

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v7i13.0158>

ESTUDIO DE EDIFICIOS DE ALTURA UBICADOS EN LA CIUDAD DE QUITO CON AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA

STUDY OF TALL BUILDINGS LOCATED IN THE CITY OF QUITO WITH TUNED MASS DAMPERS

Guerra-Valladares Marcelo David ¹; Marcillo-Zapata Andrés ²;
Hidalgo-Robalino Diego Hernán ³; Pazmiño Vladimir ⁴

¹ Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería, Riobamba, Ecuador.
Correo: marcelo.guerra@unach.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4119-4959>

² Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería, Riobamba, Ecuador.
Correo: cristian.marcillo@unach.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-2552-903X>

³ Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería, Riobamba, Ecuador.
Correo: dhhidalgo@unach.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1341-8206>

⁴ Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería, Riobamba, Ecuador.
Correo: hvpazmino@unach.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7169-7648>

Resumen

El estudio de la inclusión de sistemas de disipación de energía es fundamental porque se busca obtener la eficiencia y, si es posible, la aplicabilidad de métodos de protección para estructuras de acero de diferente altura. Estos sistemas, correctamente diseñados, pueden llegar a ser utilizados en varias ciudades de la Sierra Ecuatoriana como en la ciudad de Quito. Se propone un sistema de protección ante eventos sísmicos de gran magnitud como es el sistema de amortiguadores de masa sintonizada. Estos sistemas presentan mejoras en ahorro de energía y economía con respecto a otros que cumplen la misma función, pero tienen como una desventaja poseer una alta sensibilidad ante cambios en las características dinámicas de la estructura, sobre todo en su frecuencia natural. La idea detrás de los disipadores de masa sintonizada es que estas masas adicionales pueden absorber y disipar la energía generada por las vibraciones sísmicas, evitando así que estas vibraciones lleguen a niveles peligrosos que puedan dañar la estructura del edificio o poner en peligro la seguridad de las personas dentro de él.

Palabras clave: Acero, Masa Sintonizada, Edificios altos, Disipación de Energía.

Abstract

The study of the inclusion of energy dissipation systems is essential because it seeks to obtain the efficiency and, if possible, the applicability of protection methods for steel structures of different heights. These systems, properly designed, can be used in several cities in the Ecuadorian Sierra such as the city of Quito. A protection system against large seismic events is proposed, such as the tuned mass damper system. These systems present improvements in energy savings and economy compared to others that perform the same function, but their disadvantage is that they are highly sensitive to changes in the dynamic characteristics of the structure, especially in its natural frequency. The idea behind tuned mass dissipators is that these additional masses can absorb and dissipate the energy generated by seismic vibrations, thus preventing these vibrations from reaching dangerous levels that could damage the building structure or jeopardize the safety of the buildings' people inside it.

Keywords: Steel, Tuned Mass, Tall Buildings, energy dissipation.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 18 de octubre de 2023.

Fecha de aceptación: 19 de diciembre de 2023.

Fecha de publicación: 10 de enero de 2024.



1. Introducción

Es ampliamente reconocido que los terremotos seguirán ocurriendo y ocasionarán importantes daños estructurales, económicos y sociales si no nos preparamos adecuadamente. Por lo tanto, la evaluación de los riesgos sísmicos y la mejora de las estrategias de ingeniería para mitigar estos daños son las únicas opciones viables para fortalecer nuestras ciudades y comunidades. Geólogos, sismólogos e ingenieros están dedicando esfuerzos continuos para mejorar los mapas de zonificación, establecer bases de datos confiables sobre los procesos y efectos de los terremotos, ampliar la comprensión de las características del sitio y desarrollar diseños de estructuras resistentes a los terremotos. El objetivo último de los ingenieros es diseñar estructuras que se comporten de manera predecible y segura, maximizando la seguridad de las personas y minimizando los daños.

En la actualidad, surgen preguntas sobre la respuesta de nuestro entorno ante diversos movimientos sísmicos. Los desafíos consisten en desarrollar nuevas técnicas y

mejorar las prácticas existentes para garantizar el rendimiento óptimo de estas estructuras. En este contexto, "aceptable" implica que los diseños de las estructuras deberían sufrir un mínimo o ningún daño sin comprometer la seguridad de vida.

Como un campo multidisciplinario de la ingeniería, el diseño de estructuras sismorresistentes está en un punto de inflexión que podría dar lugar a numerosas innovaciones interesantes en los próximos años. Las nuevas técnicas y materiales que no se han utilizado tradicionalmente en la ingeniería civil ofrecen una promesa significativa en la reducción del riesgo sísmico.

Se han realizado avances destacados en la comprensión dinámica no lineal de los terremotos y la respuesta de las estructuras. Estos avances abarcan la optimización de la configuración estructural, la determinación más precisa del tamaño y la forma de diversos elementos, el aumento en la comprensión de los materiales de construcción y la mejora de los métodos de fabricación.

Estas técnicas de diseño moderno se han desarrollado principalmente en las últimas cinco décadas,

especialmente en países desarrollados que tienen regiones sísmicas activas, como Estados Unidos, Japón y Nueva Zelanda.

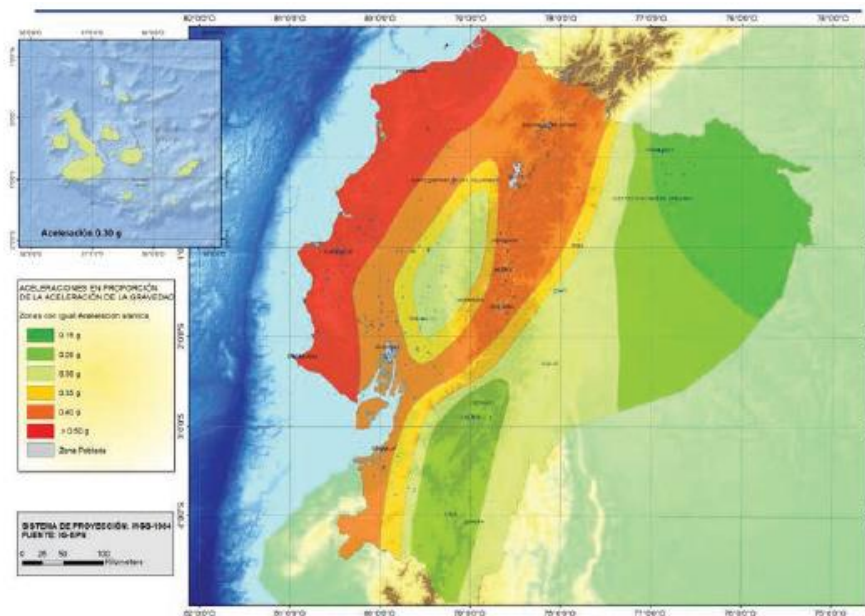
Es claro que abordar el problema de las cargas y la interacción de estructuras como un conjunto requiere un enfoque multidisciplinario. Por lo tanto, el diseño moderno de estructuras sísmicamente resistentes involucra la colaboración de especialistas provenientes de diversas disciplinas, tales como geólogos, sismólogos, ingenieros estructurales, ingenieros geotécnicos, ingenieros mecánicos y científicos de materiales, entre otros. Este enfoque ha conducido a la proposición de numerosos dispositivos, técnicas y estrategias destinadas a reducir la demanda sísmica y/o mejorar la resistencia, ductilidad o capacidad de disipación de energía de una estructura determinada.

El desarrollo en el sector de la construcción en la ciudad de Quito, junto con la reubicación del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre a la zona de Tababela, ha llevado a los diseñadores a considerar la posibilidad de aumentar el límite de altura de las

edificaciones. Dado que Quito se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico (Zona Sísmica "V" según la normativa NEC_SE_DS de 2015), los ingenieros civiles deben asegurarse de que las estructuras cumplan con las disposiciones establecidas en normativas nacionales e internacionales en cuanto a la disipación de energía.

En los últimos años, la ingeniería estructural ha creado sistemas diseñados para proteger las edificaciones contra sismos destructivos de alta magnitud, eventos naturales que provocan las mayores pérdidas económicas y humanas a nivel mundial.

A raíz de los antecedentes mencionados, se presenta el desafío para la ingeniería ecuatoriana de llevar a cabo estudios e implementar sistemas como las Masas Sintonizadas. Estos sistemas incorporan masas adicionales ubicadas estratégicamente en la parte superior de los edificios, cuyo movimiento absorbe parte de la energía cinética generada por el sismo.

Figura 1. Mapa de Peligro Sísmico del Ecuador

Fuente: (NEC 2015, 2015)

Los disipadores de masa sintonizada son elementos innovadores utilizados en ingeniería estructural para mejorar la respuesta sísmica de edificaciones frente a terremotos. Estos dispositivos, también conocidos como TMD por sus siglas en inglés (Tuned Mass Dampers), están diseñados para reducir las vibraciones y absorber la energía generada durante un sismo. Al introducir masas adicionales que se mueven en fase con la vibración principal de la estructura, los disipadores de masa sintonizada pueden mitigar los efectos destructivos de las fuerzas sísmicas, mejorando así la seguridad y la resistencia de los edificios ante eventos sísmicos de alta magnitud.

En esta breve introducción, exploraremos cómo funcionan estos dispositivos, sus aplicaciones en la práctica de la ingeniería civil y los beneficios que ofrecen para la protección de las estructuras frente a terremotos.

La investigación está enfocada a como los sistemas de masa sintonizada modifican las propiedades dinámicas de edificios de diferentes alturas con el mismo sistema estructural.

Figura 2. Amortiguador de Masa Sintonizada

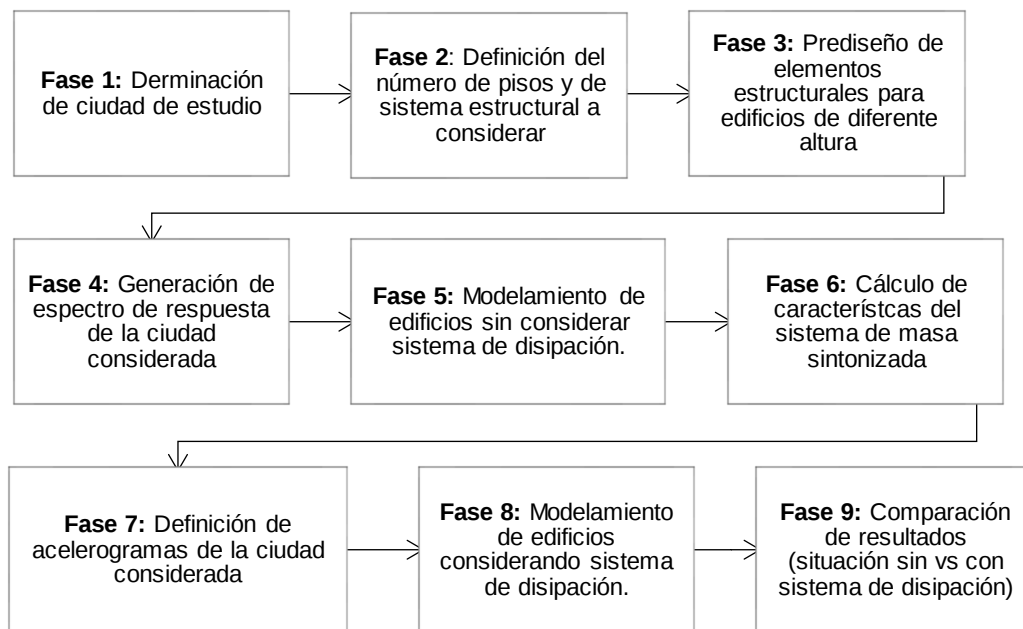


Fuente: (NEC 2015, 2015)

2. Materiales y métodos

Se presenta a la investigación con un alcance teórico y exploratorio, dado que se debe recolectar información, para luego ser procesada y modelada mediante el software ETABS que permite una mejor visualización de los resultados con la finalidad de proponer alternativas y realizar comparaciones entre las diferentes condiciones propuestas. Debido a que se tiene que realizar cálculos de diferentes características que son necesarias para definir tanto el sistema estructural como el sistema de disipación de energía se tiene un enfoque cuantitativo ya que estas se desarrollan en base a ecuaciones que permite simplificar la

interpretación de los resultados. Al obtener varias características de las diferentes consideraciones estructurales y de las diferentes características que tiene los sistemas de disipación de energía, se puede plantear las condiciones óptimas para utilizar este sistema dentro de estructuras en zonas de alto riesgo sísmico. En la figura 2 se muestra un diagrama de flujo con las actividades a realizar en el desarrollo de la metodología.

Figura 3. Metodología de la investigación

Definición de ciudad de estudio

Se busca considerar las ciudades de la sierra ecuatoriana puesto que esta zona del país posee un alto riesgo sísmico y es un buen punto de partida para analizar el comportamiento de estos sistemas frente a sismos de gran magnitud. Para la investigación se decide trabajar con la ciudad de Quito.

Definición del número de pisos y del sistema estructural

Se debe realizar la comparación de la respuesta obtenida con la inclusión de estos sistemas de disipación para edificios de diferente altura. Se considera como altura de los edificios: 15 pisos, 20 pisos, 30 pisos, 40 pisos y 50 pisos.

La definición del sistema estructural es de suma importancia dentro del análisis. De esta definición depende las características que tienen las secciones a utilizar dentro de la edificación. Adicionalmente, con la definición del sistema estructural, se considera que tan dúctil será la edificación al momento de presentarse el sismo de diseño. Este criterio de ductilidad se alcanza con el cumplimiento completo de las normativas de diseño sismorresistente. Se considera como sistema estructural: Pórticos especiales resistentes a momento con perfiles armados de acero estructural. La especificación NEC – SE – DS del año 2015 menciona que para este sistema estructural se

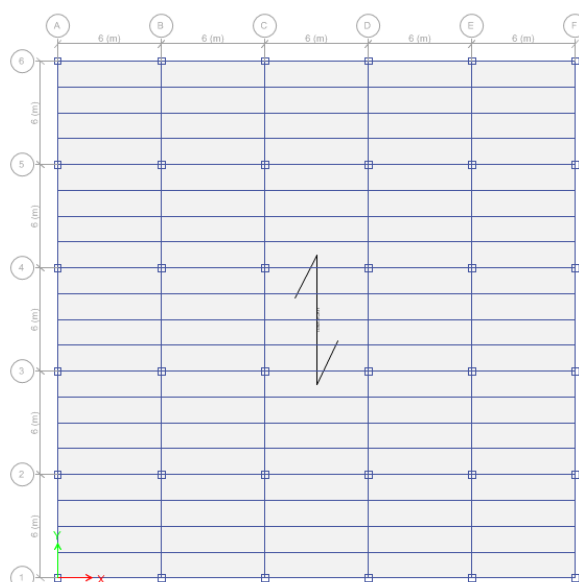
considere un valor del Factor de Reducción de Respuesta Estructural "R" igual a 8.

Prediseño de los elementos estructurales

Dentro de la ingeniería civil, el diseño de elementos estructurales es un proceso iterativo, es decir, se debe repetir varias veces el proceso de cálculo antes de llegar a la sección final del elemento estructural. Por lo que es necesario marcar un punto de partida que permita alcanzar las

secciones finales a utilizar de manera más rápida. Para este proceso se considera las cargas que deben resistir los elementos estructurales, las características de los materiales que los conforman y consideraciones y variables necesarias para un diseño sismorresistente de los elementos. Por medio de este proceso, se obtiene características para vigas principales, vigas secundarias, columnas y losas de cada uno de edificios considerados.

Figura 4. Planta tipo para todos modelos propuestos



Generación de Espectro de Respuesta de la ciudad considerada

Ecuador se encuentra en una región altamente sísmica, históricamente afectada por terremotos de gran

magnitud. Esto se debe a la presencia de un límite convergente entre placas en la región noroeste de Sudamérica. Este límite exhibe alta actividad sísmica, caracterizada por un arco volcánico, subducción y una

colisión en curso entre el arco y el continente. La actividad sísmica en Ecuador es principalmente el resultado de la interacción entre dos placas tectónicas: la Placa de Nazca (oceánica) y la Placa Sudamericana (continental).

La falla activa que es considerada en el Ecuador es la denominada “Pallatanga – Chingual”. Su inicio es en el golfo de Guayaquil, atraviesa Riobamba y se extiende a Colombia y se cree que llega a Venezuela. De esta falla, nacen dos secundarias:

- Quito – Latacunga
- Subandina Oriental, en la región amazónica.

Con estos antecedentes, se considera el mapa de zonificación sísmica del Ecuador especificado en la normativa NEC – SE – DS para la determinación de las aceleraciones en función de la gravedad para la ciudad en estudio. Contando con el perfil de suelo que es predominante en la zona de estudio, se determina las características necesarias para generar el espectro elástico de aceleraciones. Además, es necesario considerar un espectro de aceleraciones de diseño para lo cual se toma en cuenta el factor de

reducción de respuesta estructural “R” para reducir las ordenadas espectrales debido al sistema estructural considerando.

Modelación de edificio sin considerar el sistema de disipación

Determinadas todas las características necesarias para los edificios propuestos, se procede a realizar los modelos estructurales con la ayuda del software ETABS, que es un software de análisis estructural y diseño de edificaciones, conocido mundialmente.

Para realizar la modelación se define todas las características que componen los elementos estructurales. Se definen los materiales a considerar tanto para los perfiles como para la losa.

Se prosigue con la definición de cada uno de los perfiles de acero estructurales que fueron obtenidos por un proceso de prediseño. De igual manera, se procede con la definición de la losa que se utiliza.

Definidas las secciones de los elementos estructurales a utilizar, se realiza el dibujo de la estructura. Dentro de este proceso se incluye la asignación de las cargas que resiste

la estructura, tanto verticales como horizontales.

Concluido con el proceso de modelado, se realiza el análisis estructural con la finalidad de revisar si la estructura tiene un comportamiento adecuado con las cargas aplicadas. De estos modelos se obtiene información como reacciones, cortantes y momentos que son necesarios para la comparación con los modelos que incluyan el sistema de disipación.

Cálculo de las características de los sistemas de masa sintonizada

Tras realizar el análisis de los modelos sin sistemas de disipación, se desarrolla el diseño de los sistemas de amortiguadores de masa sintonizada que se implementarán en todos los modelos propuestos. La incorporación de estos sistemas tiene como objetivo mitigar los efectos de las cargas sísmicas en las estructuras. Para aplicar estos sistemas de protección sísmica de manera efectiva, es crucial definir ciertos parámetros y requisitos de diseño, que abarcan desde las propiedades del material a utilizar hasta la geometría y el método de modelado de este

elemento dentro del software ETABS.

Para el diseño de las características de este sistema de disipación se considera el método propuesto por Sadek (et al., 1996) para definir los parámetros de los sistemas de amortiguadores de masa sintonizada. Este método busca determinar los parámetros óptimos para los amortiguadores con el fin de mitigar significativamente los efectos de las cargas sísmicas.

El criterio adoptado consiste en determinar, para una relación de masas dada, las relaciones de frecuencia y amortiguamiento que harían que el sistema estructural se asemeje mucho a los amortiguamientos en los dos primeros modos de vibración. Tanto para sistemas de un solo grado de libertad como para sistemas de múltiples grados de libertad, los parámetros de los amortiguadores de masa sintonizada se presentan en ecuaciones y tablas.

Los resultados obtenidos al utilizar estos parámetros indican una reducción significativa (de hasta un 50%) en los efectos de las cargas

sísmicas sobre los sistemas estructurales.

Figura 5 Parámetros óptimos de frecuencia para AMS

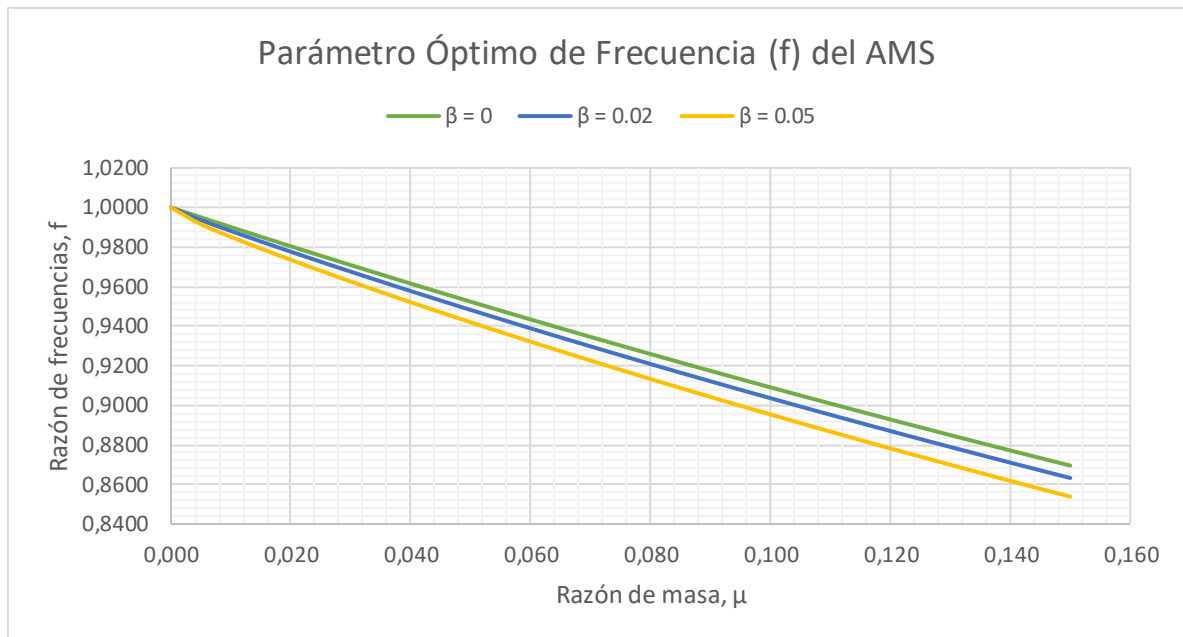
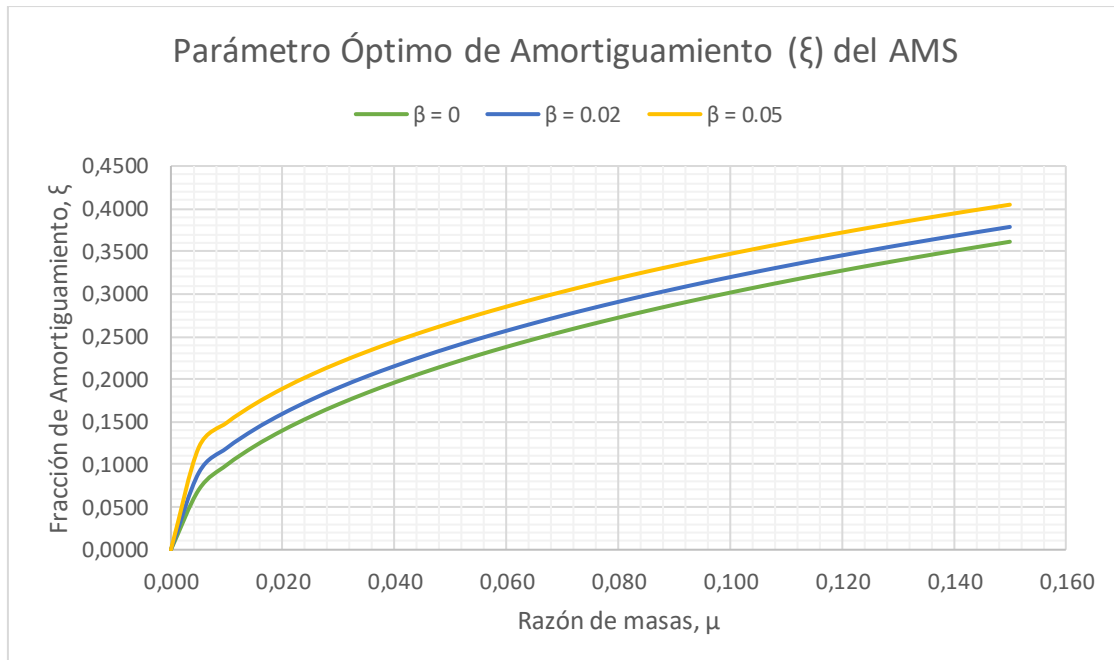


Figura 6 Parámetros óptimos de amortiguamiento para AMS



Definición de acelerogramas de la ciudad considerada

Se debe considerar acelerogramas de sismos en la zona. Si no se

cuenta con la información suficiente, se consideran acelerogramas que estén relacionados al lugar donde se tiene la estructura. Para utilizar los

acelerogramas se realiza un análisis Tiempo – Historia. Este método que consiste en encontrar la respuesta de una estructura sometida a la acción registros de sismos reales o artificiales que, siendo normados, la aceleración máxima se equipare con la aceleración máxima esperada en el lugar donde se piensa ubicar la estructura. Es un método de análisis que arroja similares resultados a los que se obtiene por medio del método de respuesta modal.

Modelamiento de edificios considerando sistema de disipación.

Con todas características definidas, se modela los sistemas de masa sintonizada para cada uno de los

modelos propuestos. Para cada uno de los modelos se tienen características diferentes para el sistema de masa sintonizada que va a ser incluidos.

3. Resultados y discusión

Masa del Sistema AMS

Las masas necesarias para cada uno de los sistemas AMS se presentan en la Tabla 1. Los valores presentados muestran que las masas de los sistemas AMS dependen del peso de cada uno de los edificios. Aproximadamente se considera que la masa del sistema AMS es igual a 1% del peso total del sistema estructural.

Tabla 1. Cálculo de valor de masas para sistemas AMS (1%)

Modelo	Peso (ton)	Masa del AMS (kg*s ² /cm)
15 pisos	9031.62	92.07
20 pisos	12336.35	125.75
30 pisos	19590.69	199.70
40 pisos	27450.81	279.82
50 pisos	36264.82	369.67

La rigidez del sistema AMS se la puede estimar con la siguiente expresión, considerando que la rigidez del sistema AMS es equivalente a la sumatoria de

rigideces horizontales que posee el sistema de aisladores:

$$K_{ht} = n * \frac{4 * \pi^2 * P_t}{T^2 * g}$$

Del software ETABS se obtiene valores de compresión máxima y el valor del primer modo de vibración de cada modelo. Se considera la utilización de 4 aisladores para el

AMS de cada modelo. Con estos datos se encuentra la rigidez horizontal del sistema de aisladores y los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Figura 7. Modelo tipo del sistema AMS

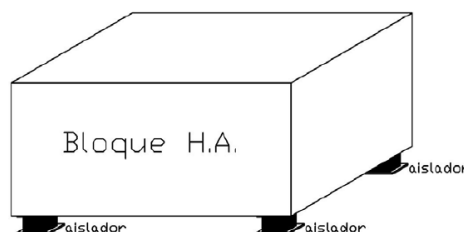


Tabla 2. Rigidez de sistema AMS (1%)

Modelo	Compresión máxima, Pt (kg)	Periodo del primer modo de vibración (seg)	Rigidez Horizontal, Kht (kg/cm)
15 pisos	22579.06	1.961	945.15
20 pisos	30840.87	2.508	789.26
30 pisos	48976.73	3.534	631.26
40 pisos	68627.02	4.812	477.08
50 pisos	90662.04	5.829	429.52

El amortiguamiento del sistema AMS es equivalente al amortiguamiento que posee el sistema de aisladores y se utiliza la siguiente expresión para estimar el valor:

$$c = 2 * \xi * \sqrt{K_{ht} * m}$$

Calculados los datos de rigidez horizontal y la masa del sistema AMS, el amortiguamiento relacionado con el sistema de amortiguadores de masa sintonizada para cada modelo se presenta en el siguiente resumen:

Tabla 3. Amortiguamiento de sistema AMS (1%)

Modelo	Fracción de amortiguamiento, ξ	Rigidez Horizontal, Kht (kg/cm)	Masa de AMS (kg*s ² /cm)	Amortiguamiento, c (kg/cm)
15 pisos	0.2	945.15	92.07	117.99
20 pisos	0.2	789.26	125.75	126.02
30 pisos	0.2	631.26	199.70	142.02
40 pisos	0.2	477.08	279.82	146.15
50 pisos	0.2	429.52	369.67	159.39

Los resultados que se comparan serán los que se obtengan por medio del análisis Tiempo – Historia. Se analiza los resultados obtenidos en los edificios de 15, 30 y 50 pisos de altura.

Los resultados dinámicos considerados son:

- Desplazamiento de nudos.
- Velocidad de nudos.
- Aceleración de nudos.

A continuación, se muestra gráficos para el modelo de 15 pisos de altura con y sin la presencia del sistema de amortiguadores de masa sintonizada (AMS).

Figura 8. Desplazamientos Modelo 15 pisos



Figura 9. Velocidades Modelo 15 pisos

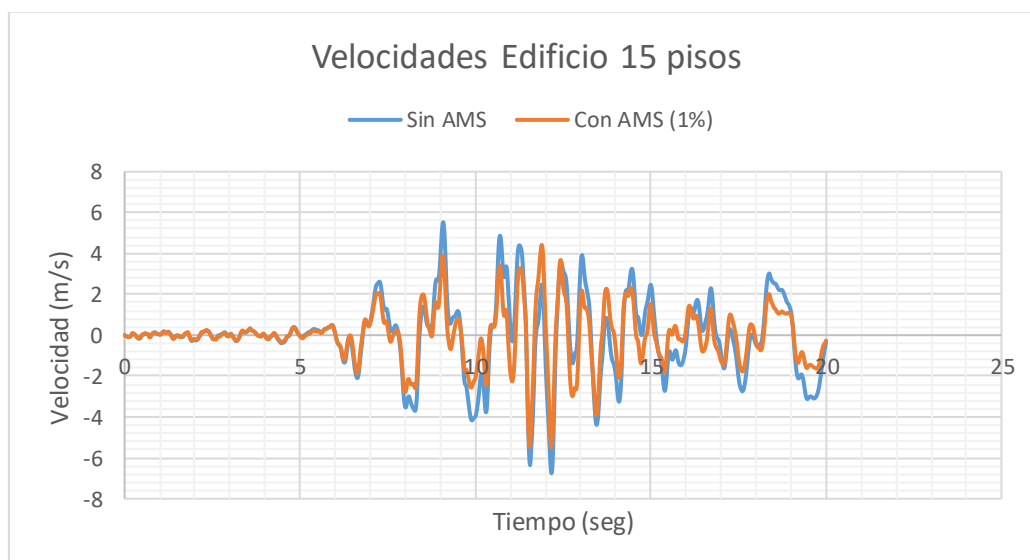
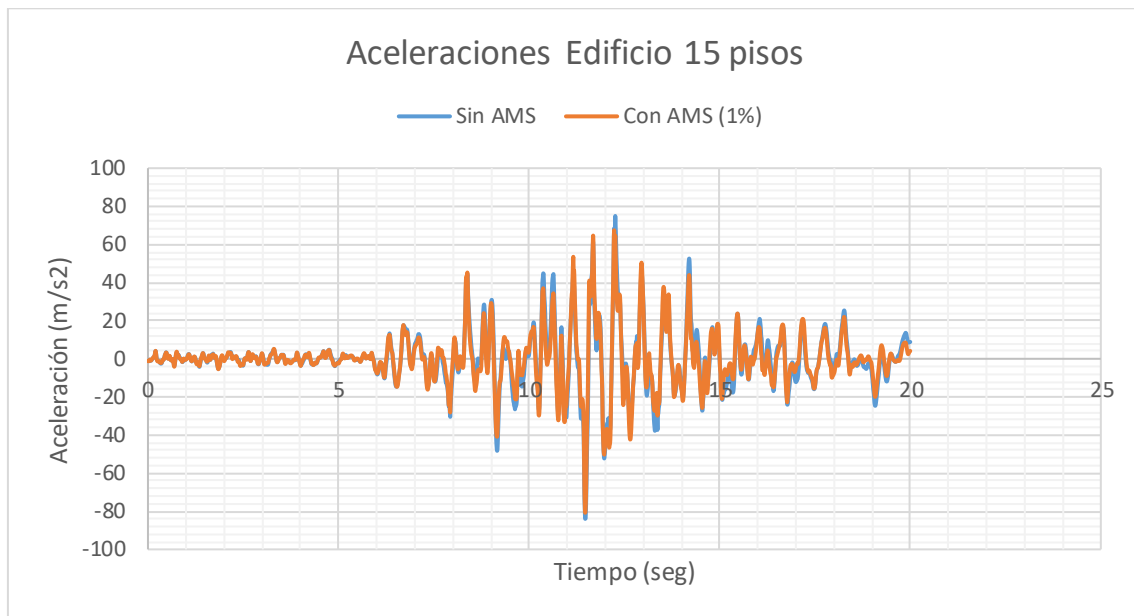


Figura 9. Aceleraciones Modelo 15 pisos

Los gráficos de resultados presentados muestran como las respuestas dinámicas del modelo varían y se ven reducidas por la inclusión de los sistemas AMS. Esto se debe ya que al aumentar la rigidez y el amortiguamiento del sistema estructural con la inclusión de los sistemas AMS, se busca controlar y disminuir las respuestas dinámicas que se producen en la estructura por la acción la carga sísmica.

Se observa que, al inicio del análisis Tiempo – Historia, las respuestas dinámicas varían muy poco, pero con el paso de el tiempo, las ordenadas tanto de desplazamiento, velocidad y aceleración van disminuyendo por acción de la inclusión del sistema AMS.

La respuesta dinámica que más es controlada, apreciándose una reducción mayor, es la velocidad que se genera en el sistema estructural durante la acción de la carga sísmica.

A continuación, se presenta una tabla donde se resume como las respuestas dinámicas han variado comparando los sistemas sin AMS y con AMS:

Tabla 4. Comparación de resultados de modelos sin AMS y con AMS (1%)

Modelo	Desplazamiento (m)			Velocidad (m/s)			Aceleración (m/s ²)		
	Sin AMS	Con AMS	Diferencia	Sin AMS	Con AMS	Diferencia	Sin AMS	Con AMS	Diferencia
15 pisos	1.2557	0.7198	42.68%	6.7535	5.4734	18.95%	83.93	80.7821	3.75%
30 pisos	1.3245	0.9593	27.57%	5.2083	5.0873	2.32%	64.5777	63.545	1.60%
50 pisos	0.9333	0.9092	2.58%	4.2635	3.8387	9.96%	70.8405	54.6558	22.85%

4. Conclusiones

La adecuada modelización del sistema de amortiguadores de masa sintonizada requiere de un análisis estructural preciso realizado con el software ETABS 2015. Este proceso es crucial ya que proporciona datos fundamentales para calcular las características del sistema AMS.

El sistema de amortiguadores de masa sintonizada (AMS) constituye una solución altamente efectiva para mitigar las respuestas dinámicas experimentadas por edificaciones frente a cargas sísmicas. Al implementar este sistema, se logra una reducción significativa en las vibraciones y desplazamientos estructurales, lo que contribuye a mejorar la seguridad y la integridad de los edificios ante eventos sísmicos. La capacidad del AMS para absorber y disipar la energía

generada por movimientos sísmicos se traduce en una protección considerable tanto para la estructura como para sus ocupantes. Además, la aplicación de este sistema permite optimizar el diseño estructural de los edificios, garantizando un comportamiento más resiliente y una mayor capacidad de resistencia frente a situaciones de emergencia. En resumen, el AMS emerge como una herramienta fundamental en la ingeniería sísmica, ofreciendo una solución efectiva y confiable para enfrentar los desafíos que plantean los sismos en el diseño y la construcción de infraestructuras resilientes.

En el contexto de edificaciones de baja altura, los sistemas de amortiguadores de masa sintonizada (AMS) desempeñan un papel crucial al minimizar aún más los desplazamientos que podrían

impactar negativamente en la integridad estructural. Por otro lado, en estructuras de mayor altura, caracterizadas por un mayor número de pisos, los AMS se convierten en aliados esenciales al contribuir significativamente a la reducción de las aceleraciones que podrían transmitirse al sistema estructural en caso de eventos sísmicos. Esta adaptabilidad de los sistemas AMS, tanto para mitigar desplazamientos en edificaciones de baja altura como para reducir aceleraciones en estructuras más altas, subraya su versatilidad y eficacia en diferentes contextos arquitectónicos y geotécnicos. Al integrar estos sistemas en el diseño y la planificación de edificaciones, se asegura una respuesta sísmica más controlada y una mayor capacidad de resistencia ante situaciones de emergencia, fortaleciendo así la seguridad y la robustez de las estructuras frente a eventos sísmicos.

Cuando se trata de edificaciones con modelos simétricos tanto en planta como en elevación, se adopta la estrategia de ubicar el sistema de amortiguadores de masa sintonizada (AMS) en el centro de gravedad de la

planta. Esta disposición tiene como objetivo principal evitar la generación de efectos de torsión inducidos por el sistema, lo que contribuye a mantener una distribución equilibrada de las fuerzas dinámicas en la estructura. Sin embargo, en el caso de edificios que presentan asimetrías, es necesario llevar a cabo un análisis más detallado para determinar la ubicación óptima del sistema en la planta. En estas situaciones, se requiere evaluar cuidadosamente diversos factores, como la geometría y la distribución de masas, con el fin de garantizar una respuesta sísmica efectiva y controlada. Además, se considera la posibilidad de aumentar el número de masas que intervienen en el control de las respuestas dinámicas, lo que puede ser una alternativa viable para contrarrestar los efectos de la asimetría y mejorar la estabilidad global del edificio frente a cargas sísmicas. En resumen, la ubicación y el diseño del sistema AMS en edificaciones simétricas y asimétricas requieren un enfoque específico y cuidadoso para garantizar su eficacia en la mitigación de los efectos sísmicos y la protección de la estructura y sus ocupantes.

El sistema de amortiguadores de masa sintonizada (AMS) emerge como una opción económica en comparación con otros sistemas de disipación de energía, como los aisladores de base y las diagonales con amortiguadores. Esta economía se evidencia en la manera en que estos sistemas alternativos requieren una distribución específica dentro de la estructura para funcionar de manera eficaz. Por ejemplo, los aisladores de base deben ser instalados en cada columna del sistema estructural para garantizar un adecuado funcionamiento del sistema disipador de energía. Por otro lado, el uso eficiente de diagonales con amortiguadores implica su disposición a diferentes alturas dentro del edificio. En contraste, el sistema AMS presenta una ventaja económica al poder ser implementado de manera más centralizada y uniforme en la estructura, reduciendo así la necesidad de una distribución compleja y costosa de componentes adicionales. Esta característica lo convierte en una opción atractiva para proyectos que buscan optimizar costos sin comprometer la eficacia

en la mitigación de riesgos sísmicos y la protección de la infraestructura.

La integración de sistemas de amortiguadores de masa sintonizada (AMS) aporta múltiples beneficios a la estructura principal. Además de ofrecer una protección efectiva contra cargas sísmicas, estos sistemas añaden masa adicional, rigidez y capacidad de amortiguamiento a la estructura. Esta incorporación de características físicas esenciales contribuye significativamente a mejorar el comportamiento global de la estructura frente a eventos sísmicos. La masa adicional ayuda a estabilizar la estructura al incrementar su inercia, mientras que la rigidez adicional proporciona una mayor resistencia ante deformaciones excesivas. Por otro lado, el amortiguamiento adicional disipa la energía generada por las vibraciones sísmicas, reduciendo así las fuerzas dinámicas que actúan sobre la estructura. En conjunto, estos elementos trabajan en sinergia para fortalecer la capacidad de la estructura principal para resistir y mitigar los efectos destructivos de los terremotos, garantizando un comportamiento más seguro y

adecuado ante situaciones de emergencia.

Bibliografía

- Ambrosini, D., Cuitiño, G., & Rebeco, J. (2004). Eficiencia de Amortiguadores de Masa Sintonizados en Estructuras Sismorresistentes. Buenos Aires.
- American Institute of Steel Construction. (2010). Seismic Provisions for Structural Steel Buildings ANSI/AISC 341-10. Estados Unidos.
- American Institute of Steel Construction. (2010). Specification for Structural Steel Building AISC 360-10. Estados Unidos.
- American Iron and Steel Institute. (s.f.). Steel Bridge Bearing Selection and Design Guide AISI Vol II, Chapter 4. Estados Unidos.
- American Society of Civil Engineers. (2010). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures ASCE/SEI 7-10. Reston.
- Bassotti, R., & Ambrosini, D. (2007). Sobre la Utilización de Amortiguadores de Masa Sintonizados en la provincia de Mendoza. Córdoba:
- Asociación Argentina de Mecánica Computacional.
- Chey, M. (2007). Passive and Semi-Active Tuned Mass Damper Building Systems. Christchurch.
- Connor, J. (2003). Introduction to Structural Motion Control.
- Grunahuer, T. S. (2016). Guía práctica para el diseño de estructuras de acero de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC2015. Quito.
- Guerra, M. (2015). Diseño Sismorresistente de Edificios utilizando ETABS y NEC 2015. Quito: Bustos Guerra Consultora.
- Krenk, S., & Hogsberg, J. (2008). Tuned Mass Absorbers on Damped Structures. Southampton.
- Lee, C.-L., Chen, Y.-T., & Wang, Y.-P. (2005). Optimal design theories and applications of tuned mass dampers. Taipei.
- McCormac, J., & Csernak, S. (2013). Diseño de Estructuras de Acero. México DF: Grupo Editor.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015. Quito.

Ocampo, F. P., Moreno, C., & Thomson, P. (s.f.). Diseño e Implementación de un Amortiguador de Masa Sintonizada (TMD) robusto para disminuir la Respuesta Dinámica en Estructura Metálica. Cali.

Ross, M., Rao, B., Iyer, N., & Mohan Rao, R. (s.f.). Response of Steel Framed Building with Tuned Mass Damper for Site-Specific Earthquakes.

Salvi, J., Rizzi, E., & Gavazzeni, M. (2014). Analysis on the optimum performance of Tuned Mass Damper devices. Porto.

Salvi, J., Rizzi, E., Rustighi, E., & Ferguson, N. (2013). Analysis and Optimisation of Tuned Mass Damper. Pisa.

Septimiu, G., & Pastia, C. (2013). Passive Tuned Mass Damper for Seismic Protection. Iași.

Tuan, A., & Shang, G. (2014). Vibration Control in a 101-Storey Building Using a Tamsui.