

## V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

La evaluación de vulnerabilidad rápida hecha al edificio presentó una calificación estructural (CE) de +2.4, lo que significa que el edificio posee una vulnerabilidad estructural mínima. Con esta calificación, no es necesario realizar un análisis estático no lineal. Sin embargo, el propietario del edificio solicitó una evaluación estructural detallada para determinar las deficiencias y el desempeño del edificio.

La gráfica de corte basal vs. desplazamiento generada por la aplicación de la fuerza lateral en la dirección “x” muestra que el colapso de la estructura se debió a un desplazamiento aproximado de 8 cm. Además, en el programa se especificó que la deformación máxima que puede sufrir el edificio es de 15 cm. Por lo tanto, se puede observar que el edificio no alcanzó la deformación especificada sin antes colapsar, lo que indica que el edificio carece de la suficiente ductilidad que le permitiría deformarse al máximo. Los valores negativos del corte basal indican que la estructura colapsó para sus respectivos desplazamientos, es decir, el edificio no soportó desplazamientos mayores que 0.103 m, según el Cuadro 51. Además, se estipuló un desplazamiento máximo de 15 cm y, por lo tanto, el programa deformó el edificio esa distancia sin importar que el edificio colapsó a los 0.103 m. Es por eso que se generan valores negativos de corte basal, como se observa en la Figura 43.

Por otro lado, la gráfica de corte basal vs. desplazamiento generada por la aplicación de la fuerza lateral en la dirección “y” muestra que la estructura desarrolló su desplazamiento máximo sin llegar al colapso. Esto indica que en la dirección “x” existen factores de geometría y de carga que hacen que la estructura no desarrolle el desplazamiento especificado sin antes colapsar. El autor considera que la longitud libre entre columnas y las dimensiones de las vigas fueron factores que contribuyeron al colapso de la estructura. Además, las vigas en la dirección

“x” soportan más carga que las de la dirección “y”, incluidas las cargas puntuales generadas por el modelaje de las vigas secundarias.

Este mismo comportamiento se observa en las gráficas de aceleración espectral ( $S_a$ ) vs. desplazamiento espectral ( $S_d$ ), en donde se puede ver que la estructura colapsa cuando la carga estática “pushover” se aplica en la dirección “x”. Sin embargo, es importante hacer notar que el punto de desempeño de la carga aplicada en la dirección “y” muestra un desplazamiento espectral menor que la de la dirección “x”. Esto implica, por simple observación, que la estructura es más flexible en la dirección “x” y, por lo tanto, será capaz de responder de una mejor manera a sismos que no generen en el techo desplazamientos mayores a 8 cm.

Es importante recalcar que la determinación del punto de desempeño, con el Procedimiento A, es un proceso bastante exacto y sencillo de efectuar. Los resultados muestran una diferencia no significativa entre los resultados del cálculo del punto de desempeño con el SAP 2000 Non Linear y el Procedimiento A, calculado manualmente.

En el modelo de la estructura se definieron un total de 640 articulaciones en los elementos. Los resultados muestran que la mayoría de estas articulaciones, en ambos casos de carga estática “pushover”, se mantuvieron en el tramo A – B de la gráfica de fuerza vs. deformación lateral, en cada uno de los pasos generados. Esto indica que la mayoría de las articulaciones asignadas se mantuvieron en el rango elástico durante el proceso de carga cíclica. Sin embargo, fue en la dirección “x” donde se originaron articulaciones en los puntos C, D y E, que representan zonas de colapso de elementos. Por el contrario, en la dirección “y” las articulaciones más críticas se generaron en un tramo intermedio entre los puntos B y C.

Es importante tomar en cuenta los niveles de desempeño límite de la estructura, los cuales describen su criterio de aceptabilidad. Existen 3 niveles de desempeño,

los cuales se identifican con las siguientes iniciales: OI para Ocupación Inmediata (SP-1), SV para Seguridad de Vida (SP-3) y EE para Estabilidad Estructural (SP-5).

En la dirección “x” las 32 articulaciones más críticas se originaron a partir del punto E, en el paso 30, y, además, se originaron en las columnas del primer nivel, tanto en el nudo “i” como en el “j”. Dichas articulaciones están muy por encima del límite de Estabilidad Estructural (EE) y por lo tanto se puede concluir que el edificio, tal y como se encuentra en la actualidad, puede colapsar ante cargas de sismo en la dirección “x” y que se debe tomar en cuenta que se requerirá la construcción de un nuevo edificio.

Como se mencionó, se generaron 32 articulaciones en la dirección “x”, de las cuales su cedencia estuvo basada en las fuerzas de corte aplicadas. Por lo tanto, se podría evitar el colapso total de la estructura en la dirección “x” y evitar daños considerables en la dirección “y”, si a la estructura se le genera más resistencia hacia las fuerzas cortantes.

En la dirección “y” las 88 articulaciones más críticas se originaron en el tramo SV – EE, en el paso 22 y, además, se generaron en vigas. Por lo tanto, según el nivel de desempeño Seguridad de Vida (SV), el edificio ha sufrido daño significativo en la estructura principal, sin llegar al colapso total. Considerando también que estas articulaciones se formaron en vigas, se puede concluir que el riesgo de amenaza de colapso estructural es bajo, pero sí se debe considerar una reconstrucción o readecuación de la estructura principal antes de ser habitada nuevamente.

Es importante hacer notar que cuando se realiza un análisis no lineal, el propietario del edificio y el ingeniero estructural deben fijar, antes de la evaluación, un nivel de desempeño para la estructura, considerando el riesgo que se quiere tomar ante la seguridad de la vida humana y el costo de reparación del edificio.

después del sismo. Al plantear el nivel de desempeño de la estructura, el edificio se debe modelar de tal manera que las articulaciones no sobrepasen dicho nivel.

Por último, se realizó una variante en el modelo estructural. La modificación consistió en cambiar las dimensiones y refuerzo de las columnas de la estructura. Se modelaron columnas de 60 x 60 cm con un refuerzo de 8 varillas # 8 y los resultados de este análisis se compararon con los resultados del modelo original, el cual presentaba columnas de 70 x 70 cm con un refuerzo de 12 varillas # 8. Los resultados fueron evidentes. Los puntos de desempeño, para ambas direcciones, presentaron desplazamientos espectrales mayores que los del modelo original y las aceleraciones espectrales fueron menores. Además, las articulaciones más críticas, tanto en la dirección “x” como en la dirección “y”, se originaron en el tramo B – C de la gráfica de fuerza lateral vs. deformación. Esto indica que la estructura modificada es más flexible que la estructura original y se puede concluir que el punto de fluencia del nuevo modelo está mucho más alejado del rango elástico que el modelo de la estructura original y esto haría que el modelo modificado respondiera de una mejor manera a excitaciones laterales.

La evaluación estructural detallada, a través de un análisis estático no lineal, es una herramienta utilizada para determinar la capacidad estructural de edificios, ante posibles eventos sísmicos. Es por esta razón que los ingenieros estructurales deben conocer estas técnicas de evaluación para que así puedan tomar las correcciones técnicas necesarias para mitigar el riesgo sísmico en estructuras, tomando en cuenta la viabilidad económica de una posible readecuación o reparación de edificios.