

CAPÍTULO VI

COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

RESUMEN

En este capítulo se presentan los principales comentarios, conclusiones y recomendaciones sobre la comparación de la respuesta en tiempo incorporando y desacoplando la mampostería, además sobre varios temas tratados en la realización de la tesis, como la determinación correcta del centro de rigidez de estructuras de dos o más pisos, los principales problemas estructurales causados por la interacción tabique – pórtico y las técnicas de reforzamiento de mampostería empleadas en Sudamérica.

6.1 COMENTARIOS

En la realización de esta tesis pudieron tratarse varios aspectos importantes relacionados con el comportamiento en el tiempo de las estructuras con mampostería desacoplada y acoplada, entre los cuales podemos destacar el incremento de las fuerzas sísmicas, la disminución de los desplazamientos laterales y deriva máxima de piso, la disminución de las velocidades y aceleraciones de piso, la determinación del centro de rigidez de las estructuras para calcular los momentos torsores iniciales a los que están expuestas, los problemas estructurales frecuentes cuando no se ha considerado la interacción entre los pórticos y los tabiques de mampostería durante un sismo para el diseño de las estructuras; y, las principales técnicas de reforzamiento de mampostería existentes en la actualidad y que son aplicadas en varios países para prevenir y atenuar los daños de las edificaciones durante los sismos.

El sismo del 15 de agosto del 2007 acontecido en las costas de Perú, dejó grandes enseñanzas sobre los daños en las construcciones con mampostería desacoplada y acoplada a los pórticos y las medidas preventivas que se deben tomar en el diseño y construcción de las estructuras para evitar daños irreparables e inclusive su colapso durante los terremotos.

Al analizar el comportamiento en el tiempo del Bloque de Enfermería de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga y los daños que éste sufrió ante el sismo del 15 de agosto del 2007, pudimos observar que el sistema de columnetas – vigueta utilizado en este edificio para aislar la mampostería de los pórticos, presentó muy buenos resultados, pues se evitaron serios daños estructurales que otras estructuras de la universidad sí presentaron, como columna corta y fracturación de la mampostería.

Se determinó que el modelo de la diagonal equivalente es el adecuado para representar la interacción de los pórticos con los tabiques de albañilería. Para calcular el ancho equivalente de la diagonal, existen muchísimos métodos

y fórmulas empíricas que varios autores han propuesto desde 1961, pero se han considerado para esta investigación únicamente nueve modelos, debido básicamente a la falta de información bibliográfica sobre el tema.

La determinación de las excentricidades estáticas de un edificio es muy importante, pues permite calcular los momentos torsores que actúan en la estructura ante las acciones sísmicas. Para esto se puede calcular las coordenadas de los centros de cortante, de rigidez o de giro en cada planta de la estructura, obteniendo para ello los valores reales de fuerzas y desplazamientos de la estructura, y no asumiendo simplemente una distribución triangular de las fuerzas pues, como se vio en el análisis del comportamiento en el tiempo del bloque de Enfermería de la Universidad San Luis Gonzaga y de otras estructuras presentadas en el tercer capítulo, las fuerzas del primer piso son mayores que las del segundo en la mayoría de pórticos.

Cuando la mampostería está aislada al pórtico, la interacción entre estos dos es muy grande y muy pocas veces es considerada para el diseño sísmico, lo que ocasiona en las edificaciones serios problemas estructurales que las pueden llevar al colapso. Para evitar estos problemas, es necesario aislar la tabiquería de los pórticos durante la etapa constructiva o realizar el diseño incorporando la mampostería al análisis. Otra alternativa es reforzar la mampostería.

Las técnicas de reforzamiento de la mampostería sirven para reducir los efectos de las fuerzas sísmicas en edificios que sin haber sido diseñados con la mampostería acoplada a la estructura, fueron construidos así.

Existen varias técnicas de reforzamiento que no se estudiaron en el capítulo anterior debido a la falta de información técnica sobre ellas o a que están todavía en proceso de experimentación y no se conoce con exactitud cuál será su comportamiento ante un sismo.

6.2 CONCLUSIONES

- El Boque de Enfermería de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica – Perú, no presentó daños estructurales de gran escala ante el terremoto del 15 de agosto del 2007. Se observaron tres tipos de daño: falla en la unión columneta – viga principal por insuficiente longitud de amarre de las varillas, inestabilidad de la mampostería durante el movimiento telúrico y fracturación de los ladrillos de las esquinas de los tabiques de albañilería.
- La incorporación de la mampostería en el análisis sísmico de estructuras implica un incremento considerable de la rigidez lateral de los pórticos (de 8 a 25 veces), esto genera a su vez dos efectos: el primero es el aumento de las fuerzas sísmicas que actúan y, el segundo es la disminución de desplazamientos laterales y por ende de la deriva de piso.
- El modelo matemático que mejor se ajusta y representa la interacción pórtico – mampostería, es aquel en el cual se reemplazan los tabiques de albañilería por puntales diagonales que trabajen sólo axialmente a compresión, donde la rigidez que éstos aportan es sumada a la de las vigas y columnas para obtener la rigidez lateral total del pórtico.
- El módulo de elasticidad de la mampostería está en función de los módulos de elasticidad de las unidades de albañilería (ladrillos) y del mortero; sin embargo, luego de varias investigaciones internacionales, se ha determinado que para mampostería de ladrillo, la expresión $E_m = 500 f'_m$ (f'_m = resistencia a la compresión de la mampostería) da excelentes resultados.
- Se estudiaron 9 métodos distintos para determinar el ancho equivalente del puntal; algunos en función de la longitud de la diagonal y otros en función del módulo de elasticidad, espesor y propiedades geométricas de la mampostería. Luego de aplicar estos modelos en un pórtico tipo y obtener el valor promedio, se determinó que el modelo propuesto por Paulay y

Priestley en 1992 es el más óptimo, no sólo por los resultados sino por su facilidad de aplicación. Este modelo indica que el ancho equivalente de un puntal de mampostería es igual a un cuarto de la longitud de la diagonal.

- Se propuso calcular un factor de corrección, en función de las áreas de mampostería, cuando los pórticos presentaren alféizares, el mismo que reduce el ancho equivalente del puntal determinado con el modelo de Paulay y Priestley.
- Se presentaron 4 alternativas para calcular las coordenadas del centro de cortante de una estructura, de los cuales se determinó que mediante la definición de rigidez de entrepiso se obtenían los mejores resultados, tanto para edificios con mampostería desacoplada como con mampostería acoplada. Por lo tanto, es necesario obtener las fuerzas sísmicas y los desplazamientos reales de las estructuras, pues la rigidez de entrepiso de cada uno de los pórticos se calcula con la relación entre el cortante y la deriva de piso.
- Asimismo se presentaron 2 métodos para calcular las coordenadas del centro de rigidez de una estructura, de los cuales las fórmulas de Tso Y Cheung son las recomendadas para aplicarlas en estructuras con mampostería desacoplada y acoplada, pues no presentan ninguna restricción de cálculo. Vale indicar que estas fórmulas están en función de la matriz de rigidez espacial de la estructura y las fuerzas sísmicas que en ella actúan.
- Por último, se presentó un método para determinar las coordenadas del centro de giro de una estructura, pero los valores obtenidos eran absurdos e irreales, por lo cual se descartó el método y se propuso utilizar, para este caso, momentos torsores unitarios.
- Luego de calcular las coordenadas del centro de cortante y del centro de rigidez de una estructura de dos pisos con los sismos de Perú 2007

(componente N–S), El Centro – California 1940, Chile 1985 y México 1985, se determinó que los valores de las excentricidades estáticas no varían significativamente con respecto a ninguno de los dos centros pues, a pesar de que la magnitud de las fuerzas sísmicas y los corrimientos laterales sí difieren, la relación entre ellos es prácticamente la misma. Esto nos indica que, si bien la rigidez de entrepiso depende la fuerza lateral y el desplazamiento horizontal relativo, ante un sismo estos valores dependen de la rigidez lateral de los pórticos; por lo tanto, el centro de corte de las estructuras no depende del sismo con el que se esté analizando. Lo propio sucede con el centro de rigidez.

- La falta de consideración de la interacción tabique – pórtico en el diseño y construcción de estructuras, cuando la mampostería no ha sido aislada de la estructura aporticada, vuelve a las edificaciones muy vulnerables a los sismos y puede generar problemas de torsión, columna corta, piso blando y fracturación de la mampostería.
- La torsión en edificios es un problema asociado con la distribución asimétrica de la mampostería, lo que provoca la concentración de rigidez sólo en algunos pórticos. Es un caso típico de los edificios abiertos o esquineros donde los pórticos más rígidos soportan fuerzas mucho mayores que los pórticos flexibles.
- El problema de columna corta se presenta cuando por causa de un alféizar alto adosado al pórtico, la longitud efectiva de la columna se reduce y la fuerza cortante aumenta significativamente, lo que produce una fractura diagonal o por corte en las columnas.
- El piso blando se presenta cuando algún piso de las estructuras carece de mampostería y, ante las fuerzas sísmicas, los pisos superiores trabajan como un cuerpo rígido que produce en la estructura un efecto $P.\Delta$ altísimo, ocasionando un momento de volteo que provoca que las columnas del piso flexible fallen.

- La fracturación de la mampostería sucede cuando su resistencia es menor a la componente diagonal (fuerza axial del puntal equivalente) de la fuerza sísmica que actúa en la estructura. La resistencia de la mampostería viene dada por el menor valor entre la resistencia al aplastamiento, a la tracción diagonal y al cizalle, que son los tipos de falla que se pueden presentar en un tabique de albañilería.
- Se presentaron las 5 técnicas de reforzamiento de mampostería más utilizadas en Sudamérica, en países como Perú, Colombia y Chile, donde las características de los materiales de construcción son similares a las del Ecuador.
- La técnica que mejor se adaptaría a las edificaciones en el Ecuador es el reforzamiento con malla electrosoldada, debido a la disponibilidad de materiales, capacitación de la mano de obra y bajo costo.
- Si el reforzamiento de la mampostería se prevé en el diseño sísmico, se puede permitir fuerzas sísmicas un poco mayores a la resistencia de la mampostería, pues la diferencia será absorbida por el reforzamiento. En este caso, la estructura debe diseñarse con módulos de elasticidad y corte iguales a los de la albañilería sin refuerzo, pues éste empezará a trabajar una vez que la mampostería se fracture.

6.3 RECOMENDACIONES

- Si se va a utilizar el sistema columnetas – vigueta para aislar la mampostería del pórtico, se recomienda aumentar la longitud de amarre, de tal forma que los tabiques de albañilería no tengan un comportamiento muy inestable ante los sismos y no haya problemas en las uniones columnetas – viga principal.

- Es necesario realizar estudios en el Ecuador sobre las características mecánicas de los materiales que conforman la mampostería, para tener bases fundamentadas tanto de valores como de fórmulas y no tomar los utilizados en otros países.
- Se aconseja efectuar en laboratorio experimentos con modelos a escala de pórticos con mampostería desacoplada y acoplada para determinar en cuánto se incrementa, en realidad, la rigidez lateral y cuál de los modelos analizados es el óptimo.
- Se recomienda calcular las fuerzas sísmicas y los desplazamientos laterales verdaderos de las edificaciones para determinar las coordenadas del centro de rigidez de cada piso, de tal forma que se obtengan resultados reales de las excentricidades estáticas en cada sentido de análisis y determinar lo más exacto posible los momentos torsores iniciales que se producen en la estructura.
- Si no se va a aislar la mampostería de la estructura aporticada, se recomienda tomar las precauciones debidas en el diseño de las estructuras para evitar los problemas de torsión, columna corta, piso blando y fracturación de la mampostería.
- Es necesario crear una cultura preventiva de desastres durante los sismos y pérdidas humanas por el colapso de las estructuras, para esto se aconseja poner en práctica las técnicas de reforzamiento de mampostería analizadas.