



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE UN  
DISIPADOR DE MASA SÓLIDA SINTONIZADA PARA REDUCIR LA  
RESPUESTA DE UNA ESTRUCTURA ESBELTA**

**T E S I N A**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**ESPECIALISTA EN ESTRUCTURAS**

PRESENTA:

**ING. JORGE ALVAREZ CHOMBO**

DIRECTOR DE TESINA: **DR. ADRIÁN POZOS ESTRADA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.

MAYO 2018



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

**Presidente:** M.I. Octavio García Domínguez  
**Secretario:** M.I. Raúl Sánchez García  
**Vocal1:** Dr. Adrián Pozos Estrada  
**Vocal2:** Ing. Esp. Héctor G. Elizarrarás Esquivel  
**Vocal3:** M.I. Leonardo Flores Corona

**Lugar donde se realizó la tesis:** INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM.

**DIRECTOR DE TESINA:**

DR. ADRIÁN POZOS ESTRADA

-----  
FIRMA

## **Dedicatorias**

*Le agradezco a Dios por darme la fortaleza para lograr mis metas.*

*A mis padres por su cariño, paciencia, por la formación que he recibido y todo el apoyo incondicional brindado a lo largo de mi vida. Siendo yo consciente del sacrificio que esto representó.*

*A mis hermanos Rubén y Naghielli, por ser mis compañeros de vida y por todo su apoyo incondicional.*

*A mis amigos Gilberto, Javier, Eduardo, Elizabeth, Diana, José, Héctor, Antonio, Rizal, "Hugo Sánchez".*

*A toda mi familia, por sus enseñanzas y apoyarme siempre.*

*A mis paisanos de Cotija de la Paz, Michoacán, para que este trabajo sirva de fuente de motivación para lograr sus sueños.*

## **Agradecimientos**

*A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería, a las cuales siempre guardaré admiración, respeto y cariño, por mostrarme un panorama distinto, por formarme como un profesional íntegro y por darme una formación privilegiada con los mejores profesores de nuestro país.*

*Al Doctor Adrián Pozos Estrada por invertir su tiempo, paciencia y dedicación, y por creer en nosotros las nuevas generaciones, el futuro de México.*

*Le agradezco al Instituto de Ingeniería, por permitirme incursionar en el campo de la investigación, por ser parte del programa de becarios y por el apoyo económico brindado.*

*Al grupo de Ingeniería de Viento del Instituto de Ingeniería, por su apoyo en los temas que me permitieron realizar el presente trabajo.*

*A todos los profesores que han contribuido en mi formación académica y humana.*

## Contenido

Resumen.....	1
Abstract .....	1
Nomenclatura.....	2
Objetivo del trabajo.....	3
Introducción .....	3
Antecedentes.....	4
Torre de control.....	4
Elementos que conforman una torre de control.....	5
Masa sólida sintonizada (MSS) .....	5
Capítulo 1 Viento turbulento .....	7
1.1 Simulación del viento turbulento.....	7
1.2 Procedimiento para determinar las acciones del viento y la respuesta de la estructura por medio de un análisis dinámico.....	7
1.3 Estado límite de servicio por viento.....	7
Aceleración .....	8
Distorsiones .....	8
Capítulo 2 Modelación y análisis de la torre de control.....	9
2.1 Modelado de la torre de control .....	9
2.2 Análisis de la estructura de la torre de control.....	10
2.2.1 Análisis Modal.....	10
2.2.2 Amortiguamiento.....	11
2.2.3 Análisis por viento turbulento .....	12
Capítulo 3 Análisis de resultados .....	16
3.1 Selección de la masa óptima y variación de la masa del disipador .....	18
3.2 Selección de la masa óptima y variación de la posición del disipador .....	29
Capítulo 4 Conclusiones y recomendaciones.....	38
4.1 Conclusiones.....	38
4.2 Recomendaciones.....	39
Bibliografía.....	40
Direcciones electrónicas.....	41

## Índice de Figuras

Figura 1. Comparativa de las 5 torres de control más altas del mundo y la nueva torre de control de la Ciudad de México. ....	4
Figura 2. Ejemplo de aplicación de una masa sólida sintonizada, en el rascacielos Taipéi 101. <a href="https://goo.gl/QmNxt5">https://goo.gl/QmNxt5</a> y <a href="https://goo.gl/6m5GHC">https://goo.gl/6m5GHC</a> .....	6
Figura 3. Ejemplo de implementación de estos dispositivos en el puente Álamo, en Jalisco. Datos del mapa ©2017 Google, INEGI <a href="https://goo.gl/FQCHSj">https://goo.gl/FQCHSj</a> y <a href="https://goo.gl/XexmHY">https://goo.gl/XexmHY</a> . ....	6
Figura 4. Modelo geométrico de la torre de control. ....	9
Figura 5. Vista en planta, vibración producida por el viento turbulento. ....	12
Figura 6. Caso 1-Análisis paramétrico.....	13
Figura 7. Caso 2-Análisis paramétrico.....	13
Figura 8. Caso3- Análisis paramétrico.....	14
Figura 9. Caso 4-Análisis Paramétrico.....	14
Figura 10. Caso 5-Análisis Paramétrico.....	15
Figura 11. Caso 6-Análisis Paramétrico.....	15
<i>Figura 12. Representación gráfica de la respuesta de aceleraciones de la estructura original y la estructura mejorada con el disipador (casos 2,3 y4 que hacen referencia a la variación de la masa del MSS). ....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 21. Desplazamientos máximos medios obtenidos en la estructura con el disipador MSS (caso4). ....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 14. Representación gráfica de la respuesta de desplazamientos de la estructura original y la estructura mejorada con el disipador (casos 2,3 y4 que hacen referencia a la variación de la masa del MSS). ....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 15. Representación gráfica de la respuesta de aceleraciones de la estructura original y la estructura mejorada con el disipador (casos 4,5 y 6 que hacen referencia a la variación de la posición del MSS). ....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 16. Representación gráfica de la respuesta de desplzamientos de la estructura original y la estructura mejorada con el disipador (casos 4,5 y 6 que hacen referencia a la variación de la posición del MSS). ....</i>	<i>37</i>

## Índice de tablas

Tabla 1. Percepción de incomodidad en las personas ante oscilaciones horizontales (Simiu et al., 1996). .....	8
Tabla 2. Propiedades del disipador según el caso de análisis. ....	10
Tabla 3. Resultados del análisis modal de la torre de control. Elaboración propia con base en los resultados arrojados por el programa ANSYS Mechanical APDL (2013), versión académica.....	11
Tabla 4. <i>Aceleración máxima media obtenida en la estructura original (sin MSS)</i> . ....	16
Tabla 5. <i>Desplazamientos máximos medios obtenidos en la estructura original (sin MSS)</i> . ....	17
Tabla 6. <i>Aceleración máxima media obtenida en la estructura con el disipador MSS (caso2)</i> . ....	19
Tabla 7. <i>Aceleración máxima media obtenida en la estructura con el disipador MSS (caso3)</i> . ....	20
Tabla 8. <i>Aceleración máxima media obtenida en la estructura con el disipador MSS (caso4)</i> . ....	21
Tabla 9. <i>Comparación de la respuesta de aceleraciones de la estructura original de la torre de control y la estructura mejorada con el disipador (casos 2,3 y 4, que hacen referencia a la variación de la masa del MSS)</i> . ....	22
Tabla 10. <i>Desplazamientos máximos medios obtenidos en la estructura con el disipador MSS (caso2)</i> . ....	24
Tabla 11. <i>Desplazamientos máximos medios obtenidos en la estructura con el disipador MSS (caso3)</i> . ....	25
Tabla 12. <i>Desplazamientos máximos medios obtenidos en la estructura con el disipador MSS (caso4)</i> . ....	26
Tabla 13. <i>Comparación de la respuesta de desplazamientos de la estructura original de la torre de control y la estructura mejorada con el disipador (casos 2,3 y 4, que hacen referencia a la variación de la masa del MSS)</i> . ....	27
Tabla 14. <i>Aceleración máxima media obtenida en la estructura con el disipador 20%MSS a una elevación de 80.4m (caso5)</i> . ....	30
Tabla 15. <i>Aceleración máxima media obtenida en la estructura con el disipador 20%MSS a una elevación de 93.54m (caso6)</i> . ....	31
Tabla 16. <i>Comparación de la respuesta de aceleraciones de la estructura original de la torre de control y la estructura mejorada con el disipador (casos 4,5 y 6, que hacen referencia a la selección de la masa óptima y la variación de su posiciónMSS)</i> . ....	32
Tabla 18. <i>Desplazamientos máximos medios obtenidos en la estructura con el disipador 20%MSS a una elevación de 80.4m (caso5)</i> . ....	34
Tabla 19. <i>Desplazamientos máximos medios obtenidos en la estructura con el disipador 20%MSS a una elevación de 90.5m (caso6)</i> . ....	35
Tabla 20. <i>Comparación de la respuesta de desplazamientos de la estructura original de la torre de control y la estructura mejorada con el disipador (casos 4,5 y 6, que hacen referencia a la selección de la masa óptima y la variación de su posiciónMSS)</i> . ....	36



## Tabla de Ecuaciones

Ecuación 2-1 .....	9
Ecuación 2-2 .....	9
Ecuación 2-3 .....	11
Ecuación 2-4 .....	11
Ecuación 2-5 .....	12
Ecuación 2-6 .....	12
Ecuación 2-7 .....	12

## Resumen

El presente trabajo consiste en encontrar los parámetros óptimos de un disipador de masa sólida sintonizada el cual se colocó en una estructura esbelta que está sometida a las acciones del viento turbulento. Los resultados evidenciaron la eficiencia de estos dispositivos para reducir de buena manera los niveles de vibración.

## Abstract

This work show a practical way to find the optimal parameters of mass and position, of a tuned mass damper, which was placed in a slender structure that is subjected to turbulent wind actions. The results showed the efficiency of these devices to reduce vibration levels significantly.

## Nomenclatura

$T$	Temperatura absoluta.
$\rho$	Densidad.
$\mu$	Viscosidad dinámica.
$M$	Flujo másico.
$Q$	Gasto.
$F$	Fuerza.
$m$	Masa.
$k$	Rigidez de la estructura.
$a$	Aceleración.
$U$	Velocidad.
$P_R$	Presión de remanso.
$Re$	Número de Reynolds.
$S_t$	Número de Strouhal.
$b$	Dimensión característica transversal del cuerpo.
$S_t$	Frecuencia de desprendimiento de vórtices.
$S_c$	Número de Scruton.
$\zeta$	Amortiguamiento estructural.
$g$	Aceleración de la gravedad.
$C_v$	Coefficiente de amortiguamiento.
$C_{v2}$	Coefficiente de amortiguamiento viscoso.
$v$	Velocidad en un instante anterior.
$s$	Desplazamiento.
$t$	Tiempo.
$\omega$	Frecuencia circular.
$T_n$	Frecuencia natural.
$M_{SS}$	Masa sólida sintonizada (disipador).
$M_{MSS}$	Masa del disipador.
$M_{Mod}$	Masa modal del modo fundamental.
$M_{tot}$	Masa total de la torre de control (sin MSS).
$K$	Rigidez del disipador.
$\%MM$	Cociente masa del disipador con respecto a la masa modal del modo fundamental, en porcentaje.
$\%MT$	Cociente masa del disipador con respecto a la masa total de la torre de control, en porcentaje.
$c$	Matriz de amortiguamiento.
$m'$	Matriz de masas de la estructura.
$k'$	Matriz de rigidez de la estructura.
$h$	Incremento de tiempo.
$D$	Diámetro.
$S_L$	Factor de empuje transversal.

## Objetivo del trabajo

Verificar que al realizar un análisis paramétrico variando la masa y posición de un disipador de energía, es posible aumentar la capacidad para reducir la respuesta de una estructura en cuanto a aceleraciones y desplazamientos, sometida a las acciones del viento turbulento.

## Introducción

De manera general se puede definir la turbulencia como el movimiento desordenado de las partículas del aire. Frecuentemente al escuchar el término de turbulencia, viene a nuestra mente la vibración que se genera en una aeronave al pasar por una zona con grandes variaciones de velocidad y dirección del viento. Sin embargo, no solo estos cuerpos son susceptibles, existiendo un gran número de estructuras que se ven afectadas por este fenómeno. En este trabajo se abordará la problemática aplicada a una torre de control de un aeropuerto a la cual se le colocó un disipador pasivo de energía.

En el capítulo 1 se describe el fenómeno de viento turbulento, como se realizó su simulación, el procedimiento a seguir para evaluar sus acciones y los parámetros de referencia.

El capítulo 2 hace mención a la manera en la que se modeló y analizó la estructura de la torre de control.

La respuesta de la estructura frente a las acciones generadas por el viento se presenta en el capítulo 3.

Finalmente, en el capítulo 4 se pueden encontrar las conclusiones y recomendaciones que se tuvieron al realizar el presente trabajo.

# Antecedentes

## Torre de control

Una torre de control es una edificación de gran altura, en cuya cima se sitúa la sala de control, donde los operadores de tráfico aéreo dirigen y controlan al tránsito de las aeronaves. El trabajo que se desarrolla en estas salas es complejo, y conlleva una gran responsabilidad. Ya que los controladores son los responsables de gestionar el aterrizaje y despegue de las aeronaves.



Figura 1. Comparativa de las 5 torres de control más altas del mundo y la nueva torre de control de la Ciudad de México.

## Elementos que conforman una torre de control

**Ventanas:** Una de las características principales de una torre de control es tener la visión total de las pistas de despegue y aterrizaje, esto se consigue a través de los ventanales. Lo cual obliga al diseñador a hacer una estructuración con grandes claros que permitan tener un espacio amplio, libre de cualquier obstrucción visual que interfiera con el trabajo de los operadores.

**Sala de control:** Es el espacio destinado para que los operadores del tráfico aéreo desarrollen sus actividades; incluye un gran número de ordenadores y equipos. Concentrándose una gran cantidad de la masa en la cima de la torre.

**Antenas:** Son utilizadas para propagar o recibir ondas de radio o electromagnéticas. Estas incorporan un radar, el cual permite a los operarios de la torre generar un mapa que identifique la posición de las aeronaves.

**Fuste:** se le considera fuste a la parte que va desde el final de la cimentación, hasta la sala de control. Se puede dividir en dos partes: la primera cuya función es dar sostén estructural y la segunda formada por una superficie que da forma a la torre y le permite tener una interacción suave con el viento.

**Cimentación:** las torres de control se caracterizan por su altitud y esbeltez, por lo que es necesario construir grandes cimentaciones que le den estabilidad a la estructura.

Los edificios esbeltos y las estructuras ligeras presentan mayor susceptibilidad a los efectos generados por el viento. Este genera una carga dinámica (varía respecto al tiempo), la cual se incrementará entre más grande sea su velocidad y el área de contacto del objeto que impida su movimiento; generando empujes, succiones y por ende la vibración en la estructura (Meseguer et al., 2013).

La reducción de la respuesta inducida por el viento turbulento a las estructuras puede lograrse de diferentes maneras, por ejemplo: modificando la rigidez, la masa, el amortiguamiento o la geometría de la propia estructura. Actualmente se ha popularizado el uso de disipadores pasivos, ya que ofrecen una solución simple, confiable y de bajo costo para reducir los niveles excesivos de vibración.

### Masa sólida sintonizada (MSS)

El uso de disipadores de masa sólida sintonizada, para reducir la respuesta de las estructuras generada por el viento ha sido satisfactorio, generando una fuerte tendencia a la investigación de este tipo de dispositivos. Aunque se han utilizado para reducir respuestas laterales, se ha comprobado su eficacia en la reducción de la respuesta en estructuras que son sensibles a efectos torsionales.

De manera general se puede definir un disipador de masa sólida sintonizada como una masa a la cual se le conecta un resorte y un amortiguador viscoso, en paralelo; con la finalidad de atenuar la vibración deseada, para una frecuencia determinada.

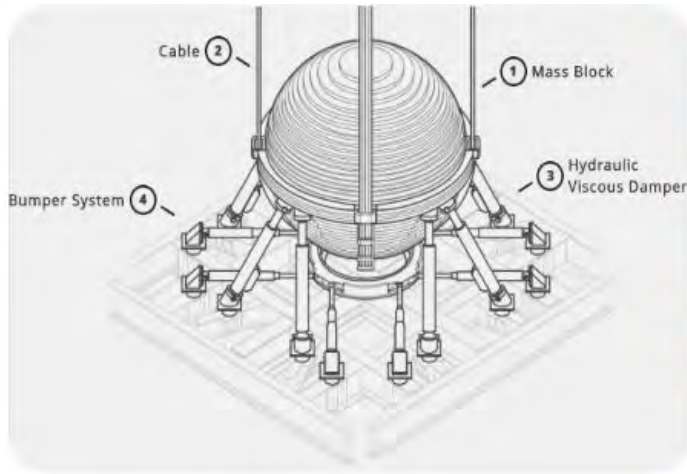


Figura 2. Ejemplo de aplicación de una masa sintonizada, en el rascacielos Taipéi 101. <https://goo.gl/QmNxt5> y <https://goo.gl/6m5GHC>.

El disipador se sintoniza con la frecuencia natural del sistema, provocando que vibre en resonancia disipando una gran cantidad de energía. Las MSS más simples solo pueden sintonizarse con una sola frecuencia de la estructura reduciendo substancialmente la respuesta del modo considerado. Sin embargo, la respuesta en una estructura con múltiples grados de libertad puede aumentar a medida que el número de crujeas o niveles es más grande. De ser así la ingeniería ha dado solución a este problema, instalando un arreglo de disipadores que atenúen la vibración de los modos que se ven afectados (Alvarez, 2017).



Figura 3. Ejemplo de implementación de estos dispositivos en el puente Álamo, en Jalisco. Datos del mapa ©2017 Google, INEGI <https://goo.gl/FQCHSj> y <https://goo.gl/XexmHY>.

# Capítulo 1 Viento turbulento

Una de las causas del movimiento de una estructura es la turbulencia de la corriente incidente, que además de afectar el valor de la carga estática del viento, es una de las fuentes de cargas aerodinámicas no estacionarias.

La turbulencia es un fenómeno dinámico, el cual cambia con el tiempo y la posición, resultando muy complejo de definir. Con los conocimientos y herramientas que se tienen actualmente puede ser descrito en términos estadísticos, lo cual es válido para muchas aplicaciones en ingeniería (Meseguer et al., 2013).

## 1.1 Simulación del viento turbulento

En el Instituto de Ingeniería de la UNAM se han desarrollado varias herramientas de soporte, para la estimación de las acciones a las que están sometidas las estructuras. Entre ellas se encuentra el programa SVTPro (Ortegón, 2016). El cual se basa en el método ARMA (autoregresión y media móvil), en conjunto con la función de densidad de potencia espectral de Kaimal; la cual nos permite simular velocidades de viento turbulento, de manera satisfactoria, únicamente especificando algunos parámetros, como son:

- Las coordenadas de los puntos de análisis del sistema estructural.
- La velocidad media del viento en cada una de las coordenadas anteriores.
- El perfil de exposición del terreno.

Esta herramienta genera señales conformadas por 6000 valores, ya que es generada para un periodo de 10 minutos, con pasos de tiempo de 0.1 segundos.

## 1.2 Procedimiento para determinar las acciones del viento y la respuesta de la estructura por medio de un análisis dinámico.

A continuación, se indica de manera general el procedimiento que se aplicó para analizar la estructura:

1. Generar diez juegos de señales de viento turbulento, con ayuda de un programa de simulación.
2. Evaluar la respuesta de la estructura original y la mejorada con el MSS, para las distintas señales con ayuda de un programa de análisis.
3. Evaluar las respuestas pico para la estructura original y la mejorada con el MSS comparando las aceleraciones y desplazamientos obtenidos.
4. Realizar un análisis paramétrico variando los valores de la masa y posición del dissipador con el fin de optimizarlo.

## 1.3 Estado límite de servicio por viento

A continuación, se muestran los límites máximos permisibles a cumplir para satisfacer el estado límite de servicio por viento, para algunas reglamentaciones.



## Aceleración

En las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal para Diseño por Viento (2004), se puede verificar que únicamente se solicita al diseñador verificar que en edificios altos, la aceleración debida a empujes dinámicos no pase del 4 por ciento de la aceleración de la gravedad (40 mili-g). Por tal motivo y como complemento de este trabajo, se recurrió a una publicación de la Convención Europea para las Construcciones en Acero (1978), donde se establecen las aceleraciones máximas permisibles asociadas a los modos de vibración, identificados como desplazamientos horizontales

Tabla 1. Percepción de incomodidad en las personas ante oscilaciones horizontales (Simiu et al., 1996).

<b>Grado de incomodidad</b>	<b>Aceleración (en porcentaje de la aceleración de la gravedad)</b>
Imperceptible	< 0.5% g
Perceptible	0.5% g - 1.5% g
Molesto	1.5% g - 5% g
Muy molesto	5% g - 15% g
Intolerable	> 15 % g

## Distorsiones

Según las NTCDF (2004) , se revisará que los desplazamientos relativos en niveles consecutivos de edificios o entre secciones transversales de torres, causados por las fuerzas de diseño por viento, no excedan de los valores siguientes, expresados como fracción de la diferencia entre los niveles de piso (distorsiones):

- a) Cuando no existan elementos de relleno que puedan dañarse como consecuencia de las deformaciones angulares: 0.005;
- b) Cuando existan elementos de relleno que puedan dañarse como consecuencia de las deformaciones angulares: 0.002.

\*Se consideró el inciso b) para el caso en estudio.

## Capítulo 2 Modelación y análisis de la torre de control.

### 2.1 Modelado de la torre de control

El modelo geométrico de la estructura fue generado por Ramírez (2016) en su tesis de licenciatura, por medio de un código en el lenguaje del programa ANSYS Mechanical APDL (2013), versión académica; el cual se modificó y adaptó para los fines del presente trabajo.

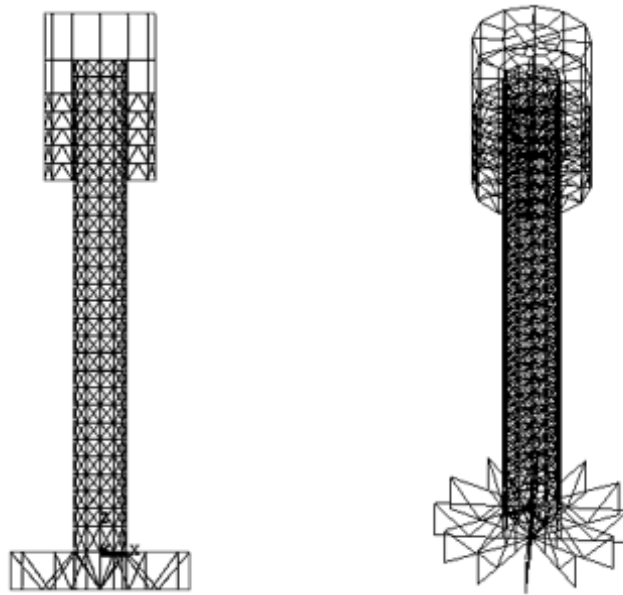


Figura 4. Modelo geométrico de la torre de control.  
Captura de pantalla del modelo hecho en el programa ANSYS-APDL © (2013).

Para modelar el amortiguador (MSS) se añadieron dos elementos:

Un elemento combin14 el cual representa el comportamiento de un amortiguador viscoelástico de comportamiento no lineal, actuando a tensión y compresión, al cual fue necesario asignarle una dirección de trabajo y un coeficiente de amortiguamiento viscoso  $C_{v2}$ , ya que el coeficiente de amortiguamiento real se calcula con la expresión:

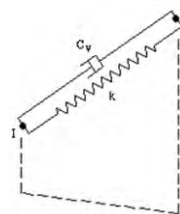
$$C_v = C_{v2} * v$$

Ecuación 2-1

la fuerza de amortiguamiento se calcula cómo:

$$F_x = -C_v \frac{ds_x}{dt}$$

Ecuación 2-2



Donde:

$v$ .- es la velocidad calculada en un instante anterior.

$ds_x/dt$ .- es la derivada del desplazamiento con respecto del tiempo.

También se utilizó un elemento mass21 para representar la masa del disipador (MSS), ya que el elemento combin14 no tiene la opción de asignar una masa.

El coeficiente de amortiguamiento se tomó del catálogo de un fabricante de disipadores. A continuación, se muestra una tabla con algunas de sus propiedades de los disipadores utilizados, en los diferentes casos de análisis:

Tabla 2. Propiedades del disipador según el caso de análisis.

Caso 2			Caso 3			Caso 4		
$\omega$	4.23	rad/s	$\omega$	4.23	rad/s	$\omega$	4.23	rad/s
$T_n$	1.48	s	$T_n$	1.48	s	$T_n$	1.48	s
$M_{MSS}$	102,293	kg	$M_{MSS}$	76,720	kg	$M_{MSS}$	51,147	kg
$M_{Mod}$	511,467	kg	$M_{Mod}$	511,467	kg	$M_{Mod}$	511,467	kg
$M_{Tot}$	2,286,800	kg	$M_{Tot}$	2,286,800	kg	$M_{Tot}$	2,286,800	kg
$cv_2$	3,595,680	$N*s^2/m^2$	$cv_2$	3,595,680	$N*s^2/m^2$	$cv_2$	3,595,680	$N*s^2/m^2$
$K$	1,834,627	N/m	$K$	1,375,970	N/m	$K$	917,314	N/m
%MM	20%	%	%MM	15%	%	%MM	10%	%
%MT	4.5%	%	%MT	3.4%	%	%MT	2.2%	%

Donde:

$\omega$ .- Es la frecuencia natural circular.

$T_n$ .- Es el periodo natural.

$M_{MSS}$ .-Es la masa del amortiguador.

$M_{Mod}$ .-Es la masa modal del modo fundamental.

$M_{tot}$ .- Es la masa total de la estructura.

$Cv_2$ .-Es el coeficiente de amortiguamiento viscoso.

$K$ .-Es la rigidez del amortiguador

%MM.-Es el porcentaje de la masa del amortiguador respecto a la masa modal.

%MT.-Es el porcentaje de la masa del amortiguador respecto a la masa total.

## 2.2 Análisis de la estructura de la torre de control

### 2.2.1 Análisis Modal

Se realizó el análisis modal para obtener las propiedades dinámicas de una estructura. Los resultados más importantes que se obtienen son las frecuencias naturales y la configuración deformada de los modos de vibrar. Los cuales fueron utilizados para calcular el amortiguamiento de la estructura.

El análisis se efectuó con la ayuda del programa ANSYS Mechanical APDL (2013), versión académica; arrojando los siguientes resultados:

Tabla 3. Resultados del análisis modal de la torre de control. Elaboración propia con base en los resultados arrojados por el programa ANSYS Mechanical APDL (2013), versión académica..

Modo	Frecuencia natural (ciclos/s)	Frecuencia natural circular (Rad/s)	Periodo (s)	Masa efectiva dirección Y (kg)	Fracción de masa acumulada dirección Y	Masa modal o Generalizada (kg)
1	0.670	4.212	1.49	144680.0	0.10	505207.2
2	0.674	4.235	1.48	970752.0	0.78	511467.1
3	1.787	11.227	0.56	65.4	0.78	190956.7
4	3.084	19.377	0.32	27271.7	0.80	58124.2
5	3.131	19.670	0.32	100041.0	0.87	62253.7
6	3.647	22.913	0.27	41.0	0.87	26854.8
7	4.142	26.028	0.24	35722.2	0.89	140394.5
8	4.286	26.927	0.23	154628.0	1.00	210170.4
9	4.945	31.068	0.20	8.4	1.00	6625.5
10	6.200	38.956	0.16	4.3	1	22828.7

### 2.2.2 Amortiguamiento

Como menciona Chopra (2014), una buena aproximación hacia la construcción de una matriz de amortiguamiento clásico que sea en cierta medida consistente con los datos experimentales es el amortiguamiento de Rayleigh, ya que propone diferentes fracciones de amortiguamiento para cada modo de vibrar, lo cual hace el análisis más próximo a la realidad.

Se considera el amortiguamiento de Rayleigh como:

$$c = a_0 m + a_1 k \quad \text{Ecuación 2-3}$$

Donde:

$c$ .- Matriz de amortiguamiento de la estructura.

$m$ .- Matriz de masas de la estructura.

$k$ .- Matriz de rigidez de la estructura.

Los coeficientes  $a_0$  y  $a_1$  pueden determinarse a partir de las fracciones de amortiguamiento especificadas  $\zeta_i$  y  $\zeta_j$  para los modos  $i$ -ésimo y  $j$ -ésimo, con la expresión:

$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1/\omega_i & \omega_i \\ 1/\omega_j & \omega_j \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \zeta_i \\ \zeta_j \end{Bmatrix} \quad \text{Ecuación 2-4}$$

Al aplicar este procedimiento a un problema práctico, los modos  $i$  y  $j$  con las fracciones de amortiguamiento especificadas deben elegirse de manera que garanticen valores razonables para las fracciones de amortiguamiento en todos los modos que contribuyen de manera significativa a la respuesta. Ver anexo 1

Relacionando los modos 1 y 10, y suponiendo que la fracción de amortiguamiento de la estructura es del 1%, tenemos:

$$\begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{Bmatrix} = 2 \begin{bmatrix} 1/\omega_1 & \omega_1 \\ 1/\omega_{10} & \omega_{10} \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} 1\% \\ 1\% \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0.0760216 \\ 0.0004633 \end{Bmatrix}$$

Ecuación 2-5

La matriz de amortiguamiento queda:

$$c = 0.0760216 m + .0004633 k$$

Ecuación 2-6

### 2.2.3 Análisis por viento turbulento

El análisis por viento turbulento se debe a la presencia de fuerzas paralelas al sentido del flujo. En la figura 1 se muestra de manera esquemática la vibración generada por este fenómeno en el cuerpo de la torre. (figura 5).

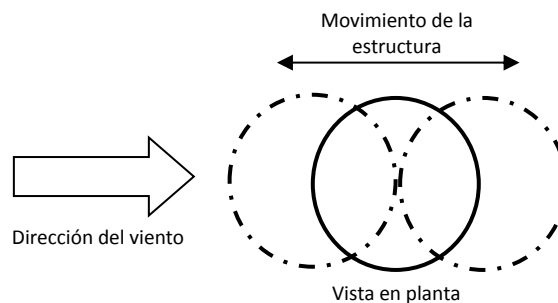


Figura 5. Vista en planta, vibración producida por el viento turbulento.

Para obtener estas fuerzas fue necesario generar señales, es decir, vectores que contienen una historia en el tiempo de las velocidades generadas por el viento, para lo cual se empleó el programa SVTPro desarrollado en el Instituto de Ingeniería por Ortegón y Pozos (2016), considerando un periodo de retorno por servicio de 10 años. Aplicando la expresión de fuerza de arrastre para fluidos Newtonianos, se convirtieron las señales de velocidad en señales de fuerza:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho v^2 C_D A_D$$

Ecuación 2-7

Donde:

$\rho$ .- Densidad del viento, 1.23 kg/m<sup>3</sup>.

$C_D$ .- Coeficiente de arrastre, 0.536 obtenido con ayuda del MOC 2008 CFE.

$A_D$ .-Área expuesta proyectada en un plano vertical.

Se realizaron tantos análisis, como números de juegos de señales se tuvieran y casos de aplicación. Esto con el fin de obtener resultados representativos, ya que el viento se comporta como una variable aleatoria,

es decir, no se puede predecir el resultado exacto ya que cada experiencia en particular arroja resultados diferentes.

Con ayuda del programa ANSYS Mechanical APDL (2013), versión académica, se aplicaron las señales de fuerza en los nodos y se procedió con el análisis paramétrico, estudiando los siguientes casos:

Caso 1) Evaluación de la respuesta de la torre de control sin disipador MSS.

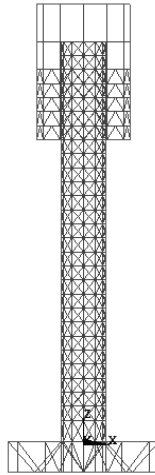


Figura 6. Caso 1-Análisis paramétrico.

Caso 2) Colocación del disipador a una altura de 66.4 metros, correspondiente al cambio en la sección transversal de la torre; con una masa equivalente al 10% de la masa modal del modo fundamental de vibración.

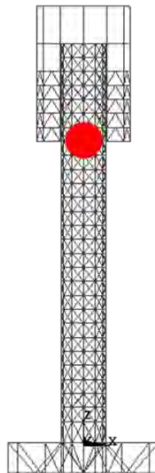


Figura 7. Caso 2-Análisis paramétrico.

Caso 3) Se mantiene la posición del disipador a la misma altura que el caso anterior; y se propone una masa equivalente al 15% de la masa modal del modo fundamental de vibración.

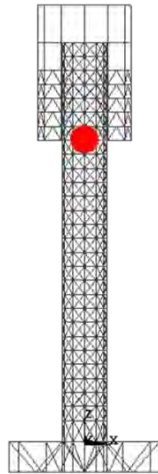


Figura 8. Caso3- Análisis paramétrico.

Caso 4) Se mantiene la posición del disipador, y se propone una masa equivalente al 20% de la masa modal del modo fundamental de vibración.

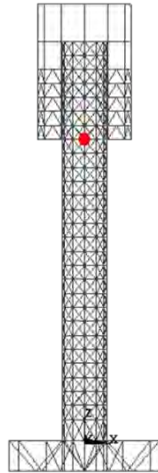
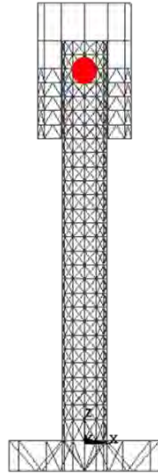


Figura 9. Caso 4-Análisis Paramétrico.

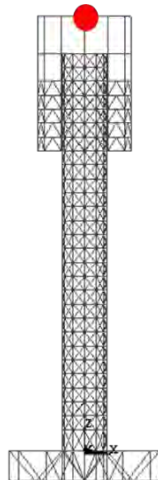
Al terminar los análisis anteriores se seleccionó el caso con el que se tenía una mayor reducción en la respuesta de la estructura, y se analizaron otros dos casos variando la posición del disipador MSS:

Caso 5) Se colocó el disipador a una altura 80.4 metros.



*Figura 10. Caso 5-Análisis Paramétrico.*

Caso 6) Se colocó el disipador en parte más elevada de la torre, a una altura de 93.5 metros.



*Figura 11. Caso 6-Análisis Paramétrico.*

Una vez terminadas las simulaciones, se obtuvo la respuesta de la estructura en términos de historias en el tiempo de las aceleraciones y desplazamientos en los nodos de análisis, y para cada una de las simulaciones se tomaron los valores máximos. Finalmente se obtuvo un promedio de éstos valores, con el fin de obtener valores representativos.



### Capítulo 3 Análisis de resultados

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la respuesta de la torre de control provenientes del análisis hecho con ayuda del programa comercial ANSYS Mechanical APDL© (2013). Analizando los valores máximos y de manera particular los resultados obtenidos en el nodo 392, el de mayor altura, (93.5m), ya que en este se tiene la respuesta máxima.

Tabla 4. Aceleración máxima media obtenida en la estructura original (sin MSS).

Aceleración máxima media- Estructura original (sin disipador)													
Altura (m)	Nodo de análisis	Número de simulación										$\bar{a}$	$\bar{a}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	(m/s <sup>2</sup> )	(milli-g)
10.4	308	0.04603	0.02796	0.02343	0.02536	0.02921	0.03200	0.02686	0.02908	0.02775	0.02679	0.02945	3.00168
13.2	307	0.05163	0.03102	0.02771	0.02871	0.03194	0.03022	0.03134	0.02828	0.03541	0.03251	0.03287	3.35111
16	306	0.05064	0.03539	0.03232	0.02751	0.03291	0.03441	0.03953	0.03270	0.03427	0.03130	0.03510	3.57765
18.8	305	0.05266	0.03838	0.04037	0.03237	0.03707	0.03430	0.03477	0.03699	0.03686	0.03546	0.03792	3.86576
21.6	304	0.06040	0.05760	0.03796	0.03866	0.03999	0.03709	0.03598	0.03588	0.03797	0.03545	0.04170	4.25047
24.4	303	0.06450	0.05843	0.04043	0.04042	0.04292	0.04538	0.03843	0.04250	0.04001	0.04074	0.04538	4.62545
27.2	302	0.06443	0.05142	0.04417	0.04035	0.04176	0.03955	0.04108	0.04249	0.04502	0.04345	0.04537	4.62509
30	301	0.07971	0.05279	0.05231	0.04406	0.05175	0.04432	0.04847	0.04819	0.04964	0.05239	0.05236	5.33764
32.8	300	0.08298	0.05366	0.05318	0.05066	0.06187	0.04604	0.04389	0.04570	0.04974	0.05319	0.05409	5.51380
35.6	299	0.08527	0.06148	0.05550	0.05120	0.05665	0.04632	0.04761	0.04742	0.05183	0.05737	0.05606	5.71497
38.4	298	0.08845	0.06735	0.05809	0.05674	0.05269	0.04548	0.05546	0.04814	0.05557	0.05818	0.05862	5.97509
41.2	297	0.09497	0.06597	0.06202	0.06220	0.05658	0.05006	0.06183	0.05209	0.05903	0.06103	0.06258	6.37912
44	296	0.10723	0.06512	0.07466	0.06407	0.05874	0.05068	0.05606	0.05008	0.06574	0.06446	0.06568	6.69567
46.8	295	0.10955	0.06665	0.07826	0.06623	0.06406	0.05589	0.05300	0.05154	0.07626	0.06460	0.06860	6.99324
49.6	294	0.12221	0.06741	0.08190	0.07168	0.06281	0.06234	0.05436	0.05374	0.08302	0.06632	0.07258	7.39852
52.4	293	0.12778	0.07026	0.08323	0.07610	0.06676	0.06227	0.05572	0.05679	0.08514	0.06718	0.07512	7.65773
55.2	292	0.13668	0.07636	0.08544	0.07771	0.06859	0.06161	0.05909	0.05987	0.08455	0.06963	0.07795	7.94624
58	291	0.14543	0.08309	0.08605	0.08400	0.07390	0.06458	0.06344	0.05948	0.08263	0.07535	0.08179	8.33784
60.8	290	0.15520	0.08836	0.09346	0.09190	0.07665	0.06435	0.05952	0.05989	0.08579	0.08576	0.08609	8.77565
63.6	289	0.16355	0.08721	0.10254	0.10057	0.08452	0.06747	0.06172	0.06442	0.09443	0.08817	0.09146	9.32324
66.4	288	0.17236	0.09097	0.11268	0.10783	0.09083	0.07258	0.06914	0.06868	0.09981	0.09437	0.09792	9.98215
69.2	461	0.18710	0.09506	0.11931	0.11237	0.09882	0.07991	0.07540	0.07426	0.10431	0.09250	0.10390	10.59158
72	462	0.19668	0.09700	0.12308	0.11871	0.10040	0.07906	0.07736	0.07522	0.11297	0.09724	0.10777	10.98593
74.8	463	0.20407	0.10513	0.12674	0.12642	0.10400	0.08289	0.08405	0.08049	0.11590	0.10687	0.11366	11.58568
77.6	464	0.19780	0.10601	0.13174	0.12743	0.10589	0.08277	0.08113	0.08824	0.11832	0.10691	0.11462	11.68443
80.4	465	0.21694	0.11632	0.14385	0.14011	0.12781	0.08667	0.08628	0.08658	0.12900	0.11296	0.12465	12.70662
86	391	0.24026	0.13171	0.15130	0.16264	0.12263	0.10846	0.09442	0.10226	0.14467	0.12531	0.13837	14.10461
93.5	392	0.39286	0.25009	0.23979	0.25568	0.24105	0.23643	0.20871	0.22937	0.28526	0.23392	0.25732	26.22997

Tabla 5. Desplazamientos máximos medios obtenidos en la estructura original (sin MSS).

Desplazamiento máximo medio- Estructura original (sin disipador)													
Altura (m)	Nodo de análisis	Número de Simulación										$\bar{d}$	$\bar{d}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	(m)	(cm)
10.4	308	0.00097	0.00072	0.00066	0.00080	0.00064	0.00064	0.00063	0.00063	0.00074	0.00066	0.00071	0.07095
13.2	307	0.00154	0.00111	0.00100	0.00124	0.00099	0.00098	0.00096	0.00096	0.00112	0.00100	0.00109	0.10896
16	306	0.00222	0.00161	0.00147	0.00179	0.00145	0.00143	0.00140	0.00141	0.00162	0.00145	0.00159	0.15856
18.8	305	0.00293	0.00213	0.00193	0.00235	0.00192	0.00189	0.00184	0.00185	0.00212	0.00190	0.00209	0.20857
21.6	304	0.00366	0.00266	0.00241	0.00292	0.00240	0.00236	0.00229	0.00230	0.00263	0.00237	0.00260	0.26002
24.4	303	0.00444	0.00322	0.00291	0.00353	0.00291	0.00285	0.00277	0.00278	0.00316	0.00286	0.00314	0.31431
27.2	302	0.00527	0.00381	0.00344	0.00418	0.00344	0.00337	0.00328	0.00329	0.00373	0.00338	0.00372	0.37194
30	301	0.00614	0.00444	0.00401	0.00486	0.00401	0.00393	0.00381	0.00383	0.00433	0.00394	0.00433	0.43273
32.8	300	0.00705	0.00509	0.00460	0.00557	0.00460	0.00451	0.00436	0.00439	0.00495	0.00451	0.00496	0.49637
35.6	299	0.00801	0.00578	0.00521	0.00631	0.00521	0.00511	0.00494	0.00498	0.00560	0.00511	0.00563	0.56269
38.4	298	0.00900	0.00649	0.00585	0.00708	0.00585	0.00573	0.00555	0.00559	0.00628	0.00574	0.00632	0.63164
41.2	297	0.01002	0.00723	0.00652	0.00788	0.00652	0.00638	0.00617	0.00621	0.00698	0.00639	0.00703	0.70292
44	296	0.01108	0.00799	0.00720	0.00869	0.00720	0.00704	0.00682	0.00686	0.00770	0.00705	0.00776	0.77630
46.8	295	0.01216	0.00877	0.00790	0.00953	0.00789	0.00772	0.00748	0.00752	0.00844	0.00774	0.00852	0.85152
49.6	294	0.01327	0.00956	0.00862	0.01039	0.00861	0.00842	0.00816	0.00819	0.00919	0.00843	0.00928	0.92839
52.4	293	0.01439	0.01038	0.00935	0.01126	0.00933	0.00913	0.00885	0.00888	0.00996	0.00914	0.01007	1.00671
55.2	292	0.01554	0.01120	0.01010	0.01214	0.01007	0.00985	0.00955	0.00958	0.01074	0.00987	0.01086	1.08626
58	291	0.01670	0.01203	0.01085	0.01303	0.01081	0.01057	0.01026	0.01028	0.01153	0.01059	0.01167	1.16653
60.8	290	0.01787	0.01286	0.01160	0.01392	0.01156	0.01130	0.01097	0.01099	0.01232	0.01132	0.01247	1.24709
63.6	289	0.01907	0.01373	0.01238	0.01484	0.01233	0.01206	0.01171	0.01172	0.01314	0.01208	0.01330	1.33042
66.4	288	0.02029	0.01460	0.01317	0.01577	0.01312	0.01282	0.01246	0.01246	0.01397	0.01284	0.01415	1.41498
69.2	461	0.02149	0.01545	0.01394	0.01668	0.01388	0.01356	0.01319	0.01318	0.01477	0.01358	0.01497	1.49714
72	462	0.02272	0.01632	0.01473	0.01762	0.01467	0.01433	0.01394	0.01393	0.01561	0.01434	0.01582	1.58205
74.8	463	0.02393	0.01719	0.01552	0.01854	0.01546	0.01509	0.01467	0.01467	0.01643	0.01510	0.01666	1.66595
77.6	464	0.02514	0.01805	0.01631	0.01946	0.01624	0.01585	0.01541	0.01541	0.01726	0.01585	0.01750	1.74979
80.4	465	0.02634	0.01890	0.01707	0.02038	0.01701	0.01659	0.01614	0.01614	0.01807	0.01659	0.01832	1.83225
86	391	0.02879	0.02065	0.01864	0.02224	0.01859	0.01812	0.01765	0.01764	0.01976	0.01810	0.02002	2.00162
93.5	392	0.03401	0.02431	0.02189	0.02620	0.02215	0.02125	0.02095	0.02077	0.02341	0.02142	0.02364	2.36361

# Análisis Paramétrico

## 3.1 Selección de la masa óptima y variación de la masa del disipador

Tabla 6. Aceleración máxima media obtenida en la estructura con el disipador MSS (caso2).

Aceleración máxima media-Disipador con masa del 10% de $M_{Mod}$													
Altura (m)	Nodo de análisis	Número de simulación										$\bar{a}$	$\bar{a}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	( $m/s^2$ )	(milli-g)
10.4	308	0.04189	0.03081	0.02371	0.02616	0.03056	0.03044	0.02690	0.02807	0.02888	0.02821	0.02957	3.01380
13.2	307	0.04598	0.03352	0.02969	0.03326	0.03181	0.03559	0.03383	0.02949	0.03259	0.03147	0.03372	3.43743
16	306	0.04881	0.03375	0.03458	0.03311	0.03284	0.03307	0.03366	0.03303	0.03583	0.03316	0.03518	3.58646
18.8	305	0.04789	0.03633	0.03385	0.03419	0.03818	0.03635	0.03610	0.03511	0.03679	0.03300	0.03678	3.74893
21.6	304	0.05883	0.04223	0.04150	0.03741	0.04851	0.03969	0.03839	0.03727	0.04363	0.03701	0.04245	4.32698
24.4	303	0.06636	0.04243	0.04412	0.04339	0.04980	0.04702	0.03868	0.04355	0.04814	0.03949	0.04630	4.71954
27.2	302	0.07261	0.04401	0.04529	0.04457	0.04254	0.04892	0.03893	0.04098	0.04334	0.03833	0.04595	4.68401
30	301	0.08368	0.05175	0.05338	0.05561	0.04594	0.05686	0.04726	0.04627	0.04701	0.04513	0.05329	5.43209
32.8	300	0.09162	0.06458	0.05084	0.05531	0.04785	0.05377	0.04714	0.04920	0.04887	0.04379	0.05530	5.63669
35.6	299	0.09653	0.05580	0.05516	0.05392	0.05001	0.05934	0.04667	0.04848	0.05080	0.04360	0.05603	5.71157
38.4	298	0.10209	0.05222	0.05541	0.05997	0.05290	0.05465	0.05501	0.05251	0.05520	0.04912	0.05891	6.00479
41.2	297	0.11199	0.06033	0.06070	0.06229	0.05380	0.05438	0.06119	0.04819	0.05852	0.05893	0.06303	6.42515
44	296	0.11571	0.05840	0.06648	0.06725	0.05323	0.05982	0.05405	0.05452	0.06101	0.05663	0.06471	6.59622
46.8	295	0.11653	0.05967	0.06755	0.07366	0.05711	0.06825	0.05444	0.05584	0.06477	0.05204	0.06698	6.82820
49.6	294	0.12018	0.06330	0.06479	0.07650	0.05987	0.07117	0.05983	0.05878	0.06773	0.05368	0.06958	7.09300
52.4	293	0.12702	0.06704	0.06783	0.07999	0.06575	0.07051	0.05917	0.05984	0.06808	0.05468	0.07199	7.33845
55.2	292	0.12305	0.06427	0.06940	0.08127	0.06738	0.07223	0.06084	0.05843	0.07287	0.06095	0.07307	7.44846
58	291	0.12532	0.06661	0.07258	0.08772	0.06810	0.07281	0.05930	0.05747	0.07356	0.06299	0.07465	7.60925
60.8	290	0.12973	0.06882	0.07196	0.09294	0.06924	0.07033	0.05502	0.05967	0.07242	0.06394	0.07541	7.68663
63.6	289	0.13734	0.07314	0.07366	0.09570	0.07495	0.07149	0.05861	0.06276	0.07179	0.06671	0.07862	8.01384
66.4	288	0.14183	0.08318	0.07884	0.10157	0.07806	0.08118	0.06896	0.06477	0.08061	0.07557	0.08546	8.71106
69.2	461	0.13620	0.09127	0.08255	0.11657	0.07276	0.08035	0.06955	0.06881	0.08798	0.07310	0.08791	8.96161
72	462	0.14600	0.09652	0.08084	0.11008	0.07606	0.07993	0.06996	0.07119	0.09119	0.07876	0.09005	9.17962
74.8	463	0.16462	0.09776	0.09059	0.10696	0.08398	0.08727	0.07369	0.08341	0.09442	0.08487	0.09676	9.86308
77.6	464	0.18620	0.10304	0.09934	0.10531	0.09144	0.08781	0.07200	0.08502	0.09915	0.08368	0.10130	10.32624
80.4	465	0.22271	0.11237	0.10779	0.12274	0.09524	0.10046	0.08514	0.09174	0.11260	0.09940	0.11502	11.72457
86	391	0.20344	0.13163	0.12019	0.12718	0.09848	0.10516	0.09050	0.10109	0.12116	0.10673	0.12056	12.28908
93.5	392	0.46180	0.22608	0.22652	0.26568	0.23441	0.24634	0.22157	0.24523	0.25447	0.21316	0.25953	26.45525

Tabla 7. Aceleración máxima media obtenida en la estructura con el disipador MSS (caso3).

Aceleración máxima media-Disipador con masa del 15% de $M_{Mod}$													
Altura (m)	Nodo de análisis	Número de simulación										$\bar{a}$	$\bar{a}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	( $m/s^2$ )	(milli-g)
10.4	308	0.04374	0.03112	0.02395	0.02576	0.02763	0.02907	0.02544	0.02796	0.02959	0.02908	0.02933	2.99007
13.2	307	0.04854	0.03323	0.03061	0.03293	0.03155	0.03443	0.03599	0.02862	0.03465	0.03278	0.03433	3.49964
16	306	0.05005	0.03815	0.03685	0.03300	0.03381	0.03413	0.03840	0.03136	0.03816	0.02985	0.03637	3.70787
18.8	305	0.05096	0.03944	0.03553	0.03479	0.03535	0.03926	0.04012	0.03498	0.03913	0.03207	0.03816	3.89016
21.6	304	0.05872	0.03838	0.04334	0.03659	0.04582	0.04062	0.04114	0.03841	0.04426	0.04075	0.04280	4.36311
24.4	303	0.06260	0.04175	0.04594	0.03886	0.04742	0.04698	0.03885	0.04482	0.04889	0.04295	0.04590	4.67930
27.2	302	0.06718	0.05150	0.04235	0.04225	0.04024	0.04658	0.03812	0.04330	0.04131	0.03902	0.04519	4.60621
30	301	0.08171	0.05572	0.04850	0.05691	0.04888	0.05420	0.04583	0.04892	0.04538	0.04711	0.05332	5.43490
32.8	300	0.08341	0.05825	0.04534	0.05453	0.04753	0.05602	0.04468	0.04884	0.04613	0.04822	0.05329	5.43252
35.6	299	0.08512	0.05478	0.04943	0.05741	0.04720	0.05829	0.04471	0.05011	0.04805	0.04524	0.05403	5.50803
38.4	298	0.09032	0.05165	0.04934	0.06410	0.05338	0.05685	0.05229	0.05414	0.05533	0.04949	0.05769	5.88044
41.2	297	0.09855	0.05846	0.05327	0.06917	0.05451	0.05623	0.05778	0.04914	0.05843	0.05042	0.06060	6.17686
44	296	0.10174	0.05718	0.05786	0.07321	0.05250	0.05822	0.05010	0.05196	0.06068	0.04702	0.06105	6.22284
46.8	295	0.10210	0.05823	0.05752	0.07972	0.05791	0.06366	0.05204	0.05620	0.06264	0.05232	0.06423	6.54770
49.6	294	0.10514	0.06125	0.05312	0.08185	0.05618	0.06658	0.05240	0.06012	0.06671	0.05307	0.06564	6.69120
52.4	293	0.11120	0.06138	0.05492	0.07813	0.05860	0.06811	0.05531	0.06062	0.06648	0.05373	0.06685	6.81415
55.2	292	0.10637	0.06128	0.06015	0.08429	0.06106	0.06468	0.05722	0.05831	0.07055	0.05675	0.06807	6.93848
58	291	0.10438	0.06150	0.06648	0.08227	0.06365	0.06526	0.05548	0.05704	0.06997	0.05959	0.06856	6.98886
60.8	290	0.10975	0.05986	0.06526	0.07949	0.06305	0.06763	0.06109	0.05952	0.06779	0.06076	0.06942	7.07632
63.6	289	0.11269	0.06306	0.07032	0.08111	0.06583	0.06922	0.06096	0.06304	0.07106	0.06227	0.07195	7.33472
66.4	288	0.12792	0.06888	0.07127	0.08603	0.06854	0.08162	0.05974	0.06404	0.08067	0.06815	0.07769	7.91901
69.2	461	0.14463	0.07424	0.07436	0.09439	0.06667	0.08020	0.06488	0.07119	0.08526	0.06779	0.08236	8.39551
72	462	0.13924	0.07580	0.08039	0.09958	0.07150	0.08328	0.06209	0.07402	0.08288	0.07105	0.08398	8.56072
74.8	463	0.14525	0.07567	0.08379	0.09439	0.07373	0.09026	0.06677	0.07813	0.08894	0.08448	0.08814	8.98479
77.6	464	0.15697	0.08264	0.09453	0.10248	0.07933	0.09031	0.06945	0.07962	0.09445	0.08308	0.09329	9.50922
80.4	465	0.19156	0.09036	0.10132	0.11212	0.08505	0.10378	0.07688	0.08834	0.09985	0.09186	0.10411	10.61267
86	391	0.17995	0.10843	0.09954	0.12534	0.09172	0.11204	0.09222	0.10015	0.10214	0.09796	0.11095	11.30982
93.5	392	0.50042	0.23869	0.22922	0.24756	0.21580	0.27147	0.22936	0.22136	0.24415	0.20382	0.26019	26.52243

Tabla 8. Aceleración máxima media obtenida en la estructura con el disipador MSS (caso4).

Aceleración máxima media-Disipador con masa del 20% de $M_{Mod}$													
Altura (m)	Nodo de análisis	Número de simulación										$\bar{a}$	$\bar{a}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	( $m/s^2$ )	(milli-g)
10.4	308	0.04307	0.03120	0.02600	0.02450	0.02742	0.03269	0.02837	0.02692	0.03085	0.02905	0.03001	3.05876
13.2	307	0.04642	0.03861	0.03060	0.03171	0.03230	0.03284	0.03310	0.03258	0.03181	0.03288	0.03429	3.49496
16	306	0.05019	0.03787	0.03568	0.03255	0.03022	0.03370	0.03493	0.03564	0.03370	0.03064	0.03551	3.61994
18.8	305	0.04870	0.04088	0.03778	0.03719	0.03431	0.03932	0.03625	0.03739	0.03825	0.03387	0.03839	3.91365
21.6	304	0.05866	0.04221	0.04767	0.04007	0.03789	0.03796	0.03891	0.03706	0.04686	0.03468	0.04220	4.30134
24.4	303	0.06267	0.04259	0.05089	0.03490	0.04039	0.04632	0.04056	0.04448	0.04959	0.04052	0.04529	4.61676
27.2	302	0.06348	0.05276	0.04732	0.04063	0.04197	0.04180	0.03801	0.04300	0.04439	0.03999	0.04534	4.62137
30	301	0.07492	0.05733	0.04452	0.05314	0.05103	0.04854	0.03872	0.05057	0.04760	0.04641	0.05128	5.22698
32.8	300	0.08111	0.06009	0.04601	0.04820	0.04988	0.05126	0.04163	0.05022	0.05043	0.04658	0.05254	5.35589
35.6	299	0.07865	0.05667	0.05094	0.05222	0.04776	0.04992	0.04435	0.04825	0.05709	0.04367	0.05295	5.39782
38.4	298	0.08979	0.05418	0.04768	0.05808	0.05295	0.04729	0.05112	0.04825	0.05903	0.04559	0.05540	5.64694
41.2	297	0.08673	0.05633	0.04543	0.06222	0.05219	0.05472	0.05610	0.04846	0.05786	0.04569	0.05657	5.76681
44	296	0.09347	0.05777	0.04848	0.06524	0.05341	0.05563	0.04803	0.04889	0.06344	0.04852	0.05829	5.94170
46.8	295	0.09454	0.05553	0.05486	0.07065	0.05490	0.06245	0.05388	0.04710	0.06781	0.05506	0.06168	6.28730
49.6	294	0.09767	0.05629	0.05564	0.07164	0.05317	0.06519	0.05324	0.04954	0.06558	0.05573	0.06237	6.35774
52.4	293	0.09491	0.05799	0.05603	0.06674	0.05446	0.06658	0.05078	0.04862	0.06680	0.05610	0.06190	6.30982
55.2	292	0.09571	0.05597	0.05620	0.07162	0.05441	0.06297	0.05183	0.05092	0.06936	0.05506	0.06240	6.36129
58	291	0.09520	0.05596	0.06073	0.06814	0.05725	0.06315	0.05020	0.05191	0.07125	0.05836	0.06322	6.44408
60.8	290	0.10304	0.05746	0.06100	0.06364	0.05846	0.06394	0.05410	0.05950	0.07120	0.05817	0.06505	6.63083
63.6	289	0.11240	0.05909	0.06351	0.06819	0.05947	0.06137	0.05357	0.05929	0.07392	0.06652	0.06773	6.90444
66.4	288	0.12195	0.06669	0.06810	0.07169	0.06222	0.06742	0.05726	0.06115	0.07764	0.07594	0.07301	7.44201
69.2	461	0.12671	0.07046	0.07318	0.08036	0.06343	0.07727	0.06093	0.06717	0.08806	0.07212	0.07797	7.94791
72	462	0.11936	0.07299	0.07764	0.09062	0.06888	0.07683	0.06148	0.06923	0.08655	0.07215	0.07957	8.11145
74.8	463	0.14471	0.07507	0.08113	0.08739	0.07081	0.08071	0.07199	0.07671	0.08463	0.07998	0.08531	8.69651
77.6	464	0.15103	0.08252	0.08411	0.09359	0.07297	0.07664	0.07240	0.07593	0.08923	0.07869	0.08771	8.94069
80.4	465	0.16087	0.08926	0.08989	0.10325	0.08227	0.09292	0.07901	0.07847	0.09364	0.08393	0.09535	9.71973
86	391	0.16382	0.09496	0.10212	0.10528	0.09393	0.09357	0.08925	0.08719	0.10658	0.09171	0.10284	10.48327
93.5	392	0.48688	0.25473	0.22866	0.24918	0.22039	0.25412	0.22586	0.20892	0.23275	0.21261	0.25741	26.23955

Tabla 9. Comparación de la respuesta de aceleraciones de la estructura original de la torre de control y la estructura mejorada con el disipador (casos 2,3 y 4, que hacen referencia a la variación de la masa del MSS).

Comparación de las respuestas de Aceleración												
Altura (m)	Nodo	Sin MSS		MSS 10%		Reducción de la respuesta	MSS 15%		Reducción de la respuesta	MSS 20%		Reducción de la respuesta
		$\bar{a}$ (%g)	Percepción	$\bar{a}$ (%g)	Percepción		$\bar{a}$ (%g)	Percepción		$\bar{a}$ (%g)	Percepción	
10.4	308	0.30%	Imperceptible	0.30%	Imperceptible	-0.40%	0.30%	Imperceptible	0.39%	0.31%	Imperceptible	-1.90%
13.2	307	0.34%	Imperceptible	0.34%	Imperceptible	-2.58%	0.35%	Imperceptible	-4.43%	0.35%	Imperceptible	-4.29%
16	306	0.36%	Imperceptible	0.36%	Imperceptible	-0.25%	0.37%	Imperceptible	-3.64%	0.36%	Imperceptible	-1.18%
18.8	305	0.39%	Imperceptible	0.37%	Imperceptible	3.02%	0.39%	Imperceptible	-0.63%	0.39%	Imperceptible	-1.24%
21.6	304	0.43%	Imperceptible	0.43%	Imperceptible	-1.80%	0.44%	Imperceptible	-2.65%	0.43%	Imperceptible	-1.20%
24.4	303	0.46%	Imperceptible	0.47%	Imperceptible	-2.03%	0.47%	Imperceptible	-1.16%	0.46%	Imperceptible	0.19%
27.2	302	0.46%	Imperceptible	0.47%	Imperceptible	-1.27%	0.46%	Imperceptible	0.41%	0.46%	Imperceptible	0.08%
30	301	0.53%	Perceptible	0.54%	Perceptible	-1.77%	0.54%	Perceptible	-1.82%	0.52%	Perceptible	2.07%
32.8	300	0.55%	Perceptible	0.56%	Perceptible	-2.23%	0.54%	Perceptible	1.47%	0.54%	Perceptible	2.86%
35.6	299	0.57%	Perceptible	0.57%	Perceptible	0.06%	0.55%	Perceptible	3.62%	0.54%	Perceptible	5.55%
38.4	298	0.60%	Perceptible	0.60%	Perceptible	-0.50%	0.59%	Perceptible	1.58%	0.56%	Perceptible	5.49%
41.2	297	0.64%	Perceptible	0.64%	Perceptible	-0.72%	0.62%	Perceptible	3.17%	0.58%	Perceptible	9.60%
44	296	0.67%	Perceptible	0.66%	Perceptible	1.49%	0.62%	Perceptible	7.06%	0.59%	Perceptible	11.26%
46.8	295	0.70%	Perceptible	0.68%	Perceptible	2.36%	0.65%	Perceptible	6.37%	0.63%	Perceptible	10.09%
49.6	294	0.74%	Perceptible	0.71%	Perceptible	4.13%	0.67%	Perceptible	9.56%	0.64%	Perceptible	14.07%
52.4	293	0.77%	Perceptible	0.73%	Perceptible	4.17%	0.68%	Perceptible	11.02%	0.63%	Perceptible	17.60%
55.2	292	0.79%	Perceptible	0.74%	Perceptible	6.26%	0.69%	Perceptible	12.68%	0.64%	Perceptible	19.95%
58	291	0.83%	Perceptible	0.76%	Perceptible	8.74%	0.70%	Perceptible	16.18%	0.64%	Perceptible	22.71%
60.8	290	0.88%	Perceptible	0.77%	Perceptible	12.41%	0.71%	Perceptible	19.36%	0.66%	Perceptible	24.44%
63.6	289	0.93%	Perceptible	0.80%	Perceptible	14.04%	0.73%	Perceptible	21.33%	0.69%	Perceptible	25.94%
66.4	288	1.00%	Perceptible	0.87%	Perceptible	12.73%	0.79%	Perceptible	20.67%	0.74%	Perceptible	25.45%
69.2	461	1.06%	Perceptible	0.90%	Perceptible	15.39%	0.84%	Perceptible	20.73%	0.79%	Perceptible	24.96%
72	462	1.10%	Perceptible	0.92%	Perceptible	16.44%	0.86%	Perceptible	22.08%	0.81%	Perceptible	26.17%
74.8	463	1.16%	Perceptible	0.99%	Perceptible	14.87%	0.90%	Perceptible	22.45%	0.87%	Perceptible	24.94%
77.6	464	1.17%	Perceptible	1.03%	Perceptible	11.62%	0.95%	Perceptible	18.62%	0.89%	Perceptible	23.48%
80.4	465	1.27%	Perceptible	1.17%	Perceptible	7.73%	1.06%	Perceptible	16.48%	0.97%	Perceptible	23.51%
86	391	1.41%	Perceptible	1.23%	Perceptible	12.87%	1.13%	Perceptible	19.81%	1.05%	Perceptible	25.67%
93.5	392	2.62%	Molesto	2.65%	Molesto	-0.86%	2.65%	Molesto	-1.11%	2.62%	Molesto	-0.04%

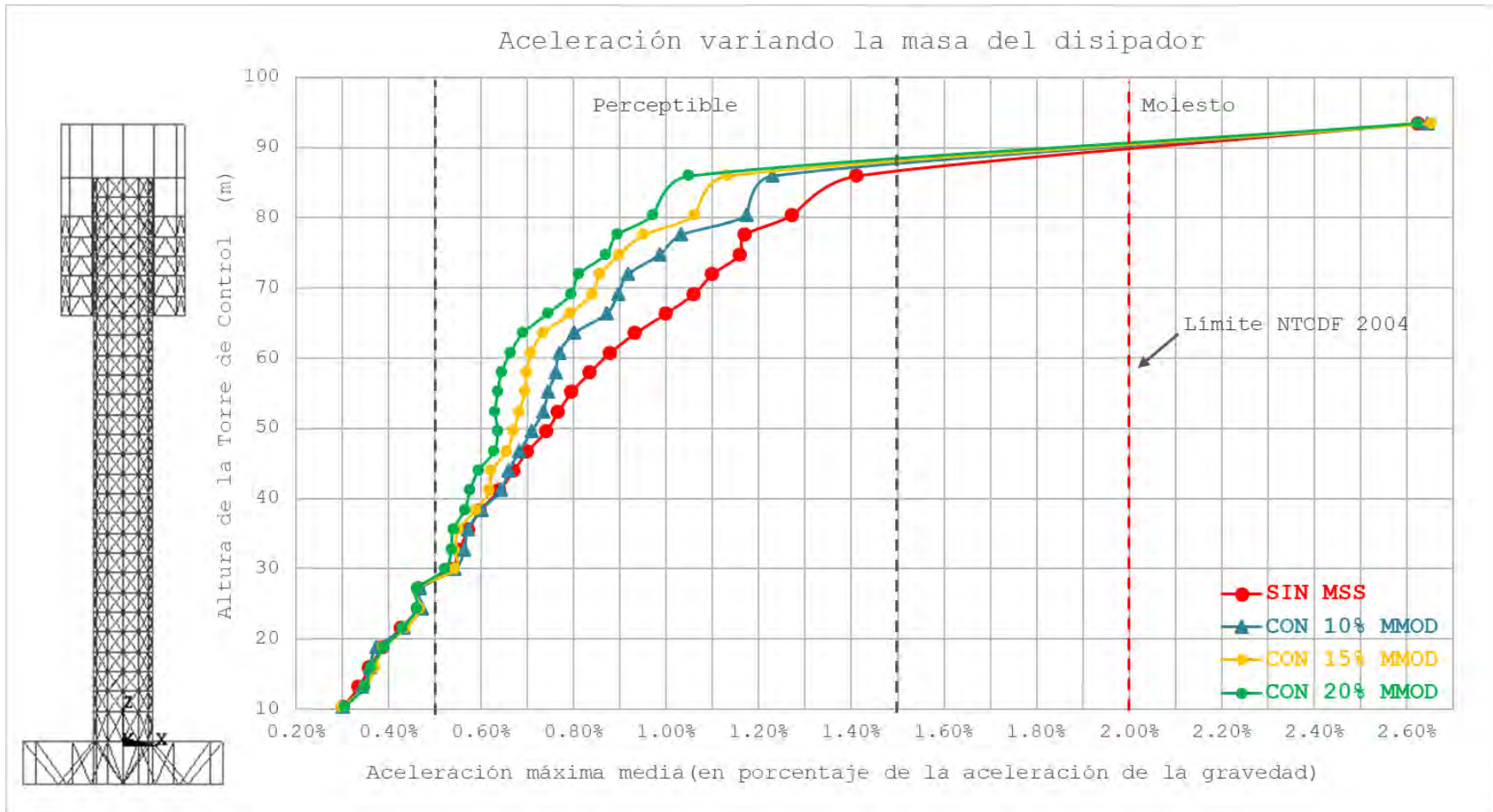


Figura 12. Representación gráfica de la respuesta de aceleraciones de la estructura original y la estructura mejorada con el disipador (casos 2,3 y4 que hacen referencia a la variación de la masa del MSS).



Tabla 10. Desplazamientos máximos medios obtenidos en la estructura con el dissipador MSS (caso2).

Desplazamiento máximo medio-Disipador con masa del 10% de $M_{Mod}$													
Altura (m)	Nodo de análisis	Número de Simulación										$\bar{d}$	$\bar{d}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	(m)	(cm)
10.4	308	0.00104	0.00066	0.00060	0.00080	0.00063	0.00063	0.00060	0.00064	0.00073	0.00061	0.00069	0.06922
13.2	307	0.00165	0.00101	0.00090	0.00123	0.00094	0.00095	0.00090	0.00095	0.00110	0.00091	0.00105	0.10535
16	306	0.00238	0.00147	0.00131	0.00178	0.00137	0.00139	0.00131	0.00137	0.00158	0.00134	0.00153	0.15288
18.8	305	0.00313	0.00192	0.00171	0.00233	0.00178	0.00182	0.00172	0.00179	0.00206	0.00175	0.00200	0.20018
21.6	304	0.00391	0.00239	0.00211	0.00289	0.00221	0.00227	0.00213	0.00221	0.00254	0.00218	0.00248	0.24836
24.4	303	0.00473	0.00288	0.00254	0.00348	0.00265	0.00273	0.00257	0.00266	0.00304	0.00262	0.00299	0.29899
27.2	302	0.00560	0.00340	0.00299	0.00411	0.00312	0.00322	0.00302	0.00313	0.00357	0.00308	0.00352	0.35248
30	301	0.00652	0.00394	0.00347	0.00477	0.00362	0.00373	0.00350	0.00362	0.00412	0.00357	0.00409	0.40864
32.8	300	0.00748	0.00451	0.00396	0.00545	0.00413	0.00426	0.00400	0.00413	0.00470	0.00408	0.00467	0.46718
35.6	299	0.00849	0.00510	0.00447	0.00617	0.00467	0.00482	0.00452	0.00465	0.00529	0.00461	0.00528	0.52793
38.4	298	0.00953	0.00570	0.00500	0.00691	0.00522	0.00539	0.00506	0.00520	0.00590	0.00515	0.00591	0.59066
41.2	297	0.01060	0.00633	0.00554	0.00767	0.00579	0.00598	0.00561	0.00575	0.00653	0.00571	0.00655	0.65519
44	296	0.01170	0.00697	0.00609	0.00845	0.00637	0.00658	0.00617	0.00632	0.00718	0.00628	0.00721	0.72122
46.8	295	0.01283	0.00762	0.00665	0.00925	0.00697	0.00720	0.00675	0.00690	0.00783	0.00686	0.00788	0.78850
49.6	294	0.01398	0.00828	0.00722	0.01006	0.00758	0.00782	0.00733	0.00749	0.00849	0.00745	0.00857	0.85690
52.4	293	0.01515	0.00895	0.00780	0.01088	0.00819	0.00846	0.00792	0.00809	0.00916	0.00805	0.00926	0.92631
55.2	292	0.01633	0.00962	0.00838	0.01171	0.00882	0.00909	0.00851	0.00870	0.00983	0.00865	0.00996	0.99642
58	291	0.01752	0.01030	0.00896	0.01254	0.00944	0.00974	0.00910	0.00930	0.01051	0.00926	0.01067	1.06672
60.8	290	0.01871	0.01098	0.00954	0.01337	0.01006	0.01037	0.00969	0.00990	0.01117	0.00987	0.01137	1.13662
63.6	289	0.01994	0.01167	0.01014	0.01422	0.01070	0.01103	0.01030	0.01052	0.01186	0.01049	0.01208	1.20847
66.4	288	0.02116	0.01236	0.01073	0.01507	0.01134	0.01168	0.01090	0.01113	0.01255	0.01112	0.01280	1.28045
69.2	461	0.02238	0.01302	0.01130	0.01589	0.01195	0.01231	0.01148	0.01171	0.01321	0.01171	0.01350	1.34958
72	462	0.02361	0.01372	0.01190	0.01674	0.01259	0.01296	0.01208	0.01233	0.01390	0.01234	0.01422	1.42172
74.8	463	0.02483	0.01441	0.01249	0.01759	0.01323	0.01361	0.01268	0.01295	0.01459	0.01296	0.01493	1.49327
77.6	464	0.02605	0.01509	0.01307	0.01844	0.01387	0.01426	0.01328	0.01356	0.01527	0.01358	0.01565	1.56471
80.4	465	0.02725	0.01577	0.01365	0.01927	0.01450	0.01490	0.01386	0.01416	0.01594	0.01419	0.01635	1.63483
86	391	0.02973	0.01717	0.01485	0.02099	0.01580	0.01621	0.01508	0.01541	0.01734	0.01543	0.01780	1.77998
93.5	392	0.03520	0.02025	0.01756	0.02477	0.01887	0.01917	0.01792	0.01821	0.02055	0.01848	0.02110	2.10969

Tabla 11. Desplazamientos máximos medios obtenidos en la estructura con el disipador MSS (caso3).

Desplazamiento máximo medio-Disipador con masa del 15% de $M_{Mod}$													
Altura (m)	Nodo de análisis	Número de Simulación										$\bar{d}$	$\bar{d}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	(m)	(cm)
10.4	308	0.00101	0.00065	0.00059	0.00075	0.00061	0.00060	0.00059	0.00060	0.00067	0.00057	0.00066	0.06646
13.2	307	0.00160	0.00097	0.00088	0.00114	0.00091	0.00089	0.00088	0.00088	0.00100	0.00083	0.00100	0.09981
16	306	0.00231	0.00141	0.00127	0.00164	0.00132	0.00130	0.00128	0.00127	0.00144	0.00120	0.00144	0.14432
18.8	305	0.00303	0.00184	0.00164	0.00214	0.00172	0.00171	0.00166	0.00166	0.00186	0.00155	0.00188	0.18810
21.6	304	0.00378	0.00226	0.00202	0.00265	0.00212	0.00212	0.00205	0.00205	0.00229	0.00191	0.00232	0.23237
24.4	303	0.00456	0.00271	0.00241	0.00318	0.00253	0.00254	0.00246	0.00245	0.00273	0.00229	0.00279	0.27867
27.2	302	0.00540	0.00318	0.00282	0.00374	0.00297	0.00298	0.00288	0.00288	0.00319	0.00269	0.00327	0.32738
30	301	0.00627	0.00367	0.00325	0.00433	0.00343	0.00345	0.00332	0.00333	0.00368	0.00311	0.00378	0.37835
32.8	300	0.00719	0.00418	0.00369	0.00494	0.00391	0.00393	0.00377	0.00379	0.00418	0.00354	0.00431	0.43128
35.6	299	0.00815	0.00470	0.00415	0.00556	0.00440	0.00444	0.00424	0.00427	0.00470	0.00399	0.00486	0.48595
38.4	298	0.00914	0.00524	0.00461	0.00621	0.00491	0.00495	0.00472	0.00476	0.00523	0.00445	0.00542	0.54222
41.2	297	0.01015	0.00580	0.00509	0.00688	0.00543	0.00548	0.00521	0.00526	0.00577	0.00491	0.00600	0.59986
44	296	0.01120	0.00636	0.00558	0.00756	0.00595	0.00602	0.00571	0.00577	0.00632	0.00539	0.00659	0.65864
46.8	295	0.01226	0.00694	0.00607	0.00825	0.00649	0.00657	0.00622	0.00630	0.00687	0.00587	0.00718	0.71827
49.6	294	0.01334	0.00752	0.00656	0.00895	0.00703	0.00712	0.00673	0.00682	0.00743	0.00636	0.00779	0.77864
52.4	293	0.01444	0.00810	0.00707	0.00965	0.00758	0.00768	0.00724	0.00736	0.00800	0.00685	0.00840	0.83970
55.2	292	0.01555	0.00869	0.00757	0.01036	0.00814	0.00824	0.00776	0.00790	0.00856	0.00735	0.00901	0.90111
58	291	0.01667	0.00927	0.00807	0.01107	0.00869	0.00880	0.00827	0.00844	0.00913	0.00784	0.00962	0.96239
60.8	290	0.01778	0.00985	0.00855	0.01177	0.00923	0.00936	0.00877	0.00896	0.00968	0.00833	0.01023	1.02288
63.6	289	0.01892	0.01044	0.00905	0.01248	0.00979	0.00992	0.00929	0.00951	0.01025	0.00883	0.01085	1.08476
66.4	288	0.02006	0.01103	0.00955	0.01318	0.01034	0.01048	0.00980	0.01004	0.01081	0.00933	0.01146	1.14618
69.2	461	0.02119	0.01159	0.01001	0.01386	0.01086	0.01102	0.01027	0.01054	0.01134	0.00979	0.01205	1.20461
72	462	0.02233	0.01218	0.01050	0.01457	0.01141	0.01157	0.01079	0.01109	0.01190	0.01029	0.01266	1.26630
74.8	463	0.02347	0.01277	0.01100	0.01528	0.01196	0.01213	0.01130	0.01163	0.01246	0.01078	0.01328	1.32766
77.6	464	0.02460	0.01336	0.01149	0.01598	0.01251	0.01269	0.01182	0.01217	0.01302	0.01127	0.01389	1.38903
80.4	465	0.02572	0.01393	0.01199	0.01668	0.01304	0.01323	0.01232	0.01269	0.01357	0.01175	0.01449	1.44912
86	391	0.02801	0.01512	0.01304	0.01811	0.01416	0.01435	0.01336	0.01378	0.01472	0.01274	0.01574	1.57386
93.5	392	0.03312	0.01799	0.01590	0.02157	0.01676	0.01703	0.01612	0.01645	0.01746	0.01522	0.01876	1.87633

Tabla 12. Desplazamientos máximos medios obtenidos en la estructura con el dissipador MSS (caso4).

Desplazamiento máximo medio-Disipador con masa del 20% de $M_{Mod}$													
Altura (m)	Nodo de análisis	Número de simulación										$\bar{d}$ (m)	$\bar{d}$ (cm)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
10.4	308	0.00096	0.00065	0.00059	0.00065	0.00058	0.00057	0.00056	0.00056	0.00069	0.00055	0.00064	0.06352
13.2	307	0.00151	0.00096	0.00086	0.00097	0.00085	0.00083	0.00082	0.00080	0.00102	0.00081	0.00094	0.09441
16	306	0.00219	0.00138	0.00123	0.00140	0.00123	0.00120	0.00120	0.00116	0.00146	0.00118	0.00136	0.13636
18.8	305	0.00287	0.00179	0.00160	0.00182	0.00160	0.00157	0.00156	0.00150	0.00189	0.00154	0.00177	0.17723
21.6	304	0.00356	0.00220	0.00197	0.00223	0.00197	0.00193	0.00191	0.00183	0.00232	0.00189	0.00218	0.21822
24.4	303	0.00430	0.00263	0.00235	0.00267	0.00235	0.00231	0.00228	0.00218	0.00276	0.00227	0.00261	0.26091
27.2	302	0.00507	0.00308	0.00274	0.00313	0.00274	0.00271	0.00266	0.00255	0.00323	0.00265	0.00306	0.30556
30	301	0.00588	0.00355	0.00315	0.00361	0.00316	0.00312	0.00305	0.00293	0.00371	0.00306	0.00352	0.35211
32.8	300	0.00672	0.00404	0.00357	0.00411	0.00359	0.00355	0.00346	0.00332	0.00421	0.00348	0.00400	0.40037
35.6	299	0.00760	0.00454	0.00400	0.00462	0.00403	0.00398	0.00388	0.00374	0.00472	0.00391	0.00450	0.45009
38.4	298	0.00850	0.00505	0.00444	0.00515	0.00448	0.00443	0.00431	0.00416	0.00524	0.00434	0.00501	0.50107
41.2	297	0.00943	0.00557	0.00489	0.00569	0.00494	0.00489	0.00474	0.00459	0.00578	0.00479	0.00553	0.55303
44	296	0.01037	0.00609	0.00534	0.00624	0.00541	0.00536	0.00517	0.00503	0.00632	0.00524	0.00606	0.60579
46.8	295	0.01133	0.00663	0.00580	0.00680	0.00588	0.00583	0.00561	0.00548	0.00686	0.00570	0.00659	0.65911
49.6	294	0.01231	0.00716	0.00626	0.00735	0.00636	0.00631	0.00605	0.00592	0.00741	0.00616	0.00713	0.71289
52.4	293	0.01329	0.00770	0.00672	0.00791	0.00683	0.00679	0.00650	0.00637	0.00796	0.00662	0.00767	0.76701
55.2	292	0.01429	0.00825	0.00719	0.00848	0.00731	0.00727	0.00694	0.00682	0.00850	0.00708	0.00821	0.82128
58	291	0.01528	0.00879	0.00765	0.00904	0.00779	0.00774	0.00737	0.00727	0.00905	0.00754	0.00875	0.87515
60.8	290	0.01627	0.00931	0.00809	0.00959	0.00825	0.00821	0.00780	0.00770	0.00958	0.00799	0.00928	0.92788
63.6	289	0.01728	0.00985	0.00854	0.01014	0.00872	0.00868	0.00822	0.00814	0.01012	0.00845	0.00981	0.98148
66.4	288	0.01828	0.01037	0.00898	0.01069	0.00919	0.00914	0.00864	0.00857	0.01065	0.00889	0.01034	1.03405
69.2	461	0.01927	0.01087	0.00938	0.01121	0.00961	0.00957	0.00902	0.00897	0.01114	0.00930	0.01083	1.08350
72	462	0.02028	0.01140	0.00982	0.01176	0.01008	0.01004	0.00945	0.00940	0.01168	0.00975	0.01137	1.13663
74.8	463	0.02129	0.01192	0.01027	0.01231	0.01054	0.01049	0.00989	0.00983	0.01221	0.01020	0.01190	1.18950
77.6	464	0.02230	0.01244	0.01071	0.01287	0.01100	0.01095	0.01032	0.01026	0.01273	0.01065	0.01242	1.24241
80.4	465	0.02329	0.01296	0.01114	0.01341	0.01145	0.01140	0.01074	0.01068	0.01325	0.01108	0.01294	1.29396
86	391	0.02533	0.01402	0.01205	0.01454	0.01239	0.01233	0.01161	0.01156	0.01434	0.01197	0.01401	1.40134
93.5	392	0.03020	0.01671	0.01464	0.01763	0.01492	0.01484	0.01385	0.01403	0.01705	0.01431	0.01682	1.68174

Figura 13. Desplazamientos máximos medios obtenidos en la estructura con el dissipador MSS (caso4).

Tabla 13. Comparación de la respuesta de desplazamientos de la estructura original de la torre de control y la estructura mejorada con el disipador (casos 2,3 y 4, que hacen referencia a la variación de la masa del MSS).

Comparación de las respuestas de desplazamiento												
Altura (m)	Nodo	Sin MSS		Con MSS		Reducción de la respuesta	Con MSS		Reducción de la respuesta	Con MSS		Reducción de la respuesta
		$\bar{d}$ (cm)	Distorsión	$\bar{d}$ (cm)	Distorsión		$\bar{d}$ (cm)	Distorsión		$\bar{d}$ (cm)	Distorsión	
10.4	308	0.07	-	0.07	-	2.43%	0.07	-	6.33%	0.06	-	10.46%
13.2	307	0.11	0.00014	0.11	0.00013	3.31%	0.10	0.00012	8.40%	0.09	0.00011	13.36%
16	306	0.16	0.00018	0.15	0.00017	3.58%	0.14	0.00016	8.98%	0.14	0.00015	14.00%
18.8	305	0.21	0.00018	0.20	0.00017	4.03%	0.19	0.00016	9.82%	0.18	0.00015	15.03%
21.6	304	0.26	0.00018	0.25	0.00017	4.48%	0.23	0.00016	10.63%	0.22	0.00015	16.07%
24.4	303	0.31	0.00019	0.30	0.00018	4.87%	0.28	0.00017	11.34%	0.26	0.00015	16.99%
27.2	302	0.37	0.00021	0.35	0.00019	5.23%	0.33	0.00017	11.98%	0.31	0.00016	17.85%
30	301	0.43	0.00022	0.41	0.00020	5.57%	0.38	0.00018	12.57%	0.35	0.00017	18.63%
32.8	300	0.50	0.00023	0.47	0.00021	5.88%	0.43	0.00019	13.11%	0.40	0.00017	19.34%
35.6	299	0.56	0.00024	0.53	0.00022	6.18%	0.49	0.00020	13.64%	0.45	0.00018	20.01%
38.4	298	0.63	0.00025	0.59	0.00022	6.49%	0.54	0.00020	14.16%	0.50	0.00018	20.67%
41.2	297	0.70	0.00025	0.66	0.00023	6.79%	0.60	0.00021	14.66%	0.55	0.00019	21.32%
44	296	0.78	0.00026	0.72	0.00024	7.10%	0.66	0.00021	15.16%	0.61	0.00019	21.96%
46.8	295	0.85	0.00027	0.79	0.00024	7.40%	0.72	0.00021	15.65%	0.66	0.00019	22.60%
49.6	294	0.93	0.00027	0.86	0.00024	7.70%	0.78	0.00022	16.13%	0.71	0.00019	23.21%
52.4	293	1.01	0.00028	0.93	0.00025	7.99%	0.84	0.00022	16.59%	0.77	0.00019	23.81%
55.2	292	1.09	0.00028	1.00	0.00025	8.27%	0.90	0.00022	17.04%	0.82	0.00019	24.39%
58	291	1.17	0.00029	1.07	0.00025	8.56%	0.96	0.00022	17.50%	0.88	0.00019	24.98%
60.8	290	1.25	0.00029	1.14	0.00025	8.86%	1.02	0.00022	17.98%	0.93	0.00019	25.60%
63.6	289	1.33	0.00030	1.21	0.00026	9.17%	1.08	0.00022	18.46%	0.98	0.00019	26.23%
66.4	288	1.41	0.00030	1.28	0.00026	9.51%	1.15	0.00022	19.00%	1.03	0.00019	26.92%
69.2	461	1.50	0.00029	1.35	0.00025	9.86%	1.20	0.00021	19.54%	1.08	0.00018	27.63%
72	462	1.58	0.00030	1.42	0.00026	10.13%	1.27	0.00022	19.96%	1.14	0.00019	28.15%
74.8	463	1.67	0.00030	1.49	0.00026	10.37%	1.33	0.00022	20.31%	1.19	0.00019	28.60%
77.6	464	1.75	0.00030	1.56	0.00026	10.58%	1.39	0.00022	20.62%	1.24	0.00019	29.00%
80.4	465	1.83	0.00029	1.63	0.00025	10.77%	1.45	0.00021	20.91%	1.29	0.00018	29.38%
86	391	2.00	0.00030	1.78	0.00026	11.07%	1.57	0.00022	21.37%	1.40	0.00019	29.99%
93.5	392	2.36	0.00048	2.11	0.00044	10.74%	1.88	0.00040	20.62%	1.68	0.00037	28.85%

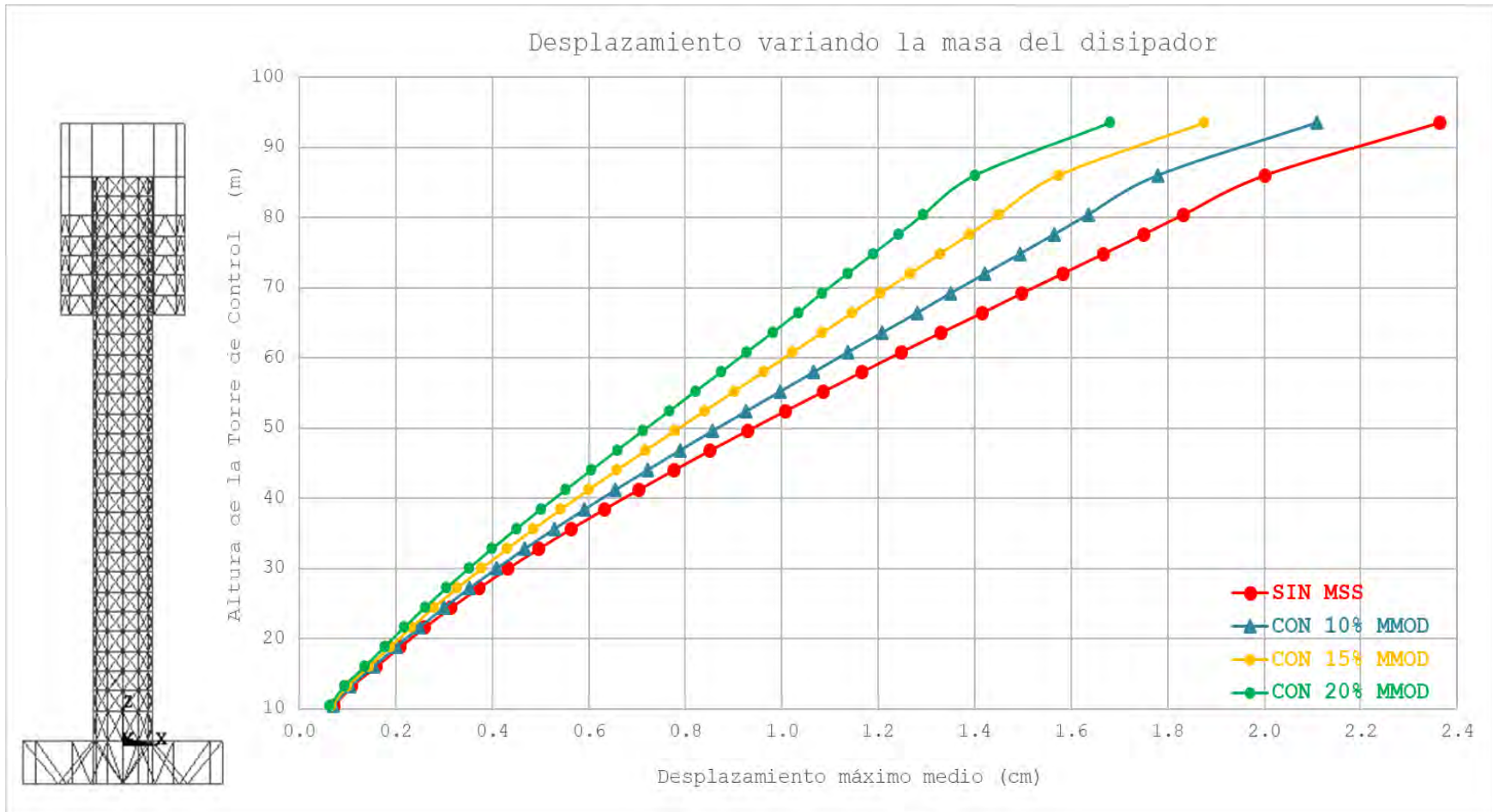


Figura 14. Representación gráfica de la respuesta de desplazamientos de la estructura original y la estructura mejorada con el disipador (casos 2,3 y4 que hacen referencia a la variación de la masa del MSS).

# Análisis Paramétrico

## 3.2 Selección de la masa óptima y variación de la posición del disipador

Tabla 14. Aceleración máxima media obtenida en la estructura con el disipador 20%MSS a una elevación de 80.4m (caso5).

Aceleración máxima media-Disipador 20%MMod a una elevación de 80.4 metros													
Altura (m)	Nodo de análisis	Número de simulación										$\bar{a}$	$\bar{a}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	(m/s <sup>2</sup> )	(milli-g)
10.4	308	0.04136	0.02731	0.02634	0.02433	0.02883	0.02765	0.02658	0.02549	0.02847	0.02664	0.02830	2.88470
13.2	307	0.04396	0.02983	0.03242	0.03118	0.03272	0.03445	0.03301	0.02844	0.03180	0.03017	0.03280	3.34336
16	306	0.04418	0.03370	0.03120	0.03277	0.03343	0.03079	0.03257	0.02794	0.03558	0.03149	0.03337	3.40116
18.8	305	0.05780	0.03427	0.03464	0.03508	0.03026	0.03387	0.03033	0.03238	0.03583	0.03560	0.03600	3.67014
21.6	304	0.05740	0.03859	0.03271	0.04193	0.03741	0.03686	0.03966	0.03349	0.04130	0.03602	0.03954	4.03022
24.4	303	0.06116	0.04103	0.03701	0.04241	0.03937	0.04094	0.04186	0.03957	0.03943	0.04333	0.04261	4.34368
27.2	302	0.06330	0.04109	0.04072	0.04634	0.04386	0.04622	0.03748	0.04096	0.04067	0.03704	0.04377	4.46147
30	301	0.07065	0.04297	0.04380	0.04453	0.05188	0.04511	0.04628	0.04773	0.04604	0.04467	0.04836	4.93016
32.8	300	0.07503	0.04545	0.04762	0.04673	0.04977	0.04966	0.05129	0.04672	0.04628	0.04493	0.05035	5.13218
35.6	299	0.07496	0.04553	0.05045	0.04727	0.04845	0.05312	0.05594	0.04529	0.04717	0.04978	0.05180	5.27986
38.4	298	0.07952	0.04928	0.05490	0.04879	0.05327	0.04970	0.05027	0.04919	0.04895	0.05102	0.05349	5.45254
41.2	297	0.07808	0.05414	0.05816	0.04866	0.05589	0.05038	0.04537	0.04907	0.05053	0.05470	0.05450	5.55531
44	296	0.07640	0.05898	0.06444	0.05120	0.05772	0.04854	0.04662	0.05230	0.05430	0.05730	0.05678	5.78795
46.8	295	0.08282	0.05393	0.06942	0.05303	0.05691	0.05304	0.04826	0.05114	0.05700	0.05828	0.05838	5.95134
49.6	294	0.08894	0.05457	0.07459	0.05830	0.05867	0.05395	0.05686	0.05217	0.06405	0.06394	0.06260	6.38167
52.4	293	0.08867	0.05630	0.08085	0.05870	0.06178	0.05717	0.05531	0.05201	0.06941	0.06547	0.06457	6.58168
55.2	292	0.08709	0.05818	0.07984	0.05740	0.06509	0.05469	0.05786	0.05159	0.06438	0.06381	0.06399	6.52315
58	291	0.09169	0.06458	0.07137	0.06097	0.06255	0.05515	0.06425	0.05357	0.06710	0.06980	0.06610	6.73838
60.8	290	0.09084	0.06893	0.07126	0.06432	0.06515	0.05800	0.06368	0.05684	0.06494	0.07079	0.06748	6.87823
63.6	289	0.09509	0.07172	0.07652	0.07121	0.06642	0.05852	0.06539	0.05892	0.06622	0.06828	0.06983	7.11805
66.4	288	0.10359	0.07444	0.07702	0.07611	0.07016	0.06279	0.07213	0.06877	0.07035	0.07324	0.07486	7.63099
69.2	461	0.10859	0.07544	0.07741	0.07605	0.07845	0.07222	0.08141	0.07174	0.08172	0.07657	0.07996	8.15089
72	462	0.10867	0.07685	0.08297	0.08203	0.07769	0.07472	0.08616	0.07401	0.08536	0.07910	0.08275	8.43569
74.8	463	0.11197	0.07879	0.09166	0.07671	0.07393	0.07255	0.08272	0.07703	0.08196	0.07517	0.08225	8.38416
77.6	464	0.11335	0.08510	0.08881	0.07324	0.07414	0.07384	0.08483	0.07248	0.07993	0.07284	0.08186	8.34404
80.4	465	0.12651	0.10499	0.09350	0.08578	0.08885	0.08617	0.09960	0.08813	0.08848	0.08722	0.09492	9.67618
86	391	0.13697	0.09557	0.10554	0.09416	0.09315	0.09146	0.10794	0.09556	0.09756	0.09055	0.10085	10.28006
93.5	392	0.34751	0.23856	0.21509	0.22295	0.23062	0.21368	0.20565	0.19443	0.22524	0.21366	0.23074	23.52080

Tabla 15. Aceleración máxima media obtenida en la estructura con el disipador 20%MSS a una elevación de 93.54m (caso6).

Aceleración máxima media-Disipador 20%MMod a una elevación de 93.5 metros													
Altura (m)	Nodo de análisis	Número de simulación										$\bar{a}$	$\bar{a}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	(m/s <sup>2</sup> )	(milli-g)
10.4	308	0.037038	0.025221	0.028193	0.026733	0.028937	0.027153	0.028943	0.026215	0.029225	0.031109	0.0288767	2.943598369
13.2	307	0.039285	0.031666	0.030173	0.02611	0.026209	0.027692	0.030289	0.027887	0.030653	0.036576	0.030654	3.124770642
16	306	0.036714	0.02957	0.028506	0.026087	0.024854	0.026951	0.029678	0.027063	0.02839	0.027224	0.0285037	2.905575943
18.8	305	0.04308	0.03422	0.027041	0.03001	0.030278	0.027745	0.032899	0.034336	0.02935	0.029275	0.0318234	3.243975535
21.6	304	0.041754	0.031959	0.028511	0.031809	0.031009	0.034057	0.029528	0.034001	0.026539	0.033742	0.0322909	3.291630989
24.4	303	0.04586	0.032345	0.033965	0.033711	0.034857	0.033237	0.029292	0.034164	0.034219	0.033233	0.0344883	3.515626911
27.2	302	0.055728	0.038051	0.033089	0.033515	0.029399	0.034497	0.032325	0.035273	0.032118	0.035189	0.0359184	3.661406728
30	301	0.066414	0.044657	0.035438	0.045751	0.036248	0.045162	0.034921	0.038858	0.036807	0.040612	0.0424868	4.3309684
32.8	300	0.066393	0.045638	0.038346	0.048117	0.037259	0.049379	0.037337	0.047889	0.04211	0.042923	0.0455391	4.642110092
35.6	299	0.073786	0.039566	0.037438	0.046769	0.041956	0.046123	0.038416	0.043557	0.045111	0.041005	0.0453727	4.625147808
38.4	298	0.071615	0.038927	0.03918	0.040324	0.04131	0.041483	0.042464	0.046273	0.050983	0.043162	0.0455721	4.645474006
41.2	297	0.073036	0.038794	0.041597	0.044849	0.03897	0.047671	0.047954	0.051295	0.04855	0.046742	0.0479458	4.887441386
44	296	0.079063	0.048354	0.044344	0.046549	0.040281	0.049458	0.050573	0.051683	0.051873	0.051852	0.051403	5.239857288
46.8	295	0.082351	0.045866	0.045943	0.049567	0.043642	0.051102	0.052639	0.053458	0.054831	0.056318	0.0535717	5.460927625
49.6	294	0.086216	0.048019	0.047603	0.051377	0.044631	0.05291	0.056073	0.0536	0.058399	0.058228	0.0557056	5.678450561
52.4	293	0.089605	0.052587	0.053823	0.048001	0.049174	0.056961	0.062061	0.054658	0.060202	0.056177	0.0583249	5.945453619
55.2	292	0.095297	0.053821	0.05376	0.050471	0.04912	0.063412	0.062744	0.056484	0.058906	0.059477	0.0603492	6.151804281
58	291	0.097301	0.059132	0.052888	0.051709	0.0544	0.067853	0.062809	0.057929	0.062723	0.058888	0.0625632	6.377492355
60.8	290	0.090743	0.058963	0.054803	0.057859	0.056224	0.065173	0.069118	0.057333	0.066584	0.065311	0.0642111	6.545474006
63.6	289	0.093952	0.06662	0.058945	0.058782	0.059984	0.067161	0.075189	0.061601	0.069246	0.070466	0.0681946	6.951539246
66.4	288	0.11508	0.075632	0.063372	0.059315	0.067881	0.071937	0.079478	0.067764	0.079861	0.073236	0.0753556	7.681508665
69.2	461	0.11993	0.078553	0.064317	0.062698	0.068348	0.081813	0.079398	0.073154	0.090107	0.080715	0.0799033	8.145086646
72	462	0.12363	0.07393	0.063074	0.065833	0.067608	0.078137	0.081207	0.075323	0.093421	0.084837	0.0807	8.226299694
74.8	463	0.12787	0.078732	0.076573	0.078146	0.078725	0.081549	0.092827	0.086843	0.10085	0.09857	0.0900685	9.181294597
77.6	464	0.119	0.076315	0.077464	0.07926	0.079563	0.08656	0.094712	0.086677	0.1083	0.09613	0.0903981	9.214892966
80.4	465	0.13894	0.085227	0.08569	0.082103	0.084421	0.097316	0.096562	0.092883	0.11577	0.10853	0.0987442	10.06566769
86	391	0.14344	0.09977	0.082397	0.096114	0.088089	0.097796	0.097708	0.10837	0.11223	0.10825	0.1034164	10.5419368
93.5	392	0.23188	0.13459	0.1492	0.12989	0.14474	0.15972	0.18448	0.1499	0.13516	0.14237	0.156193	15.92181448



Tabla 16. Comparación de la respuesta de aceleraciones de la estructura original de la torre de control y la estructura mejorada con el disipador (casos 4,5 y 6, que hacen referencia a la selección de la masa óptima y la variación de su posición MSS).

Comparación de las respuestas de aceleración												
Altura (m)	Nodo	Sin MSS		MSS Elevación=93.5m		Reducción de la respuesta	MSS Elevación= 80.4m		Reducción de la respuesta	MSS Elevación= 66.4m		Reducción de la respuesta
		$\bar{a}$ (%g)	Percepción	$\bar{a}$ (%g)	Percepción		$\bar{a}$ (%g)	Percepción		$\bar{a}$ (%g)	Percepción	
10.4	308	0.30%	Imperceptible	0.29%	Imperceptible	1.94%	0.29%	Imperceptible	3.90%	0.31%	Imperceptible	-1.90%
13.2	307	0.34%	Imperceptible	0.31%	Imperceptible	6.75%	0.33%	Imperceptible	0.23%	0.35%	Imperceptible	-4.29%
16	306	0.36%	Imperceptible	0.29%	Imperceptible	18.79%	0.34%	Imperceptible	4.93%	0.36%	Imperceptible	-1.18%
18.8	305	0.39%	Imperceptible	0.32%	Imperceptible	16.08%	0.37%	Imperceptible	5.06%	0.39%	Imperceptible	-1.24%
21.6	304	0.43%	Imperceptible	0.33%	Imperceptible	22.56%	0.40%	Imperceptible	5.18%	0.43%	Imperceptible	-1.20%
24.4	303	0.46%	Imperceptible	0.35%	Imperceptible	23.99%	0.43%	Imperceptible	6.09%	0.46%	Imperceptible	0.19%
27.2	302	0.46%	Imperceptible	0.37%	Imperceptible	20.84%	0.45%	Imperceptible	3.54%	0.46%	Imperceptible	0.08%
30	301	0.53%	Perceptible	0.43%	Imperceptible	18.86%	0.49%	Imperceptible	7.63%	0.52%	Perceptible	2.07%
32.8	300	0.55%	Perceptible	0.46%	Imperceptible	15.81%	0.51%	Perceptible	6.92%	0.54%	Perceptible	2.86%
35.6	299	0.57%	Perceptible	0.46%	Imperceptible	19.07%	0.53%	Perceptible	7.61%	0.54%	Perceptible	5.55%
38.4	298	0.60%	Perceptible	0.46%	Imperceptible	22.25%	0.55%	Perceptible	8.75%	0.56%	Perceptible	5.49%
41.2	297	0.64%	Perceptible	0.49%	Imperceptible	23.38%	0.56%	Perceptible	12.91%	0.58%	Perceptible	9.60%
44	296	0.67%	Perceptible	0.52%	Perceptible	21.74%	0.58%	Perceptible	13.56%	0.59%	Perceptible	11.26%
46.8	295	0.70%	Perceptible	0.55%	Perceptible	21.91%	0.60%	Perceptible	14.90%	0.63%	Perceptible	10.09%
49.6	294	0.74%	Perceptible	0.57%	Perceptible	23.25%	0.64%	Perceptible	13.74%	0.64%	Perceptible	14.07%
52.4	293	0.77%	Perceptible	0.59%	Perceptible	22.36%	0.66%	Perceptible	14.05%	0.63%	Perceptible	17.60%
55.2	292	0.79%	Perceptible	0.62%	Perceptible	22.58%	0.65%	Perceptible	17.91%	0.64%	Perceptible	19.95%
58	291	0.83%	Perceptible	0.64%	Perceptible	23.51%	0.67%	Perceptible	19.18%	0.64%	Perceptible	22.71%
60.8	290	0.88%	Perceptible	0.65%	Perceptible	25.41%	0.69%	Perceptible	21.62%	0.66%	Perceptible	24.44%
63.6	289	0.93%	Perceptible	0.70%	Perceptible	25.44%	0.71%	Perceptible	23.65%	0.69%	Perceptible	25.94%
66.4	288	1.00%	Perceptible	0.77%	Perceptible	23.05%	0.76%	Perceptible	23.55%	0.74%	Perceptible	25.45%
69.2	461	1.06%	Perceptible	0.81%	Perceptible	23.10%	0.82%	Perceptible	23.04%	0.79%	Perceptible	24.96%
72	462	1.10%	Perceptible	0.82%	Perceptible	25.12%	0.84%	Perceptible	23.21%	0.81%	Perceptible	26.17%
74.8	463	1.16%	Perceptible	0.92%	Perceptible	20.75%	0.84%	Perceptible	27.63%	0.87%	Perceptible	24.94%
77.6	464	1.17%	Perceptible	0.92%	Perceptible	21.14%	0.83%	Perceptible	28.59%	0.89%	Perceptible	23.48%
80.4	465	1.27%	Perceptible	1.01%	Perceptible	20.78%	0.97%	Perceptible	23.85%	0.97%	Perceptible	23.51%
86	391	1.41%	Perceptible	1.05%	Perceptible	25.26%	1.03%	Perceptible	27.12%	1.05%	Perceptible	25.67%
93.5	392	2.62%	Molesto	1.59%	Molesto	39.30%	2.35%	Molesto	10.33%	2.62%	Molesto	-0.04%

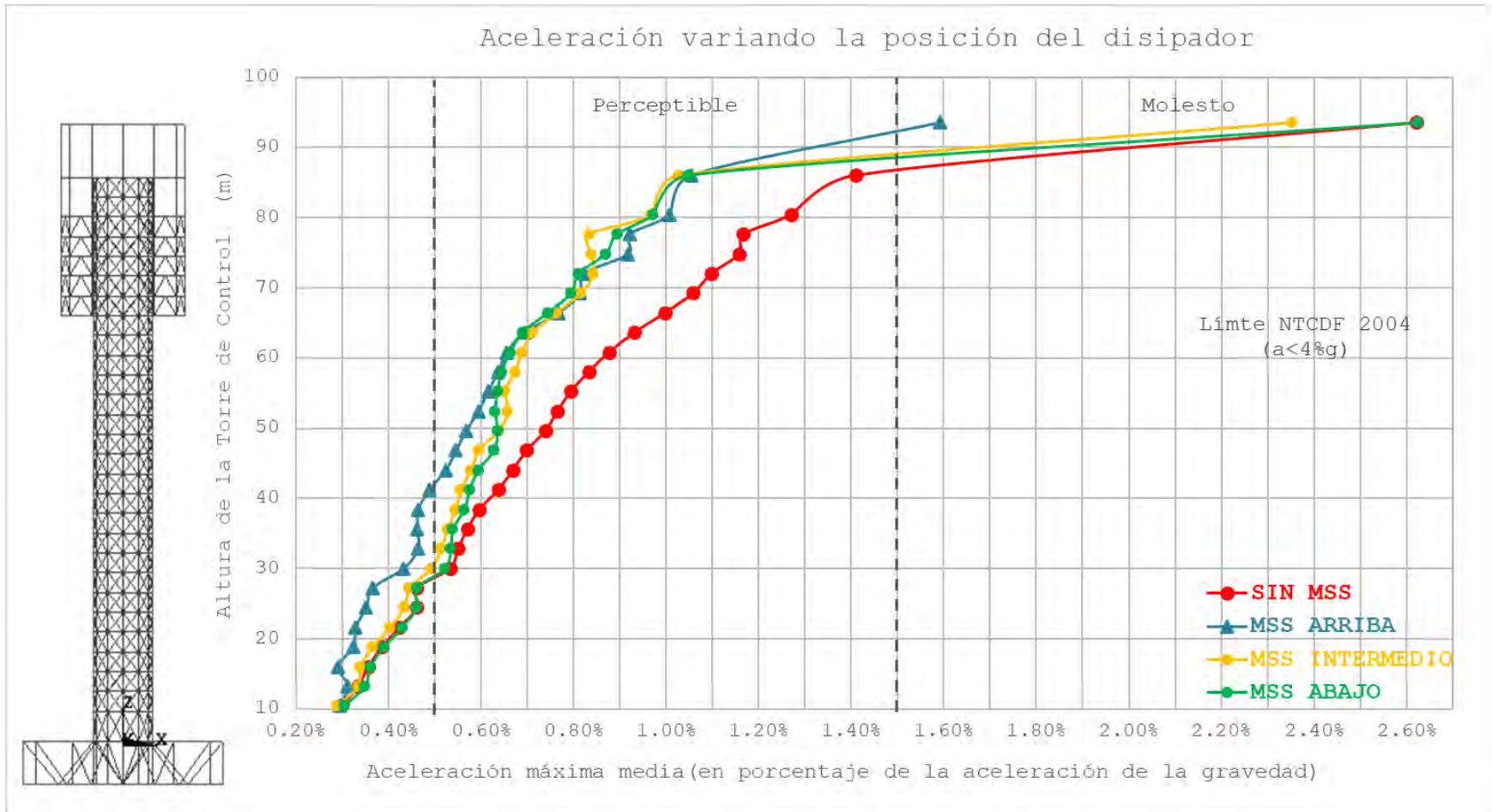


Figura 15. Representación gráfica de la respuesta de aceleraciones de la estructura original y la estructura mejorada con el disipador (Casos 4,5 y 6 que hacen referencia a la variación de la posición del MSS).

Tabla 17. Desplazamientos máximos medios obtenidos en la estructura con el dissipador 20%MSS a una elevación de 80.4m (caso5).

Desplazamiento máximo medio-Disipador 20%Mod a una elevación de 80.4 metros													
Altura (m)	Nodo de análisis	Número de Simulación										$\bar{d}$	$\bar{d}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	(m)	(cm)
10.4	308	0.00087	0.00065	0.00056	0.00062	0.00060	0.00059	0.00057	0.00056	0.00062	0.00056	0.00062	0.06191
13.2	307	0.00135	0.00098	0.00081	0.00091	0.00088	0.00088	0.00083	0.00081	0.00091	0.00082	0.00092	0.09161
16	306	0.00193	0.00141	0.00117	0.00131	0.00127	0.00127	0.00120	0.00118	0.00131	0.00119	0.00132	0.13242
18.8	305	0.00253	0.00184	0.00151	0.00169	0.00164	0.00166	0.00157	0.00154	0.00169	0.00155	0.00172	0.17216
21.6	304	0.00314	0.00226	0.00186	0.00208	0.00202	0.00204	0.00193	0.00190	0.00207	0.00190	0.00212	0.21192
24.4	303	0.00378	0.00271	0.00221	0.00248	0.00241	0.00244	0.00231	0.00227	0.00246	0.00226	0.00253	0.25322
27.2	302	0.00446	0.00317	0.00257	0.00290	0.00282	0.00285	0.00270	0.00266	0.00287	0.00264	0.00296	0.29643
30	301	0.00516	0.00366	0.00295	0.00333	0.00324	0.00328	0.00311	0.00306	0.00330	0.00305	0.00342	0.34157
32.8	300	0.00590	0.00417	0.00334	0.00379	0.00368	0.00373	0.00354	0.00348	0.00374	0.00347	0.00388	0.38836
35.6	299	0.00667	0.00469	0.00374	0.00425	0.00413	0.00419	0.00398	0.00391	0.00419	0.00390	0.00437	0.43654
38.4	298	0.00746	0.00523	0.00415	0.00473	0.00459	0.00466	0.00442	0.00435	0.00465	0.00435	0.00486	0.48583
41.2	297	0.00827	0.00577	0.00457	0.00521	0.00506	0.00513	0.00488	0.00480	0.00512	0.00480	0.00536	0.53612
44	296	0.00910	0.00632	0.00498	0.00570	0.00553	0.00562	0.00534	0.00526	0.00559	0.00526	0.00587	0.58710
46.8	295	0.00995	0.00688	0.00540	0.00619	0.00601	0.00611	0.00581	0.00572	0.00606	0.00573	0.00639	0.63862
49.6	294	0.01080	0.00744	0.00582	0.00669	0.00650	0.00660	0.00628	0.00619	0.00653	0.00620	0.00690	0.69050
52.4	293	0.01166	0.00801	0.00625	0.00719	0.00699	0.00709	0.00675	0.00666	0.00701	0.00667	0.00743	0.74258
55.2	292	0.01253	0.00857	0.00667	0.00769	0.00747	0.00758	0.00721	0.00713	0.00748	0.00714	0.00795	0.79462
58	291	0.01340	0.00913	0.00708	0.00818	0.00795	0.00807	0.00767	0.00760	0.00794	0.00761	0.00846	0.84607
60.8	290	0.01426	0.00968	0.00748	0.00866	0.00842	0.00854	0.00812	0.00805	0.00839	0.00806	0.00897	0.89655
63.6	289	0.01515	0.01024	0.00789	0.00915	0.00891	0.00903	0.00858	0.00852	0.00886	0.00853	0.00949	0.94885
66.4	288	0.01605	0.01081	0.00831	0.00964	0.00939	0.00953	0.00905	0.00900	0.00933	0.00900	0.01001	1.00106
69.2	461	0.01691	0.01134	0.00868	0.01010	0.00983	0.00998	0.00946	0.00943	0.00976	0.00943	0.01049	1.04908
72	462	0.01779	0.01188	0.00907	0.01057	0.01030	0.01045	0.00990	0.00988	0.01020	0.00988	0.01099	1.09912
74.8	463	0.01865	0.01240	0.00944	0.01102	0.01074	0.01090	0.01032	0.01031	0.01063	0.01031	0.01147	1.14726
77.6	464	0.01949	0.01292	0.00980	0.01147	0.01117	0.01134	0.01072	0.01072	0.01104	0.01073	0.01194	1.19399
80.4	465	0.02030	0.01341	0.01012	0.01187	0.01157	0.01174	0.01109	0.01110	0.01141	0.01111	0.01237	1.23708
86	391	0.02191	0.01435	0.01071	0.01265	0.01232	0.01250	0.01179	0.01182	0.01214	0.01184	0.01320	1.32014
93.5	392	0.02616	0.01739	0.01296	0.01544	0.01492	0.01527	0.01418	0.01408	0.01467	0.01441	0.01595	1.59492

Tabla 18. Desplazamientos máximos medios obtenidos en la estructura con el dissipador 20%MSS a una elevación de 90.5m (caso6).

Desplazamiento máximo medio- Dissipador 20%Mod a una elevación de 93.5 metros													
Altura (m)	Nodo de análisis	Número de Simulación										$\bar{d}$	$\bar{d}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	(m)	(cm)
10.4	308	0.00081	0.00050	0.00046	0.00063	0.00047	0.00051	0.00048	0.00046	0.00052	0.00045	0.00053	0.05300
13.2	307	0.00123	0.00071	0.00064	0.00091	0.00064	0.00072	0.00066	0.00064	0.00073	0.00063	0.00075	0.07517
16	306	0.00175	0.00101	0.00092	0.00129	0.00092	0.00102	0.00094	0.00092	0.00104	0.00092	0.00107	0.10728
18.8	305	0.00227	0.00128	0.00117	0.00166	0.00117	0.00130	0.00120	0.00117	0.00132	0.00117	0.00137	0.13693
21.6	304	0.00279	0.00154	0.00140	0.00201	0.00140	0.00157	0.00143	0.00140	0.00158	0.00141	0.00165	0.16536
24.4	303	0.00333	0.00180	0.00163	0.00237	0.00164	0.00184	0.00168	0.00164	0.00184	0.00166	0.00194	0.19417
27.2	302	0.00390	0.00206	0.00187	0.00274	0.00188	0.00211	0.00193	0.00188	0.00210	0.00190	0.00224	0.22367
30	301	0.00448	0.00233	0.00210	0.00313	0.00212	0.00239	0.00218	0.00212	0.00237	0.00215	0.00254	0.25373
32.8	300	0.00509	0.00260	0.00234	0.00352	0.00235	0.00268	0.00244	0.00236	0.00264	0.00240	0.00284	0.28413
35.6	299	0.00571	0.00287	0.00258	0.00391	0.00259	0.00297	0.00269	0.00260	0.00290	0.00264	0.00315	0.31458
38.4	298	0.00634	0.00314	0.00281	0.00431	0.00282	0.00325	0.00294	0.00283	0.00316	0.00289	0.00345	0.34486
41.2	297	0.00699	0.00339	0.00303	0.00470	0.00305	0.00354	0.00319	0.00306	0.00341	0.00312	0.00375	0.37484
44	296	0.00764	0.00365	0.00324	0.00509	0.00327	0.00381	0.00343	0.00329	0.00365	0.00335	0.00404	0.40423
46.8	295	0.00829	0.00389	0.00345	0.00548	0.00348	0.00408	0.00366	0.00350	0.00388	0.00358	0.00433	0.43283
49.6	294	0.00894	0.00412	0.00364	0.00586	0.00368	0.00434	0.00388	0.00371	0.00410	0.00379	0.00460	0.46048
52.4	293	0.00958	0.00433	0.00382	0.00623	0.00387	0.00459	0.00409	0.00391	0.00431	0.00399	0.00487	0.48707
55.2	292	0.01022	0.00453	0.00399	0.00658	0.00404	0.00482	0.00437	0.00409	0.00450	0.00437	0.00515	0.51514
58	291	0.01085	0.00471	0.00413	0.00692	0.00445	0.00503	0.00486	0.00438	0.00466	0.00486	0.00549	0.54860
60.8	290	0.01146	0.00487	0.00436	0.00723	0.00493	0.00523	0.00538	0.00486	0.00487	0.00539	0.00586	0.58588
63.6	289	0.01214	0.00515	0.00475	0.00761	0.00536	0.00565	0.00584	0.00529	0.00529	0.00586	0.00629	0.62929
66.4	288	0.01283	0.00557	0.00515	0.00799	0.00579	0.00610	0.00631	0.00572	0.00572	0.00634	0.00675	0.67532
69.2	461	0.01327	0.00628	0.00584	0.00810	0.00651	0.00685	0.00707	0.00644	0.00644	0.00710	0.00739	0.73909
72	462	0.01366	0.00701	0.00654	0.00818	0.00724	0.00761	0.00784	0.00718	0.00717	0.00788	0.00803	0.80297
74.8	463	0.01401	0.00777	0.00728	0.00822	0.00800	0.00840	0.00865	0.00795	0.00793	0.00869	0.00869	0.86902
77.6	464	0.01431	0.00859	0.00808	0.00820	0.00883	0.00925	0.00952	0.00879	0.00876	0.00957	0.00939	0.93905
80.4	465	0.01452	0.00949	0.00895	0.00878	0.00974	0.01018	0.01047	0.00970	0.00967	0.01053	0.01020	1.02034
86	391	0.01576	0.01056	0.00997	0.00977	0.01081	0.01132	0.01164	0.01080	0.01074	0.01171	0.01131	1.13088
93.5	392	0.01893	0.01312	0.01219	0.01210	0.01304	0.01393	0.01442	0.01367	0.01349	0.01469	0.01396	1.39570

Tabla 19. Comparación de la respuesta de desplazamientos de la estructura original de la torre de control y la estructura mejorada con el dissipador (casos 4,5 y 6, que hacen referencia a la selección de la masa óptima y la variación de su posición).

Comparación de las respuestas de desplazamiento												
Altura (m)	Nodo	Sin MSS		MSS Elevación=93.5m		Reducción de la respuesta	MSS Elevación= 80.4m		Reducción de la respuesta	MSS Elevación= 66.4m		Reducción de la respuesta
		$\bar{d}$ (cm)	Distorsión	$\bar{d}$ (cm)	Distorsión		$\bar{d}$ (cm)	Distorsión		$\bar{d}$ (cm)	Distorsión	
10.4	308	0.07	-	0.05	-	25.30%	0.06	-	12.74%	0.06	-	10.46%
13.2	307	0.11	0.00014	0.08	0.00008	31.02%	0.09	0.00011	15.92%	0.09	0.00011	13.36%
16	306	0.16	0.00018	0.11	0.00011	32.34%	0.13	0.00015	16.48%	0.14	0.00015	14.00%
18.8	305	0.21	0.00018	0.14	0.00011	34.35%	0.17	0.00014	17.46%	0.18	0.00015	15.03%
21.6	304	0.26	0.00018	0.17	0.00010	36.40%	0.21	0.00014	18.50%	0.22	0.00015	16.07%
24.4	303	0.31	0.00019	0.19	0.00010	38.22%	0.25	0.00015	19.43%	0.26	0.00015	16.99%
27.2	302	0.37	0.00021	0.22	0.00011	39.86%	0.30	0.00015	20.30%	0.31	0.00016	17.85%
30	301	0.43	0.00022	0.25	0.00011	41.36%	0.34	0.00016	21.07%	0.35	0.00017	18.63%
32.8	300	0.50	0.00023	0.28	0.00011	42.76%	0.39	0.00017	21.76%	0.40	0.00017	19.34%
35.6	299	0.56	0.00024	0.31	0.00011	44.09%	0.44	0.00017	22.42%	0.45	0.00018	20.01%
38.4	298	0.63	0.00025	0.34	0.00011	45.40%	0.49	0.00018	23.08%	0.50	0.00018	20.67%
41.2	297	0.70	0.00025	0.37	0.00011	46.67%	0.54	0.00018	23.73%	0.55	0.00019	21.32%
44	296	0.78	0.00026	0.40	0.00010	47.93%	0.59	0.00018	24.37%	0.61	0.00019	21.96%
46.8	295	0.85	0.00027	0.43	0.00010	49.17%	0.64	0.00018	25.00%	0.66	0.00019	22.60%
49.6	294	0.93	0.00027	0.46	0.00010	50.40%	0.69	0.00019	25.62%	0.71	0.00019	23.21%
52.4	293	1.01	0.00028	0.49	0.00009	51.62%	0.74	0.00019	26.24%	0.77	0.00019	23.81%
55.2	292	1.09	0.00028	0.52	0.00010	52.58%	0.79	0.00019	26.85%	0.82	0.00019	24.39%
58	291	1.17	0.00029	0.55	0.00012	52.97%	0.85	0.00018	27.47%	0.88	0.00019	24.98%
60.8	290	1.25	0.00029	0.59	0.00013	53.02%	0.90	0.00018	28.11%	0.93	0.00019	25.60%
63.6	289	1.33	0.00030	0.63	0.00016	52.70%	0.95	0.00019	28.68%	0.98	0.00019	26.23%
66.4	288	1.41	0.00030	0.68	0.00016	52.27%	1.00	0.00019	29.25%	1.03	0.00019	26.92%
69.2	461	1.50	0.00029	0.74	0.00023	50.63%	1.05	0.00017	29.93%	1.08	0.00018	27.63%
72	462	1.58	0.00030	0.80	0.00023	49.25%	1.10	0.00018	30.53%	1.14	0.00019	28.15%
74.8	463	1.67	0.00030	0.87	0.00024	47.84%	1.15	0.00017	31.13%	1.19	0.00019	28.60%
77.6	464	1.75	0.00030	0.94	0.00025	46.33%	1.19	0.00017	31.76%	1.24	0.00019	29.00%
80.4	465	1.83	0.00029	1.02	0.00029	44.31%	1.24	0.00015	32.48%	1.29	0.00018	29.38%
86	391	2.00	0.00030	1.13	0.00020	43.50%	1.32	0.00015	34.05%	1.40	0.00019	29.99%
93.5	392	2.36	0.00048	1.40	0.00035	40.95%	1.59	0.00037	32.52%	1.68	0.00037	28.85%

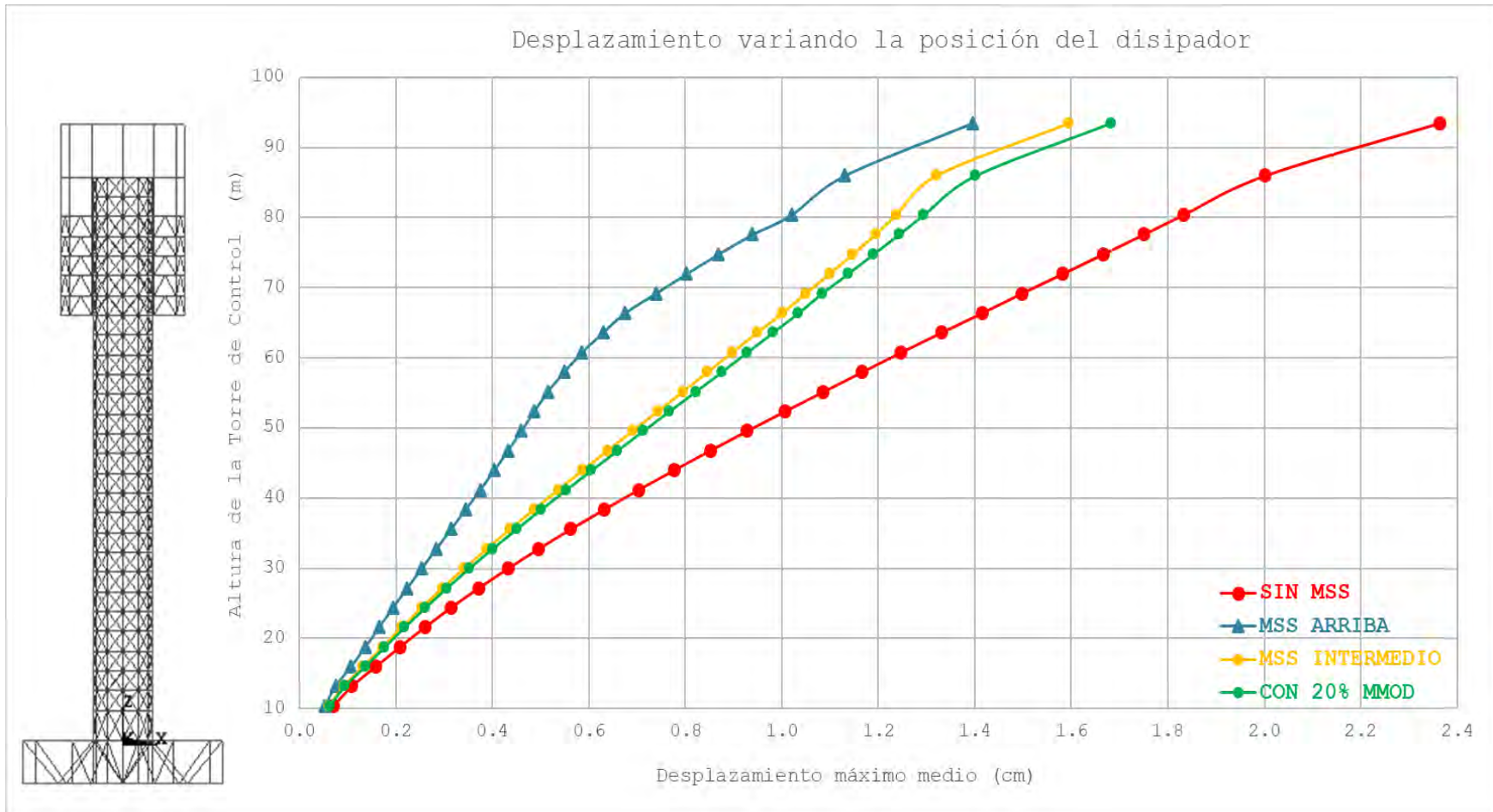


Figura 16. Representación gráfica de la respuesta de desplazamientos de la estructura original y la estructura mejorada con el disipador (casos 4,5 y 6 que hacen referencia a la variación de la posición del MSS).



## Capítulo 4 Conclusiones y recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

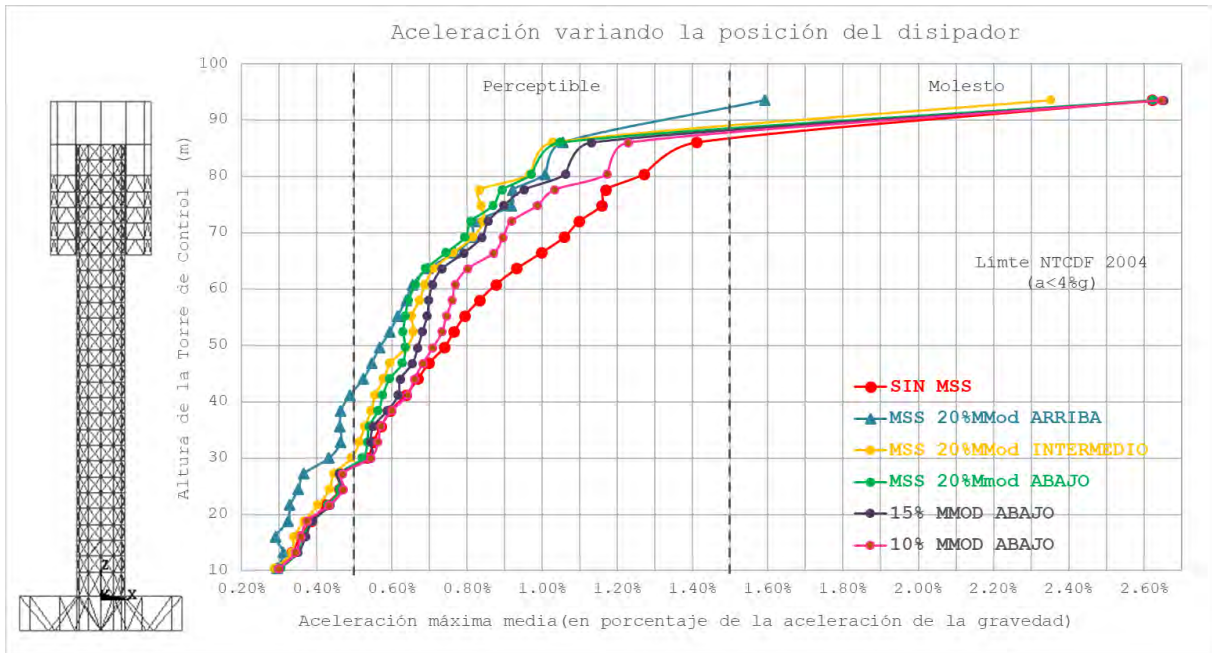


Figura 17. Representación gráfica de las aceleraciones máximas medias obtenidas de todos los casos de estudio.

En el presente trabajo se estudió el comportamiento de una torre de control de tráfico aéreo, mejorada con un disipador pasivo de energía, la cual está sometida a las acciones del viento turbulento. Buscando mejorar el rendimiento del disipador mediante la elaboración de un análisis paramétrico, el cual contemplara la variación de la masa y posición de este dispositivo.

1. Se puede observar un efecto positivo en la reducción de la respuesta tanto de aceleraciones como de desplazamientos.
2. Analizando todos los casos propuestos, podemos comprobar en la figura 17, que existe una mayor reducción de la energía de vibración en la zona donde se instaló el disipador, según cada caso; lo cual nos permite tomar este ejercicio como una medida de validez a las diferentes bibliografías las cuales afirman que se tendrá la mayor disipación de energía en la zona donde se ubique el dispositivo.
3. Se puede observar que los desplazamientos de la torre de control no presentan ningún problema, pues están dentro de los límites establecidos en las normas. Por otra parte, se tienen aceleraciones consideradas aceptables para la normatividad local, y molestas de acuerdo a otras referencias, como los parámetros presentados en la tabla de percepción de incomodidad en las personas ante oscilaciones horizontales; la cual evidencia que nuestro sistema estructural actual no tiene la capacidad de satisfacer un nivel mínimo de confort, por lo cual la instalación de un solo disipador es

insuficiente, siendo necesaria la instalación un arreglo de disipadores que permitan satisfacer completamente el estado límite de servicio.

4. Por otra parte, la estructuración en la parte superior de la torre es deficiente, probablemente por la necesidad de mantener el espacio libre de obstrucciones, por lo que una solución más podría ser el modificar la estructuración pues es evidente que la variación abrupta de la rigidez debida a la interrupción del sistema de contravientos, vuelve a nuestra estructura vulnerable a presentar vibraciones excesivas.

#### 4.2 Recomendaciones

1. Por simplicidad el disipador se colocó en un nodo de la estructura, ubicado sobre el eje de análisis; sin embargo, habría que colocar varios disipadores con cierto porcentaje de aportación a la respuesta total en el sentido de análisis; para tratar de distribuir las fuerzas de amortiguamiento de una manera más realista, con el fin de obtener una mejor modelación del comportamiento del disipador y la estructura.
2. Se deben hacer más simulaciones para afinar los resultados.
3. De tener la información, se deben considerar todas las fuentes de masa, sobre la estructura, pues se sabe que esta variable afecta directamente las propiedades dinámicas de la estructura.



## Bibliografía

1. ANSYS Mechanical APDL© (2013), versión académica.
2. Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica* (7ª ed.). Ciudad de México, México: McGraw Hill.
3. Chopra, A.K. (2014). *Dinámica de estructuras* (4ª ed.). Estado de México, México: Pearson.
4. Comisión Federal de Electricidad (2008). *Manual de diseño de obras civiles: Diseño por viento*. Ciudad de México, México.
5. Den Hartog, J.P. (1947). *Mechanical Vibration* (3ª ed.). United States of America: McGraw-Hill.
6. Espinosa, J. L. (2011). *Uso de Masas Sólidas Resonantes para Controlar Vibraciones Inducidas por Viento Turbulento en Edificios Esbeltos (tesis de maestría)*. Instituto de Ingeniería-UNAM, México.
7. Meseguer Ruiz, J., et al. (2013). *Aerodinámica civil: efectos del viento en edificaciones y estructuras* (2ª ed.). España: Garceta Grupo Editorial.
8. Ramírez, R. R. (2016). *Estudio del Comportamiento Estructural de una Torre de Control de Sección Circular ante los Efectos del Viento (tesis de licenciatura)*. Facultad de Ingeniería-UNAM, México.
9. Simiu, E., y Scanlan R.H. (1996). *Wind effects on structures: Fundamentals and applications to design* (3ª ed.). United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

## Direcciones electrónicas

1. <https://definicion.de/turbulencia/>
2. <http://classique.com.mx/las-torres-de-control-mas-altas-del-mundo/>
3. <http://torresdecontrol.blogspot.mx/2011/01/partes-de-una-torre-de-control.html>
4. [https://es.wikipedia.org/wiki/Aeropuerto\\_Internacional\\_Suvarnabhumi](https://es.wikipedia.org/wiki/Aeropuerto_Internacional_Suvarnabhumi)
5. <https://runwaygirlnetwork.com/2016/03/08/press-release-inmarsat-esa-in-pact-for-iris-service-evolution-study/>
6. <https://www.diariolibre.com/mundo/eeuu/apagon-obliga-a-cancelar-vuelos-en-aeropuerto-de-atlanta-YL8805023>
7. <https://megaricos.com/2017/09/16/los-10-aeropuertos-mas-caros-del-mundo-para-aterizar-tu-avion-privado/aeropuerto-internacional-de-haneda/>
8. <https://www.aerobcn.com/aeropuertos/222-las-10-torres-de-control-del-trafico-aereo-mas-altas-del-mundo/>
9. <http://www.obrasweb.mx/construccion/2017/02/08/alianza-mexico-espanola-construira-la-torre-de-control-del-naicm>