

# Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica

ENERO / JUNIO 1991 VOLUMEN 1 Nº 1



# INGENIERIA

Revista Semestral de la Universidad de Costa Rica  

---

Volumen I      Enero-Junio 1991      Número 1

## DIRECTOR

Rodolfo Herrera J.

## CONSEJO EDITORIAL

Armando Castro A. (editor)  
Víctor Hugo Chacón P.  
Gerardo Chacón V.  
Miguel Dobles U.  
Ronald Jiménez Ch.  
Ismael Mazón G.  
Domingo Riggioni C.

## CORRESPONDENCIA Y SUSCRIPCIONES

Editorial de la Universidad de Costa Rica  
Apartado Postal 75  
2060 Ciudad Universitaria Rodrigo Facio  
San José, Costa Rica.

## CANJES

Universidad de Costa Rica  
Sistema de Bibliotecas, Documentación e Información  
Unidad de Selección y Adquisiciones-CANJE  
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio  
San José, Costa Rica

### Suscripción anual:

Costa Rica: ₡500,00  
Otros países: US \$20.00

### Número suelto:

Costa Rica: ₡250,00  
Otros países: US \$10.00





Impreso en la  
Oficina de Publicaciones  
de la Universidad de Costa Rica

Edición aprobada por la Comisión Editorial de la Universidad de Costa Rica  
1991 EDITORIAL DE LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Todos los derechos reservados conforme a la ley

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

San José, Costa Rica

Edición Técnica: *Guillermo Loría M.*  
*Fernando Durán A.*

Revisión Filológica: *María Teresa Bolaños*

Montaje Gráfico: *Adalberto Ramírez*

620.005

1-46i

Ingeniería / Universidad de Costa Rica. --

Vol. 1, no. 1 (ene./jun. 1991) -- San José, C. R. : Editorial de la Universidad de Costa Rica, 1991 -- (Oficina de Publicaciones de la Universidad de Costa Rica)

v. : il.

Semestral.

1. Ingeniería -- Publicaciones periódicas.

CCC/BUCR-250



## DISEÑO DE OBRAS CIVILES IMPORTANTES: TAREA MULTIDISCIPLINARIA

Ing. Miguel F. Cruz \*

### Resumen

El propósito de este trabajo es mostrar los aspectos de diseño que deben ser considerados para obtener una obra civil segura contra los riesgos que tenga que enfrentar. Es importante notar que esta clase de trabajo, no sólo corresponde a una disciplina, sino a un grupo multidisciplinario.

Es necesario reconocer las características de diferentes riesgos como: terremotos, derrumbes, inundaciones etc., y saber también los aspectos geotécnicos del lugar en que se localizan, con el fin de hacer un buen uso de la información obtenida para reducir la posibilidad de riesgo.

Adicionalmente, es importante considerar el aspecto urbano de la localización de la obra, como un centro vital cuando ocurre una catástrofe.

Asimismo, la distribución interna arquitectónica, industrial o electromecánica debe ser objeto de diseño, considerando la operación bajo condiciones de emergencia y los aspectos no estructurales que podrían hacerla, desde el punto de vista funcional, una obra insegura.

Finalmente, es necesario mejorar los Códigos de Diseño Estructural correspondientes a obras civiles importantes para garantizar una respuesta adecuada durante el desastre.

Se presenta en este trabajo un orden secuencial de las diferentes actividades y las relaciones necesarias para obtener la seguridad deseada de la obra.

### Summary

The purpose of this paper is to show 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, in order to make a good use of the information obtained to reduce the possibility of risk.

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

Likewise, the internal architectonic, industrial or electromechanical distribution have to be object of design, considering the operation under emergency conditions and the non-structural aspects which could make, from the functional point of view, an unsafe work.

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

It is presented in this paper a sequential order of the different activities and the relations necessary to obtain the desired safety of the work.

### I. INTRODUCCION

Las experiencias vividas en el pasado, durante terremotos y otros fenómenos naturales, en el mundo 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, son ejemplos que evidenciaron este problema y mostraron el agravante de que se demandó el máximo de capacidad del sis-

tema 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 nivel de daño que estos centros vitales sufren, incide directamente sobre toda la colectividad; de ahí la importancia de la evaluación certera de la vulnerabilidad de obras existentes y del diseño seguro de obras por construir.

\* Universidad de Costa Rica  
San José, Costa Rica

Estudios realizados en 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 experimentada 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 normas sísmicas, han tenido comportamientos inadecuados ante los sismos. Tal fue el caso del Hospital Policlínica de San Salvador.

Las autoridades políticas se han percatado de este problema y han empezado a evaluar las obras civiles y a esbozar un plan de mejoramiento y disminución del riesgo, a sabiendas de que el problema operacional que representa ese mejoramiento es muy complejo y de 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 qué aspectos deben considerarse, y en qué orden, cuando se enfrente la tarea de diseñar una obra civil importante, segura contra todo riesgo.

## II. PROBLEMAS OBSERVADOS

Muchos de los defectos y problemas que se descubren y se presentan durante las emergencias no han sido únicamente de comportamiento estructural, sino que tocan aspectos de tipo organizativo interno, de inapropiada ubicación de equipos, sistemas y otros elementos no estructurales, los cuales, al fallar o salir de operación, causan serias dificultades para el funcionamiento 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. Es evidente que de ella dependen el acceso y aprovisionamiento para que se preste el servicio que se demanda a la hora de la emergencia.

El planeamiento de una obra importante en la actualidad no prevé las condiciones de operación bajo estados de emergencia. 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, se integran estos aspectos de diseño y se sometieran a una estrategia de diseño preconcebida, producirían una obra suficientemente segura y con un grado de vulnerabilidad bastante bajo que garantizaría la prestación del servicio después del evento.

Se puede decir, finalmente, que el diseño, de acuerdo con 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 debe enfocarse a la 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 un servicio eficiente, que es el objetivo mismo del proceso de diseño multidisciplinario, se empieza a lograr con la elección misma del sitio o sitios adecuada de la obra, y continúa con la forma arquitectónica, industrial o civil interna que se le dé al proyecto. Muy importante es también la estructura, ya que ella será encargada de soportar las acciones externas que imponga la amenaza, 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, deben estudiarse 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 suelo donde se cimienta 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 urbana de las obras reviste especial importancia, ya que de esto de-

pendará 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; usualmente se toman en cuenta aspectos como: contaminación, áreas disponibles, políticas de desarrollo, etc. Sin embargo, 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 aquí 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 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 y otros, 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, es 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 tratara de un hospital, la participación de los médicos 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, sean estos 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 emergencia, igualmente deben ser estudiados, 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 cuál 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.

Cuando se ha terminado el diseño, es importante también contar con un plan evaluador de corto tiempo que pueda ser realizado por personal no calificado, pero adiestrado 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 ya que merece especial atención. De ella depende la seguridad última de la obra y, a su vez, determina si los demás elementos podrán responder apropiadamente ante las solicitudes del evento.

Normalmente, el diseño estructural se rige por normas de diseño que llevan implícita una filosofía determinada en relación con el tipo de respuesta que se espera tenga la estructura. En la gran mayoría de los códigos esta filosofía es determinada en relación con el tipo de respuesta que se espera de la estructura, y se establece como una guía general en el diseño, pero no se establecen especificaciones 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 sismos 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. Desafortunadamente, esto no queda explícito en los códigos y queda 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 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 aprovechándose de la ductilidad como se mencionó, está implícita en todos los códigos; sin embargo, 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 establecer un límite de la

respuesta para cada uno de ellos. Esta definición sobre 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. Tal definición, así como la que se hace para otras amenazas, lleva implícita un nivel de riesgo aceptado.

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

Ante otro tipo de amenaza como avalanchas, inundaciones o 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 estado límite que debe evitar 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.

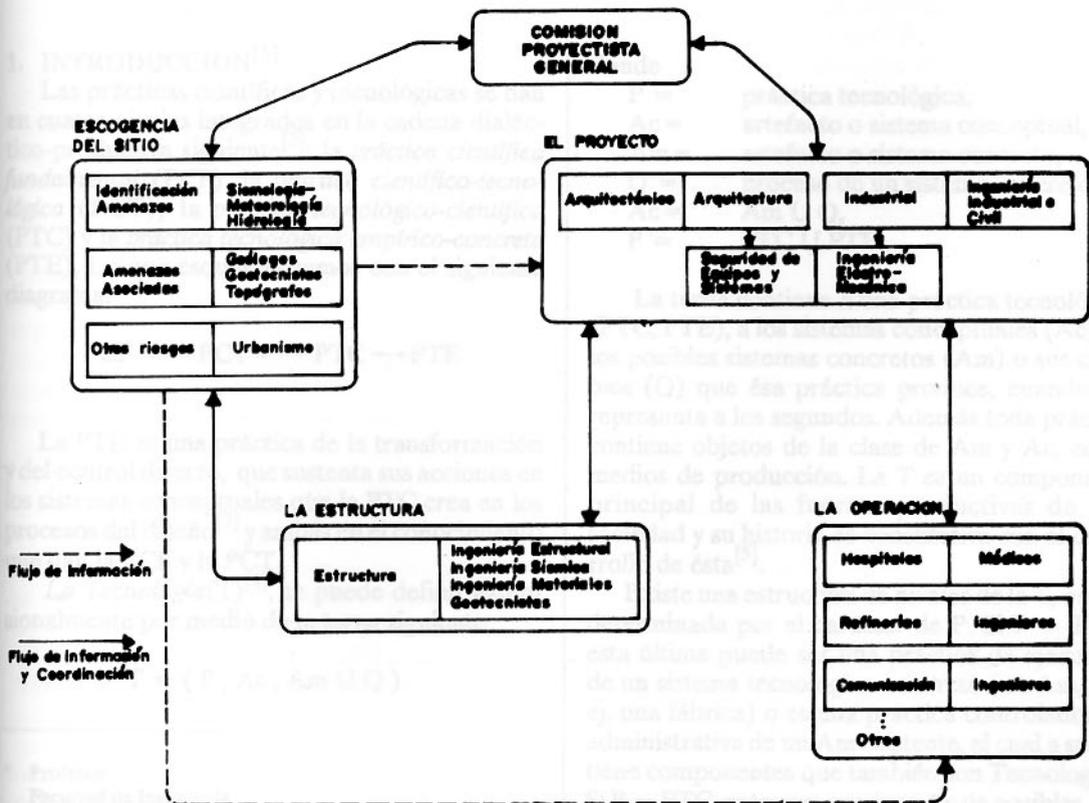


FIGURA 1. Relaciones que se deben de dar para la correcta integración de las disciplinas en procura del diseño seguro.

## VI. CONCLUSIONES

Según lo planteado en los párrafos anteriores, se puede concluir que el diseño seguro es responsabilidad de muchas profesiones que trabajan íntegramente. 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 secuenciales. La figura 1 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 aportarán información y participarán solo en algunas etapas.

Puede apreciarse que la información no fluye sólo 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 proyec-

tista 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 descansa 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 responda adecuadamente a la hora de la emergencia, se requiere necesariamente su integración y participación conjunta a la hora del diseño.

