

# Errores en el diseño sismorresistente de estructuras de edificación

LUIS MANUEL VILLA GARCÍA

**Numerosos edificios actuales presentan una significativa vulnerabilidad sísmica por falta de cumplimiento de la vigente normativa sismorresistente**

El presente artículo se centrará exclusivamente en las estructuras de edificios porticados, entendiendo las mismas como las constituidas por entramados verticales, compuestos a su vez de elementos horizontales (vigas, carreras, jácenas, dinteles o cargaderos) y de verticales (pilares, soportes o pies derechos). Su misión es la de recibir los esfuerzos de los forjados y transmitirlos al terreno a través de los cimientos.

Entre las ventajas que presentan, estarán las siguientes:

1. La inexistencia de muros (como elemento estructural resistente) da libertad en cuanto a la distribución y acristalamiento de fachadas favoreciendo así el disponer –en su caso– de una buena iluminación exterior.

2. Aumento de la superficie en plantas superiores ante la posibilidad de emplear voladizos.

3. Disminuyen cargas sobre el terreno.

4. Reducen plazos de ejecución, permitiendo la utilización de elementos prefabricados.

Sin embargo, errores conceptuales de diseño y de construcción, que se cometen en las mismas, son fuente de severos daños. Por ello, el primer paso de cara a un diseño es elegir un sistema estructural que frente a las acciones sísmicas se

comporte de forma satisfactoria (sin dejar de cumplir el resto de finalidades o funciones que dieron lugar a su construcción, ya que las obras no se construyen sólo para que resistan).

Por otro lado –y ya hablando de patología de estructuras en general–, parece confirmarse que los errores en los proyectos constituyen el motivo fundamental de las patologías, y dentro de estos errores, los cálculos no son los más significativos, sino –y como se acaba de mencionar– las concepciones equivocadas en el diseño y construcción, y la falta de definición de la obra a realizar con suficiente grado de detalle.

En la actualidad existe unanimidad de criterio por parte de los especialistas en diseño, según el cual, en el diseño sismorresistente de edificios antisísmicos, deben utilizarse tipologías que posean la mayor ductilidad posible; es decir, que tengan gran capacidad de deformación, sin una disminución significativa de su resistencia.

## **Componente vertical de la acción sísmica**

Dado que la dirección de ocurrencia de un terremoto puede ser totalmente arbitraria con respecto a la estructura, al objeto de estudiar sus efectos, normal-

mente la aceleración del terreno se descompone en tres componentes: dos direcciones horizontales ortogonales entre sí (horizontal longitudinal y horizontal transversal con respecto a la planta del edificio) y una tercera vertical perpendicular a las anteriores. Las aceleraciones verticales punta frecuentemente están comprendidas entre 1/3 y 2/3 del valor punta horizontal. A su vez, las aceleraciones típicas pueden ser superiores a la gravedad. Hasta la fecha, generalmente se ha venido prescindiendo de los esfuerzos provocados por las sollicitaciones sísmicas verticales, a no ser en vigas de grandes luces y vigas ménsula; sin lugar a dudas debido a su desconocimiento, ya que si la magnitud de la componente vertical del sismo tiene un valor apreciable puede generar esfuerzos verticales notables.

En un edificio común en caso de sismo, los desplazamientos horizontales –así como los esfuerzos relativos a ellos– son, con diferencia, los más notables; esto es debido a la propia rigidez del edificio. Al ser mucho más rígido verticalmente (por continuidad de pilares entre plantas) tiende a oscilar verticalmente según períodos muy pequeños (del orden de milisegundos); por el contrario, al presentar mucha menos rigidez



horizontalmente, oscila con períodos mucho mayores (del orden del segundo). En esta reflexión, aparece la singularidad de los elementos en voladizo, que sí se ven afectados por las componentes verticales de los sismos, dado que su período propio de oscilación vertical es significativamente mayor que el resto de la estructura, y cercano a los del sismo.

En el edificio en construcción de la *figura 1*, se ha conseguido un aumento de los metros cuadrados de superficie útil mediante el ensanchamiento lateral a partir de la primera planta, de la estructura porticada, utilizando ménsulas cortas entre los pilares de la planta baja y primera, como se puede apreciar en la misma.

El diseñador de estructuras concibe las mismas a partir de dos puntos de apoyo fundamentales: la forma y los materiales. Si por razones diversas (entre ellas, la de mayor peso, la económica) no se adopta una forma racional para la estructura, es necesario solicitar de los materiales toda su capacidad resistente para resolverla estáticamente.

La NCSE-02 en cuanto a reglas de diseño y prescripciones constructivas en edificaciones de estructura de hormigón armado no trata de forma explícita las ménsulas cortas (y tampoco se pueden

proyectar como viga, ya que el mecanismo resistente es totalmente diferente).

Las *figuras 2 y 3* ilustran otro caso más racional; de nuevo la excentricidad existente entre ambos pilares –por encima y por debajo de la ménsula corta– producen sobre aquélla un momento (de valor la carga axial que soportan por la excentricidad entre ambos pilares). Para reducir los esfuerzos y absorber las sollicitaciones originadas por la excentricidad adicional, la solución mostrada dispone una viga que, enlazando la ménsula corta con otro pilar interior, compensa el momento citado (*figura 3*).

Estos tipos de diseño (en ménsula corta) crean una grave predisposición intrínseca a sufrir daño ante la ocurrencia de un movimiento sísmico (de una severidad determinada), es decir, constituyen una vulnerabilidad estructural y deberían prohibirse en zonas sísmicas.

La magnitud de la aceleración del terreno, registrada durante los terremotos de Loma Prieta (1986) y Northridge (1994) –cercanos en el tiempo– así como los daños apreciados en los mismos, indican que la componente vertical de los sismos debe tenerse en cuenta, sobre todo en puentes y voladizos donde su influencia es notable. Durante este último, en general, la magnitud de las aceleraciones

horizontales y verticales fueron similares; y a su vez, de valor superior a la gravedad.

Tanto la normativa sismorresistente española NCSE-02, actualmente vigente, como el futuro documento que la sustituirá (el Eurocódigo 8), contemplados desde una perspectiva global, poseen una serie de puntos comunes representativos –en el ámbito de la edificación– que definen el comportamiento estructural. Ambas representan la componente vertical de la acción sísmica por el espectro de respuesta tal como se define para la acción sísmica horizontal, pero con las ordenadas reducidas:

1. Eurocódigo 8: las ordenadas espectrales se reducen entre un 30% y un 50%, en función del período de vibración.

2. NCSE-02: prescribe reducir las ordenadas espectrales al 70%, independientemente del período.

Asimismo, esta última permite realizar un estudio específico para considerar la interacción dinámica suelo-estructura, sin que con ello pueda reducirse la acción sísmica más de un 30% del valor que se obtendría con la construcción supuesta sobre base rígida.

En lo referente a la componente vertical de la acción sísmica, merece en ellas especial atención:

## RESUMEN

En general, los edificios de estructura de hormigón armado o acero son más seguros que los de mampostería; sin embargo, en ocasiones se incurre en ellos en graves defectos conceptuales de diseño y construcción, los cuales dan lugar a una acusada vulnerabilidad sísmica y por consiguiente a un comportamiento inadecuado de las estructuras ante las fuerzas cíclicas de los sismos. Gran cantidad de edificaciones actualmente en servicio presentan una significativa vulnerabilidad sísmica, incluso las construidas en los últimos años, debido a la falta de un cumplimiento adecuado de la vigente normativa sismorresistente. En el presente trabajo se mencionan algunos casos frecuentes que se ilustran mediante fotografías, comentarios y algunas recomendaciones con respecto a los mismos.



Figura 1. Incremento de la volumetría, a partir de la primera planta, mediante ménsulas cortas.



Figura 2. Otro edificio en el que se utiliza una ménsula corta en el esqueleto resistente.



Figura 3. Otra vista de la ménsula que aparece en la figura 2, en donde se puede apreciar la viga posterior.

1. Con respecto a la NCSE-02:

– Para la evaluación de la componente vertical de la acción sísmica se adoptará un coeficiente de comportamiento por ductilidad, salvo que se justifique un valor superior mediante el correspondiente análisis (apartado 3.7.3.1).

– Cuando sea preciso considerar movimientos verticales, se adoptará un espectro de respuesta elástica cuyas ordenadas espectrales sean el 70% de los valores correspondientes a las del espectro para movimientos horizontales definido en el apartado 2.3 de la norma NCSE-02.

2. Mientras que en el Eurocódigo 8:

– Para la misma, se deberá adoptar en general y para todos los sistemas estructurales un factor de comportamiento igual a la unidad. La adopción de valores mayores de 1,0 se deberá justificar mediante un análisis apropiado (apartado 2.3.2.2 de la Parte 1-3).

– A no ser que estudios específicos indiquen lo contrario, la componente vertical de la acción sísmica debe representarse por el espectro de respuesta, tal como se define para la acción sísmica horizontal, pero con las ordenadas reducidas en la forma que se indica en el apartado 4.2.1 de la Parte 1-1.

En el momento de indicar en qué situaciones se tendrá en cuenta la acción sísmica vertical, el Eurocódigo 8 enumera una serie de casos (véase apartado 3.3.5.2 de la Parte 1-2), mientras que la NCSE-02 únicamente hace un especial énfasis en evitar, en la medida de lo posible, diseños que presenten vigas soportadas por otras, a las que pueden transmitir también esfuerzos horizontales (figura 4), y soportes que descansan sobre vigas, muy sensibles a las componentes verticales de los sismos (figuras 5 y 6). Si esto no fuese posible, el modelo dinámico de la estructura debe contener en ese nudo un grado de libertad vertical, al objeto de tener en cuenta las acciones sísmicas verticales.

Para el cálculo de las vigas de gran canto (o vigas pared), no son válidas las fórmulas de las vigas ordinarias, ya que las hipótesis que sirvieron para su deducción (deformación plana de Bernouilli; principio de Saint-Venant) no resultan aplicables a las vigas de gran canto. La resistencia a flexión de las mismas suele ser superabundante; por el contrario, su resistencia a esfuerzo cortante o la posibilidad del pandeo transversal de la cabeza comprimida pueden imponer limitaciones al espesor de ellas.

Las consecuencias negativas más notables de este diseño, desde un punto de vista sismorresistente, son:



Figura 4. Hay que evitar, en la medida de lo posible, diseños que presenten vigas soportadas por otras, a las que pueden transmitir también esfuerzos horizontales.



Figura 5. Edificio en construcción, donde fácilmente se aprecia la falta de continuidad del pilar de la esquina izquierda en la planta baja.

1. Las ménsulas cortas crean una discontinuidad en la rigidez vertical.

2. Las soluciones en voladizo –como se ha mencionado previamente– inducen esfuerzos verticales sobre las mismas, independientemente de que el movimiento sísmico tenga componente ver-

tical, pero ciertamente más significativos en ese caso.

### 2. Soportes girados con respecto a las direcciones principales de los forjados

El edificio porticado de la *figura 7* pre-



Figura 6. Los esfuerzos transmitidos por el pilar citado son soportados por una pareja de vigas de gran canto (colocadas horizontalmente y formando un ángulo recto entre sí), que, vinculadas a los pilares contiguos, cubren la esquina.



Figura 7. La colocación girada de las columnas agrava la vulnerabilidad sísmica del edificio.

senta en parte de su disposición en planta un perímetro circular; sobre el segmento de circunferencia correspondiente a este último, la colocación girada de las columnas –con respecto a las direcciones principales de los forjados– sobre la trayectoria en que se presume el mayor desplazamiento horizontal en caso de sismo agrava la vulnerabilidad sísmica del edificio.

### 3. Forjados de plantas contiguas a diferente nivel y separación entre edificios

El choque entre las fachadas de edificios colindantes durante un sismo, debido a una separación entre ellos insuficiente, puede producir daños importantes; asimismo, la respuesta estructural suele ser, cuando menos, más difícil de estimar. Frente a este problema, las soluciones más comunes son:

1. Diseñar estructuras más rígidas, con



Figura 8. Es recomendable que las construcciones colindantes posean los forjados de cada planta al mismo nivel.

lo que el coste se podría elevar notablemente.

2. Emplear dispositivos de disipación de energía entre edificios.

3. Separar adecuadamente los edificios.

En lo que respecta a esta última opción, conviene señalar que:

1. Al objeto de evitar efectos añadidos en la colisión de edificios durante un sismo (los cuales son complicados de predecir), es recomendable que las construcciones colindantes posean los forjados de cada planta al mismo nivel (figura 8).

2. Dado que los efectos de un impacto son difíciles de cuantificar, debe prestarse especial atención al ancho de la junta cuando uno o más edificios de los que constituyen las construcciones colindantes tienen partes de los mismos de diferente altura y rigidez.

La NCSE-02 prescribe el cálculo del apartado 4.2.5 de la misma para confirmar el alcance entre edificios adyacentes; pero no da magnitudes límites de desplazamiento admisibles, al objeto de comprobar desplazamientos relativos entre plantas, lo cual sería útil para la protección de los elementos no estructurales (tabiques, ventanas, puertas, etc.) que acompañan a la estructura en su deformación.

Por su parte, el Eurocódigo 8, a diferencia de la norma española, prescribe

que se tengan en cuenta las solicitaciones de torsión derivadas de la acción sísmica en el cálculo de desplazamientos.

## AUTOR

**Luis Manuel Villa García**  
villa@uniovi.es  
www.epsig.uniovi.es

Técnico auxiliar F.P. I en Construcciones Metálicas (1985), técnico especialista F.P. II en Calderería en Chapa Estructural (1988), ambas por la Fundación Revilla Gigedo de Gijón; ingeniero técnico industrial en Estructuras e Instalaciones Industriales por la E.U.I.T.I. de Gijón (1991), e ingeniero industrial en Construcción por la E.T.S.I.I. de Gijón (1995). Durante algunos años desarrolla su actividad profesional en empresas dedicadas a la fabricación de transformados metálicos, bienes de equipo, calderería pesada y montajes. Actualmente es profesor del Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación de la Universidad de Oviedo y participa en diversos proyectos de investigación y contratos con empresas relativos a patología y análisis dinámico de estructuras. Ha publicado numerosos artículos científicos y técnicos, y es autor del libro *Diseño y análisis sismorresistente de estructuras de edificación*.

**UrbicAD Seguridad y Salud** SMART Solution

Estudios, Estudios Básicos y Planes de Seguridad para Instaladores de:

- Energías Renovables (Solar, ACS, Solar Fotovoltaica y Eólica)
- Eléctricos (AT/MT/BT)
- Telecomunicación (ITC)
- Transporte vertical y horizontal
- Fontanería AF/AC
- Gas
- Climatización A.A., Calefacción, etc.

UrbicAD architecture SL  
www.urbicad.com // Tel. 963 492 144

**PREPARACIÓN A DISTANCIA Y PRESENCIAL**

**CATEDRÁTICOS Y PROFESORES DE ENSEÑANZA SECUNDARIA**

- FILOSOFÍA
- LÉXICO Y CULTURA CLÁSICA
- LENGUA CASTELLANA Y LINGÜÍSTICA
- GEOGRAFÍA E HISTORIA
- MATEMÁTICAS
- FÍSICA Y QUÍMICA
- BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA
- DIBUJO
- INGLÉS
- FRANCÉS
- ALEMÁN
- MÚSICA
- EDUCACIÓN FÍSICA
- PSICOLOGÍA Y PEDIAGOGÍA
- TECNOLOGÍA
- ECONOMÍA
- FORMACIÓN Y ORIENTACIÓN LABORAL
- ASIGNATURA DE BARRERAS
- ORGANIZACIÓN Y GESTIÓN COMERCIAL
- INFORMÁTICA
- ORGANIZACIÓN Y PROYECTOS
- FABRICACIÓN MECÁNICA
- ORGANIZACIÓN Y PROCESOS DE FUNDICIÓN
- ORGANIZACIÓN Y PROYECTOS DE SISTEMAS ENERGÉTICOS
- SISTEMAS ELECTROTECNICOS Y AUTOMÁTICOS
- SISTEMAS ELECTROTECNICOS DE CONEXIONES CABLES Y SOLDADURA
- PROCESOS DIAGNÓSTICOS CLÍNICOS Y ORFOPÉDICOS
- PROCESOS SANITARIOS
- PROCESOS DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA
- INTERVENCIÓN SOCIOCOMUNITARIA
- ACERCA DEL TURISMO
- PROCESOS Y ANÁLISIS DE COORDINACIÓN
- ASISTENCIA Y PROCESOS DE MAGASINERÍA PROFESIONAL
- ANÁLISIS Y QUÍMICA PROFESIONAL
- PROCESOS DE PRODUCCIÓN AGRARIA

**PROFESORES TÉCNICOS DE FORMACIÓN PROFESIONAL**

- PROCESOS DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA
- PROCESOS COMERCIALES
- SISTEMAS Y APLICACIONES INFORMÁTICAS
- MANTENIMIENTO Y MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS
- SOLDADURA
- INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS TÉCNICOS Y DE FUNDICIÓN
- MANTENIMIENTO DE FUNDICIÓN
- INSTALACIONES ELECTROTECNICAS
- EQUIPOS ELECTROTECNICOS
- OPCION DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN
- PROCEDIMIENTOS SANITARIOS Y ASISTENCIALES
- PROCEDIMIENTOS DIAGNÓSTICOS CLÍNICOS Y ORFOPÉDICOS
- OPERACIONES Y EQUIPOS DE PRODUCTOS ALIMENTARIOS
- SERVICIOS A LA COMUNIDAD
- COCINA Y PASTISERÍA
- SERVICIOS DE RESTAURACIÓN
- TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS DE MAGASINERÍA Y FONDO
- OPERACIONES DE PRODUCCIÓN AGRARIA

**CATEDRÁTICOS Y PROFESORES DE ESCUELA OFICIAL DE IDIOMAS**

- INGLÉS
- ESPAÑOL
- FRANCÉS
- ALEMÁN

**MAESTROS DE ENSEÑANZA PRIMARIA**

- EDUCACIÓN PRIMARIA
- EDUCACIÓN INFANTE
- INGLÉS
- FRANCÉS
- EDUCACIÓN FÍSICA
- AUDICIÓN Y LENGUAJE
- EDUCACIÓN MUSICAL
- PEDAGOGÍA TERAPÉUTICA

**CEDE** C/ CARTAGENA, 129 - 28002 MADRID  
TELS.: 91 564 42 94 - FAX: 91 563 60 54  
www.cede.es - E-mail: oposiciones@cede.es