

Influence of the distribution of TMDs in the seismic response of irregular structures of reinforced concrete

Xiomara Barja, Egresada¹, Aldahir Sotomayor, Egresado¹, and Javier Moreno, Msc Profesor¹

¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, u201513047@upc.edu.pe, u201516329@upc.edu.pe, pccijmor@upc.edu.pe

Abstract– This paper analyzes the control of the seismic response of asymmetric buildings, through the incorporation of Tuned Mass Damper (TMD), evaluating different distributions of these devices on the top floor to obtain an alternative to improve the response of the structure in order to control the torsional effects of the first two mode of vibrating due to irregularities in the plant.

The previous one is done using a finite element computational model where the main variable is the participatory mass of the torsional mode, this being the first way to vibrate and a reduction of up to 40% of that variable was obtained.

Keywords-- TMD's Distribution, Asymmetric floor or irregular, torsion effect, mass participation.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.68>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

INFLUENCIA DE LA DISTRIBUCIÓN DE TMDs EN LA RESPUESTA SÍSMICA DE ESTRUCTURAS IRREGULARES DE CONCRETO ARMADO

Xiomara Barja, Egresada¹, Aldahir Sotomayor, Egresado¹, and Javier Moreno, Msc Profesor¹

¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, u201513047@upc.edu.pe, u201516329@upc.edu.pe, pccijmor@upc.edu.pe

Abstract– *This paper analyzes the control of the seismic response of asymmetric buildings, through the incorporation of Tuned Mass Damper (TMD), evaluating different distributions of these devices on the top floor to obtain an alternative to improve the response of the structure in order to control the torsional effects of the first two mode of vibrating due to irregularities in the plant.*

The previous one is done using a finite element computational model where the main variable is the participatory mass of the torsional mode, this being the first way to vibrate and a reduction of up to 40% of that variable was obtained.

Keywords-- *TMD's Distribution, Asymmetric floor or irregular, torsion effect and mass participation*

I. INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción moderna se está moviendo rápidamente hacia sistemas y tecnologías estructurales más eficientes para reducir tiempos y recursos humanos, y para mejorar la calidad y la seguridad de las estructuras bajo eventos de cargas extremas como terremotos.

Por otro lado, las nuevas tendencias arquitectónicas dan lugar en mayoría a estructuras irregulares. Se debe tener presente que las investigaciones sobre respuestas sísmicas confirman repetidamente que estas últimas sufren más daños que sus contrapartes regulares debido a una mayor vibración torsional [1].

Con objeto de compatibilizar lo arquitectónico con lo estructural están apareciendo o dándose a notar sistemas que reduzcan las discrepancias entre las regularidades e irregularidades estructurales.

En las últimas décadas se han aplicado metodologías de control para mejorar la seguridad estructural contra los riesgos naturales, una de estas es el amortiguador de masa sintonizada [2], el cual ha sido aceptado como un dispositivo de control pasivo efectivo para amortiguar la vibración estructural [3].

Por ello, las investigaciones posteriores se direccionaron en proponer un sistema de amortiguadores distribuidos, demostrándose que el sistema de múltiples TMDs con características óptimas es más efectivo que el sistema con un TMD de parámetros óptimos [4], además, para un mejor rendimiento y aumentar la rigidez estos son instalados bidireccionalmente [5].

De este modo, en el control de las vibraciones torsionales se involucran distintas variables [6] y [7] que representan el comportamiento de la estructura irregular. Una de ellas es la

relación de la participación de la masa en rotación (RZ) entre la participación de masa predominante en traslación (Ux & Uy), siendo fundamental en caso sea mayor o igual en 30% [8]. En esa misma línea de variables se tiene al periodo fundamental que con la incorporación del TMD cambia de corto a un periodo mayor, lo que implica la reducción de las fuerzas sísmicas. No obstante, ante la presencia de combinaciones irregulares puede que no se amplifique la respuesta bajo cargas sísmicas [9].

Ahora, en este estudio se analiza y compara en paralelo las variables relacionadas con el efecto torsional mediante el análisis dinámico modal espectral lineal en distintas plantas de forma geométrica C, L y T; observamos distintas distribuciones del porcentaje de masa ubicados a distancias objetivas de los ejes centroidales. Por ende, el objeto es determinar una alternativa de distribución de los TMDs que permita el balance entre todas las variables en concordancia con la reducción de la vibración torsional en los dos primeros modos.

II. METODOLOGÍA

Nuestro estudio será válido para estructuras de irregularidad torsional extrema, de acuerdo con [10], donde identifica este tipo de configuración mediante (1) que compara las derivas relativas en los extremos (Δ).

$$\Delta_{m\acute{a}x} > 1.4\Delta_{promedio} \text{ y } \Delta_{m\acute{a}x} > 0.5\Delta_{permisible} \quad (1)$$

Simultáneamente, se analiza de forma simplificada el efecto torsional mediante el coeficiente de irregularidad en planta (ϕ_p) planteado en (2) de [8] que representa las características dinámicas de la estructura, a través de los porcentajes de participación de la masa en sus componentes traslacionales (Ux y Uy) y rotacional (Rz), donde los valores menores a 0.75 reconocerán los problemas de vibración torsional en los dos primeros modos caracterizándolos como rotacionales.

$$\phi_p = 1.05 - \frac{Rz_i}{\sqrt{Ux_i^2 + Uy_i^2}} \leq 1 \quad (2)$$

Identificadas las estructuras irregulares, se evalúa el uso de TMDs con el uso de parámetros óptimos del dispositivo como la frecuencia de sintonización (ω_d^{opt}) y la relación de amortiguamiento (ξ_d^{opt}) que dependen de la relación de masa del dispositivo con la estructura (μ) de acuerdo con [6] en (3) y (4).

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.68>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

$$\omega_d^{opt} = \left[\frac{1}{1+\mu} (1 - 1.5906\xi) \sqrt{\frac{\mu}{1+\mu}} \right] \omega_e \quad (3)$$

$$\xi_d^{opt} = \sqrt{\frac{3\mu}{8(1+\mu)}} + \frac{0.1616\xi}{1+\mu} \quad (4)$$

III. RESULTADOS:

A. Clasificación de las estructuras

Para confirmar nuestro método de análisis elegimos una capital sísmica e importante en Latinoamérica, elegimos 3 edificaciones de concreto armado con diferentes tipos de plantas geométricas, forma T (C1M0), L (C2M0) y C (C3M0) (Fig. 1).

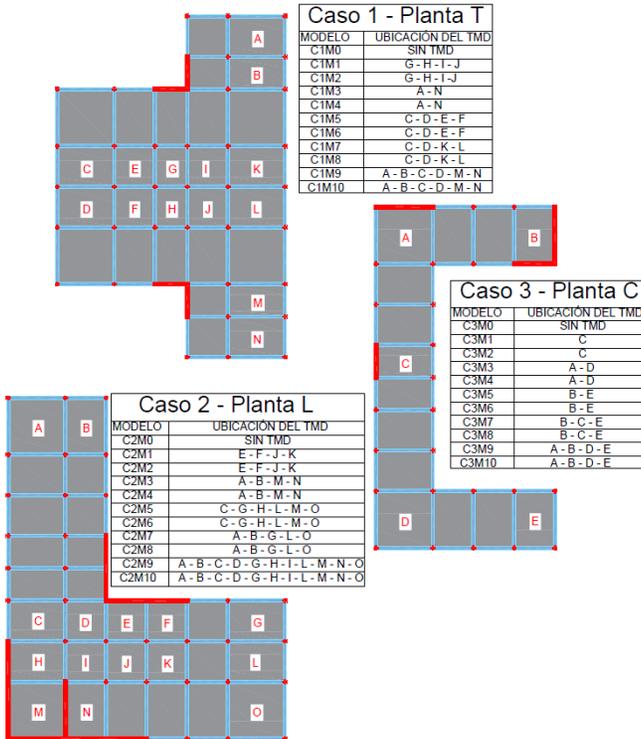


Fig. 1: Plantas de análisis

Donde las estructuras cuentan con deriva máxima mayor a 0.5 la permisible y a 1.4 la deriva promedio, lo que implica que presentan problemas severos en desplazamientos por su configuración irregular de planta (Fig. 2).

En simultaneo, los 3 casos iniciales (C1M0 - C2M0 - C3M0) tienen valores de coeficiente irregular en planta (ϕ_p) menores a 0.75, dando lugar a estructuras con comportamiento torsional en sus primeros dos modos [8].

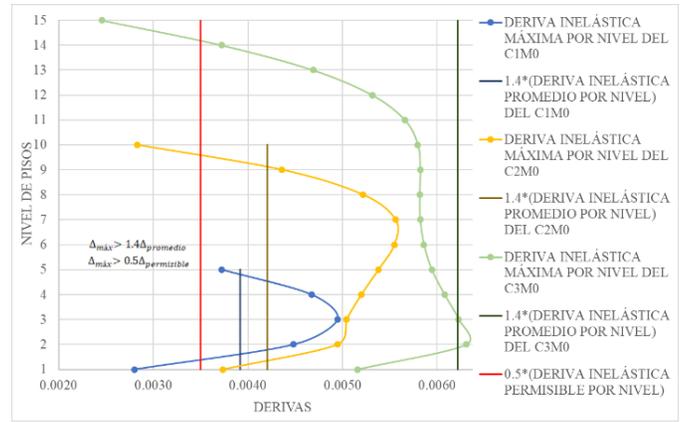


Fig. 2: Derivas en los puntos críticos de cada estructura

B. Implementación de TMDs con características óptimas:

En cada planta típica T, L y C (C1M0 - C2M0 - C3M0) de 5, 10 y 15 niveles respectivamente se identificó puntos referenciales como el centro de gravedad o el recorrido de los ejes centroidales x e y. Tras ello, se procedió a generar cinco variantes en la distribución de los TMDs en el último nivel y la ubicación de estos se representa en la Fig.1 mediante letras. Para ser más específicos, cada variante presenta dos modelos que internamente alternan el porcentaje de masa (μ) en orden secuencial respectivamente de 5 % y 10%.

Cabe resaltar para un mayor entendimiento de las fig. 3, fig. 4 y fig. 5 que el 100% equivale a la totalidad del valor del caso inicial (C1M0-C2M0-C3M0) de todas las plantas evaluadas, y que la variación de este valor indica un incremento o reducción apreciable.

B.1. Caso 1 (C1) – Planta T

En primer lugar, se analizó un TMD concentrado en su centro de masa (C1M1 - C1M2) (TMD: ubicado en G – H - I – J) para rigidizar el centro de gravedad. En segundo lugar, se analizó con 2 TMDs distribuidos en las esquinas que presentan mayores desplazamientos horizontales ubicadas en la parte superior derecha e inferior derecha (C1M3 y C1M4) (TMD: ubicado en A – B – M - N). En tercer lugar, una masa concentrada a 12.5 metros a la izquierda del centro de masa (C1M5 y C1M6) (TMD: ubicado en C – D – E - F) para analizar la influencia en el recorrido del eje centroidal X. En cuarto lugar, dos masas concentradas, una a 12.5 metros a la izquierda del centro de masa y la otra a 7.5 metros a la derecha del centro de masa abarcando mayor rango del eje centroidal X (C1M7 y C1M8) (TMD: ubicado en C – D – K – L) para evaluar un balance de rigidez. Por último, tres masas concentradas, la primera ubicada a 12.5 metros a la izquierda del centro de masa, la segunda y tercera en las esquinas críticas ubicadas en la parte superior derecha e inferior derecha (C1M9 y C1M10) (TMD: ubicado en A – B – C – D – M - N) para rigidizar las esquinas de la estructura.

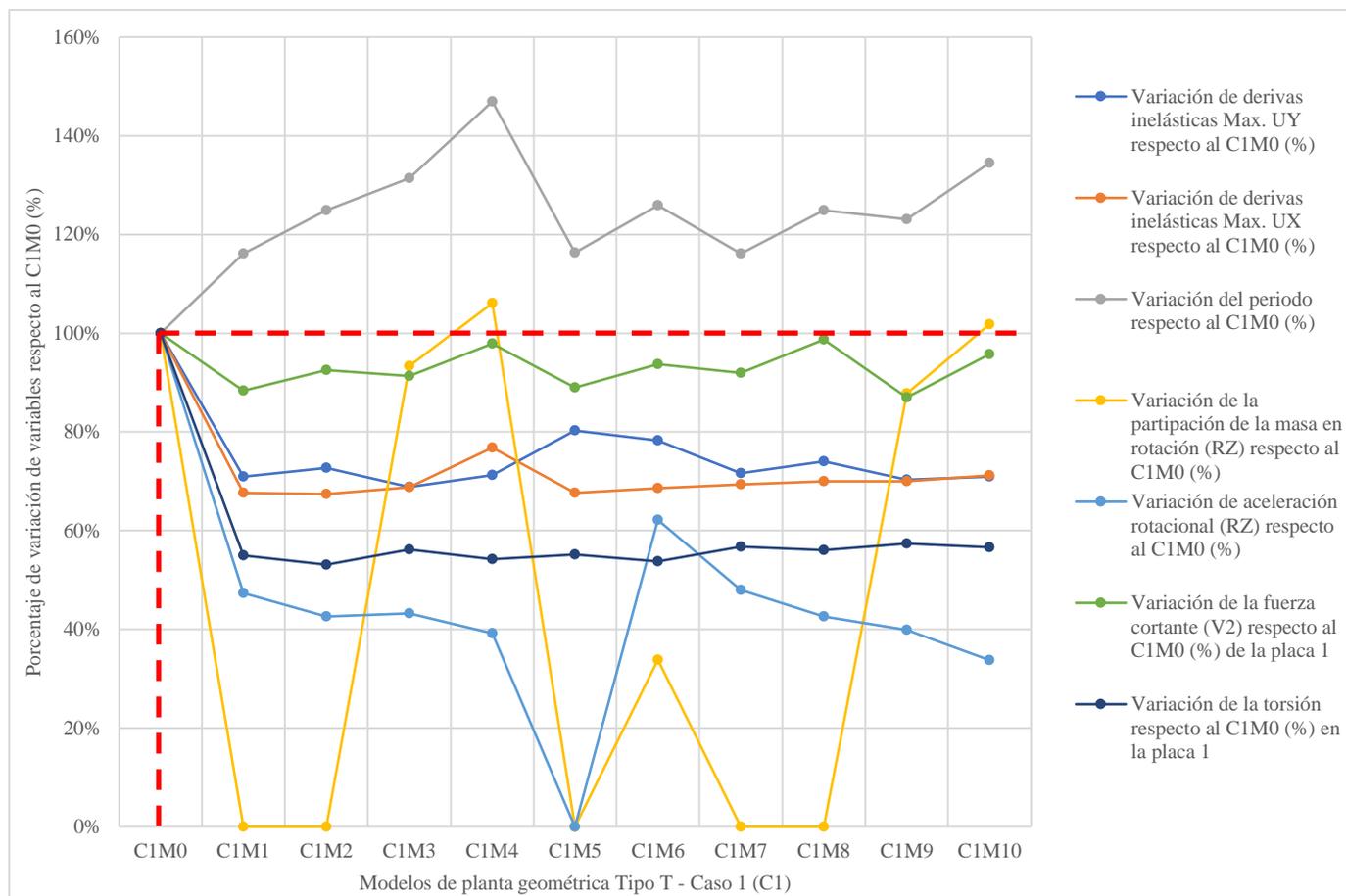


Fig. 3: Porcentaje de variación de los 10 modelos de la Planta T analizados respecto al C1M0

Observamos (Fig. 3) mediante la aplicación de los TMDs una reducción en las variables relacionadas, salvo el periodo que presenta un incremento, lo que señala que existe mayor amortiguamiento en la estructura. A pesar de presentar reducción en promedio de 29% en todos los modelos respecto al caso C1M0, a mayor relación de porcentaje de masa ($\mu=10\%$ en C1M2 - C1M4 - C1M6 - C1M8 - C1M10) las fuerzas cortantes de la placa 1 se reducen en menor proporción comparado a los modelos de $\mu=5\%$. Por el contrario, la torsión o momento torsor del mismo elemento se reduce en mayor proporción ante una relación superior de masa μ .

En particular, la reducción de mayor trascendencia en la participación másica RZ está relacionada con la cercanía de los casos concentrados (C1M1 - C1M2 - C1M5 - C1M6) al centro de gravedad del último nivel o en dos TMDs (C1M7 - C1M8) divididos en el eje centroidal X.

Dejamos en claro que los casos excepcionales (C1M4 - C1M10) dan un incremento a la participación debido a que abarca solo 2 esquinas críticas y no todas en su totalidad, lo cual perjudica al modo de vibrar.

B.2. Caso 2 - Planta L

En primer lugar, se analizó un TMD concentrado en su centro de masa (C2M1 y C2M2) (TMD: ubicado en E - F - J - K). En segundo lugar, se analizó con 2 TMDs distribuidos en dos esquinas, la primera ubicada en la parte superior izquierda, siendo esta la parte crítica, y la segunda en la parte inferior izquierda a 13.5 metros al eje del centro de masa (C2M3 y C2M4) (TMD: ubicado en A - B - M - N). En tercer lugar, dos masas concentradas en las esquinas donde presentan los menores desplazamientos horizontales, el primero en la parte inferior izquierda a 11 metros del eje centroidal y el segundo en la parte inferior derecha a 13.5 metros al centro de masa (C2M5 y C2M6) (TMD: ubicado en C - G - H - L - M - O). En cuarto lugar, dos masas concentradas en las esquinas de la estructura, la primera en la esquina crítica superior y la segunda en la parte no crítica inferior izquierda a 11 metros del eje centroidal (C2M7 y C2M8) (TMD: ubicado en A - B - G - L - O). Por último, tres masas concentradas, la primera ubicada en la esquina crítica, la segunda y tercera en las esquinas no críticas ubicadas en la parte inferior derecha a 13.5 metros al centro de masa e inferior izquierda a 11 metros del eje centroidal (C2M9 y C2M10) (TMD: ubicado en A - B - C - D - G - H - I - L - M - N - O).

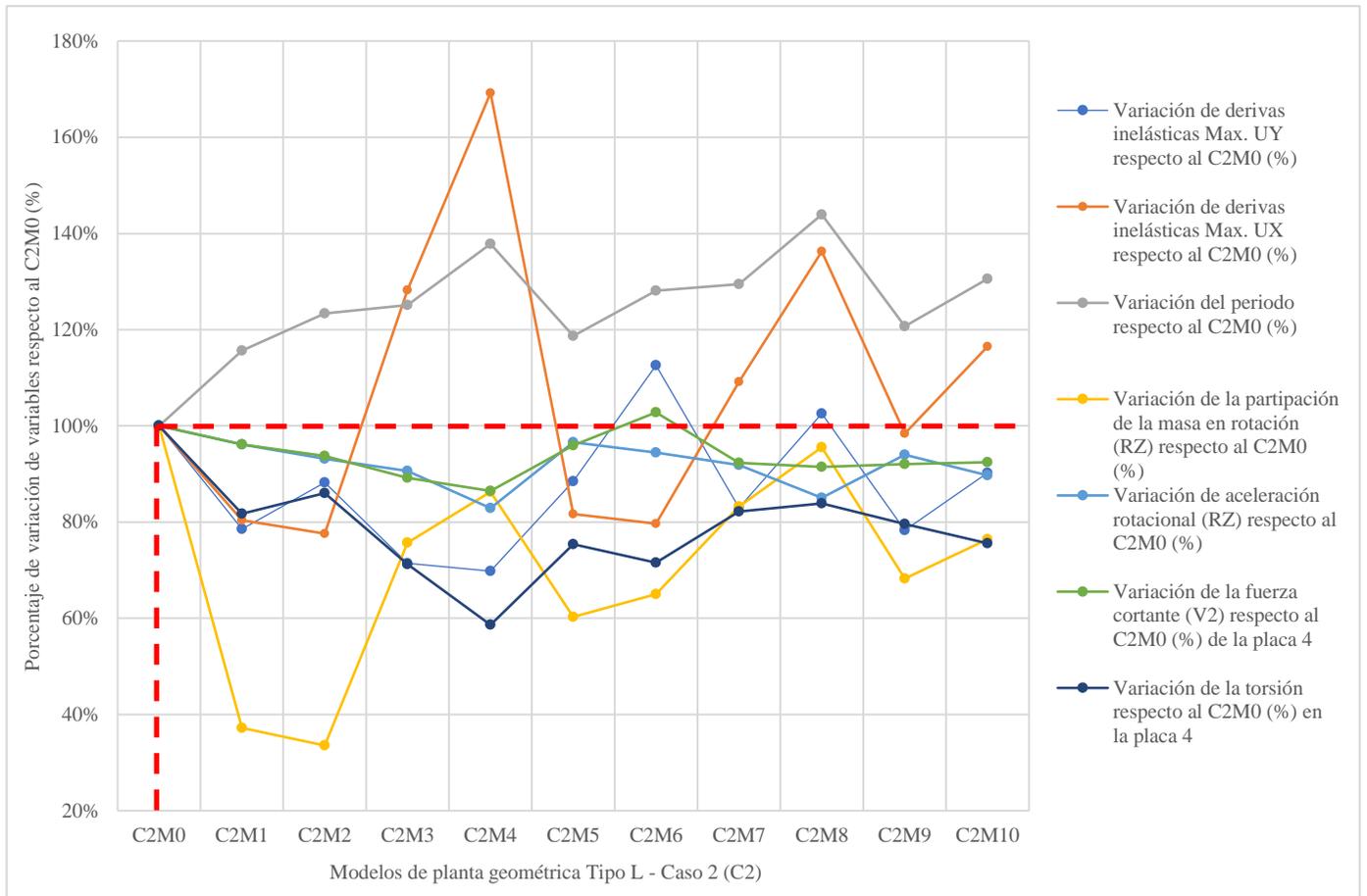


Fig. 4: Porcentaje de variación de los 10 modelos de la Planta L analizados respecto al C2M0

Observamos (Fig. 4) mediante la aplicación de los TMDs reducción en promedio del 7% de las variables respecto al caso C2M0, a pesar de presentar un incremento notorio en el periodo. Asimismo, se destaca que a mayor relación de porcentaje de masa ($\mu=10\%$) las fuerzas cortantes se reducen en mayor proporción respecto a los modelos de ($\mu=5\%$), salvo los modelos C2M5, C2M6, C2M9 y C2M10.

De manera análoga, la reducción en mayor trascendencia de la participación másica RZ está relacionado a la cercanía al centro de gravedad de los casos concentrados del ultimo nivel (C2M1 – C2M2) y en dos TMDs divididos en el eje centrodial X (C2M5 – C2M6). No obstante, C2M6 presenta un incremento en 5% de la fuerza cortante (V2) en la placa 4 y paralelamente aumenta la aceleración rotacional (RZ) en 15%, a pesar de que su periodo se incrementa en aproximadamente en 30 % respecto al C2M0.

Dejamos en claro que los casos excepcionales son los que presentan distribución desigual en las esquinas (C2M9 – C2M10) o no abarcan todas las esquinas (C2M3 – C2M4 – C2M7 – C2M8) ocasionando un incremento en la participación en la estructura.

B.3. Caso 3 - Planta C

En primer lugar, se analizó un TMD concentrado a 8.5 metros a la izquierda de su centro de masa (C3M1 y C3M2) (TMD: ubicado en C). En segundo lugar, se analizó con dos TMDs distribuidos en las esquinas críticas ubicadas en la parte superior izquierda e inferior izquierda (C3M3 y C3M4) (TMD: ubicado en A - D). En tercer lugar, dos dispositivos concentrados en otras esquinas críticas ubicadas en la parte superior derecha y la parte inferior derecha (C3M5 y C3M6) (TMD: ubicado en B - E). En cuarto lugar, tres masas concentradas, la primera a 8.5 metros a la izquierda del centro de masa, la segunda y tercera ubicado en las esquinas críticas superior derecha e inferior derecha (C3M7 y C3M8) (TMD: ubicado en B - C - E). Por último, cuatro masas concentradas en todas sus esquinas críticas: superior izquierda, superior derecha, inferior izquierda e inferior derecha. (C3M9 y C3M10) (TMD: ubicado en A - B - D - E).

Se observa (Fig. 5) mediante la aplicación de los TMDs que el periodo presenta un incremento en todos los modelos. A pesar de presentar reducción en promedio del 25% en todas las variables de los modelos respecto al caso C3M0, la fuerza cortante de la placa 4 se reduce ante una mayor relación de masa μ , salvo casos excepcionales como los modelos C3M5, C3M6, C3M7, C3M8 que incrementan estas fuerzas.

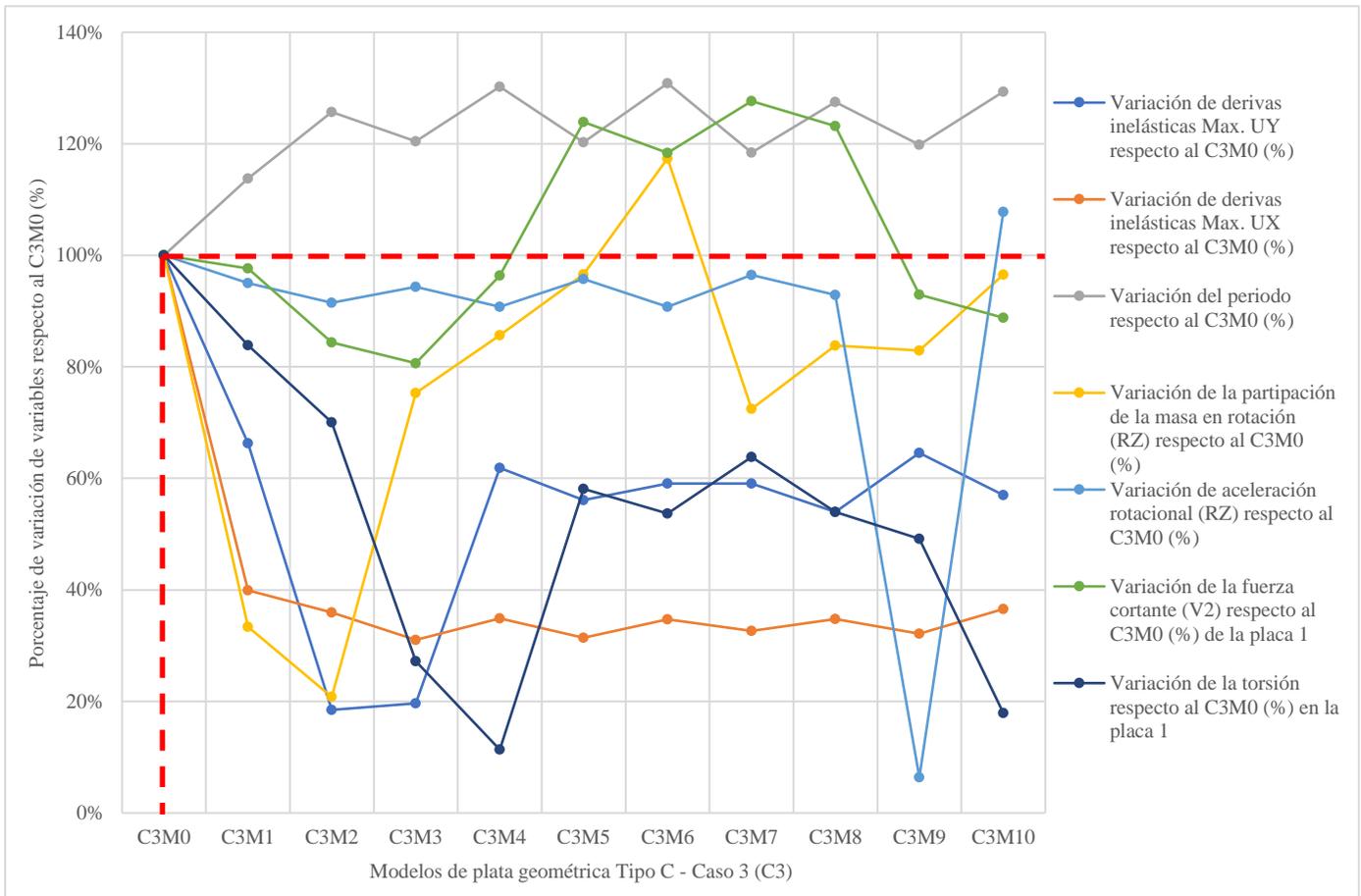


Fig. 5: Porcentaje de variación de los 10 modelos de la Planta C analizados respecto al C3M0

En particular, la reducción de la participación másica RZ está relacionado con la cercanía al centro de masa en los modelos (C3M1 - C3M2). La aceleración en rotación en todos los modelos disminuye, sin embargo, el C3M10 aumenta debido a la distribución en todas las esquinas. Por el contrario, la variación de la torsión respecto al C3M0 en la placa 1 disminuye para todos los modelos.

C. Comprobación de irregularidad Torsional

Con respecto a los 30 modelos analizados adicionales a los casos iniciales, se seleccionó 5 modelos del caso 1 (Tipo T), 4 modelos del caso 2 (Tipo L) y 4 modelos del caso 3 (Tipo C), donde estos modelos presentaban una mayor reducción en su participación de masa en rotación respecto a su caso inicial (C1M1 – C1M2 – C1M5 – C1M7 – C1M8 – C2M1 – C2M2 – C3M1 – C3M2). También, se seleccionó los casos donde se presenta un máximo incremento en su periodo respecto a sus casos bases (C2M4 – C2M8), además, los modelos donde presentaban una mayor reducción (C3M9) y un incremento en la aceleración rotacional (C3M10) respecto a su caso inicial.

C.1. Estructura de irregularidad extrema

Con un total de 16 modelos se verificó las derivas máximas en las esquinas (Δ) de acuerdo con [11] y comprobar si con la aplicación del TMD aún se presenta configuración irregular extrema (ver Tabla 1).

Lo que indica que en C1M1, C1M2 y C1M8 se reducen las derivas en las esquinas y por ende cambian de una configuración Torsional a No Torsional.

C.2. Coeficiente de irregularidad en planta

Simultáneamente, a los 16 modelos mencionados, se realizó una verificación del coeficiente de irregularidad en planta (ϕ_p) de acuerdo con [8], se comprobó si las estructuras con TMD presentan modos rotacionales y si tienen un coeficiente menor a 0.75 (ver Tabla 2).

Respecto a ello, en modelos C1M1, C1M8, C3M1 y C3M2 se reduce la incidencia de la participación rotacional.

TABLA 1:
ESTRUCTURA DE IRREGULARIDAD EXTREMA

ASCE 7 - 16							
MODELOS	DIRECCIÓN	Δ Promedio/h	Δ Max/h	1,2 Δ Promedio/h	1,4 Δ Promedio/h	0,5 * (Δ /h) permisible	CONCLUSIÓN
C1M0	X	0.0041	0.0050	0.0049	0.0057	0.0035	TORSIONAL
	Y	0.0037	0.0050	0.0045	0.0052	0.0035	TORSIONAL
C1M1	X	0.0027	0.0032	0.0033	0.0038	0.0035	NO TORSIONAL
	Y	0.0027	0.0035	0.0032	0.0037	0.0035	NO TORSIONAL
C1M2	X	0.0026	0.0031	0.0031	0.0036	0.0035	NO TORSIONAL
	Y	0.0025	0.0034	0.0030	0.0035	0.0035	NO TORSIONAL
C1M5	X	0.0027	0.0032	0.0033	0.0038	0.0035	NO TORSIONAL
	Y	0.0029	0.0044	0.0035	0.0041	0.0035	TORSIONAL EXTREMA
C1M7	X	0.0028	0.0033	0.0033	0.0039	0.0035	NO TORSIONAL
	Y	0.0027	0.0035	0.0032	0.0037	0.0035	TORSIONAL
C1M8	X	0.0027	0.0032	0.0032	0.0038	0.0035	NO TORSIONAL
	Y	0.0026	0.0034	0.0031	0.0036	0.0035	NO TORSIONAL
C2M0	X	0.0028	0.0056	0.0034	0.0039	0.0035	TORSIONAL EXTREMA
	Y	0.0028	0.0056	0.0034	0.0039	0.0035	TORSIONAL EXTREMA
C2M1	X	0.0022	0.0044	0.0027	0.0031	0.0035	TORSIONAL EXTREMA
	Y	0.0017	0.0032	0.0021	0.0024	0.0035	NO TORSIONAL
C2M2	X	0.0021	0.0042	0.0026	0.0030	0.0035	TORSIONAL EXTREMA
	Y	0.0020	0.0033	0.0024	0.0028	0.0035	NO TORSIONAL
C2M4	X	0.0024	0.0048	0.0029	0.0033	0.0035	TORSIONAL EXTREMA
	Y	0.0019	0.0030	0.0023	0.0027	0.0035	NO TORSIONAL
C2M8	X	0.0023	0.0044	0.0027	0.0032	0.0035	TORSIONAL EXTREMA
	Y	0.0020	0.0031	0.0025	0.0029	0.0035	NO TORSIONAL
C3M0	X	0.0052	0.0086	0.0062	0.0073	0.0035	TORSIONAL EXTREMA
	Y	0.0051	0.0068	0.0061	0.0071	0.0035	TORSIONAL
C3M1	X	0.0041	0.0063	0.0050	0.0058	0.0035	TORSIONAL EXTREMA
	Y	0.0037	0.0051	0.0045	0.0052	0.0035	TORSIONAL
C3M2	X	0.0038	0.0058	0.0045	0.0053	0.0035	TORSIONAL EXTREMA
	Y	0.0035	0.0047	0.0042	0.0049	0.0035	TORSIONAL
C3M9	X	0.0039	0.0063	0.0047	0.0055	0.0035	TORSIONAL EXTREMA
	Y	0.0038	0.0051	0.0046	0.0053	0.0035	TORSIONAL
C3M10	X	0.0038	0.0061	0.0045	0.0053	0.0035	TORSIONAL EXTREMA
	Y	0.0036	0.0048	0.0043	0.0050	0.0035	TORSIONAL

TABLA 2:

COEFICIENTE DE IRREGULARIDAD DE PLANTA								
IRREGULAR	MODO	UX	UY	RZ	RZ/(U PREDOMINANTE)	ϕ_p	OBSERVACIÓN	CONCLUSIÓN
C1M0	1	0.0000	0.3330	0.4593	138%	-0.329	Reestructurar	REESTRUCTURAR
	2	0.7728	0.0000	0.0000	0%	1.050	Conforme	
C1M1	1	0.4387	0.0000	0.0000	0%	1.050	Conforme	CONFORME
	2	0.0000	0.4112	0.0562	14%	0.913	Conforme	
C1M2	1	0.0000	0.1325	0.4031	304%	-1.992	Reestructurar	REESTRUCTURAR
	2	0.4400	0.0000	0.0000	0%	1.050	Conforme	
C1M5	1	0.4369	0.0000	0.0000	0%	1.050	Conforme	REESTRUCTURAR
	2	0.0000	0.2822	0.1203	43%	0.624	Reestructurar	
C1M7	1	0.4391	0.0000	0.0000	0%	1.050	Conforme	REESTRUCTURAR
	2	0.0000	0.3459	0.1372	40%	0.653	Reestructurar	
C1M8	1	0.5057	0.0000	0.0000	0%	1.050	Conforme	CONFORME
	2	0.0000	0.4348	0.0889	20%	0.846	Conforme	
C2M0	1	0.2946	0.1344	0.3322	113%	0.024	Reestructurar	REESTRUCTURAR
	2	0.2031	0.5098	0.0005	0%	1.049	Conforme	
C2M1	1	0.1163	0.2140	0.1237	58%	0.542	Reestructurar	REESTRUCTURAR
	2	0.1772	0.0608	0.0012	1%	1.044	Conforme	
C2M2	1	0.0891	0.2952	0.1115	38%	0.688	Reestructurar	REESTRUCTURAR
	2	0.2790	0.0620	0.0021	1%	1.043	Conforme	
C2M4	1	0.2521	0.0115	0.2867	114%	-0.086	Reestructurar	REESTRUCTURAR
	2	0.0133	0.3286	0.0000	0%	1.050	Conforme	
C2M8	1	0.1756	0.1065	0.3175	181%	-0.496	Reestructurar	REESTRUCTURAR
	2	0.1132	0.2183	0.0000	0%	1.050	Conforme	
C3M0	1	0.4905	0.0681	0.2331	48%	0.579	Reestructurar	REESTRUCTURAR
	2	0.0230	0.6639	0.0451	7%	0.982	Conforme	
C3M1	1	0.3661	0.0978	0.0778	21%	0.845	Conforme	CONFORME
	2	0.0676	0.2233	0.0012	1%	1.045	Conforme	
C3M2	1	0.3629	0.1162	0.0485	13%	0.923	Conforme	CONFORME
	2	0.0924	0.2692	0.0052	2%	1.032	Conforme	
C3M9	1	0.3035	0.0163	0.1933	64%	0.414	Reestructurar	REESTRUCTURAR
	2	0.0019	0.2694	0.0244	9%	0.959	Conforme	
C3M10	1	0.3260	0.0112	0.2250	69%	0.360	Reestructurar	REESTRUCTURAR
	2	0.0020	0.3709	0.0223	6%	0.990	Conforme	

IV. CONCLUSIONES:

De acuerdo con lo desarrollado en los 3 casos planteados sobre la influencia de la distribución de TMDs en la respuesta sísmica de Estructuras Irregulares de concreto armado concluimos:

- Una alternativa de mejora en la respuesta de las estructuras analizadas estaría directamente relacionada con la ubicación cercana y distribución estratégica en los ejes centroidales o a lo largo del recorrido de estos. Claro ejemplo es el modelo C1M8, con dos TMDs de masas concentradas en el eje centroidal X de la planta geométrica tipo T, que en un inicio (C1M0) presentaba problemas de irregularidad torsional extrema según lo mencionado por [8] y [10], sin embargo, con la implementación de masas se obtuvo reducción en promedio del 54% de todas las variables relacionadas con el efecto de la torsión, permitiendo un balance de éstas mismas y en particular que los dos primeros modos tengan comportamiento traslacional como se observa en la tabla 1 y tabla 2.
- A lo largo del análisis, el periodo como variable no fue determinante en la selección de modelos, debido a su incremento en 26% aproximadamente sobre los casos iniciales (C1M0-C2M0-C3M0), es decir, que en todos los modelos propuestos existe mayor amortiguamiento.
- Dentro de las múltiples distribuciones de TMDs realizadas, el abarcar las masas en las esquinas de las estructuras (C1M9 – C1M10 – C2M9 – C2M10 – C3M9 – C3M10) repercute mediante una reducción del 29% de las derivas respecto a sus casos iniciales (C1M0 - C2M0 - C3M0). Asimismo, la participación de masa en rotación en los modelos donde abarcan todas las esquinas reduce en promedio un 42% respecto a casos iniciales, mientras que al colocar en 1 o 2 esquinas se aprecia solo una reducción promedio del 15 % sobre casos iniciales.
- A medida que la cantidad de niveles aumenta, la relación de masa del TMD (μ) es de mayor incidencia en las respuestas sísmicas de las estructuras.
- Tras evaluar la irregularidad torsional, en un total de 33 modelos mediante el uso del coeficiente de irregularidad torsional y coeficiente de irregularidad de planta planteado en (1) y (2) respectivamente, se sugiere calcular directamente estos 2 puntos antes de ver las demás variables relacionadas con el efecto torsional, debido a su practicidad y sencillez. Asimismo, es preciso resaltar y validar que desde un inicio el porcentaje de participación es un factor que está involucrado en el análisis del total de los modelos.

AGRADECIMIENTO:

Los autores reconocen el constante apoyo de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC) y del Prof. César Morales, Ph.D.

V. REFERENCIAS

- [1] M. Wakchaure, A. Shirish and R. Nikam, «Study of irregularity on high - rise structures,» *International Journal of innovative research and development*, vol. 1, n.º 8, pp. 269-281, October 2012.
- [2] G. Warburton, «Optimum absorber parameters for various combinations of response and excitation parameters,» *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 10, n.º 3, pp. 381-401, May/June 1982.
- [3] F. Sadek, B. Mohraz, A. Taylor and R. Chung, «A method of estimating the parameters of tuned mass dampers for seismic applications,» *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 26, n.º 6, pp. 617-635, June 1997.
- [4] A. Joshi and R. Jangid, «Optimum parameters of multiple tuned mass dampers for base-excited damped systems,» *Journal of Sound and Vibration*, vol. 202, n.º 5, pp. 657-667, May 1997.
- [5] J. Ueng, C. Lin and J. Wang, «Practical design issues of tuned mass dampers for torsionally coupled buildings under earthquake loadings,» *Structural Design of Tall and Special Buildings*, vol. 17, n.º 1, pp. 133-165, March 2008.
- [6] O. Akyürek, N. Suksawang and T. Go, «Vibration control for torsionally irregular buildings by integrated control system,» *Engineering Structures*, vol. 201, n.º 15, December 2019.
- [7] M. Kyrkos and S. Anagnostopoulos, «Assessment of earthquake resistant design of eccentric, braced frame, steel buildings and proposal for possible improvements,» in 15th World Conference of Earthquake Engineering, Lisboa, 2012, pp. 24440-24450.
- [8] C. Medina and W. Medina, «Coeficiente Irregularidad en planta a partir del análisis de Torsión en estructuras irregulares,» *Revista Politécnica*, vol. 39, n.º 2, pp. 51-60, July 2017.
- [9] S. Naveen, N. Abraham and A. Kumari, «Analysis of irregular structures under Earthquake Loads,» *Procedia Structural Integrity*, vol. 14, pp. 806-819, 2019.
- [10] ASCE/SEI 7-17 «Minimum design loads and associated criteria for buildings and others structures,» 2017.