

## Implementación de Disipador de Energía, TADAS

<https://doi.org/10.51378/ilia.vi1.8507>

M. Chorro <sup>1</sup>

<sup>1</sup> MCH Estructuritas, Diseño y Supervisión de Obra Civil El Salvador

E-mail: mrchorro@uc.cl

*Resumen* — El Salvador es un país de alta demanda sísmica, por lo que los procesos de diseño y construcción de edificaciones hoy en día van orientados a reducir la vulnerabilidad a daños por colapso que ocasionan los terremotos, como parte de la filosofía de un correcto desempeño estructural, por lo que existen avances en las técnicas de detallado y construcción, por lo que el uso de sistemas de disipación de energía por deformación, es una forma segura de prevenir daños a un costo económico razonable en comparación del uso de otras tecnologías más complejas y sofisticadas.

Se ha procedido en El Salvador de manera pionera y en pequeña escala la implementación del sistema de disipación de energía TADAS (Triangular plate Added Damping And Stiffness), para el caso de una edificación de dos niveles, estructurada con marcos metálicos con detallado ordinario. El primer nivel corresponde a parqueo, por lo que solo en una dirección sentido longitudinal se han instalado los dispositivos TADAS, mientras que en el segundo nivel corresponde a usos diversos de salas de reunión y trabajo de oficina, por lo que por tema arquitectónico la existencia de ventanales con vista no interrumpida por elementos estructurales resulto ser una condición para no instalar TADAS en ese nivel. El Resultado final cumple requerimientos de norma del ASCE7-16 en el control de deformaciones, y prevención de daños estructurales debido a la ductilidad que brinda el TADAS a la estructura global. Todos los elementos estructurales satisfacen requisitos de resistencia y servicio dados por el AISC-ANSI360-16.

*Palabras Clave* – construcción, demanda sísmica, desempeño, diseño, disipación, TADAS

*Abstract* — El Salvador is a country with high seismic demand, so the design and construction processes of buildings today are aimed at reducing the vulnerability caused by earthquakes, as part of the philosophy of damage mitigation and correct structural performance, there are Advances in detailing and construction techniques, so the use of deformation energy dissipation systems is a safe way to prevent damage at a reasonable economic cost compared to the use of other more complex and sophisticated technologies. In El Salvador, the implementation of the TADAS (Triangular plate Added Damping And Stiffness) energy dissipation system has been implemented in a pioneering way and on a small scale, in the case of a two-story building, structured with Steel frames with ordinary detailing. The first level corresponds to parking, so the TADAS devices have only been installed in a longitudinal direction, while the second level corresponds to various uses of meeting people in meeting rooms and office work, so architectural issue the existence of windows with a view not interrupted by structural elements turned out to be a condition for not installing TADAS on that level. The final result meets the

requirements of the ASCE-7-16 standard in deformation control, and prevention of structural damage due to the ductility that TADAS provides to the global structure. All the structural elements satisfy resistance and service requirements given by AISC-ANSI-36016.

*Keywords* — construction, design, dissipation, performance Seismic demand, TADAS

### I. INTRODUCCIÓN

El Salvador es un país con amenaza sísmica debido a que está ubicado en una zona de alta actividad tectónica conocida como el Cinturón de Fuego del Pacífico. Esta zona se extiende desde la costa oeste de América del Sur hasta la costa este de Asia, y es una de las regiones sísmicas más activas del mundo [1].

Debido a esta amenaza sísmica, es importante que El Salvador cuente con medidas de prevención, respuesta y recuperación ante los terremotos, así como una cultura de prevención y preparación ante desastres naturales en la población [2].

La tecnología de disipación de energía sísmica en edificios es una técnica innovadora utilizada para mejorar la capacidad de resistencia de los edificios durante un terremoto. Esta tecnología se basa en la idea de que si se disipa la energía del terremoto a través de ciertos dispositivos, se puede reducir la cantidad de energía que se transfiere al edificio y, por lo tanto, se puede disminuir la intensidad del movimiento sísmico que experimenta el edificio. [3].

Hay varios dispositivos utilizados para la disipación de energía sísmica, como amortiguadores de masa sintonizada, amortiguadores de fricción, dispositivos de aislamiento sísmico y dispositivos de control activo de vibraciones. Estos dispositivos se colocan en la estructura del edificio y se diseñan para disipar la energía sísmica a través de diferentes mecanismos, como la deformación plástica, la fricción y la absorción de energía. [4].

El uso de tecnología de disipación de energía sísmica en edificios puede mejorar significativamente la seguridad y la resistencia de los edificios durante un terremoto. Además, esta tecnología también puede reducir el daño y la necesidad de reparaciones costosas después de un terremoto. Es importante destacar que esta tecnología debe ser diseñada y aplicada por ingenieros especializados en la materia y se debe seguir un riguroso proceso de evaluación y certificación para

garantizar su eficacia y seguridad en la construcción de edificios.

## II. METODOLOGÍA

Se procedió a realizar una labor de consultoría para el diseño y construcción de una edificación de dos niveles, compuesta de marcos de acero con detallado ordinario, en el cual se tomó el acuerdo con el propietario del inmueble incorporar un sistema de disipación de energía mediante el uso de TADAS, de manera que este sistema provea la ductilidad requerida para el correcto desempeño estructural de la estructura de marcos metálicos ante la demanda sísmica. El edificio tiene 9.50m en el sentido corto y 13.60m en el sentido largo con 2 marcos espaciados a 5.30m en planta.

### A. Selección de TADAS

Durante la fase de diseño se evaluaron opciones para rigidizar lateralmente la estructura, tratando de incorporar ductilidad, debido a que las conexiones de los marcos primarios se requieren con detallado ordinario, es decir una conexión que no tiene detalles especiales tales como placas adicionales, o refuerzos complejos, por lo que son conexiones livianas y de poca complejidad, debido a la restricciones arquitectónicas de rigidizar en el sentido largo de la estructura de no usar elementos robustos, se procedió, a utilizar el concepto de disipación de energía mediante la incorporación de rigidez y amortiguamiento, a través de un dispositivo simple de fácil construcción e instalación.

### B. Filosofía de diseño estructural

La filosofía de diseño sismo resistente se basa en que las estructuras sufran daños sin que se produzca el colapso, para evitar la pérdida de vidas humanas. Un adecuado diseño sísmico permite que, gracias al comportamiento inelástico de los materiales, la estructura tenga una significativa capacidad de disipar la energía que inyecta el sismo, lo que hace posible que no colapse ante la acción de un sismo severo, ver fig. (1).

El balance de energía para una estructura puede expresarse como lo indica la ecuación (1)

$$E_k + E_a + E_h + E_d = E_s \quad (1)$$

$E_k$ : es la energía cinética absoluta

$E_a$ : es la energía disipada por amortiguamiento

$E_h$ : es la energía por deformación elástica

$E_d$ : es la energía disipada por efectos de deformación inelástica del material.

$E_s$ : es la energía introducida por las cargas dinámicas externas (sísmicas o de viento). Esta energía introducida mide el trabajo efectuado por la fuerza de corte en la base de la estructura.

Los avances de la ingeniería permiten considerar actualmente la inclusión de dispositivos adicionales de

control de la respuesta sísmica, que se añaden a la estructura con el fin de minimizar el daño. Los dispositivos de control de la respuesta, también llamados de protección sísmica, funcionan de manera de incrementar la capacidad de disipación de energía de las estructuras (término de la izquierda del equilibrio energético de la ecuación 1).

Con los dispositivos adicionales de protección, se logra incrementar la disipación de energía para que, para una determinada cantidad de energía de entrada (del sismo o del viento), la energía de deformación del sistema estructural original sea menor. Esto significa que la estructura sufrirá menos deformaciones para un nivel dado de energía suministrada cuando se instalan disipadores adicionales, minimizando el daño.

Otra forma de disminuir la disipación de energía debida al comportamiento inelástico (que se traduce en daños) de la estructura, consiste en modificar la energía de entrada al sistema, termino  $E_s$ , del lado derecho de la ecuación (1). Los sistemas de este tipo, son, por ejemplo, los aisladores que se colocan en la base de las estructuras.

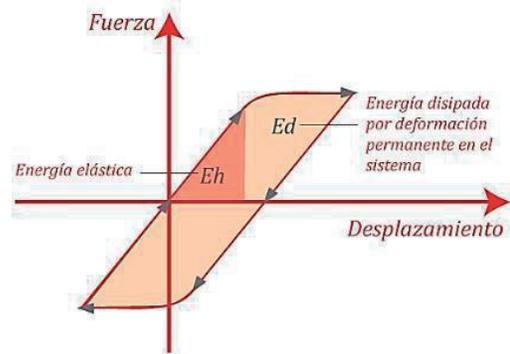


Fig. 1. Ciclos de histéresis: comportamiento lineal y no lineal, adaptado de: Oviedo 2006, fig. 2, página 108 [6]

### C. Definición e implementación del TADAS

Al contar con la definición arquitectónica y los requisitos de control de desplazamientos establecidos por norma, al realizar análisis preliminares de la estructura sin el TADAS, se obtienen las fuerzas de cada entrepiso con la que se revisa la capacidad del entrepiso de resistir la demanda, en caso de no satisfacer la demanda se procede con la colocación del refuerzo, en este caso el TADAS, una vez se conoce la magnitud de fuerza cortante de entrepiso que se debe resistir se procede con el dimensionado y cantidad de elementos que componen al TADAS, para satisfacer requisitos de resistencia y deformación.

Para el caso de estudio se optó en colocar los disipadores de energía TADAS, sobre un contraviento Chevron, con fines de satisfacer requisitos arquitectónicos y por consideraciones de comportamiento estructural y procesos constructivos ver fig. 2. Con ello se procedió a definir las propiedades dinámicas, a través de una constitutiva de comportamiento bilineal de fuerza deformación, siendo el área bajo la curva la

energía disipada por el amortiguamiento, por lo que se obtiene a través de un factor equivalente evaluado en un ciclo de histéresis el valor del coeficiente de amortiguamiento multiplicado por la masa da el amortiguamiento del sistema ver fig. 3, con los parámetros dinámicos definidos, se puede evaluar la respuesta dinámica estructural considerando tanto el aporte estructural de sistema de marcos más el aporte que brinda el sistema de TADAS colocados sobre el contraviento Chevron, a través de análisis dinámico tiempo historia que considera la incursión de estados no lineales al momento de sobrepasar el límite de fluencia de las placas de acero que componen al TADAS.

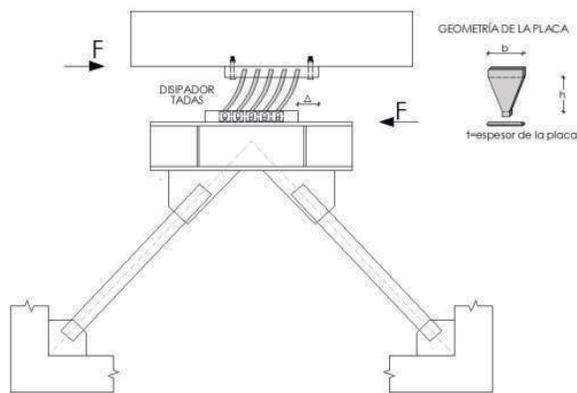


Fig. 2. Disipadores TADAS sobre contraviento Chevron

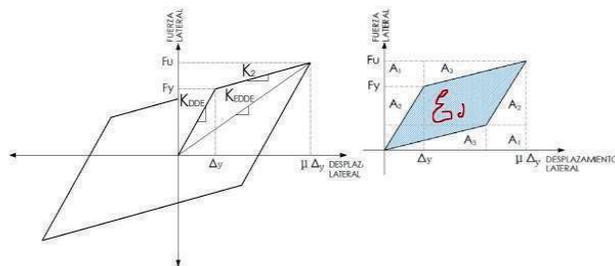


Fig. 3. Constitutiva de fuerza deformación (diagrama de histéresis)

Se procedió a elaborar un modelo de cálculo 3D en el programa SAP2000, del edificio, el cual posee columnas perfil W14x43 en el primer, vigas de entrepiso perfil W16x40, vigas secundarias de entrepiso W12x26, columnas en el segundo nivel tubo estructural HSRE6x4x0.1875. El sistema de entrepiso es aligerado conformado por láminas de fibrocemento comercial estándar de 2.54cm de espesor, apoyadas sobre una retícula de perfiles metálicos sección C de 2.5mm de espesor, por lo que el entrepiso no aporta rigidez lateral, ver fig. 4.

### III. RESULTADOS

#### A. Evaluación y análisis de resultados

La carga gravitacional considerada en el modelo corresponde al peso propio de la estructura, peso de carga muerta con acabados de 250 kgf/m<sup>2</sup>, carga viva de entrepiso debido a uso habitacional de 350 kgf/cm<sup>2</sup>, carga de techo instalaciones eléctricas 60 kgf/m<sup>2</sup> y carga viva de instalación de techo de 20kgf/m<sup>2</sup>. La demanda sísmica se estableció acorde a las disposiciones dadas por la norma vigente actual de sismo y se corrobora contra las disposiciones del ASCE-7-16, el método para el diseño verificación de los elementos primarios que conforman los marcos principales satisfacen sus dimensiones propuestas acorde a las disposiciones del AISC-ANSI-360-05 para la definición de factores de amplificación de combinaciones de cargas y factores de reducción de resistencia última.

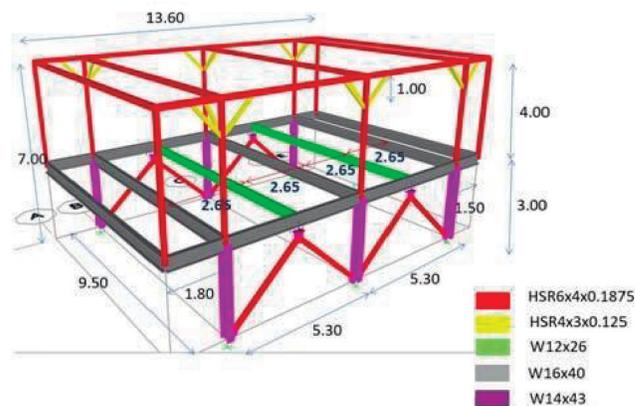


Fig. 4. Modelo de cálculo estructural 3D

Propiedades y resistencia de los materiales, acero estructural bajo norma ASTM-A36,  $f_y$ : 2520kgf/cm<sup>2</sup>, para placas de conexión y TADAS, perfiles W acorde al ASTM992 Grado 50,  $f_y$ : 3500 kgf/cm<sup>2</sup>, perfiles tubulares HSRE acorde al ASTM-A500 Grado 46,  $f_y$ : 3220 kgf/cm<sup>2</sup>.

El TADAS se definió como un elemento de placa A36 de 1.27cm de espesor, de forma trapezoidal de 20cm de altura con 20cm de base mayor y 5cm de base menor. 5 TADAS adosados con soldadura a penetración en una placa rectangular de 35cm de largo por 25cm de ancho de 1.27cm de espesor. El TADAS en su extremo cuenta con una varilla de 1.27 cm de diámetro de Grado 60 A706,  $f_y$ =4200 kgf/cm<sup>2</sup>, ver fig. 6.

Evaluado y verificado el dimensionado estructural del edificio acorde a la metodología clásica elástica rigida por las disposiciones de los reglamentos de diseño y construcción vigentes, se procede a definir de manera analítica las constitutivas de histéresis de los elementos que pueden incursionar en el rango inelástico del edificio mediante la realización de un análisis tiempo historia no lineal. Por tanto, la constitutiva de fuerza deformación por histéresis del TADAS, se define como elemento multilineal plástico

cinemático, para las vigas primarias de entrepiso se define una constitutiva elastoplástica por flexión momento curvatura, y para las columnas de los marcos primarios se define una constitutiva axial flexión momento curvatura bilineal, ver fig. 6.

El uso de dispositivo de disipación de energía requiere según disposición del ASCE-7-16, la validación analítica, mediante el uso de análisis tiempo historia no lineal, el cual se procede a realizar mediante el uso de registros acelero gráficos, el cual para este caso de estudio se estableció como requerimiento limitar una máxima deformación de 10cm para un terremoto de magnitud de 8 grados en la escala de Richter. Por lo que se procedió a utilizar el registro del terremoto del 2010, ocurrido en Concepción, Chile de magnitud 8.8 MW.

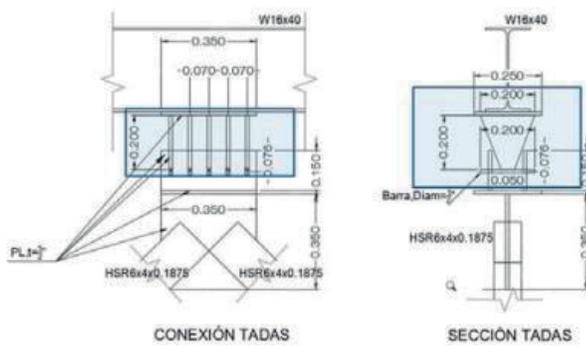


Fig. 5. Definición geométrica de TADAS

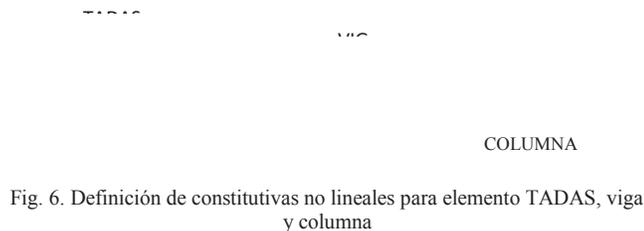


Fig. 6. Definición de constitutivas no lineales para elemento TADAS, viga y columna

#### IV. DISCUSIÓN

El resultado del análisis dinámico no lineal aplicando el sismo en el sentido longitudinal del edificio, permite evaluar el aporte que brinda de manera analítica el uso del TADAS, por lo que comparando el resultado que se obtiene del modelo sin TADAS con respecto al que se incorpora el TADAS se aprecia en el caso de la historia de desplazamientos por nivel del edificio la reducción para el caso de valores máximos en un 43 % a nivel de entrepiso y de 12 % a nivel de techo, ver fig. 7.

El hecho de la incorporación del TADAS se obtengan reducciones en los desplazamientos es debido a la energía que se disipa por deformación y amortiguamiento que proporciona el TADAS al edificio, por lo que el TADAS recibe todo el daño y no la estructura cumpliendo su función de disipador tal como se aprecia en la fig. 8, en la cual se

muestra la historia de variación del cortante de entrepiso versus la deformación de entrepiso de la estructura.

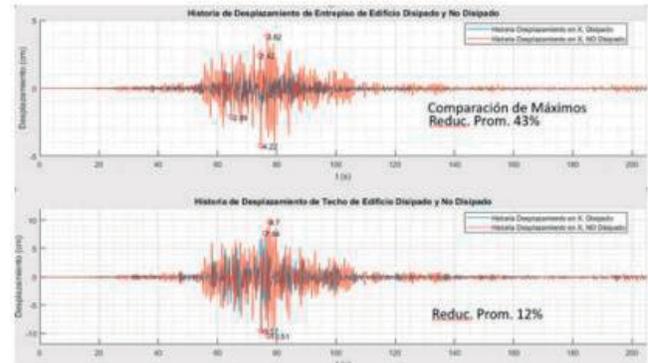


Fig. 8. Comparación de historia de desplazamiento en edificio con y sin TADAS

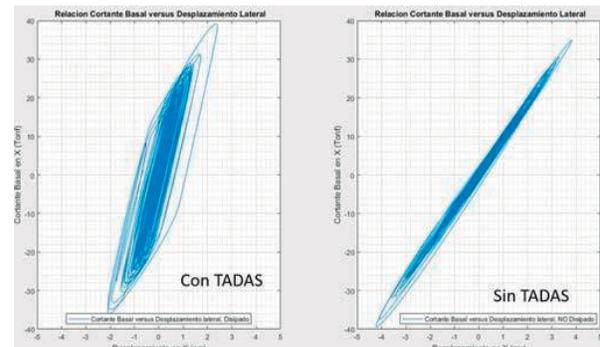


Fig. 9. Disipación de energía mediante la incorporación de ductilidad a través del TADAS

#### V. CONCLUSIONES

En conclusión, la incorporación de un sistema de disipación de energía, en los marcos metálicos de detallado ordinario que componen la estructura primaria del edificio, mejora el desempeño estructural, debido que el TADAS se convierte en un elemento que introduce ductilidad al comportamiento del edificio, reduciendo la respuesta global de deformaciones en la estructura en un orden del 40 % del valor con respecto al caso de la no existencia del TADAS, es importante tener

claridad que el daño que deja de experimentar la estructura primaria, se produce en el TADAS debido a los efectos de altas deformaciones, en ciclos de histéresis, por lo que es capaz de desarrollar ductilidad sin fallar por ruptura, siempre y cuando este bien diseñado y construido teniendo especial cuidado en el tema de soldaduras y uniones entre sus componentes, en caso que el TADAS sufriera una falla lo recomendable es sustituirlo y reemplazarlo por uno nuevo.

#### AGRADECIMIENTOS

El desarrollo y ejecución del servicio de consultoría y supervisión del proyecto construcción edificio metálico de dos niveles, fue alcanzado con éxito gracias al apoyo del propietario del inmueble que acepto el uso de implementación del TADAS y del Contratista PROYECTACIM S.A. De C.V. por acatar y dejarse asesorar durante todo el proceso constructivo del edificio, y por la excelente calidad del servicio de manufactura del TADAS.

#### REFERENCIAS

- [1] Salazar, Walter & Brown, Lyndon & Hernández, Walter & Guerra, José. “An Earthquake Catalogue for El Salvador and Neighbouring Central American Countries and its Implication in the Seismic Hazard Assessment. Journal of Civil Engineering and Architecture”. SBN: 10.17265/19347359/2013.08.011, 2013.
- [2] Alfaro, C.S., A.S. Kiremidjian y R.A. White “Seismic zoning and ground motion parameters for El Salvador. Report No. 93”, The John A. Blume Center for Earthquake Engineering Research, Stanford University, 1990.
- [3] A.H. Barbat y S. Oller, “Conceptos de cálculo de estructuras en las normativas de diseño sismorresistente”, SBN: 84-89925-10-0, 1997.
- [4] D. Foti and J. Canas, “Earthquake simulator testing of a steel model seismically protected with friction energy dissipators”, SBN: 84-89925-40-2, 1999.
- [5] Salazar, Walter & et al, “Earthquake, Recent Advance, New Perspective and Applications”, SBN: 978-1-83768-183-9, 2023.
- [6] Oviedo, Juan Andres y Duque Maria del Pilar, “Sistemas de Control de Respuesta Sismica en Edificaciones”, Revista EIA, ISSN 1794-1237 número 6 p. 105-120. Escuela de Ingenieria de Antioquia, Medellin, Colombia, Diciembre 2006.