

Recomendaciones para crear diseños arquitectónicos sismo resistentes a la luz de la nueva Norma Colombiana NSR-98

Arq. L. Teresa Guevara P., Ph. D.

Apartado 17.672, El Conde
Caracas, Venezuela

Tel : (58-2) 781.2539 Fax: (58-2) 793.9853

Email: tguevara@etheron.net

tguevara@sagi.ucv.edu.ve

Resumen

En zonas sísmicas, el contexto de la edificación está definido por la amenaza sísmica. Conocer la influencia que posibles configuraciones arquitectónicas tienen en el comportamiento sismo resistente de las edificaciones, permitirá diseñarlas menos vulnerables en un contexto sísmico. La responsabilidad de cumplir con las normas sísmicas ha recaído tradicionalmente en el ingeniero estructural. La nueva Norma Colombiana NSR-98, introduce recomendaciones y responsabilidades para los arquitectos, lo cual significa un cambio en su ejercicio profesional. Este trabajo describe configuraciones arquitectónicas que influyen en el comportamiento sismo resistente de las edificaciones referidas a esta nueva Norma.

1. Introducción

Cuando los arquitectos nos preocupamos por diseñar una edificación que sea apropiada para el lugar en donde la estamos colocando, investigamos las características del contexto en donde se ubicará dicha edificación. Es decir, la vamos a diseñar con características relacionadas con dicho contexto y no con otro. Es así como nos informaremos sobre cuáles son las variables y los valores correspondientes que nos definen ese contexto específico, tales como: las diferentes temperaturas del ambiente a que estará sometida, la orientación del terreno y la insolación de la zona, la dirección y la velocidad de los vientos durante el año, las variaciones de humedad, los servicios públicos que se brindan en la zona, las características socioculturales del lugar y otra serie de factores similares.

Las variables de diseño, es decir, el programa de espacios, los sistemas constructivos y los materiales disponibles, etc., son los instrumentos de los que disponemos los arquitectos e ingenieros para formular y desarrollar propuestas arquitectónicas con condiciones apropiadas para el contexto en donde las vamos a ubicar. Dependiendo de cómo utilicemos las variables de diseño, el producto será más o menos adecuado para su contexto.

En zonas de actividad sísmica, el arquitecto tiene que incorporar la "amenaza sísmica" a su lista de variables de contexto para diseñar edificaciones que se comporten adecuadamente en dicho contexto. Conocer los efectos que tienen las posibles soluciones arquitectónicas en el comportamiento sismo resistente de la edificación, es responsabilidad de los arquitectos.

Sin embargo, tradicionalmente los arquitectos hemos supuesto que las consideraciones de diseño en el comportamiento sísmo resistente de una edificación son atribución exclusiva de los ingenieros estructurales. Es así como hemos dejado la responsabilidad de cumplir con los requisitos exigidos por las normas, las ordenanzas y las recomendaciones para el diseño de edificaciones sísmo resistentes en manos del ingeniero estructural, para poder dedicar más tiempo al desarrollo de los aspectos funcionales, estéticos y de confort del proyecto.

Es bien sabido hoy en día, que las decisiones que toma el arquitecto durante las primeras etapas del desarrollo del proyecto, relacionadas con aspectos estéticos, funcionales, de costos y relaciones espaciales, influyen en el comportamiento de las edificaciones ante un sismo. Por lo tanto, es importante enfatizar que si, desde el mismo momento en que los arquitectos iniciamos los esquemas del proyecto de la edificación, entendemos de qué manera nuestras decisiones pueden afectar dicho comportamiento, entonces podremos evitar complicaciones posteriores. De esta manera, el ingeniero estructural no tendrá que pasar por la desagradable situación de escoger entre proponer revisiones que pueden llevar hasta la reformulación del proyecto inicial, o tratar de usar soluciones estructurales muy complicadas para resolver problemas producidos por concepciones arquitectónicas inadecuadas. Se evitaría así correr el riesgo de que la complicada solución estructural propuesta, termine por no satisfacer tampoco las aspiraciones espaciales y estéticas del arquitecto.

Hasta hace pocos años las normas para el diseño y construcción de edificaciones sísmo resistentes estaban dirigidas a los ingenieros y, por lo tanto, escritas para ser utilizadas por profesionales con niveles avanzados de conocimiento sobre el cálculo y diseño de edificaciones sísmo resistentes, lo cual dificultaba al arquitecto la aplicación de los pocos índices o recomendaciones relacionadas con los aspectos de configuración arquitectónica. Hoy en día, los aspectos que tienen que ver con la solución arquitectónica de la edificación, tales como, relación con edificaciones vecinas, forma de la planta, forma en altura o elevación y dimensión, forma y distribución de los componentes estructurales y no estructurales, han comenzado a ser incluidos en la mayoría de las normas y recomendaciones para el diseño de edificaciones sísmo resistentes.

La nueva Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sísmo Resistente NSR-98 (Ley 400 de 1998, decreto 33 de 1998) ha introducido una serie de recomendaciones y ha asignado un conjunto de responsabilidades para los arquitectos, lo cual significa un cambio substancial en la enseñanza y en el ejercicio de la arquitectura en Colombia. Dentro de este conjunto de responsabilidades se enfatiza claramente que, la conceptualización espacial, el desarrollo de detalles constructivos y el diseño de los elementos no estructurales, deben ser realizadas por los arquitectos diseñadores.

El trabajo que se presenta a continuación describe: (a) un conjunto de conceptos básicos, los cuales permitirán comprender la relación entre las decisiones que tomamos los arquitectos y el comportamiento sísmo resistente de las edificaciones; (b) la descripción de algunas configuraciones arquitectónicas que influyen en el comportamiento sísmo resistente de las edificaciones, sus implicaciones y posibles soluciones, las cuales están referidas a la nueva NSR-98 y (c) algunas conclusiones

2. Algunos conceptos básicos

Se consideró indispensable incorporar en este artículo, algunos conceptos básicos que permitirán comprender un poco mejor la relación entre las decisiones que tomamos los arquitectos y el comportamiento sísmo resistente de las edificaciones.

Al ocurrir un sismo...

El suelo vibra de una manera errática lo cual afecta a la edificación en su base y, como consecuencia, el resto del edificio responde también con movimientos vibratorios. El edificio sufrirá daños cuando no pueda resistir estas vibraciones. Esto ocurre cuando la estructura sobrepasa su límite elástico y no puede regresar a su posición original sin una deformación permanente.

Como hasta ahora no podemos evitar, ni siquiera reducir, las probabilidades de que ocurra un sismo en una zona donde han ocurrido anteriormente sismos, por lo que ha sido catalogada como una zona sísmica, es conveniente primero que todo, comprender cuál es el riesgo que estamos dispuesto a correr cuando ubicamos una edificación en dicha zona. Por lo tanto, tenemos que hacer una evaluación de este contexto para saber cómo vamos a diseñar nuestra edificación para que resista los efectos de un sismo y así reducir su grado de vulnerabilidad.

Amenaza, vulnerabilidad y riesgo

La **amenaza sísmica** se define como la probabilidad de que durante un período de tiempo y lugar particulares, ocurra un sismo que produzca aceleraciones del suelo local suficientes para ocasionar daños. La amenaza sísmica constituye uno de los componentes más importantes del contexto en donde vamos a ubicar la edificación, cuando diseñamos en zona sísmica. Esta información generalmente se encuentra en la normas para edificaciones sísmo resistentes. En Colombia, se encuentra en el Capítulo A.2 “Zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño” de la NSR-98.

La **vulnerabilidad ante la amenaza sísmica** es la capacidad que tienen los elementos expuestos, tales como las edificaciones, a resistir los efectos de un sismo sin daño permanente. La NRS-98 (pág. Ley 400-5) define vulnerabilidad como “la cuantificación del potencial de mal comportamiento con respecto a una sollicitación”.

Riesgo ante la amenaza sísmica se define como las probabilidades de que en un lugar y durante un período de tiempo particulares, puedan producirse pérdidas humanas y/o materiales como consecuencia de un sismo. Estas pérdidas probables se pueden expresar en unidades monetarias, número de víctimas o cantidad de estructuras dañadas. La estimación del riesgo se hace de acuerdo con las características tanto del conjunto de elementos expuestos (grado de vulnerabilidad) como del sismo (grado de amenaza), durante un período de tiempo y lugar particulares. El **riesgo** es, por lo tanto, una función de la **amenaza** sísmica por la **vulnerabilidad** de los elementos expuestos. $R = f(a, v)$

Así que, hasta ahora, la única manera de reducir el riesgo de daño de una edificación ante una amenaza sísmica es reduciendo la vulnerabilidad. **El grado de vulnerabilidad de una edificación puede ser reducido a través de las variables de diseño, es decir, produciendo soluciones arquitectónicas sísmo resistentes**

Las fuerzas resultantes de un sismo en las edificaciones

A diferencia del viento donde las fuerzas que debe resistir la edificación le son aplicadas directamente, en el caso de los sismos, las fuerzas que debe resistir son fuerzas de inercia producidas por la propia edificación al intentar regresar a su posición de equilibrio original, en el momento en que su base se mueve por los efectos del sismo.

Al moverse la base con el suelo, las partes superiores se irán desplazando, buscando recuperar su posición original en relación con la base del edificio. Pero, debido a que estos movimientos no son constantes sino erráticos y varían en el tiempo, cada una de esas otras partes de dicha edificación, reaccionará de manera y en momentos diferentes, como consecuencia de los movimientos de traslación y rotación producidos en la base por el sismo.

El comportamiento del edificio ante las fuerzas producidas como reacción al movimiento del suelo (fuerzas dinámicas) dependen de:

- a) Las propiedades del edificio en sí, tales como: la masa del edificio, su período fundamental de libre vibración, y su habilidad para absorber las fuerzas sin daño crítico (factores de **resonancia** y de **amortiguamiento**); y
- b) Las características del sismo, las aceleraciones del suelo y la duración de la sacudida. La relación entre estos factores, afecta la magnitud de las fuerzas reales que el edificio puede resistir sin sufrir daño crítico (irreparable).

Las fuerzas sísmicas son fuerzas de inercia generadas internamente por la vibración de la masa del edificio. De acuerdo con la segunda Ley de Newton, la fuerza de inercia es directamente proporcional a la masa y a la aceleración total de la misma.

$$F = m * a$$

La fuerza cortante horizontal originada por las acciones sísmicas en la base de la edificación, se llama **fuerza cortante basal**.

En las normas, generalmente la ecuación para el cálculo de la fuerza cortante basal, viene complementada con una serie de coeficientes relacionados con: la zonificación sísmica, el tipo de suelo, la importancia del edificio y el tipo de sistema estructural.

Algunas otras definiciones

El **amortiguamiento** es la capacidad de la edificación a neutralizar o suprimir la vibración, y por lo tanto, a disipar energía.

Carga estática es aquella cuyo valor no cambia con el tiempo. Un ejemplo de carga estática lo representan las cargas muertas ya que éstas permanecen constantes (su valor no cambia) con el paso del tiempo. (Eduardo Miranda, 1998).

Carga o excitación dinámica es aquella cuya intensidad es función del tiempo, o sea que su intensidad varía con el tiempo. Un sismo es una excitación dinámica ya que las aceleraciones del terreno cambian de valor en cada fracción de segundo. (Eduardo Miranda, 1998).

Deriva Se entiende por deriva el desplazamiento horizontal relativo entre dos puntos colocados en la misma línea vertical, en dos pisos o niveles consecutivos, de la edificación.(NSR-98, pág. A-53).

Ductilidad: Es la capacidad que deben tener los componentes del sistema de resistencia sísmica de deformarse sin pérdida apreciable en su capacidad resistente.

Rigidez: capacidad de resistencia de un cuerpo a cambiar de forma al serle aplicadas fuerzas exteriores.

Resistencia sísmica en las diferentes direcciones horizontales: La NSR-98 define en A.3.1.4 “Dado que los efectos sísmicos pueden ser preponderantes en cualquier dirección horizontal, la estructura debe tener resistencia sísmica en todas las direcciones y por lo tanto el sistema estructural de resistencia sísmica debe existir en dos direcciones ortogonales o aproximadamente ortogonales, de tal manera que se garantice la estabilidad. tanto de la estructura considerada como un todo, como de cada uno de sus elementos, ante movimientos sísmicos que puedan ocurrir en cualquier dirección horizontal.”

Rígido: sin flexibilidad.

Resistencia sísmica: es la capacidad de la estructura, o componentes de ella. para resistir las fuerzas generadas como respuesta a los efectos de un sismo.

La **resonancia** es un fenómeno que se manifiesta en un sistema o cuerpo elástico al aplicarle una fuerza periódica de frecuencia igual o parecida a la del cuerpo o sistema, de manera que provoca un aumento de las vibraciones, al comportarse como un resonador.

Se dice que existe **resonancia** cuando la frecuencia de excitación coincide con la frecuencia natural del sistema y se obtiene la **amplificación** dinámica máxima. El valor de la amplificación máxima es muy sensible al nivel de amortiguamiento. Entre más pequeño es el amortiguamiento mayor será la amplificación.

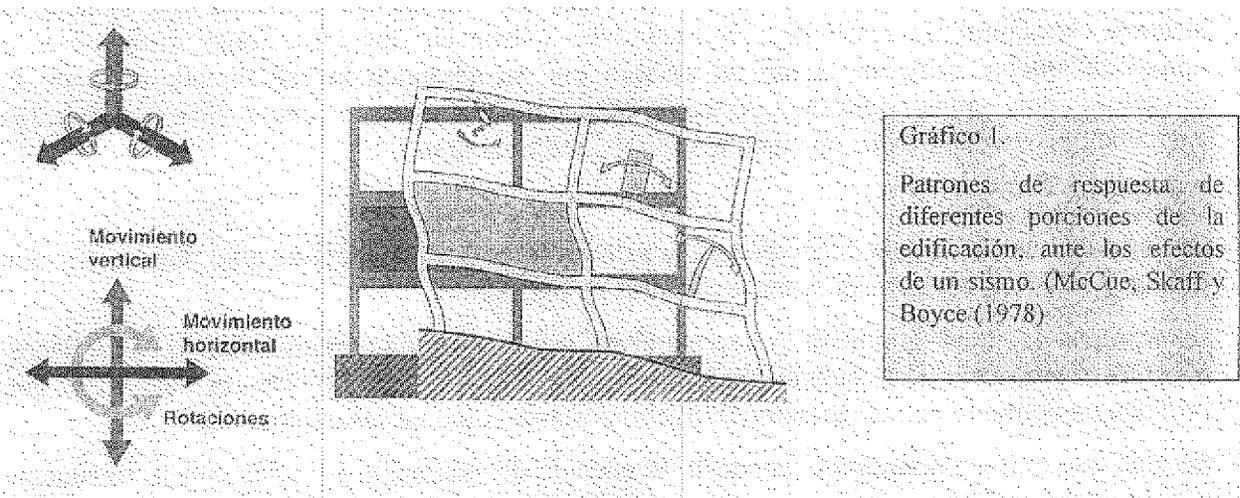
La **resonancia** entre la estructura y el suelo ocurre cuando el período de vibración del edificio coincide con el período natural del suelo, por lo que la vibración del edificio irá en aumento. Generalmente, los movimientos en las áreas cercanas al epicentro son altamente erráticas y entran en el rango de periodos cortos, como resultado, los efectos de resonancia en esta área afectara a los edificios bajos y rígidos. En las áreas distantes del epicentro, los periodos largos afectan a los edificios altos y flexibles. Un buen ejemplo de ello se observó en el sismo de México en 1985, en el que los edificios altos en la zona de la laguna (suelos blandos) de Ciudad de México entraron en resonancia. En el caso del sismo de Caracas 1967. fue evidente la relación de daño entre los edificios altos y las amplificaciones en los periodos del suelo debido a las grandes profundidades de ese suelo aluvional, lo que ocasionó resonancia y como consecuencia graves daños y hasta el colapso de algunos de estos edificios.

La respuesta del edificio a las vibraciones del suelo está relacionada con el peso del edificio, la distribución de este peso, y las características físicas de los componentes estructurales

Deformaciones producidas en las edificaciones

La respuesta total del sistema estructural (desplazamiento, rotaciones, fuerzas internas, etc.) depende de la rigidez relativa de sus elementos y de la capacidad de absorción de deformación (a la flexión y/o al corte) de los elementos verticales existentes (pantallas, columnas, etc.)

Aunque en la realidad las edificaciones se mueven en diferentes direcciones durante el sismo, generalmente se consideran tres componentes principales del movimiento: dos desplazamientos horizontales ortogonales, un desplazamiento vertical y tres rotaciones sobre cada uno de los ejes de desplazamiento. Los movimientos en cada una de las direcciones producen efectos diferentes en las distintas porciones del edificio, las cuales reaccionan de diferente manera a los movimientos de traslación y rotación del suelo, dependiendo de las características del movimiento del suelo, y a las propiedades del edificio. En el gráfico que se presenta a continuación McCue, Skaff y Boyce (1978) ilustran los patrones de respuesta de diferentes porciones de la edificación, unas con relación a las otras.



La configuración de la edificación como un todo, así como la configuración y ubicación de cada una de sus diferentes componentes, afecta la magnitud de las fuerzas reales que dicha edificación tendrá que resistir sin sufrir daño crítico cuando ocurre un sismo.

A continuación se presenta una breve descripción de las deformaciones producidas en las edificaciones como consecuencia de las fuerzas sísmicas.

Desplazamientos horizontales:

La naturaleza del movimiento del suelo que afecta a las edificaciones es predominantemente horizontal. Las fuerzas horizontales generadas hacen mover cada una de las partes de la edificación de un lado hacia otro, desplazándolas horizontalmente de su posición original unos con relación a los otros.

