

# EVALUACIÓN SÍSMICA DE EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ESTIMAR DAÑOS EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

Cuellar, M.<sup>1</sup>, Rojas, M.<sup>2</sup>

- 1 Docente e Investigador en el area de estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil (USFX), Destacamento 317, Ex Campus REFISUR, 573, Sucre, Bolivia. E-mail: cuellar.mirko@usfx.bo
- 2 Estudiante de Maestria, Universidad Mayor Real y Pontifica de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Centro de Estudios de Posgrado e Investigacion, Sucre, Bolivia. E-mail: marianarojasmon@gmail.com

Recibido: 06/10/2023

Aceptado: 12/10/2023

Publicado: 10/11/2023

## RESUMEN

La estimación de daños en estructuras es muy importante porque a través de un análisis numérico computacional se puede estimar resultados para poder evaluar el comportamiento sísmico de sus componentes estructurales, para lo que cual a partir de daños observados en sismos reales de otros países y a través de una metodología basada en la relacion daño-deriva, se pueden verificar aproximadamente daños en los elementos no estructurales de mampostería en un modelo estructural con análisis sísmico modal de respuesta espectral. Así mismo se evidencia que las derivas máximas en todos los casos de estudio según normativa boliviana de diseño sísmico se presentan en los primeros niveles de la estructura, esto atribuye a que se tenga más daños en elementos no estructurales en los primeros niveles que refleja una aproximación de daños según sismos reales.

**Palabras clave:** daños no estructurales, comportamiento sísmico, derivas de entrepiso.

## ABSTRACT

The spillways are one of the most important structures in the dams for flood protection; therefore, the hydraulic behavior in the spillways in this case lateral spillway type channel generated a level of interest by many researchers. In this study, the two-dimensional hydraulic behavior of the channel-type lateral spillway of the Pampas Padilla Dam was analyzed numerically and experimentally using the IBER software and the implementation of a small-scale physical model. The water surface profiles obtained by means of two-dimensional hydraulic analysis were validated with the experimental results, the results obtained show a good correlation between the numerical simulation and the experimental information obtained from the numerical model of the prototype and the physical model.

**Key words:** non-structural damage, seismic behavior, mezzanine drifts.

## INTRODUCCIÓN

Existen varios métodos y técnicas para evaluar el comportamiento sísmico de una estructura, desde métodos probabilísticos, determinísticos y los basados en la capacidad estructural, donde este último es el que nos proporciona resultados más acertados debido a los parámetros necesarios empleados en este tipo de análisis. Para nuestro caso de estudio propondremos la siguiente categorización de daños en función al nivel de peligro sísmico: Completamente operacional (sismos leves), operacional con daños no estructurales (sismos moderados) y seguridad de vida (sismos fuertes), del cual podremos relacionar los diferentes tipos de estructuras de concreto armado según su categorización y estimar daños típicos asociados a su objetivo de desempeño según su funcionalidad.

Toda estructura tiene sus propias características intrínsecas que se oponen a la fuerza sísmica, a esta característica se denomina rigidez global o general que evita que la estructura sufra deformaciones, la cual conllevan al agrietamiento y al perder sección interna de los elementos estructurales, estos van perdiendo rigidez. Por eso es importante para estructuras ya construidas verificar las dimensiones de sus secciones, el tipo de sistema estructural, el esfuerzo admisible del terreno y la aceleración sísmica o pseudo-aceleración, con la cual se obtendrán las fuerzas sísmicas que serán aplicadas a los modelos estructurales. De ahí es que se puede establecer algunos parámetros de deformaciones y derivas para poder realizar las comparaciones sísmicas de los modelos estructurales. Esto nos ayuda a verificar el riesgo sísmico de cada estructura y conocer el rango de aceptación según normativa.

El riesgo sísmico viene acompañado de una demanda sísmica quien determina cual será la fuerza con la cual se analizará o diseñará la estructura. Conocer el comportamiento sísmico de la estructura es importante, pero complementar ese estudio con el comportamiento de elementos no estructurales también es necesario para poder tener una

evaluación integra de todo el proyecto, porque se pueden prever soluciones de reforzamiento o mejorar el sistema para evitar daños en todos los componentes de la estructura pero principalmente en los muros de mampostería de ladrillo y con alguna reparación o reforzamiento se podría dar continuidad a la edificación dependiendo de su grado de importancia. Según los autores Ugel, R.; Herrera, I.; Vielma, J.; Pujades, L. (2012) es necesario determinar el comportamiento sísmico para posteriormente poder identificar los daños y a partir de conocer cuál es su límite de una estructura poder categorizar o verificar sus criterios de aceptación o estados de daño según sus derivas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El caso de estudio esta especificado en base a parámetros de la norma boliviana de diseños sísmico para la región de sucre con un tipo de suelo de características intermedias, y estructuras a base de pórticos con vigas planas y losas nervadas bidireccionales con ábacos, para lo cual se empleó el método del análisis sísmico dinámico lineal para obtener los resultados de desplazamientos sísmico.

## ANÁLISIS SÍSMICO MODAL DE RESPUESTA ESPECTRAL

El desplazamiento relativo de entrepiso sugiere una medida representativa de la respuesta de un sistema estructural sujeto a cargas laterales. Dicho desplazamiento relativo se refiere a la relación que existe entre un piso y el siguiente. Luego, resulta conveniente el uso de un indicativo adimensional al dividirlo entre la altura total de la estructura:

$$\gamma = \Delta/H \quad (\text{Ec. 1.1})$$

El valor  $\gamma$  es llamado distorsión de entrepiso o deriva, y es el más empelado en cuantificar la respuesta de edificios, comparar el comportamiento entre diferentes sistemas, y para estimar el grado de daño que puede representarse tanto en la estructura como

en los componentes no estructurales. El desplazamiento máximo de la estructura  $\Delta$  medido a nivel del techo se utiliza como medida global de la respuesta del sistema.

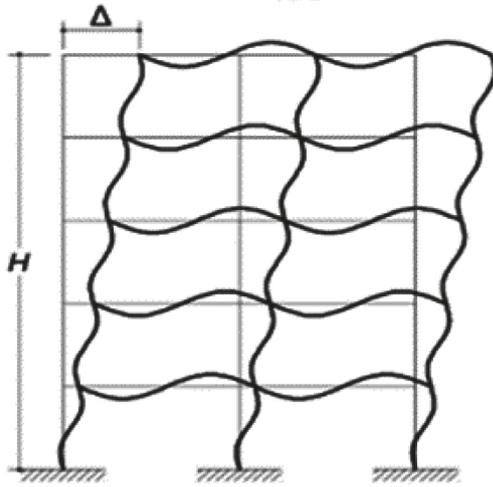
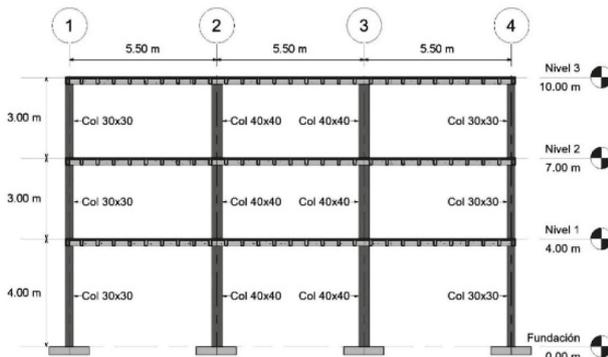


Figura 1.1: Distorsión o Deriva de la Estructura Global (ATC-40,1996)



### Estimación de daños en elementos no estructurales

Con base a los daños observados en edificios en lugares sísmicos a efectos de las fallas de subducción, se idealiza y se compatibiliza los efectos que estos producen a las estructuras, por lo que mediante relaciones de daño-deriva se puede verificar cual es el comportamiento sísmico de los componentes de mampostería y su daño objetivo y representativo para poder ver la magnitud de los daños ocasionados en las edificaciones. Por lo que se presenta el siguiente cuadro de resumen según (A. Urich and O. Lopez,

2016) con relaciones daño - deriva basados en sismos reales:

RELACION DAÑO-DERIVA			
$\delta/h$ (%)			
0.1% - 0.2 %	0.2% - 0.5%	0.5% - 1.0%	>1.0%
			
Sin Daño	Daño Leve	Daño Moderado	Daño Severo

Tabla 1.1: Relación daño-deriva basadas en Ghobarah (2004); Urich y Beuperthuy (2013)

### MODELOS DE ESTUDIO:

Los modelos fueron seleccionados por la tipología y configuración de la zona de estudio de la ciudad de Sucre, Bolivia que básicamente tiene un lado más largo según las edificaciones y diseños de proyectos que se tiene por la zona, además se realizó la denominación de edificios con volados (CV) y sin volados (SV), para los casos de estudio.

#### Modelo Tipo II - 3 Niveles (T II-3N)

Es una estructura de hormigón armado, la cual presenta columnas de secciones de 40x40cm en la parte central y 30x30cm en el contorno del mismo, con cuantías mínimas según normativas sísmicas, además de vigas planas perimetrales al contorno de una losa reticular bidireccional de 25cm de altura con sus respectivos ábacos.

Figura 1.2: Configuración modelo T II-3N

#### Modelo Tipo IV - 10 Niveles (T IV-10N)

Es una estructura de hormigón armado, la cual presenta columnas de secciones de 60x60cm en la parte central y 50x50cm en el contorno del mismo, con cuantías mínimas según normativas sísmicas, además de vigas planas perimetrales al contorno de una losa reticular bidireccional de 25cm de altura con sus respectivos ábacos.

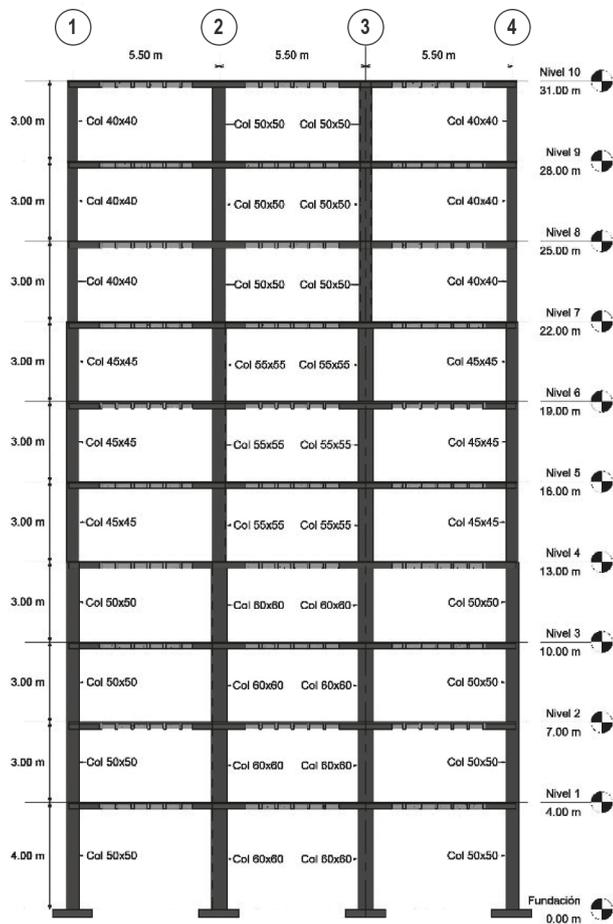


Figura 1.5: Configuración modelo T IV-10N

En los modelos para el análisis y verificación de la fiabilidad de los resultados se trabajó en base modelos numéricos que aplican el método de los elementos finitos, del cual se introdujeron los materiales, secciones y parámetros de análisis sísmico.

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Posteriormente realizado el análisis modal de respuesta espectral a los modelos de estudio, según lo parámetros asumidos e indicados en cada caso de estudio, se obtuvieron los siguientes resultados:

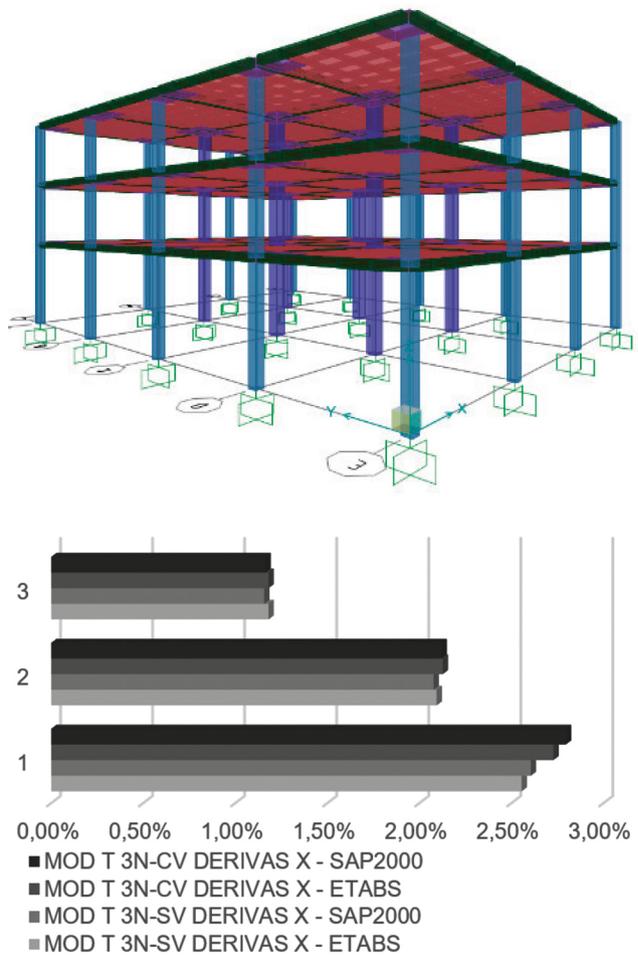


Figura 1.6: Modelo y Derivas de la dirección X - Modelos TII 3N-SV y TII 3N-CV.

Se tiene Periodos de  $T(\text{seg})=1.24$ , para los modelos computacionales de TII 3N-SV y TII 3N-CV, estos a partir de la 1era forma modal, además que el Peso Efectivo es de 973.91 Ton, para el caso de masa efectiva sísmica de 100% Carga Muerta y 50% Carga Viva, con lo cual se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la figura 1.6

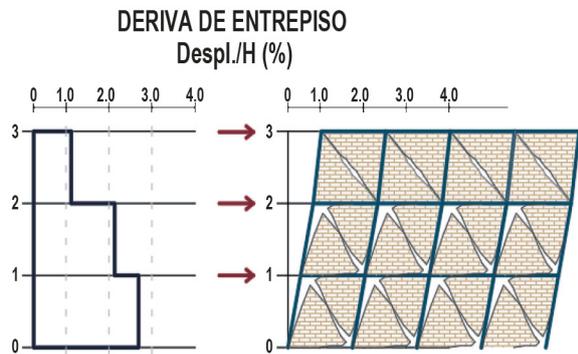


Figura 1.7: Relación Daño-Deriva Mod. TII 3N

De la figura 1.7 se puede observar según los datos idealizados para el Modelo TII 3N, para este proceso gráfico de interpretación de resultados del Modelo TII 3N nos muestra que las derivas de entrepiso de los niveles N°1 y N°2, se generan grietas y daños severos, debido a la deriva mayor a 1.0%, tanto que el nivel superior N°3 presenta grietas moderadas, según el límite de deriva según la relación daño-deriva.

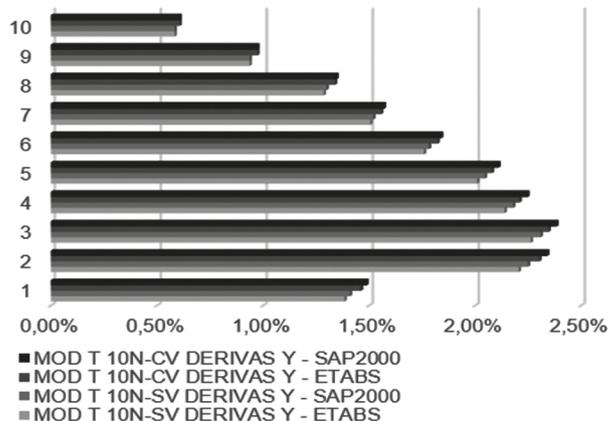
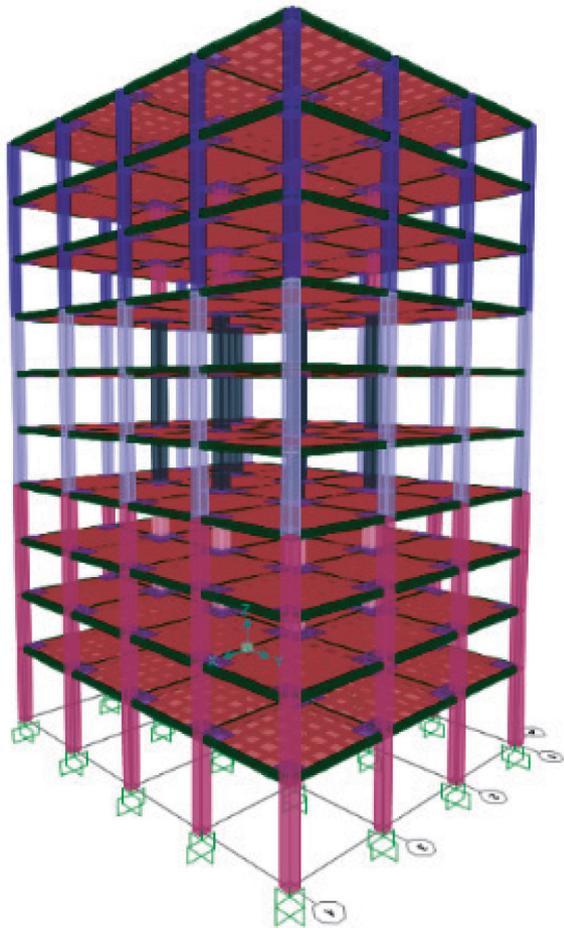


Figura 1.8: Derivas de la dirección Y - Modelos TIV 10N-SV y TIV 10N-CV.

Se tiene Periodos de T-SV (seg)=2.87, T-CV(seg)=2.92, para los modelos computacionales de TIV 10N-SV y TIV 10N-CV, estos a partir de la 1era forma modal, además que el Peso Efectivo es de 3425.53 Ton y 3896.14 Ton para los modelos Et para el caso de masa efectiva sísmica de 100% Carga Muerta y 50% Carga Viva, con lo cual se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la figura 1.8. donde se puede observar que los valores máximos de derivas están entre los niveles dos y cinco del modelo analizado.

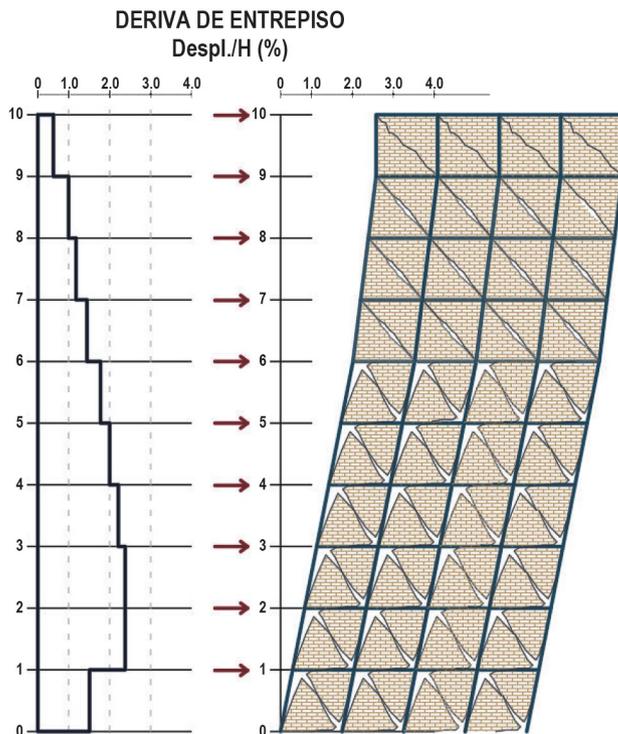


Figura 1.9: Relación Daño-Deriva Mod. TIV 10N

En la Figura 1.9, se puede observar que los últimos dos niveles correspondientes al N°7 al N°10 sufrieron daños leves, por otro lado, la zona más crítica para el modelo TIV 10N, se encuentra entre los niveles N°2 y N°3, los cuales representa daños severos críticos, sobrepasando las derivas del 2.0%, mientras que, en los niveles restantes, estos presentan daños severos siendo así que a partir del nivel N°4 estos daños van disminuyendo.

## CONCLUSIONES

Es muy importante conocer el comportamiento sísmico de la estructura en todos sus componentes incluyendo los elementos no estructurales, por lo que estimar daños a través de experiencias de edificaciones dañadas por sismo, nos pueden mejorar la perspectiva de conocer el comportamiento de estos elementos no estructurales y también mejorar el sistema resistente sísmico de la edificación.

Para la obtención de los resultados de derivas y periodos naturales, se usaron dos programas computacionales para tener mayor veracidad de los resultados, las derivas de los modelos con volados (CV), tienen mayor porcentaje en sus derivas que los sin volado (SV), esto debido a la masa que incremento en los extremos en la dirección de "Y" que induce mayores deformaciones, por lo que mientras mayor las dimensiones del volado, estas tienden a provocar mayores desplazamientos sísmicos en los extremos y afectan a la rigidez global de la estructura, aumentando las derivas de entrepiso en la dirección "Y", de cual algunos modelos sobrepasan los límites del 1.0% establecido en la normativa. Se puede evidenciar que a pesar de tener estructuras de tres o diez niveles ambos son susceptibles a sufrir daños ya que, al ser estructuras flexibles por su composición de columnas cuadradas y losas planas, no se tiene un adecuado comportamiento sísmico, por lo tanto, ninguna estructura puede estar exenta de sufrir daños en situaciones dinámicas de sismo.

Según los límites de deriva máxima de 1.0% se concluye que la dirección más desfavorable es la dirección "Y", esto a medida que la altura de la edificación va aumentada las derivas incrementan más a favor de la dirección "Y". Por otro lado, las derivas en la Dirección "X" para el modelo de tres niveles con la configuración adoptada, son las que presentan igual o mayores derivas, esto sucede debido a que tenemos menos franjas de columnas, el cual indica una menor rigidez en esa dirección, esto evidenciado según los análisis realizados en los modelos estructurales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATC-40, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. (1996) Vol. 1, Funded by: Seismic Safety Commission, State of California.

C. Rivaderneyra-Vera, M. Assumpção, E. Minaya, P. Aliga and G. Avila(2004), "Assessment of the Seismic Behaviour of RC Flat Slab Building Structures", 13th World Conference on Earthquake Engineering (Vancouver, B.C., Canada), Paper N2630.

Chiozzi A. and Miranda E. (2017). "Fragility functions for masonry infill walls with in-plane loading", *Earthquake Engng Struct Dyn*, pp. 1-20.

Grandi Rolando (2018). *Guía Boliviana de Diseño Sísmico*. Ministerio de Obras Publicas Servicios y Vivienda.

Ugel, R.; Herrera, I.; Vielma, J.; Pujades, L. (2012), "Análisis de riesgo sísmico para toma de decisiones. Aplicación a edificio aporticado de concreto armado en el municipio de Valencia", *Revista de Ingeniería y Sociedad*, Vol. 7, No. 1, pp. 20-34.

Young S. Cho (2003), "Non-destructive testing of high strength concrete using spectral analysis of surface waves", *Journal NDT&E International*, Vol. 36, pp. 229-235