

Resistencia sísmica en edificaciones de autoconstrucción – Tipos de daños y planeación

Referencia. El problema y alcances. Comportamiento sísmico estructural. Categoría y planeación de la edificación.

Referencia

Guidelines for Earthquake Resistant Non-engineered Construction. IAEE (International Association for Earthquake Engineering - Japan) and NICEE (National Information Center of Earthquake Engineering - India). 2004.

Estas guías tienen el propósito de contribuir a mejorar la resistencia sísmica de construcciones sin respaldo ingenieril, especialmente en viviendas. Comienza con los conceptos básicos sobre el desempeño de viviendas bajo sismos de alta intensidad, así como de su sensibilidad según la geometría y propiedades mecánicas del sistema que se afecta. Con esta base, se formulan reglas simplificadas de planeamiento, diseño y procedimientos constructivos prácticos, destinados a prevenir colapsos y a controlar los niveles de daños producidos por excitaciones sísmicas. Principios y soluciones dirigidas a diferentes tipos de sistemas estructurales, propios de vivienda de bajo costo en diferentes regiones y países del mundo. Aquí se presenta sólo hasta el planeamiento.

Las guías alcanzan a construcciones diseñadas y levantadas sin asistencia de ingenieros (denominadas *non-engineered buildings* en inglés), también llamadas de *autoconstrucción* debido a su ejecución espontánea e informal, siguiendo formas tradicionales, y conformando así barrios completos con características similares. Los materiales comunes son: albañilería de piedra, ladrillos, adobe, madera, o combinación de estos. Según expresa el documento, no incluye a los casos de albañilería reforzada, concreto armado, marcos de acero, y edificios altos que siguen varios sistemas estructurales.

El problema y alcances

Se expresa en la constatación, según sismos pasados, de los daños de alta intensidad que sufren las construcciones (especialmente viviendas) con los materiales y condiciones ya citados. Situación que se asocia a varios factores, como: desinterés frente al tema sísmico por desconocimiento o insuficiente valoración de los daños que ocasiona, falta de recursos financieros frente a otras prioridades, escasez local de materiales apropiados de construcción, y desconocimiento de diseño sísmico y técnicas de construcción correspondientes.

No se pone en tela de juicio los esfuerzos que deben hacerse para garantizar la seguridad sísmica de edificios de concurrencia masiva, o necesarios frente a emergencias. En los otros casos –especialmente en viviendas–, las soluciones (ojalá de bajo costo) se orientan a: no sufrir colapsos parciales o totales, no sufrir daños irreparables, o poder repararlos rápidamente.

Comportamiento sísmico estructural

Introducción

Muchos factores intervienen en el daño sísmico, como: intensidad, duración y frecuencia del movimiento, condiciones geológicas y de suelo, o calidad de la construcción. Los diseños buscan que la edificación se mantenga como una unidad. Además, factores sociales (como la densidad y situación económica de la población) y la aleatoriedad de la ocurrencia de los sismos, contribuyen a la complejidad del problema.

Con la enseñanza de sismos pasados, se adquiere conocimiento sobre el comportamiento estructural y de los mecanismos de falla, así como para derivar medidas tendientes a reducir los desastres y minimizar las pérdidas.

Efectos de un sismo: movimiento del suelo, falla del terreno, tsunamis y fuego

Movimiento del suelo

Las vibraciones que transmite el terreno a la construcción, se expresa a través de aceleraciones, velocidades y desplazamientos. La dañará, a menos que haya sido diseñada y ejecutada para resistirlos. Felizmente, diferentes experiencias han mostrado prácticas prudentes para mantener segura la edificación durante un sismo.

Falla del terreno

Se muestran a través de zonas de falla, deslizamiento de laderas, asentamientos, y licuación de arenas. Los desplazamientos a lo largo de una falla pueden ser horizontales, verticales o ambos, y pueden coincidir con la localización de alguna infraestructura. Los deslizamientos pueden destruir los edificios. Los asentamientos, los dañan. En arenas saturadas de baja densidad de tamaño uniforme, es posible la ocurrencia de su licuación, siendo importantes en presas, puentes u otras edificaciones.

Tsunamis

Se trata de ondas sísmicas producidas por el movimiento del piso del océano. Al acercarse al litoral, la velocidad disminuye pero aumenta el tamaño de las olas a 5, 8 o más metros, pudiendo devastar las zonas costeras.

Fuego

Cuando se produce a consecuencia del movimiento sísmico, puede tener resultados funestos, pues también afecta los suministros de agua y los accesos.

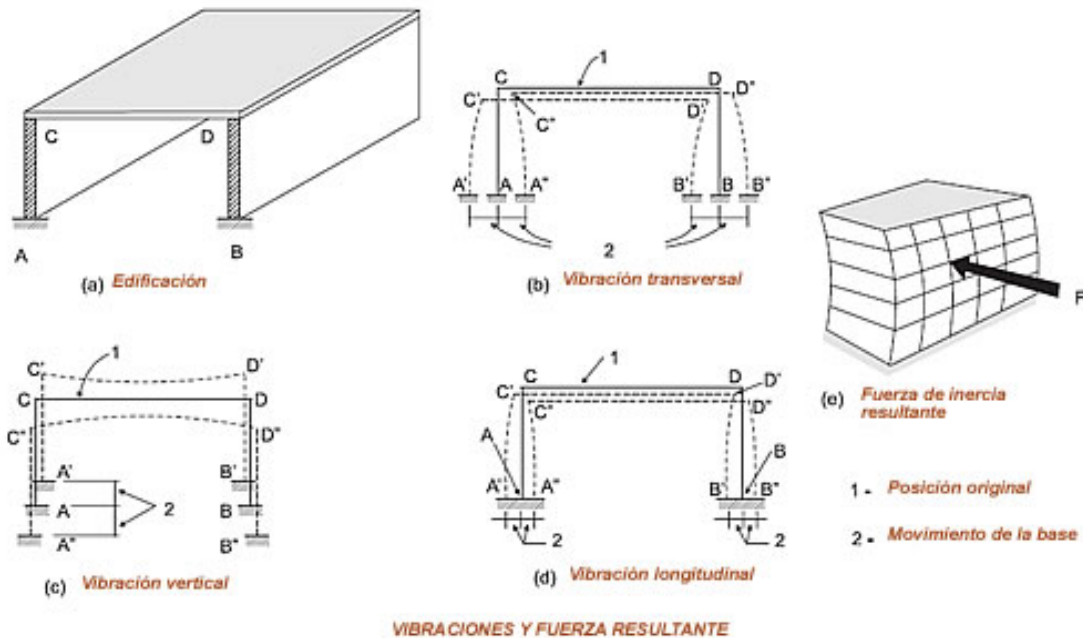
◆ **Efectos del movimiento del suelo**

La vibración transmitida a la edificación tiende a moverse en forma irregular debido a la inercia de las masas. Al igual que en un viaje en autobús, al arrancar el cuerpo tiende a ir en sentido inverso, y al revés al frenar, el edificio se mueve hacia la izquierda cuando el movimiento de la base es a la derecha, y viceversa, empujado por una **fuerza de inercia**. La realidad es más compleja de representar pues el movimiento sísmico es en las tres direcciones.

◆ **Factores de la carga sísmica**

Pese a la naturaleza compleja de las vibraciones y las correspondientes fuerzas de inercia, se suele representar una resultante, llamada **carga sísmica**, que es derivada de un grupo de factores, y que suelen representarse como:

$$F = S F_s I C W$$



El **factor de zona sísmica** S , depende de la intensidad del sismo en el terreno. Se representa en mapas con isolíneas de intensidad o de máxima aceleración.

El **factor de la cimentación** del suelo F_s , es un coeficiente numérico que expresa la resonancia edificio - lugar, y depende de la relación entre el periodo de vibración fundamental de vibración del edificio en la dirección considerada, y el período característico del lugar.

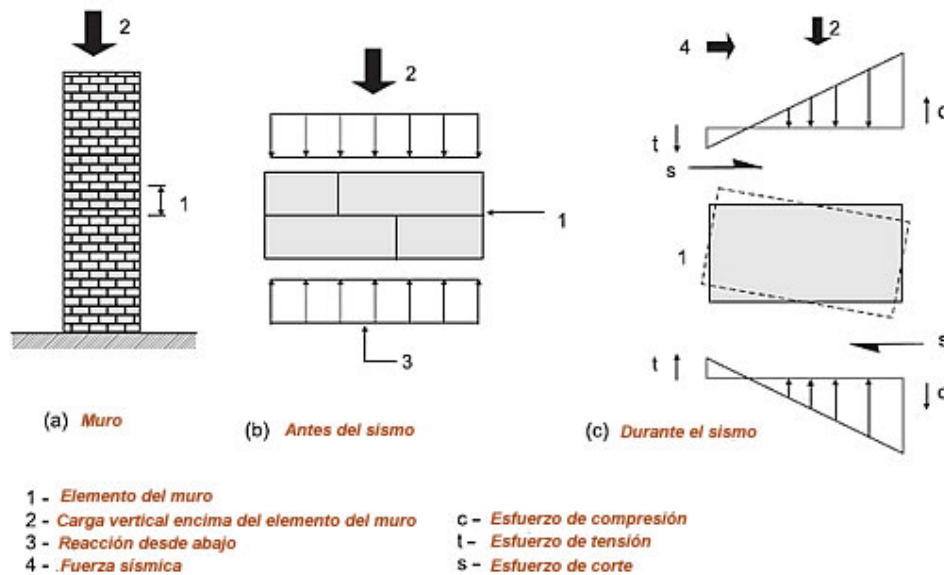
El **factor de la importancia o riesgo de ocupación** I , depende del uso del edificio, aumentando por tanto con su importancia.

El **factor de rigidez y amortiguación** de la estructura C , se incrementa con la rigidez de una masa dada (al disminuir el periodo fundamental de vibración de la estructura), y disminuye a mayor amortiguación de la misma (medida como la capacidad de disipación de energía del edificio).

El **factor del peso** de la superestructura de la edificación, W , es proporcional directamente con la fuerza de inercia en su relación con la masa del edificio. A menor masa, menor será la fuerza sísmica.

◆ **Los esfuerzos sísmicos**

Antes de un sismo, los elementos estructurales soportan cargas verticales, y al ocurrir éste, tienen también que soportar flexiones horizontales y cortes. Cuando la tensión por flexión debida al sismo excede la compresión vertical, se desarrollan esfuerzos netos de tensión. Si el material es débil para soportarlos, como en el caso de albañilería de ladrillo, ocurrirán grietas que reducen el área efectiva que resista los momentos de flexión.



CARGAS Y ESFUERZOS EN UN ELEMENTO DE MURO

◆ Los parámetros para el diseño sísmico

Entre las propiedades de los materiales están los siguientes. Resistencia en compresión, tensión y corte. Peso unitario. Módulo de elasticidad. Características dinámicas de la edificación, incluyendo periodos, modos y amortiguación. Características carga - deflexión de los componentes de la edificación.

Efectos de las condiciones del lugar

La experiencia muestra que edificios en terrenos suaves o blandos sufren más que aquellos que se ubican en roca sólida o suelos firmes. Igualmente, las condiciones topográficas también influyen en los daños. Edificaciones en zonas abiertas, generalmente se dañan menos que los ubicados en montañas o laderas.

Otros factores que influyen los daños

◆ Configuración del edificio

La regularidad y simetría en la forma de un edificio, son elementos favorables para su comportamiento ante sismos. Edificaciones en forma de L o de U, o con aleros, tienden a la torsión con el movimiento, aumentando los daños.

◆ Tamaño de aberturas

Los muros se debilitan cuando tienen aberturas facilitando los daños ante sismos. Para las que fuese necesario tener, se tomarán las provisiones para asegurar la integridad estructural.

◆ Distribución de la rigidez

Hay que buscar de distribuir en forma uniforme la rigidez de la edificación. Los cambios en pisos sucesivos, incrementan la posibilidad de daño. Las columnas o muros de corte debieran continuar desde la cimentación hasta el techo sin interrupciones o cambios de material.

◆ **Ductilidad**

Refleja la capacidad del edificio a flexionarse, balancearse o deformarse en grandes cantidades sin colapsar. Lo opuesto a la ductilidad es la fragilidad, la cual se introduce por el uso de materiales frágiles o por un diseño incorrecto. Los materiales frágiles se rompen durante la carga. Es el caso del ladrillo, el adobe y los bloques de concreto. La introducción de acero de refuerzo le proporciona ductilidad a los materiales frágiles. El propio concreto incrementa su ductilidad con el acero y la densidad de las varillas.

◆ **Cimentación**

Muchas fallas, como inclinación, agrietamiento y otras, puede deberse a un diseño inadecuado de la cimentación, y provocadas por licuación del suelo y asentamientos diferenciales.

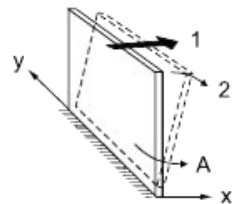
Los partidos por la cimentación indican que algunos son más susceptibles al daño que otros. Zapatas aisladas con diferentes tipos de suelos, podrán originar asentamientos diferenciales. Igualmente con diferentes tipos de zapatas. O el caso de zapatas poco profundas, que pueden resultar fácilmente deterioradas por condiciones ambientales adversas.

◆ **Calidad en la construcción**

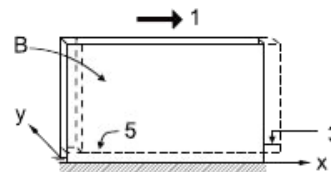
Se refiere propiamente a limitaciones de los factores causales de la producción, como materiales deficientes, escasa habilidad de los trabajadores para determinada tarea, o métodos inadecuados. Todo ello puede conducir a fallas bajo sismos.

Mecanismos de fallas

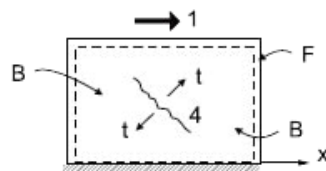
Caso de muros libres



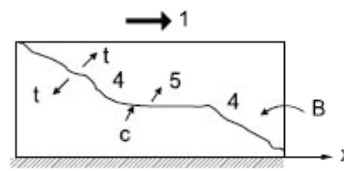
(a) **Fuerza perpendicular causando volcamiento**



(b) **Muro B sin refuerzo, con baja relación longitud/ancho**



(c) **Muro B con relación moderada longitud/ancho**



(d) **Muro B con gran relación longitud/ancho**

- | | | |
|------------|--------------------|------------------------------|
| A - Muro A | 1 - Fuerza sísmica | 4 - Agrietamiento diagonal |
| B - Muro B | 2 - Volcamiento | 5 - Agrietamiento horizontal |
| F - Marco | 3 - Deslizamiento | |

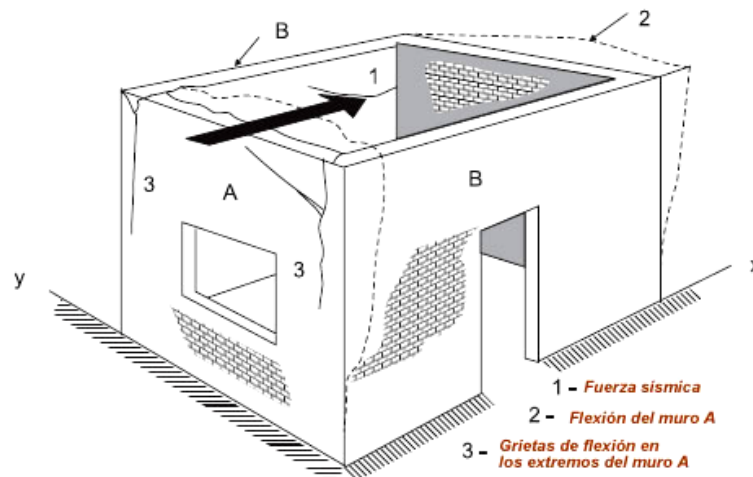
FALLAS EN UN MURO LIBRE

Según se indica en la figura, son diferentes los tipos de falla que pueden ocurrir en un muro libre. Una fuerza sísmica transversal al muro A puede

provocar su volcadura, si la resistencia por el peso y la resistencia del mortero son pequeñas.

Se observa también el caso del muro B fijado en el terreno sometido a un movimiento en su propio plano. Se trata de un muro de corte. En el caso de una baja relación longitud/ancho, desarrollará grietas horizontales debido a tensión por flexión y se deslizará por corte. Cuando esta relación es moderada, y tiene un marco que lo confina, las grietas serán diagonales. Si la relación longitud/ancho es mucho mayor, desarrollará grietas diagonales de tensión en ambos extremos, y horizontales en el centro.

Caso de cerco de muros sin techo



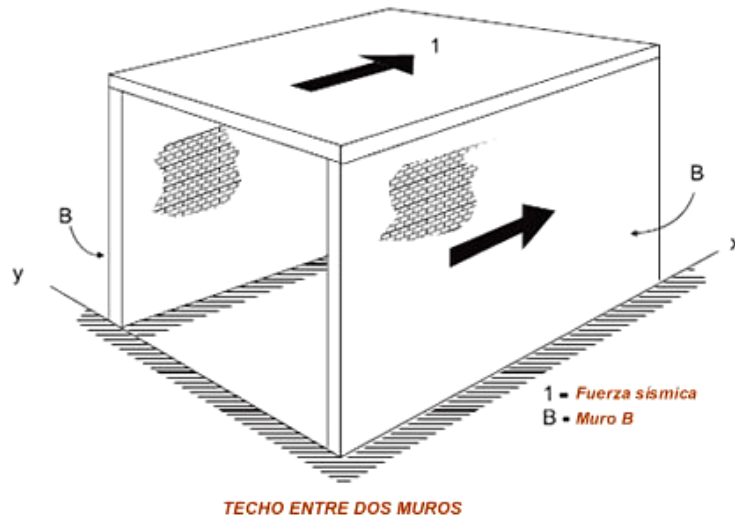
FALLA DE UN CERCO DE MUROS SIN TECHO

En un cerco de muros A y B como indica la figura, considérese la fuerza en la dirección X, en cuyo caso los muros B soportan su inercia y resisten contra el colapso de los muros A. Estos actúan como losas verticales apoyadas en sus lados verticales y en la base. Cerca de los bordes verticales, ellos soportarán momentos de flexión como placas, pero debido a que la mayoría de la albañilería sin refuerzo tiene juntas verticales débiles (entrelazadas aunque sin rellenar de mortero), fallarán las esquinas y podrían colapsar los muros. Mientras, los muros B actúan como muros de corte teniendo a los muros A como sus aleros. Si la conexión no se pierde, el cerco actuará como si fuese una caja.

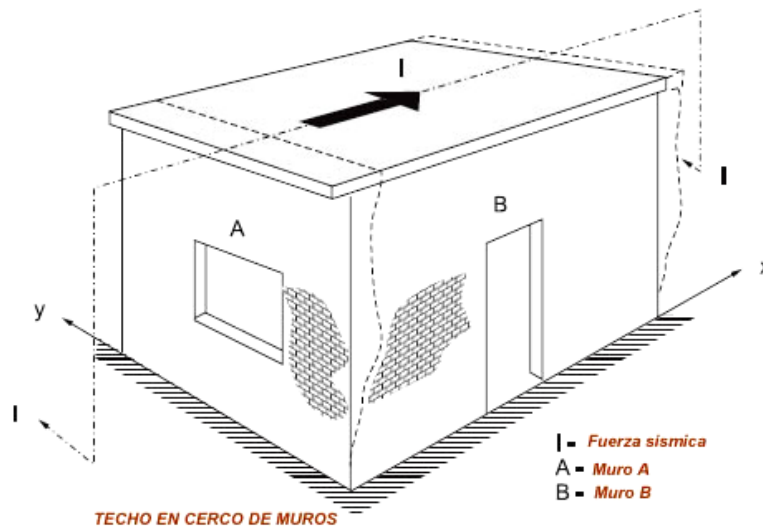
Caso de techo entre dos muros

Se trata de un techo entre dos muros B, según la figura. En el caso de una adhesión suficiente entre la losa y los muros, la fuerza de inercia de la losa se transmite a los muros causando corte y daño. Como en el caso de losas de concreto reforzado que tiene suficiente resistencia a la flexión en el plano horizontal, el comportamiento de la losa es llamado de diafragma rígido.

En el caso de una acción sísmica transversal a la indicada en la figura que sigue, la estructura colapsará por la escasa resistencia a la flexión de los muros B en el plano transversal.



Caso de techo en cerco de muros



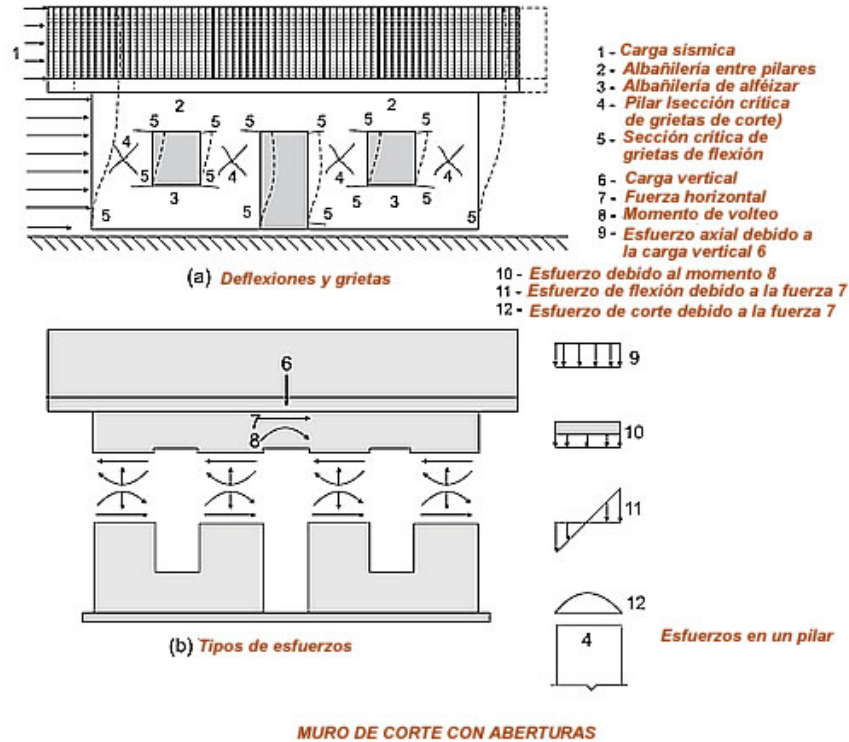
Se trata del techo de la figura, cuya estructura está sometida a una fuerza actuando según la dirección X. Un techo rígido transmitirá su fuerza de inercia a los cuatro muros en proporción a sus rigideces. La inercia del techo se transmitirá a los muros B que cuentan con mayor rigidez en la dirección X. En este caso, la acción de la placa sobre los muros A será resistida por el techo y se reducirá la flexión horizontal del muro A. Si el techo es flexible, la inercia del techo irá al muro en el cual se apoya y su acción sobre los muros A será muy pequeña. También el cerco actuará como una caja para resistir las fuerzas laterales.

La rigidez e integridad de los techos y también de los pisos, son importantes para la resistencia a sismos. Mejor si están fijados a la albañilería. En caso de no estarlo, la resistencia sólo será a través de fricción, lo cual puede ser insuficiente según la intensidad del sismo.

Caso de muro de corte con aberturas

Corresponden estos muros a la principal resistencia lateral frente a un sismo. En la figura, se presentan tres aberturas. Los pilares entre las aberturas son más flexibles que la porción del muro en alféizar o en la parte superior.

La forma de deflexión bajo fuerzas sísmicas horizontales, se esquematiza en la figura. Las secciones en el tope y en la parte superior de las aberturas son las que más sufren en tensión y en compresión. Aquella cerca a media altura de los pilares lleva los mayores cortes. En el movimiento transversal, la tensión ocurre en la parte superior de las aberturas y en las esquinas de los muros.



De esta sección

Como enseñanza de esta sección puede tomarse lo siguiente.

- Las estructuras frágiles corren el riesgo de colapsar súbitamente. Por ello se prefieren resistentes, capaces de deflectarse o deformarse ampliamente.
- Los elementos resistentes, como los muros de corte o los arriostres, deben estar presente a través de la edificación, en ambas direcciones, arriba y abajo.
- Los muros y techos deben estar fijados en conjunto como una unidad integrada, para que durante un sismo transfieran fuerzas a través de las conexiones y prevenir su separación.
- La edificación debe estar bien conectada a una buena cimentación en el terreno. Deben evitarse los suelos húmedos y blandos, y preferentemente la cimentación debe estar integrada entre si y fijada al muro.
- Debe cuidarse que todos los materiales sean de buena calidad, protegiéndolos de efectos adversos del medio ambiente, y cuidar que no pierda su resistencia.
- La albañilería y el adobe no reforzado, no tienen una resistencia confiable a la tensión, y son frágiles a la compresión.

Categoría y planeación de la edificación

Introducción

Las buenas prácticas para edificaciones (desde su planeamiento y diseño) suelen ser simples y de poco costo, y su uso ayuda a prevenir daños en sismos moderados y severos. Son sustentadas por principios como los siguientes.

- En el planeamiento y trazado de la edificación deben considerarse la adecuada localización de cuartos y muros, aberturas como puertas y ventanas, así como el número de pisos. En esta etapa, también deben ser considerados aspectos de localización y cimentación.
- En los aspectos estructurales que tienen que ver con el trazado, debe proveerse suficiente resistencia lateral.
- También para la estructuración, hay que tomar una seria consideración a las cargas elevadas y a secciones críticas, especialmente en sus necesidades de refuerzo.

Categoría de edificios según su resistencia sísmica

◆ Parámetros

Para categorizar un edificio en relación con la resistencia sísmica que pueda alcanzar, se deben tomar en cuenta los siguientes tres parámetros: la intensidad sísmica de la zona de localización, la importancia de la edificación, y la solidez del suelo de cimentación.

◆ Zonas sísmicas

En la guía de esta referencia, se utiliza la escala MSK (Medvedev, Sponheuer, Kárnik, en 1964) para especificar las siguientes zonas:

Zona A: riesgo de amplio colapso y destrucción (MSK IX o mayor).

Zona B: riesgo de colapso y fuerte daño (como MSK VIII).

Zona C: riesgo de daño (como MSK VII).

Zona D: riesgo de daño menor (como máximo MSK VI)

◆ Importancia de la edificación

Puede utilizarse la siguiente calificación:

Importante: hospitales, clínicas, edificios de comunicaciones, estaciones de bomberos y policías, facilidades de suministro de agua, cines, teatros, salas de reuniones, escuelas, dormitorios, tesoros culturales (museos, monumentos, templos), etc.

Ordinarios: viviendas, hostales, oficinas, almacenes, fábricas, etc.

◆ Capacidad de soporte del suelo de cimentación

Se consideran tres tipos de suelos:

Firmes: con capacidad de carga de más de 10 t/m².

Suaves o blandos: con capacidad de carga menos o igual que 10 t/m².

Débiles: para suelos proclives a grandes asentamientos diferenciales, o licuación durante un sismo. Corresponden a una situación muy riesgosa para las edificaciones, requiriéndose investigaciones especiales.

◆ Categorización

Como resultado de la combinación de los factores anteriores, la guía considera la siguiente categorización.

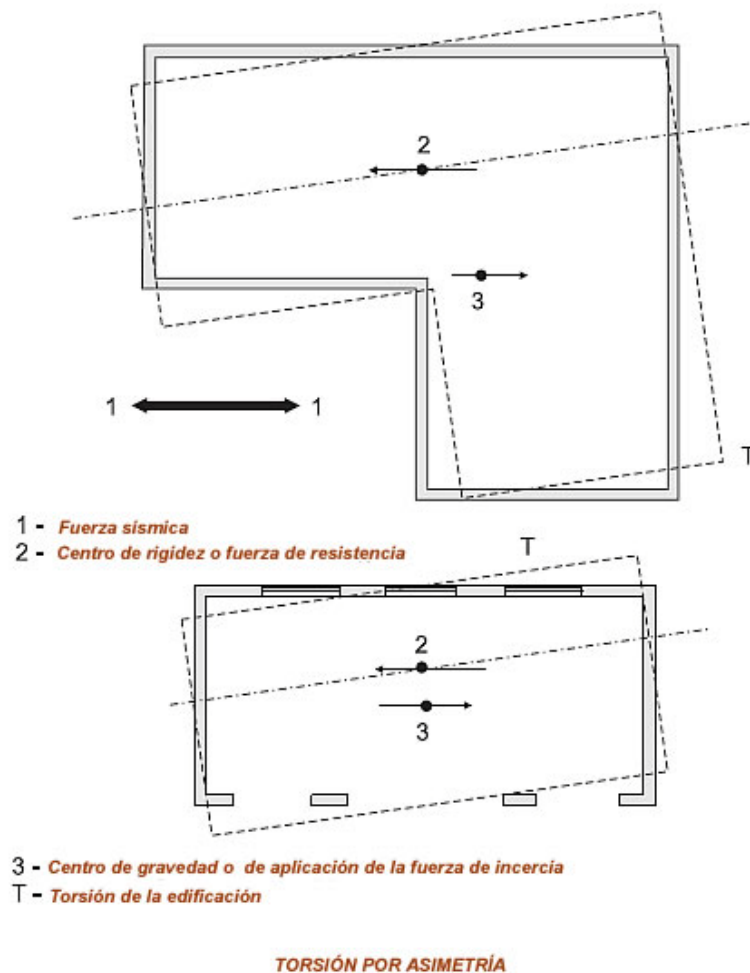
I: edificios importantes en suelos blandos en zona A.

II: edificios importantes en suelos firmes en zona A, edificios importantes en suelos blandos en zona B, edificios ordinarios en suelos blandos en zona A.

III: edificios importantes en suelo firme en zona B, edificios importantes en suelo blando en zona C, edificios ordinarios en suelo firme en zona A, edificios ordinarios en suelo suave en zona B.

IV: edificios importantes en suelo firme en zona C, edificios ordinarios en suelo firme en zona B, edificios ordinarios en suelo firme en zona C.

Planeamiento general



Las siguientes características deben ser tomadas en cuenta en el planeamiento general de la edificación.

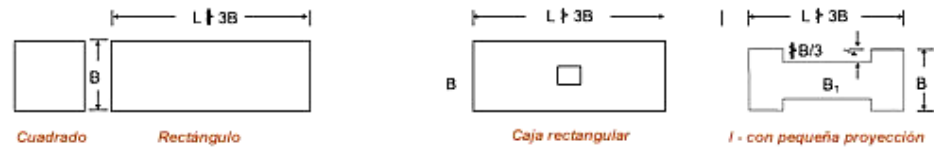
◆ Simetría

Es recomendable que la edificación como un todo o en sus bloques mantenga simetría en ambos ejes. La asimetría conduce a torsión en

caso de sismos. Para la asimetría también debe considerarse la ubicación y tamaño de puertas y ventanas.

◆ **Regularidad**

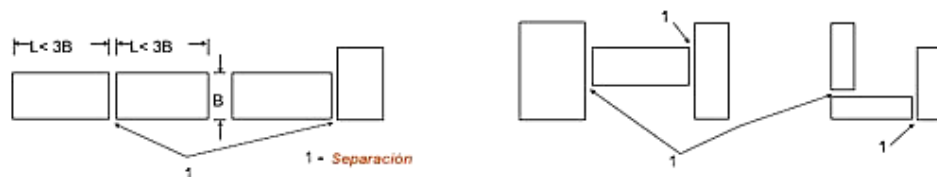
Formas regulares simples, como la rectangular, se comportan mejor en caso de sismos. Se tomará en cuenta que en rectángulos muy largos, se presenta el riesgo de torsión como efecto del movimiento terrestre. Es entonces deseable que la longitud del bloque no sea mayor de tres veces el ancho, siendo recomendable también una separación adecuada en caso de bloques contiguos.



(a) *Piantas simétricas deseables*



(b) *Piantas alargadas o asimétricas indeseables*



(c) *Uso de separación para mejorar las plantas (Separación del orden de 1 cm por altura de piso, mínimo 3 cm)*

PLANEAMIENTO DE BLOQUES DE EDIFICACIONES

◆ **Separación de bloques**

Es recomendable hacerla en edificios grandes para tener simetría y regularidad de cada bloque. La separación entre ellos debe ser de cuando menos de 3 a 4 cm (para el caso de máximo 3 pisos), a fin de evitar el golpeteo y daños entre edificaciones contiguas.

◆ **Simplicidad**

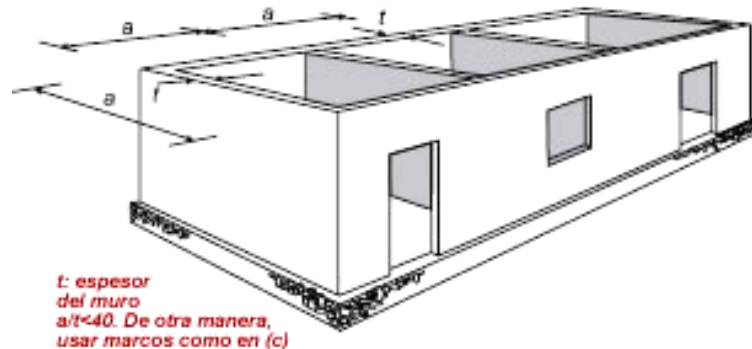
Es recomendable evitar ornamentos como cornisas, voladizos, enchapados y similares, por el riesgo que representan en caso de sismos. Si son diseñados, considerar un coeficiente de 5 veces el empleado en la estructura principal.

◆ **Ambiente cerrado**

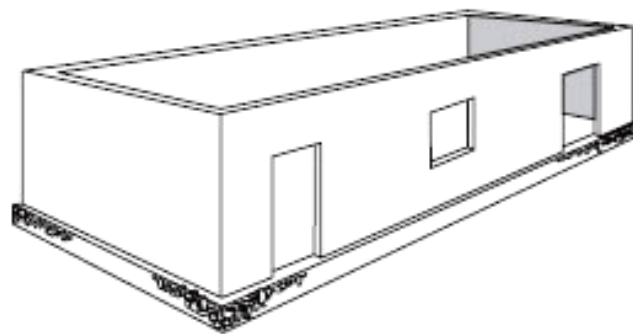
Estructuralmente es aconsejable tener cuartos separados en vez de un ambiente largo. Para muros sin marcos de espesor t , la separación a entre muros no debe ser inferior a $40t$. Es recomendable utilizar morteros de proporción cemento/arena de 1:6 o más. Para grandes paneles o muros delgados, pueden introducirse enmarcados adecuados.

◆ **Separación para diferentes funciones**

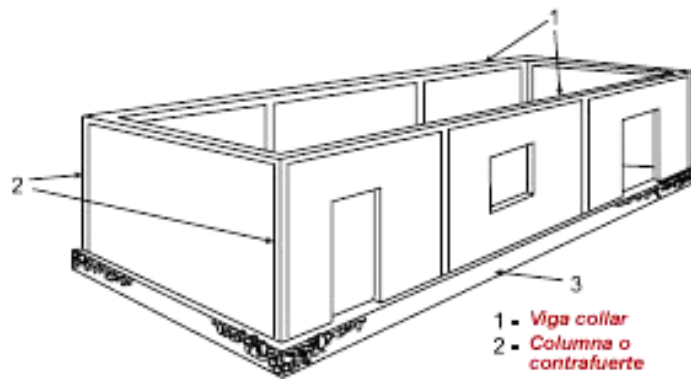
En edificaciones como hospitales, escuelas, salones de reuniones, residencias, edificaciones de comunicaciones y seguridad, y similares, puede ser económico planear bloques separados para diferentes funciones, que también obedecen a diferentes exigencias de resistencia.



(a) **Muchos muros transversales, pequeñas cajas: sísmicamente fuertes**



(b) **Sin muros transversales, gran caja: sísmicamente débil**



(c) **Muros con marcos, usualmente de concreto reforzado**

DIVISIÓN INTERNA DE BLOQUES O ENMARCADO