

DISEÑO DE OBRAS CIVILES IMPORTANTES
TAREA MULTIDISCIPLINARIA

Ing. Miguel F. Cruz A., M.Sc.

RESUMEN

Se presentan en este trabajo los aspectos del diseño que deben ser considerados para obtener una obra segura contra los riesgos a que se verá expuesta. Es importante señalar que esta labor no corresponde solamente a una disciplina sino a un grupo multidisciplinario.

Es necesario reconocer las características de los diferentes riesgos tales como, sismos, avalanchas, inundaciones, etc. así como los aspectos geotécnicos del sitio donde será ubicada la obra.

Es importante considerar los aspectos urbanos de la localización de la obra considerándola como un centro vital a la hora de la catástrofe.

Así mismo la distribución interna, arquitectónica, industrial o electromecánica debe ser objeto de diseño considerando la operación bajo condiciones de emergencia.

Finalmente es necesario mejorar los códigos de diseño estructural correspondientes a obras civiles importantes para garantizar el adecuado comportamiento durante los desastres.

SUMMARY

It is to shown in this paper the design aspects that have to be taken into account to obtain a safe civil work against the risks which it would have to face. It is important to notice that this kind of work, not only corresponds to a discipline but also, to a multidisciplinary group.

It is necessary to recognize the characteristics of different risks such as, earthquake, landslide, flood etc., and also to know the geotechnical aspects of the place in which it would be located.

Additionally, it is important to consider the urban's aspect of the work location considering this work, as a vital center when a catastrophe occurs.

Likewise, the internal architectonic, industrial o electromechanical distribution have to be object of design, considering the operation under emergency conditions.

Finally, it is necessary to improve the Structural Design Codes regarding to important civil works to guarantee an adequate response durin the disaster.

I INTRODUCCION

Las experiencias vividas en el pasado durante terremotos y otros fenómenos naturales han demostrado la vulnerabilidad de los sistemas vitales importantes. Los terremotos de San Isidro Costa Rica 1983, México D.F. 1985 y San Salvador 1986 evidenciaron este problema y mostraron el agravante de que se demandó el máximo de capacidad del sistema vital justo en el momento en que salía de operación.

Hospitales, carreteras, líneas de conducción eléctrica etc. están propensas a sufrir daños y quedan fuera de servicio cuando se presentan fenómenos naturales destructores como sismos, inundaciones, huracanes, etc. El daño que estos centros vitales puedan sufrir incide directamente sobre toda la colectividad, de ahí la importancia de la evaluación certera de su vulnerabilidad en obras existentes y del diseño seguro en obras por construir.

Estudios realizados en algunos centros vitales han demostrado que son vulnerables ante sismos y otras amenazas y que de ocurrir un evento la situación que tocaría vivir no diferiría mucho de la vivida en los terremotos antes mencionados.

La mayoría de estas obras fueron diseñadas y construidas antes de la promulgación de los códigos sísmicos lo que en principio explica la vulnerabilidad sísmica que se ha señalado, sin embargo la experiencia ha demostrado que aún estructuras diseñadas de acuerdo con las normas sísmicas han tenido comportamientos inadecuados ante los sismos, tal es el caso del Hospital Policlínica de San Salvador.

Las autoridades políticas se han percatado de este problema y han empezado a evaluar sus obras y a esbozar un plan de mejoramiento y disminución de riesgo a sabiendas de que el problema operacional que representa el mejoramiento es muy complejo y que los problemas técnicos y financieros no lo son menos.

El presente trabajo muestra los problemas que se señalan cuando se hacen estudios de vulnerabilidad y los problemas que se presentan cuando se tienen eventos destructores. Además plantea cuales son los aspectos a considerar y en que orden cuando se enfrente la tarea de diseñar una obra civil importante segura contra todo riesgo.

II PROBLEMAS DETECTADOS

Muchos de los defectos señalados y los problemas que se presentan durante las emergencias no han sido únicamente de comportamiento estructural sino que han sido problemas de tipo organizativo interno, de inapropiada ubicación de equipos y sistemas y de otros elementos no estructurales que al fallar o salir de operación causan serias dificultades para la operación del centro vital.

Un aspecto importante que no recibe adecuada atención cuando se hacen estudios de vulnerabilidad es la ubicación del centro vital en la trama urbana pues de ella depende se tenga acceso y aprovisionamiento para que preste el servicio que se demanda a la hora de la emergencia.

El planeamiento de una obra importante en la actualidad no prevee las condiciones de operación bajo estados críticos. La arquitectura, la ingeniería, la geotecnia, la sismotectónica, la meteorología y el urbanismo no participan en el diseño de una manera coordinada para mejorar la propuesta o solución de diseño desde el punto de vista de seguridad ante emergencias.

Si en el proceso de diseño de una obra que ha de prestar servicio después de un evento destructor, estos aspectos de diseño fuesen integrados y sometidos a una estrategia de diseño preconcebido, producirían una obra suficientemente segura y con un grado de vulnerabilidad bastante bajo que garantice la prestación del servicio después del evento.

Se puede decir además que el diseño de acuerdo a requerimientos de códigos aislados no garantiza la no vulnerabilidad de la obra, y aún aspectos tan importantes como el estructural quedan sujetos a la filosofía de los códigos que puede no ser la más adecuada para obras de gran importancia.

III EL PROCESO DE DISEÑO

En el futuro el diseño de obras de este tipo se enfocará a luz de los conocimientos en ingeniería relativa a desastres y coordinando todos los aspectos de las diferentes disciplinas que tienen que ver con identificación de las amenazas a la obra, con la seguridad de la obra y con la garantía de la prestación del servicio después de un evento destructor.

La seguridad de poder brindar el servicio, que es el objetivo mismo del proceso de diseño multidisciplinario, se empieza a lograr con la escogencia misma del sitio o sitios de la obra y continúa con la forma arquitectónica, industrial o civil interna que se le da al proyecto. Muy importante es también la estructura, ya que ella será la encargada de soportar las acciones externas que imponga el evento, sobre la obra.

1. La elección del sitio

Identificación de las amenazas: El estudio del aspecto sismotectónico a la hora de ubicar el proyecto reviste especial importancia. La identificación del fallamiento local, del fallamiento de zonas de contacto entre placas tectónicas, la estimación de las relaciones de recurrencia para magnitudes, aceleraciones máximas, duraciones etc., y las características de los posibles registros a tener en el sitio, son aspectos de este estudio que deben conocerse de antemano para la aceptación o rechazo del sitio escogido o por escogerse para la obra. En el caso de que el sitio sea aceptado estos conocimientos sismotectónicos serán de suma importancia para el diseño posterior.

El riesgo de ocurrencia de huracanes y de inundaciones debe ser bien conocido en lo referente a relaciones de recurrencia de las avenidas, alturas y velocidades de agua, las áreas de influencia, las velocidades de viento, etc. con el objeto de aceptar o rechazar la ubicación de la obra. Igualmente la información aquí recolectada será útil para las etapas de diseño siguientes.

El riesgo volcánico es un riesgo que indudablemente deberá considerarse a la hora de aceptar una ubicación y al igual que los anteriores la aceptación o rechazo del sitio lleva implícita un nivel de riesgo aceptable que la colectividad quiera o deba correr para obtener la obra que necesita.

Geotecnia y Topografía: Una vez identificadas las amenazas de ocurrencia de eventos destructores existen otras amenazas asociadas que están relacionadas con la existencia o no de depósitos de suelos inestables, de zonas de posibles avalanchas, zonas de taludes inestables, etc.

Las características del depósito de suelos donde se ubicará la obra pueden modificar sustancialmente la respuesta o comportamiento de las edificaciones y causar efectos indeseables; por ejemplo si se tienen depósitos de arenas saturadas se debe considerar la posibilidad de tener el problema de licuefacción durante un terremoto o durante una inundación ya que como es sabido este efecto compromete seriamente la estabilidad de las estructuras.

El estudio del sitio desde el punto de vista geotécnico y topográfico debe incluir las características que tengan relación con la respuesta misma del depósito o depósitos de la obra así como el comportamiento de los diferentes tipos de cimentación ante las solicitudes extraordinarias causadas por los eventos destructores.

De igual manera que en el aspecto anterior la información aquí recabada será de mucha utilidad en las etapas posteriores, en caso de que el sitio sea aceptado.

Urbanismo: El aspecto de la ubicación de la obra reviste especial importancia ya que de esto dependerá el buen o mal acceso o salida de suministros o servicios que requiera o brinde a la comunidad.

El urbanismo siempre se considera en el diseño para operación en condiciones normales y usualmente se toman en cuenta aspectos como contaminación, áreas disponibles, políticas de desarrollo, etc., pero pocas veces se considera a la obra funcionando en condiciones de emergencia y con un entorno en situación de desastre.

Es importante que exista redundancia en las vías de comunicación y que la falla de otros componentes urbanos no comprometan el servicio que brinda la obra.

La seguridad en este aspecto podría empezar a lograrse desde el trazo mismo de las políticas de desarrollo urbano e indudablemente los aspectos citados en esta parte del artículo deben considerarse a la hora de hacer la zonificación.

2 El Proyecto

Una vez determinado el sitio o los sitios de ubicación suficientemente seguros y con un nivel de riesgo previamente aceptados, la seguridad debe seguirse logrando con la organización misma del proyecto

La organización arquitectónica: Cuando se trata de un proyecto arquitectónico la concepción interna de la obra debe ser analizada trabajando bajo condiciones de emergencia. La distribución interna de la que depende el sistema de movilización y comunicación, los sistemas no estructurales como acabados, equipos e instalaciones electromecánicas, etc. pueden hacer que la obra salga de operación aún estando garantizada la estabilidad estructural.

La distribución arquitectónica pasa a ser de especial importancia en la medida que simplifique o dificulte la atención y operación en momentos críticos. La ubicación de los diferentes servicios, equipos, tubería, tendido eléctrico, salidas de emergencia, sistemas de circulación tanto vertical como horizontal, etc. deben ser aspectos a estudiarse con base en los datos de la respuesta estructural, del tipo de evento destructor que se presente y del sistema operacional escogido para atender u operar durante la emergencia. Otra parte del diseño arquitectónico que debe ser considerada en la elección de elementos no estructurales tales como cielos, fachadas, enchapes, etc. que pueden tener un comportamiento inadecuado, como ya se ha evidenciado en experiencias anteriores, y que perjudican la operación del sistema.

Muy importante es contar en esta parte del diseño con la participación del profesional usuario del proyecto y elaborar con él el plan de operación durante la emergencia. Así, por ejemplo, si se trata de un hospital la participación de los métodos se hace imprescindible para el diseño interno y para la elaboración del plan.

Organización industrial o civil: En proyectos donde el arquitecto no juega un papel muy importante y la operación interna está determinada por un proceso industrial o civil la distribución interna de la obra debe ser determinada y analizada, trabajando bajo condiciones de emergencia, por los profesionales competentes en el área, ya sea ingenieros industriales o ingenieros de otras áreas.

Estos profesionales realizarán una labor similar a la que realiza el arquitecto en proyectos arquitectónicos. Los diferentes equipos, sistemas, soportes, conexiones, rutas del proceso, sistemas de circulación y salidas de emergencias, igualmente deben ser estudiadas con base en los datos de la respuesta estructural y según el tipo de evento destructor que se esté considerando.

A manera de ejemplo se puede citar el diseño de una planta industrial o refinería. La ubicación relativa de los diferentes servicios y sistemas, como las unidades de extinción de incendios, las rutas de los drenajes para derrames, los amarres de tuberías, las unidades eléctricas, etc., son algunos ejemplos de lo que debe analizarse bajo condiciones críticas causadas por eventos como sismos, inundaciones y otros.

De igual manera los profesionales usuarios del proyecto deben participar en esta parte del diseño y elaborar junto con el proyectista un plan de operación en emergencia.

La operación

La operación misma no es parte del diseño pero se determina en él, por otro lado la operación que se quiera lograr modifica y limita al diseño.

No es posible diseñar una obra segura sin considerar cual va a ser su operación durante una emergencia.

El plan de operación en estas situaciones debe ser determinado en el proceso de diseño y una vez construida la obra este plan debe ensayarse para ajustarse y para retroalimentar los procesos de diseño seguros.

Una vez terminado el diseño es importante también contar con un plan evaluador de corto tiempo que pueda ser realizado por personal no calificado pero entrenado para realizar esa labor con el propósito de tomar la decisión de brindar o no los servicios de la obra en los momentos posteriores al evento destructor.

3 La Estructura

Indudablemente la estructura es parte del proyecto; sin embargo se discute aquí en un párrafo aparte ya que merece especial atención pues de ella depende la seguridad última de la obra y a su vez determina si los demás elementos podrán responder apropiadamente ante las sollicitaciones del evento.

Normalmente el diseño estructural se rige por normas de diseño que llevan implícita una filosofía determinada en relación al tipo de respuesta que se espere tenga la estructura. En la gran mayoría de los códigos esta filosofía determinada en relación al tipo de respuesta que se espere tenga la estructura, y se establece como una guía general en el diseño pero no se establece ningún artículo donde se verifique que el diseño final cumple con lo definido originalmente. Además en algunos casos se puede discutir si esta filosofía es o no apropiada para obras de gran importancia.

Tal es el caso de los códigos sísmicos donde se establece lo siguiente:

" El objetivo de este Código Sísmico es procurar que toda estructura y cada una de sus partes sea proyectada, diseñada y construida de manera que:

- a) Resista sismos menores sin ningún daño
- b) Resista sismo moderados sin daños estructurales, admitiéndose algunos daños no estructurales.
- c) Resista sismos fuertes sin colapso; admitiéndose algún daño estructural, reparable en lo posible"

Esta especificación requiere además que se definan términos como: sismo menor, moderado y fuerte, daño estructural y colapso, y desafortunadamente esto no queda explícito en los códigos y quedan como una definición ambigua y propensa a múltiples interpretaciones.

Es conocido que la capacidad última de las estructuras es superior, en la mayoría de los casos, al límite elástico y que el comportamiento una vez excedido este límite es dependiente de su ductilidad y de su redundancia.

La ductilidad es de fundamental importancia ante eventos sísmicos ya que es uno de los recursos que utilizan los ingenieros estructurales para hacer frente a la energía que transmiten los sismos a las estructuras.

Esta filosofía de permitir que las estructuras excedan su límite elástico sacando provecho de la ductilidad, como ya se mencionó, está implícita en todos los códigos; pero para una obra civil importante debería cuestionarse pues como se ha observado en sismos recientes, aún cuando se han cumplido las normas sísmicas de diseño, la respuesta ha presentado un daño estructural y no estructural tan severo que ha sacado la obra de operación, aún cuando el colapso esté lejos de presentarse.

Es importante definir lo que es sismo leve, moderado y fuerte y definir un límite de la respuesta para cada uno de ellos. Esta definición de las diferentes intensidades del sismo se haría en la primera parte del proceso de diseño que es la identificación de la amenaza y puede diferir sustancialmente de la que se haga para obras normales. Esta definición, así como la que se hace para otras amenazas, lleva implícita un nivel de riesgo aceptado.

Los diferentes límites de respuesta deben ser verificados con análisis más elaborados, que normalmente no se incluyen en las normas.

Ante otro tipo de amenaza como avalanchas, inundaciones empujes de viento, la respuesta estructural debe ser similar a la que se establece para sismos, es decir para diferentes intensidades de sollicitación se alcanzarán los diferentes estados límites de la estructura previamente establecidos. El colapso es un esta límite que debe evitarse que se presente aún ante la intensidad más grande posible en el sitio. La verificación posterior al diseño es un aspecto que no debe obviarse.

IV CONCLUSIONES ,

Según lo planteado en los párrafos anteriores se puede concluir que el diseño seguro es responsabilidad de muchas profesiones que trabajan integradamente. No debe concebirse el proceso de diseño como una simple adición de partes aportadas separadamente.

El proceso tendrá un orden de ejecución de actividades paralelas y de actividades se cuenciales. La figura mostrada permite apreciar este orden y establecer las relaciones que se deben dar para la correcta integración de las disciplinas en procura del diseño seguro.

Algunas de las profesiones participarán a todo lo largo del proyecto mientras que otras aportan información y participan solo en algunas etapas.

Puede apreciarse que la información no fluye solo en un sentido y más bien el proceso integrador debe lograr la correcta comunicación y la decisión conjunta en cada una de las etapas. Debe tenerse por lo tanto una comisión proyectista general que será la encargada de lograr que se tenga la coordinación necesaria para llevar a cabo el diseño.

Se ha mostrado que la seguridad de una obra civil y la no vulnerabilidad del servicio que presta no descarga únicamente en la estructura, como tampoco únicamente en lo no estructural, sino que para lograrla hay que sumar a estos dos aspectos los detalles operativos necesarios para poder hacer frente a la emergencia. Se ha mostrado también que cuando se estudia la amenaza se deben considerar las amenazas asociadas las que podrían magnificar el efecto del evento destructor o causar más daño que el causado directamente por el evento.

Son muchas y muy variadas las disciplinas involucradas en este proceso y si se quiere que cada una de las partes que ellas aportan respondan adecuadamente a la hora de la emergencia se requiere necesariamente su integración y participación conjunta a la hora del diseño.

