

Aunque los espectros son muy útiles para el diseño preliminar, para el diseño final (detallado de elementos), sería ideal tener la historia temporal de E_R , es decir, la historia temporal de la relación carga-deformación de la estructura diseñada.

El conjunto de todas las mencionadas historias temporales y espectros puede considerarse la información ideal para tomar decisiones fiables con respecto a los movimientos del suelo críticos y, por lo tanto, para el establecimiento fiable de terremotos y criterios de diseño. Por eso, la investigación debería aspirar a reunir esta información básica, para mejorar los códigos sísmicos y el diseño de instalaciones importantes. Debería tenerse en cuenta que el ingeniero puede calcular por ordenador todos los espectros anteriores si tiene las historias temporales de todos los posibles movimientos del suelo que podrían ocurrir en el emplazamiento de la estructura.

Hay que reconocer que, para el diseño práctico preliminar de la mayoría de las instalaciones normales, será conveniente especificar la mínima información posible para mantener la simplicidad. Se cree que, para un emplazamiento estructural dado, este mínimo podría ser E_i y los espectros de diseño inelásticos suavizados, de todos los posibles movimientos del suelo en este emplazamiento. La E_i permitiría la selección del tipo de movimiento del suelo crítico, es decir, el que induciría el mayor daño. Los espectros de diseño inelásticos suavizados, correspondientes al tipo de movimiento del suelo crítico, pueden usarse para llevar a cabo el diseño preliminar de la estructura. Una vez terminado el diseño preliminar, será posible obtener todas las demás informaciones, es decir, E_R , μ_s y NYR (número de plastificaciones alternadas) para distintos μ_s analizando las historias temporales no lineales, aprovechando los importantes avances logrados en el desarrollo de programas de ordenador para tal análisis. Esto permitirá comprobar la adecuación del diseño preliminar. Mientras que un análisis no lineal del diseño preliminar utilizando la aproximación estática (es decir, fuerza lateral estática equivalente) puede dar una idea de las capacidades de resistencia y deformación y también del límite inferior de la E_R disponible (y por ello debería utilizarse si no es posible ninguna historia temporal de los movimientos del suelo críticos), este tipo de análisis no proporcionará ninguna información con respecto a μ_s o NYR o la secuencia de daños.

De la discusión anterior se deduce que, si los códigos futuros perpetúan procedimientos simples para diseño sísmico, especificando sólo espectros de respuesta suavizados de la resistencia, será necesario poner limitaciones más estrictas para el tipo de sistemas estructurales que se pueden utilizar y para la manera en que se pueden aplicar tales procedimientos, y tendrá que haber regulaciones más conservadoras para el predimensionado y detallado en relación a la ductilidad y al máximo de deformaciones aceptables.

La aplicación de conceptos energéticos mediante el uso de ecuaciones de energía tiene la ventaja de guiar al diseñador por distintas alternativas disponibles, hacia un diseño eficiente en sentido técnico y económico. Ello anima y guía al diseñador en la aplicación acertada de desarrollos recientes en el uso de dispositivos de aislamiento sísmico y de disipación de energía.

REACONDICIONAMIENTO DE ESTRUCTURAS SÍSMICAMENTE PELIGROSAS

INTRODUCCIÓN. La importancia y la necesidad de un acertado reacondicionamiento estructural, desde el punto de vista sísmico, de estructuras peligrosas para reducir el riesgo sísmico a un nivel aceptable, se ha destacado tanto en el Prólogo como en la descripción de las lecciones aprendidas de los terremotos catastróficos recientes. Como se dijo en el Prólogo, la evaluación, y el control del riesgo sísmico para una instalación requiere evaluar, por un lado la principal peligrosidad sísmica para la estructura, que depende de la actividad sísmica en el emplazamiento de la instalación y en sus alrededores y, por otro, la vulnerabilidad sísmica del sistema completo de la instalación (suelo, cimientos, superestructura y componentes y contenidos no estructurales) expresada como fracción del valor de este sistema. Los problemas que acompañan la valoración de peligrosidad sísmica para cualquier estructura existente, son los mismos que los discutidos en el diseño de nuevas estructuras. La diferencia está en los grados comparativos de incertidumbre de estas dos valoraciones. El verdadero problema en la valoración de la vulnerabilidad de una instalación dada, tanto existente como futura, está en estimar su respuesta a los futuros movimientos del suelo críticos. La predicción de la respuesta sísmica depende de un conocimiento adecuado de, por lo menos: 1) la actividad sísmica en el emplazamiento; 2) las fuentes de peligrosidad sísmica, que dependen de la actividad sísmica, condiciones locales del suelo y el tipo, tamaño, forma y detallado de los cimientos, superestructura y componentes no estructurales de la instalación, y sus características mecánicas bajo excitación dinámica; y 3) el nivel deseado de seguridad o el nivel aceptable de daño o los dos. Las dificultades de una valoración de vulnerabilidad fiable se ven claramente en los estudios de valoración de vulnerabilidad del viaducto hundido de Cypress Street. Una gran parte del viaducto se hundió durante el terremoto de Loma Prieta en 1989 (Fig. 33). A pesar de la simplicidad de la estructura, la disponibilidad de los planos de construcción, y del hecho de que los ensayos de los materiales estructurales se habían realizado, todavía no ha sido posible estimar la verdadera resistencia de las pilas más débiles, porque la inspección sobre el terreno ha revelado que, en la estructura existente, el detallado y, en particular, la longitud del anclaje de algunas barras principales de la armadura, no se había realizado como se especificaba en los planos. La importancia de una valoración fiable de actividad sísmica y peligrosidad y de la vulnerabilidad de edificios existentes no se pueden enfatizar en exceso.

Hasta la fecha, no sólo las valoraciones de actividad sísmica, peligrosidad, vulnerabilidad y, como consecuencia, riesgo, se basan en el uso de las regulaciones sísmicas del código para diseño sísmorresistente de nuevos edificios, sino que también la filosofía común para el reacondicionamiento de edificios existentes tiene que estar de acuerdo con esas regulaciones. Esta aproximación, habitualmente, produce una rehabilitación ineficiente de edificios y, en algunos casos, soluciones de reacondicionamiento tan económicas que se deberían prohibir. Por ejemplo, muchas estructuras de hormigón antiguas están condenadas porque tienen sistemas estructurales o detalles de armado, o las dos cosas, que no son suficientemente dúctiles para ser aceptados por los códigos sísmicos actuales, a pesar del hecho de que pueden poseer suficiente sobrerresistencia, por encima de la resistencia límite (C_y) requerida por el código, para permanecer elásticos bajo los efectos del máximo movimiento del suelo creíble. La principal dificultad en demostrar que éstas no necesitan estar de acuerdo con el código, está en la evaluación de sus verdaderas características dinámicas, es decir, en la valoración de su verdadera vulnerabilidad sísmica.

En la mayoría de los casos, el hecho de que el edificio satisfaga las regulaciones sísmicas del código no garantiza su buen comportamiento sísmico, particularmente cuando se desea un control del daño en futuros movimientos del suelo críticos. La filosofía básica de las regulaciones sísmicas del actual código consisten en proteger a la gente en y alrededor de los edificios de la pérdida de vida durante terremotos grandes. Estas regulaciones no están orientadas a limitar el daño, mantener funciones, o proporcionar fácil reparación. Recientes terremotos, particularmente el de Loma Prieta en 1989, indican claramente que los códigos sísmicos deben considerar control del daño: El nivel de daño aceptable debería variar con la función (categoría de ocupación) del edificio. La necesidad de tener especificaciones de código que requieran control del daño es urgente para ciertas ocupaciones. Como en el diseño sísmorresistente eficiente de nuevas estructuras, una aproximación comprensible a la rehabilitación de edificios existentes requerirá que se consideren los siguientes tres niveles de movimientos del suelo críticos: nivel de servicio; nivel funcional u operacional; y nivel de seguridad.

Como se ilustra en la Fig. 47, la necesidad de mejorar la fiabilidad de los procedimientos de reacondicionamiento actuales ha sido confirmada por el comportamiento de edificios rehabilitados en recientes terremotos, particularmente en el de México en 1985, en el de Whittier Narrows en 1987 y en el de Loma Prieta en 1989.

REACONDICIONAMIENTO SÍSMICO DE INSTALACIONES PELIGROSAS. La decisión de reacondicionar una instalación y la selección de las estrategias y técnicas dependen de muchos factores [41]. Aquí revisaremos sólo la importancia de seleccionar estrategias de reacondicionamiento eficientes.

Selección de la estrategia adecuada. Esta selección requiere un estudio detallado de los factores dados y discutidos en la Ref.41. Existen muchas incertidumbres acerca de estos estudios. Aunque los conceptos y directrices básicas para reacondicionar sísmicamente estructuras están formuladas en esta referencia, el reacondicionamiento de una instalación dada es un problema único que requiere una solución común. Para dos edificios idénticos con diferentes ocupaciones o funciones y que están situados en emplazamientos con distintas condiciones de suelo, las estrategias a seguir pueden ser enormemente diferentes. En la selección de estas estrategias, como en el diseño sísmorresistente de nuevas instalaciones, el diseñador debería examinar los dos lados de la ecuación del diseño (Ec. 4), que demuestra que el diseñador puede reacondicionar sísmicamente la instalación: 1) disminuyendo la exigencia de peligrosidad sísmica; 2) mejorando las provisiones en las características mecánicas (dinámicas) de la instalación; o 3) combinando 1) y 2). Debería decirse que las estrategias 1) y 2) no son independientes la una de la otra, porque las necesidades impuestas a la estructura por las excitaciones sísmicas dependen de las características mecánicas dadas a la estructura. Una aproximación prometedora, para la selección racional de estrategias de reacondicionamiento sísmico de edificios existentes, es aquella basada en el uso de la aproximación energética, utilizando la ecuación de conservación de energía (Ec. 8b). Los pasos que se requieren para su aplicación son los mismos que los que ya se han comentado en el diseño sísmorresistente de nuevas estructuras.

Directrices para seleccionar una estrategia eficiente. Las directrices para disminuir las exigencias y aumentar las provisiones se ofrecen y comentan en la Ref. 41. En la aplicación de estas directrices debería tenerse en cuenta que el daño es más una consecuencia de la deformación que de la fuerza y, por eso, para controlar el daño, es deseable limitar la deformación, particularmente los desplazamientos tangenciales entre pisos. Además, en la selección de la estrategia, debería considerarse con cuidado el sistema entero suelo-cimientos-superestructura-componentes no estructurales y no sólo la superestructura. La evaluación de la adecuación de los cimientos es un paso esencial en la selección de la estrategia más apropiada.

Selección de una técnica de reacondicionamiento apropiada y diseño final. Después de la selección de la estrategia adecuada, se deben desarrollar y analizar los esquemas a través de los que ésta se puede implementar. El esquema final de implementación debe no sólo considerar los aspectos técnicos y el coste total del reacondicionamiento, sino que también debe minimizar las molestias en el funcionamiento del edificio durante el proceso.



Fig. 47(a) —Terremoto de México 1985.
fallo a cortante de jácenas de hormigón armado reacondicionadas.

(1) Vista general del edificio.



(2) Detalle de daños en las jácenas reacondicionadas.

Fig 47 —FOTOGRAFÍAS MOSTRANDO EL COMPORTAMIENTO DE ESTRUCTURAS REACONDICIONADAS EN TERREMOTOS RECIENTES