

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

En este Capítulo final se resumen los resultados más relevantes de la Tesis, se formulan las conclusiones y se proponen aspectos o líneas de investigación futura necesarias para el desarrollo de aspectos relevantes que se han detectado durante la realización de este trabajo.

7.1 MÉTODO

Una conclusión importante de este estudio es que para estudiar los periodos fundamentales de edificios en zonas urbanas, a partir de ruido cultural es suficiente el registro de la aceleración en la parte superior del edificio. Este método es preferible y proporciona resultados más fiables que el tradicional de cocientes espectrales de las señales registradas en la parte superior y en la base del edificio, debido a que para los niveles energéticos involucrados en la excitación del edificio mediante ruido cultural, la excitación en la base no representa la entrada al sistema constituido por el edificio. El método propuesto se ha validado con un ensayo en laboratorio analizando la función de coherencia entre las señales de entrada y salida de una estructura metálica a escala. Para excitaciones débiles, las funciones de coherencia muestran valores muy bajos indicando que las funciones de transferencia calculadas utilizando el método tradicional son muy poco fiables.

Además, a partir del modelado analítico de dos edificios característicos, uno de mampostería y otro de hormigón armado, y del análisis de ruido registrado en la parte superior de ambos edificios, se observó un buen acuerdo entre los periodos fundamentales simulado y observado lo cual apoya la fiabilidad de los periodos fundamentales observados mediante el método utilizado en este trabajo.

Finalmente ambos métodos, el de cociente espectral y el aquí propuesto se aplicaron a un edificio singular de 42 plantas de Barcelona y a 22 edificios de las ciudades de Adra (Almería) y Barcelona. En general, la función de coherencia entre la entrada (la medida en la base del edificio) y la salida (la señal medida en la parte superior) presenta valores muy bajos por lo que las funciones de transferencia calculadas utilizando este método no son fiables.

Se concluye que para la estimación de periodos propios de edificios utilizando ruido ambiental, es suficiente, más conveniente y confiable usar sólo el espectro de la señal registrada en la parte superior del edificio.

7.2 APLICACIÓN DEL MÉTODO

Con el objeto de analizar el potencial de la aplicación del método y evaluar el sentido de los periodos medidos se procedió a las tareas siguientes: Cálculo de fórmulas empíricas, seguimiento de un edificio durante el periodo comprendido entre la finalización de su estructura y el acabado final del edificio. También se efectuó un análisis de la dispersión de los datos y se ensayó el uso de las fórmulas empíricas para la determinación masiva de periodos fundamentales en ciudades cuando se dispone de bases de datos que permitan su tratamiento mediante sistemas de información geográfica.

Cálculo de fórmulas empíricas

La aplicación sistemática del método a muestras representativas de las dos principales tipologías de edificios de Barcelona ha permitido obtener fórmulas empíricas específicas para la ciudad.

Las fórmulas obtenidas difieren significativamente de las propuestas en la norma sísmica vigente en España y son:

Edificios de hormigón armado $P=0.032N+0.089$

Edificios de mampostería $P=0.028h^{0.75}+0.021$

La comparación de los periodos calculados mediante estas fórmulas con los obtenidos mediante las fórmulas que propone la Norma Sísmica Española, se observa que los periodos fundamentales medidos son, en promedio, un 64% menores para edificios de hormigón armado y un 46% mayores para mampostería.

Se concluye, por tanto que es muy conveniente realizar estudios locales específicos para las tipologías constructivas dominantes ya que es difícil que una fórmula única represente bien todos los edificios de un país.

Seguimiento de un edificio durante su construcción

Se midió el periodo fundamental de un edificio de hormigón armado durante su construcción encontrándose que elementos no estructurales como por ejemplo los muros de fachada e interiores, contribuyen a la disminución del periodo.

La construcción de los muros de la fachada del edificio y del refuerzo de la escalera provocaron una disminución de entre el 20% y el 30% del periodo del edificio y los muros interiores produjeron una disminución de alrededor del 10%. Este efecto fue consistente con los resultados del modelado analítico que proporciona una disminución del periodo al incorporar los muros de fachada al modelo

Se concluye que la distribución de los elementos tradicionalmente considerados como no estructurales, intervienen significativamente en el periodo propio de los edificios indicando la conveniencia de incluir en las fórmulas empíricas términos y parámetros que los incluyan.

Análisis de dispersión de datos

Del análisis de 22 edificios de hormigón armado de cuatro niveles donde se manejaron las siguientes variables: dimensiones y área en planta, edad, altura y, en las direcciones longitudinales y transversales, densidad de muros, esbeltez y luz promedio entre columnas, se obtienen las expresiones que mejor las relacionan con el periodo fundamental. Es conveniente continuar este trabajo para cuantificar el peso de cada una de las variables involucradas en la determinación del periodo propio del edificio y además ensayar relaciones potenciales análogas a la establecida entre el periodo fundamental y la altura, que relacionen el periodo con el área, la densidad de muros perpendicular y la luz en sus dos direcciones.

El análisis de dispersión de datos refuerza la conclusión de la conveniencia de incluir en las fórmulas empíricas, términos y parámetros que tengan en cuenta la contribución otros aspectos constructivos de los edificios.

Sistema de Información Geográfica

La base de datos, facilitada por el Ayuntamiento y conteniendo las principales características de los edificios de Barcelona, permite calcular el periodo fundamental de cualquier edificio de hormigón armado y mampostería de la ciudad. Se hizo el cálculo para los edificios de dos barrios con diferentes características de suelo.

Se concluye que la disponibilidad de este tipo de fórmulas específicas, para las ciudades aporta una mayor calidad y fiabilidad a los estudios de vulnerabilidad y riesgo sísmicos.

7.3 SUELOS

Cuando se usa equipo con un solo canal, es muy conveniente comparar el espectro de respuesta de Fourier del edificio con la respuesta del suelo para asegurar que se escogió correctamente el periodo fundamental del edificio. En este trabajo, la comparación entre la respuesta del suelo y el espectro de respuesta del edificio ha permitido aumentar la fiabilidad de los periodos propios obtenidos.

Se concluye que en trabajos para la determinación de los periodos propios de los edificios en entornos urbanos y utilizando vibración ambiental es conveniente realizar también estudios de microzonificación sísmica del subsuelo. La existencia de estos estudios en la ciudad de Barcelona ha permitido mejorar la calidad de los resultados obtenidos en el estudio del comportamiento dinámico de los edificios.

Con el objeto relacionar el comportamiento dinámico de estructuras sometidas a acciones dinámicas intensas con su comportamiento en condiciones de excitación débil (ruido ambiental) se han efectuado incursiones en los aspectos relacionados con la interacción suelo-estructura y con fenómenos de resonancia entre la señal sísmica, los suelos y las estructuras.

Interacción suelo-estructura

La importancia de la interacción se estimó mediante el cálculo de un parámetro de rigidez relativa, escogido de la literatura y se estimó que las características de los suelos y edificios de la ciudad de Barcelona permiten esperar que exista interacción en caso de ocurrencia de un sismo, siendo este efecto más importante para los edificios de mampostería que para los de hormigón. Sin embargo conviene avanzar en esta línea de trabajo para una cuantificación de este efecto.

Resonancia

Las características de los suelos y edificios de Barcelona, unido a las variaciones inducidas en los periodos de los edificios por excitaciones dinámicas intensas indican que sean probables efectos debido a resonancia de frecuencias.

Un 24% de los edificios analizados se hallan sobre suelos con periodos predominantes similares a los periodos fundamentales de los edificios. Por otra parte debe tenerse en cuenta que cuando ocurre un sismo varían, por un lado las condiciones del suelo; deformación, módulo de cortante, coeficiente de amortiguamiento y, por otro lado, puede ocurrir una degradación de la rigidez del edificio. Esto lleva a la conclusión que no es posible descartar que exista el fenómeno de resonancia en los lugares donde el periodo predominante del suelo y el fundamental del edificio son distintos, ya que los periodos tanto el predominante del suelo como el fundamental del edificio pueden cambiar durante un terremoto.

7.4 LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Durante el desarrollo de un trabajo como el que se ha descrito en esta memoria, aparecen un gran número de preguntas e inquietudes a las que el autor desearía dar respuesta. Sin embargo, la finitud temporal impide la exhaustividad en el tratamiento del comportamiento dinámico de estructuras y edificios.

En este apartado se apuntan líneas de trabajo futuro que permitan avanzar, ir más allá de lo que aquí se ha aportado al conocimiento del comportamiento de edificios sometidos a cargas dinámicas en general, y a las características dinámicas típicas de los edificios de Barcelona. Primero se proponen líneas naturales de continuación de los contenidos de esta tesis, después se apuntan otros aspectos relacionados cuya investigación se considera también importante.

En el primer grupo incluimos las cuatro líneas siguientes:

- Determinación de fórmulas empíricas considerando otras características de los edificios además de la altura. Consideración de edificios situados en suelos de topografía accidentada.
- Modelado analítico de edificios para validar los resultados de la interacción suelo-estructura.
- Estudio de la interacción entre edificios solidarios, dado que la mayoría de los edificios de Barcelona no son individuales.
- Estudio del efecto de la pared medianera (muro común) en edificios de mampostería.

Otros aspectos importantes de investigación futura son:

- Cálculo de periodos de torsión.
- Análisis modal.
- Análisis de la respuesta vertical de edificios.
- Implementación de un programa de análisis inverso o identificación de sistemas teniendo como entrada datos obtenidos con vibración ambiental y de salida características de edificios como rigideces, frecuencias, amortiguamientos.
- Análisis con ondículas (wavelets).
- Análisis temporal de las señales.
- Modelado a escala reducida en mesa vibratoria de diferentes estructuras tipo.
- Evaluación de la degradación de una estructura mediante el análisis de la variación temporal de su periodo fundamental.