



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL SECTOR E DEL HOSPITAL REGIONAL DE CAJAMARCA CON Y SIN EL SISTEMA ANTISÍSMICO *TUNED MASS DAMPER*”.

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Civil**

**Autor:**

Carlos Miguel Mercado Panduro

**Asesor:**

Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno

Cajamarca – Perú  
2016

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT .....	xii
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>13</b>
1.1. Realidad problemática .....	13
1.2. Formulación del problema.....	17
1.3. Justificación.....	17
1.4. Limitaciones .....	18
1.5. Objetivos .....	19
1.5.1. <i>Objetivo General</i> .....	19
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	19
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>20</b>
2.1. Antecedentes .....	20
2.2. Bases Teóricas .....	24
2.3. Definición de términos básicos .....	38
<b>CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS.....</b>	<b>41</b>
3.1. Formulación de la hipótesis .....	41
3.2. Operacionalización de variables .....	41
<b>CAPÍTULO 4. MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>43</b>
4.1. Tipo de diseño de investigación.....	43
4.2. Material. ....	43
4.2.1. <i>Unidad de estudio</i> . ....	43
4.2.2. <i>Población</i> . ....	43
4.2.3. <i>Muestra</i> . ....	43
4.3. Métodos. ....	43
4.3.1. <i>Técnicas de recolección de datos</i> .....	43
4.3.2. <i>Técnicas para el análisis de datos</i> .....	44
4.3.3. <i>Procedimientos</i> .....	44
<b>CAPÍTULO 5. DESARROLLO.....</b>	<b>48</b>

<b>CAPÍTULO 6. RESULTADOS</b> .....	<b>70</b>
6.1. Estructura convencional.....	70
6.1.1. <i>Periodo natural</i> .....	70
6.1.2. <i>Modos de vibración</i> .....	70
6.1.3. <i>Desplazamientos</i> .....	70
6.1.4. <i>Derivas de entrepiso</i> .....	71
6.1.5. <i>Masas de la estructura</i> .....	71
6.1.6. <i>Fuerzas laterales en la estructura:</i> .....	72
6.2. Estructura con Tuned Mass Damper – 1 (Masa TMD = 2500 Kg. en c/dirección) .....	72
6.2.1. <i>Periodo natural</i> .....	72
6.2.2. <i>Modos de vibración</i> .....	72
6.2.3. <i>Desplazamientos</i> .....	73
6.2.4. <i>Derivas de entrepiso</i> .....	73
6.2.5. <i>Masas de la estructura</i> .....	74
6.2.6. <i>Fuerzas laterales en la estructura</i> .....	74
6.3. Estructura con Tuned Mass Damper – 2 (Masa TMD = 5000 Kg. en c/dirección) .....	75
6.3.1. <i>Periodo natural</i> .....	75
6.3.2. <i>Modos de vibración</i> .....	75
6.3.3. <i>Desplazamientos</i> .....	75
6.3.4. <i>Derivas de entrepiso</i> .....	76
6.3.5. <i>Masas de la estructura</i> .....	76
6.3.6. <i>Fuerzas laterales en la estructura</i> .....	77
6.4. Estructura con Tuned Mass Damper – 3 (Masa TMD = 10000 Kg. en c/dirección) .....	77
6.4.1. <i>Periodo natural</i> .....	77
6.4.2. <i>Modos de vibración</i> .....	77
6.4.3. <i>Desplazamientos</i> .....	78
6.4.4. <i>Derivas de entrepiso</i> .....	78
6.4.5. <i>Masas de la estructura</i> .....	79
6.4.6. <i>Fuerzas laterales en la estructura</i> .....	79
<b>CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN</b> .....	<b>89</b>
<b>CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES</b> .....	<b>91</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>92</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>93</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>96</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

### Capítulo 3

<b>Tabla N° 1.</b> Operacionalización de variables.	42
---	----

### Capítulo 5

<b>Tabla N° 2:</b> Parámetros sísmicos de la NTP E.030 considerados para el análisis.	51
---	----

### Capítulo 6

<b>Tabla N° 3.</b> Modos y periodos de la estructura convencional.	71
--	----

<b>Tabla N° 4.</b> Desplazamientos de masas en los diafragmas en dirección X y Y.	71
---	----

<b>Tabla N° 5.</b> Derivas en sentido X y Y por piso.	72
---	----

<b>Tabla N° 6.</b> Masas en dirección X y Y por piso.	72
---	----

<b>Tabla N° 7.</b> Fuerzas laterales por piso en dirección X y Y.	73
---	----

TMD-1.

<b>Tabla N° 8.</b> Modos y periodos de la estructura con el TMD-1.	73
--	----

<b>Tabla N° 9.</b> Desplaz. de masas en los diafragmas en dirección X y Y con el TMD-1	74
--	----

<b>Tabla N° 10.</b> Derivas en sentido X y Y por piso con el TMD-1.	74
---	----

<b>Tabla N° 11.</b> Masas en dirección X y Y por piso con el TMD-1.	75
---	----

<b>Tabla N° 12.</b> Fuerzas laterales por piso en dirección X y Y con el TMD-1.	75
---	----

TMD-2.

<b>Tabla N° 13.</b> Modos y periodos de la estructura con el TMD-2.	76
---	----

<b>Tabla N° 14.</b> Desplaz. de masas en los diafragmas en dirección X y Y con el TMD-2.	76
--	----

<b>Tabla N° 15.</b> Derivas en sentido X y Y por piso con TMD-2.	77
--	----

<b>Tabla N° 16.</b> Masas en dirección X y Y por piso con TMD-2.	77
--	----

<b>Tabla N° 17.</b> Fuerzas laterales por piso en dirección X y Y con TMD-2.	78
--	----

TMD-3.

<b>Tabla N° 18.</b> Modos y periodos de la estructura con el TMD-3.	78
---	----

<b>Tabla N° 19.</b> Desplaz. de masas en los diafragmas en dirección X y Y con el TMD-3.	79
--	----

<b>Tabla N° 20.</b> Derivas en sentido X y Y por piso con TMD-3.	79
--	----

<b>Tabla N° 21.</b> Masas en dirección X y Y por piso con TMD-3.	80
--	----

<b>Tabla N° 22.</b> Fuerzas laterales por piso en dirección X y Y con TMD-3.	80
--	----

<b>Tabla N° 23.</b> Porcentaje de reducción promedio de los desplazamientos.	87
--	----

<b>Tabla N° 24.</b> Porcentaje de reducción promedio de las derivas.	87
--	----

<b>Tabla N° 25.</b> Porcentaje de reducción promedio de las fuerzas cortantes.	87
--	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 1

<b>Figura N° 1.</b> World Seismicity Map (Mapa sísmico mundial).	15
<b>Figura N° 2.</b> Esquema del proceso de convergencia de la placa de Nazca (oceánica) y la Sudamericana (continental).	16
<b>Figura N° 3.</b> Zonas sísmicas en el Perú.	16

### Capítulo 2

<b>Figura N° 4.</b> Relación de las cargas laterales con los desplazamientos laterales en una edificación (Izq.) – Comportamiento no-lineal de una edificación (Der.).	27
<b>Figura N° 5.</b> Sistema de un grado de libertad.	27
<b>Figura N° 6.</b> Registro de la amplificación de aceleraciones en un edificio en la ciudad de México.	28
<b>Figura N° 7.</b> Curva de carga y descarga de un material inelástico (c) y de un material elástico (d).	29
<b>Figura N° 8.</b> Componentes de un sistema estructural. (a) Sistema; (b) componente de rigidez; componente de amortiguamiento; componente de masa.	30
<b>Figura N° 9.</b> (a) Desplazamientos en el sistema provocado por fuerzas laterales; (b) fuerzas de resistencia en dirección opuesta al sentido del desplazamiento.	31

### Capítulo 3

<b>Figura N° 10.</b> Imagen y esquema de un TMD de acción vertical.	32
<b>Figura N° 11.</b> Imagen de un TMD de acción horizontal.	32
<b>Figura N° 12.</b> Esquema de un TMD de acción horizontal.	32
<b>Figura N° 13.</b> TMD – Huis Ten Bosch Tower, Nagasaki.	33
<b>Figura N° 14.</b> TMD – Chiba Port Tower, Japón.	33
<b>Figura N° 15.</b> Idealización del funcionamiento del Tuned Mass Damper en un sistema de 1GDL con amortiguamiento $c$ .	34
<b>Figura N° 16.</b> Radio de amortiguamiento óptimo para un TMD.	38
<b>Figura N° 17 y 18.</b> Respuesta de un sistema de 1GDL ante una excitación armónica.	38

### Capítulo 4

<b>Figura 19.</b> Procedimiento para el cálculo de las propiedades físicas del TMD.	47
<b>Figura 20.</b> Procedimiento para el desarrollo de la investigación.	48

## Capítulo 5

<b>Figura N° 21.</b> Ingreso de valores al eje X en cm.	54
<b>Figura N° 22.</b> Ingreso de valores al eje Y en cm.	54
<b>Figura N° 23.</b> Ingreso de valores al eje Z en cm.	55
<b>Figura N° 24.</b> Definición del material <i>Concreto de <math>f'c = 348 \text{ Kg/cm}^2</math></i> .	55
<b>Figura N° 25.</b> Definición del material <i>Concreto de <math>f'c = 480 \text{ Kg/cm}^2</math></i> .	56
<b>Figura N° 26.</b> Sección de la viga de 0.30x0.60 m.	57
<b>Figura N° 27.</b> Propiedades del reforzamiento de las vigas.	57
<b>Figura N° 28.</b> Sección de columna de 0.55x0.55 m.	58
<b>Figura N° 29.</b> Propiedades del reforzamiento de las columnas según el tipo de columna.	58
<b>Figura N° 30.</b> Sección de placa de espesor de 0.25 m.	59
<b>Figura N° 31.</b> Losa aligerada de 2 direcciones de espesor de 0.25 m.	60
<b>Figura N° 32.</b> Asignación de columnas, placas.	60
<b>Figura N° 33.</b> Vista en isométrico de la estructura final.	61
<b>Figura N° 34.</b> Asignación de cargas vivas y cargas muertas.	61
<b>Figura N° 35.</b> Definición de masas.	62
<b>Figura N° 36.</b> Espectro sísmico de diseño de la NTP E.030.	62
<b>Figura N° 37.</b> Espectro sísmico en dirección X.	63
<b>Figura N° 38.</b> Espectro sísmico en dirección Y.	64
<b>Figura N° 39.</b> Periodo natural de la estructura en el primer modo de vibración.	65
<b>Figura N° 40.</b> Definición de las propiedades del link.	69
<b>Figura N° 41.</b> Definición de las propiedades direccionales y rigidez.	69
<b>Figura N° 42.</b> <i>TMD</i> (link) en el eje X empotrado en un pórtico del edificio.	70
<b>Figura N° 43.</b> <i>TMD</i> (link) en el eje Y empotrado en un pórtico del edificio.	70
<b>Figura N° 44.</b> Detalle del <i>Tuned Mass Damper</i> (link), con un punto fijado en la estructura y un punto en el espacio restringido en las 3 direcciones.	70

## Capítulo 6

<b>Figura N° 45.</b> Desplazamiento de los diafragmas rígidos en el eje X.	81
<b>Figura N° 46.</b> Desplazamiento de los diafragmas rígidos en el eje Y.	81
<b>Figura N° 47.</b> Derivas de entrepiso de los diafragmas rígidos en el eje X.	82
<b>Figura N° 48.</b> Derivas de entrepiso de los diafragmas rígidos en el eje Y.	82
<b>Figura N° 49.</b> Fuerzas cortantes en los diafragmas rígidos en el eje X.	83

<b>Figura Nº 50.</b> Fuerzas cortantes en los diafragmas rígidos en el eje Y.	83
<b>Figura Nº 51.</b> Porcentaje de reducción de los desplazamientos en el eje X.	84
<b>Figura Nº 52.</b> Porcentaje de reducción de los desplazamientos en el eje Y.	84
<b>Figura Nº 53.</b> Porcentaje de reducción de las derivas en el eje X.	85
<b>Figura Nº 54.</b> Porcentaje de reducción de las derivas en el eje Y.	85
<b>Figura Nº 55.</b> Porcentaje de reducción de las fuerzas cortantes en el eje X.	86
<b>Figura Nº 56.</b> Porcentaje de reducción de las fuerzas cortantes en el eje Y.	86
<b>Figura Nº 57.</b> Porcentaje de reducción promedio de los desplazamientos.	88
<b>Figura Nº 58.</b> Porcentaje de reducción promedio de las derivas de entrepiso.	88
<b>Figura Nº 59.</b> Porcentaje de reducción promedio de las fuerzas cortantes.	89

## RESUMEN

La constante actividad sísmica en el Perú nos conlleva a mejorar nuestros métodos de construcción y a buscar nuevos sistemas de construcción antisísmica, de manera que se cumpla con la filosofía y principios del diseño sismorresistente de acuerdo a la NTP E.030. Es por ello que en el presente trabajo de investigación se ha elegido estudiar un innovador sistema antisísmico conocido a nivel mundial como *Tuned Mass Damper* o *TMD* por sus siglas en inglés, traducido al español como Amortiguador de Masa Sintonizada; implementándolo en una edificación de Categoría A1 (Edificaciones esenciales) según la NTP E.030, como lo es el Hospital Regional de Cajamarca (Hospital Docente de Cajamarca). Para ello se ha realizado una comparación de la respuesta estructural del sector E del Hospital Regional de Cajamarca con y sin el sistema antisísmico *Tuned Mass Damper* (TMD desde ahora en adelante) con ayuda de programas computacionales estructurales, con tres tipos de TMD; esperando una mejora en la respuesta estructural de hasta un 30% en la edificación con el sistema antisísmico, presentando en los resultados una reducción de desplazamientos desde el 27.9% hasta el 55.8%, una reducción de derivas de entrepiso desde el 25.8% hasta el 62.5% y una reducción en esfuerzos laterales desde 32.6% hasta 41.3%.

## ABSTRACT

The constant seismic activity in Peru promote us to improve our construction methods and to look for new systems of antiseismic construction, in order to comply with the philosophy and principles of seismic design according to the NTP E.030. This is why in the present work of research has chosen to study a innovative anti-seismic system known worldwide as Tuned Mass Damper or TMD, translated into Spanish as *Amortiguador de Masas Sintonizada*; implementing it in a building of Category A1 (Essential Buildings) according to the NTP E.030, as it is the Regional Hospital of Cajamarca (Hospital Docente de Cajamarca). To this end, a comparison was made of the structural response of the E sector of the Regional Hospital of Cajamarca with and without the Tuned Mass Damper (TMD since now) system with the help of structural computational programs with three types of TMD; hoping for an improvement in the structural response of an 30% for the building with the anti-seismic system, presenting in the results a reduction of displacements from 27.9 to 55.8%, a reduction of drifts from 25.8% to 62.5% and a reduction in lateral stresses from 30.4% to 41.3%.

## **NOTA DE ACCESO**

**No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales**

## REFERENCIAS

1. Applied Technology Council. (1996). *ATC-40: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. California, California: California Seismic Safety Commission.
2. Aquino Carmona, C. M., & Rodríguez Cortez, M. Á. (2015). *Comparación de la respuesta estructural de los módulos B y C de la I.E. Julio Ribeyro considerando y sin considerar la interacción suelo-estructura*. (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). UPN, Cajamarca, Perú.
3. Arellano, D., & Mejía, U. (2014). Evolución en los sistemas constructivos de la Ingeniería Civil. *Academia*, 13(29), 75-90.
4. Avilés Salazar, R. M. (2001). Dispositivos para el control de vibraciones. (Tesis para optar el título de Ingeniero civil). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
5. Bazán, E., & Meli, R. (2004). *Diseño sísmico de edificios*. México: Limusa.
6. Bernal, I., & Tavera, H. (2002). *Geodinámica, sismicidad y energía sísmica en Perú*. Lima: Instituto Geofísico del Perú.
7. Carmona Ramírez, P., & Rosas Fetta, A. J. (2015). *Análisis Comparativo del Comportamiento Sísmico Dinámico del diseño normativo sismo-resistente de un sistema dual frente al modelo con aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR) de un sistema aporticado, del Edificio de Oficinas Schell de seis pisos ubicado en la Provincia de Lima – Perú*. (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). UPC, Lima, Perú.
8. Chopra, A. K. (2014). *Dinámica de estructuras*. México: Pearson.
9. Computer and Structures, Inc. (06 de Junio de 2016). *CSI Web site*. Obtenido de CSI Web site: <https://wiki.csiamerica.com/display/tutorials/Tuned-mass+damper>
10. Corpus Villalba, J. J., & Morales Quispe, E. A. (2015). *Análisis sísmico comparativo entre un sistema dual y el sistema de reforzamiento con disipadores de fluido viscoso para un edificio en el distrito de Víctor Larco Herrera aplicando ETABS 2013*. (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). UPAO, Trujillo, Perú.
11. Díaz Tafur, C. T. (2016). *Evaluación del comportamiento estructural del Bloque N° 01 del Hospital Regional de Cajamarca*. (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
12. Fajardo Galliani, C. A. (2012). *Evaluación estructural de una de las edificaciones del hospital Edgardo Rebagliati Martins usando el método del espectro de*

- capacidad*. (Tesis para optar el título de Ingeniero civil). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
13. Fu, F. (2015). *Advanced Modelling Techniques in Structural Design*. Londres, Reino Unido: Wiley Blackwell.
  14. Gobierno Regional de Cajamarca. (2009). Expediente Técnico del Hospital Regional de Cajamarca. Cajamarca, Perú.
  15. Instituto Geofísico del Perú. (2016). <http://www.igp.gob.pe/>. Obtenido de [http://www.igp.gob.pe/portal/index.php?option=com\\_content&iiew=article&id=337&lang=es](http://www.igp.gob.pe/portal/index.php?option=com_content&iiew=article&id=337&lang=es)
  16. Kidokoro, R. (2008, Octubre). Self Mass Damper (SMD): Seismic Control System Inspired by the Pendulum Movement of an Antique Clock. *The 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008*. Beijing, China.
  17. Lee, C., Goda, K., & Hong, H. (2008, Octubre). Cost-effectiveness of Tuned Mass Damper and Base Isolation. *The 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008*. Beijing, China.
  18. Marano, G. C., & Greco, R. (2008). Stochastic optimum design of linear tuned mass dampers por seismic protection of high tower. *The 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008*. Beijing, China.
  19. Meli Piralla, R. (2001). *Diseño estructural* (2<sup>o</sup> ed.). México: Limusa.
  20. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción . Bogotá D.C., Colombia.
  21. Ministerio de Vivienda. (2016). Reglamento Nacional de Edificaciones. Perú.
  22. Murudi, M. M., & Mane, S. M. (2004, Agosto). Seismic effectiveness of Tuned Mass Damper (TMD) for different ground motion parameters. *The 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, August 1-6, 2004. Paper No. 2325*. Vancouver, Canadá.
  23. Oxford Dictionaries. (2017). Oxford Living Dictionaries - Español. Obtenido de <https://es.oxforddictionaries.com/definicion/antisismico>
  24. Purdue University. (2002). Tuned Mass Damper Systems. Indiana, Estados Unidos.
  25. Salvi, J., Rizzi, E., & Gavazzeni, M. (2014). Analysis on the optimun performance of Tuned Mass Damper devices in the context of earthquake engineering. *Proceedings*

*of the 9th International Conference on Structural Dynamics, Porto, Portugal, 30 June - 2 July, EURODYN 2014, pp. 1729-1736.*

26. Soriano Cacho, J. L. (2014). *Comparación de la respuesta estructural del pabellón A de la Universidad Privada del Norte con aisladores sísmicos elastoméricos y sin aisladores sísmicos.* (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). UPN, Cajamarca, Perú.
27. Trigo I Rodríguez, J. M. (2001). *El origen del Sistema Solar.* España: Complutense.
28. United States Geological Survey (2017). *Search Earthquake Catalog, Wold Data Center.* Obtenido el 08 de Marzo de 2017 de <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>