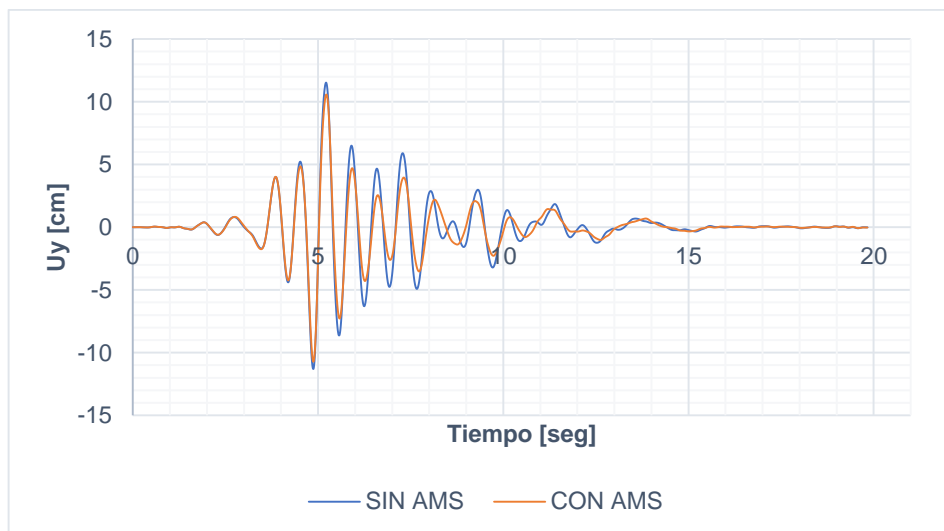
Gráfica B-1.12. Momento My (E. 7 niveles) – Sismo Duzce.



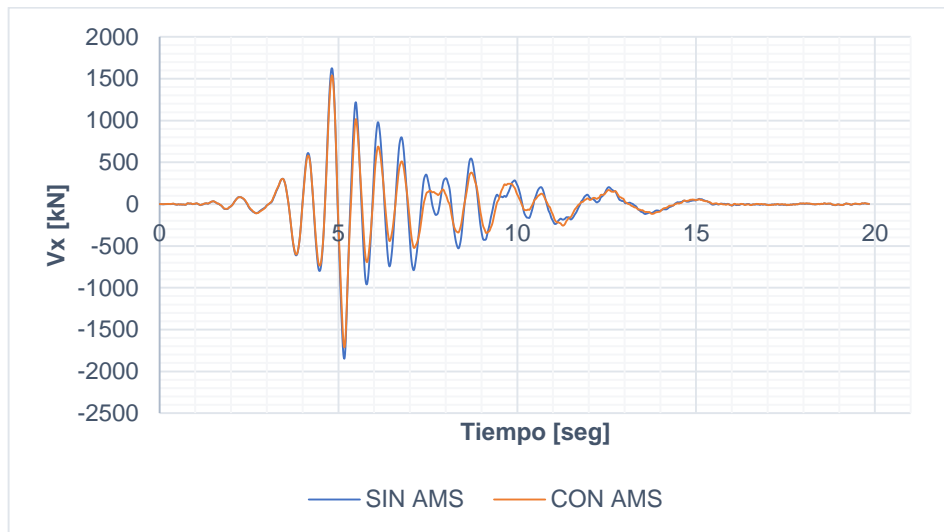
Gráfica B-1.13. Desplazamiento U_x (E. 7 niveles) – Sismo Friuli.



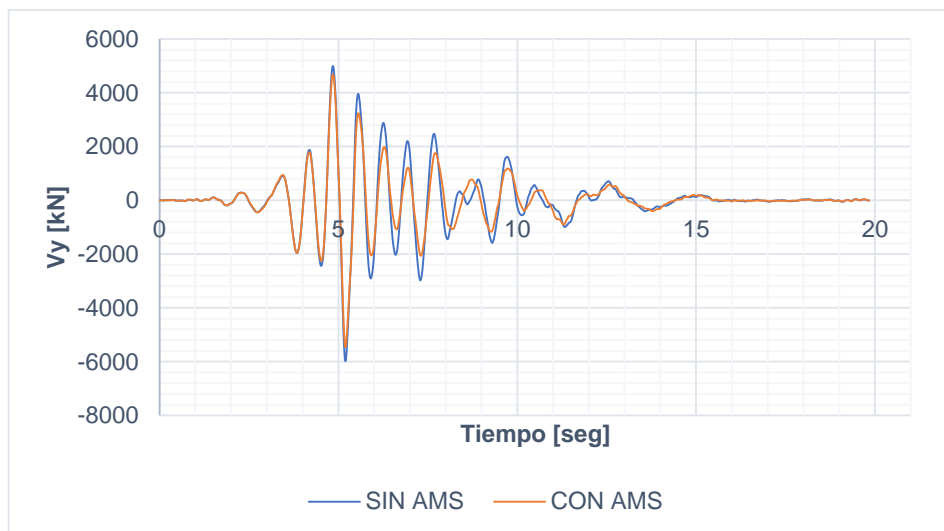
Gráfica B-1.14. Desplazamiento U_y (E. 7 niveles) – Sismo Friuli.



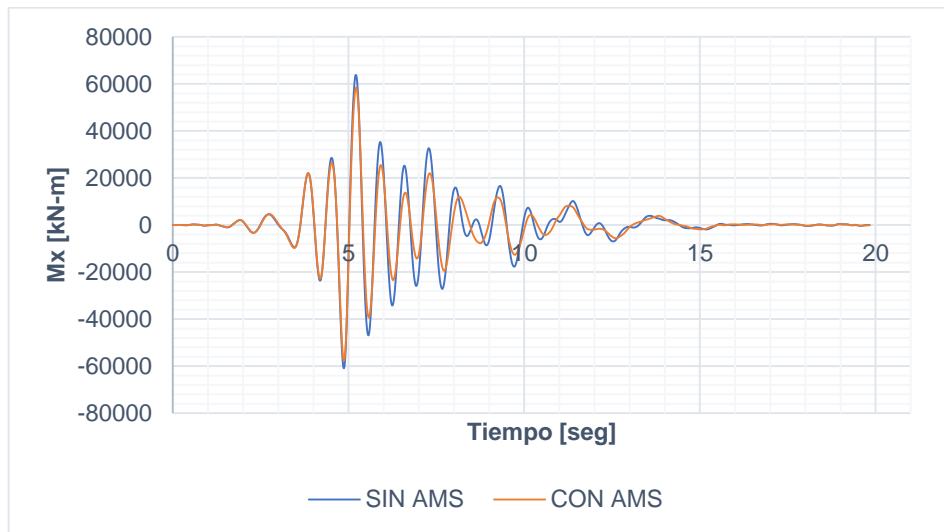
Gráfica B-1.15. Cortante V_x (E. 7 niveles) – Sismo Friuli.



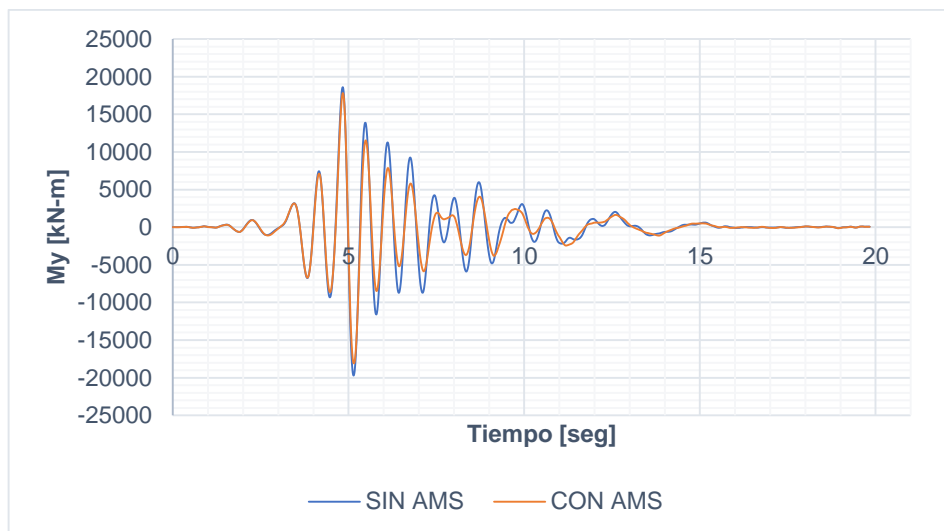
Gráfica B-1.16. Cortante V_y (E. 7 niveles) – Sismo Friuli.



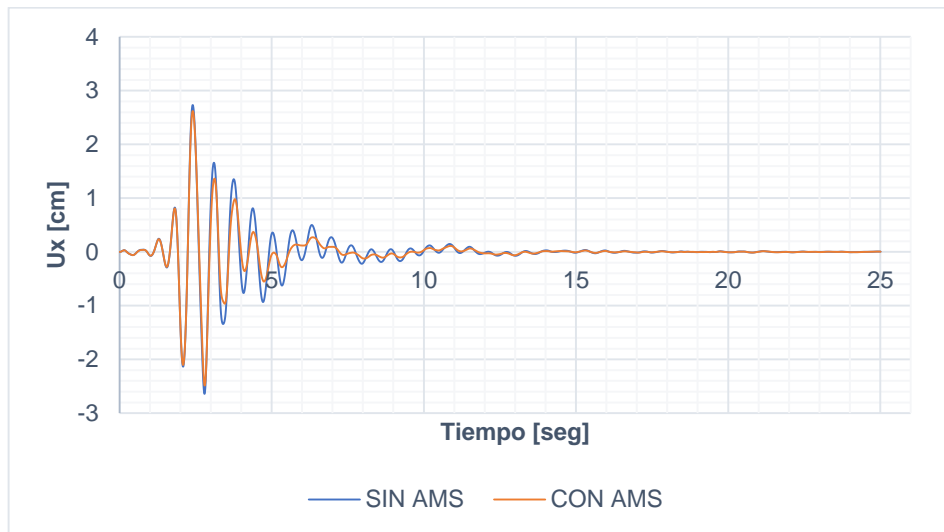
Gráfica B-1.17. Momento Mx (E. 7 niveles) – Sismo Friuli.



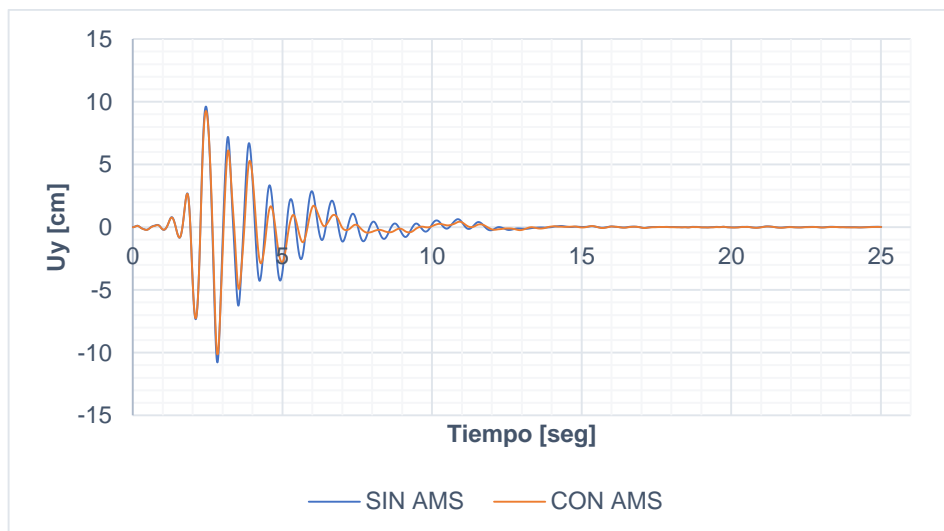
Gráfica B-1.18. Momento My (E. 7 niveles) – Sismo Friuli.



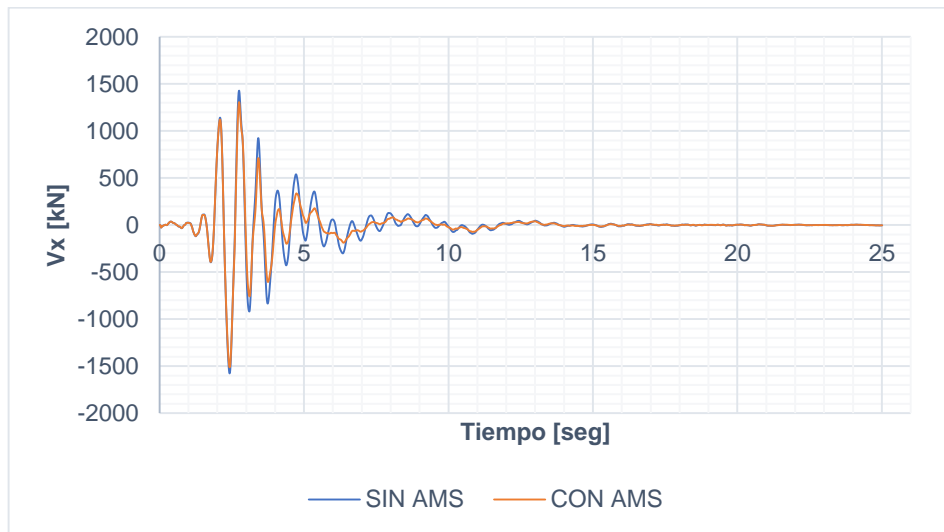
Gráfica B-1.19. Desplazamiento Ux (E. 7 niveles) – Sismo Helena.



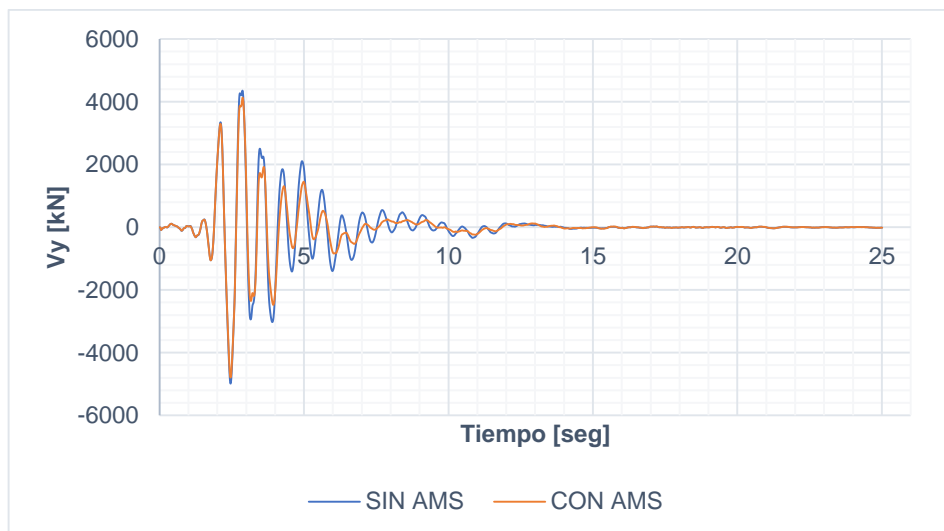
Gráfica B-1.20. Desplazamiento Uy (E. 7 niveles) – Sismo Helena.



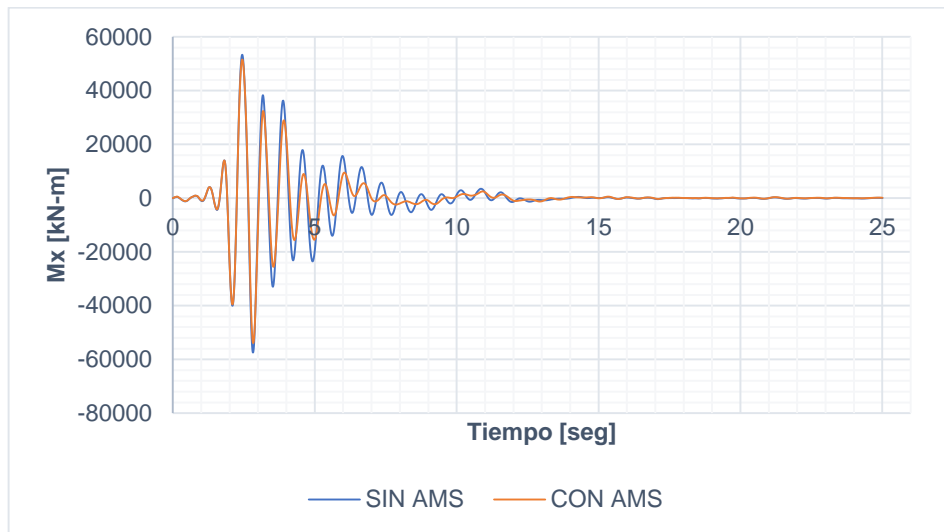
Gráfica B-1.21. Cortante V_x (E. 7 niveles) – Sismo Helena.



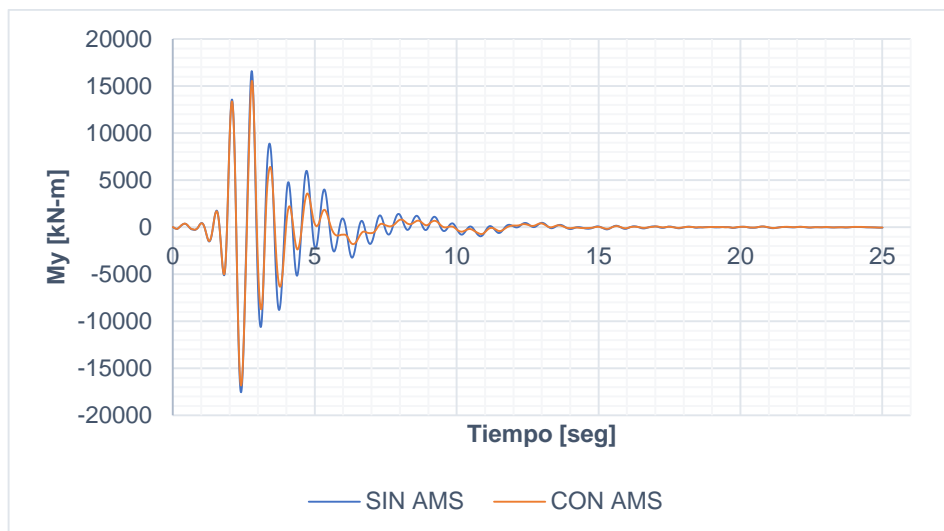
Gráfica B-1.22. Cortante V_y (E. 7 niveles) – Sismo Helena.



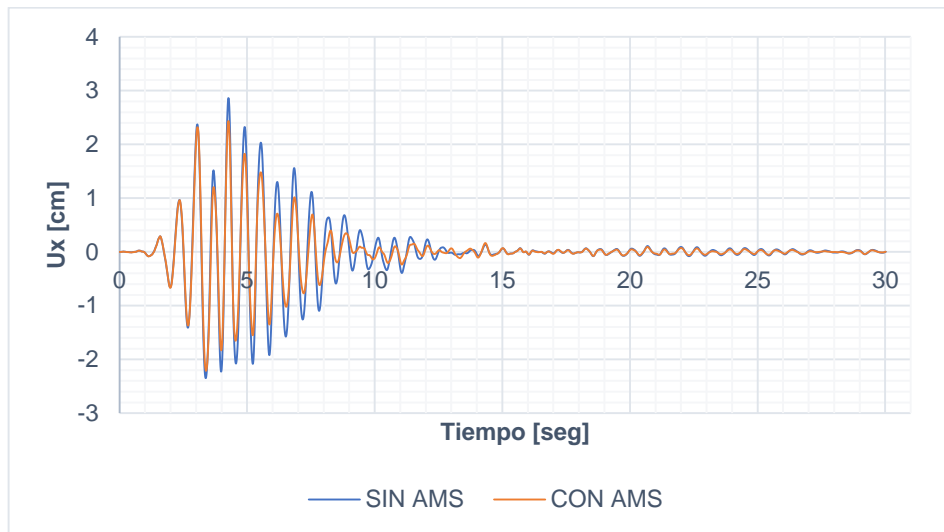
Gráfica B-1.23. Momento M_x (E. 7 niveles) – Sismo Helena.



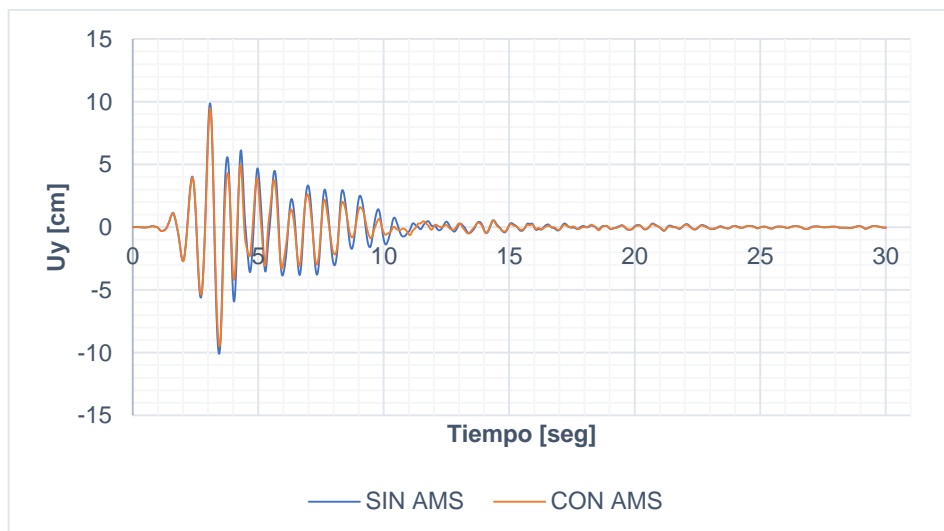
Gráfica B-1.24. Momento M_y (E. 7 niveles) – Sismo Helena.



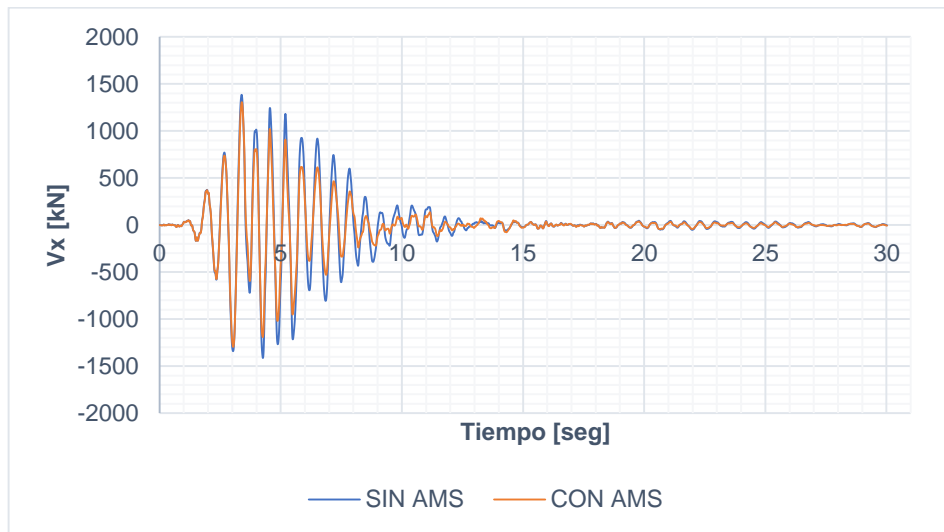
Gráfica B-1.25. Desplazamiento U_x (E. 7 niveles) – Sismo Loma.



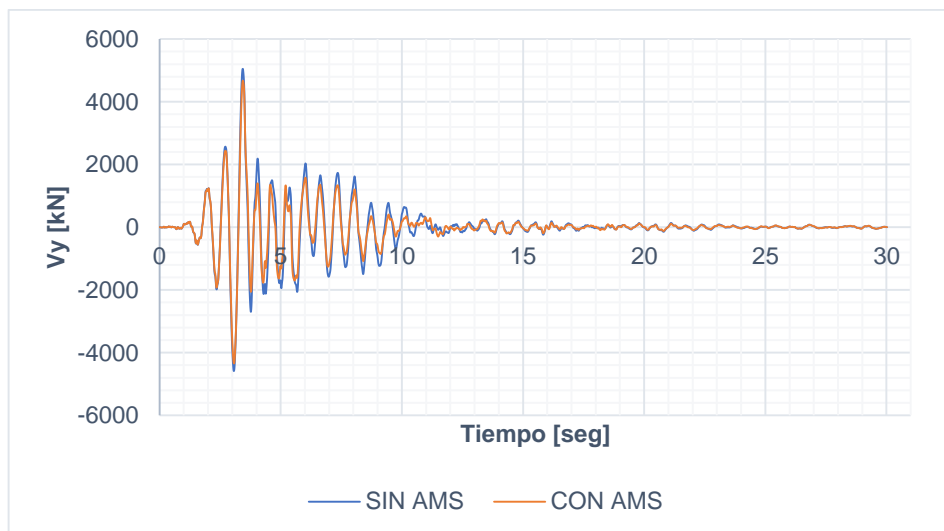
Gráfica B-1.26. Desplazamiento U_y (E. 7 niveles) – Sismo Loma.



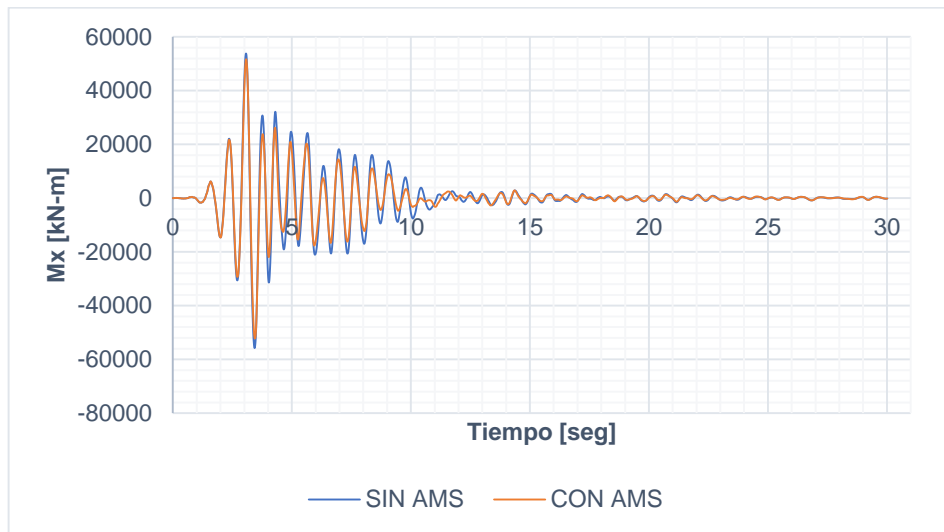
Gráfica B-1.27. Cortante V_x (E. 7 niveles) – Sismo Loma.



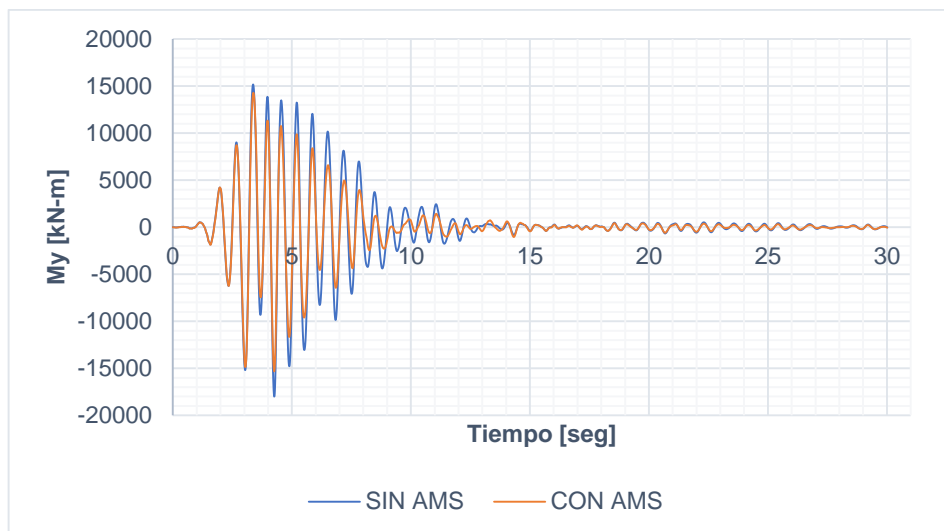
Gráfica B-1.28. Cortante V_y (E. 7 niveles) – Sismo Loma.



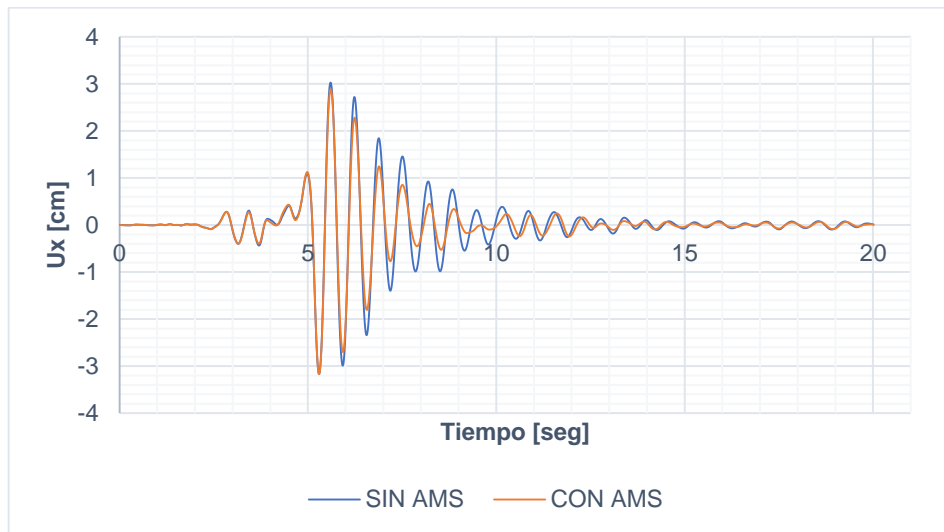
Gráfica B-1.29. Momento Mx (E. 7 niveles) – Sismo Loma.



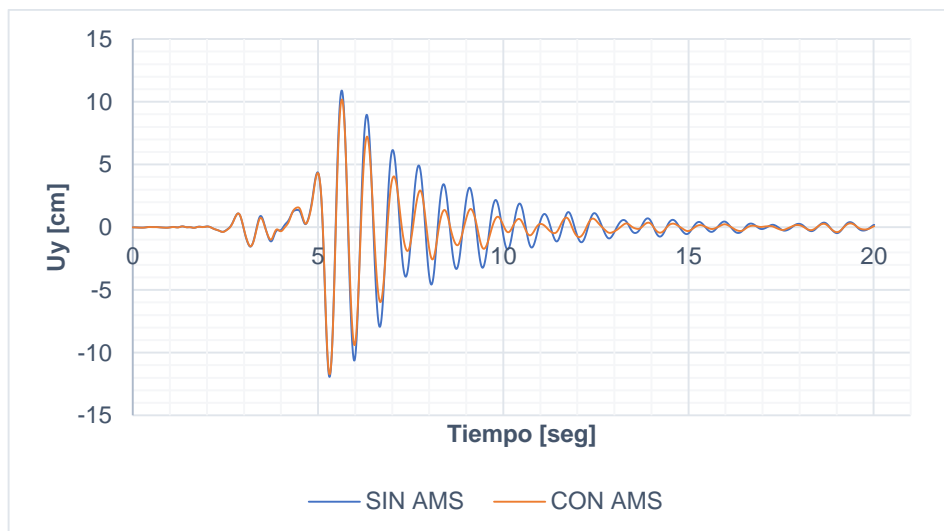
Gráfica B-1.30. Momento My (E. 7 niveles) – Sismo Loma.



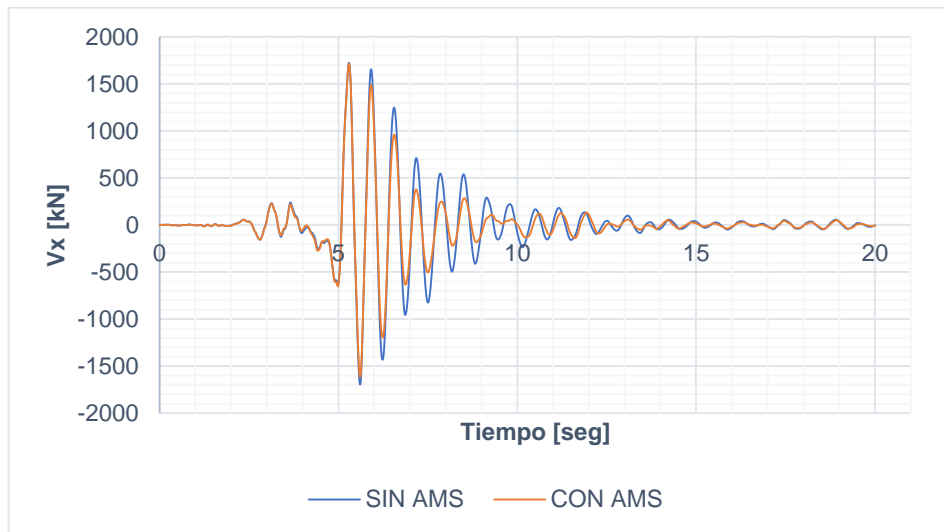
Gráfica B-1.31. Desplazamiento U_x (E. 7 niveles) – Sismo Mammoth.



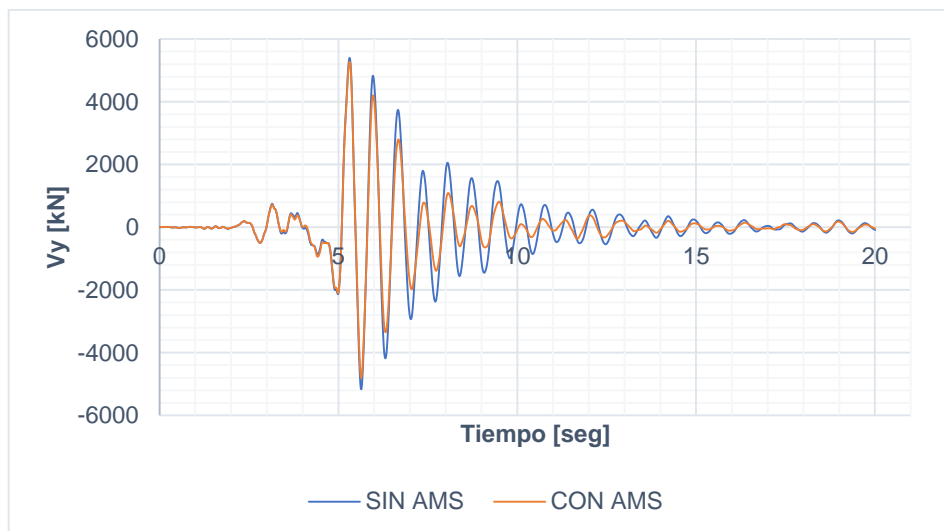
Gráfica B-1.32. Desplazamiento U_y (E. 7 niveles) – Sismo Mammoth.



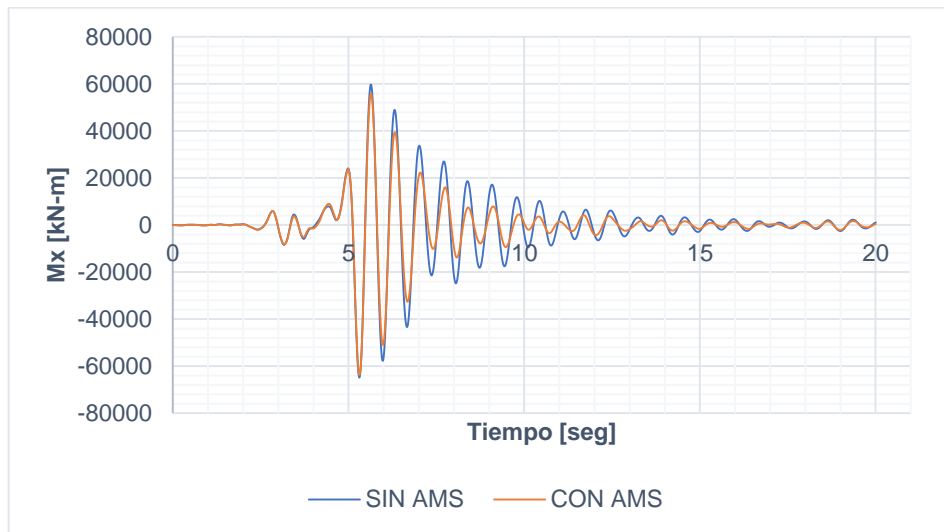
Gráfica B-1.33. Cortante V_x (E. 7 niveles) – Sismo Mammoth.



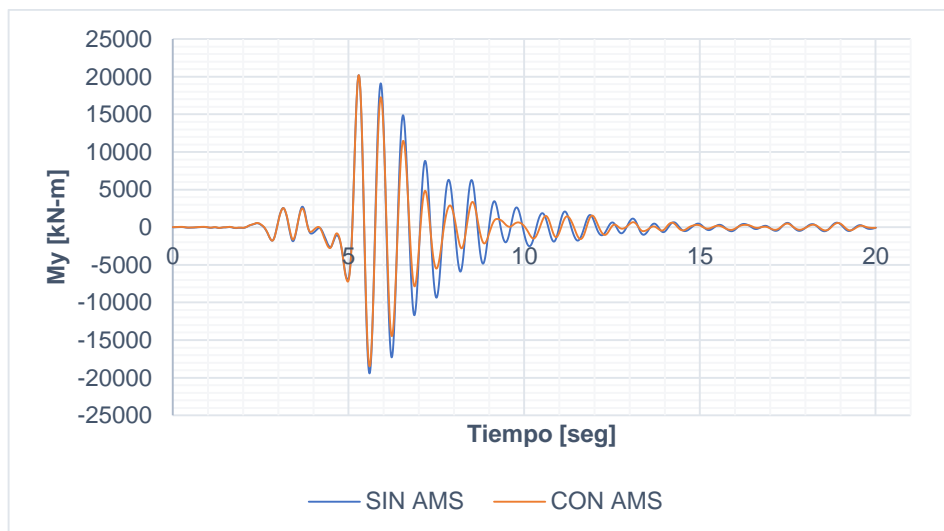
Gráfica B-1.34. Cortante V_y (E. 7 niveles) – Sismo Mammoth.



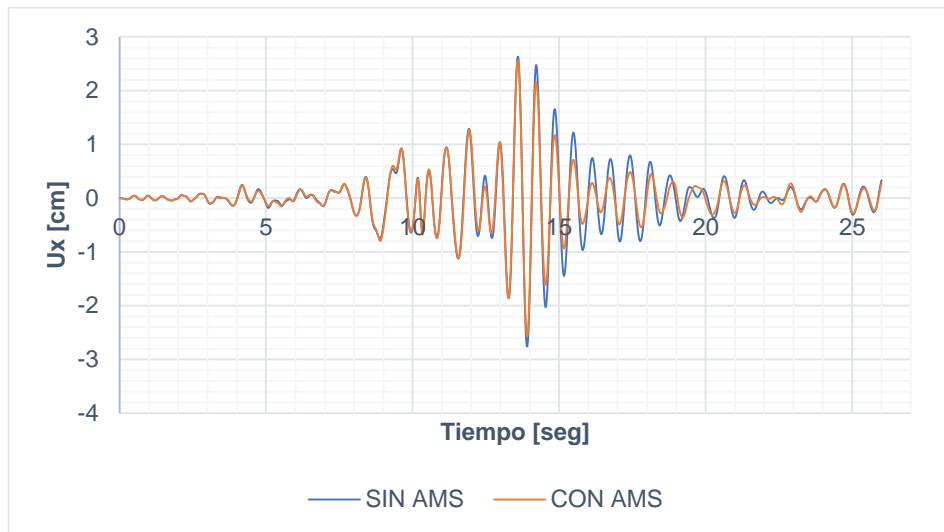
Gráfica B-1.35. Momento M_x (E. 7 niveles) – Sismo Mammoth.



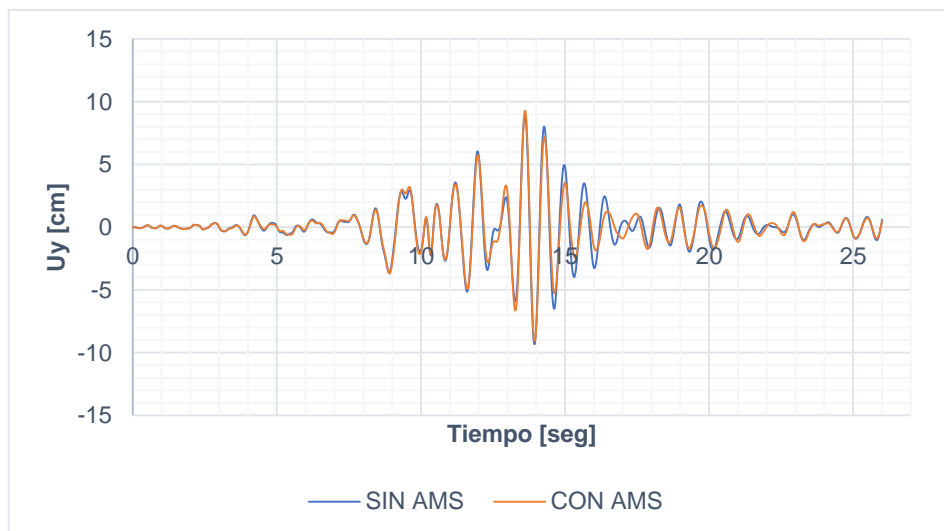
Gráfica B-1.36. Momento M_y (E. 7 niveles) – Sismo Mammoth.



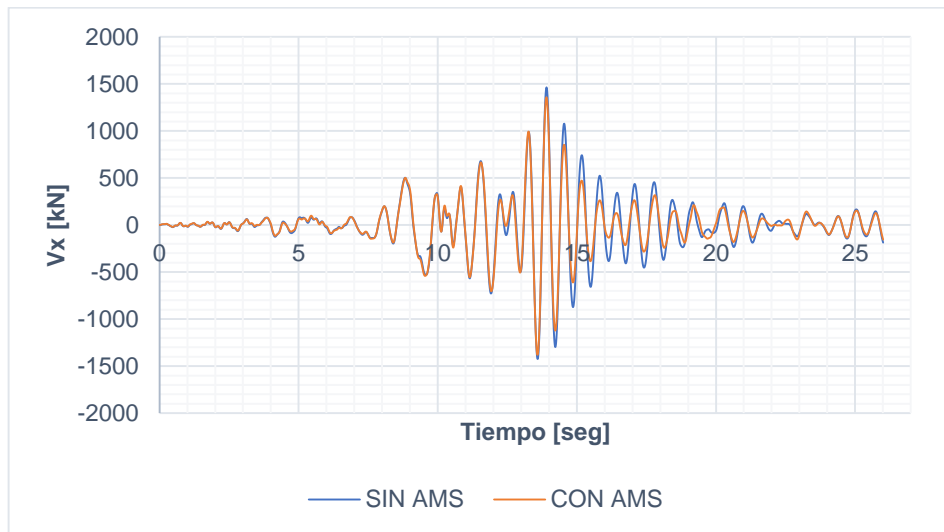
Gráfica B-1.37. Desplazamiento U_x (E. 7 niveles) – Sismo Mendocino.



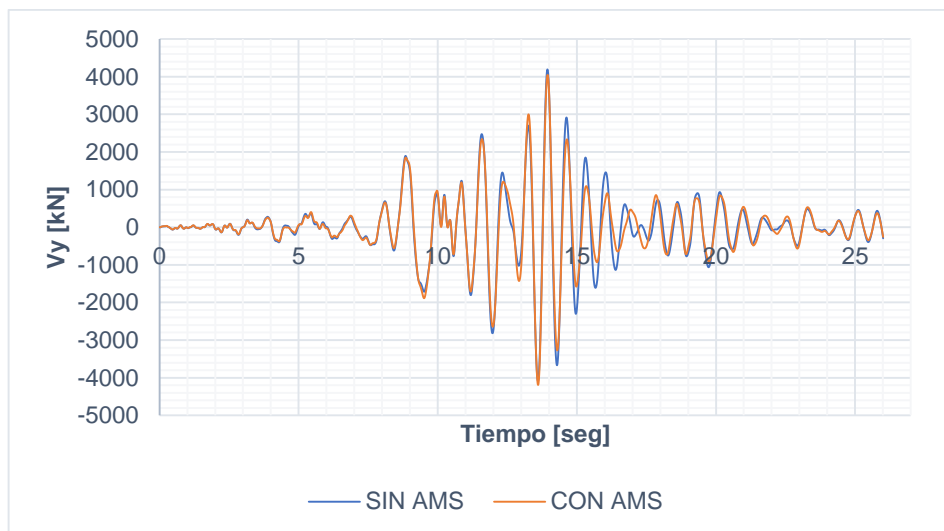
Gráfica B-1.38. Desplazamiento U_y (E. 7 niveles) – Sismo Mendocino.



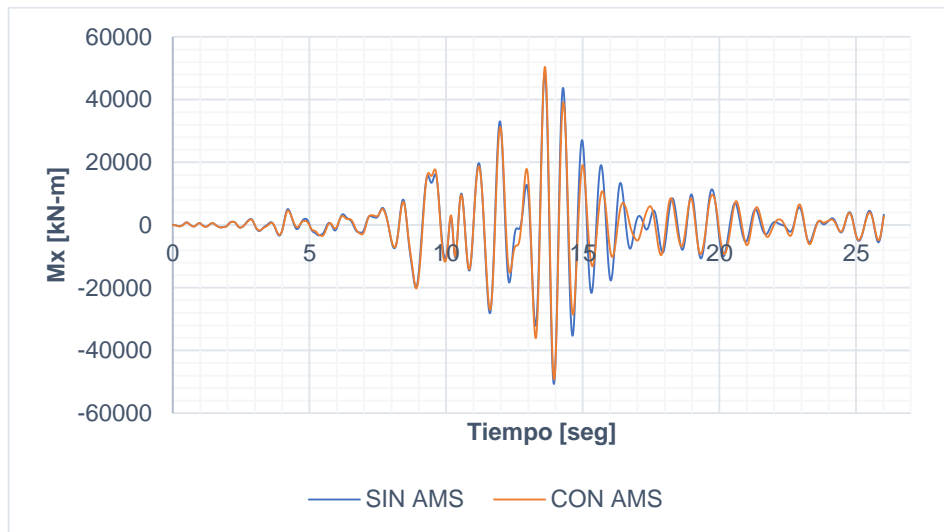
Gráfica B-1.39. Cortante V_x (E. 7 niveles) – Sismo Mendocino.



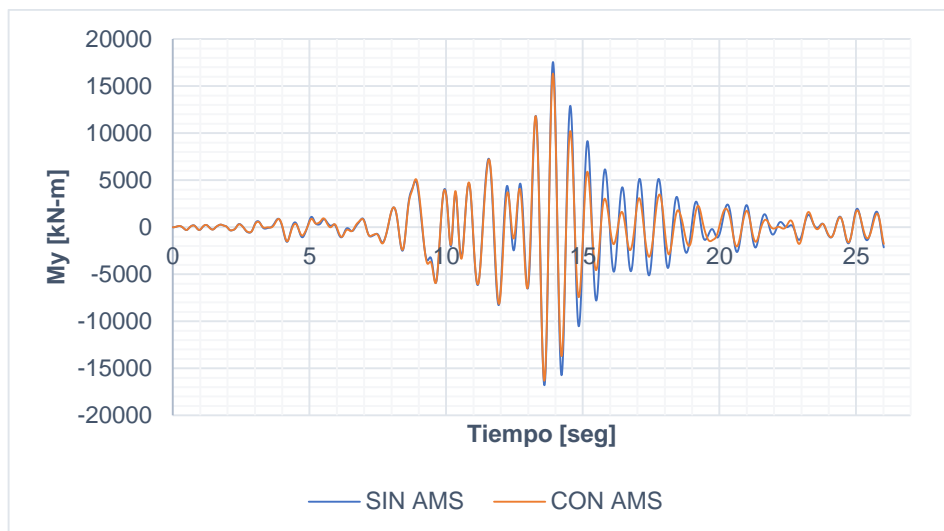
Gráfica B-1.40. Cortante V_y (E. 7 niveles) – Sismo Mendocino.



Gráfica B-1.41. Momento Mx (E. 7 niveles) – Sismo Mendocino.

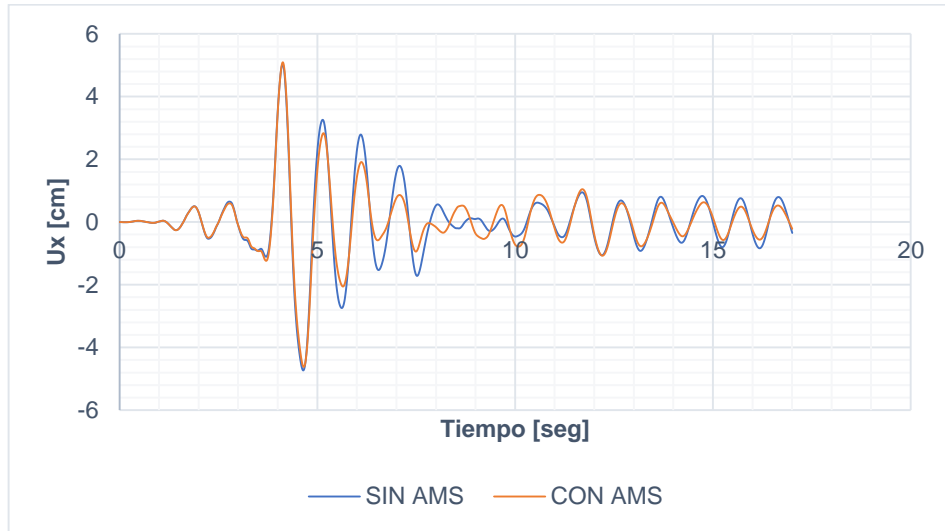


Gráfica B-1.42. Momento My (E. 7 niveles) – Sismo Mendocino.

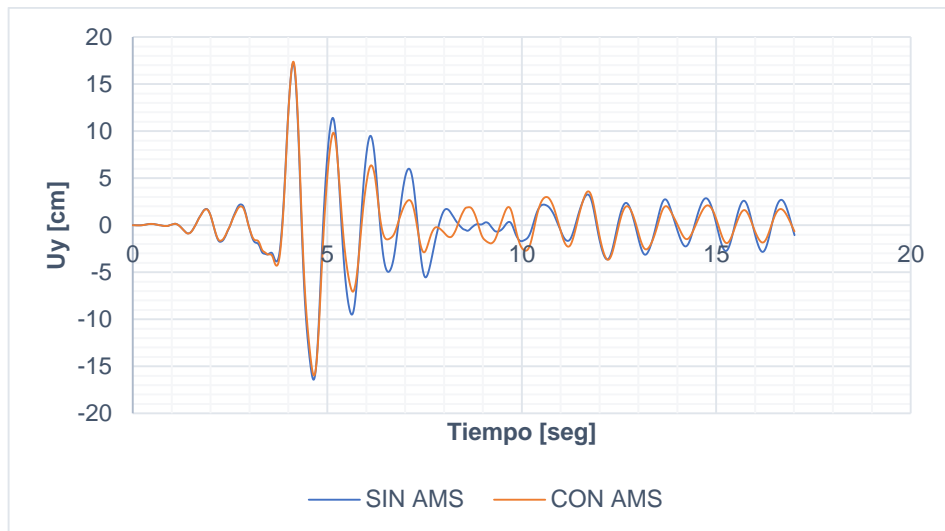


ANEXO B-2. EDIFICIO 10 NIVELES

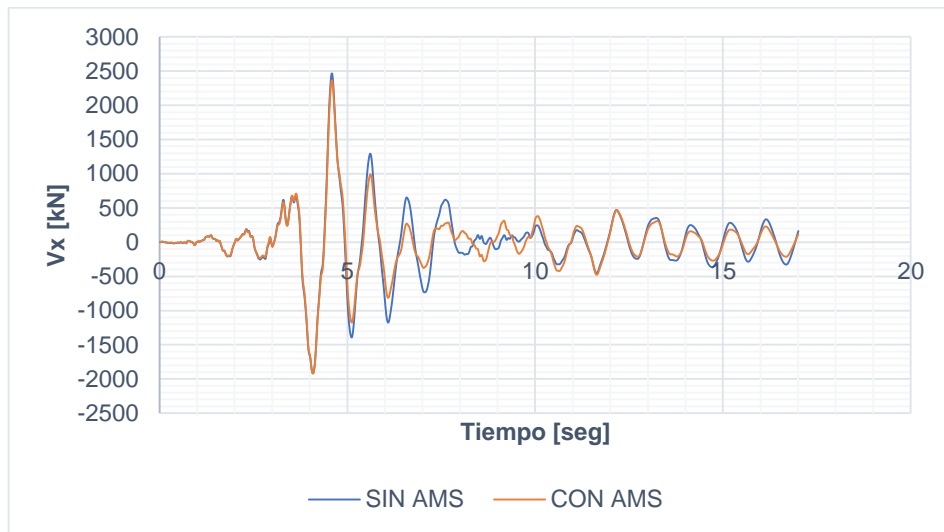
Gráfica B-2.1. Desplazamiento U_x (E. 10 niveles) – Sismo Coalinga.



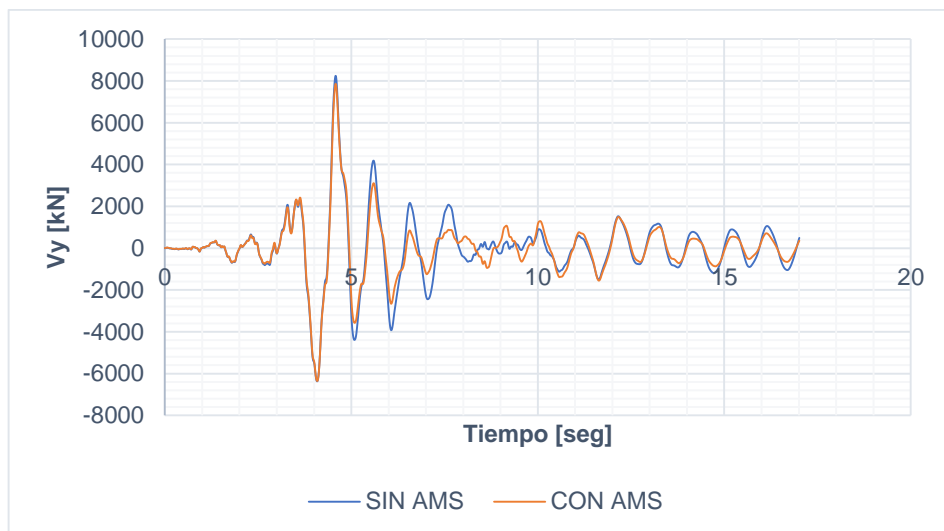
Gráfica B-2.2. Desplazamiento U_y (E. 10 niveles) – Sismo Coalinga.



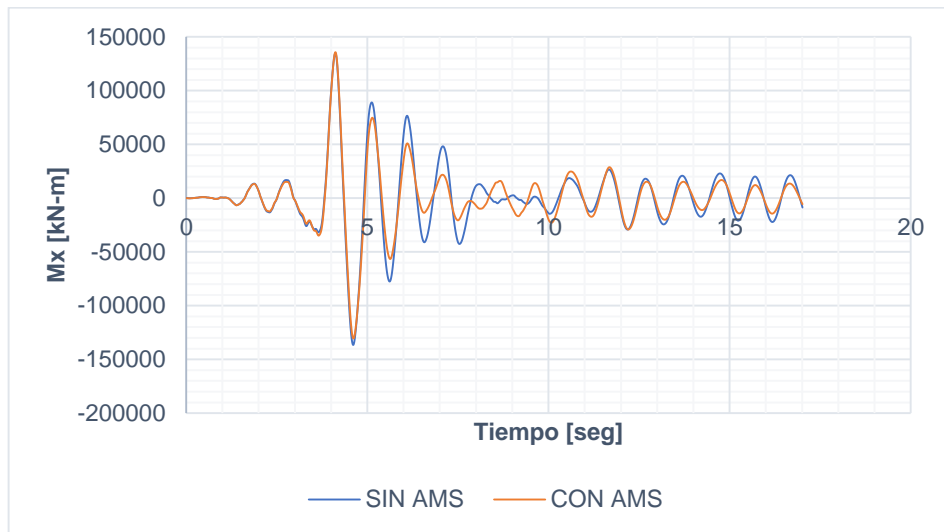
Gráfica B-2.3. Cortante V_x (E. 10 niveles) – Sismo Coalinga.



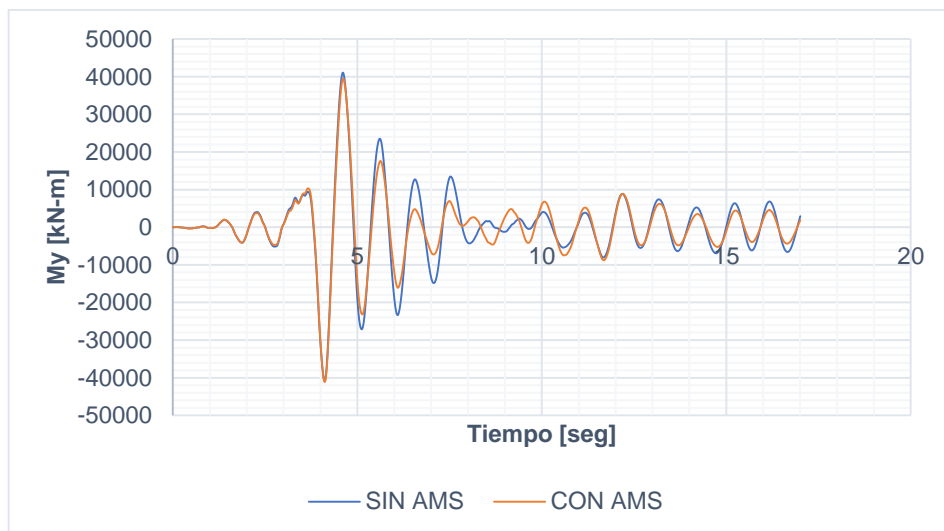
Gráfica B-2.4. Cortante V_y (E. 10 niveles) – Sismo Coalinga.



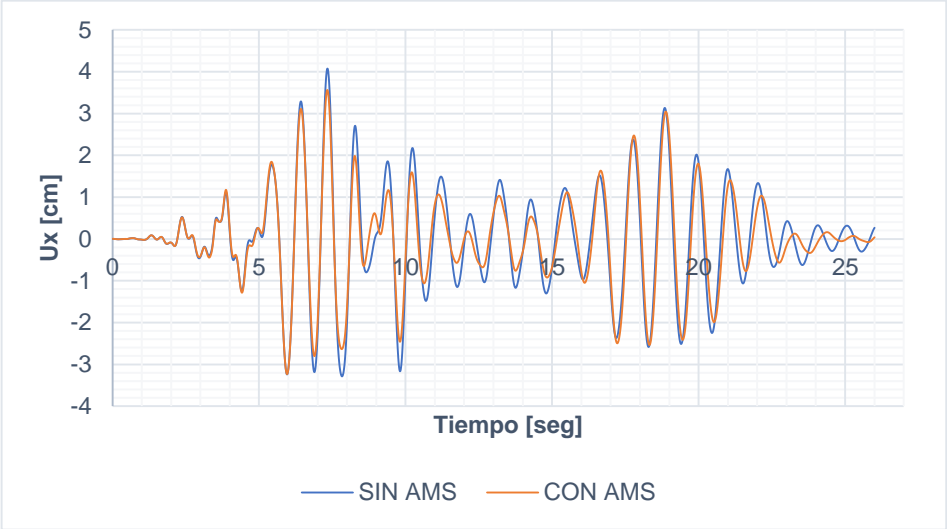
Gráfica B-2.5. Momento Mx (E. 10 niveles) – Sismo Coalinga.



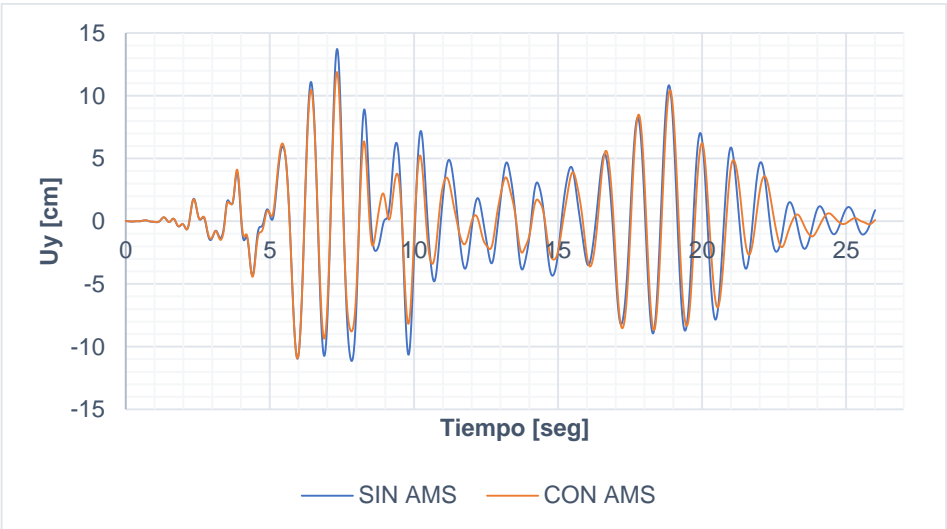
Gráfica B-2.6. Momento My (E. 10 niveles) – Sismo Coalinga.



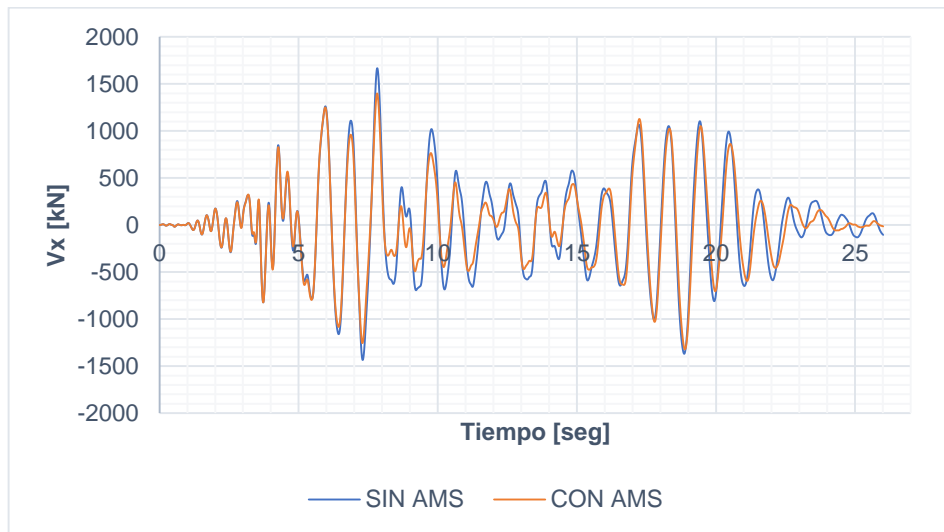
Gráfica B-2.7. Desplazamiento U_x (E. 10 niveles) – Sismo Duzce.



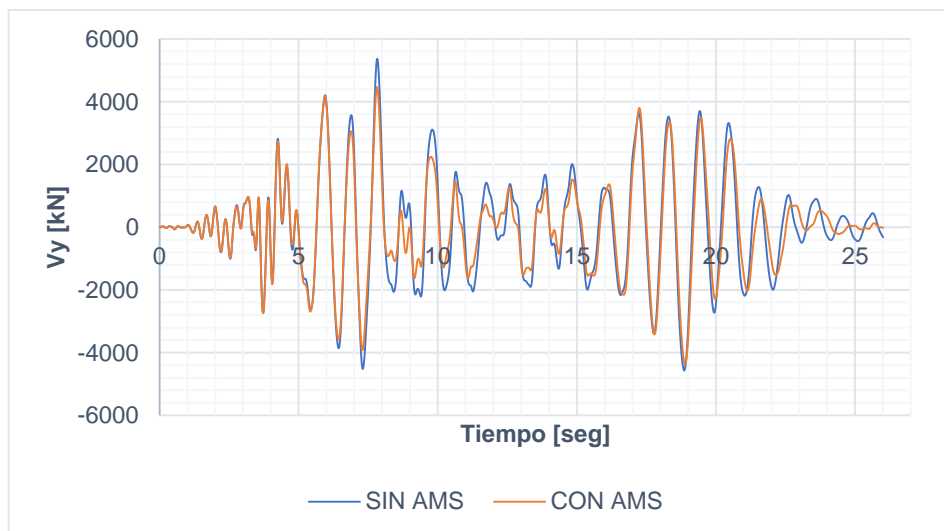
Gráfica B-2.8. Desplazamiento U_y (E. 10 niveles) – Sismo Duzce.



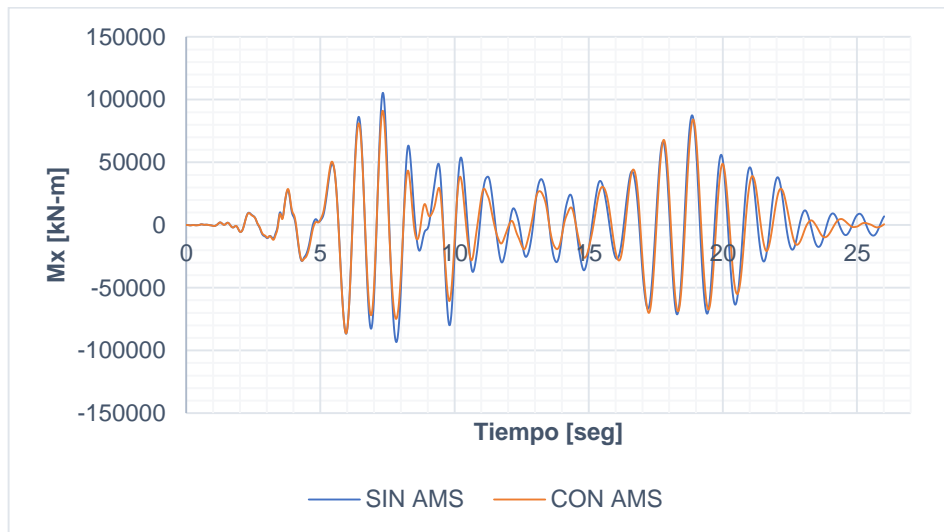
Gráfica B-2.9. Cortante V_x (E. 10 niveles) – Sismo Duzce.



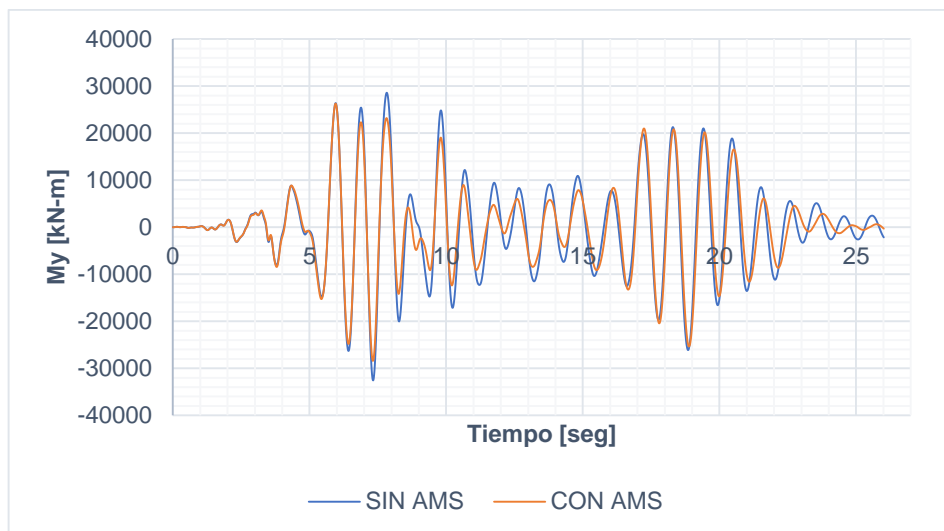
Gráfica B-2.10. Cortante V_y (E. 10 niveles) – Sismo Duzce.



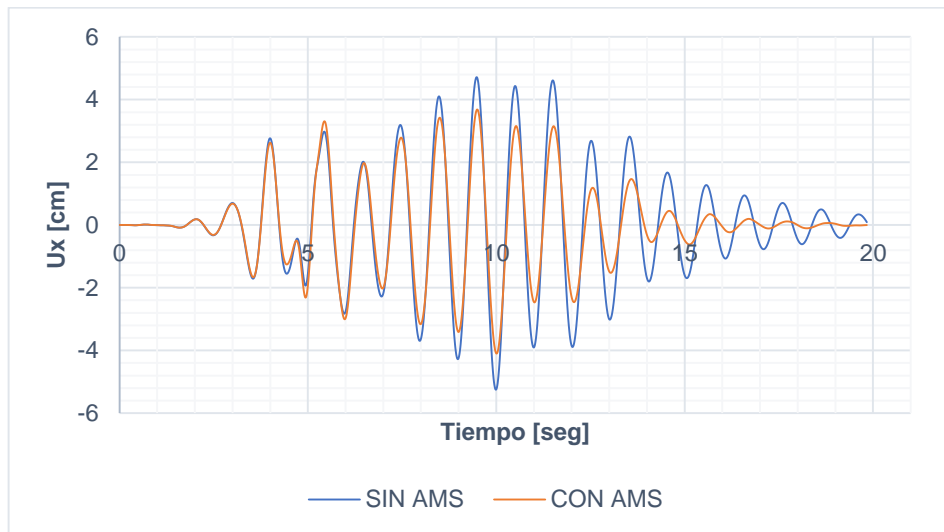
Gráfica B-2.11. Momento Mx (E. 10 niveles) – Sismo Duzce.



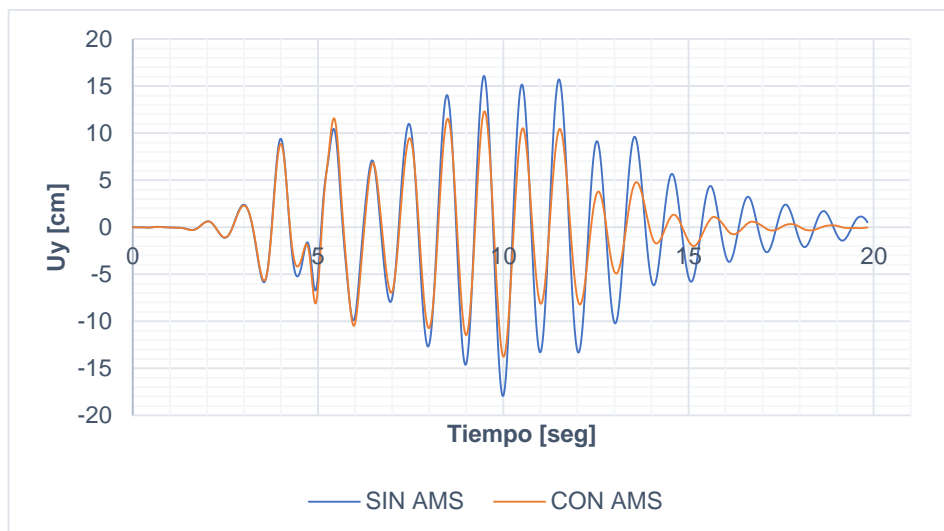
Gráfica B-2.12. Momento My (E. 10 niveles) – Sismo Duzce.



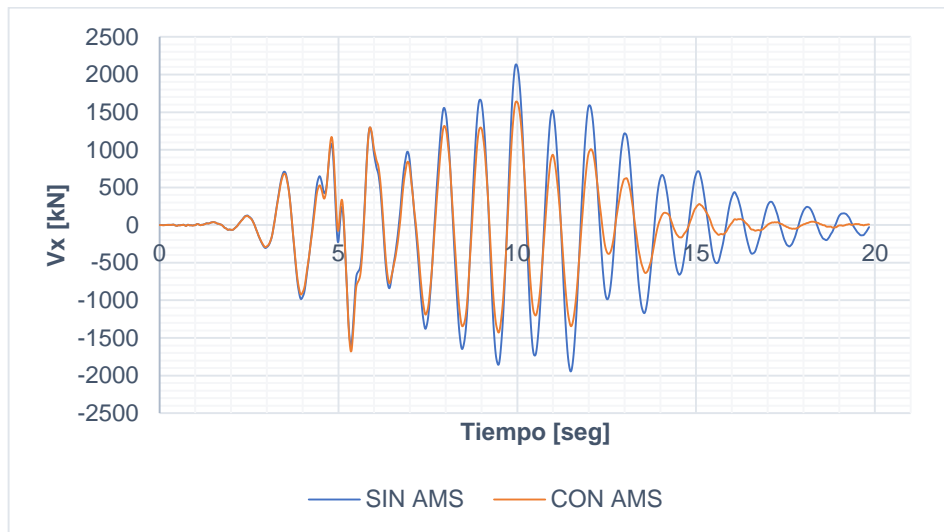
Gráfica B-2.13. Desplazamiento U_x (E. 10 niveles) – Sismo Friuli.



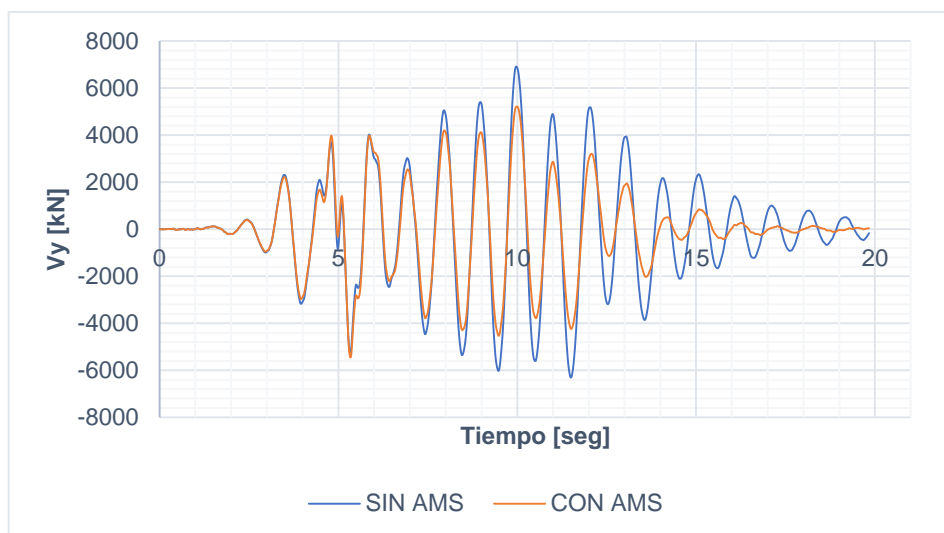
Gráfica B-2.14. Desplazamiento U_y (E. 10 niveles) – Sismo Friuli.



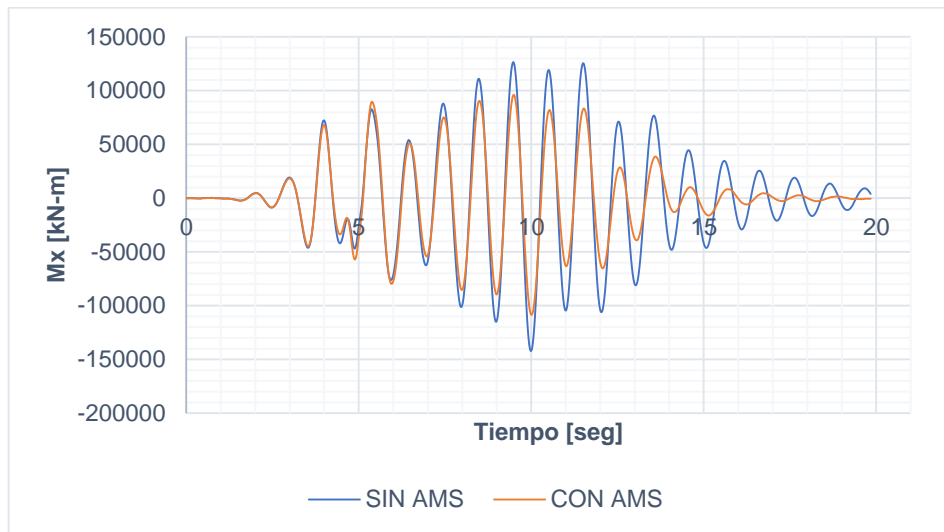
Gráfica B-2.15. Cortante V_x (E. 10 niveles) – Sismo Friuli.



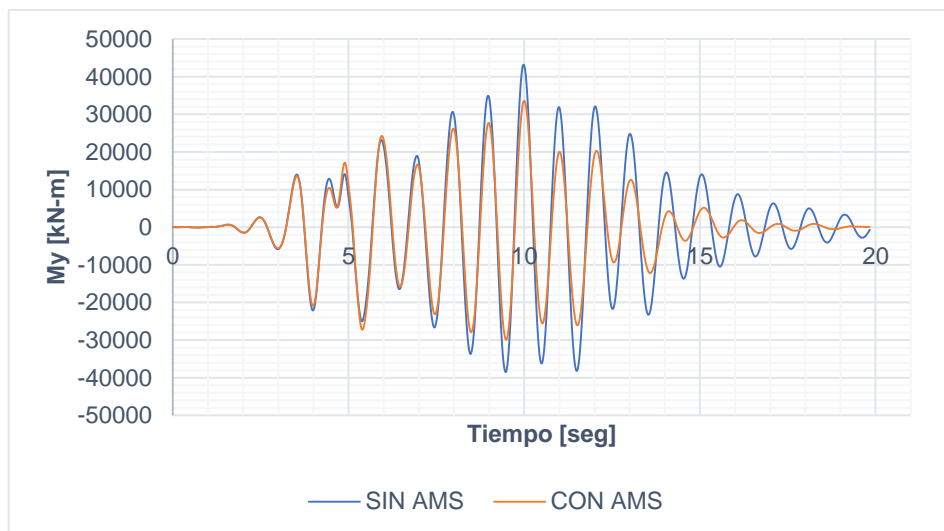
Gráfica B-2.16. Cortante V_y (E. 10 niveles) – Sismo Friuli.



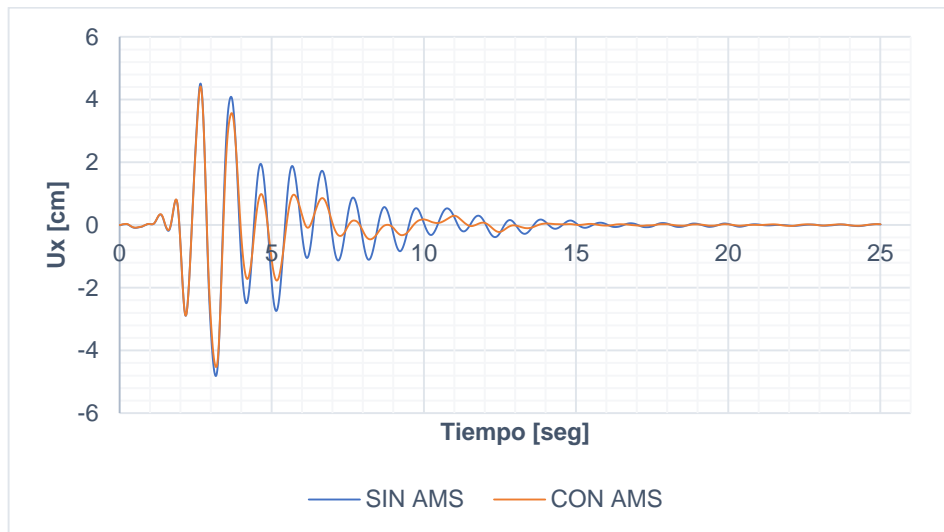
Gráfica B-2.17. Momento Mx (E. 10 niveles) – Sismo Friuli.



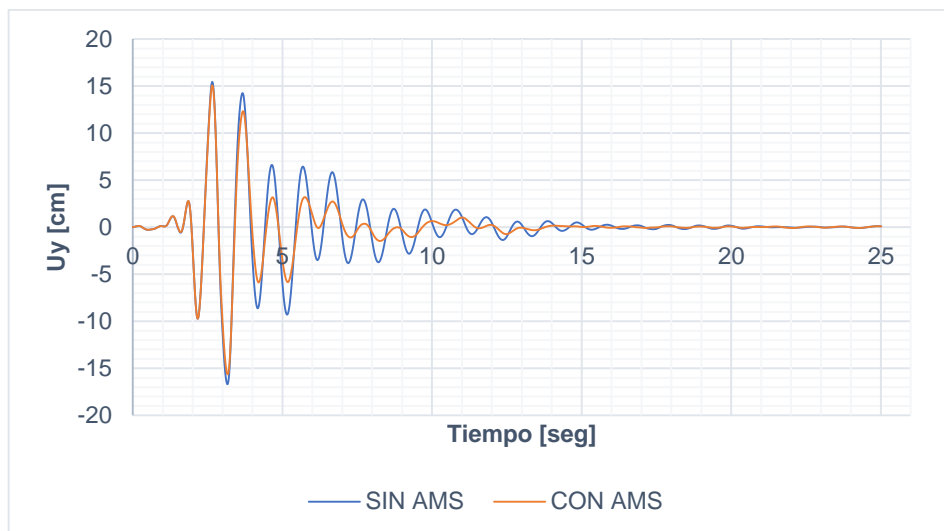
Gráfica B-2.18. Momento My (E. 10 niveles) – Sismo Friuli.



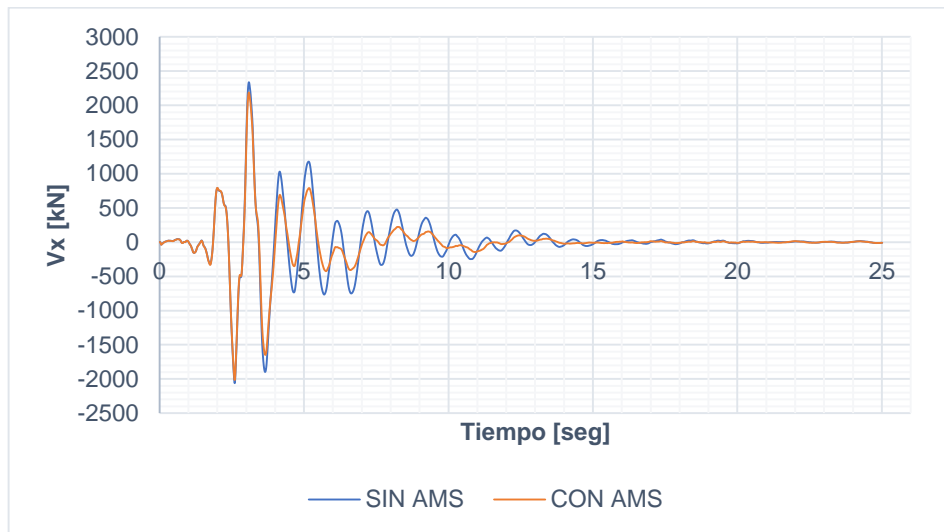
Gráfica B-2.19. Desplazamiento U_x (E. 10 niveles) – Sismo Helena.



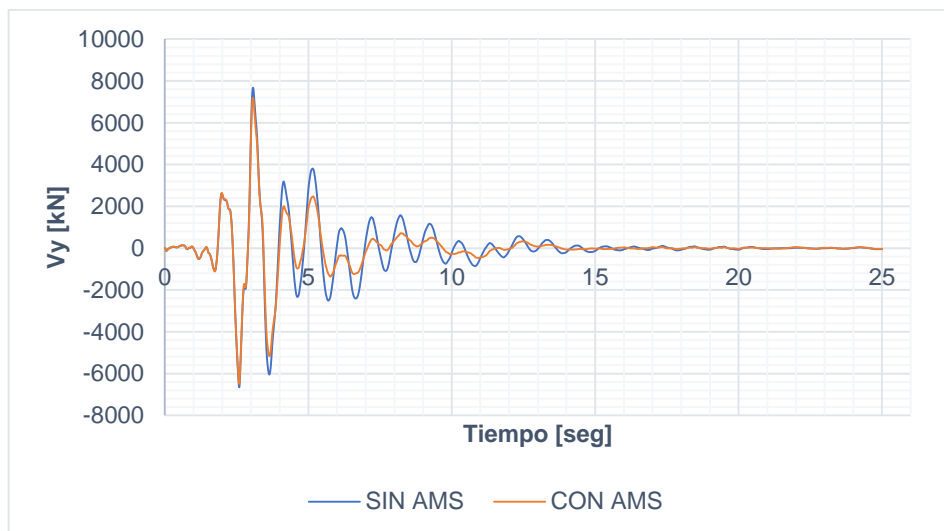
Gráfica B-2.20. Desplazamiento U_y (E. 10 niveles) – Sismo Helena.



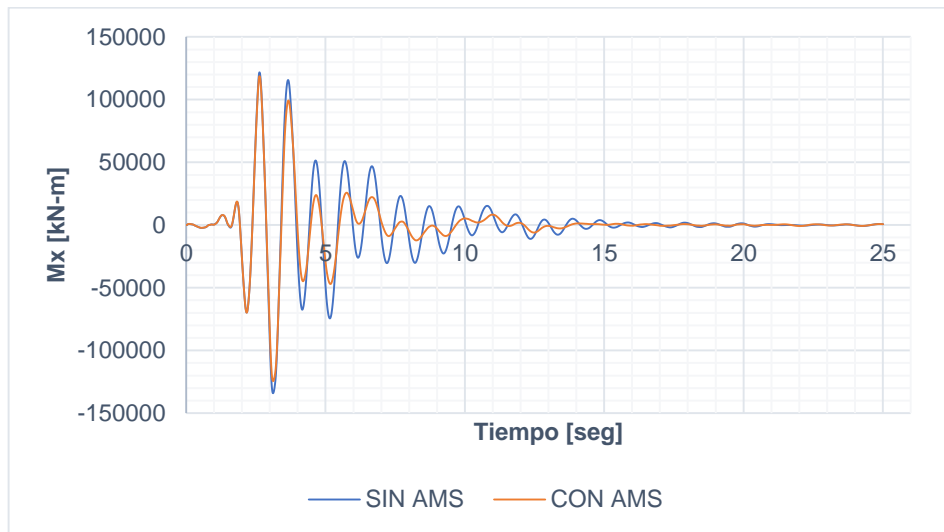
Gráfica B-2.21. Cortante V_x (E. 10 niveles) – Sismo Helena.



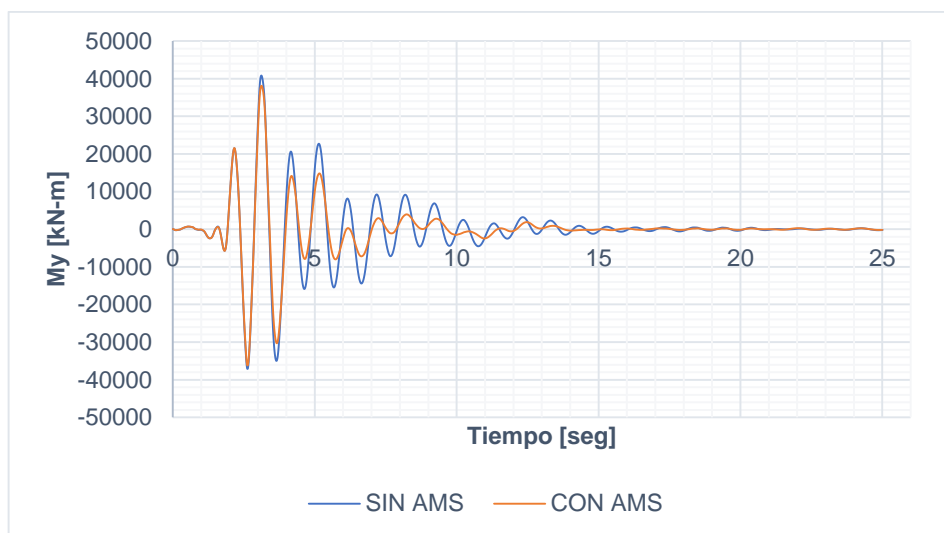
Gráfica B-2.22. Cortante V_y (E. 10 niveles) – Sismo Helena.



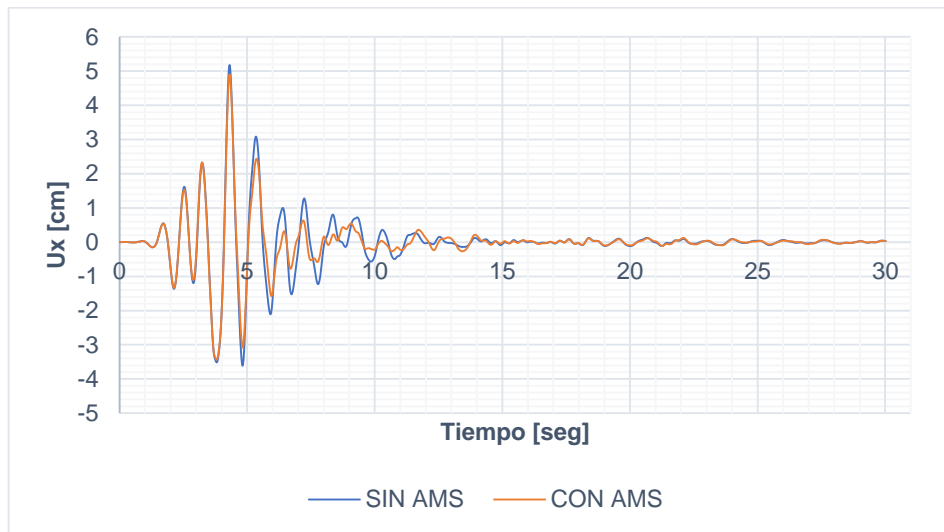
Gráfica B-2.23. Momento Mx (E. 10 niveles) – Sismo Helena.



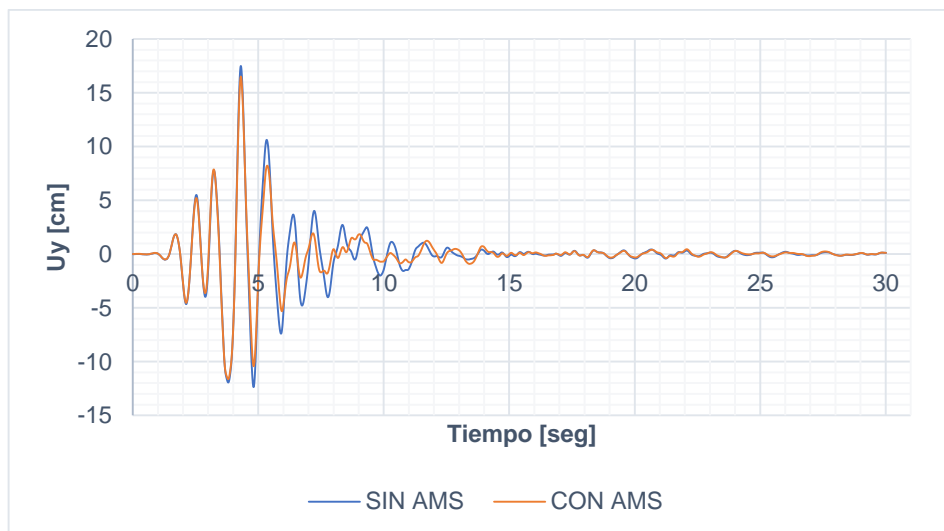
Gráfica B-2.24. Momento My (E. 10 niveles) – Sismo Helena.



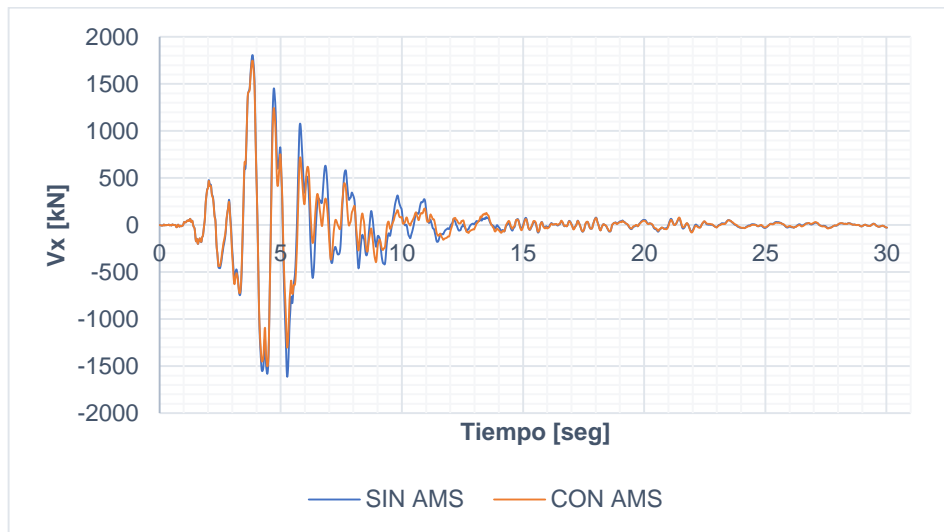
Gráfica B-2.25. Desplazamiento U_x (E. 10 niveles) – Sismo Loma.



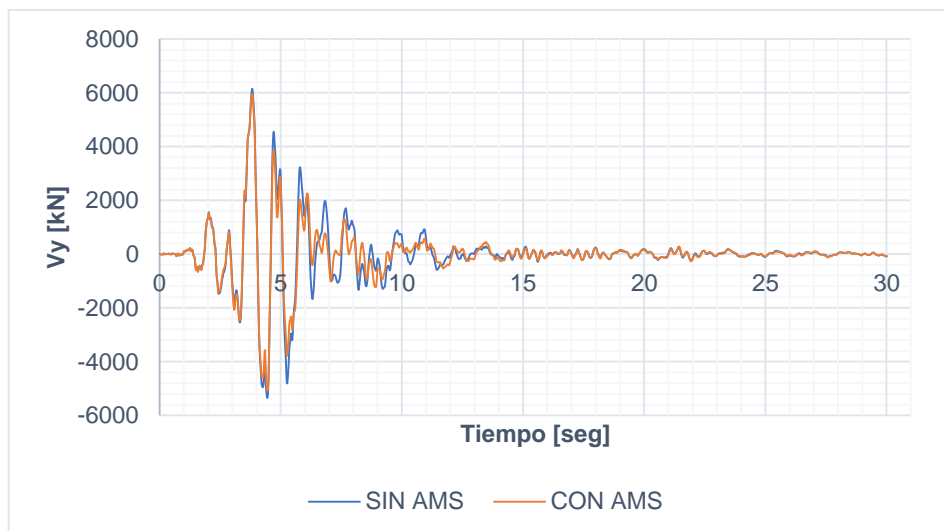
Gráfica B-2.26. Desplazamiento U_y (E. 10 niveles) – Sismo Loma.



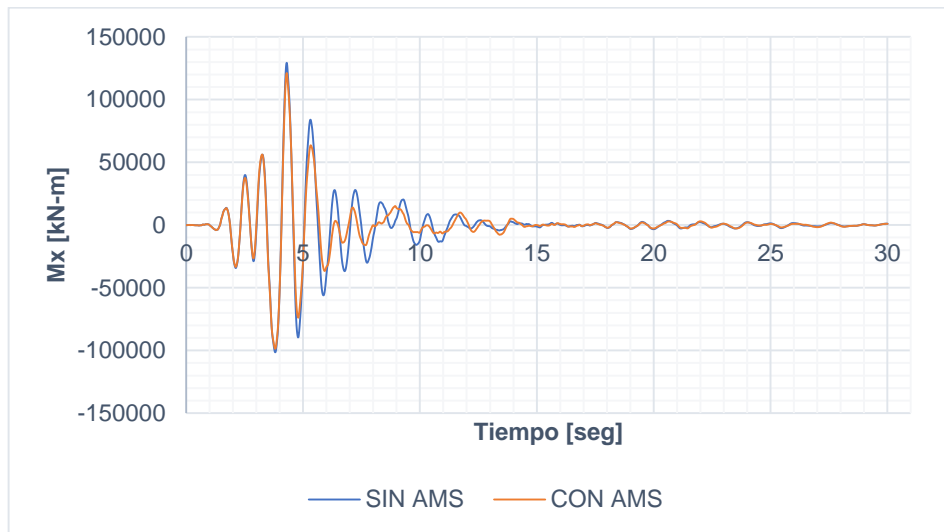
Gráfica B-2.27. Cortante V_x (E. 10 niveles) – Sismo Loma.



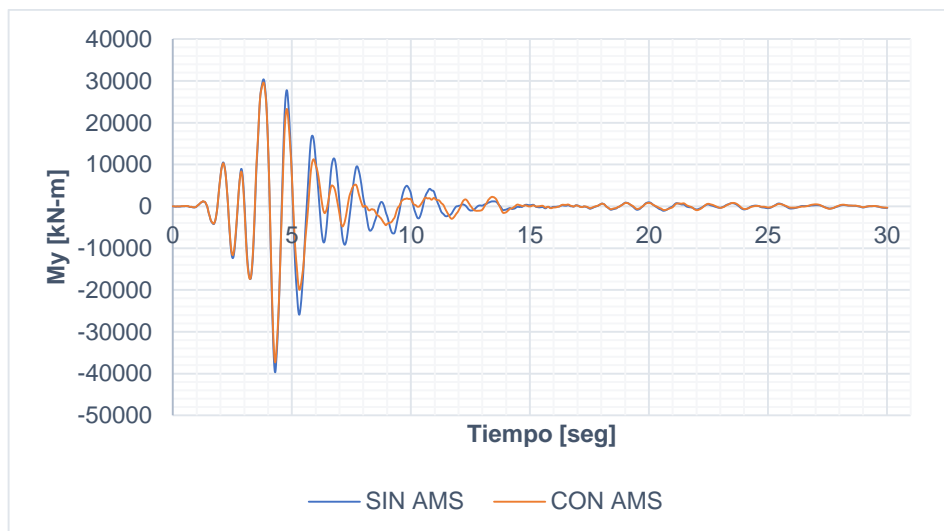
Gráfica B-2.28. Cortante V_y (E. 10 niveles) – Sismo Loma.



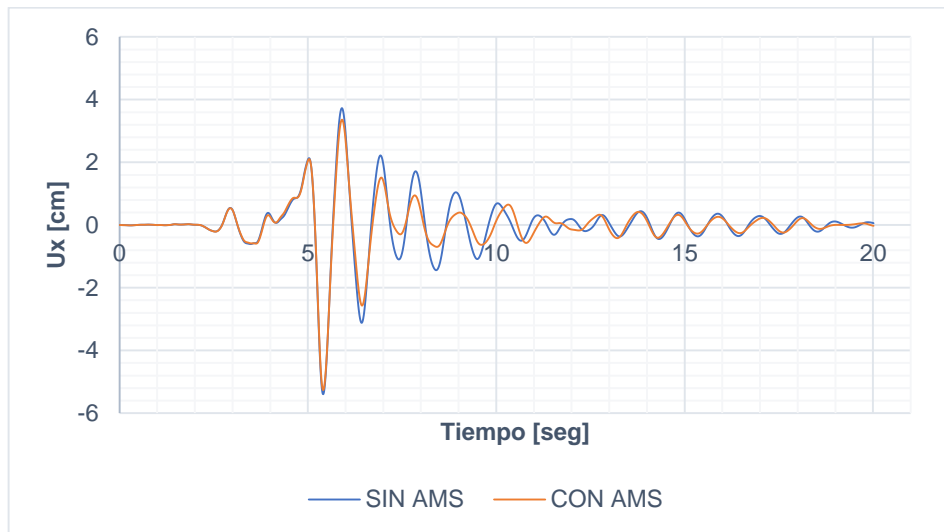
Gráfica B-2.29. Momento Mx (E. 10 niveles) – Sismo Loma.



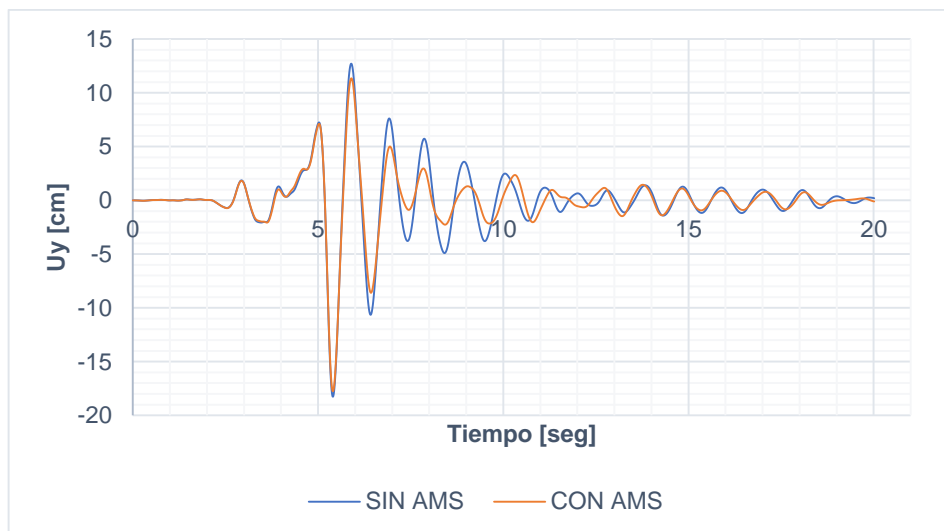
Gráfica B-2.30. Momento My (E. 10 niveles) – Sismo Loma.



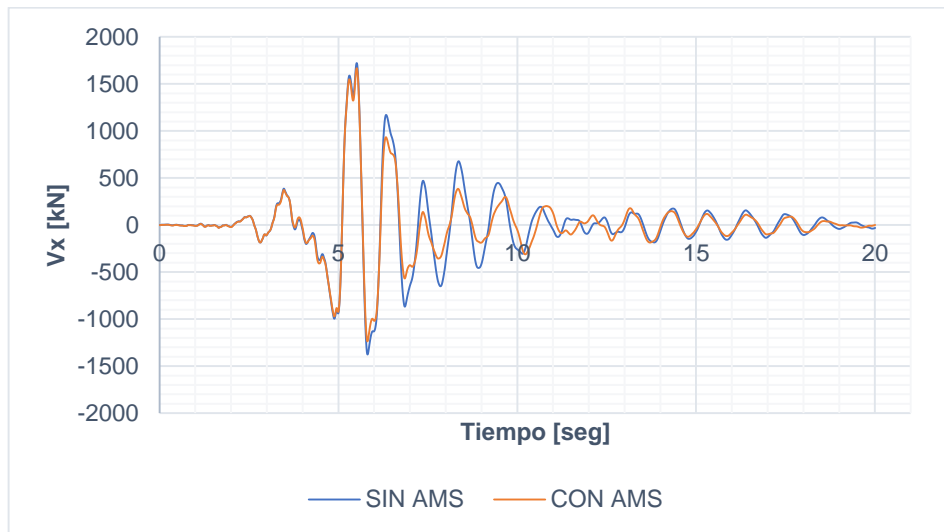
Gráfica B-2.31. Desplazamiento U_x (E. 10 niveles) – Sismo Mammoth.



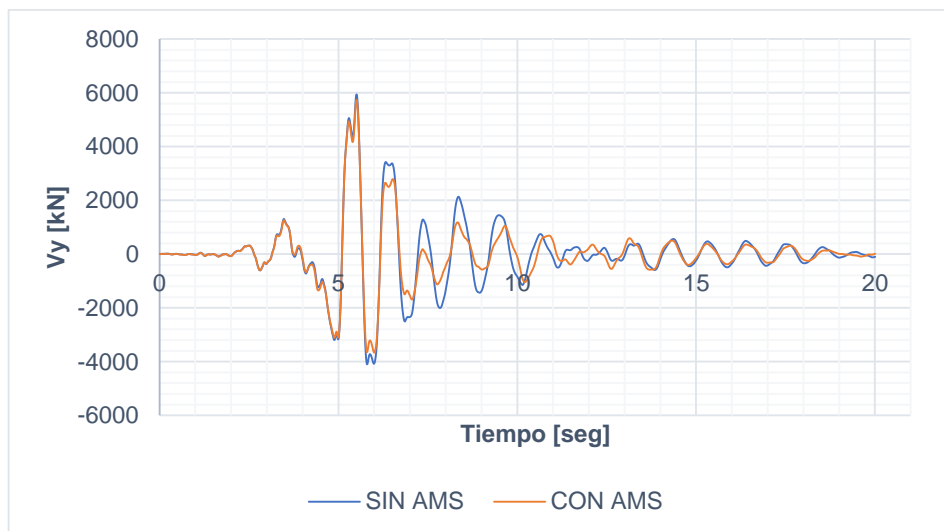
Gráfica B-2.32. Desplazamiento U_y (E. 10 niveles) – Sismo Mammoth.



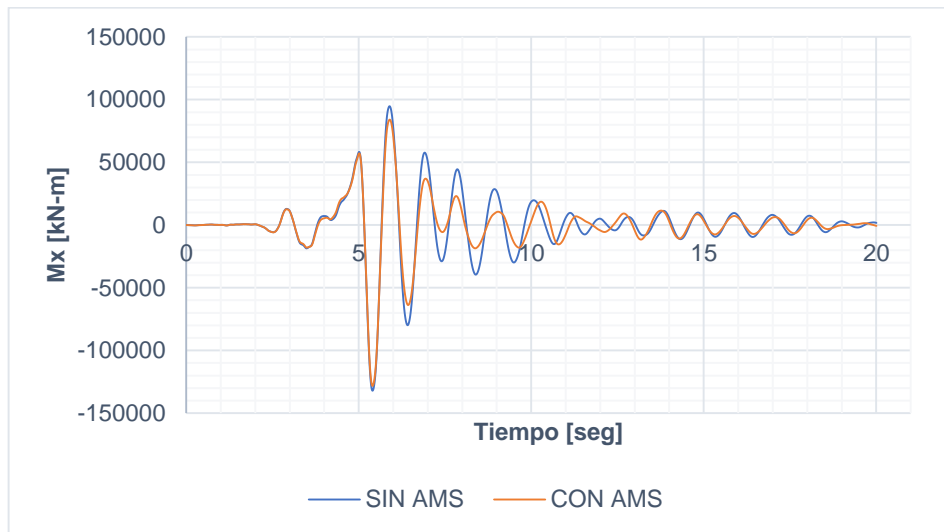
Gráfica B-2.33. Cortante V_x (E. 10 niveles) – Sismo Mammoth.



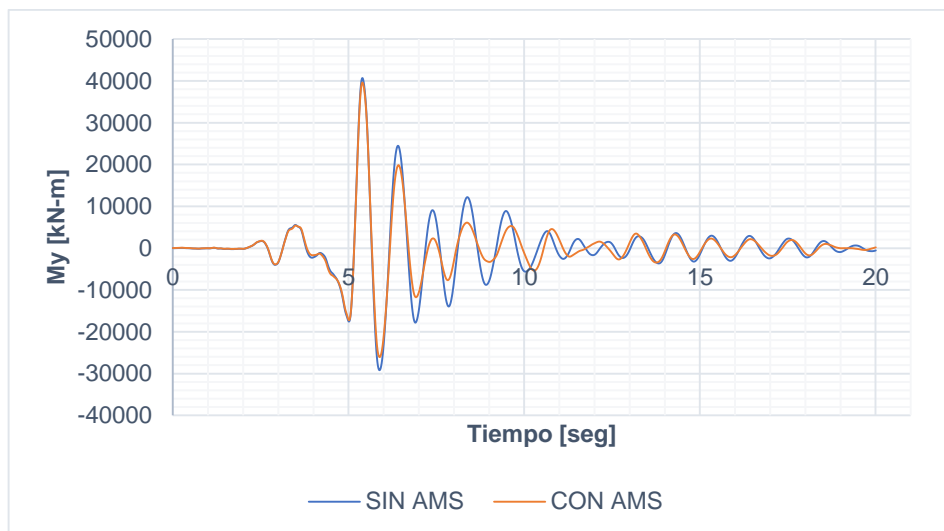
Gráfica B-2.34. Cortante V_y (E. 10 niveles) – Sismo Mammoth.



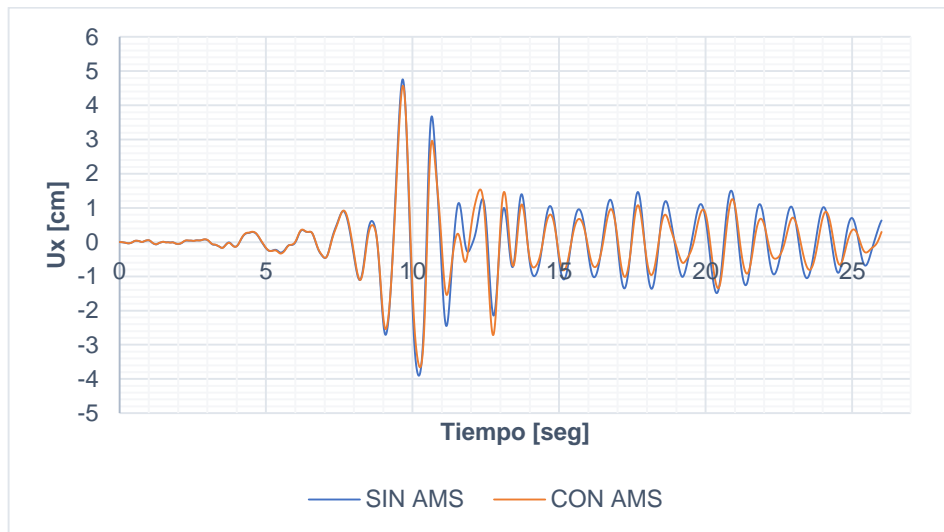
Gráfica B-2.35. Momento Mx (E. 10 niveles) – Sismo Mammoth.



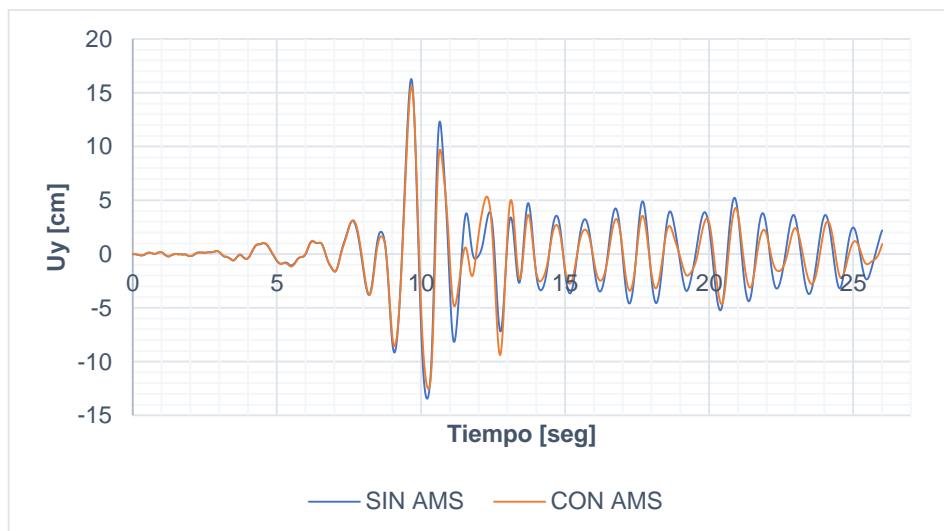
Gráfica B-2.36. Momento My (E. 10 niveles) – Sismo Mammoth.



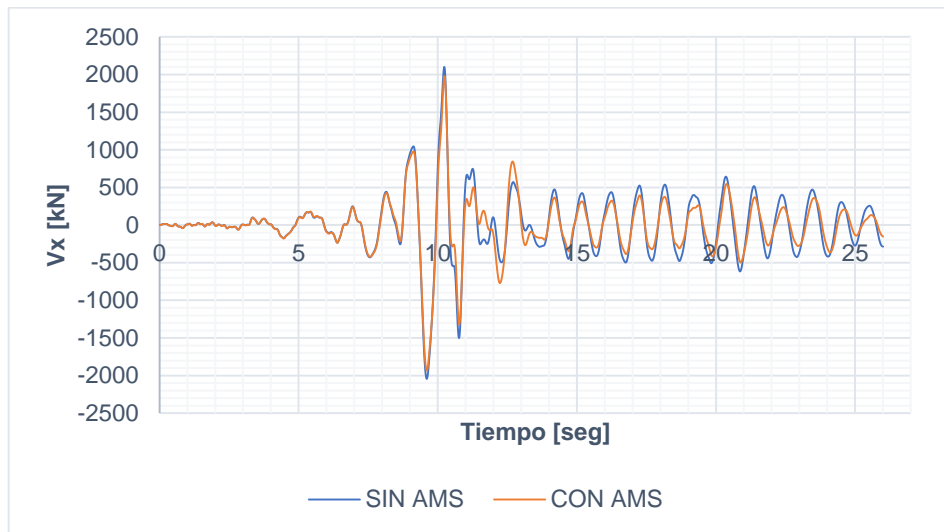
Gráfica B-2.37. Desplazamiento U_x (E. 10 niveles) – Sismo Mendocino.



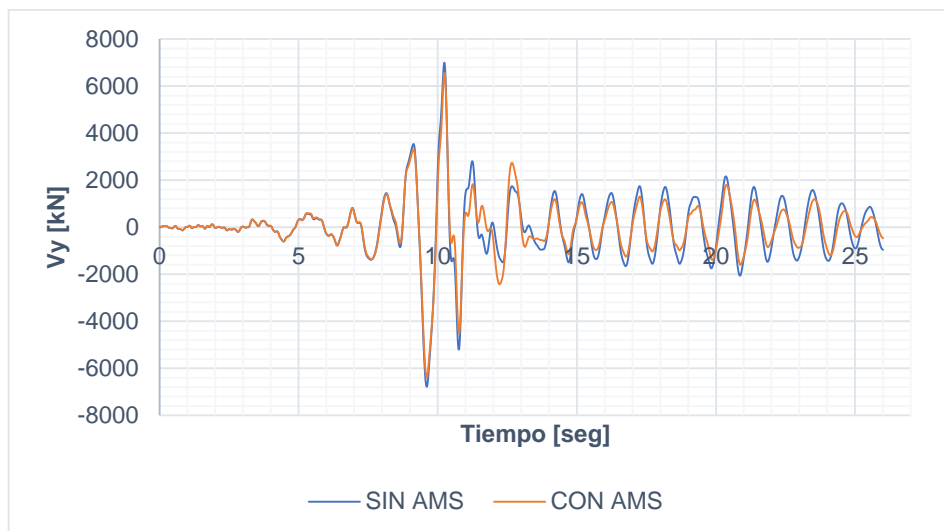
Gráfica B-2.38. Desplazamiento U_y (E. 10 niveles) – Sismo Mendocino.



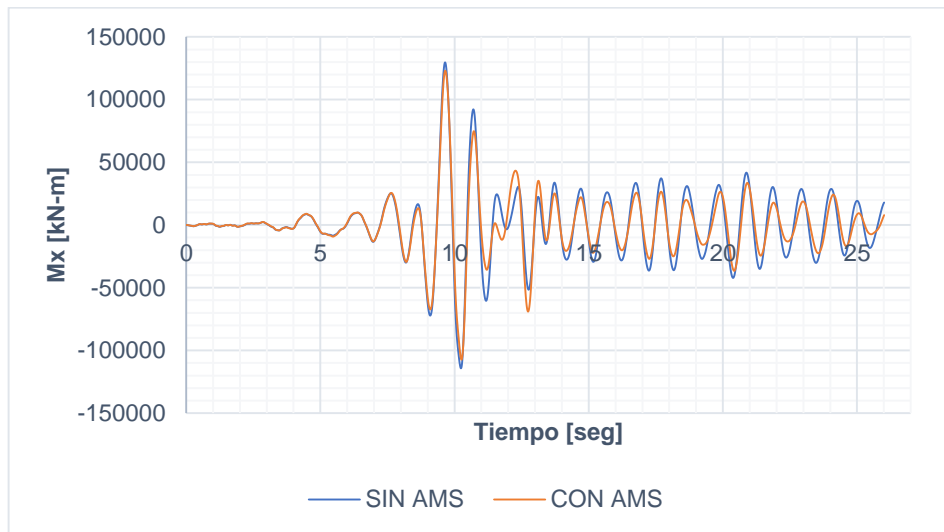
Gráfica B-2.39. Cortante V_x (E. 10 niveles) – Sismo Mendocino.



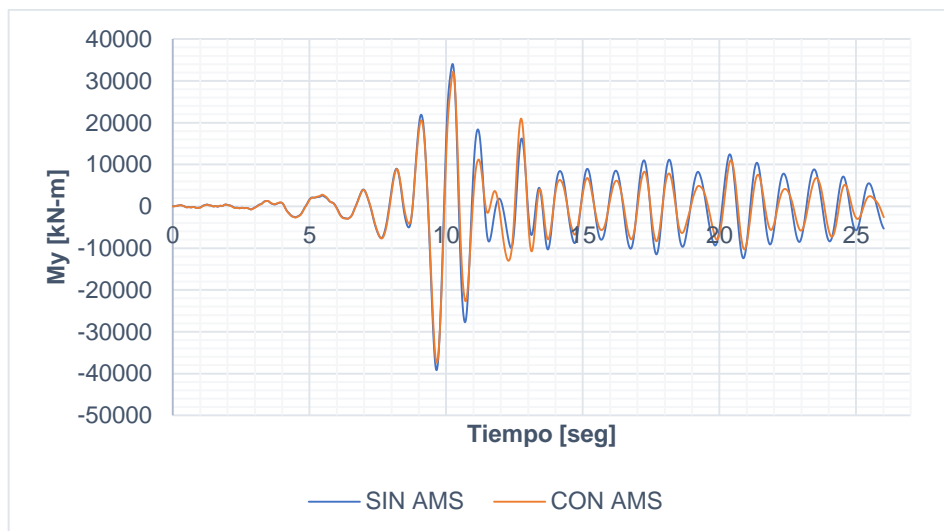
Gráfica B-2.40. Cortante V_y (E. 10 niveles) – Sismo Mendocino.



Gráfica B-2.41. Momento Mx (E. 10 niveles) – Sismo Mendocino.

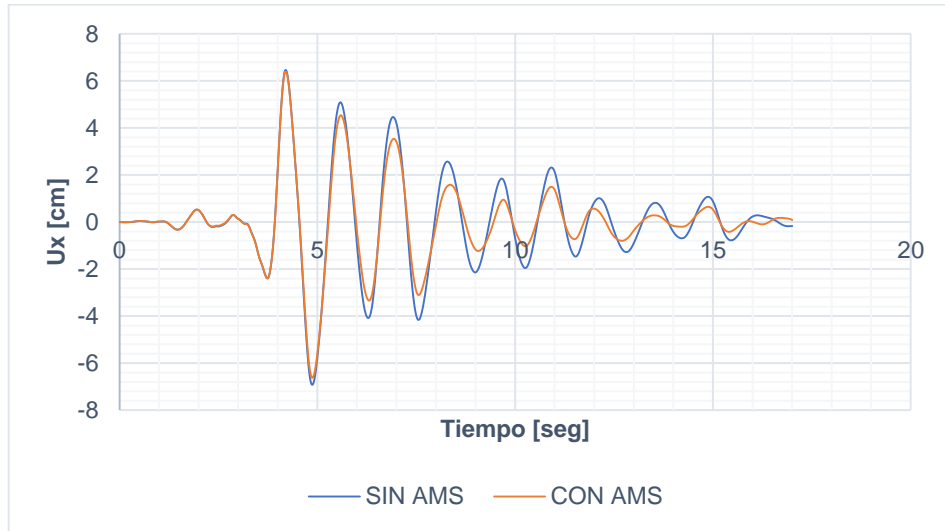


Gráfica B-2.42. Momento My (E. 10 niveles) – Sismo Mendocino.

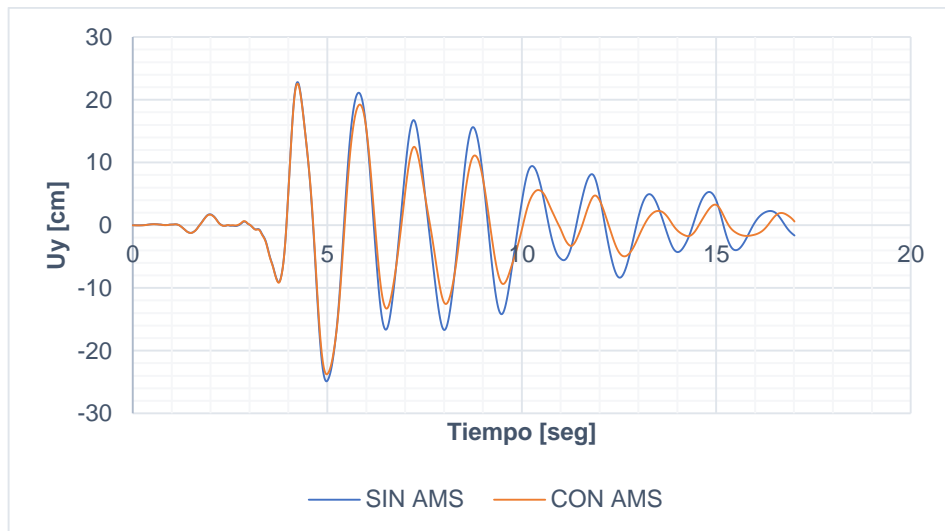


ANEXO B-3. EDIFICIO 12 NIVELES

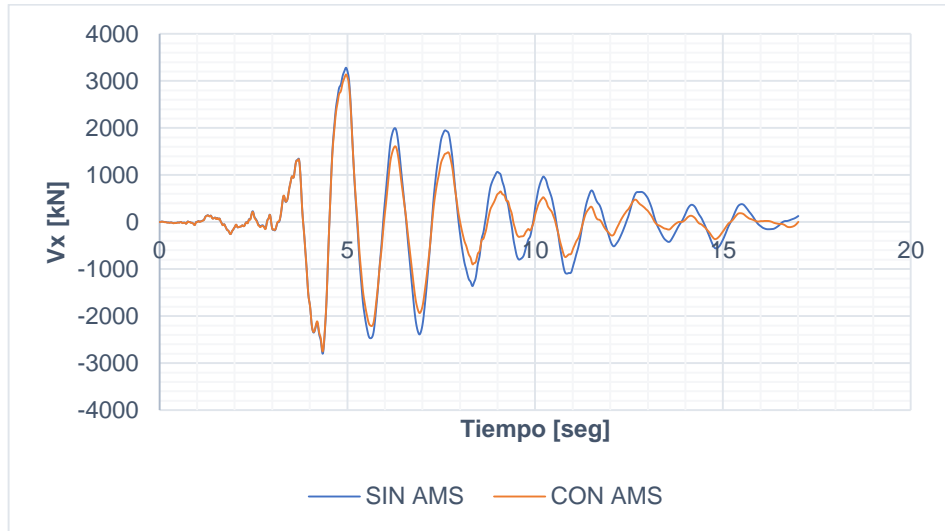
Gráfica B-3.1. Desplazamiento U_x (E. 12 niveles) – Sismo Coalinga.



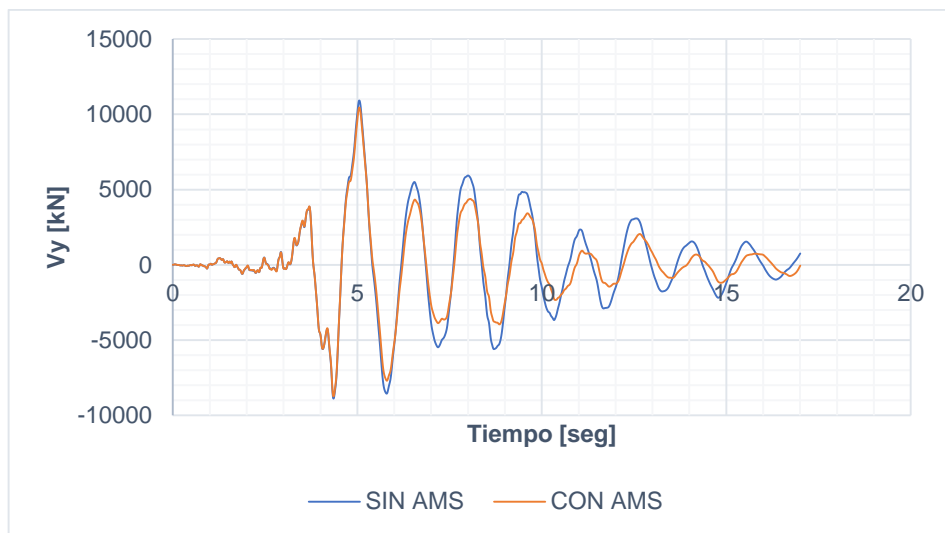
Gráfica B-3.2. Desplazamiento U_y (E. 12 niveles) – Sismo Coalinga.



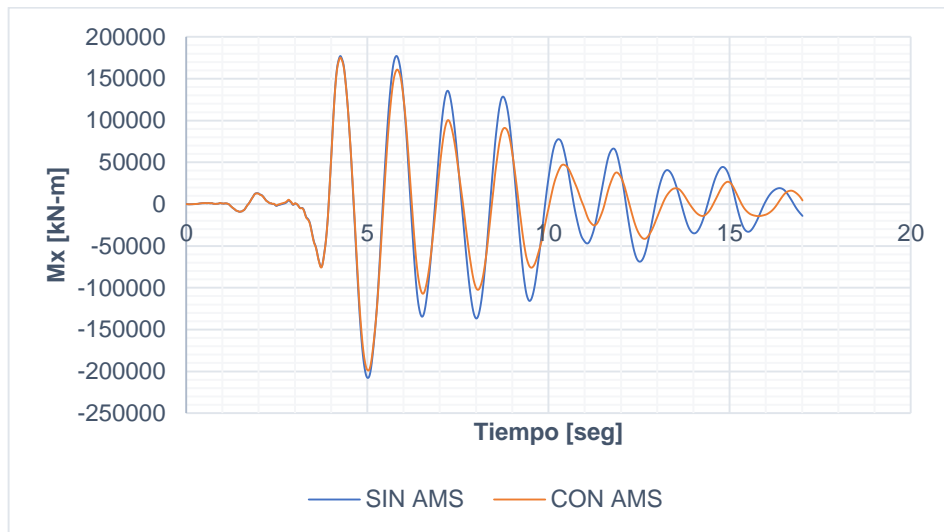
Gráfica B-3.3. Cortante V_x (E. 12 niveles) – Sismo Coalinga.



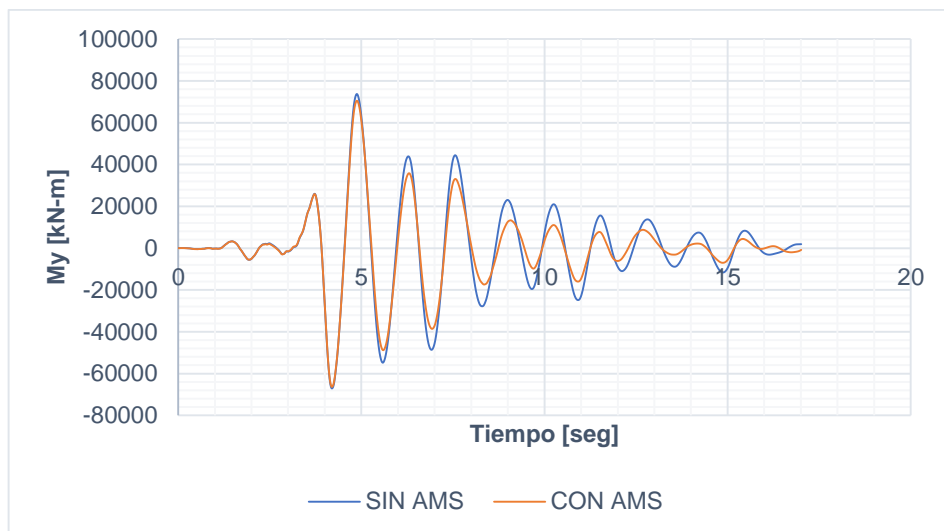
Gráfica B-3.4. Cortante V_y (E. 12 niveles) – Sismo Coalinga.



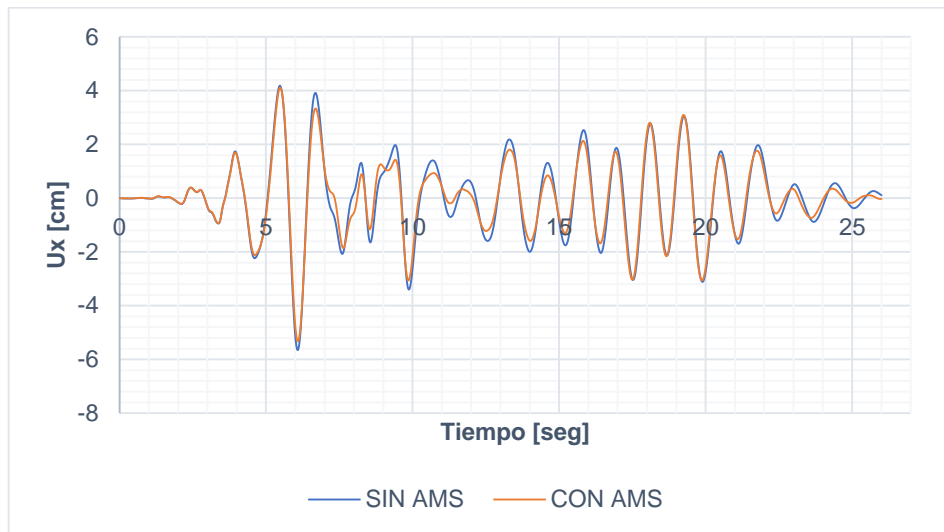
Gráfica B-3.5. Momento Mx (E. 12 niveles) – Sismo Coalinga.



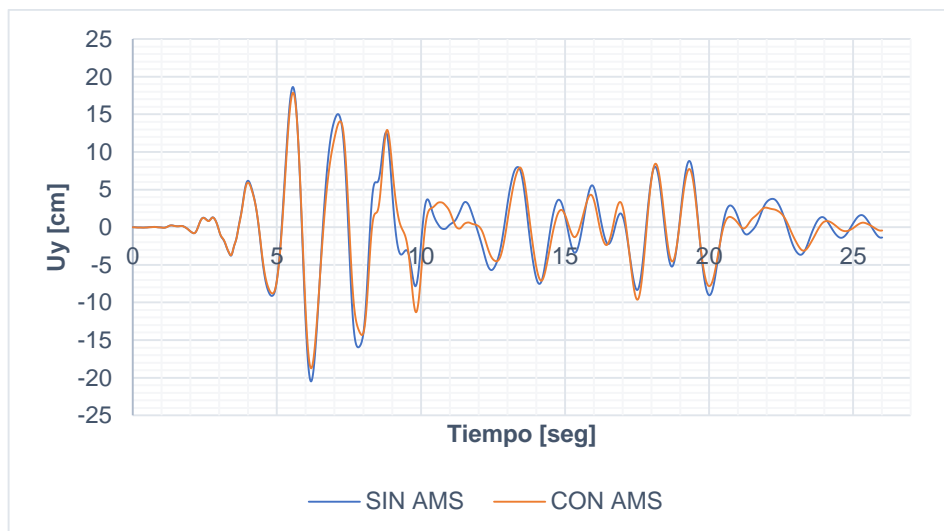
Gráfica B-3.6. Momento My (E. 12 niveles) – Sismo Coalinga.



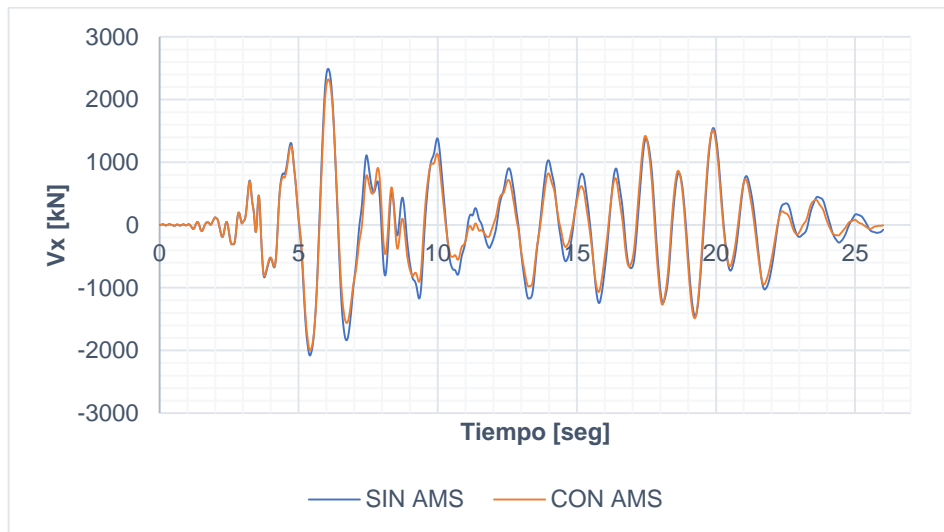
Gráfica B-3.7. Desplazamiento Ux (E. 12 niveles) – Sismo Duzce.



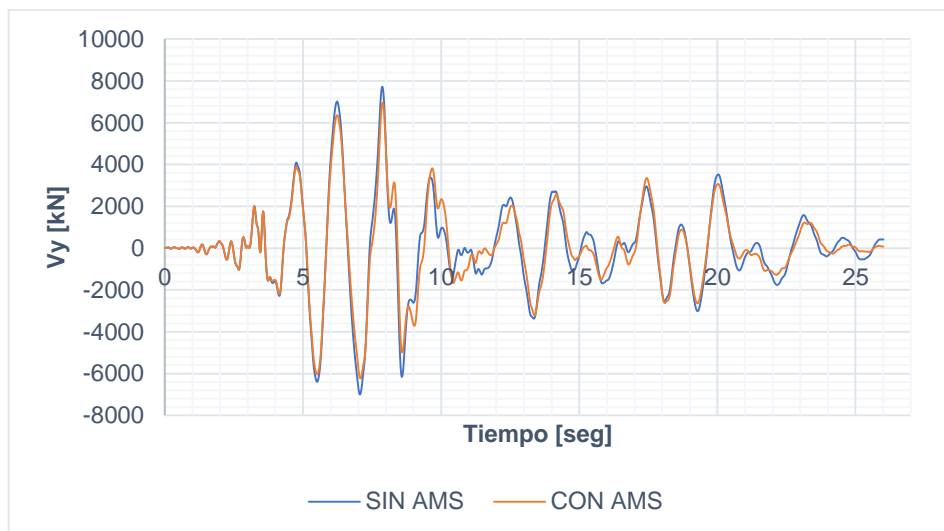
Gráfica B-3.8. Desplazamiento Uy (E. 12 niveles) – Sismo Duzce.



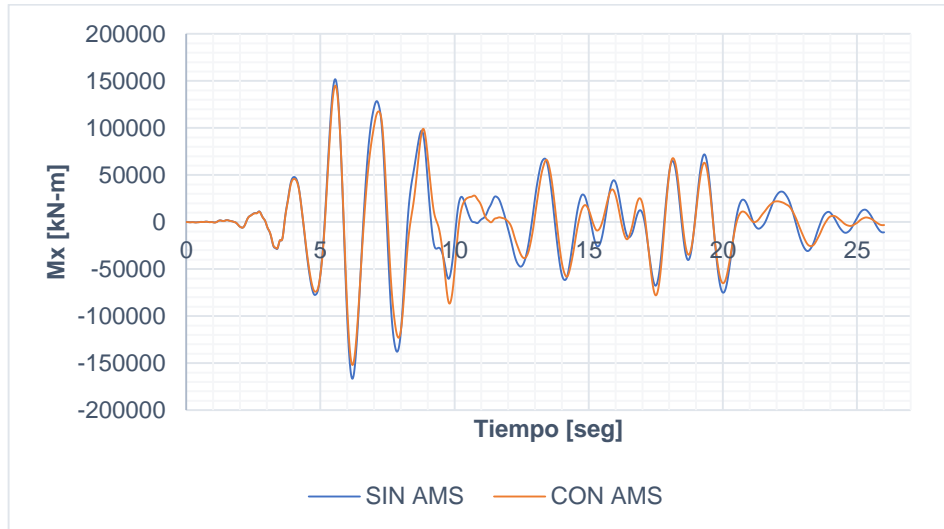
Gráfica B-3.9. Cortante V_x (E. 12 niveles) – Sismo Duzce.



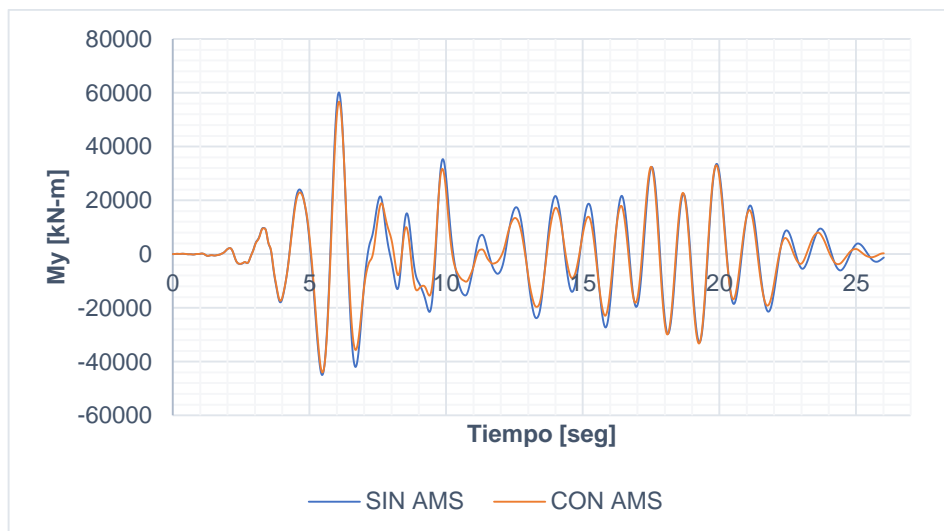
Gráfica B-3.10. Cortante V_y (E. 12 niveles) – Sismo Duzce.



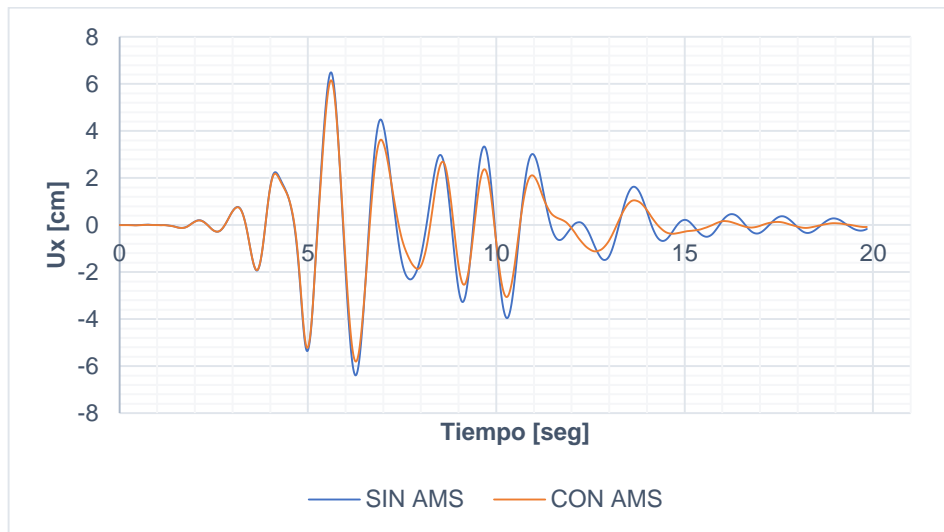
Gráfica B-3.11. Momento Mx (E. 12 niveles) – Sismo Duzce.



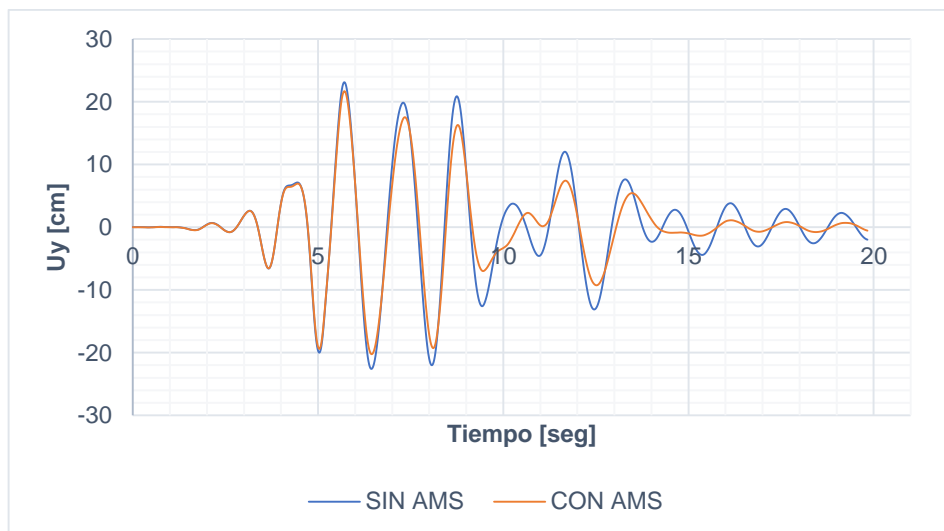
Gráfica B-3.12. Momento My (E. 12 niveles) – Sismo Duzce.



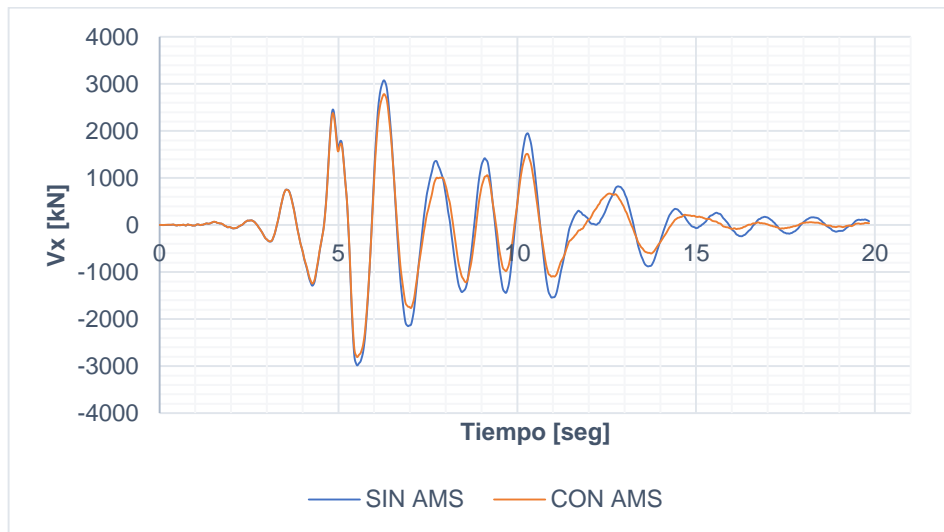
Gráfica B-3.13. Desplazamiento U_x (E. 12 niveles) – Sismo Friuli.



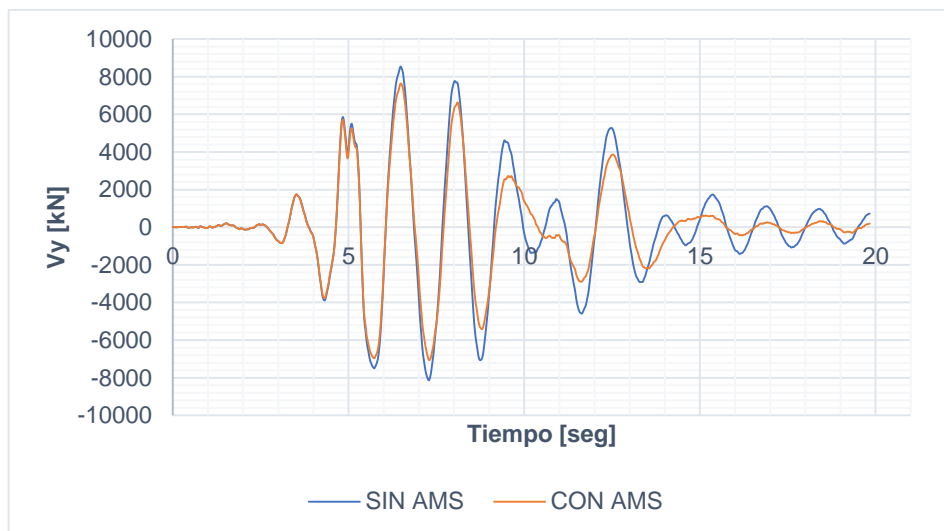
Gráfica B-3.14. Desplazamiento U_y (E. 12 niveles) – Sismo Friuli.



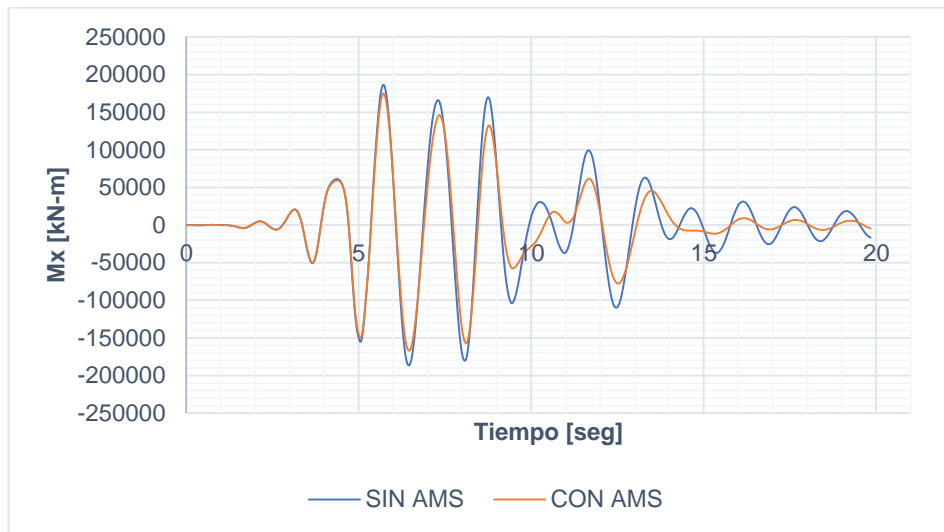
Gráfica B-3.15. Cortante V_x (E. 12 niveles) – Sismo Friuli.



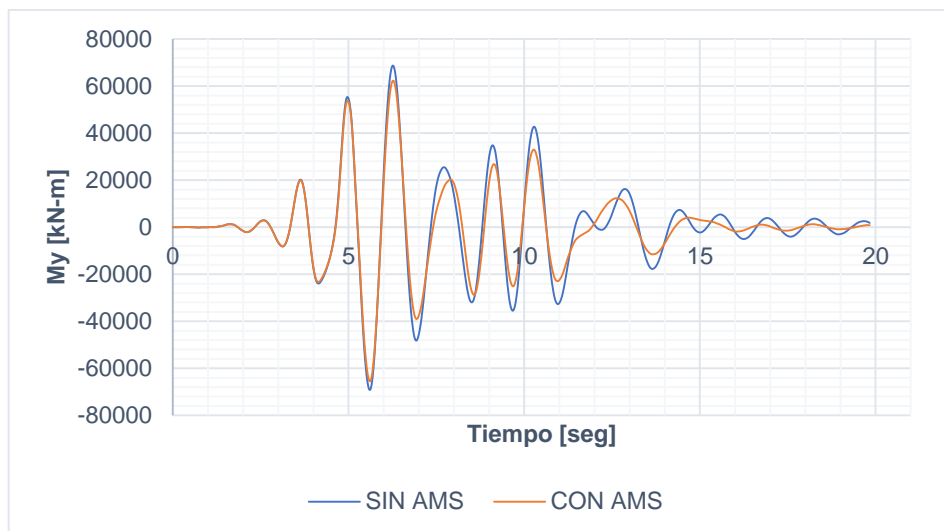
Gráfica B-3.16. Cortante V_y (E. 12 niveles) – Sismo Friuli.



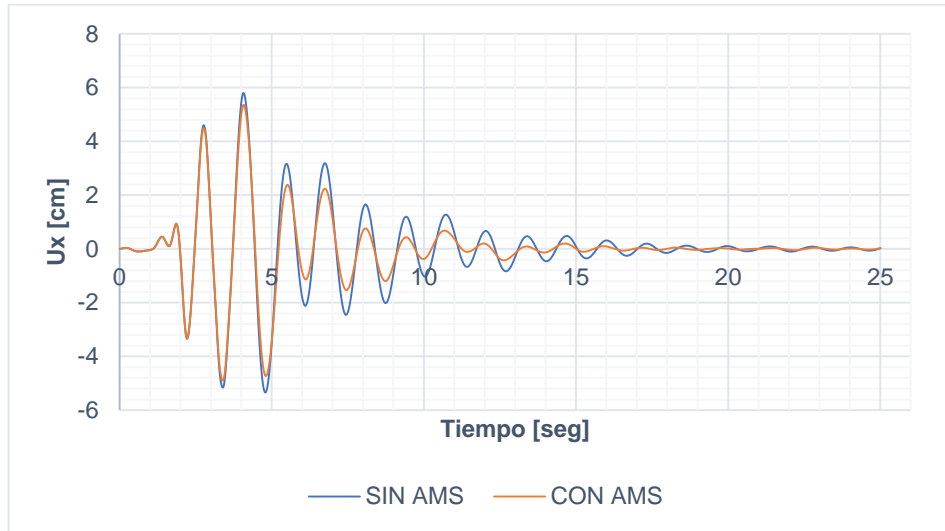
Gráfica B-3.17. Momento Mx (E. 12 niveles) – Sismo Friuli.



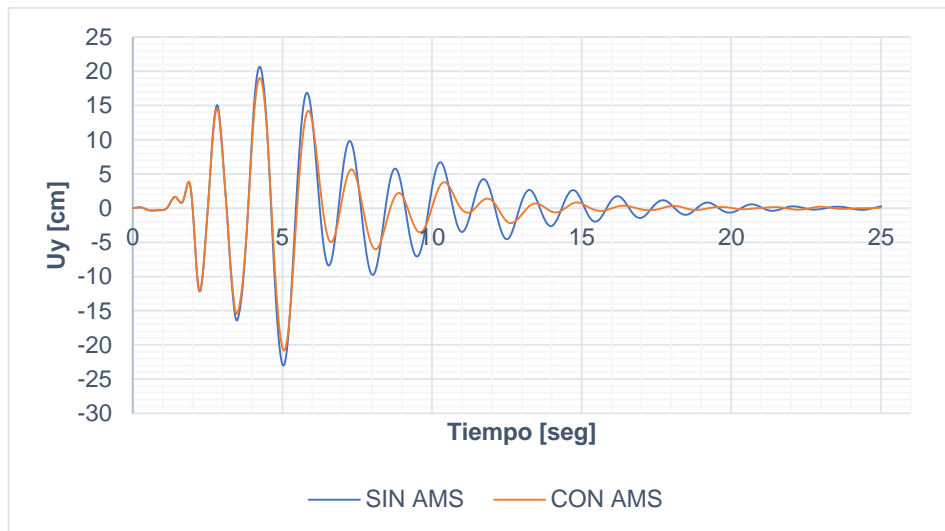
Gráfica B-3.18. Momento My (E. 12 niveles) – Sismo Friuli.



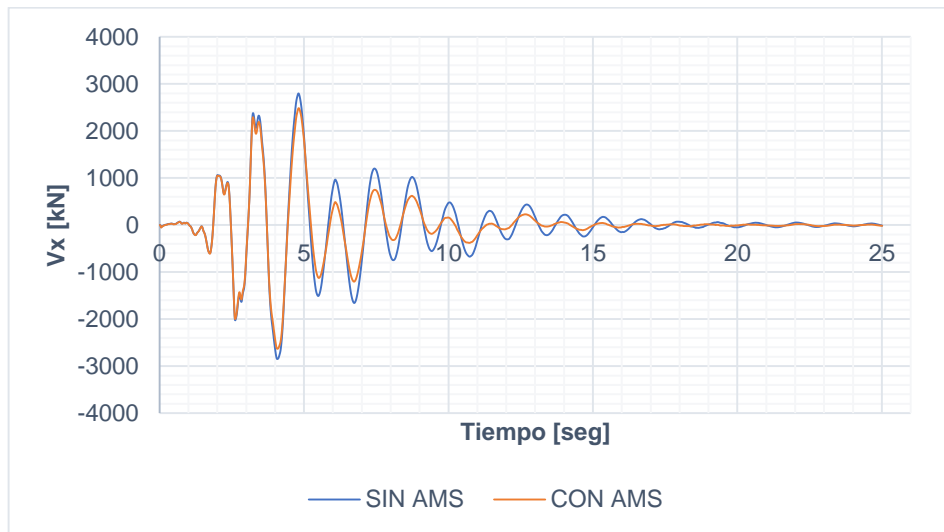
Gráfica B-3.19. Desplazamiento U_x (E. 12 niveles) – Sismo Helena.



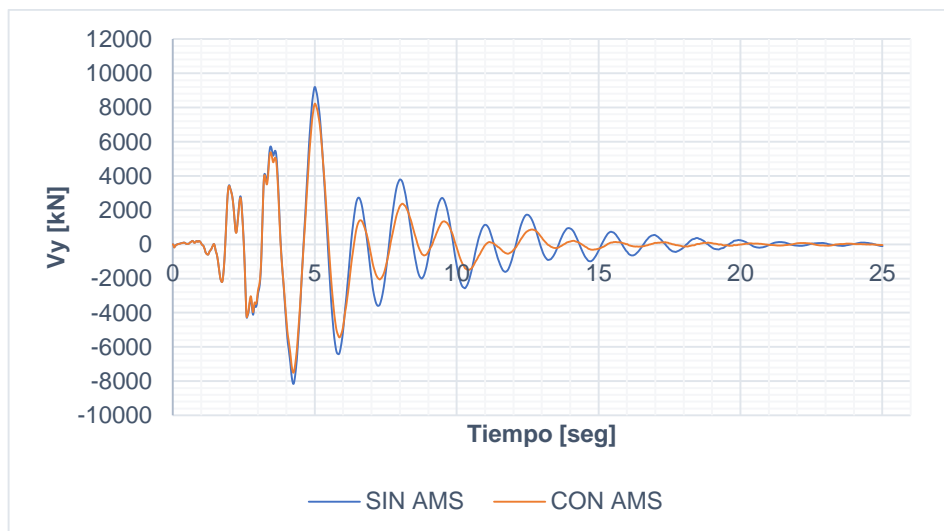
Gráfica B-3.20. Desplazamiento U_y (E. 12 niveles) – Sismo Helena.



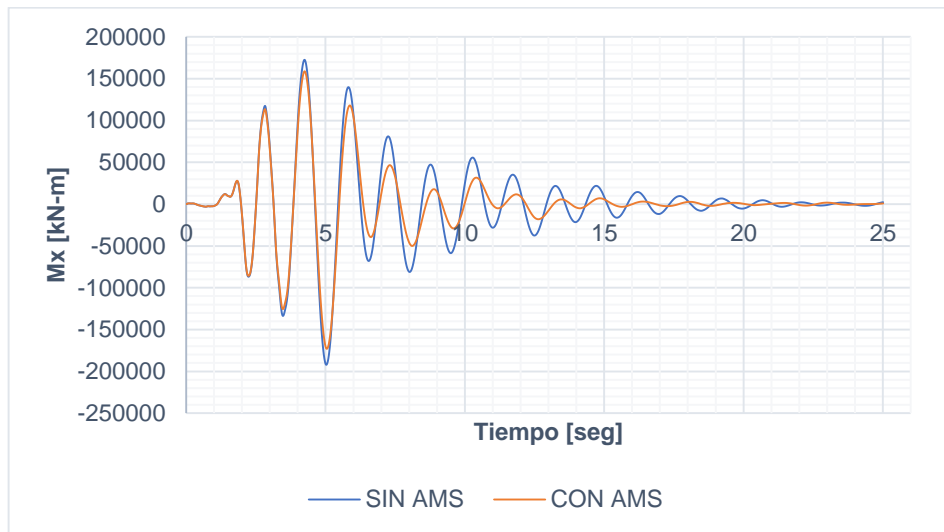
Gráfica B-3.21. Cortante V_x (E. 12 niveles) – Sismo Helena.



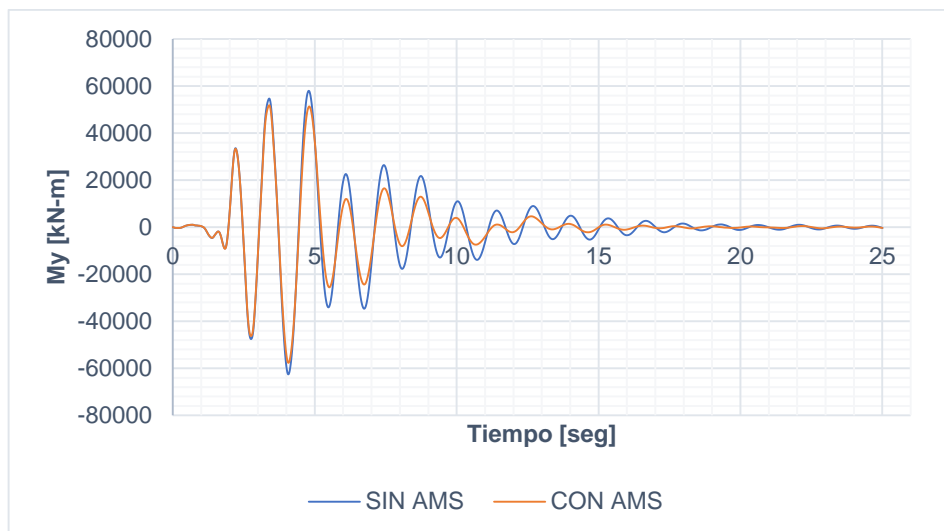
Gráfica B-3.22. Cortante V_y (E. 12 niveles) – Sismo Helena.



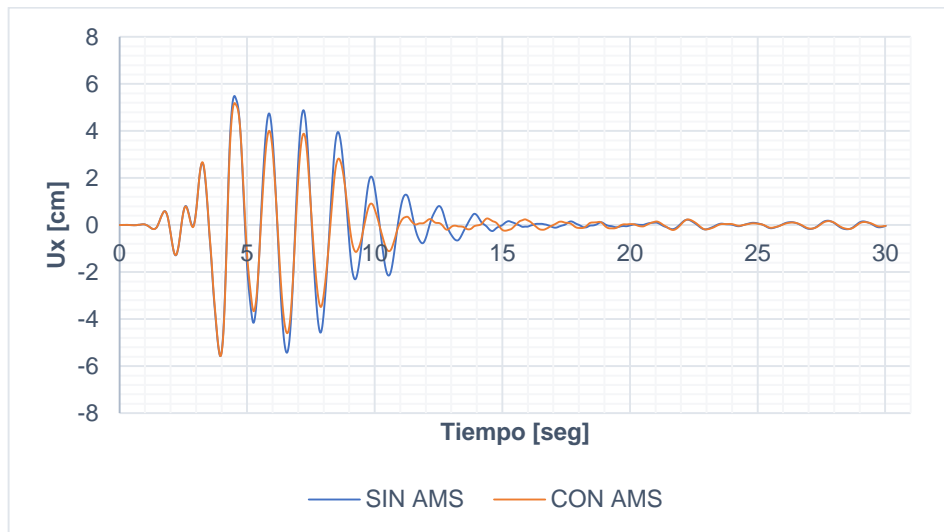
Gráfica B-3.23. Momento Mx (E. 12 niveles) – Sismo Helena.



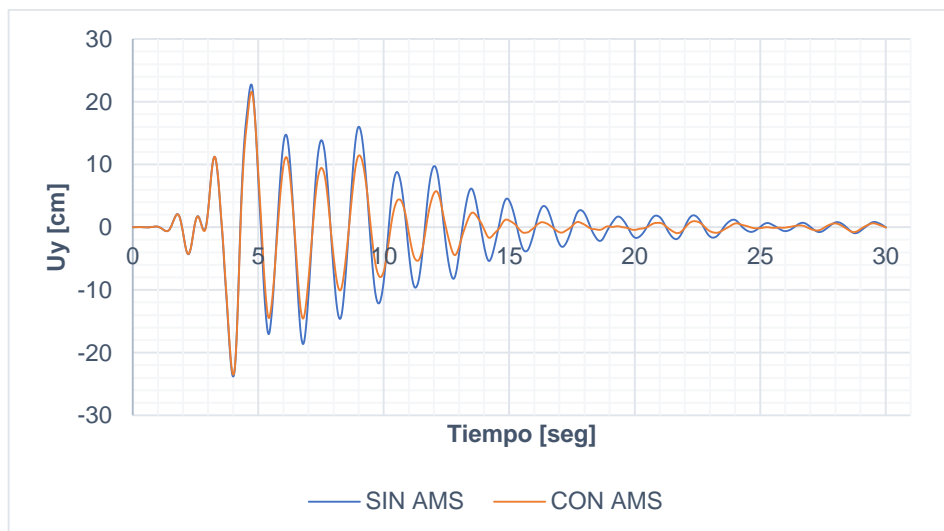
Gráfica B-3.24. Momento My (E. 12 niveles) – Sismo Helena.



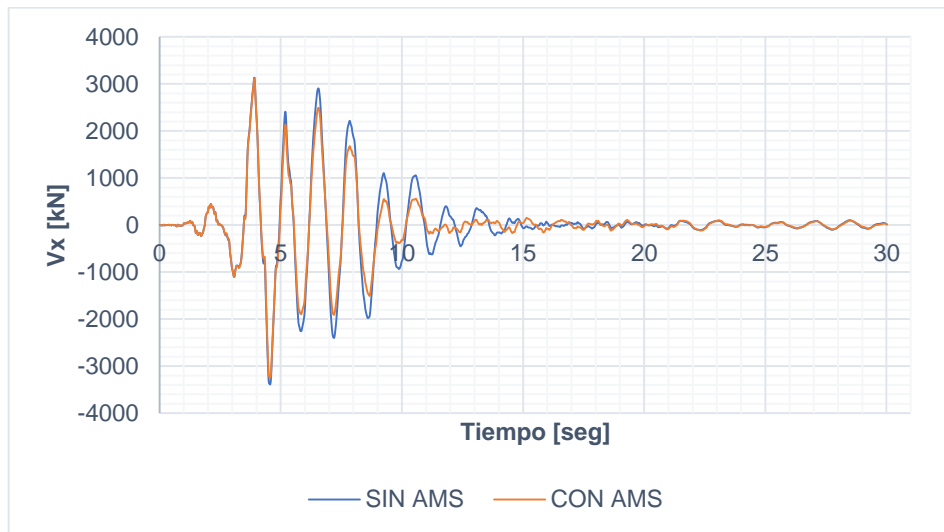
Gráfica B-3.25. Desplazamiento U_x (E. 12 niveles) – Sismo Loma.



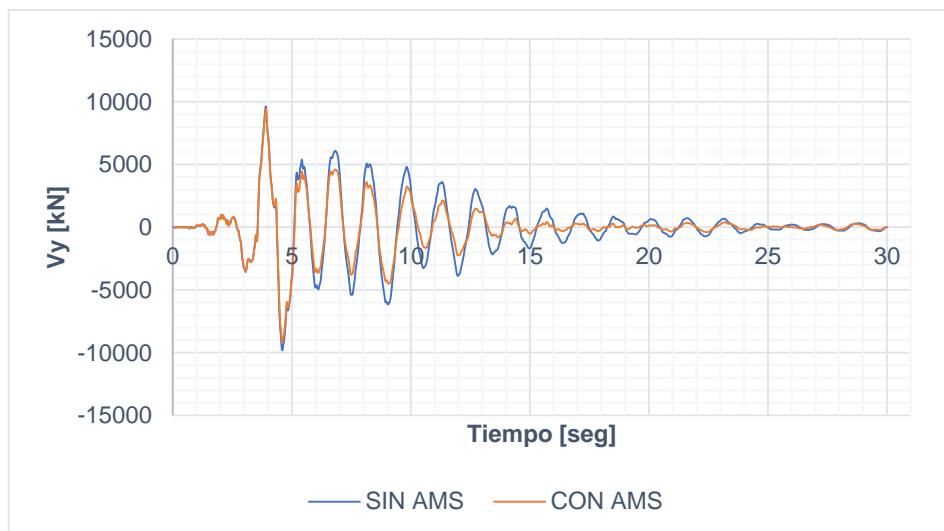
Gráfica B-3.26. Desplazamiento U_y (E. 12 niveles) – Sismo Loma.



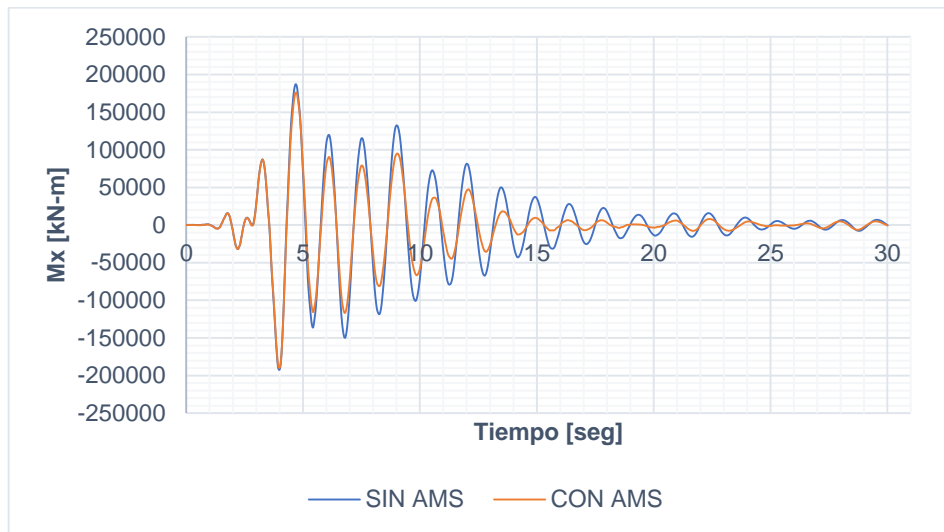
Gráfica B-3.27. Cortante V_x (E. 12 niveles) – Sismo Loma.



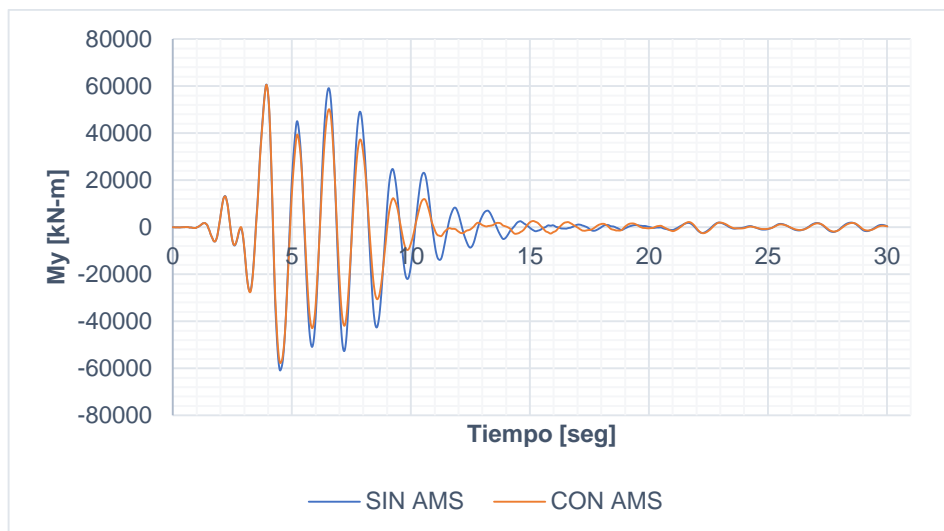
Gráfica B-3.28. Cortante V_y (E. 12 niveles) – Sismo Loma.



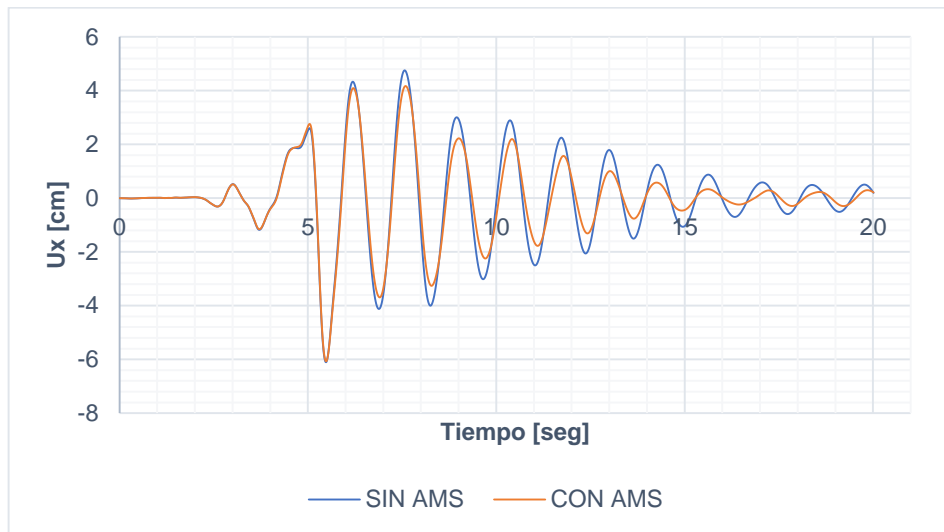
Gráfica B-3.29. Momento Mx (E. 12 niveles) – Sismo Loma.



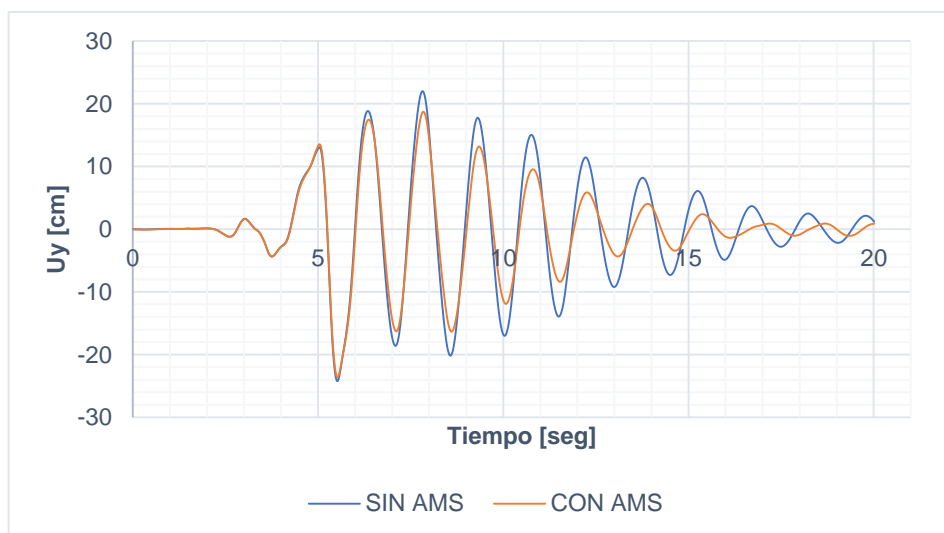
Gráfica B-3.30. Momento My (E. 12 niveles) – Sismo Loma.



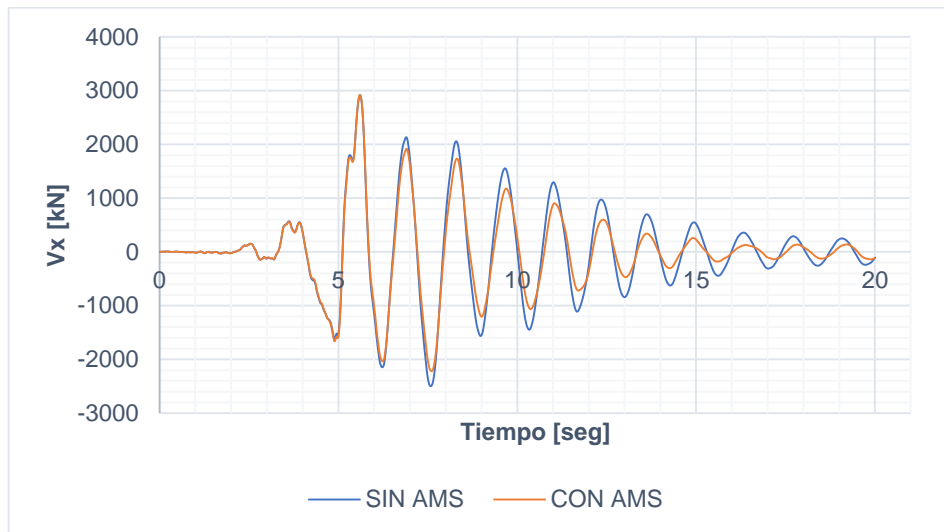
Gráfica B-3.31. Desplazamiento U_x (E. 12 niveles) – Sismo Mammoth.



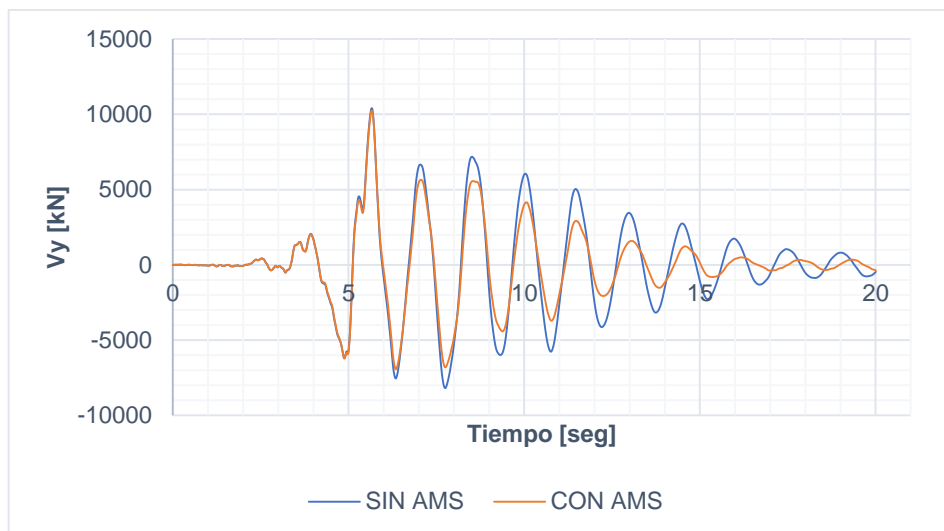
Gráfica B-3.32. Desplazamiento U_y (E. 12 niveles) – Sismo Mammoth.



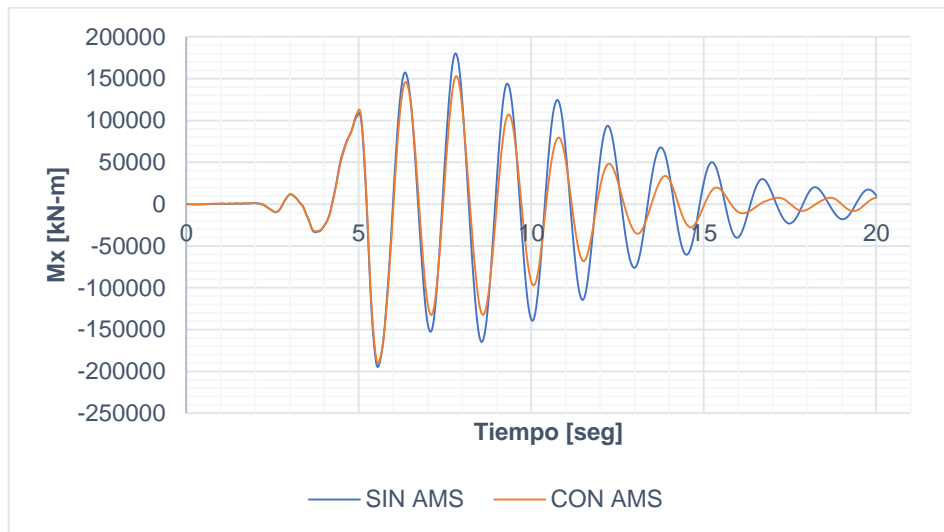
Gráfica B-3.33. Cortante V_x (E. 12 niveles) – Sismo Mammoth.



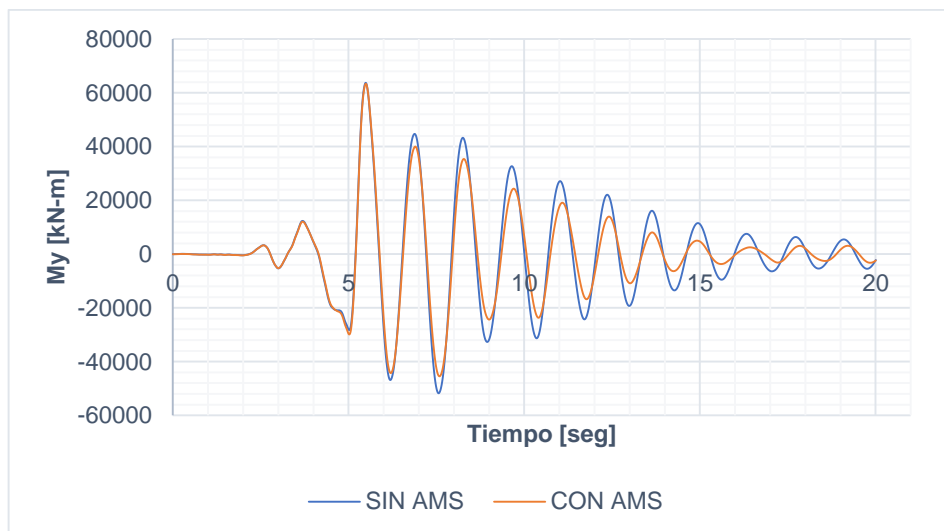
Gráfica B-3.34. Cortante V_y (E. 12 niveles) – Sismo Mammoth.



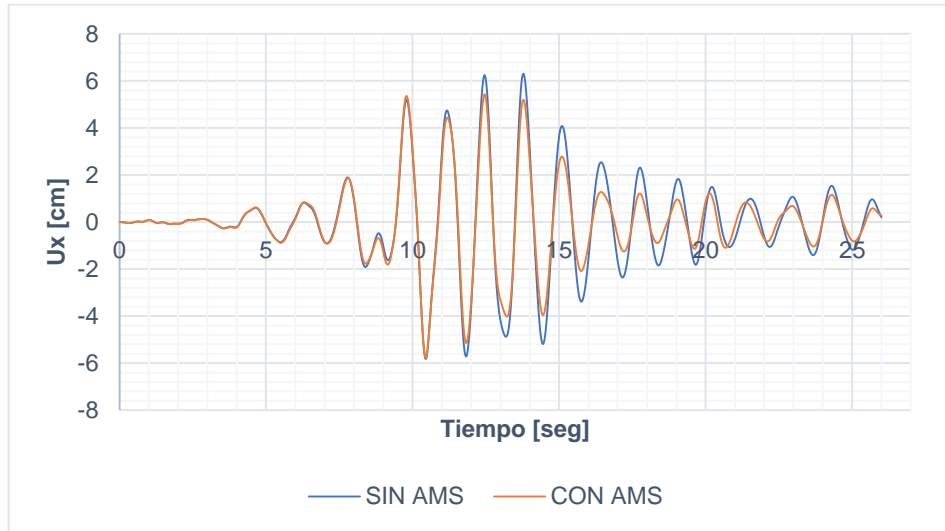
Gráfica B-3.35. Momento Mx (E. 12 niveles) – Sismo Mammoth.



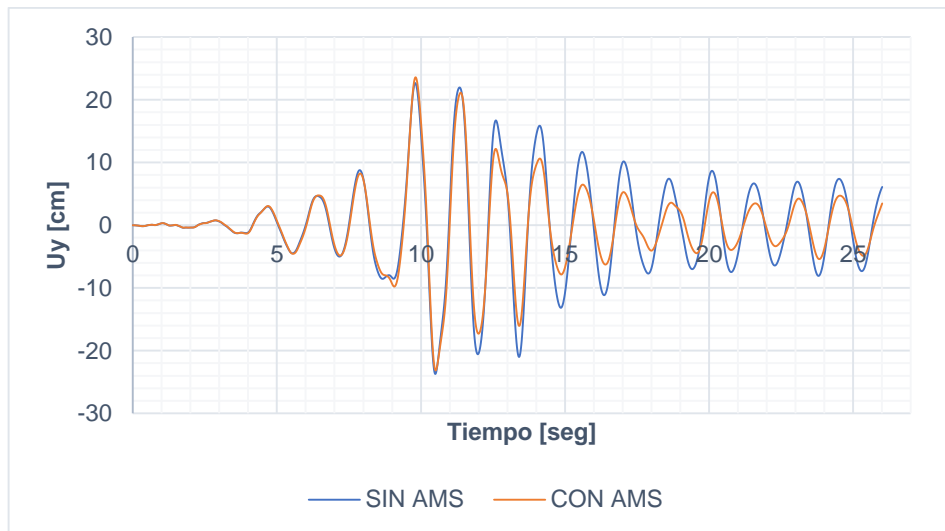
Gráfica B-3.36. Momento My (E. 12 niveles) – Sismo Mammoth.



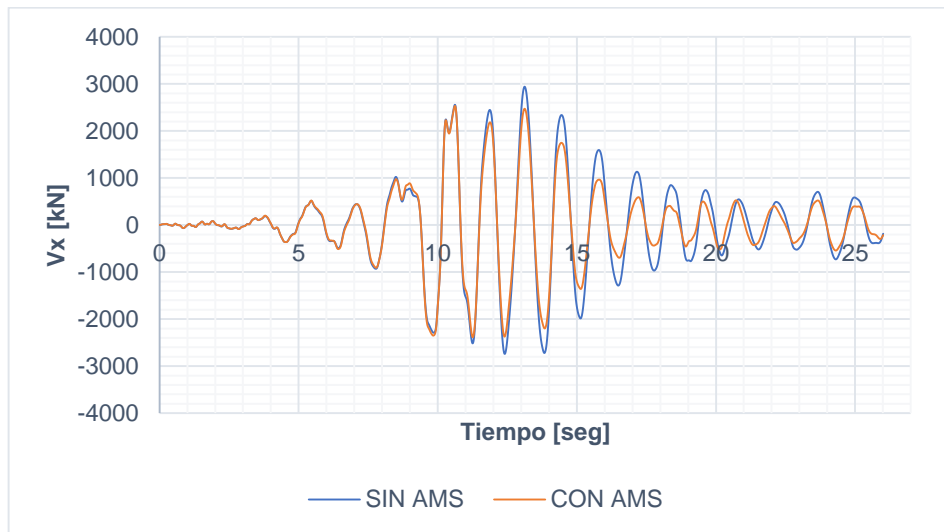
Gráfica B-3.37. Desplazamiento U_x (E. 12 niveles) – Sismo Mendocino.



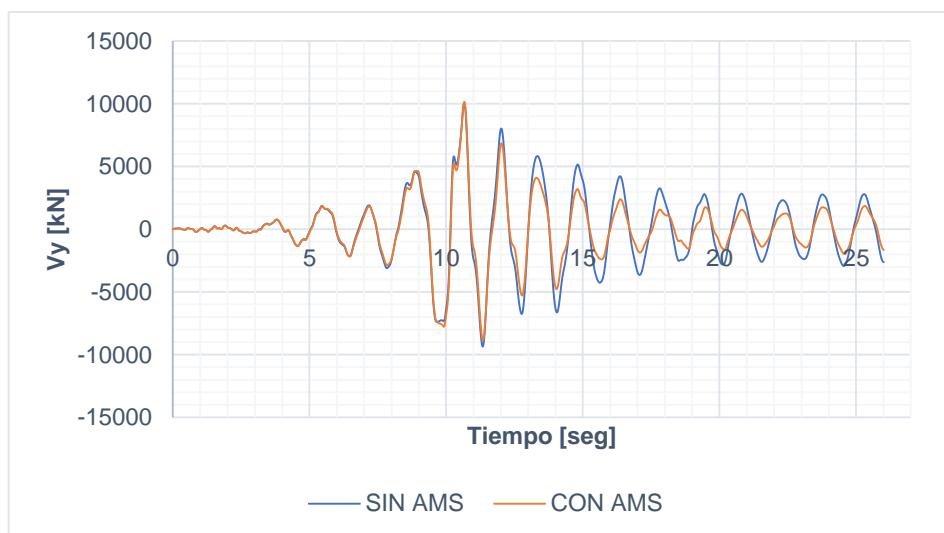
Gráfica B-3.38. Desplazamiento U_y (E. 12 niveles) – Sismo Mendocino.



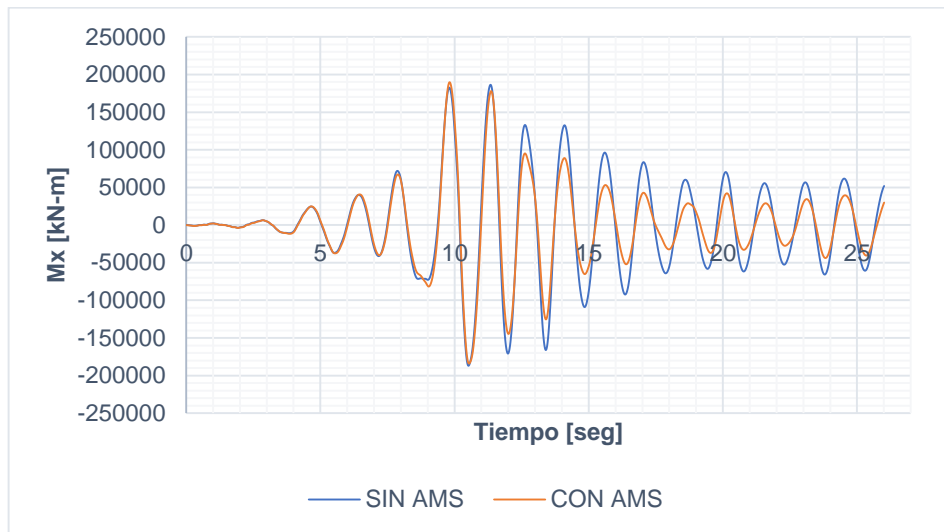
Gráfica B-3.39. Cortante V_x (E. 12 niveles) – Sismo Mendocino.



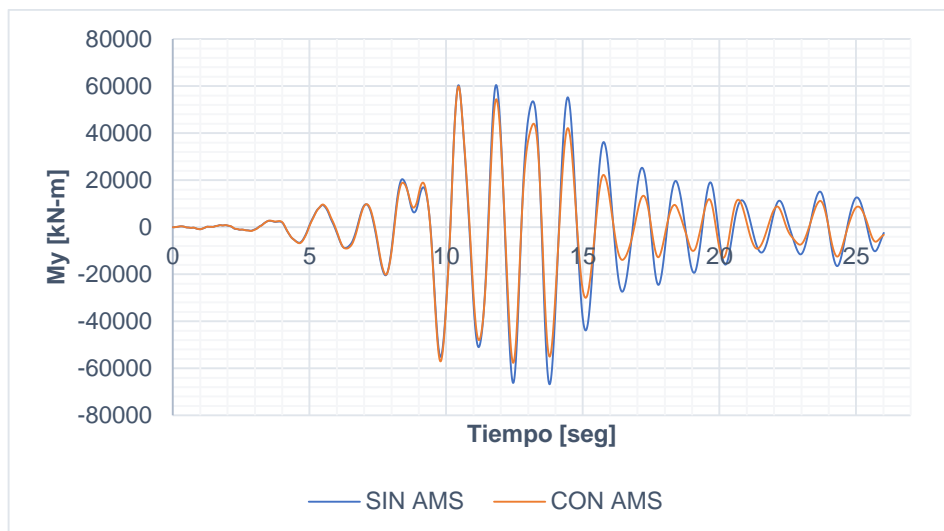
Gráfica B-3.40. Cortante V_y (E. 12 niveles) – Sismo Mendocino.



Gráfica B-3.41. Momento Mx (E. 12 niveles) – Sismo Mendocino.



Gráfica B-3.42. Momento My (E. 12 niveles) – Sismo Mendocino.



ANEXO B-4. TABLA DE RESULTADOS DE VARIACIÓN

Tabla B-4.1. Resultados y variación de la respuesta mecánica (30%X – 100%Y) de todos los sismos (Edificio 7 niveles).

Variables	Sismo Coalinga			Sismo Duzce		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	11.49	11.15	2.94	11.22	9.85	12.13
Vmax-x [kN]	1433.21	1461.86	-2.00	1652.76	1456.29	11.89
Vmax-y [kN]	4903.18	4938.18	-0.71	4925.57	4281.91	13.07
Mmax-x [kN-m]	59530.74	57730.82	3.02	59370.61	52091.13	12.26
Mmax-y [kN-m]	17969.02	17784.18	1.03	19437.62	17176.41	11.63

Tabla B-4.1. (Continuación).

Variables	Sismo Friuli			Sismo Helena		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	11.79	11.06	6.19	11.05	10.41	5.77
Vmax-x [kN]	1847.29	1714.63	7.18	1577.96	1511.44	4.22
Vmax-y [kN]	5976.79	5461.76	8.62	4979.34	4787.67	3.85
Mmax-x [kN-m]	63717.87	58493.62	8.20	57451.53	53913.58	6.16
Mmax-y [kN-m]	19729.01	18083.56	8.34	17538.83	16835.75	4.01

Tabla B-4.1. (Continuación).

Variables	Sismo Loma			Sismo Mammoth		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	10.31	9.74	5.50	12.33	12.12	1.68
Vmax-x [kN]	1413.26	1307.70	7.47	1723.13	1714.60	0.50
Vmax-y [kN]	5048.76	4672.55	7.45	5398.82	5274.69	2.30
Mmax-x [kN-m]	55791.28	52174.62	6.48	64919.83	63706.05	1.87
Mmax-y [kN-m]	18010.32	15309.66	15.00	20204.21	20177.76	0.13

Tabla B-4.1. (Continuación).

Variables	Sismo Mendocino		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	9.69	9.61	0.79
Vmax-x [kN]	1463.59	1380.54	5.67
Vmax-y [kN]	4195.41	4187.39	0.19
Mmax-x [kN-m]	50686.70	50450.56	0.47
Mmax-y [kN-m]	17551.28	16335.26	6.93

Tabla B-4.2. Resultados y variación de la respuesta mecánica (30%X – 100%Y) de todos los sismos (Edificio 10 niveles).

Variables	Sismo Coalinga			Sismo Duzce		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	17.92	18.10	-1.01	14.31	12.41	13.30
Vmax-x [kN]	2467.62	2362.45	4.26	1667.48	1399.18	16.09
Vmax-y [kN]	8246.50	7856.12	4.73	5371.76	4466.39	16.85
Mmax-x [kN-m]	136641.11	135708.84	0.68	105398.87	91009.42	13.65
Mmax-y [kN-m]	41093.21	41107.69	-0.04	32557.99	28390.10	12.80

Tabla B-4.2. (Continuación).

Variables	Sismo Friuli			Sismo Helena		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	18.69	14.35	23.23	17.38	16.30	6.22
Vmax-x [kN]	2132.59	1678.58	21.29	2335.42	2186.92	6.36
Vmax-y [kN]	6917.98	5447.08	21.26	7680.36	7177.25	6.55
Mmax-x [kN-m]	142151.50	108425.94	23.73	134172.08	124383.98	7.30
Mmax-y [kN-m]	43145.25	33541.59	22.26	40853.09	38075.43	6.80

Tabla B-4.2. (Continuación).

Variables	Sismo Loma			Sismo Mammoth		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	18.26	17.22	5.70	19.04	18.53	2.67
Vmax-x [kN]	1804.82	1749.86	3.05	1721.92	1668.24	3.12
Vmax-y [kN]	6148.70	5954.84	3.15	5940.00	5738.82	3.39
Mmax-x [kN-m]	129358.44	121287.35	6.24	132025.42	128164.30	2.92
Mmax-y [kN-m]	39664.47	37339.90	5.86	40705.59	39602.45	2.71

Tabla B-4.2. (Continuación).

Variables	Sismo Mendocino		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	16.96	16.24	4.26
Vmax-x [kN]	2099.88	1980.05	5.71
Vmax-y [kN]	6996.66	6568.28	6.12
Mmax-x [kN-m]	129623.22	122986.92	5.12
Mmax-y [kN-m]	39206.61	37398.68	4.61

Tabla B-4.3. Resultados y variación de la respuesta mecánica (30%X – 100%Y) de todos los sismos (Edificio 12 niveles).

Variables	Sismo Coalinga			Sismo Duzce		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	25.63	24.46	4.58	21.06	19.29	8.42
Vmax-x [kN]	3278.86	3136.37	4.35	2489.43	2322.76	6.70
Vmax-y [kN]	10912.91	10450.05	4.24	7722.15	6947.66	10.03
Mmax-x [kN-m]	207665.74	198819.69	4.26	166607.22	152006.62	8.76
Mmax-y [kN-m]	73739.55	70548.06	4.33	60117.17	56679.66	5.72

Tabla B-4.3. (Continuación).

Variables	Sismo Friuli			Sismo Helena		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	23.78	22.34	6.07	23.22	20.98	9.65
Vmax-x [kN]	3070.91	2810.28	8.49	2850.02	2627.72	7.80
Vmax-y [kN]	8524.25	7625.58	10.54	9194.14	8230.06	10.49
Mmax-x [kN-m]	186299.80	174645.33	6.26	192154.63	173055.30	9.94
Mmax-y [kN-m]	69171.89	65528.64	5.27	62551.20	57677.24	7.79

Tabla B-4.3. (Continuación).

Variables	Sismo Loma			Sismo Mammoth		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	24.38	24.12	1.06	24.92	24.31	2.45
Vmax-x [kN]	3390.02	3245.81	4.25	2916.73	2916.18	0.02
Vmax-y [kN]	9797.47	9440.81	3.64	10411.19	10241.80	1.63
Mmax-x [kN-m]	192609.95	189767.54	1.48	194700.11	190389.81	2.21
Mmax-y [kN-m]	60942.43	60528.85	0.68	63661.35	63398.20	0.41

Tabla B-4.3. (Continuación).

Variables	Sismo Mendocino		
	Sin AMS	Con AMS	Varia. %
dmax [cm]	24.36	24.18	0.74
Vmax-x [kN]	2937.59	2528.41	13.93
Vmax-y [kN]	10051.25	10143.65	-0.92
Mmax-x [kN-m]	187031.00	189879.79	-1.52
Mmax-y [kN-m]	66806.62	59866.33	10.39

ANEXO C. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL CONTENIDO FRECUENCIAL DE LOS SISMOS Y LA VARIACIÓN DE RESPUESTA

ANEXO C-1. CASO DE CARGA SÍSMICA 100% X – 30% Y

Tabla C-1.1. Frecuencia de los sismos vs variación de desplazamiento.

Variación de desplazamiento %				
Sismos		Edificios		
Nombre	F [Hz]	7 niveles	10 niveles	12 niveles
<i>Coalinga</i>	1.12	1.28	-1.06	4.38
<i>Duzce</i>	3.69	11.54	12.67	5.76
<i>Friuli</i>	3.88	7.29	22.01	5.30
<i>Helena</i>	2.47	4.01	5.90	7.79
<i>Loma</i>	2.70	14.75	5.44	0.17
<i>Mammoth</i>	1.81	0.25	2.51	0.81
<i>Mendocino</i>	1.27	6.62	3.94	3.71

Tabla C-1.2. Frecuencia de los sismos vs variación de Cortante Vx.

Variación de Vx %				
Sismos		Edificios		
Nombre	F [Hz]	7 niveles	10 niveles	12 niveles
<i>Coalinga</i>	1.12	-2.00	4.26	4.35
<i>Duzce</i>	3.69	11.89	16.09	6.70
<i>Friuli</i>	3.88	7.18	21.29	8.49
<i>Helena</i>	2.47	4.22	6.36	7.80
<i>Loma</i>	2.70	7.47	3.05	4.25
<i>Mammoth</i>	1.81	0.50	3.12	0.02
<i>Mendocino</i>	1.27	5.67	5.71	13.93

Tabla C-1.3. Frecuencia de los sismos vs variación de Cortante Vy.

Variación de Vy %				
Sismos		Edificios		
Nombre	F [Hz]	7 niveles	10 niveles	12 niveles
<i>Coalinga</i>	1.12	-0.71	4.73	4.24
<i>Duzce</i>	3.69	13.07	16.85	10.03
<i>Friuli</i>	3.88	8.62	21.26	10.54
<i>Helena</i>	2.47	3.85	6.55	10.49
<i>Loma</i>	2.70	7.45	3.15	3.64
<i>Mammoth</i>	1.81	2.30	3.39	1.63
<i>Mendocino</i>	1.27	0.19	6.12	-0.92

Tabla C-1.4. Frecuencia de los sismos vs variación de Momento Mx.

Variación de Mx %				
Sismos		Edificios		
Nombre	F [Hz]	7 niveles	10 niveles	12 niveles
<i>Coalinga</i>	1.12	3.02	0.68	4.26
<i>Duzce</i>	3.69	12.26	13.65	8.76
<i>Friuli</i>	3.88	8.20	23.73	6.26
<i>Helena</i>	2.47	6.16	7.30	9.94
<i>Loma</i>	2.70	6.48	6.24	1.48
<i>Mammoth</i>	1.81	1.87	2.92	2.21
<i>Mendocino</i>	1.27	0.47	5.12	-1.52

Tabla C-1.5. Frecuencia de los sismos vs variación de Momento My.

Variación de My %				
Sismos		Edificios		
Nombre	F [Hz]	7 niveles	10 niveles	12 niveles
<i>Coalinga</i>	1.12	1.03	-0.04	4.33
<i>Duzce</i>	3.69	11.63	12.80	5.72
<i>Friuli</i>	3.88	8.34	22.26	5.27
<i>Helena</i>	2.47	4.01	6.80	7.79
<i>Loma</i>	2.70	15.00	5.86	0.68
<i>Mammoth</i>	1.81	0.13	2.71	0.41
<i>Mendocino</i>	1.27	6.93	4.61	10.39

ANEXO C-2. CASO DE CARGA SÍSMICA 30% X – 100% Y**Tabla C-2.1.** Frecuencia de los sismos vs variación de desplazamiento.

Variación de desplazamiento %				
Sismos		Edificios		
Nombre	F [Hz]	7 niveles	10 niveles	12 niveles
<i>Coalinga</i>	1.12	2.94	-1.01	4.58
<i>Duzce</i>	3.69	12.13	13.30	8.42
<i>Friuli</i>	3.88	6.19	23.23	6.07
<i>Helena</i>	2.47	5.77	6.22	9.65
<i>Loma</i>	2.70	5.50	5.70	1.06
<i>Mammoth</i>	1.81	1.68	2.67	2.45
<i>Mendocino</i>	1.27	0.79	4.26	0.74

Tabla C-2.2. Frecuencia de los sismos vs variación de Cortante Vx.

Variación de Vx %				
Sismos		Edificios		
Nombre	F [Hz]	7 niveles	10 niveles	12 niveles
<i>Coalinga</i>	1.12	-2.00	4.26	4.35
<i>Duzce</i>	3.69	11.89	16.09	6.70
<i>Friuli</i>	3.88	7.18	21.29	8.49
<i>Helena</i>	2.47	4.22	6.36	7.80
<i>Loma</i>	2.70	7.47	3.05	4.25
<i>Mammoth</i>	1.81	0.50	3.12	0.02
<i>Mendocino</i>	1.27	5.67	5.71	13.93

Tabla C-2.3. Frecuencia de los sismos vs variación de Cortante Vy.

Variación de Vy %				
Sismos		Edificios		
Nombre	F [Hz]	7 niveles	10 niveles	12 niveles
<i>Coalinga</i>	1.12	-0.71	4.73	4.24
<i>Duzce</i>	3.69	13.07	16.85	10.03
<i>Friuli</i>	3.88	8.62	21.26	10.54
<i>Helena</i>	2.47	3.85	6.55	10.49
<i>Loma</i>	2.70	7.45	3.15	3.64
<i>Mammoth</i>	1.81	2.30	3.39	1.63
<i>Mendocino</i>	1.27	0.19	6.12	-0.92

Tabla C-2.4. Frecuencia de los sismos vs variación de Momento Mx.

Variación de Mx %				
Sismos		Edificios		
Nombre	F [Hz]	7 niveles	10 niveles	12 niveles
<i>Coalinga</i>	1.12	3.02	0.68	4.26
<i>Duzce</i>	3.69	12.26	13.65	8.76
<i>Friuli</i>	3.88	8.20	23.73	6.26
<i>Helena</i>	2.47	6.16	7.30	9.94
<i>Loma</i>	2.70	6.48	6.24	1.48
<i>Mammoth</i>	1.81	1.87	2.92	2.21
<i>Mendocino</i>	1.27	0.47	5.12	-1.52

Tabla C-2.5. Frecuencia de los sismos vs variación de Momento My.

Variación de My %				
Sismos		Edificios		
Nombre	F [Hz]	7 niveles	10 niveles	12 niveles
<i>Coalinga</i>	1.12	1.03	-0.04	4.33
<i>Duzce</i>	3.69	11.63	12.80	5.72
<i>Friuli</i>	3.88	8.34	22.26	5.27
<i>Helena</i>	2.47	4.01	6.80	7.79
<i>Loma</i>	2.70	15.00	5.86	0.68
<i>Mammoth</i>	1.81	0.13	2.71	0.41
<i>Mendocino</i>	1.27	6.93	4.61	10.39