

VULNERABILIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA EDUCATIVA

Preparado por Ing. William Enrique Sáenz Campos
Arquitectura Escolar

INFRAESTRUCTURA FÍSICA EDUCATIVA

Debe entenderse el concepto de infraestructura física educativa como el conjunto de bienes muebles (mobiliario y equipo) e inmuebles (terrenos, construcciones y áreas afines) de los cuales hacen uso las comunidades educativas (alumnado y personal docente y administrativo) para los propósitos básicos de la enseñanza y el aprendizaje.

VULNERABILIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA EDUCATIVA

El concepto de vulnerabilidad de la infraestructura física educativa puede describirse como la propensión intrínseca del conjunto de elementos estructurales y no estructurales de los espacios físicos de ser dañados ante la ocurrencia de eventos desastrosos.

La vulnerabilidad de la infraestructura física de las instituciones educativas depende de:

a.- El entorno físico en el cual los espacios físicos están ubicados.

Las condiciones regionales del entorno físico actúan como atenuantes o agravantes de la vulnerabilidad de la infraestructura física educativa y se clasifican, asimismo, por su origen natural o antrópico.

Propiedades atenuantes del entorno físico pueden ser la variedad de servicios públicos existentes en el lugar, así como el grado de desarrollo de dichos servicios.

Algunos ejemplos de condiciones agravantes son:

CONDICIONES	• Las características geológicas y topográficas de la zona. • La cercanía a elementos amenazantes tales como fallas geológicas, volcanes, ríos, taludes susceptibles de deslizarse por efecto de sismos o lluvias intensas, y otros.
-------------	--

INTRÍNECAS	• La existencia de plantas industriales donde se manejan sustancias incendiables, explosivas o venenosas. • Cercanía a otras obras que son intrínsecamente amenazantes debido a errores de diseño y construcción. Dos ejemplos pueden ser edificaciones que puedan colapsar o incendiarse, y los terraceos u otros movimientos de tierras intencionales que pongan en peligro la planta física de centros educativos existentes.
------------	---

b.- Las características intrínsecas de la infraestructura física.

Estas características se clasifican:

ESTRUCTURALES	Se relaciona con los elementos que componen una ESTRUCTURA, la cual a su vez se define como un sistema cuyos miembros (cimientos, columnas, vigas, muros y armaduras) cumplen la función de soportar y transmitir las cargas a las que están sometidos dentro de los requerimientos de seguridad y servicio. Estas cargas se corresponden al propio peso, a las generadas por el servicio, y a los requerimientos extraordinarios generados por eventos de índole desastrosa.
---------------	---

NO ESTRUCTURALES	Se refieren con los elementos constructivos complementarios de una estructura en sus requerimientos de seguridad y servicio, y que cumplen función como cerramientos (como paredes no estructurales, ventanería, puertas, etc.), y como sistemas vitales (como el sanitario y el de energía). Dentro de esta misma clasificación se enmarca el equipamiento conformado por el mobiliario y el equipo.
------------------	--

VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LOS ESPACIOS FÍSICOS EDUCATIVOS

Para concretar las características de vulnerabilidad es necesario identificar los eventos desastrosos más comunes que pueden afectar las estructuras de la infraestructuras de la infraestructura física educativa y el conjunto de espacios físicos típicos en Costa Rica.

Eventos desastrosos más comunes que pueden afectar las estructuras de la infraestructura física educativa en Costa Rica

Para definir la vulnerabilidad estructural de la infraestructura física educativa en nuestro país es conveniente identificar cuáles son los eventos desastrosos más comunes que pueden incidir sobre las estructuras. Las calamidades naturales más usuales, y también más impactantes, son: las inundaciones, los tornados y vendavales, los sismos y los deslizamientos del suelo causados por lluvias intensas, sismos o la configuración natural. Los desastres antrópicos más usuales son el vandalismo, como una forma de terrorismo perpetrado por antisociales, así como los incendios.

Espacios físicos educativos más comunes en Costa Rica

El universo de espacios educativos de Costa Rica se puede clasificar, por conveniencia de identificación, en edificaciones antiguas y contemporáneas. Esta clasificación es posible porque a partir de mediados del presente siglo los gobiernos generalmente optaron, debido a razones principalmente económicas, por construir espacios físicos livianos, de un solo nivel, y de poca altura; y más recientemente, se ha tendido a la utilización elementos prefabricados en la construcción de este tipo de obras. Las edificaciones antiguas son los inmuebles construidos en algunas zonas urbanas en distintas épocas y que contemplan estilos arquitectónicos particulares.

Actualmente las instituciones gubernamentales encargadas de la normalización, el diseño y construcción de las edificaciones educativas tales como el CENIFE y la DGEN del MOPT continúan en el desarrollo de infraestructura con las características de las construcciones modernas, situación que se prevé no cambiará en los años venideros.

Sobre la base de lo anterior, en el presente trabajo se enfocan los aspectos relacionados con la vulnerabilidad estructural a las edificaciones educativas contemporáneas, mas no sobre las edificaciones antiguas, para los cuales se requieren análisis propios.

PRINCIPALES FACTORES DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LOS ESPACIOS FÍSICOS EDUCATIVOS

Los principales factores que inciden sobre la vulnerabilidad estructural son:

- I.- La necesidad de acciones de mantenimiento de la planta física.
- II.- Problemas relacionados con la ubicación de las estructuras.
- III.- Problemas de configuración de las edificaciones.
- IV.- Deficiencias constructivas.

I.- Necesidad de acciones de mantenimiento de la planta física

El mantenimiento de la infraestructura física educativa se conoce como el conjunto de las actividades técnicas y administrativas realizadas en forma periódica y sistemática por parte de las comunidades educativas, con el propósito de conservar al máximo las características de seguridad y funcionalidad apropiadas de los centros educativos, con el correspondiente aumento de la vida útil de los mismos.

El mantenimiento que se necesita desarrollar en cualquier institución se clasifica en tres tipos:

a.- Mantenimiento Recurrente:

Es el conjunto de las tareas cotidianas de limpieza, ordenamiento y protección de la infraestructura física.

b.- Mantenimiento Preventivo:

Corresponde al acervo de acciones aplicables a la infraestructura física con el fin de conservarla tan parecida como sea posible a su estado original y retardar al máximo su deterioro.

c.- Mantenimiento Correctivo:

Se conoce como el grupo de actividades de reparación o reconstrucción de los diferentes elementos de la infraestructura física, que hayan sufrido serio deterioro por falta de mantenimiento preventivo, eventos desastrosos o el deterioro normal. Estas acciones deben ser realizadas por personal calificado.

II.- Problemas relacionados con la ubicación de las estructuras.

La ubicación de las estructuras condiciona su vulnerabilidad por los siguientes factores:

- a.- Ubicación de la estructura en un terreno que por razones geológicas o hidrológicas resulta ser inapropiado.

Los problemas geológicos locales más comunes se presentan cuando las estructuras de un centro educativo se asientan en un terreno susceptible de recibir el impacto de derrumbes de rocas y suelo; así como cuando el mismo terreno sobre el que se apoya las estructuras es sujeto a deslizamiento. Hidrológicamente hablando, el principal problema se relaciona con estructuras ubicadas en terrenos susceptibles de ser socavados por la acción de correntadas de agua de quebradas o ríos crecidos.

- b.- Características naturales del suelo.

Las características naturales del suelo desarrollan un papel fundamental en la vulnerabilidad de las estructuras ante los sismos. Los principales fenómenos adversos que se pueden presentar en los suelos a consecuencia de los sismos son la amplificación de las ondas sísmicas debido a profundos mantos de suelo arcilloso, y la licuefacción de suelos de arena fina y saturada. De estos fenómenos, el más corriente en Costa Rica ha sido la licuefacción, como lo revelaron los terremotos de Cóbano en marzo de 1990 y de Limón en abril de 1991. Cuando un suelo manifiesta licuefacción, actúa como un fluido viscoso por lo que pierde su capacidad soportante y puede hacer que la estructura se hunda. Otros problemas no relacionados con los sismos, sino más por las propiedades mecánicas naturales son los cambios volumétricos de suelos arcillosos, y los asentamientos de suelos mal consolidados.

III.- Características de configuración en el diseño.

La configuración de un edificio se relaciona con la forma espacial del mismo de acuerdo con el tipo, la disposición, la fragmentación, la resistencia y la geometría de los diferentes elementos estructurales, y desarrolla un papel muy relevante en la determinación de la vulnerabilidad de toda la estructura ante la acción de eventos desastrosos más

impactantes sobre las mismas, los cuales son los sismos. Los principales problemas de configuración de las estructuras se clasifican como sigue:

- a.- **Longitud horizontal de la edificación.**
- b.- **Susceptibilidad a la torsión.**
- c.- **Grado de Redundancia.**
- d.- **Flexibilidad.**
- e.- **Incompatibilidad estructural entre elementos flexibles y rígidos.**
- f.- **Cambios de la forma de una edificación en planta.**
- g.- **Concentraciones verticales de masas (tendencia al volcamiento).**
- h.- **Columnas y pisos débiles.**

a.- Longitud horizontal de la edificación

El movimiento ondulatorio del suelo sujeto a la acción de un sismo hace que la excitación o efecto que se ejerza en un punto de apoyo de estructura de una edificación larga sea diferente del que actúa en otro lugar de la cimentación, lo cual incrementa las deformaciones y los esfuerzos en esa estructura. Este efecto es mayor, cuan más largo sea la edificación.

Sobre la base de lo anterior se aconseja no desarrollar pabellones de espacios educativos muy largos cuando los mismos son construidos o ampliados, situación a la que se tiende a razón de la economía resultante de compartir marcos estructurales entre las aulas. Se pueden diseñar obras segmentadas y unidas con juntas de expansión concebidas apropiadamente para evitar los choques entre los secciones del inmueble y que permitan compartir los marcos estructurales convenientemente.

b.- Susceptibilidad a la torsión

Se manifiesta como el giro en el plano horizontal de una estructura con respecto a sus apoyos, lo cual causa la deformación física de la misma y, dependiendo del grado de torsión, serios daños estructurales e, inclusive, el colapso de la edificación. Este problema es debido principalmente a la excentricidad entre el centro de masa de la estructura, sobre la cual se concentrarán los efectos de las fuerzas horizontales, y la configuración de la rigidez. A este efecto de torsión, llamado elástico, se le debe sumar el inelástico, correspondiente al predominio de la resistencia sobre la rigidez en los elementos sujetos a cargas intensas, como también la torsión natural que el suelo suministra a la estructura durante un sismo.

El problema de la torsión elástica en las edificaciones educativas contemporáneas no es significativo cuando existe uniformidad de los

elementos estructurales y los de cerramiento, pero sí es relevante en los situaciones cuando exista heterogeneidad, como por ejemplo cuando en un aula una pared lateral sea de madera , y por tanto liviana y flexible, mientras la otra sea de concreto, y por consiguiente más rígida.

c.- Grado de redundancia

La redundancia de una estructura está relacionado con el concepto de distribuir las acciones o cargas a las que está sujeta, en la mayor cantidad concebible de elementos estructurales. Dado que el diseño sismoresistente contempla la posibilidad de daños de los elementos estructurales para sismos intensos, es conveniente que la resistencia sísmica de la estructura no dependa principal o totalmente de unos pocos elementos, los que al fallar pueden provocar el colapso parcial o total de la estructura, a falta de resistencia de los elementos restantes.

La generalidad de las edificaciones educativas contemporáneas poseen un aceptable grado de redundancia estructural, dado que cuentan con varios elementos estructurales, cuyo número varía según el tipo de construcción, distribuidos simétricamente.

d.- Flexibilidad

La flexibilidad de una estructura se puede entender como su capacidad de moverse ante un sometimiento de cargas sin que ello implique necesariamente su falla por falta de resistencia. Esta característica puede permitir que la estructura disipe mejor la energía impartida por un sismo a través del suelo. Se debe mencionar que, en el caso de edificaciones altas, el comportamiento estructural flexible puede hacer que los desplazamientos sean tan grandes que incrementen los esfuerzos en los elementos más allá de su resistencia causando serios daños estructurales. En el caso de una estructura con adecuada ductilidad, se puede permitir un mecanismo de falla lento, lo cual es una característica a favor de los procedimientos de evacuación, asimismo, ello puede evitar el colapso del inmueble aunque hubieren daños severos.

Las edificaciones educativas contemporáneas con elementos prefabricados, y en especial metálicos, al ser espacios livianos y de poca altura, generalmente han presentado un comportamiento adecuado ante sismos intensos cuando los elementos de cerramiento han sido a su vez flexibles (paredes divisorias con armadura de madera o metálica, con cubiertas de madera contrachapada o de láminas de fibrocemento).

e.- Incompatibilidad estructural entre elementos flexibles y rígidos

La incompatibilidad estructural se presenta cuando existen diferencias entre los mismos elementos estructurales, y entre éstos y los

elementos de cerramientos, lo cual puede causar un comportamiento inadecuado de respuesta ante los sismos. Un claro ejemplo de esta inconveniente situación ha ocurrido cuando han sido construidas aulas con estructuras metálicas, y por consiguiente flexibles, con cerramientos de mampostería de bloques de concreto, que son elementos rígidos. El resultado general de este tipo de combinación ha sido la falla, e inclusive el colapso, de los elementos rígidos, especialmente en las juntas.

La construcción de estos sistemas constructivos mixtos debe ser evitada. En los casos de construcciones existentes se pueden sustituir los cerramientos rígidos por flexibles, o independizar los primeros de la estructura flexible proveyendo juntas adecuadas para evitar el golpeteo, además de suministrar los elementos requeridos para suministrarle estabilidad ante un sismo.

f.- Cambios de la forma de una edificación en planta

Cuando en una edificación continua se presenta un cambio sus dimensiones en planta como el ancho del inmueble, o en la dirección del eje principal creando formas de edificios en "L" , o "T" , etc., se generan concentraciones de esfuerzos en esas zonas, por lo que se recomienda hacer que estos cambios sean graduales o segmentar las edificaciones y colocar juntas que permitan a los bloques moverse independientemente durante un sismo.

g.- Concentraciones verticales de masas

Debido a que las aceleraciones de respuesta de una estructura ante un sismo aumentan con la altura de la misma, se recomienda tratar de concentrar los elementos no estructurales pesados cerca del suelo, ya que con ello se minimizan el efecto de volcamiento y los esfuerzos a los que son sometidos los elementos de la estructura.

Atendiendo esta recomendación, se deben evitar la colocación de elementos tales como: tanques de agua, maquinaria pesada, almacenes, bibliotecas, encima de los espacios de concentración de personas en los centros educativos, tales como aulas, comedores, salones, áreas administrativas, etc. Asimismo, se deben evitar prácticas constructivas inadecuadas como, por ejemplo, la construcción de paños muy largos de paredes de bloques de concreto sin suministrarle adecuada estabilidad mediante una correspondiente columna, la utilización de bloques de concreto ornamentales en los ventanales ya que constituyen un cerramiento no reforzado de gran peso; así, como evitar construir pasillos cuyo techo lo constituye pesadas losas de concreto.

h.- Columnas y pisos débiles

Estos problemas se presentan principalmente en edificaciones de varios pisos. La debilidad una columna puede deberse a que su resistencia sea inferior a la de las vigas que se apoyan en ella, o a que tenga configuración de columna corta al estar, parte de la misma, arriostrada parcialmente por elementos rígidos como muros o losas, y lo cual conlleva a que se exceda primeramente la resistencia por cortante antes de por flexión. Un piso es débil cuando su altura es diferente en relación a la del resto de los niveles, lo cual minimiza la rigidez y la resistencia de las columnas de ese nivel; otra causa de piso débil es cuando se pierde la continuidad vertical de los elementos estructurales tales como columnas y muros.

IV.- Deficiencias constructivas.

Dentro de este término se enmarcan todas aquellos defectos que por negligencia de los individuos involucrados en el proceso constructivo (operarios, maestro de obras o profesional inspector) afectan el grado de calidad de una construcción (concretos de baja resistencia, omisión de refuerzo de acero, etc.)

Este problema principalmente se presenta cuando las comunidades construyen los espacios físicos sin la adecuada asesoría e inspección de un profesional calificado.

RIESGOS ESTRUCTURALES ACEPTABLES

Los criterios de diseño sísmoresistente especificados en los reglamentos modernos reconocen, implícita o explícitamente, que el objetivo de sus procedimientos es limitar la probabilidad de colapso ante sismos intensos, aún a costa de daños severos y, sólo para sismos moderados, se pretende que la estructura permanezca intacta. De no tomarse esta consideración, el diseño de una edificación a prueba de una amenaza sísmica con un periodo de recurrencia muy alto sería prohibitivo en vista del costo económico de la estructura, pues las solicitaciones de carga de un sismo severo son elevadas y de carácter muy aleatorio.

IMPORTANCIA DE LA REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL Y NO ESTRUCTURAL DE LOS CENTROS EDUCATIVOS.

La necesidad de identificar y minimizar, sino eliminar, las características de vulnerabilidad de la infraestructura física educativa se fundamenta en las siguientes consideraciones:

- i.- Los centros educativos son lugares de concentración masiva de personas.
- ii.- La mayoría de estos usuarios está constituida por los educandos, quienes son altamente susceptibles de actuar en forma desorganizada y poco racional durante la eventualidad de un desastre.
- iii.- Usualmente las edificaciones escolares resultan ser adecuados centros de atención de refugiados después de un desastre, debido a la posibilidad de habilitar fácilmente amplios espacios mediante la remoción del mobiliario y a que el servicio regular de estos inmuebles puede ser transitoriamente suspendido hasta la superación de las condiciones críticas de la comunidad circunvecina.

Es por la última razón expuesta, que se recomienda no solo salvaguardar la salud de los usuarios de los centros educativos, sino también proteger la integridad de la misma estructura y de sus elementos complementarios no estructurales. Se da el aumento de la demanda por este tipo de espacios físicos, aunque con una finalidad distinta a la usual

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES SOBRE REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

Dado que las edificaciones educativas antiguas fueron diseñadas y construidas sin la ayuda de los desarrollos tecnológico y cognoscitivo modernos en la ingeniería sísmoresistente patentes en los últimos reglamentos, y en especial en el Código Sísmico de Costa Rica que fue primeramente publicado en 1987, es necesario evaluar particularmente la vulnerabilidad de este tipo de inmuebles ante la amenaza sísmica.

Las edificaciones educativas contemporáneas reúnen, en su mayoría, condiciones estructurales adecuadas, principalmente por su liviandad y simetría, para soportar las solicitaciones a las que son sometidas durante la acción de los sismos, los cuales son los eventos desastrosos en Costa Rica que más impactan sobre las estructuras. Excepciones a esta consideración corresponden generalmente a aquellos espacios donde se incurre en errores de incompatibilidad estructural.

Debido a la naturaleza incierta de las solicitaciones a que es sometida una estructura por los eventos desastrosos, y en especial por los sismos, se recomienda plantear el diseño estructural evitando configuraciones riesgosas, mediante construcciones simétricas y con elementos estructuralmente compatibles entre sí.

Es necesario que el diseño o construcción de cualquier espacio físico cuente con la asesoría y la supervisión de un profesional en ingeniería civil o arquitectura; para ello se espera que las municipalidades de cada cantón, como entidades comunales encargadas para tal fin, coadyuven en la vigilancia de este importante requisito.

Es importante capacitar y crear conciencia sobre las comunidades educativas a través del SINACOM para que identifiquen y adviertan sobre las condiciones de las estructuras y de los terrenos sobre las que se asientan que aumentan la vulnerabilidad ante distintos eventos desastrosos, haciendo uso de la ayuda que entidades gubernamentales y no gubernamental puedan prestar para minimizar tales condiciones de vulnerabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

Asociación Costarricense de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. CÓDIGO DE CIMENTACIONES DE COSTA RICA. Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago, 1994.

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA. Editorial Tecnológica de Costa Rica, 1987.

Organización Panamericana de la Salud. MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LAS INSTALACIONES DE LA SALUD/ EVALUACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA Y ESTRUCTURAL VOLUMEN IV: ASPECTOS DE INGENIERÍA. Organización Panamericana de la Salud, 1993.

Sauter, F. INTRODUCCIÓN A LA SISMOLOGÍA, FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA SÍSMICA. Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago, 1989.

Wakabayashi, M. y Martínez R., E. DISEÑO DE ESTRUCTURAS SISMORESISTENTES. McGraw-Hill/Interamericana de México, 1988.