

# Rehabilitación Sísmica de Estructuras

## INTRODUCCIÓN

Para saber si una estructura necesita ser rehabilitada o no, debe ser evaluada; para ello se han desarrollado diferentes métodos, los cuales varían de acuerdo al Reglamento de cada país.

Es cierto que en muchos lugares no existe una legislación al respecto (donde aparezcan normas especiales aplicables a edificaciones o diversas estructuras). Por ejemplo, en nuestro país el Reglamento es muy pobre al respecto.

El Capítulo 7 de la NTE-030 Diseño Sismorresistente trata sobre la Evaluación y reparación de estructuras dañadas por sismos, pero lo que allí se indica es una descripción general del procedimiento. Asimismo, el capítulo 23 de la NTE-060 Concreto Armado trata sobre la evaluación de estructuras de concreto armado. En el caso de edificaciones de albañilería no hay nada al respecto.

## CAPITULO I

### MÉTODOS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS EXISTENTES

Los métodos para el estudio de la vulnerabilidad física de viviendas existentes se divide en dos grandes grupos:

- Los métodos “exactos” o Analíticos.
- Los métodos “aproximados”, Cualitativos o subjetivos.

#### 1. MÉTODOS ANALÍTICOS:

La evaluación de la vulnerabilidad de edificios existentes por medio de métodos analíticos está fundamentada en los mismos principios utilizados para el diseño de construcciones sismo resistentes. Es decir, se considera como una evaluación por medio de un método analítico a la arrojada por un modelo previamente calibrado, en el cual tiene en cuenta un Análisis Dinámico Inelástico que permite conocer el proceso de plastificación paso a paso y el posterior colapso de la estructura, conocidos los ciclos de histéresis de sus componentes.

Cabe anotar, que estos métodos no son del todo analíticos, ya que la fase de calibración del modelo requiere de muchos ensayos de laboratorio, los cuales permiten conocer el estado de los materiales y predecir, con un poco más de exactitud, su respuesta ante sollicitaciones sísmicas.

Es por esto que la aplicabilidad de estos métodos es discutible por varias razones:

- La alta complejidad del modelo que sólo justifica su utilización en casos muy especiales como el de edificaciones esenciales, o para estructuras que después de ser evaluadas con un método cualitativo hayan mostrado tener serias falacias ante una sollicitación sísmica.
- La necesidad de realizar el análisis utilizando varios tipos de registros de sismos para cubrir las diferentes posibilidades de acción sobre la estructura.

A continuación se describen los métodos analíticos estudiados en este trabajo para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica.

#### 1.1 Método ATC-21

El método ATC-21, Método de revisión por filtro de Peligros sísmicos Potenciales en edificaciones existentes, es un método analítico muy sencillo que se basa simplemente en darle una calificación inicial a una edificación y a medida que se avanza en la revisión, se van filtrando las características estructurales de la edificación y así mismo se le van restando o sumando puntos a la calificación inicial.

El procedimiento comienza por identificar el sistema estructural que resiste las fuerzas sísmicas así como los materiales de los que está compuesto. El puntaje se le irá sumando o restando a la calificación inicial dependiendo de factores tales como:

- Si es de gran altura.
- Si está deteriorado.
- Si tiene irregularidades geométricas.
- Si existen pisos flexibles dentro de la edificación.
- Si existe torsión en planta.

La escala en este método va desde 0 (mal comportamiento sísmico), hasta 6 (muy buen comportamiento). Si un edificio resulta con una calificación inferior o igual a 2, se requiere que se lleve a cabo una evaluación más detallada tal como la del FEMA-273. Del resultado de la evaluación preliminar los edificios que resulten deficientes deben ser estudiados y analizados por ingenieros estructurales especialistas en diseño sismorresistente.

La figura n° 1 muestra el proceso general del ATC-21.

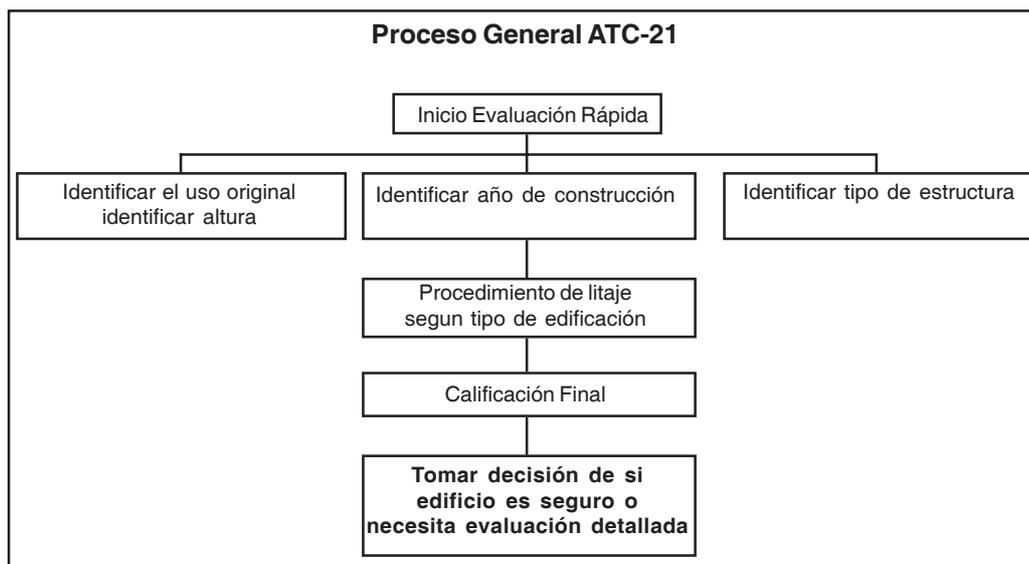


Figura n° 1

## 1.2 Método FEMA-273

Este “segundo tipo” de evaluación método FEMA-273, está diseñado para identificar más en detalle los miembros estructurales (columnas y vigas) que se encuentran deficientes en cuanto a su capacidad o resistencia que el detalle al que llega el FEMA-178 que se comentará más adelante. Este método adicionalmente nos ofrece una metodología para desarrollar las estrategias de rehabilitación o reforzamiento y fue copiado de la referencia (34).

En el FEMA-273, a diferencia de los métodos descritos anteriormente, se definen diferentes métodos y criterios de diseño para alcanzar diferentes niveles de desempeño sísmico de la edificación. Dentro de niveles de desempeño sísmico se encuentran: Nivel Operacional, Nivel de Ocupación Inmediata, Nivel de Protección de la Vida y Nivel de Prevención de Colapso. La escogencia de estos niveles depende del desempeño esperado de la edificación durante y después de un terremoto, de cuánto daño se va permitir que ocurra en la edificación cuánta pérdida económica se permita y del traumatismo o interrupción que cause en las actividades de los ocupantes de la edificación.

El procedimiento FEMA-273 permite tanto una Rehabilitación Simplificada como una Rehabilitación Sistemática. La rehabilitación sísmica simplificada se permite usar para edificaciones bajas, de configuración geométrica sencilla generalmente en zonas de amenaza sísmica intermedia y baja. Para este tipo de rehabilitación sistemática es más completo y consta de un proceso parecido al del diseño de una edificación nueva, en el que se modifica el pre-diseño o diseño preliminar hasta que los resultados del análisis son verificados o aceptados revisando miembro por miembro.

La rehabilitación sistemática generalmente se basa en el comportamiento no lineal de la respuesta de la estructura y usa procedimientos que no son comunes en los códigos de diseño corrientes. En este tipo de rehabilitación se revisa detalladamente cada miembro estructural, se diseñan nuevos elementos y se verifica la interacción aceptable de los desplazamientos esperados y de las fuerzas internas en los elementos estructurales.

Utilizando el método FEMA-273, se calculan los cortantes en la base, modificados por torsión accidental, se calculan los cortantes por piso y las cargas gravitacionales. Esta información se utiliza para definir los parámetros de aprobación o de aceptación con los que se trabaja, así:

$$mKQ_{ce} \geq Q_{ud} \quad \text{Ecuación 1} \quad \text{o}$$

$$KQ_{ci} \geq Q_{uf} \quad \text{Ecuación 2}$$

- m: es un factor de modificación que depende de las cargas axiales y las cortantes y de las propiedades de los materiales de los diferentes elementos.
- K: es un factor que depende de qué tanto se conozca de la estructura.
- $Q_{ce}$ : es la resistencia calculada de un miembro en particular que se está estudiando (axial, corte, flexión o flexo-compresión) teniendo en cuenta sus estado actual.
- $Q_{ud}$ : es un conjunto de demandas o exigencias controladas por la deformaciones impuestas en la estructura debido a las diferentes cargas (muerta, viva, sismo, etc).
- $Q_{uf}$ : es el conjunto de demandas o exigencias controladas por fuerzas impuestas a la estructura por las deformaciones (rigidez) o por una gobernada por las fuerzas (resistencia).

El último paso del procedimiento consiste en revisar o verificar la estrategia de rehabilitación definida desde un comienzo de la estructura reforzada bajo los criterios de flexión, corte, carga axial y de derivas.

## CAPÍTULO II

### MÉTODOS DE EVALUACIÓN SÍSMICA DE ACUERDO AL REGLAMENTO NACIONAL DE CONSTRUCCIONES

La Norma NTE-030 comprende las “Normas Básicas de Diseño Sismo Resistente”. Esta Norma, lo que establece son los requisitos mínimos para que las edificaciones tengan un adecuado comportamientos sísmico. Sin embargo no establece ningún método de evaluación sísmica de las estructuras o de rehabilitación de las mismas.

La primera parte de esta capítulo está orientado a los alcances y objetivos del mismo, así como de la forma en la que se deben presentar los Proyectos Estructurales. En la segunda parte aparecen las zonas sísmicas del Perú, condiciones geotécnicas y la microzonificación sísmica y estudios de sitio. La tercera parte, presenta una categorización de las edificaciones y algunos factores a tener en cuenta en su diseño, como: junta de separación sísmica desplazamientos laterales, etc.

La cuarta parte presenta los modelos de Análisis de Edificios, pero no profundiza en ellos, además muestra las fórmulas que deben emplearse para hallar el periodo fundamental, fuerza cortante en la base, etc. La sétima parte, comprende la evaluación y reparación de estructuras, pero en ningún momento dice cómo es que se debe realizar esta evaluación, ni los métodos a seguir.

En conclusión, podemos decir que la NTE-030 no profundiza en este tema, lo cual debería hacer pues el Perú es un país con alto grado de sismicidad y deberían existir Normas que regulen la evaluación y reparación de las edificaciones, de lo contrario no se podrá sancionar como es debido a alas personas o empresas que incurran en fallas en este tema.

## CAPÍTULO III

### EVALUACIÓN, REHABILITACIÓN Y REESTRUCTURACIÓN DE ESTRUCTURAS ANTES DE UN SISMO

#### 1. Necesidad de evaluación:

Se deberá evaluar la seguridad estructural de una edificación existente cuando

- Se tengan indicios de que ha sufrido algún daño.
- Vaya experimentar alguna modificación.
- Cambie su uso.
- Se requiera para verificar el cumplimiento de la normativa vigente.

#### 2. Identificación de daños

En el caso de estructuras dañadas, el estudio de evaluación iniciará con la identificación detallada de los daños por medio de una inspección in-situ. Cuando no se observe ningún daño estructural, la inspección será suficiente para considerar intacta la capacidad original de la estructura. Si se detectan daños que puedan poner en riesgo la estabilidad de la estructura, deberá controlarse el acceso a la misma y procederse a su rehabilitación temporal

en tanto se termina el estudio de evaluación. En aquellos casos en que los daños hagan inminente el derrumbe, con riesgo para las construcciones o vías de comunicación vecinas, será necesario proceder a la demolición urgente.

Nivel de daño	Daños en elementos
Daño Ligero	Las columnas, muros de corte o muros no estructurales están ligeramente dañados
Daño Moderado	Se encuentran agrietamientos típicos de corte y flexión en columnas, agrietamientos de corte en muros de corte o daño severo en muros no estructurales.
Daño Severo	Desprendimientos de concreto, pandeo del refuerzo y aplastamiento o falla por cortante en columnas, La resistencia lateral de los muros de corte es reducida debido al agrietamiento severo por corte
Daño Parcial	La edificación es parcialmente colapsada debido a columnas y/o muros de corte fuertemente dañadas
Daño Total	La edificación es totalmente colapsada debido a columnas y/o muros de corte fuertemente dañadas.

### 3. Seguridad estructural.

Para evaluar la seguridad estructural de una edificación deberán verificarse sus características actuales. Las propiedades de los materiales se podrá determinar por medio de procedimientos destructivos, siempre que no se deteriore la capacidad resistente de los elementos estructurales. En caso de que existan daños o modificaciones que incidan en la cimentación, se verificarán las características del subsuelo mediante un estudio de mecánica de suelos.

### 4. Capacidad resistente.

La evaluación de la seguridad estructural de una edificación requerirá determinar su capacidad resistente. Dicha capacidad se podrá determinar mediante los métodos de análisis elástico convencionales, y estará definida por el nivel de acciones con el cual la estructura o su cimentación alcanza un primer estado límite de falla o de servicio. En estructuras con daños, no deberá considerarse la participación de los elementos afectados. En edificaciones inclinadas, deberá incluirse en el análisis el efecto del desplome.

### 5. Métodos aproximados de análisis.

Se utilizarán métodos aproximados de análisis para determinar la capacidad resistente de una estructura, para jerarquizar una población de edificaciones o bien para establecer una comparación con la normativa vigente.

### 6. Defectos, problemas y ubicación

Además de la capacidad resistente, en la evaluación de la seguridad estructural de una edificación deberán considerarse los defectos de estructuración, los problemas de cimentación, el riesgo inherente a su ubicación, la interacción con las estructuras vecinas, la calidad del mantenimiento y el uso a que se destine.

### 7. Proyecto de rehabilitación.

Cuando del estudio de la evaluación de la seguridad estructural de una edificación se concluya que ésta cumple la normativa vigente y sólo presenta daños ligeros y locales, se hará un proyecto de rehabilitación que considere la restauración de dichos elementos. Si, a la inversa, se concluye que no cumple con la normativa vigente, se presentan daños graves y generalizados o se detectan situaciones que ponen en peligro la estabilidad de la estructura, deberá elaborarse un proyecto de rehabilitación que consiere no sólo la restauración de los elementos dañados sino el refuerzo y la reestructuración del inmueble. El estudio de evaluación podrá igualmente recomendar la demolición total o parcial de la estructura.

#### 7.1 Rehabilitación temporal o apuntalamiento.

Cuando el nivel de daño así lo requiera, será necesario proceder a efectuar una rehabilitación temporal, o apuntalamiento, que proporcione la capacidad resistente provisional necesaria para la seguridad de los trabajadores que laboren en el inmueble y de los vecinos y peatones en las zonas adyacentes. La rehabilitación temporal será igualmente necesaria cuando se efectúen modificaciones a una estructura que impliquen la disminución transitoria de la capacidad resistente de algún elemento estructural.

## **7.2 Rehabilitación temporal.**

Las obras deberán ser suficientes para garantizar la estabilidad de la estructura mientras se termina su rehabilitación definitiva o la modificación estructural. Dichas obras deberán ser capaces de derivar las fuerzas que actúan sobre los miembros estructurales afectados y conducirlos hasta la cimentación, la que podrá requerir un refuerzo provisional. En el diseño de la rehabilitación temporal de una edificación será necesario revisar tanto los elementos estructurales que la integran como los elementos de la estructura original por donde se van a transferir a ella las fuerzas de los elementos afectados. Asimismo, deberá revisarse el comportamiento de los puntos de apoyo entre la rehabilitación temporal y la estructura existente.

## **8. Demolición total o parcial.**

Será necesario proceder a la demolición total o parcial de una estructura cuando el nivel de daños observado así lo requiera, o bien cuando esto sea necesario por una modificación al proyecto original.

### **8.1 Procedimientos de demolición.**

Las obras de demolición podrán efectuarse utilizando procedimientos convencionales o mediante explosivos. En ambos casos, deberán efectuarse los estudios y las obras de protección temporal necesarios para garantizar la seguridad de los vecinos y de los peatones en las zonas aledañas a la obra.

## **9. Restauración de un elemento estructural.**

Será necesario restaurar un elemento estructural dañado cuando se requiera recuperar su capacidad resistente original, aun en el caso de aquellos electos que posteriormente vayan a verse sujetos a un refuerzo adicional.

### **9.1 Procedimientos de restauración.**

Para restaurar un elemento estructural de concreto reforzado, podrá recurrirse a la inyección de resinas en los agrietamientos, o bien, en los casos

## **10. Refuerzo de un elemento estructural.**

Cuando se requiera incrementar la capacidad de resistencia de un elemento estructural, o bien su ductilidad, será necesario reforzarlo. El refuerzo de un elemento suele producir cambios en su rigidez que deberán tomarse en cuenta mediante un análisis estructural; en particular, deberá evitarse que el refuerzo propicie la aparición de articulaciones plásticas en las columnas, El análisis podrá efectuarse suponiendo el comportamiento monolítico del elemento original y su refuerzo.

### **10.1 Encamisado con concreto reforzado.**

Cuando el refuerzo de un elemento estructural se realice mediante su encamisado con concreto reforzado, habrá que preparar la superficie del elemento para garantizar una buena adherencia entre el concreto nuevo y el viejo, además de evitar que ésta se rompa por contracciones volumétricas durante el fraguado. Cuando el encamisado no sea completo, deberá verificarse la necesidad de colocar elementos de conexión que garanticen la transmisión de los esfuerzos de cortante entre la camisa y el elemento por reforzar.

### **10.2 Encamisado con elementos de acero**

Cuando el refuerzo de un elemento estructural se realice mediante su encamisado con acero, deberá rellenarse el espacio entre la camisa y el elemento con un mortero estabilizado o hecho con resinas. Si se utilizan estribos o pernos postensados, habrá que considerar la necesidad de un mantenimiento que elimine las pérdidas de tensión por relajación del acero o deformaciones del elemento reforzado.

## **11. Reestructuración**

Será necesario reestructurar un inmueble cuando se requiera corregir un defecto de estructuración, reforzar la edificación en su conjunto o efectuar una modificación del proyecto original. En el diseño de una reestructuración, deberá cuidarse que la rigidez de los nuevos elementos sea compatible con la de la estructura original, si se desea un trabajo conjunto. Especial atención requiere el diseño de las conexiones entre los nuevos elementos y la estructura original para aquellos sean capaces de transmitir los esfuerzos que garanticen su unión. Asimismo deberá revisarse la transmisión de las cargas a la cimentación, lo que frecuentemente puede plantear la necesidad de modificarla.

### **11.1 Muros de rigidez**

Cuando se introduzcan muros de rigidez de concreto reforzado como parte de una reestructuración, deberá garantizarse la continuidad del acero de refuerzo longitudinal a través de los sistemas de piso de la estructura original. Si se opta por desviar el refuerzo por los costados de las vigas, será necesario colocar grapas en los extremos de las desviaciones. Deberá tenerse cuidado con el colado del muro para evitar contracciones volumétricas.

### 11.2 Muros de relleno.

Podrán utilizarse muros de relleno de concreto reforzado entre ejes de columnas, en cuyo caso deberán proporcionarse elementos de conexión suficientes para tomar los esfuerzos de cortante entre el tablero del muro y los elementos estructurales que lo circundan. Si el muro no cubre todo el claro entre columnas, se revisará el efecto que esto tiene sobre las vigas. Habrá que cuidar con el colado del muro para evitar contracciones volumétricas.

### 11.3 Armaduras o contravientos de acero

Cuando se utilicen armaduras o contravientos de acero como parte de una reestructuración deberá verificarse que las conexiones con la estructura de concreto sean capaces de transmitir los esfuerzos necesarios sin provocar el aplastamiento del concreto ni la falla de los elementos adyacentes al punto de conexión.

## 12. Sistemas de control de las acciones dinámicas.

En zonas donde la actividad sísmica sea importante, se podrá recurrir al uso de sistemas de control de las acciones dinámicas para incrementar la seguridad de una estructura existente. En estos casos, habrá que analizar la efectividad de los sistemas utilizados específicamente para los movimientos del terreno típicos del lugar.

### 12.1 Pruebas de laboratorio.

Será necesario respaldar con pruebas de laboratorio las características de todos los materiales utilizados en las obras de rehabilitación o modificación a que se refiere este capítulo, aun de aquellos productos comerciales que las especifiquen al momento de su compra.

### 12.2 Supervisión.

Las obras de rehabilitación o modificación requieren un esfuerzo de supervisión adicional al de una obra nueva. La supervisión deberá atender las necesidades de adaptación que impone al proyecto la estructura existente, el correcto uso de los materiales especiales que se manejan y los procedimientos constructivos que garanticen la efectividad de dichas obras sobre la estructura original.

### 12.3 Verificación de la capacidad resistente.

Además de las pruebas de laboratorio, necesarias para garantizar la calidad de los materiales utilizados, la supervisión deberá recurrir a la verificación in-situ de la capacidad resistente de los elementos que la permitan, por ejemplo, los conectores. En particular, la medición del periodo de la estructura, antes y después de las obras de rehabilitación o modificación, constituye una opción muy útil para verificar la efectividad de las obras.

## CAPÍTULO IV. EVALUACIÓN POST-SÍSMICA

Después de un terremoto se debe evitar que la gente ocupe o entre a edificaciones inseguras, así como encontrar refugios temporales seguros para quienes perdieron sus viviendas. Con este fin inmediatamente después de ocurrido un sismo deberán efectuarse inspecciones de emergencia de la seguridad que presentan estructuras de diversos tipos.

Por este motivo es que debe realizarse una evaluación rápida inmediatamente después de ocurrido el terremoto. El objetivo principal de esta evaluación es determinar si las edificaciones pueden tener un uso normal o si la entrada a ellas debe estar restringida o prohibida. Además, con esta información se podrá estimar la magnitud del desastre, así como las características generales de los daños, las que pueden influir en mejoras o cambios en los reglamentos de construcción vigentes.

Con esta finalidad es que han desarrollado métodos de evaluación post-sísmica, los cuales pueden ser empleados como guía para esta evaluación. De esta forma, es que el procedimiento de evaluación consta de dos partes:

- Evaluación rápida
- Evaluación detallada

### 1. Evaluación Rápida:

Su objetivo es la inspección y revisión rápida de las edificaciones afectadas por el sismo. Es el primer nivel de la evaluación. Aquí, se distinguen rápidamente las edificaciones con seguridad aceptable de las obviamente inseguras o dudosas. Para este nivel se recomienda no tomarse más de 15 a 30 minutos por edificio.

Las personas que realicen esta evaluación, deben estar relacionadas con los aspectos estructurales del edificio como ingenieros civiles capacitados en estos temas que determinan con facilidad los daños estructurales de la misma.

**1.1 Criterios par la evaluación rápida:**

- a) Insegura:
  - Derrumbe total o parcial.
  - Edificación separada de su cimentación o falla de esta.
  - Hundimientos provocados por el sismo.
  - Si la edificación o cualquiera de su piso se encuentra apreciablemente inclinados.
  - Daños importantes en elementos estructurales.
- b) Segura
  - Daños severos en muros no estructurales, escaleras, cubos o ascensores.
- c) Área restringida:
  - Elementos o fachada, vidrios, chimeneas u otros elementos en peligro de caer.
  - Presencia de otro tipo de riesgos (derrames tóxicos, etc)

**1.2 Pasos a seguir:**

- Examinar el exterior de la estructura.
- Observar el suelo alrededor de ella, para determinar posibles grietas o hundimientos.
- Entrar si no puede ser observada adecuadamente desde el exterior, o si hay dudas.
- Anotar en formatos adecuados los aspectos saltantes de la inspección

**2. Evaluación Detallada:**

Su objetivo es evaluar con una aproximación razonable y en corto tiempo la seguridad de las edificaciones afectadas por el sismo que han sido clasificadas anteriormente como *inseguras*. Es el primer nivel de la evaluación.

Las personas que realicen esta evaluación, deben ser dos ingenieros civiles, de los cuales al menos uno debe ser especialista en estructuras, con experiencia en diseño estructural y comportamiento sísmico de edificaciones.

**2.1 Criterios para evaluación**

- a. Habitable:
  - El sistema resistente no presente reducción significativa en su capacidad y no existe inestabilidad potencial.
  - La capacidad de resistir cargas no se ha visto disminuida.
  - No hay peligro de falla o caída de objetos.
  - No existen asentamientos de terreno ni daños importantes en la subestructura.
  - Las escaleras y salidas principales son accesibles.
- b. Cuidado:
  - Existen dudas serias acerca de la seguridad estructural.
  - Incertidumbre acerca de la posibilidad de daños adicionales por peligros geotécnicos.
- c. Insegura:
  - Es posible el derrumbe por la propia carga gravitacional.
  - Deslizamiento de talud, etc.

**2.2 Pasos a seguir**

- a. Examinar la edificación desde el exterior.
- b. Examinar el sitio de la edificación por peligro geométricos.
- c. Examinar el sistema estructural desde el exterior.
- d. Examinar la seguridad de elementos no estructurales.
- e. Examinar la presencia de otros peligros (funcionamiento de ascensores, etc).
- f. Completar los formatos adecuados en caso existan.

**CAPÍTULO V. REESTRUCTURACIÓN**

Cuando de la evaluación definitiva se concluya que el refuerzo de la estructura no es suficiente, se procede a la reestructuración del mismo, con la finalidad de cumplir con la capacidad sismo-resistente exigida por la norma.

La forma de corregir la estructuración es mediante la inclusión de nuevos elementos que aumenten y balanceen la rigidez y la resistencia. Estos pueden ser:

1. Muros de rigidez
2. Muros de relleno: Son muros de concreto reforzado o de mampostería, ubicados en los ejes de columnas de una estructura. Su comportamiento puede ser semejante al de los muros de rigidez.
3. Marcos, armaduras y contraventeo: pueden ser de concreto reforzado. En el caso de las armaduras se puede recurrir a conectar elementos horizontales mediante elementos metálicos ahogados en perforaciones hechas previamente en las losas.
4. Contrafuertes: se usan cuando se tienen limitaciones de espacio. Tiene la ventaja de que su construcción interfiere muy poco con la utilización del edificio.
5. Muros de mampostería: conectan elementos nuevos con los viejos y se llevan a cabo añadiendo muros.

## CAPÍTULO VI. RESTAURACIÓN Y REFUERZO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

### 1. Refuerzo de columnas:

#### 1.1 Encamisado a base de concreto reforzado:

Consiste en envolver las columnas con barras y estribos adicionales, o mallas electrosoldadas y añadir un nuevo recubrimiento de concreto lanzado<sup>2</sup>.

#### 1.2 Encamisado metálico:

Se efectúa mediante un esqueleto de perfiles unidos entre si con soleras o varillas soldadas. El recubrimiento final es a base de concreto reforzado.

### 2. Refuerzo vigas-columna:

#### 2.1. Encamisado de concreto reforzado:

Es igual que el realizado en la columna y se puede efectuar localmente en el muro.

#### 2.2. Encamisado metálico:

Se realiza con marcos en una sola dirección.

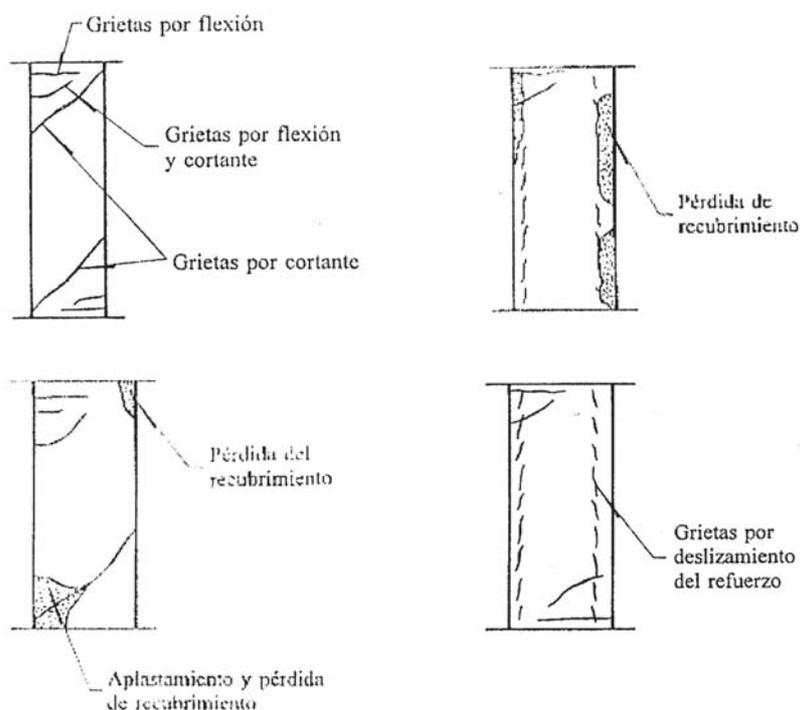


Fig.# Ejemplos de agrietamientos típicos de columnas de concreto.

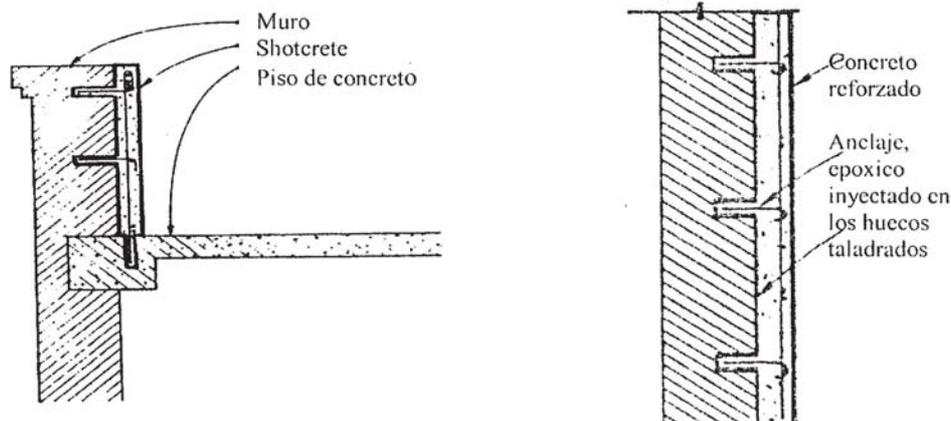


Fig. # Refuerzo de un muro de mampostería con concreto

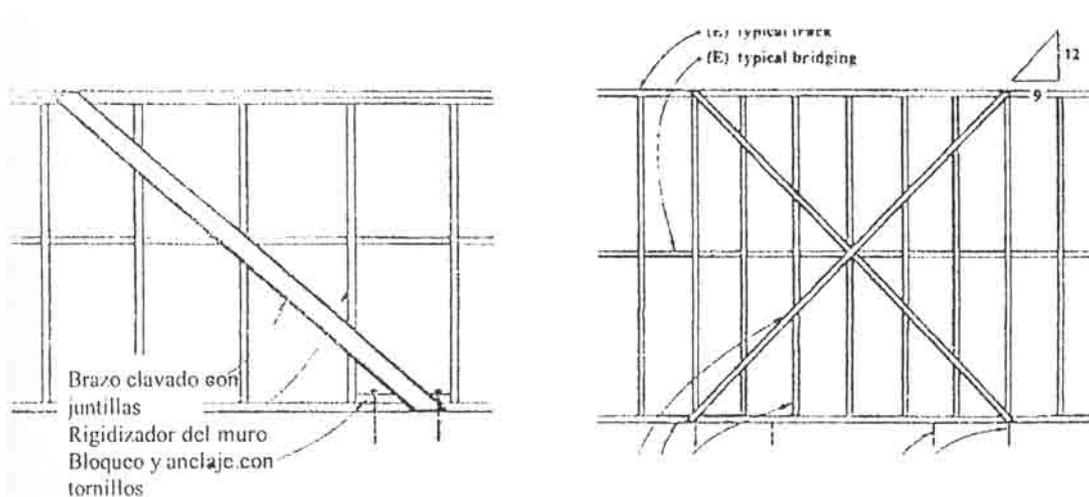


Fig. # Refuerzo de un muro de madera con tirantes

Fig # Refuerzo de un muro metálico con un tirante diagonal metálico

## BIBLIOGRAFIA

1. Manual de Evaluación Postsísmica de la Seguridad Estructural de Edificaciones. Mario Rodríguez Rodríguez y Enrique Castrillón.  
Editorial de la Universidad Nacional Autónoma de México.
2. Reparación de Estructuras de Concreto y Mampostería.  
Jesús Iglesias, Francisco Robles, José de la Cera y Oscar M. González.  
División de Ciencias Básicas e Ingeniería. Departamento de Materiales de la Universidad Nacional Autónoma de México.
3. Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: a Handbook.  
Applied Technology Council.
4. Techniques for Seismically Rehabilitating Existing Buildings (Preliminary). URS/John A. Blume & Associates, Engineers.  
Federal Emergency Management Agency.
5. Evaluación y Reparación de Estructuras.  
ACI. Capítulo Peruano.

# PELIGROSIDAD Y ZONIFICACIÓN SÍSMICA

## 1. INTENSIDAD SÍSMICA Y MAGNITUD

La Intensidad Sísmica y la Magnitud Sísmica, son dos definiciones completamente diferentes, que en muchas ocasiones se confunden, razón por la cual se presentan los aspectos más relevantes de estas definiciones:

### 1.1 Intensidad Sísmica

Los efectos producidos por los terremotos en las estructuras y en las personas, se mide por medio de la Intensidad Sísmica, describiendo de una manera subjetiva el potencial destructivo de los sismos. Existen varias escalas de Intensidad, una de ellas es la denominada «Mercalli Modificada», que se indica en forma resumida en la Tabla 1.2, la misma que fue desarrollada por Wood y Newman en 1931 y es una modificación del trabajo desarrollado por Mercalli en 1902.

Tabla 1.2 Escala de intensidad Mercalli Modificada IMM.(15).

IMM	DEFINICIÓN
I	Detectado solo por instrumentos.
II	Sentido por personas en reposo.
III	Sentido por personas dentro de un edificio.
IV	Se siente fuera del edificio.
V	Es notado por todos. Los objetos inestables se caen.
VI	Las personas andan con dificultad. Las ventanas y objetos de vidrio se quiebran. Las estructuras con mampostería débil se agrietan.
VII	Daños moderados en estructuras bien diseñadas, y daños severos en malas construcciones.
VIII	Daños ligeros en estructuras bien diseñadas, considerables en regulares y severos en las mal diseñadas.
IX	Pánico general. Las estructuras con diseño sismo resistente son seriamente dañadas. Daño en los cimientos.
X	Destrucción grande en edificios bien construidos. Grandes deslizamientos del terreno.
XI	Casi nada queda en pie. Fisuras en el piso. Tuberías subterráneas fuera de servicio.
XII	Destrucción casi total. Catástrofe. Grandes masas de roca desplazadas.

Goula(29) presenta una comparación de las diferentes escalas de intensidad macrosísmica, desde la escala Rossi-Forel aparecida en 1873 hasta la escala *IMsK* propuesta por Medvedev, Sponheuer y Karnik(51) muy utilizada a nivel mundial. Por otra parte, Se observa que existe una buena aproximación entre las escalas *IMM* y la *IMsK*. La Intensidad sísmica depende de los siguientes factores:

- Distancia del sitio al epicentro, mientras más lejos se encuentre del epicentro menor será la intensidad, menor serán los efectos.
- Del tipo de suelo en que se encuentran las edificaciones; se conoce que los suelos blandos pueden amplificar las ondas sísmicas causando más daño.
- De la topografía del lugar. Por ejemplo, si una construcción se encuentra al borde de una ladera, tendrá mayor probabilidad de daño que una que se encuentre en un terreno completamente plano.
- Depende de la resistencia de las estructuras, una edificación que es sismo resistente presentará menos daño que una que no lo es.
- Depende también del grado de preparación de la gente, en el sentido de saber tomar precauciones para evitar accidentes.

Se han obtenido algunas relaciones entre la intensidad y la magnitud en base a los catálogos sísmicos.

## 1.2 Magnitud Sísmica

En forma general Se puede decir que durante un sismo se propagan *ondas internas*, y *ondas superficiales*. Desde el hipocentro salen dos tipos de ondas internas conocidas con el nombre de *ondas S* y *ondas P*, las mismas que son convertidas en la superficie en *ondas L* y *ondas R*. La propagación de las ondas L de Lave y R de Rayleigh se realiza desde el epicentro.

La velocidad de las ondas P es superior a la velocidad de las ondas S por ese motivo llegan primero a una estación sismológica. De otro lado, las ondas P tienen menos intensidad que las ondas S. Por eso cuando hay un sismo se inicia con movimientos suaves los mismos que se van incrementando. A las ondas P y S también se les denomina *ondas de cuerpo*.

Las ondas R consisten en movimientos elípticos verticalmente y horizontalmente; en cambio las ondas L son movimientos en el plano horizontal.

Los *sismógrafos* son los equipos que miden la amplitud del movimiento de la tierra y el registro en papel se llama *sismograma*. En base a estos registros se determina la Magnitud de un sismo. *La magnitud de un evento sísmico mide la energía liberada en el hipocentro*. Este concepto se fundamenta en el hecho de que la amplitud de las ondas sísmicas es una medida de la energía liberada en el foco o hipocentro. Fue Richter, en 1935, quien introdujo el concepto de magnitud, con el objeto de poder comparar la energía liberada por distintos sismos registrados en el sur de California. Es así como se definió la magnitud local  $M_L$ .

Existen otras escalas de magnitud, una de ellas es la desarrollada por Gutenberg, quien obtiene la magnitud en base a la amplitud de las ondas internas. A esta magnitud se denomina  $M_b$ .

Gutenberg y Richter, en 1945, desarrollaron otra escala de magnitud en base a la amplitud de las ondas superficiales, a la que se denomina magnitud  $M_s$ , la misma que es muy utilizada actualmente.

Kanamori ha desarrollado otra escala, denominada Magnitud de momento sísmico  $M_w$  que no tiene el problema de lo que se llama *saturación de la magnitud*. La saturación se da en otras escalas en el sentido de que por más grande que sea el sismo siempre tienen la misma magnitud. Esta saturación no se da con la escala  $M_w$ .

Los sismólogos también utilizan otra escala para definir la magnitud de un sismo y es la denominada  $M_d$ , la misma que es función de la duración de la señal sísmica y la distancia hipocentral.

## 1.3 Atenuación de la Intensidad Sísmica.

Como se indicó en el apartado 1.3.1 cuando se produce un sismo, mientras más lejos se está del epicentro la intensidad del movimiento disminuye, a esto se denomina *Atenuación del movimiento del suelo*.

Existen relaciones empíricas entre la intensidad  $I_{MM}$ , la magnitud  $M$  y la distancia focal  $R$  en Km, que han sido establecidas del análisis de isosistas de terremotos que han afectado a determinadas regiones. En la tabla 1.3 se presentan algunas de éstas relaciones:

Tabla 1.3 Relaciones de atenuación del movimiento del suelo

LUGAR	LEY DE ATENUACIÓN	AUTOR
Chile y Perú Ecuador California-México		Saragoni <sup>(16)</sup> Aguiar <sup>(17)</sup> Esteva <sup>(18)</sup>

## 2. ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO

Para el diseño sísmico de estructuras se necesita conocer la aceleración máxima del suelo, fundamentalmente, pero también es necesario conocer la velocidad y desplazamiento máximo del sismo para el cual se diseña la estructura. Estos datos se obtienen de los estudios de peligrosidad sísmica.

### 2.1 Valores máximos registrados de algunos sismos

Con el objeto de correlacionar magnitud con los parámetros máximos de movimiento del suelo, se indican a continuación algunos valores para los eventos indicados en la tabla U, presentados en referencia (19). Es importante destacar que en la tabla 1.4, hace falta indicar la distancia focal a la cual se obtuvo el registro. Sin embargo de ello

es importante que el proyectista estructural tenga en cuenta los valores de aceleración máxima, especialmente, de terremotos que se han registrado.

Tabla 1.4 Aceleración, Velocidad y Desplazamiento, máximos registrados<sup>(19)</sup>.

ESTACION Y COMPONENTE	AÑO	M	A (g)	V (cm/s)	D (cm)
El centro, SOOE	1940	6.3	-0.348	-33.45	-12.36
Eureka, N97E	1954	6.5	0.258	-29.38	-12.55
Kushiro-Japón, N90E	1962	7.0	0.478	-20.01	5.22
Tokachi-Oki-Hachinoe, NOOE	1968	7.9	0.269	-35.43	-9.68
Pacoima-Sanfernando, S16E	1971	6.6	1.171	13.23	-41.92
Bucarest-Rumanía SOOE	1977	7.1	1.206	-25.12	-19.93
San Juan-Argentina, S90E	1977	7.4	0.193	-20.60	6.33
La Ligua-Chile, Long	1981	6.8	-0.469	-18.83	4.49
Llolleo-Chile, N10E	1985	7.8	-0.712	-40.29	-10.49
Coralito-USA, NOOE	1989	7.1	0.630	-55.20	12.03
Sylamr-Northridge, NOOE	1994	7.1	0.843	-128.88	-30.67
Santa Mónica-Northridge, N90E	1994	7.1	-0.883	41.75	-15.09

## 2.2 Amplificación del Suelo.

Con relación a los datos de la tabla 1.4, es necesario indicar que los valores corresponden a los registros obtenidos a nivel de superficie de suelo. *En los estudios de peligrosidad sísmica, tendientes a la obtención de espectros de diseño, los valores de aceleración máxima del suelo son a nivel de basamento rocoso.* Concretamente, se puede indicar que las aceleraciones máximas de los registros indicados en la tabla 1.4 si se habrían medido a nivel de roca reportarían valores menores a los anotados.

*En efecto, las condiciones locales del sitio tienen un papel fundamental en la amplitud y contenido de frecuencias del evento.*

Al observar se puede pensar que no fueron registrados en el mismo sitio, la diferencia es notable. En términos generales se puede indicar que el factor de amplificación para los dos registros es del orden de 2.2. Para el sismo de México de 1985 ( $M=8.1$ ) el factor de amplificación fue del orden de 4 a 5 veces<sup>(22)</sup>. Para el sismo de Loma Prieta<sup>(23)</sup> de 1989 ( $M=7.1$ ) este factor varía entre 2 y 4. Para el de Colombia<sup>(61)</sup> de 1999 está entre 3 y 4.

## 2.3 Aceleración en función de la distancia.

En la tabla 1.5, se indican aceleraciones máximas de algunos eventos sísmicos considerando la distancia hipocentral pero sin clasificar el tipo de suelo en el cual se obtuvo el registro.

Tabla 1.5 Aceleración Máxima y distancia del registro sin clasificar el tipo de suelo.

Lugar	Año	M	A (g)	DISTANCIA (Km)
San Juan - Impres(8)	1977	7.4	0.202	100.0
Peru-Geofisico(8)	1966	7.5	0.371	206.0
Peru-Geofisico(8)	1970	7.75	0.120	370.0
Peru-Geofisico(8)	1974	7.5	0.250	87.0
Macas-Ecuador(24)	1995	5.9	0.092	150.0
Baeza- Ecuador(25)	1990	5.0	0.027	17.0

## 2.4 Aceleraciones en roca del sismo del 25-01-99.

El sismo registrado el 25 de enero de 1999, en el departamento del Quindío y que causó gran daño en Armenia<sup>(16)</sup>, que se encuentra aproximadamente a 16 Km. del epicentro, donde la intensidad Sísmica  $I_{MM}$  fue de 8, tuvo una magnitud  $M_L = 5.9$  En la tabla 1.6, se presentan las aceleraciones de este evento registradas en roca, en función de la distancia epicentral.

Del análisis de la tabla 1.6, se observa que la aceleración máxima en roca registrada es menor a 0.09 g, valor bajo y sin embargo causó gran daño en Armenia y considerable en Pereira que está más distante del epicentro. En la zona epicentral, se estima que la aceleración máxima en roca estuvo alrededor de 0.35 g, valor alto. En base a toda esta información es importante realizar los siguientes comentarios:

- El sismo del 25 de enero de 1999, fue un sismo superficial. En consecuencia el campo de acción fue reducido y se atenuó muy rápidamente, es así como a 30 Km del epicentro la aceleración máxima en roca fue de 0.085 g.

- Para las ciudades y poblaciones indicadas en la tabla 1.6, la aceleración máxima en roca corresponde a un sismo denominado por VISION 2000<sup>(65)</sup> como *frecuente*. Para la zona epicentral, evidentemente las aceleraciones son mayores y se estaría hablando de un sismo *ocasional o raro* de acuerdo a la denominación de VISIÓN 2000.

Tabla 1.6 Aceleraciones máximas en roca del sismo del 25 de enero de 1999, en Colombia<sup>(64)</sup>.

CIUDAD	ESTACIÓN	ACELERACIÓN HORIZONTAL	DISTANCIA (km)
Filadelfia	Filadelfia	0.008g	101.62
Riosucio	Riosucio	0.008g	113.39
Andes	Andes	0.006g	148.44
Toche	Toche	0.004g	95.35
Prado	Hidroprado	0.007g	118.25
Calima	Calima	0.002g	113.41
Bogotá	Ingeominas	0.001g	184.61
Pereira	Altolibare	0.085g	30.99
Pereira	Cper1	0.079g	45.33
Arbelaez	Cande	0.006g	144.92
Betania	Cbeta	0.005g	192.18
Bogotá	Cnsba	0.002g	184.61
Bogotá	Crosa	0.003g	162.73
Colombia	Ccol	0.015g	154.24
Dagua	Cdagu	0.003g	138.91
Guaduas	Cguad	0.006g	146.25
Norcasia	Cnorc	0.007g	158.34
Pensilvania	Cpens	0.021g	126.44
Villahermosa	Cvill	0.012g	98.05

# Acondicionamiento Territorial y el Impacto Social

## INTRODUCCIÓN

Los gobiernos locales tienen la gran responsabilidad de representar a la ciudadanía y promover el desarrollo de la comunidad. El desarrollo del espacio local debe ser armónico y democrático, pero ello no se limita sólo a la convocatoria y participación de la población de la unidad político - administrativa (provincia o distrito), sino también al uso racional del espacio en el que se llevan a cabo las diferentes actividades humanas.

Es por ello que cuando se hacen obras en un distrito o provincia, no tan sólo se está beneficiando a la población residente, sino que se está transformando el medio, el territorio, plasmándose en el espacio las decisiones políticas, originadas en la voluntad de la población. Si bien es cierto la planificación de acciones del gobierno local es una tarea importante, sin embargo, en la práctica se la pospone con criterios inmediatistas de efectuar acciones u obras de poco aliento y reducido impacto en el desarrollo local. La planificación urbana y rural son instrumentos poco empleados en los hechos, muchas veces por ser documentos elaborados sólo en gabinete o de manera elitista por grupos «selectos» de entendidos en la materia, a veces desde organismos públicos especializados, pero siempre con marcada ausencia de los pobladores, que deben ser los verdaderos actores.

Los instrumentos de planificación pueden ser validados y considerados orientadores, pero al no existir en el Perú un marco legal claro y orgánico, poco es lo que puede hacerse por programar actividades suficientemente sostenibles en el tiempo, que beneficien a la población, haciendo uso racional de los recursos.

En este sentido, el ordenamiento y acondicionamiento territorial es un tema que no se aborda como corresponde en nuestro país, salvo esfuerzos gubernamentales por levantar planes, que si bien es cierto recogen información espacializada, aún no involucran en la medida de lo necesario a los actores locales y regionales.

En este número de Cuadernos de Desarrollo Local presentaremos el tema del acondicionamiento territorial en Piura, como instrumento de planificación que debe aplicarse a los niveles local y regional, en la perspectiva de promover un desarrollo armónico y sustentable en todos los distritos y provincias de Piura.

Para el Desarrollo Local:

## ORDENAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO TERRITORIAL

Los grupos humanos, sociedades organizadas, tienen como marco para su desarrollo la ocupación de la superficie terrestre y el empleo de recursos; cuestión en la que, aunque parezca obvio, casi nunca ponemos énfasis en los impactos que efectuamos en el medio ni, viceversa, en los impactos que el medio ejerce sobre el hombre.

Lamentablemente, de cierta manera debido a nuestra educación estamos impregnados de una idea: el Perú es un país rico en recursos naturales, y éstos son inagotables. Esta forma de pensar nos hace ser poco previsores en la explotación de recursos naturales, nos hace pensar que estamos ante una inacabable fuente de bienes e, inclusive, nos hace creer que el territorio nacional alcanzará para todo aquello que querramos hacer. Pero, al echar una ojeada a nuestro espacio local, vemos que cada lugar tiene potencialidades, que a veces las identificamos sólo para sobre explotarlas, y después nos damos cuenta que también tenemos carencias.

En este sentido debemos estar constantemente identificando elementos que encontramos en nuestro entorno inmediato, para conocerlo y posteriormente proponer su mejor uso, sea este un recurso o un espacio. Los recursos más visibles son: el suelo agrícola, el agua, el bosque, el clima, la flora, la fauna, entre otros, pero hay otro recurso muy importante, que es el territorio. Este recurso que es de naturaleza finita, puede y debe ser manejado con responsabilidad e inteligencia, pensando en no comprometer su potencialidad, pues las siguientes generaciones deben continuar disponiendo de aquello que ahora aprovechamos.

En el Perú concebimos a nuestro territorio y sus recursos como primera fuente de riqueza y en un segundo plano consideramos a la riqueza que representa las potencialidades de nuestras comunidades, es decir, aquellas capacidades que tienen los ciudadanos, que al mismo tiempo pueden constituirse en transformadores y agentes de

desarrollo de nuestro espacio local. En este sentido debemos tener en cuenta que el aprovechamiento de recursos debe tener relación con el nivel de desarrollo de la comunidad, pues ambos se encuentran íntimamente ligados.

## CONOCER EL ENTORNO

Para aprovechar el territorio resulta indispensable conocerlo y reconocerlo al mismo tiempo como aquel «recipiente» en el que realizamos nuestras actividades, en el que vivimos. El territorio es concebido según nuestros intereses o como nuestra cultura o economía pueda valorarlo. Por ejemplo, pueden existir:

*\* Existen diferentes maneras de denominar el acondicionamiento territorial en los países hispanoamericanos. Acondicionamiento y ordenamiento u ordenación del territorio son tomados como sinónimos pero, en el presente boletín, distinguimos dos fases: ordenamiento y acondicionamiento.*

porciones de territorio que no sean considerados como aprovechables por algunas culturas, mientras que otras vean en ese mismo espacio la oportunidad de una mayor explotación de sus recursos. Lógicamente, en esto entran a tallar las tecnologías aplicadas sobre el medio ambiente en busca de lograr satisfacer nuestras necesidades.

Tenemos una herencia poco ponderada, pero muy importante: el conocimiento del medio en el que habitamos. Durante muchos años hemos acumulado una serie de informaciones concernientes a nuestro territorio, y sabemos distinguir cuál es la buena o mala tierra o lugar para dedicarla a determinada función que querramos hacer. Por ejemplo, no se nos ocurriría construir viviendas en un terreno extremadamente pedregoso, o un terreno fértil no será seleccionado para la ganadería, sino más bien para la agricultura. También si reconocemos las características climáticas y de la cantidad de aguas disponibles, podemos optar por construir canales o reservorios, si es que sabemos que el recurso agua empieza a escasear.

## DEL MEDIO VIVIDO AL ACONDICIONAMIENTO TERRITORIAL

La primera parte del Acondicionamiento Territorial empieza con el reconocimiento o diagnóstico de los recursos naturales, existentes en un determinado territorio, que en este caso puede referirse al ámbito de una provincia o distrito. Los recursos naturales que evaluamos en una primera aproximación de lo que entendemos por potencial territorial (indicando la potencialidad que éstos pueden proporcionar) son, por lo general, suelo agrícola, agua, clima, flora, fauna, bosque, pastos, provisión de energía, minerales.

Debemos cruzar la información que obtenemos acerca de los recursos existentes con los usos actuales del territorio, pero en forma dinámica, determinando los impactos negativos o positivos que se dan sobre el medio ambiente, sopesando las compatibilidades y conflictos en el uso de los recursos naturales, que afecten tanto a la sociedad como a la permanencia de los recursos. En esta parte encontraremos, seguramente, una serie de incompatibilidades o usos poco racionales que existen sobre el territorio, así como desequilibrios y localizaciones poco apropiadas para los usos necesarios del suelo. Por ejemplo, el cultivo de arroz en la costa desértica es contra productivo con las condiciones de sostenibilidad de recursos, tales como el suelo y el uso de agua (salinización).

La primera revisión de las potencialidades de los recursos debe llevarnos a la localización geográfica de las principales áreas en donde podemos encontrar las mejores condiciones para explotar recursos, o conservarlos, pero en cualquier caso debe primar el criterio del aprovechamiento racional. El tener un recurso natural no quiere decir que su explotación debe ser prioritaria para obtener algún nivel de progreso, pues está demostrado que en no pocos casos el uso inmediato de los recursos no revierte en desarrollo local; antes bien podemos apoyarnos en su aprovechamiento, pero no basar el desarrollo en utilizar los bienes naturales. Este es uno de los principales problemas ambientales en el país: la poca conciencia de la limitación de recursos.

La determinación de la localización de centros poblados y actividades humanas, las interrelaciones existentes, el peso demográfico, la interconexión, son también elementos básicos para comprender la forma como el hombre ha venido aprovechando el territorio, y para conocer qué tan efectivo, racional y positivo ha sido (o es) la actual distribución de la población.

La localización de recursos y las actividades humanas poseen fuerte vinculación con aquello que queremos hacer con ellos y también con la clase de zonificación económico ecológica que pueda plantearse en la jurisdicción materia de estudio. La utilización de recursos y del suelo debe ser una tarea consensual, en que podamos determinar cuáles son las principales áreas potenciales de nuestro distrito o provincia, pero también en qué queremos emplear dicho potencial (sin comprometer a las futuras generaciones y sin agotar la capacidad de renovación de recursos).

El proceso de espacialización de aquello que deseamos hacer no debe ser el resultado del trabajo de un equipo especializado, sino que también debe convocar a la población y sus representantes, pues, caso contrario,

estaremos construyendo un instrumento de planificación técnicoburocrático que sólo legitimaría la «institucionalidad» de esta forma de trabajo.

La determinación de los usos posibles de recursos y potenciales debe generar un Plan de Ordenamiento Territorial, también conocido como ordenamiento ambiental, aunque esta última acepción se vincula más a planes de conservación de la naturaleza. Este Plan de Ordenamiento Territorial contiene aquellos criterios y posibles usos del territorio, sobre la base de lo que tenemos ahora y en función a los objetivos que queremos darle en el futuro. Los criterios técnicos deben apoyar las tomas de decisiones de la población y su representación, en la determinación del uso deseable de los recursos potenciales y de un mejor uso para los actuales recursos.

Los pobladores y sus dirigentes deben plasmar en un documento sus propuestas de distribución y uso ideal de los recursos existentes, precisando y fundamentando las acciones que se deben a llevar a cabo en el futuro, así como las necesidades más urgentes para impulsar el desarrollo económico productivo, facilitar la ocupación del territorio y la conservación de los recursos. Para ello será necesario clarificar los proyectos que tengamos, teniendo en cuenta posibles escenarios positivos y negativos, conociendo para ello las tendencias existentes en la comunidad y las generadas fuera del entorno inmediato.

La necesidad de proponer mecanismos que faciliten la puesta en marcha de los proyectos y programas que deben desprenderse del uso deseable del espacio, considera la consolidación de acuerdos a corto, mediano y largo plazo a manera de pacto local, en el que queden incorporados los esfuerzos del sector público y privado. La institucionalización de acuerdos y la necesidad de normar procedimientos nos conducen a elaborar un Plan de Acondicionamiento Territorial, que tiene como principal característica el proponer la construcción de obras físicas que faciliten la puesta en marcha de los proyectos propuestos en determinados espacios y garantizar el uso racional y sostenible del territorio. Es por ello que este instrumento es un orientador muy importante del presupuesto público, y por ello debe incluir el concurso de la población en la propuesta y control ciudadano de la ejecución del Plan de Acondicionamiento Territorial.

Estas pautas para la formulación y ejecución de proyectos debe reflejar efectivamente lo que es un proyecto local (en buena parte puede ser un proceso de planificación estratégica para el desarrollo local, pero con criterios de sostenibilidad ambiental), en el que se ha vertido y concertado las expectativas de desarrollo de parte de la población, con criterios de conciencia espacial y de desarrollo sostenible.

En proyectos de esta naturaleza las funciones de la infraestructura física se enlazan con el uso racional del espacio local en la perspectiva de optimizar los servicios brindados a la ciudadanía. Por ejemplo, si se propone otorgar servicios de salud que lleguen a toda la población, esto no significa que cada caserío cuente con una posta de salud; debe proponerse cuál es el lugar con mejores condiciones de centralidad y de alcance a mayor número de potenciales usuarios para identificar la localización, el tipo de infraestructura e implementación necesaria, así como la inversión a efectuarse para atender a la población.

Otro de los ejes más frecuentes en el Acondicionamiento Territorial es dar prioridad a la potenciación de flujos, teniendo en cuenta para ello la construcción de corredores y carreteras que activen la vida económica de una región, o provincia. Ello no deja de ser importante, pero en muchos casos se desliga de la real formulación de ordenamiento territorial y de uso sostenible del espacio. No debemos olvidar que la vialidad, no siempre constituye un motor de desarrollo de todo el espacio local, pues se pueden plantear reales impactos en la sociedad por ejemplo en el que la relación campo ciudad se ve seriamente comprometida a favor sólo de los grandes nodos urbanos.

Como podemos percatarnos el criterio político racional de mejor administración de recursos se torna en un imperativo, que debe procurar evitar la tentación de hacer obras para contentar a un potencial electorado, o simplemente construir con criterios subjetivos.

Las acciones políticas de un gobierno democrático deben considerar que el Acondicionamiento Territorial es un instrumento no el fin de una planificación que valora el uso racional del territorio, orientando los procesos del aprovechamiento sostenible y equilibrado del mismo y ponderando la participación del sector público y de los actores locales en la propuesta, ejecución y evaluación de sus intereses para el desarrollo futuro.

## **ACONDICIONAMIENTO Y GOBIERNOS LOCALES**

La planificación territorial en el Perú desde la década del noventa está minimizada, a partir de la desactivación del Instituto Nacional de Planificación, quedando sólo los planes urbanos a cargo de las municipalidades provinciales y distritales como herramientas de planificación, especializándose en la elaboración de planes directores.

En un período en el que los gobiernos locales más empobrecidos aumentaron en alguna medida sus rentas por transferencias del gobierno central, se presentó el caso en que ciudades importantes vieron disminuidos sus ingresos y con ello las obras de acondicionamiento urbano. Algunos municipios más pequeños y alejados, por el contrario, iniciaron la ejecución de obras, orientándose sobre planes elaborados por equipos profesionales, muchas veces foráneos, en que se dio prioridad al equipamiento. Pero en realidad las deficiencias y carencias siguen siendo manifiestas, por cuanto los ingresos que en general los municipios reciben por transferencias del gobierno central son exigüos.

Las ciudades mayores disminuyeron sus obras y su capacidad de mantenimiento y equipamiento, mientras que el Ministerio de la Presidencia aparecía como un serio e inesperado competidor en la construcción de obras. Por otra parte, en las zonas alejadas se requiere de un tratamiento especial con vistas al desarrollo rural y urbano, lo cual no se da. Se está perdiendo la perspectiva de desarrollo de sistemas espaciales en función del desarrollo actual y futuro.

En nuestro país, adicionalmente, persisten vacíos legales y de procedimientos normativos claros que faciliten la institucionalización de Planes de Acondicionamiento Territorial. En países como Colombia o Venezuela, por citar solo dos casos, hay normas precisas que señalan los pasos metodológicos a seguir en cada nivel de gobierno, para orientar de este modo las inversiones en el territorio, con un gran componente de participación ciudadana, de institucionalidad y de conciencia ambiental.

No se trata, pues, de una prerrogativa exclusiva del gobierno central o regional el orientar el desarrollo territorial, porque los niveles provincial y distrital poseen algunos roles definidos por la Ley Orgánica de Municipalidades y el Reglamento de Acondicionamiento Territorial, el Desarrollo Urbano y el Medio Ambiente (D.S. 00785VC), los que aún siendo insuficientes orientan en alguna medida el aprovechamiento del espacio.

Los planes de desarrollo urbano resultan un buen soporte para las acciones de los gobiernos municipales, sin embargo, son muchos los casos en que han quedado relegados como documentos en los estantes de los burócratas locales, sin ser finalmente tomados en cuenta. Esto puede explicarse en parte porque no son concebidos con el concurso de todas las autoridades locales y de los vecinos, pero también puede obedecer al desorden en la ejecución de obras. Por tanto, concebir y tener un Plan de Acondicionamiento Territorial no significa la cristalización de las expectativas del espacio local.

Si este proceso de planificación se construye carente de compromisos y legitimación a través de la participación, adolece de institucionalidad en el control, y soslaya el financiamiento, poco es lo que se puede lograr en el futuro, creándose mas bien desaliento entre la población.

La planificación estratégica posee elementos importantes para lograr la formulación, consolidación, ejecución y monitoreo de planes y proyectos locales, aunque es imperativo alimentar este proceso del componente espacial y de la previsión de escenarios dinámicos en la elaboración de propuestas y planes de contingencias.

Las obras físicas son un soporte para el desarrollo, pero no son en definitiva lo que convierte a un distrito o provincia en un espacio desarrollado. Es por ello que debemos evitar la tentación de convertir un Plan de Acondicionamiento Territorial en sólo un inventario de obras de equipamiento distribuidas en toda la jurisdicción.

Muchos gobiernos locales consideran el Acondicionamiento Territorial como una programación de obras físicas, sin tener claro que lo central es el aprovechamiento de todo el territorio. Así mismo, otros se centran en acondicionar sin haber realizado un ordenamiento previo, o sin haber hecho por lo menos un reconocimiento de lo que se debe potenciar en el distrito para impulsar su desarrollo socioeconómico.

Por citar un ejemplo, la infraestructura física para el funcionamiento de servicios básicos a la población es importante, pero sólo impulsamos la consolidación de asentamientos, sin considerar jerarquías por rango poblacional y prever otras exigencias y demandas a nivel de todo el espacio geográfico local. Pocas veces pensamos que debemos tener espacios de reserva para alguna actividad, por ejemplo para una posible reubicación por desastre o expansión urbana de los caseríos, o para conservar bellezas escénicas, evitando su deterioro o explotación inmediata.

En muchos casos vemos que existen instrumentos de planificación y acondicionamiento territorial a nivel de ciudades capitales provinciales, que ayudan a orientar las inversiones futuras por parte del gobierno local; pero al mismo tiempo detectamos que son muy pocos los casos en que este tipo de planificación llama a la población para conocer su visión de futuro y/o para que contribuya participando en la ejecución, control y evaluación del plan. Más aún, en términos generales los problemas comunes deberían ser compartidos por más de un municipio, manteniendo una comunicación permanente con la ciudadanía.

## PLANIFICACIÓN ESPACIAL EN PIURA A NIVEL LOCAL

En Piura encontramos diferentes modalidades de planificación en las que la concertación es importante, y en las que se recoje de una u otra manera la dimensión espacial del proceso. Sin embargo, es necesario replantearnos la imagen de desarrollo sostenible, pero con referentes espaciales.

En el caso de la provincia de Morropón, por ejemplo, funciona la concertación provincial en la Asamblea de Alcaldes Distritales (AAD), empezando por reconocer diferencias y especializaciones geográficas (distritos de costa y de sierra) en la jurisdicción política, proponiendo la asignación de recursos económicos del Foncomun para la construcción de obras en función de un desarrollo armónico acorde con las necesidades y realidad de cada distrito. Desde esta AAD, también se propone ante el Consejo Transitorio de Administración Regional (CTAR Piura) cuáles son las prioridades identificadas, previa concertación, de las necesidades interdistritales, teniendo en cuenta el relieve, naturaleza climática, especialización productiva u otras diferencias que demanden atención especial.

Si bien es cierto, esto no constituye aún un reconocimiento pleno de la evaluación de recursos, ordenamiento territorial, zonificación económicoecológica, consideramos que en la provincia de Morropón existen ya mecanismos que podrían facilitar la elaboración de un Plan de Acondicionamiento Territorial Provincial, tal como lo proponemos, dado el nivel de desarrollo de mecanismos de concertación, de reconocimiento de diferenciaciones espaciales y ejecución de obras conjuntas.

Otros instrumentos de planificación en la región, que contemplan las variaciones ecológico espaciales y las cuencas hidrográficas, son los planes participativos llevados a cabo en las cuencas del río Bigote y La Gallega, promovidos por el CTAR y la GTZ. En estos planes se han precisado diferencias en la intervención concertada en los diferentes pisos ecológicos, sobre poniendo los límites distritales, para así trabajar en forma coordinada y concertada con las municipalidades de la zona. En estos planes se valora la heterogeneidad del medio, y se plasman acciones diferenciadas, previo acuerdo con las autoridades y organizaciones locales.

La Planificación Estratégica para el Desarrollo Local promovida por el Cipca en diferentes provincias y distritos es un proceso que fortalece la participación y control ciudadano en los niveles de propuesta y participación, teniendo en cuenta la programación de acciones y ejecución de inversiones por la municipalidad y la gestión de recursos para lograr objetivos estratégicos. Se busca fortalecer las instancias y procedimientos de enriquecimiento de los planes, a partir de una participación creciente de la sociedad civil. Sin embargo, resulta necesario trabajar más el aprovechamiento racional de los potenciales del medio geográfico, planteando especializaciones territoriales sustentables, aunque la propuesta de corredores económicos al interior de las provincias es un paso importante en el trabajo de planificación del territorio.

## PROCESO DE PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DEL DESARROLLO LOCAL

La formulación del plan es una tarea que no se cierra con el proceso de elaboración de la propuesta y su aprobación; ésta constituye un proceso de actualización y reajuste sistemático.

### 1. Horizonte y proyección del plan

El plan se proyecta para los tres años de gobierno local, en el marco de las previsiones de largo plazo de la imagen objetivo. En el corto plazo, el plan operativo municipal que deriva del plan integral permite la concreción presupuestal y operativa de dicho plan.

### 2. Instrumentos operativos del plan integral

La planificación del desarrollo local cuenta con tres instrumentos operativos fundamentales: el plan operativo municipal, el plan de acondicionamiento del territorio y los planes urbanos.

### 3. El plan de acondicionamiento del territorio

- a) El plan de acondicionamiento del territorio (PAT) es un instrumento del plan integral de desarrollo provincial. Está dirigido a la organización físico-espacial de las actividades económicas y sociales de su ámbito territorial, estableciendo la política general relativa al uso del suelo y a la localización funcional de las actividades en el territorio (DS 007-VC)
- b) El PAT abarca el conjunto del territorio de la provincia y podría ser integrado en forma conjunta con otras provincias cuando la naturaleza de las propuestas lo requiera, sea por la continuidad del espacio económico, social y físico.
- c) La elaboración del PAT está bajo responsabilidad de la municipalidad provincial, con la participación de las municipalidades distritales y de las agencias del gobierno central y regional ubicadas en la provincia. En caso de que cubra una sub región estará bajo la responsabilidad de un ente integrado por las instancias

responsables de las municipalidades provinciales que lo integran. El PAT definirá su ámbito, sean estos provinciales y/o distritales.

- d) Los aspectos que comprende el PAT están referidos a la distribución física y espacial de las actividades fundamentales de la provincia, la localización y trazo de las redes de infraestructura física y de los servicios básicos que requiere la población de la provincia.
- e) El PAT fijará los objetivos, políticas y prioridades concernientes a la explotación de los recursos naturales, la defensa de los ecosistemas naturales, del patrimonio natural, turístico y paisajista.
- f) En el PAT se establecerá el esquema normativo del sistema urbano, las redes de los servicios y la vocacionalidad funcional y de servicios a la actividad provincial, regional y nacional.
- g) Las municipalidades involucradas en el PAT podrán coordinar la ejecución de sus inversiones a efectos de obtener una mayor eficiencia de las mismas.

#### 4. Los planes urbanos

Los planes urbanos son instrumentos técnico normativos para la previsión y programación de las acciones de ordenamiento y acondicionamiento de los centros poblados y sus áreas agropecuarias de influencia directa. Estos planes se adecuarán a las orientaciones establecidas en el plan integral de desarrollo y en el plan de acondicionamiento territorial, en cada centro poblado del ámbito provincial.

- a) Los planes urbanos, de acuerdo con la complejidad de los centros poblados, con su alcance territorial y temporal, podrán ser: planes de desarrollo metropolitano, para ámbitos de aglomeraciones mayores; planes directores de ámbitos agro urbanos y aglomeraciones menores; y, planes de ordenamiento urbano para el caso de centros menores y capitales de distrito.
- b) Los planes urbanos, por ser instrumentos técnicos para el desarrollo físico de los centros poblados, deben concretarse en políticas, estrategias, metas, programas y proyectos específicos de acción en su ámbito.
- c) Los planes de desarrollo metropolitano contienen proposiciones generales y específicas sobre aspectos sociales, económicos, institucionales y físico espaciales. Comprenden aglomeraciones mayores del sistema urbano nacional; se considera que la población estimada para una aglomeración metropolitana supera los 500 mil habitantes.
- d) Los planes directores corresponden a las capitales de provincias y sus aglomeraciones agro urbanas integradas en sus áreas de influencia; contienen proposiciones generales y específicas sobre aspectos de ordenamiento urbano, acondicionamiento ambiental y promoción del desarrollo socio económico del ámbito de intervención.

#### 5. Plan director de desarrollo agro urbano

Recientemente se ha desarrollado una aproximación integral a los ámbitos que involucran las aglomeraciones urbanas intermedias; esta nueva aproximación se inscribe en la concepción del desarrollo agro urbano.

##### a) Concepción

Los planes directores de desarrollo agro urbano se proponen como alternativa a los planes directores tradicionales. Estos planes se formulan para cubrir aglomeraciones agro urbanas que comprenden uno o más centros principales, una red compacta de centros poblados menores e intermedios y un espacio agropecuario, eriazos y/o de otros propósitos, tejido en este espacio aglomerado.

La lógica de estos planes se basa en la combinación de procesos económicos, sociales y ecológicos reales. El eje de estos procesos se ubica en las poblaciones concretas. En tal sentido, los procesos económicos están ligados a las funciones agro productivas de la PEA, los procesos sociales y vecinales y a las relaciones de consumo de bienes y servicios y los procesos ecológicos a la relación entre producción-consumo y medio ambiente.

Se plantea una metodología social-inductiva con la movilización de las propuestas de desarrollo desde la base social, la formulación de los problemas sentidos en la sociedad y la identificación de las acciones y proyectos provenientes de los agentes de la comunidad.

##### b) La concepción espacial

El escenario de estos planes es la trama agro urbana. Esta supone principalmente:

- Un entorno ecológico-ambiental definido;
- Una aglomeración agro urbana formada por una o más ciudades principales, centros poblados menores, áreas agrícolas y zonas de protección y otros usos;
- Un conjunto de actividades productivas y servicios orientados;
- Una estructura orgánica de vecinos y de agentes económicos.

- Las tramas agro urbanas se forman por las relaciones espaciales entre los agentes del desarrollo: productores, consumidores, vecinos y gobierno local. En este esquema las redes vecinales están marcados principalmente por:
  - Su relación con el habitat: vivienda, servicios residenciales como agua potable, desagües, electricidad, transportes y comunicaciones.
  - Su relación con el uso de los suelos entre los que contamos el comercio, la industria, la recreación y el equipamiento de educación y salud.
  - El abastecimiento de bienes de consumo primario, tales como alimentos y medicamentos y eventualmente su relación con la población regional.
- Hay que combinar en los planes directores de desarrollo agro urbano los intereses sociales de la población en sus múltiples roles: como agentes económicos, consumidores y como vecinos.

### c) Los espacios agro urbanos

En el proceso de planificación del desarrollo agro urbano deben tenerse en cuenta tres espacios diferenciados:

- Un espacio complejo delimitado por los bordes de las ciudades, en el que se combinan las diversas actividades y las redes mencionadas.
- Un espacio ampliado, al que denominamos «aglomeración», que incluye las ciudades principales, los centros poblados menores y las áreas de producción agrícola, minera o pesquera.
- Un espacio global, que provoca cambios cualitativos en los patrones de demanda-consumo e inversión cada vez con mayores alcances que sobrepasan los límites de las ciudades y de las aglomeraciones.

### d) El objetivo estratégico

Es la consolidación de la base productiva y de los centros poblados menores con localización estratégica. La estrategia es inducir el desarrollo del modelo desde las bases y desde los proyectos en proceso de ejecución.

El modelo de desarrollo agro urbano en la escala de las aglomeraciones existentes se desarrollará en forma inductiva antes que deductiva; según ello los procesos se desarrollarán desde las acciones planificadas y promovidas por los gobiernos locales y la organización social. Inicialmente podríamos carecer de esquemas de integración horizontal de las organizaciones sociales y económicas de la colectividad; por esto la planificación del desarrollo combinado agro urbano debe inducir mediante mecanismos de participación, tipo talleres, la combinación de propuestas, recursos y potencialidades para la formación de una estructura orgánica de los agentes del desarrollo local: productores, campesinos organizados, comunidades y organizaciones vecinales, etc, que tendrán cierta permanencia.

### e) La estrategia de gestión

Las decisiones sobre desarrollo físico son compartidas por diversos agentes de desarrollo local. El tipo de decisiones que deben ser materia de ese proceso de desarrollo participativo es el siguiente:

- Usos de suelo, según su capacidad agro ecológica.
- Servicios básicos y saneamiento ambiental.
- Facilidades de mercadeo.
- Equipamiento comunal (educación, salud, etc.).
- Redes de infraestructura.
- Seguridad y prevención de desastres.
- Propiedad de las tierras.
- Forestación y protección de laderas.
- Otras funciones productivas y de servicios.

El conjunto de las instituciones sociales y políticas deben participar en el territorio de la aglomeración y de su área de influencia.

### f) Contenido de los planes urbanos

En cada caso, los planes guardarán las especificidades que corresponden a las diferentes realidades regionales y locales; las dimensiones del espacio de intervención y la necesaria relación entre los centros poblados de la aglomeración y las áreas agropecuarias, eriazas, forestales, cursos de agua, etc., obligan a la realización de estudios específicos que corresponden a las realidades locales.

- Estudios de base y de diagnóstico: los estudios más importantes, que deberían ser incluidos en la fase de elaboración, son los siguientes:
- Delimitación del ámbito de intervención del plan, el cual cubre una dimensión que supera los 15 Km en cada dirección del centro urbano principal.

- Estudios físicos del ámbito de intervención, que incluye: restitución aerofotográfica para determinar características topográficas, estudio de la capacidad agrológica, estudio geotécnico, estudio de seguridad ambiental, cursos de agua, etc, estudio de economía urbana y mercados de la tierra urbana.
- Estudios socio económicos, a partir de una encuesta de hogares para determinar la demanda de servicios básicos, de transporte y de vivienda; niveles de ingreso; niveles de vida, etc.
- Estudios de localización y relación económica productiva, que incluyen la evaluación de las actividades agropecuarias, industriales, turísticas, comerciales, etc. Se estimaría el volumen y naturaleza de las actividades y la demanda de suelos y facilidades de servicios de transportes, energía, saneamiento, empleo, etc.
- Estudios de vialidad y transportes: tráfico urbano, demanda y servicios de transportes de carga y pasajeros.
- Otros estudios complementarios.
- Formulación de políticas específicas de desarrollo y expansión urbana, dirigidas a la promoción del desarrollo integral.
- Elaboración de programas y proyectos de inversión, sobre la base de las necesidades sentidas por la comunidad, los requerimientos de otros agentes de desarrollo y los estudios de diagnóstico efectuados dentro del plan.
- Normas técnico urbanísticas y de ocupación del territorio.
- Planes de tratamiento de las áreas problema, expansión urbana, etc.
- Plan de zonificación y usos de suelo
- Plan de saneamiento ambiental.
- Plan de electrificación y desarrollo energético.
- Plan de seguridad ambiental.
- Plan de sectorización y equipamiento urbano.
- Plan de acondicionamiento de la gestión del desarrollo urbano.

## CONCLUSIONES

1. La planificación del desarrollo local se expresa en un conjunto de instrumentos de tipo promocional y normativo. Los instrumentos de tipo promocional están ligados al plan integral de desarrollo provincial, en tanto que los instrumentos de índole normativo se acentúan en los planes urbanos. Entre ambos se tejen los planes de acondicionamiento territorial.
2. La responsabilidad de la formulación de los planes de desarrollo local sigue siendo una función y una prerrogativa municipal; sin embargo, cada vez y con mayor fuerza, resulta imprescindible la participación de la comunidad en diversas formas y en los diferentes estadios de desarrollo de los planes.
3. Se insiste en la necesidad de institucionalizar el proceso de planificación del desarrollo local, con participación de la comunidad, por lo que es indispensable la constitución de comités consultivos de planificación con participación de la municipalidad y de las diversas agencias del Estado, de la comunidad en sus diversos niveles de representatividad, sea de productores, consumidores, vecinos, empresas y, finalmente, de técnicos y participantes individualmente motivados.
4. Es indispensable el establecimiento de un sistema de preinversión e inversión que permita ofrecerle a los planes los canales de expresión concreta, financiamiento y realización de las metas de los planes. Es indispensable el uso de metodologías inductivas que trabajen en forma específica la variable de la inversión mediante los proyectos.
5. Para una mayor especificidad de los planes es preciso establecer un nivel de comunicación e intercambio entre las instancias de planificación, presupuesto, cooperación internacional, con las instancias de informática, desarrollo físico, promoción social, etc.

*La Asamblea de Alcaldes Distritales de Morropón y la Inversión Espacializada*

*Raúl Castillo (alcalde de La Matanza)*

### ¿Cuál es el propósito central de la Asamblea de Alcaldes Distritales?

La Asamblea Distrital de Alcaldes de Morropón se reúne desde principios de 1,999, a partir de la gestión de la alcaldesa de la provincia, Clara Baca; las reuniones se hacen de manera descentralizada en los distintos distritos de la provincia. Hay distritos de costa (con problemas más o menos comunes) y distritos de sierra, (de manera similar, con problemas también más o menos comunes entre ellos). Entonces, la Asamblea tiene por propósito definir los proyectos que tienen alcance provincial, o que en todo caso involucran a varios distritos; por ejemplo, en la reunión de alcaldes en Chalaco quedó claro que la vía de comunicación Morropón - Chalaco se encontraba en malas condiciones, y esto afectaba a varios distritos: por unanimidad la Asamblea acordó apoyar las gestiones para solucionar dicho problema.

### ¿Cómo se distribuyen las inversiones municipales?

El presupuesto del Concejo Provincial se ha descentralizado. Por primera vez, un 20 % del FONCOMUN que le

corresponde se destina al conjunto de los distritos, como producto de un acuerdo de la Asamblea, que fue ratificado por el pleno del Concejo Provincial. y, la distribución de este 20% se hace fundamentalmente en base al criterio de población y en general a los criterios que maneja el Ministerio de Economía.

### LOS PLANES DIRECTORES

«Es muy importante que las ciudades crezcan de manera ordenada. Por esto en cada ciudad, distrito o provincia, las infraestructuras y las inversiones de apoyo deben estar vinculadas al propósito de tener una ciudad segura y sostenible, y para ello se requiere un instrumento de gestión ad hoc. Por esta razón en los planes estratégicos aparece con mucha fuerza la necesidad de que las municipalidades cuenten con un plan director o plan de desarrollo urbano-rural. Este plan director, precisamente, va a asegurar que las prioridades, que en materia de obras de infraestructura definen las instituciones y la población, sean aquellas que acondicionen espacio y permitan un mejor lugar para vivir; que asimismo la ciudad crezca en función a un ordenamiento y no como producto de un caos; que se ubiquen las zonas menos vulnerables para que se asiente la población; y, que permita precisar también las zonas de expansión.

### LEGISLACION CONCERNIENTE AL ORDENAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO TERRITORIAL

1. Constitución Política del Perú, prom. 29/12/93.
2. Ley General de Aguas (Decreto Ley 17752), pub. 25/07/69.
3. Ley de Comunidades Nativas y Desarrollo Agrario de las Regiones de Selva y Ceja de Selva (DL22175), pub. 10/05/78.
4. Ley (23853) Orgánica de Municipalidades, pub. 09/06/84.
5. Ley (24047) General de Amparo al Patrimonio Cultural de la Nación, pub. 16/09/85.
6. Ley (25977) General de Pesca, pub. 22/12/92.
7. Ley (26221) Orgánica que regula las actividades de hidrocarburos en el territorio nacional, pub. 20/08/93.
8. Ley (26410) del Consejo Nacional del Ambiente - CONAM, pub. 22/12/94.
9. Ley (26505) de Inversión Privada en el desarrollo de las actividades económicas en las tierras del territorio nacional y de las comunidades campesinas y nativas, «Ley de Tierras», pub. 18/07/95.
10. Ley (26821) Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales, pub. 26/06/97.
11. Ley (26834) de Areas Naturales Protegidas, pub. 04/07/97.
12. Ley (26839) sobre la Conservación y Aprovechamiento Sostenible de la Diversidad Biológica, pub. 16/07/97.
13. Ley (26922) Marco de Descentralización, pub. 03/02/98.
14. Ley (26961) para el Desarrollo de la Actividad Turística, pub. 03/06/98.
15. Ley (27308) Forestal y de Fauna Silvestre. Pub. 17/7/2000.
16. Decreto Legislativo 613, Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, pub. 08/09/90.
17. Ley de Promoción de las Inversiones en el Sector Agrario (Decreto Legislativo 653), pub. 01/08/91.
18. Decreto Supremo 062-75-AG, Reglamento de Clasificación de Tierras, prom. 22/01/75.
19. Decreto Supremo 016-80-TC, que dispone la interconexión vial de todas las capitales de distritos con la red principal de caminos, pub. 06/09/80.
20. Decreto Supremo 007-85-VC. Reglamento de Acondicionamiento Territorial, Desarrollo Urbano y Medio Ambiente.. Pub, 20/11/85.
21. Decreto Supremo 014-92-EM, Texto Unico Ordenado de la Ley General de Minería, pub. 04/06/92.
22. Decreto Supremo 048-97-PCM, Reglamento de Organización y Funciones del Consejo Nacional del Ambiente CONAM, pub. 04/10/97.
23. Decreto Supremo 010-98-PRES, Reglamento de Organización y Funciones de los Consejos Transitorios de Administración Regional - CTAR, pub. 01/08/98.
24. Decreto Supremo 009-99-MTC, que aprueba el Texto Unico Ordenado del Decreto Legislativo 803, Ley de creación de la Comisión de Formalización de la Propiedad Informal - COFOPRI, pub. 11/04/99.
25. Decreto Supremo 010-99-AG, que aprueba el Plan Director de las Areas Naturales Protegidas, pub. 11/04/99.
26. Decreto Supremo 002-2000-AG, Reglamento de Organización y Funciones del Proyecto Especial de Titulación de Tierras y Catastro Rural, pub. 28/01/2000.
27. Decreto 001-2000-CD/CONAM, que aprueba la Agenda Ambiental Nacional 2000-2002, pub. 07/04/2000.
28. Decreto 004-2000-CONAM/CD, Reglamento de las Comisiones Ambientales Regionales, pub. 17/06/2000.

## CONCLUSIONES

1. El ordenamiento territorial consiste en crear una imagen objetivo en función del manejo del espacio, planteando especializaciones sobre la base de un diagnóstico económico - ecológico de una superficie determinada. Mientras que el acondicionamiento territorial es entendido como el proceso de implementación física necesaria para hacer realidad el ordenamiento.
2. El ordenamiento territorial supone la vigencia de una política de Estado y de instrumentos de planificación apropiados y sostenibles, compatibles con la conservación. Esta política de Estado debe sustentarse en la participación activa de la población asentada en un ámbito territorial.
3. El acondicionamiento territorial en el país presenta un incipiente desarrollo. No existe una política de Estado claramente definida. En todo caso están vigentes algunos instrumentos técnico - normativos, que por su débil desarrollo no son suficientes para hacer un uso racional de recursos a largo plazo.
4. En la práctica hay un desorden en las propuestas de manejo territorial, pues cada sector público posee un tratamiento diferente y descoordinado con respecto al espacio. Donde se constata más posibilidades en este aspecto es al nivel local. En los municipios resulta más fácil planificar el área urbana que la rural, sin embargo, es importante tener una perspectiva de tratamiento espacial diferenciada.
5. En Piura se desarrollan algunos esfuerzos de naturaleza concertada que consideran la especialización territorial para los efectos de planificar acciones en beneficio de objetivos comunes de sus poblaciones. Queda como tarea pendiente la necesidad de evaluar estas experiencias.
6. Hace falta que estos esfuerzos se incrementen, y que otras municipalidades asuman el reto de concertar objetivo.
7. El Acondicionamiento Territorial debe ser parte del proceso general de planificación estratégica, tanto a nivel de distritos o provincias, como a nivel regional.
8. El Acondicionamiento Territorial tiene por propósito orientar inversiones públicas o privadas y distribuir eficientemente un conjunto de servicios básicos a la población; contribuyendo de esta manera a generar condiciones de competitividad a nivel local, que graviten de manera importante en el desarrollo regional.

# Vulnerabilidad estructural

## CONCEPTOS GENERALES

La vulnerabilidad estructural se refiere a la susceptibilidad que la estructura presenta frente a posibles daños en aquellas partes del establecimiento hospitalario que lo mantienen en pie ante un sismo intenso. Esto incluye cimientos, columnas, muros, vigas y losas.

De acuerdo a los cuadros 1 y 2 del capítulo anterior, es fácil concluir que los hospitales son vulnerables frente a un desastre. Las formas y estrategias para implementar las medidas de prevención y mitigación en establecimientos hospitalarios dependerán de si estos ya existen o están por construirse; por ejemplo, el componente estructural debe ser considerado durante la etapa de diseño y construcción, cuando se trata de un nuevo edificio, o durante una etapa de reparación, remodelación o mantenimiento, cuando se trata de un edificio ya construido.

Por otra parte, en la planificación de un hospital nuevo es necesario tener en cuenta que una de las mayores causas de daños en edificaciones han sido los esquemas arquitectónico-estructurales nocivos. Puede decirse de manera general que el alejamiento de formas y esquemas estructurales simples es castigado fuertemente por los sismos. De cualquier forma, dada la naturaleza errática de los sismos, así como la posibilidad de que se exceda el nivel de diseño, es aconsejable evitar el planteamiento de configuraciones riesgosas, independientemente del grado de sofisticación que sea posible lograr en el análisis de cada caso.

Lamentablemente, en muchos países de América Latina las normas de construcción sismorresistente no han sido efectivamente aplicadas y en otros no se han considerado especificaciones especiales para las estructuras de edificaciones hospitalarias. Por esta razón, no es extraño que cada vez que ocurre un sismo en la región entre las edificaciones más afectadas siempre figuren los hospitales, que deberían ser las últimas en ser afectadas. En otras palabras, la vulnerabilidad estructural de los hospitales es alta, situación que debe ser corregida total o parcialmente con el fin de evitar enormes pérdidas económicas y sociales, en particular en los países en desarrollo.

Debido a que muchas edificaciones hospitalarias fueron construidas hace mucho tiempo y otras no han sido diseñadas ni construidas con normas sismorresistentes, surgen dudas con respecto a la certeza de que dichas edificaciones puedan seguir funcionando con posterioridad a un sismo. En estos casos se hace imperativa una revisión lo más detallada posible sobre la capacidad de la estructura de soportar sismos moderados y fuertes, mediante estudios de vulnerabilidad.

## DAÑOS ESTRUCTURALES

En general, las enseñanzas que han dejado los movimientos sísmicos indican que en los países donde se diseña de acuerdo con una buena normativa sismorresistente, donde la construcción es sometida a una supervisión estricta y donde el sismo de diseño es representativo de la amenaza sísmica real de la zona, el daño sobre la infraestructura es marginal en comparación con el observado en sitios donde no se han dado estas circunstancias.

No obstante, es importante destacar que el solo hecho de diseñar de acuerdo con un código no siempre salvaguarda contra el daño producido por terremotos severos. Los códigos sísmicos establecen requisitos mínimos para proteger la vida de los ocupantes, requisitos que muchas veces no son suficientes para garantizar el funcionamiento del hospital después del sismo.

Desde una perspectiva histórica, un código por sí solo no puede garantizar la seguridad contra el daño excesivo, puesto que los códigos son reglamentos que establecen requisitos MÍNIMOS, los que a su vez experimentan actualizaciones continuas de acuerdo con los avances tecnológicos y las enseñanzas que dejan las investigaciones y los estudios de los efectos causados por terremotos, que no son más que pruebas de laboratorio a escala real. La ductilidad y redundancia estructural han resultado ser los medios más efectivos para proporcionar seguridad contra el colapso, especialmente si los movimientos resultan ser más severos que los anticipados por el diseño. El daño severo o colapso de muchas estructuras durante sismos importantes es, por lo general, consecuencia directa de la falta de un solo elemento o serie de elementos con ductilidad o resistencia insuficiente.

A causa de sismos fuertes es común que se presenten daños estructurales en columnas, tales como grietas diagonales causadas por cortante y/o torsión, grietas verticales, desprendimiento del recubrimiento, aplastamiento del concreto y pandeo de las barras longitudinales por exceso de esfuerzos de flexocompresión. En vigas, se presentan grietas diagonales y rotura de estribos a causa de cortante y/o torsión, grietas verticales, rotura del refuerzo longitudinal y aplastamiento del concreto por la flexión que impone el sismo arriba y debajo de la sección como resultado de las cargas alternadas.

Las conexiones o uniones entre elementos estructurales son, por lo general, los puntos más críticos. En las uniones viga-columna (nudos) el cortante produce grietas diagonales y es común ver fallas por adherencia y anclaje del refuerzo longitudinal de las vigas a causa del poco desarrollo del sismo y/o a consecuencia de esfuerzos excesivos de flexión. En las losas se pueden presentar grietas por punzonamiento alrededor de las columnas y grietas longitudinales a lo largo de la placa debido a la excesiva demanda por flexión que en ciertas circunstancias pueden imponer el sismo. Este tipo de daños se han visto reiteradamente en muchas edificaciones hospitalarias sometidas a movimientos sísmicos fuertes y moderados.

Las observaciones realizadas en los últimos años, indican que las construcciones rígidas se desempeñan, en general, mejor que las flexibles; particularmente en lo que respecta a la protección de los componentes no estructurales, que sufren menos daños al limitarse el desplazamiento entre pisos.

Irregularidades en altura, traducidas en cambios repentinos de rigidez entre pisos adyacentes, hacen que la absorción y disipación de energía en el momento del sismo se concreten en los pisos flexibles, donde los elementos estructurales se ven sobresolicitados. Las irregularidades en planta de masa, rigidez y resistencia pueden originar vibraciones torsionales que generan concentraciones de esfuerzos difíciles de evaluar, razón por la cual una mayor exigencia en este tipo de aspectos debe tenerse en cuenta a la hora de diseñar arquitectónicamente las edificaciones.

Pocos edificios se diseñan para resistir sismos severos en el rango elástico, por lo cual es necesario proporcionarle a la estructura capacidad de disipación de energía mediante tenacidad y ductibilidad en los lugares en que se espera que la resistencia elástica puede ser excedida. Esto se aplica a los elementos y a las conexiones de los elementos, puntos que usualmente son los más débiles.

El ATC-33<sup>1</sup> define varios niveles de seguridad para una edificación en caso de que se presente un evento sísmico importante. El Cuadro 3 presenta las recomendaciones de los requisitos Visión 2000.

**Cuadro 3.**  
*Objetivos de comportamiento sísmico recomendados Visión 2000*

Nivel de Diseño Sísmico	Comportamiento Requerido			
	Operación Permanente	Ocupación Inmediata	Protección a la Vida	Prevención del Colapso
Frecuente (50%/30 años)	x		<b>Comportamiento Inaceptable</b> (para edificios nuevos)	
Ocasional (50%/50 años)	◆	x		
Raro (10%/50 años)	■	◆	x	
Muy raro (10%/100 años)		■	◆	x

x = Seguridad crítica, como hospitales, departamentos de bomberos.

■ = Instalación esencial o peligrosa, como centrales telefónicas, edificio con químicos tóxicos.

◆ = Instalación básica o convencional, como edificios de oficinas y de residencias.

x

De acuerdo con esta tabla, un hospital debe ser diseñado de tal forma que continúe en operación después de un sismo “raro” (probabilidad de ocurrencia del 10% en 50 años), y que quede al menos en condición de ocupación inmediata después de un sismo “muy raro” (probabilidad de ocurrencia del 10% en 100 años).

**Nivel de operación permanente:** en este caso, el edificio permanece en condiciones aptas para su uso normal, aunque tal vez con algunas limitaciones. Todos los sistemas de abastecimiento y servicios básicos deben quedar operando. Para cumplir con este nivel, es necesario contar con sistemas redundantes o equipos de emergencia, y se requiere una inspección rigurosa de los sistemas eléctricos y mecánicos para garantizar su correcto funcionamiento después de que han sido fuertemente sacudidos.

<sup>1</sup> ATC (Report 33-03). Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings. 75% Submittal, Third Draft, 3 Volumes. Redwood City. 1995. NEHRP Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 273)

**Nivel de ocupación inmediata:** en este caso, únicamente se presentan daños muy limitados en la estructura y en los componentes no estructurales. Los sistemas resistentes a cargas laterales y verticales conservan casi toda la capacidad que tenían antes del evento. El daño no estructural es mínimo, de modo que los accesos y los sistemas de protección tales como puertas, escaleras, ascensores, luces de emergencia.

### Evaluación y refuerzo obligatorio de hospitales<sup>2</sup>

La nueva Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98 (Ley 400 de 1997, Decreto-Ley 33 de 1998) establece que los hospitales existentes de mayor nivel de complejidad localizados en las zonas de más alta amenaza sísmica, deben ser evaluados en su vulnerabilidad e intervenidos o reforzados en un lapso de tres y seis años respectivamente, lo que significa que tanto el Gobierno Nacional como los gobiernos departamentales y municipales deben incluir partidas presupuestarias en los próximos años con ese fin y tener en cuenta este tipo de inversiones en los futuros planes de desarrollo en todos los niveles territoriales.

#### **GRUPO DE USO IV**

*Edificaciones Indispensables: Son aquellas edificaciones de atención a la comunidad que deben funcionar durante y después de un sismo, cuya operación no puede ser trasladada rápidamente a un lugar alterno, tales como hospitales de niveles de complejidad 2 y 3, centrales de operación y control de líneas vitales.*

#### **ART. 54: ACTUALIZACIÓN DE LAS EDIFICACIONES INDISPENSABLES**

*A las construcciones existentes cuyo uso las clasifique como edificaciones indispensables, localizadas en zonas de amenaza sísmica alta e intermedia, se les debe evaluar su vulnerabilidad sísmica, de acuerdo con los procedimientos para el efecto establecidos en esta reglamentación, en un lapso no mayor de tres (3) años contados a partir de la vigencia de la presente ley.*

*Estas edificaciones deben ser intervenidas o reforzadas para llevarlas a un nivel de seguridad sísmica equivalente al de una edificación nueva diseñada y construida de acuerdo con los requisitos de la presente ley y sus reglamentos, en un lapso no mayor de seis (6) años contados a partir de la vigencia de la presente ley.*

El Ministerio de Salud y la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres de Colombia, con este instrumento jurídico podrán fortalecer en todo el país su programa de promoción de estudios de vulnerabilidad sísmica de los hospitales existentes y de su debido refuerzo, en caso e que así se determine. Este trabajo podrá impulsarse concertando los esfuerzos nacionales, departamentales y en algunos casos municipales. Mediante procesos de confinación y contrapartidas establecidos por el Ministerio de Salud, el Fondo de Inversión Social y el Fondo Nacional de Calamidades, a la luz de los principios constitucionales de concurrencia, complementariedad y descentralización.

En consecuencia, aunque en el tiempo previsto de los tres y seis años indicados por la ley no se logren cubrir todas las edificaciones hospitalarias de nivel de complejidad 2 y 3 en las zonas de amenaza sísmica alta e intermedia, indudablemente la norma ayudará a avanzar en el tema y a estimular la voluntad política de los niveles regionales y locales, quienes en el caso colombiano también son responsables de la aplicación de un ley como la descrita. Si aun no contando con la normativa ya se habían registrado algunos casos de voluntad política regional y local para continuar con la fase de diseño del refuerzo de varios hospitales importantes, con la normativa ya vigente y su debida promoción y divulgación seguramente se logrará una mayor cobertura y mejores resultados, que se traducirán en un aumento de la seguridad y la protección de la infraestructura de salud del país.

### **PROBLEMAS DE CONFIGURACIÓN ARQUITECTÓNICA Y ESTRUCTURAL**

Por su naturaleza, las construcciones hospitalarias tienden a ser construcciones de gran envergadura y complejidad, lo que conduce a que en muchos casos presenten esquemas de configuración complejos.

Por configuración no se entiende la mera forma espacial de la construcción en abstracto, sino el tipo, disposición, fragmentación, resistencia y geometría de la estructura de la edificación, relación de la cual se derivan ciertos problemas de respuesta estructural ante sismos. En el planeamiento de un hospital es necesario tener en cuenta que una de las mayores causas de daños en edificaciones ha sido en el uso de esquemas de configuración arquitectónico-estructural nocivos. Puede decirse de manera general que el alejamiento de formas y esquemas estructurales simples es castigado fuertemente por los sismos. Y además que, lamentablemente, los métodos de

<sup>2</sup> Cardona, O.D. Las edificaciones hospitalarias en la nueva legislación sísmica colombiana. Conferencia Internacional sobre Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud. OPS, México, 1996.

<sup>3</sup> Applied Technology Council (ATC) (Report ATC 3-06). Tentative Provisions for Development of Seismic Regulations for Buildings. Palo Alto, 1978. {Versión en español por Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Bogotá, 1979}.

análisis sísmico usuales no logran cuantificar adecuadamente la mayoría de estos problemas. De cualquier forma, dada la naturaleza errática de los sismos, así como la posibilidad de que se exceda el nivel de diseño, es aconsejable evitar el planteamiento de configuraciones riesgosas, independientemente del grado de sofisticación que sea posible lograr en el análisis de cada caso<sup>3</sup>.

### CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA

A continuación se exponen brevemente los aspectos más relevantes de la incidencia de la configuración geométrica en la respuesta sísmica de las edificaciones, así como los mecanismos correctivos. Debe hacerse énfasis en que, debido a su complejidad, y a su estrecha relación el planteamiento de espacio y forma de la construcción, los problemas de configuración deben ser enfrentados básicamente desde la etapa de definición del esquema espacial del edificio, y en toda la etapa de diseño (Figura 1). Por esta razón es un tema que debe ser comprendido en toda su amplitud por los arquitectos y diseñadores<sup>4</sup>.

#### Problemas de configuración en planta

Los problemas que se mencionan a continuación son referentes a la disposición de la estructura en el plano horizontal, en relación con la forma y distribución del espacio arquitectónico.

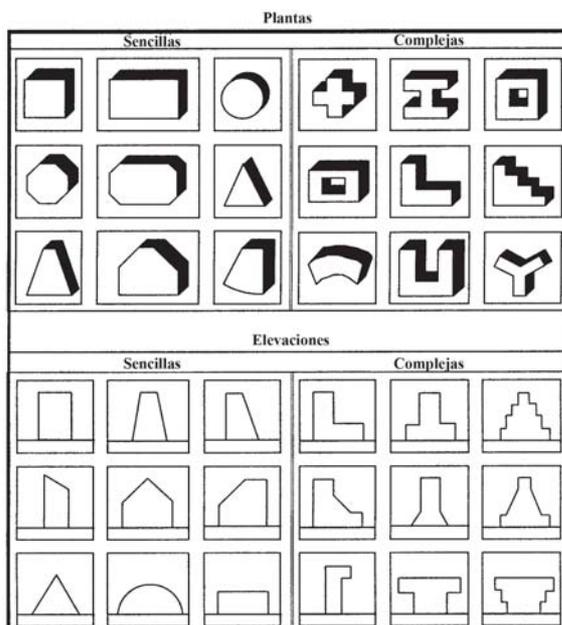
Se debe destacar que los problemas de configuración en planta que a continuación se detallan, se presentan cuando las plantas son continuas; cabe destacar también que algunas de las plantas que a simple vista se pueden percibir como complejas y que cuentan con las respectivas juntas de dilatación sísmicas no presentan problemas para el comportamiento frente a sismos.

#### Longitud

La longitud en planta de una construcción influye en la respuesta estructural de la misma de una manera que no es fácil determinar por medio de los métodos usuales de análisis. En vista de que el movimiento del terreno consiste en una transmisión de ondas, la cual se da con una velocidad que depende las características de masa y rigidez del suelo de soporte, la excitación que se da en un punto de apoyo del edificio en un momento dado difiere de la que se da en otro, diferencia que es mayor en la medida en que sea mayor la longitud del edificio en la dirección de las ondas. Los edificios cortos se acomodan más fácilmente a las ondas que los edificios largos.

Considerando lo anterior, el correctivo usual para el problema de longitud excesiva de edificios es la partición de la estructura en bloques por medios de la inserción de juntas de dilatación sísmica, de tal manera que cada uno de ellos pueda ser considerado como corto. Estas juntas deben ser diseñadas de manera tal que permitan un adecuado movimiento de cada bloque sin peligro de golpeteo o choque entre los diferentes cuerpos o bloques que componen la edificación.

Figura 1.  
Formas sencillas y complejas en planta y elevación



Tomado de *Configuración y diseño sísmico de edificios*, Christopher Arnold y Robert Reitherman, México, D.F., Editorial Limusa, 1987, pag. 239. Reimpreso bajo autorización.

4 Bazán, E., Meli, R., Manual de diseño sísmico de edificios, Limusa, México, 1987.

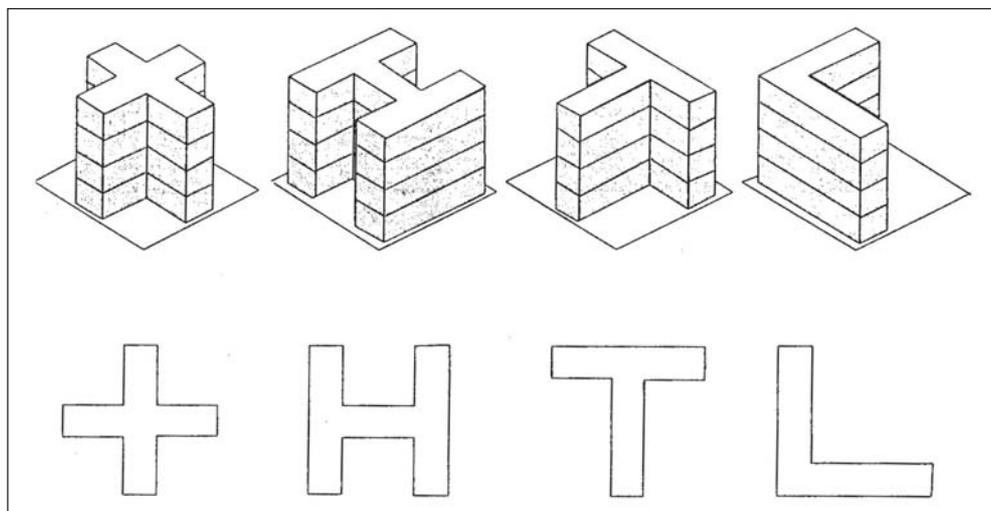
Los edificios largos son también más sensibles a las componentes torsionales de los movimientos del terreno, puesto que las diferencias de movimientos y longitudinales del terreno de apoyo, de las que depende dicha rotación, son mayores.

*Concentración de esfuerzos debido a plantas complejas*

Este problema surge en edificios denominados de plantas complejas y es muy común en edificaciones hospitalarias. Se define como planta compleja a aquella en la cual la línea de unión de dos de sus puntos suficientemente alejados hace su recorrido en buena parte fuera de la planta. Esto se da cuando la planta está compuesta de alas de tamaño significativo orientadas en diferentes direcciones (formas en H, U, L, etc.).

En las plantas irregulares las alas pueden asimilarse a un voladizo empotrado en el cuerpo restante del edificio, sitio en el cual sufriría menores deformaciones laterales que en el resto del ala (Figura 2). Por esta razón aparecen grandes esfuerzos en la zona de transición, los cuales producen con frecuencia daños en los elementos no estructurales, en la estructura vertical y aun en el diagrama de la planta.

Figura 2.  
**Formas de la planta**



T. Guevara

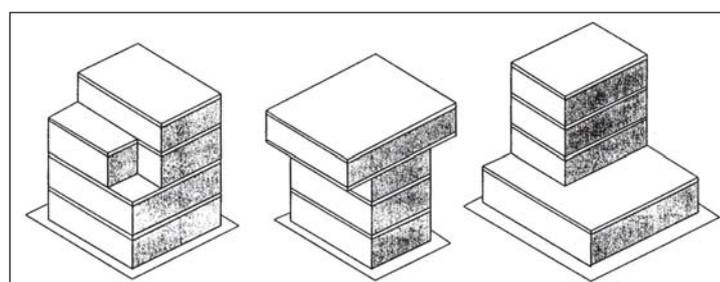
Para este caso, la solución corrientemente adoptada consiste en la introducción de juntas de dilatación sísmica, como las mencionadas para el caso de los edificios largos. Estas juntas permiten que cada bloque tenga su propio movimiento sin estar atado al resto del edificio, con lo cual se rompe el esquema de trabajo en voladizo de cada ala. Las juntas, obviamente, deben tener el ancho suficiente para permitir el movimiento de cada bloque sin golpearse<sup>5</sup>.

**Problemas de configuración en altura**

*Escalonamientos*

Los escalonamientos en los volúmenes del edificio se presentan habitualmente por exigencias urbanísticas de iluminación, proporción, etc. Sin embargo, desde el punto de vista sísmico, son causa de cambios bruscos de rigidez y de masa; por lo tanto, traen consigo la concentración de fuerzas que producen daño en los pisos aledaños a la zona del cambio brusco (Figura 3). En términos generales, debe buscarse que las transiciones sean lo más suave posible con el fin de evitar dicha concentración.

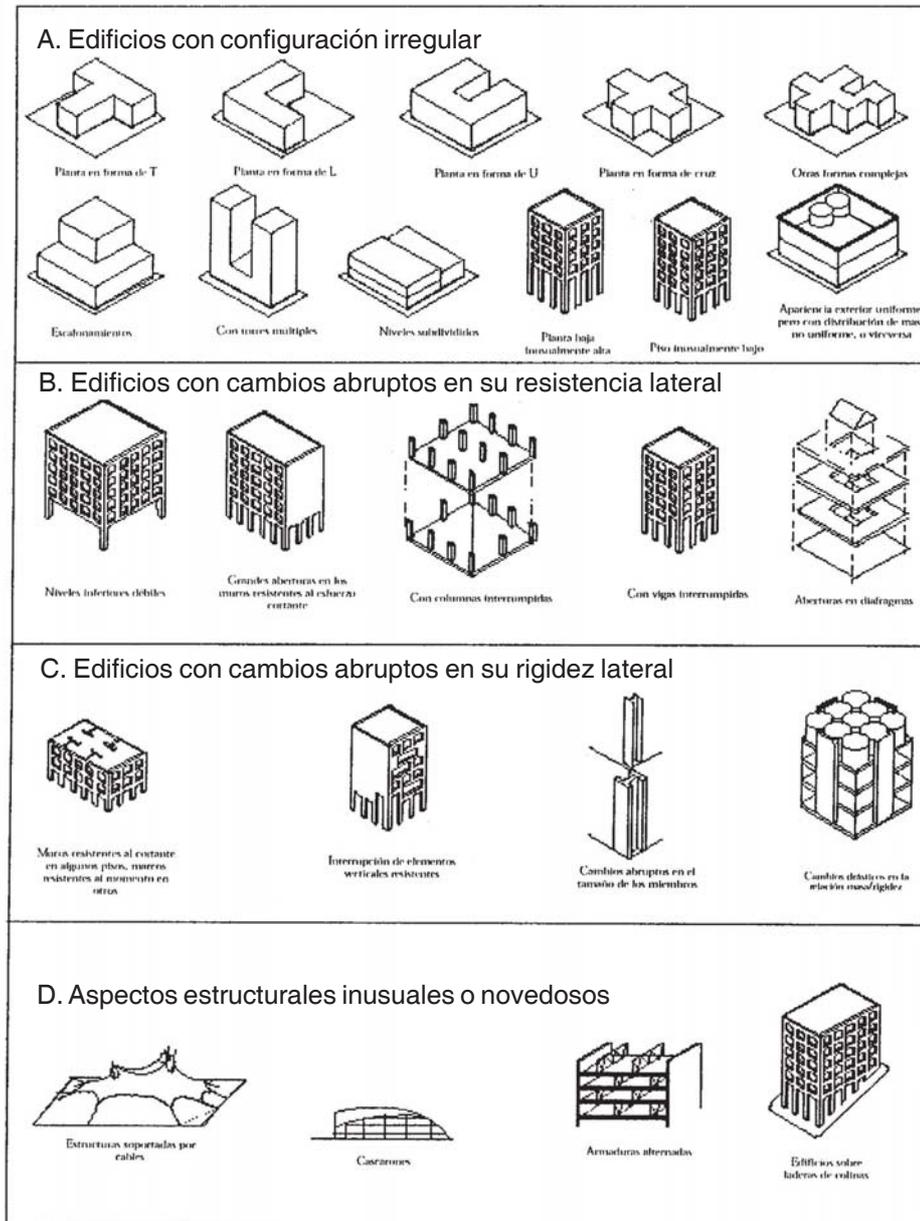
**Figura 3. Formas irregulares en altura**



T. Guevara

5 Dowrick, D.J. Diseño de estructuras resistentes a sismos para ingenieros y arquitectos, México: Limusa, 1984.

Irregularidades en estructuras



Interpretación gráfica de "irregularidades en estructuras o en sistemas de marcos", del Comentario al SEAOC (Recommended Lateral Force Requirements and Commentary). Tomado de Configuración y diseño sísmico de edificios, Christopher Arnold y Robert Reitherman, México, D.F., Editorial Limusa, 1987. pág. 20. Reimpreso bajo autorización.

La figura 4 muestra algunas características de configuración de edificaciones que deben ser evitadas en instalaciones de salud, debido al comportamiento inadecuado que han experimentado en caso de sismos.

**CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL**

**Concentraciones de masa**

El problema en cuestión es ocasionado por altas concentraciones de la masa en algún nivel determinado del edificio que se puede deber a la disposición en él de elementos pesados, tales como equipos, tanques, bodegas, archivos, etc. El problema es mayor en la medida en que dicho nivel pesado se ubica a mayor altura, debido a que las aceleraciones sísmicas de respuesta aumentan también hacia arriba, con lo cual se tiene una mayor fuerza sísmica de respuesta allí y por ende una mayor posibilidad de volcamiento del equipo.

Por lo anterior, en el diseño arquitectónico es recomendable disponer los espacios que representen pesos inusuales en sótanos o en construcciones aisladas aledañas al cuerpo principal del edificio. En casos en los

que por razones topográficas se deba tener almacenamientos de agua elevados, debe preferirse construir torres independientes para ese fin, en lugar de adosarlas al edificio principal.



O.D. Cardona

Fotografía 8. Concentraciones de masa, tales como estanques de agua en el techo de hospitales pueden producir daños que comprometan el funcionamiento del hospital.

#### *Columnas débiles*

Las columnas dentro de una estructura tienen la vital importancia de ser los elementos que transmiten las cargas a las cimentaciones y mantienen en pie a la estructura, razón por la cual cualquier daño en este tipo de elementos puede provocar una redistribución de cargas entre los elementos de la estructura y traer consigo el colapso parcial o total de una edificación.

Por lo anterior, el diseño sísmico de pórticos (estructuras formadas preferentemente por vigas y columnas) busca que el daño producido por sismos intensos se produzca en vigas y no en columnas, debido al mayor riesgo de colapso del edificio por el de daño en columnas. Sin embargo, muchos edificios diseñados según códigos de sismorresistencia han fallado por esta causa. Estas fallas pueden agruparse en dos clases:

- Columnas de menor resistencia que las vigas.
- Columnas cortas.

Varias son las causas de que el valor de la longitud libre se reduzca drásticamente y se considere que se presenta una columna corta:

- Confinamiento lateral parcialmente en la altura de la columna por muros divisorios, muros de fachada, muros de contención, etc.
- Disposición de losas en niveles intermedios.
- Ubicación del edificio en terrenos inclinados.

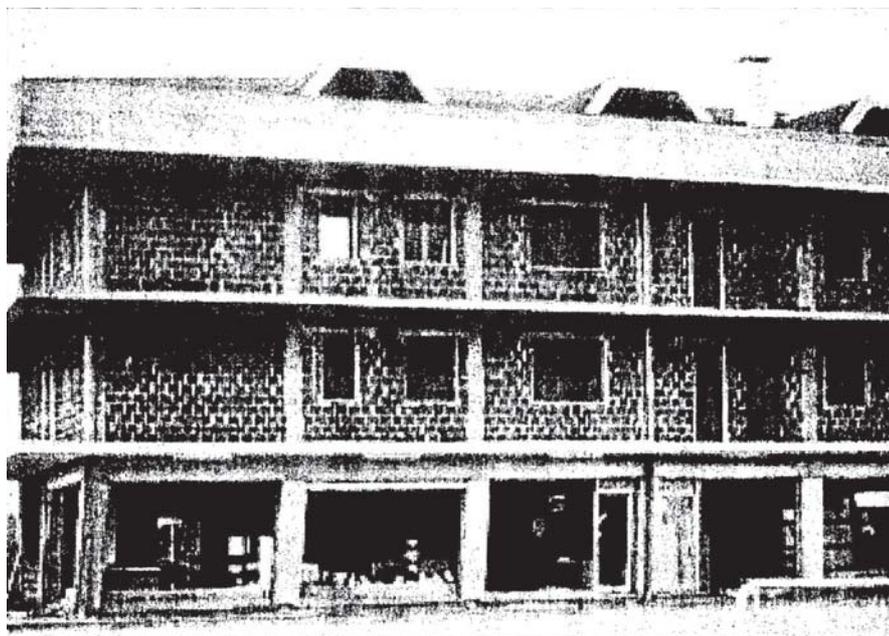
Las columnas cortas son causa de serias fallas en edificios bajo excitaciones sísmicas debido a que su mecanismo de falla es frágil.

#### *Pisos suaves*

Varios tipos de esquemas arquitectónicos y estructurales conducen a la formación de los llamados pisos débiles o suaves, es decir, pisos que son más vulnerables al daño sísmico que los restantes, debido a que tienen menor rigidez, menor resistencia o ambas cosas:

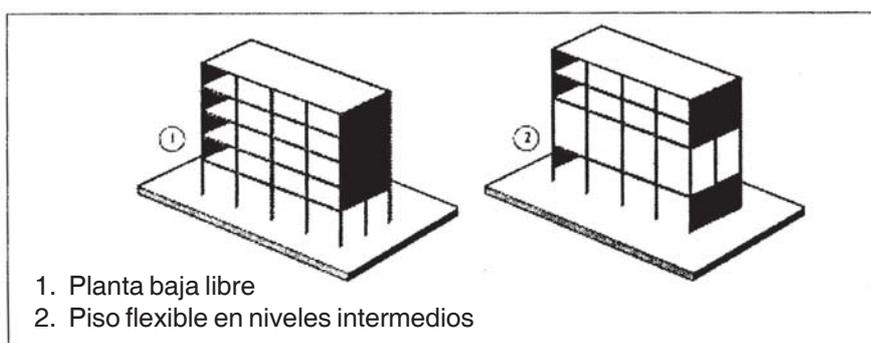
La presencia de pisos suaves se puede atribuir a:

- Diferencia de altura entre pisos.
- Interrupción de elementos estructurales verticales en el piso.



O.D.Cardona

Figura 5.  
Ejemplos<sup>6</sup> de edificios con irregularidad tipo “piso flexible”



El primer caso de la figura anterior (fotografía 10) se da frecuentemente por la búsqueda de volúmenes mayores en ciertos niveles de la construcción, generalmente por razones técnicas (exigencias de equipos, etc.) o estéticas simbólicas (imagen del edificio en los niveles de acceso, etc.). Esto conduce a que en los pisos en cuestión se presente un debilitamiento de la rigidez, debido a la mayor altura de los elementos verticales.

La interrupción de elementos verticales de la estructura ha probado ser la causa de múltiples colapsos parciales o totales en edificios sometidos a sismos, sobre todo cuando la interrupción de los elementos verticales resistentes (muros y columnas) se presenta en los pisos inferiores (fotografía 11). La razón del deslizamiento del piso recae en que el nivel en que se interrumpen los elementos es más flexible que los restantes, con lo que aumenta el problema de estabilidad, pero además porque se origina un cambio brusco de rigidez que ocasiona una mayor acumulación de energía en el piso más débil.

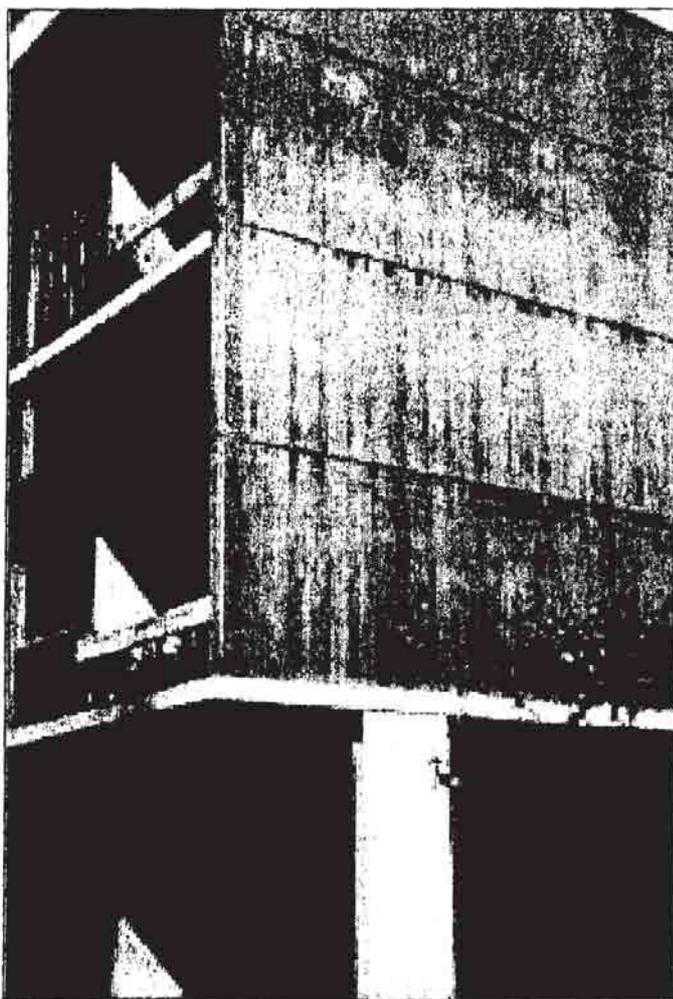
Los casos más usuales de interrupción de elementos verticales, que ocurre generalmente por razones espaciales, formales o estéticas, son los siguientes:

- Interrupción de las columnas.
- Interrupción de muros estructurales (muros de cortantes).
- Interrupción de muros divisorios, concebidos erróneamente como no estructurales, alineados con pórticos.

#### *Falta de redundancia*

El diseño estructural sismorresistente contempla la posibilidad de daño de los elementos estructurales para los sismos más intensos. Desde este punto de vista, el diseño de la estructura debe buscar que la resistencia a las fuerzas sísmicas dependa de un número importante de elementos, puesto que cuando se cuenta con un

6 Arq. Teresa Guevara, Ph. D. “Recomendaciones para crear diseños arquitectónicos sismorresistentes a la luz de la nueva Norma Colombiana NSR-98”. Reunión del Concreto 1998, Cartagena de Indias, Colombia.



Fotografía 10. Interrupción de muro estructural en la planta baja.

diafragma de piso implica deformaciones laterales no uniformes, las cuales son en principio perjudiciales para los elementos no estructurales adosados al diafragma.

Adicionalmente, la distribución de fuerzas laterales no se hará de acuerdo a la rigidez de los elementos verticales. (figura 6)

número reducido de elementos (poca redundancia) la falla de alguno de ellos puede tener como consecuencia el colapso parcial o total durante el sismo. En este sentido, debe buscarse que la resistencia a las fuerzas sísmicas se distribuya entre el mayor número de elementos estructurales posibles<sup>7</sup>.

- No aprovechamiento de la ductilidad disponible.

#### *Excesiva flexibilidad estructural*

La excesiva flexibilidad de la edificación ante cargas sísmicas puede definirse como la susceptibilidad a sufrir grandes deformaciones laterales entre los diferentes pisos, conocidas como derivas. Las principales causas de este problema residen en la excesiva distancia entre los elementos de soporte (claros o luces), las alturas libres y la rigidez de los mismos. Dependiendo de su grado, la flexibilidad puede traer como consecuencias:

- Daños en los elementos no estructurales adosados a niveles contiguos.
- Inestabilidad del o los pisos flexibles o del edificio en general.

#### *Excesiva flexibilidad del diafragma*

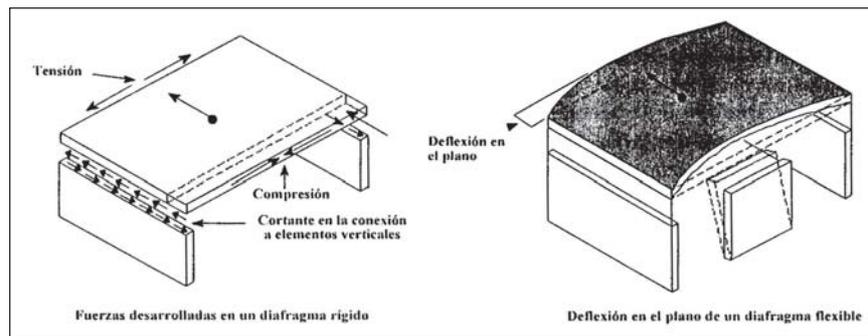
Un comportamiento excesivamente flexible del



Fotografía 11. Colapso estructural debido a la discontinuidad de elementos verticales.

<sup>7</sup> OPS/OMS, Análisis de riesgo en el diseño de hospitales en zonas sísmicas. Washington, D.C., 1989.

Figura 6.  
**Comportamiento rígido y flexible del diafragma**



Son varias las razones por las cuales puede darse este tipo de comportamiento flexible. Entre ellas se encuentran las siguientes:

- *Flexibilidad del material del diafragma.*
- *Relación de aspecto (largo/ancho) del diafragma.* Por tratarse de un trabajo a flexión de este tipo de elementos, mientras mayor sea la relación largo/ancho del diafragma, mayores pueden ser sus deformaciones laterales. En general, los diafragmas con relaciones de aspecto superiores a 5 pueden considerarse flexibles.
- *Rigidez de la estructura vertical.* La flexibilidad del diafragma debe juzgarse también de acuerdo con la distribución en planta de la rigidez de los elementos verticales. En el caso extremo de un diafragma en el que todos los elementos verticales tengan igual rigidez es de esperarse un mejor comportamiento del diafragma que en el caso en el cual tengan grandes diferencias en este punto.
- *Aberturas en el diafragma.* Las aberturas de gran tamaño practicadas en el diafragma para efectos de iluminación, ventilación y relación visual entre los pisos, ocasionan la aparición de zonas flexibles dentro del diafragma, las cuales impiden el ensamblaje rígido de las estructuras verticales.

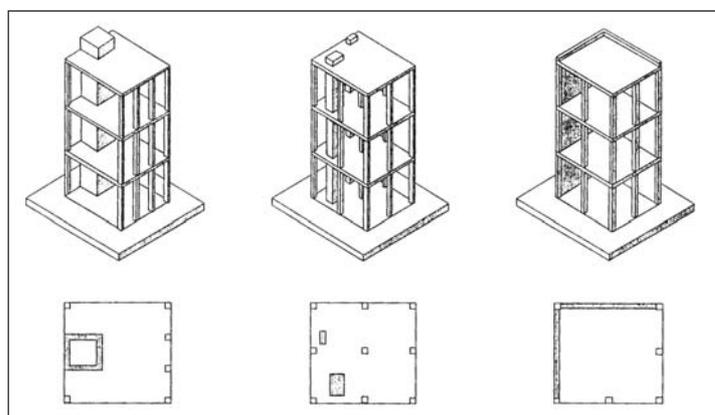
Las soluciones al problema de excesiva flexibilidad del diafragma son múltiples, y dependen de la causa que la haya ocasionado. Las grandes aberturas en el diafragma deben estudiarse con cuidado, con el fin de proveer mecanismo de rigidización o, si esto no es posible, segmentación del edificio en bloques.

#### Torsión

La torsión ha sido causa de importantes daños de edificios sometidos a sismos intensos, que van desde la distorsión a veces visible de la estructura (y por tanto su pérdida de imagen y confiabilidad) hasta el colapso estructural.

- Las torsiones deben ser consideradas inevitables, debido a la naturaleza del fenómeno y a las características de la estructura. Por esta razón, se sugiere proveer a los edificios de rigidez, mediante la cual se busca reducir la posibilidad de giro en planta.
- A efectos del control de la torsión, debe estudiarse con cuidado el planteamiento de la estructura en planta y en altura, así como la presencia y la necesidad de aislamiento de los muros divisorios no estructurales que puedan intervenir estructuralmente en el momento de un sismo. Finalmente, el objetivo debe ser proveer a la estructura con la mayor simetría posible de la rigidez con respecto a la masa.

Figura 7.  
**Torsión por muros excéntricos**



T. Guevara

## DISEÑO SISMORRESISTENTE

El diseño sismorresistente de estructuras posee un nivel de complejidad superior al que caracteriza el diseño para cargas estáticas de gravedad, debido a los factores que se deben tener en cuenta en él. Entre estos se encuentran los siguientes:

- a) La naturaleza azarosa de las características del sismo.
- b) La incertidumbre sobre la respuesta de la estructura, debida a la heterogeneidad de la calidad de los materiales, la interacción con los elementos no estructurales, la variación de las cargas de servicio, las variaciones presentadas en la construcción, etc.
- c) Los mecanismos de falla y disipación de energía que impliquen el menor riesgo para la vida humana y sus propiedades.
- d) El costo social asociado a la falla de edificios, especialmente en el caso en que sean esenciales para la atención de un desastre, como el caso de los hospitales.

De acuerdo con esto, el diseño sismorresistente debe tratar de atender de la mejor manera posible todos estos aspectos<sup>8</sup>. Normalmente, los códigos de diseño enmarcan algunos de estos problemas por medio de fórmulas cuantitativas sobre seguridad global o local. A menudo el seguimiento irreflexivo de estas normas en el diseño habitual de estructuras, hace que el contenido de fondo de tales simplificaciones sea frecuentemente desconocido u olvidado. Sin embargo, en el diseño de cualquier edificio, y en especial en el de aquellos que deban permanecer en el mejor estado posible después de un sismo, deben tenerse presentes las implicaciones de cada decisión importante de acuerdo con los principios y avances de la ingeniería sísmica, y bajo la óptica de la presencia de la construcción en un medio social.

A continuación se revisan las implicaciones en el diseño sísmico de hospitales de los aspectos mencionados anteriormente.

## ESPECTRO DE DISEÑO

En el espectro de diseño recomendado por los códigos de sismorresistencia se encuentran implícitas decisiones sobre:

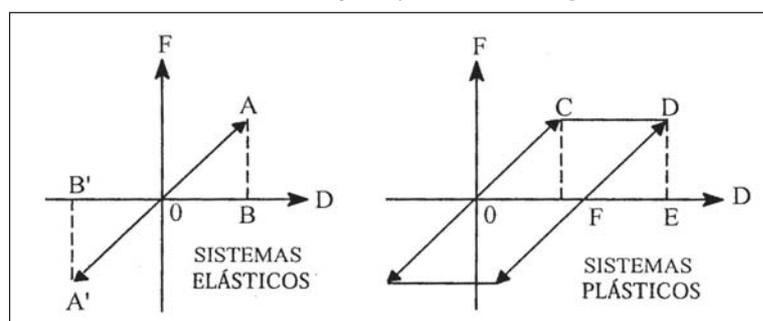
- a) La probabilidad de excedencia del sismo de diseño en un período de tiempo considerado como de vida útil media de los edificios. Normalmente, se considera una probabilidad de excedencia del 10% en un período de vida media útil de 50 años. En el caso de hospitales, sin embargo, la vida útil supera ampliamente ese valor. La dinámica de la construcción de centros hospitalarios es decididamente menor que la de construcción de viviendas y otro tipo de construcciones. Esto es especialmente crítico en los países en desarrollo, en los que la construcción de grandes centros hospitalarios es escasa debido a que resulta altamente onerosa. Por esta razón la perdurabilidad de dichos centros es muy alta en algunos países, y, en consecuencia, debe pensarse con detenimiento la selección de estas variables.
- b) Las frecuencias dominantes y respuestas máximas. Normalmente, los espectros de sismos exhiben sectores estrechos de frecuencias donde se encuentran las respuestas máximas. Sin embargo, para cubrir las incertidumbres asociadas a la distancia de ocurrencia del evento y a su contenido de frecuencias, los espectros de diseño presentan una amplia planicie de respuestas máximas así como factores de amplificación de las respuestas en terrenos blandos con respecto a las de terreno firme, de acuerdo a comportamientos observados en varios sitios del mundo. No obstante, en el caso de edificaciones especiales, puede ser conveniente la elaboración de un espectro de diseño de acuerdo a las características geológicas y geotécnicas del sitio de construcción.

## COMPORTAMIENTO NO LINEAL

El criterio de diseño tradicional, de edificios sometidos a sismos fuertes, ha sido el de permitir el ingreso de los materiales en el rango no lineal con el fin de absorber energía bajo deformaciones permanentes. La figura 9 ilustra este criterio para un sistema elasto - plástico. La línea OA representa el diagrama esfuerzo máximo – deformación máxima de un sistema perfectamente elástico en un sismo determinado, mientras que la línea OCD representa un sistema elasto - plástico. Existen varias hipótesis sobre la simplificación que debe ser asumida para evaluar de manera sencilla el comportamiento del sistema elasto - plástico.

<sup>8</sup> AIS, Normas colombianas de diseño y construcción sismorresistente NSR-98, Ley 400 de 1997, Decreto Ley 33 de 1998. Santa Fe de Bogotá, 1998.

Figura 9.  
Absorción y disipación de energía



La estructura debe ser diseñada para unos esfuerzos menores que los dados por la respuesta del sistema elástico. Si con las fuerzas así obtenidas se realiza un análisis elástico, se obtendrían unas deformaciones que, a su vez, deben ser multiplicadas por el factor de ductilidad para estimar las deformaciones máximas de la estructura, lo cual es de gran importancia para el estudio del comportamiento de elementos no estructurales y la estabilidad de los diferentes pisos. Los elementos estructurales deben entonces garantizar que se logre alcanzar dichas deformaciones inelásticas. Para ello debe disponerse en dichos elementos de ductilidad suficiente, por medio de los mecanismos que se detallará más adelante.

Muchos códigos de construcciones tienen el defecto de considerar una reducción de fuerzas debido al comportamiento inelástico solamente en relación con la deformación máxima alcanzada en cualquier instante del sismo, o a la máxima energía disipada en un ciclo, sin atender a su duración. Esto hace que se dejen de lado factores tan importantes como los asociados a la fatiga progresiva de los materiales, tales como la degradación de la rigidez, la disminución de la resistencia, el aumento progresivo de las deformaciones y, por ende, el colapso progresivo. Por esta razón, en los últimos años han adquirido un gran énfasis los métodos que de una u otra manera involucran la duración total del sismo en el diseño, generalmente a través de la energía total disipada o del número de ciclos de carga.

## DISPOSICIÓN DE LA DUCTILIDAD

En vista de que los métodos de diseño no lineal simplificado exigen la capacidad de la estructura de permitir grandes deformaciones sin colapso, los elementos de la misma deben ser diseñados para atender adecuadamente esta demanda de deformaciones, pero se debe buscar el equilibrio en el que los desplazamientos de la estructura no afecten o produzcan daños en el contenido (elementos no estructurales).

A continuación se examinan los mecanismo esenciales para obtener altas capacidades de ductilidad en los sistemas estructurales de concreto reforzado.

En el diseño de estructuras de concreto reforzado deben tenerse en cuenta los siguientes criterios básicos, a fin de obtener la ductilidad requerida:

- **Confinamiento.** El confinamiento del concreto garantiza la preservación del material ante la alternación de esfuerzos dada en los sismos y, en consecuencia, permite el desarrollo de deformaciones inelásticas mayores que las que se podrían presentar en una estructura en la que el concreto se deteriore.
- **Control de falla a cortante.** La falla a cortante es una falla que compromete seriamente la integridad de la sección de cualquier elemento de concreto reforzado. Por esta razón los códigos de diseño generalmente obligan a un diseño a cortante tal que garantice que la resistencia a cortante sea superior a la resistencia a flexión. Esto se logra utilizando como cortante de diseño un valor que sea como mínimo el correspondiente a la plastificación por flexión en los nudos extremos.
- **Control de la reducción de la ductilidad disponible debido a la carga axial.** La carga axial de compresión reduce drásticamente la ductilidad disponible en un elemento de concreto sometido a ella. El fenómeno, que es más fuerte en columnas que en muros estructurales, generalmente se debe a que a mayores cargas de compresión se reduce el trabajo a tensión del acero, el cual puede darse con valores del esfuerzo de trabajo menores del esfuerzo de fluencia, lo que implica un uso insuficiente del acero a efectos de desarrollar grandes deformaciones inelásticas y disipar energía por ese medio. Sin embargo, no siempre es posible diseñar las secciones de columnas de manera que haya esfuerzos altos de tracción en el acero, por razones arquitectónicas y económicas.

El efecto de la duración de un sismo en el comportamiento estructural ha sido tradicionalmente ignorado en los códigos de diseño. Ello se debe, en parte, a que el espectro de aceleraciones resulta insensible a la duración del sismo, pues recoge solamente la información referente a la máxima aceleración de respuesta ocurrida en algún momento del sismo, e ignora lo que sucede en adelante. Sin embargo, en sismos largos, pueden ocurrir complejos fenómenos de degradación de la rigidez y la resistencia, debido al elevado número de ciclos de carga que deben soportar los elementos estructurales. Debido a ello, el diseño debería ser diferente para sismos cortos y largos, independientemente de la aceleración de diseño.

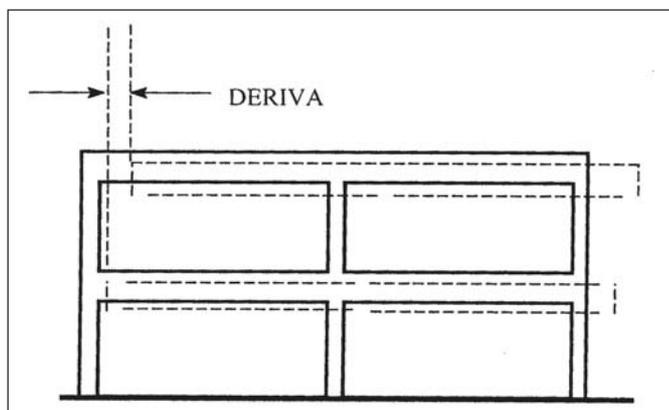
De acuerdo a varios estudios realizados en diferentes países, la duración de un sismo está en relación creciente con la magnitud del sismo y la distancia epicentral. Al contrario, la aceleración del suelo por lo general tiende a decrecer con dicha distancia. De esta manera, pueden tenerse sismos de igual aceleración pico, lo que produciría un igual espectro de aceleraciones de diseño, pero grandes diferencias en la duración, lo que produciría efectos nocivos que no serían detectados por dicho espectro.

Lo anterior conduce a que en el diseño de hospitales se deba tener presente la información sismológica relativa a magnitudes y distancias epicentrales de las fuentes probables de liberación de energía que puedan afectarlos, de manera que si hay fuentes de magnitudes probables altas situadas a grandes distancias epicentrales, pueden esperarse de ellas sismos mucho más largos y, posiblemente, más destructivos que sismos cercanos. El sismo de México de 1985 es no solamente una muestra de los efectos de amplificación del suelo, sino también de los correspondientes a la alta duración, debido a la alta magnitud (8,1) y lejanía del epicentro (350 km. de la ciudad de México).

## DERIVAS (DESPLAZAMIENTO RELATIVO ENTRE PISOS)

En principio, los grandes desplazamientos laterales ponen en peligro la seguridad de la construcción en su totalidad, debido al daño que pueden representar para los elementos no estructurales en general. Sin embargo, cuando son aún mayores traen consigo el riesgo de colapso parcial o total de la edificación (Figura 10).

Figura 9.  
*Derivas y estabilidad*



El daño en elementos no estructurales adosados a la estructura es particularmente grave en el caso de hospitales, razón por la cual este tema será tratado específicamente cuando se describa el comportamiento de los elementos no estructurales. Por lo pronto, es necesario tener presente que dicho daño está asociado al valor del desplazamiento relativo inelástico de un nivel con respecto al inmediatamente anterior, o deriva. Se ha establecido que no son deseables valores de la deriva que superen el 1 o el 1,5 por mil de la altura libre entre los dos niveles. Sin embargo, este límite depende estrechamente de la fragilidad y la resistencia de los materiales de los elementos no estructurales.

De acuerdo con lo anterior, para un análisis adecuado de los problemas de derivas y estabilidad resulta de gran importancia el cálculo de unos valores adecuados de desplazamiento inelástico. Ser conservador en este aspecto es más conveniente en el caso de hospitales que en el de otras construcciones, debido a las implicaciones que los daños en elementos no estructurales y estructurales tienen para los ocupantes y la comunidad en general.

## ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

Las secciones anteriores han versado sobre los aspectos que deben ser considerados en el planeamiento, el análisis y diseño de edificaciones, de acuerdo a las teorías recientes sobre sismorresistencia. En estos casos se

hace imperativa una revisión lo más detallada posible de la capacidad de la estructura de soportar sismos moderados y fuertes. El diseño del refuerzo debe pasar necesariamente por un análisis de la capacidad disponible de resistencia y ductilidad ante sismos, así como de la vulnerabilidad funcional, organizativa y administrativa del hospital, antes de realizar su intervención.

Un estudio de vulnerabilidad busca, entre otras cosas, determinar la susceptibilidad o el nivel de daño esperado en la infraestructura, equipamiento y funcionalidad de un establecimiento hospitalario frente a un desastre determinado; por lo tanto, para iniciar un estudio de vulnerabilidad deben caracterizarse el o los fenómenos a ser considerados.

Para el caso de sismos, vale la pena seleccionar y caracterizar aquellos eventos que podrían presentarse durante la vida del establecimiento hospitalario, ya que algunos sismos frecuentes y de baja magnitud podrían afectar a los elementos no estructurales; en cambio, aquellos sismos menos frecuentes pero más violentos pueden afectar tanto a elementos estructurales como no estructurales.

A continuación se comentan los principales métodos para la realización de la revisión estructural. Debe destacarse, que dicha revisión será insuficiente si no se acompaña de una detallada revisión de los elementos no estructurales. Para la realización de estudios de análisis de vulnerabilidad sísmica de una construcción, la literatura internacional presenta diversos métodos; un amplio listado de los mismos se encuentra en la bibliografía de esta publicación pero, en términos generales, los métodos pueden clasificarse en los siguientes grupos:

- *Métodos cualitativos*: Generalmente estos métodos han sido utilizados cuando se evalúa la vulnerabilidad de una muestra numerosa de edificaciones. O también cuando se tiene certeza acerca de la seguridad de una determinada estructura y se pretende corroborar dicho nivel de seguridad.
- *Métodos cuantitativos*: Estos métodos son utilizados cuando la importancia de la edificación así lo amerita, o bien cuando los métodos cualitativos no han sido determinantes con respecto a la seguridad de la edificación.

### **Métodos cualitativos**

Los métodos cualitativos son diseñados para evaluar de manera rápida y sencilla un grupo de edificaciones diversas, y seleccionar aquellas que ameriten un análisis más detallado. Estos métodos se utilizan principalmente para la evaluación masiva de edificios con fines de cuantificación del riesgo sísmico en una región amplia de una ciudad, y sus resultados, fuera de lo necesario para realizar dicha selección, no pueden tomarse realmente como concluyentes en ningún caso particular<sup>9</sup>, salvo que corroboren la seguridad de una edificación.

Algunos de estos métodos constituyen el primer nivel de evaluación de los métodos analíticos, como el caso del método japonés<sup>10</sup>, la evaluación diseñada por Iglesias<sup>11</sup> para el caso de Ciudad de México y el método ATC-21<sup>12</sup>. En términos generales, pueden decirse que son métodos eminentemente cualitativos, en los que la construcción recibe una calificación determinada de acuerdo a aspectos tales como su estado de conservación, su irregularidad en planta y en altura, su relación con el suelo, etc., calificación que en general no precisa de cálculos muy sofisticados de oficina. Sin embargo, el primer nivel del método japonés, por el contrario, requiere del cómputo de ciertas variables, y sus ecuaciones están estrechamente relacionadas con las de los niveles superiores del método. En el anexo 1 se presentan algunos de los métodos cualitativos más usados en Latinoamérica para determinar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones hospitalarias.

### **Un diagnóstico para la priorización**

En Chile se ha considerado como especialmente destructivo para la infraestructura del sector de la salud al sismo de 1985, evento que dañó 180 establecimientos de los 536 existentes en el área de influencia y dejó fuera de servicio 2796 de las 19.581 camas disponibles. Como resultado de esta experiencia y debido a la importancia que se le ha dado al tema de la prevención de los desastres naturales en este país en los últimos años, se decidió realizar un programa de identificación y evaluación de la vulnerabilidad hospitalaria a efectos de priorización e intervención del riesgo de la infraestructura de salud<sup>13</sup>.

Contando con un equipo multidisciplinario idóneo, el compromiso político de las autoridades sectoriales y la información científica sobre la amenaza sísmica, se planteó la necesidad de disponer de un diagnóstico global del estado de los hospitales del país, desde el punto de vista de su vulnerabilidad sísmica. Se formuló un proyecto con el objetivo de identificar acciones de reducción de vulnerabilidad para los hospitales más importantes de cada uno de los 26 servicios de salud en que está dividido el país.

Se seleccionó una muestra inicial de 26 hospitales, que luego fue reducida a 14 dadas las similitudes en los sistemas estructurales, de modo que en el grupo final se contó con una muestra representativa de los diferentes

tipos, y en el nivel de exposición a la amenaza sísmica. El desarrollo de esta metodología fue útil en dos sentidos: por una parte, para proporcionar una herramienta que no existía en el momento en el ámbito latinoamericano y, paralelamente, para identificar los problemas individuales y sus soluciones para cada hospital estudiado.

Cada uno de los hospitales fue sometido a un intenso trabajo de evaluación, incluyendo aspectos estructurales, no estructurales, funcionales y organizacionales. El proceso de evaluación, consignando en una ficha práctica, se inicia con la estructura y la seguridad de la vida.

El proyecto contempló las siguientes actividades:

### Un diagnóstico para la priorización (cont.)

- Descripción del sistema de salud.
- Breve reseña de la sismicidad chilena.
- Capacitación del personal.
- Análisis de vulnerabilidad estructural y no estructural.
- Estimación de la vulnerabilidad del sector y desarrollo de planes de mitigación.

La efectividad de la metodología se comprobó cuando se presentó un sismo de magnitud 7,3 Richter, el 31 de julio de 1995, que afectó la ciudad de Antofagasta. El hospital de la ciudad, que había sido evaluado pocos días antes, perdió parcialmente su capacidad de operación debido a la ruptura de tuberías de agua potable, ruptura de vidrios y sistemas de iluminación, daños a equipos (hemodiálisis y calderas) y daños generales y deterioro en los sistemas estructural y no estructural, lo que inclusive llevó a que se pensara en evacuar el hospital en forma urgente.

### Vulnerabilidad hospitalaria de una ciudad<sup>14</sup>

Ecuador también cuenta con un historial extenso de sismos destructivos. En la ciudad de Guayaquil, ubicada a 200 kilómetros de la trinchera donde colisionan las grandes placas tectónicas de Nazca y Sudamericana, existe un 90% de suelos aluviales o suaves que pueden amplificar sismos con epicentros a 200 o 300 kilómetros, afectando en mayor medida edificaciones comprendidas entre cinco y quince pisos de altura, predominantemente construidas en hormigón armado. Un fuerte sismo con este origen se presentó en mayor de 1942, con una magnitud de 7,9 en la escala de Richter, y dañó severamente el caso comercial de la ciudad, con el colapso de dos edificios con las características antes citadas. En 1980 se presentó un sismo de magnitud 6,1 que provocó daños de mediana consideración en edificaciones de pobre calidad o sísmicamente muy vulnerables.

Se estaba finalizando un estudio denominado “Vulnerabilidad sísmica de estructuras importantes de la ciudad de Guayaquil”, ejecutado por el Instituto de Investigación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Guayaquil (IIFI-UC), cuando se planteó la necesidad de profundizar la evaluación de la vulnerabilidad de los hospitales de la ciudad, como estructuras críticas para el manejo de las emergencias. En este caso, se contaba con la información científica básica, inclusive a nivel de microzonificación de la ciudad, con un equipo profesional de ingenieros de alto nivel, con la preocupación puntual de algunos de los directores de los hospitales, y con el apoyo incondicional de la Dirección Nacional de Defensa Civil, organismo rector a nivel nacional para el manejo de emergencias.

El proyecto fue formulado por profesionales del IIFI-UC, con la coordinación general de la Dirección Nacional de Defensa Civil y el apoyo técnico de la OPS/OMS. El objetivo inicial fue la ejecución de diagnósticos preliminares de vulnerabilidad de los 16 hospitales más importantes de la ciudad, que fue ampliado para cubrir 20 hospitales, 12 de los cuales fueron evaluados cuantitativamente y los 8 restantes en forma cualitativa. La metodología empleada incluyó las siguientes actividades:

9 Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS), Programa para la mitigación de los efectos de los terremotos en la región andina, Proyecto SISRA, Lima, 1985.

10 Hirosawa, M., Evaluation of Seismic Safety and Guidelines on Seismic Retrofitting Design of Existing Reinforced Concrete Buildings, Tokio 1976, VI Seminal on Seismology and Earthquake Engineering for Structural Engineers, 1988. Véase también Hirosawa, M. et al, “Seismic Evaluation Method and Restoration Techniques for Existing and Damaged Buildings Developed in Japan”. IDNDR International Symposium on Earthquake Disaster Reduction Technology. Tsukuba, Japan, 1992.

11 Iglesias, J., Evaluación de la capacidad sísmica de edificios en la ciudad de México. Secretaría de Obras, México, 1986.

12 ATC (Report ATC-21), Rapad Visual Screening of Buildings for Potencial Seismic Hazards: A Handbook, Redwood City, 1988 (FEMA Report 154, July 1988).

13 Ministerio de Salud de Chile, Seminario sobre mitigación de vulnerabilidades hospitalarias, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Santiago, 1997.

\* Boroschek R., Astroza, M., Osorio, C., Kausel, E., Análisis de vulnerabilidad y preparativos para enfrentar desastres naturales en hospitales de Chile, Universidad de Chile, estudio realizado para OPS/OMS-ECHO. Santiago, Chile, 1996.

- Relevamiento estructural y censo de los hospitales: se investigaron las variables estructurales que inciden en mayor grado en el comportamiento sismorresistente de los hospitales, así como los daños estructurales y no estructurales producidos por sismos anteriores, y un inventario de los servicios que poseen los hospitales, incluyendo existencia de planes de emergencia.
- Selección de los 16 hospitales más importantes de Guayaquil: por definición, estos son los que disponen de los servicios necesarios para la atención masiva de una emergencia causada por un desastre natural. La muestra final se seleccionó en base a las recomendaciones de la Dirección Nacional de Defensa Civil.
- Definición de las sollicitaciones sísmicas probables: en base a los espectros de respuesta obtenidos en la microzonificación sísmica de la ciudad.
- Evaluación experimental de la resistencia del hormigón de una muestra de 10 hospitales: ya que el 95% de los 16 hospitales poseen estructuras de hormigón armado, se extrajeron núcleos de hormigón de las columnas de la planta baja en 10 de ellos, para ser sometidos a ensayos de compresión simple.
- Evaluación experimental de características dinámicas de los 16 hospitales más importantes: el objetivo de esta fase fue evaluar la participación de los elementos no estructurales en la respuesta sísmica de la edificación, mediante la medición experimental de las características dinámicas para vibraciones ambientales.
- Análisis matemático cuantitativo del comportamiento sismo-resistente de 12 hospitales: mediante análisis de la resistencia de fluencia, de la ductilidad, de los mecanismos de falla y de las distorsiones de pisos.
- Diagnósticos cualitativos y cuantitativos de vulnerabilidad estructural y no estructural.
- Capacitación del personal técnico a cargo de las emergencias en los hospitales: se efectuaron encuentros de difusión de las actividades y resultados preliminares del proyecto en los cuales también participaron funcionarios del Ministerio de Salud y de la Dirección Nacional de Defensa Civil.
- Categorización de la seguridad sismorresistente y nivel de operatividad del sistema hospitalario, mediante una escala novedosa de 6 niveles, siendo la primera categoría la correspondiente a pequeños daños no estructurales y la sexta la correspondiente a posibilidad de colapso total.
- Conclusiones y recomendaciones para reducir la vulnerabilidad estructural y no estructural: acciones prácticas, a corto plazo, y de bajo costo.

Este proyecto, con fuerte énfasis en aspectos de ingeniería y liderado por ingenieros estructurales, logró alcanzar a la opinión pública, mediante una cobertura muy completa que otorgaron los medios de comunicación de la ciudad a las diversas fases. El resultado más significativo fue el intercambio de inquietudes entre el equipo a cargo del proyecto y los profesionales del sector de la salud, en un idioma comprensible para todos.

### Métodos cuantitativos

Para la recuperación post-sísmica de edificios esenciales, resulta deseable la realización de un análisis más riguroso: para lo cual se dispone de los métodos cuantitativos. Asimismo, los métodos cuantitativos sirven para profundizar en los resultados obtenidos de los métodos cualitativos, cuando estos últimos no entreguen resultados determinantes sobre la seguridad de la estructura.

Para realizar un análisis de vulnerabilidad, utilizando métodos cuantitativos es necesario contar con cierta información básica como: características de los materiales utilizados en la edificación, caracterización del suelo donde se encuentra emplazada la estructura y planos estructurales entre otra información. Generalmente los análisis cuantitativos son realizados mediante modelaciones matemáticas de la estructura, en las cuales se deben considerar aspectos tales como:

- Interacción de la estructura con los elementos no estructurales.
- Cargas reales a las que está sometida la estructura.
- Análisis para los diferentes sismos que se pueden presentar.

### Propuesta de una comunidad científica<sup>15</sup>

Se realizaron estudios de vulnerabilidad del Hospital Departamental Evaristo García y el Hospital Universitario de Caldas de la ciudad de Manizales, Colombia. Ambos estudios fueron realizados por especialistas de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), aplicando varios métodos con fines de calibración y comparación. En primera instancia se utilizaron el método ATC-22 (FEMA 178), el método japonés y el método de energía de Akiyama, y por otra parte se aplicó un método propio, denominado AIS-150, desarrollado por la AIS en 1985 y que después se convertiría en el capítulo A.10, análisis de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes, de las nuevas Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente.

<sup>15</sup> Argudo, J., Yela R., Vulnerabilidad Estructural de Hospitales de Guayaquil – Ecuador, Estudio inédito realizado para la OPS/ECHO, Guayaquil 1995.

Aparte de la contribución que este proyecto significó para la aplicación y el desarrollo de metodologías de carácter técnico, uno de los aspectos más interesantes de esta experiencia fue el estímulo y la toma de conciencia que los estudios generaron en las autoridades, tanto de los hospitales como de los servicios de salud de las dos ciudades. Las administraciones locales, posteriormente, contrataron con recursos propios la segunda fase de los estudios, correspondiente al diseño del reforzamiento y rehabilitación sismorresistente.

Pese a que ya se habían realizado estudios de rehabilitación de hospitales con anterioridad en el país, debido a problemas de deterioro y remodelación, estos dos estudios fueron los primeros que trataron explícitamente el tema de la vulnerabilidad sísmica hospitalaria en forma preventiva, sirviendo de ejemplo para el Ministerio de Salud y la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (DNPAD), organismos que a partir de ese momento iniciaron el proceso de estimular el reforzamiento preventivo de edificaciones hospitalarias en las zonas de mayor amenaza sísmica del país.

## INTERVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

Probablemente muchos de estos establecimientos de salud sean vulnerables en grados variables a daños por fuerzas sísmicas, fuerzas de vientos huracanados u otras amenazas naturales; sin embargo, existe la posibilidad de que puedan mejorarse. La experiencia indica que con la aplicación de medidas relativamente poco costosas, se puede mejorar la seguridad de estructuras existentes.

Muchas edificaciones hospitalarias existentes no cumplen con los requisitos técnicos necesarios para asegurar su funcionamiento con posterioridad a desastres naturales. Esto significa que su vulnerabilidad a ciertas amenazas naturales puede ser tan alta que su riesgo puede exceder ampliamente los niveles aceptados actualmente. Por lo tanto, deben llevarse a cabo medidas de mitigación de acuerdo con los requisitos ingenieriles actuales de cada país, asegurándose de que consideren las características de ocupación de la edificación a fin de reducir el riesgo y garantizar un comportamiento adecuado.

La ejecución de un proyecto de estructuración debe obedecer a un programa de trabajo detallado que involucre aspectos que aseguren el menor impacto en el normal funcionamiento del hospital en cada etapa del proceso, para lo cual debe definirse una debida coordinación con el personal administrativo, de atención médica y de mantenimiento del hospital. Experiencias previas han demostrado lo importante de dicha coordinación para que la reestructuración se cumpla en los plazos determinados, no interfiera en la prestación de los servicios de salud y se coordinen los recursos humanos adecuadamente.

### Reestructuración o rehabilitación

De acuerdo con lo examinado anteriormente, la evaluación del estado de una construcción existente puede hacer surgir algunas dudas sobre su capacidad para soportar eventos sísmicos<sup>16</sup>, lo cual puede conducir a la necesidad de reestructurar o rehabilitar, total o parcialmente, la edificación, con el fin de reducir su vulnerabilidad, previamente a la ocurrencia del evento. Dicha reducción debe ser obligatoria para edificios esenciales para la atención de emergencias derivadas de sismos.

### Diseño del refuerzo

El análisis y el diseño del modelo estructural, así como la construcción del refuerzo, deben realizarse considerando:

1. Aspectos físicos y funcionales.
  - El sistema de refuerzo no debe afectar la operatividad del hospital.
2. Aspectos de seguridad estructural.
  - Reducir la vulnerabilidad a niveles aceptables que permitan el funcionamiento del hospital con posterioridad a un sismo.
3. Sistemas constructivos.
  - El sistema de refuerzo debe considerar la utilización de sistemas constructivos que tengan el menor impacto en el funcionamiento normal del hospital, ya que éste se ejecuta por lo general en un hospital que se encuentra en operación.
4. Costo de intervención.

De acuerdo con lo anterior, la intervención de la estructura debe buscar la reducción de la vulnerabilidad existente, atendiendo a los problemas de comportamiento existentes. La reestructuración estructural pretende lograr:

- a) Aumento de resistencia

<sup>15</sup> AIS, Análisis de vulnerabilidad sísmica del Hospital Universitario de Caldas, Comité de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico AIS-400, Manizales 1992. Véase también AIS, Análisis de vulnerabilidad sísmica del Hospital Departamental Evaristo García, Comité de Vulnerabilidad y

- b) Aumento de rigidez y por lo tanto una disminución de los desplazamientos.
- c) Aumento de la ductilidad
- d) Lograr una distribución adecuada de las fuerzas entre los diferentes elementos resistentes, tanto en planta como altura.

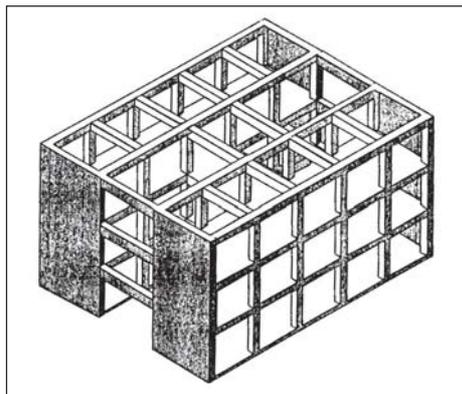
Los sistemas usuales de refuerzo de estructuras suelen recurrir a la inserción de los siguientes elementos adicionales<sup>17</sup>:

#### *Muros en el exterior del edificio*

Esta solución se emplea generalmente cuando las limitaciones de espacio y de continuidad de uso del edificio hacen preferible el trabajo en la periferia. Para asegurar la transmisión de esfuerzos por medio del diafragma a los muros se emplean vigas colectoras en los bordes de la losa. No es recomendable para edificios muy largos. (Figura 11).

Figura 10.

#### **Muros estructurales en la periferia**



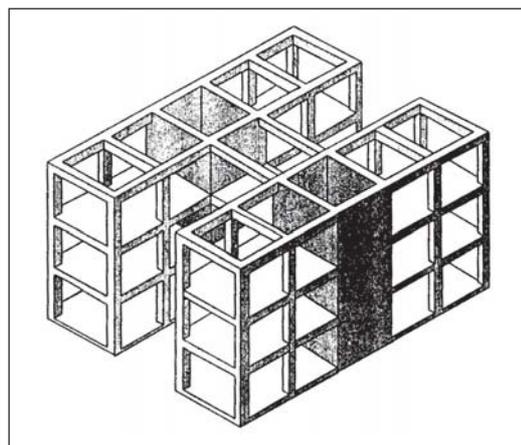
T. Guevara

#### *Muros en el interior del edificio*

Cuando las posibilidades de trabajo en el interior del edificio lo permitan, son una alternativa de necesaria consideración en edificios largos, en los cuales la flexibilidad del diafragma deba ser reducida. Se insertan generalmente por medio de perforaciones en los diafragmas, a través de las cuales pasan las barras de refuerzo. Este método de refuerzo fue utilizado en el Hospital Nacional de Niños en Costa Rica (Figura 12).

Figura 11.

#### **Muros estructurales al interior**



T. Guevara

#### *Muros de relleno de pórticos*

Tanto en el interior como en el exterior de edificios, una solución práctica al problema de rigidez y resistencia es el relleno de vanos de pórticos con muros de concreto o de mampostería reforzada. Debido a la unión con la columna, los esfuerzos en éstas cambiarán sustancialmente. Si el refuerzo de la columna es suficiente para el nuevo estado, la unión con el muro podrá realizarse solamente por medio de pasadores soldados. En caso contrario, se debe construir un encamisado de la columna, monolítico con el muro.

16 Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Adición, modificación y remodelación del sistema estructural de edificaciones existentes antes de la vigencia del decreto 1400/84. Norma AIS-150-86. Bogotá, 1986.

17 Iglesias, J., Evaluación de la capacidad sísmica de edificios en la Ciudad de México, Secretaría de Obras, México, 1986.

*Pórticos contrafuertes*

A diferencia de los elementos anteriores, su colocación es perpendicular a la cara del edificio. Además de aportar rigidez, son útiles para tomar el momento de vuelco en edificios esbeltos. El hospital de cardiología del Instituto Mexicano de Seguridad Social cuenta con este tipo de refuerzo (Fotografía 12). Debido a las limitaciones de espacio no siempre son factibles.

*Pórticos arriostrados*

Otra solución frecuente consiste en incluir varios pórticos de acero con diagonales anclados fuertemente a los diafragmas, como sustituto de los muros de rigidez. (Fotografía 13)

*Encamisado de columnas y vigas*

Empleado para sistemas de pórtico, este sistema se realiza generalmente sobre una gran parte de las columnas y vigas de un edificio, con el fin de aumentar tanto su rigidez como su resistencia y ductilidad.

*Construcción de un nuevo sistema aporticado*

En ocasiones es posible llevar a cabo una reestructuración total adosando la antigua estructura a nuevos pórticos perimetrales externos, como los usados en el reforzamiento del Hospital México en San José de Costa Rica (Fotografía 14). Usualmente se combina con la incorporación de muros estructurales internos perpendiculares al sentido longitudinal de los pórticos.

**Demostración de voluntad política**

Los estudios de vulnerabilidad de los hospitales en Costa Rica se iniciaron en 1984, en la Universidad de Costa Rica, como proyectos de investigación y en respuesta a la preocupación creciente en el medio de que se repitiera la experiencia de 1983 en San Isidro de Pérez Zeledón. La Escuela de Ingeniería Civil se vio motivada a iniciar esta labor gracias al incentivo que le diera el Fondo Nacional de Emergencias de ese entonces y al interés mostrado por las autoridades políticas de la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS). La OPS/OMS fue otro de los entes impulsores de esta iniciativa, ya que se presentaba como un campo de investigación nuevo en América Latina.

Después del estudio del Hospital Calderón Guardia, en 1984, la Universidad solicitó al año siguiente el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) la financiación para estudiar la vulnerabilidad del total de hospitales del país. El CONICIT aprobó parcialmente el financiamiento solicitado, así que la Universidad dio inicio al proyecto con el estudio del Hospital México en 1986. Este financiamiento se logró, entre otros factores, gracias a que prestigiosos médicos de la CCSS apoyaron decididamente el proyecto. El estudio del Hospital México fue el primero sobre vulnerabilidad sísmica integral que se ejecutó en el país, ya que en él se tocaron los diferentes niveles de riesgos a que estaba expuesto, aspectos estructurales, no estructurales y los de índole operativa que presentaba el hospital (Figura 14).



Fotografía 12. Hospital de Cardiología del Instituto Mexicano del Seguro Social que fue reforzado usando pórticos contrafuertes luego del sismo de México 1985.

OPS/OMS. Osorio

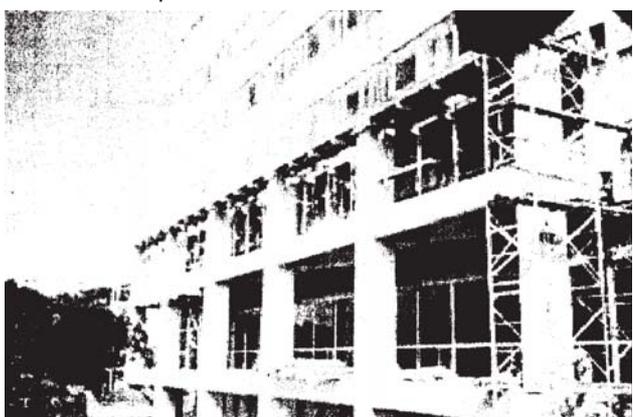
La reestructuración de los tres edificios que conforman el complejo consistió básicamente en colocar columnas y vigas adicionales a los marcos de concreto por su parte exterior y desligar todas las paredes del sistema estructural. En forma adicional, los muros de las escaleras de emergencia se ligaron a la estructura del edificio, con el objeto de evitar su volcamiento. Con esta alternativa se aumentó la rigidez de los edificios, lo que implica una disminución de los desplazamientos laterales debidos a sismos, lo que a su vez significa reducir el daño no estructural, limitando la probabilidad de daño estructural<sup>18</sup>.

Los trabajos de reforzamiento se iniciaron en mayo de 1989 y el proceso requirió 31 meses de trabajo. El costo de las

obras fue de US\$ 2,350.000 dólares, que representan el 7,8% del valor del hospital. Durante todo el proceso el hospital tuvo que reducir su número de camas de 600 a 400, con la consecuente acumulación de pacientes en espera de atención.

Aparte del Hospital México, la CCSS contrató también los estudios de vulnerabilidad, los diseños del refuerzo y la construcción de las respectivas rehabilitaciones del Hospital de Niños y el Hospital Monseñor Sanabria. También en estos dos casos se presentaron dificultades en el proceso de construcción, fundamentalmente por no involucrar debidamente a la administración del hospital en el proceso. Sin embargo, estas experiencias permitieron identificar los aspectos de coordinación y trabajo multidisciplinario que deben tenerse en cuenta, con el fin de evitar sobrecostos y problemas de funcionalidad.

Varios sismos han ocurrido desde 1990n que han demostrado la bondad de haber reforzado los hospitales antes mencionados. Particularmente, se cree que el Hospital Monseñor Sanabria no hubiera sobrevivido al sismo del 25 de marzo de 1990. Por otra parte, los daños ocurridos en el Hospital Tony Facio, que no había sido reforzado cuando ocurrió el sismo del 22 de abril de 1991, han ratificado la importancia de continuar con el proceso. De hecho, la CCSS incorporó formalmente el diseño sismorresistente y los análisis de vulnerabilidad desde la fase de formulación de los proyectos. En el diseño del nuevo Hospital San Rafael de Alajuela, por ejemplo, se utilizaron las técnicas más desarrolladas del estado del conocimiento con un enfoque integrador. El diseño de este hospital es un ejemplo de trabajo multidisciplinario en cual participaron profesionales de sismología, ciencias de la tierra, ingenieros, arquitectos y personal relacionado con la salud pública<sup>19</sup>.



Fotografía 14. Refuerzo del Hospital México

#### Control de vibraciones

Las técnicas de aislamiento en la base y control de vibración han tenido un incremento notorio en su uso en construcciones localizadas en zonas sísmicas en los últimos años, como alternativa a la disipación de energía, por medio de la tolerancia de daño por ingreso de los elementos estructurales en el campo

Fotografía 13. Refuerzo con diagonales



O. D. Cardona

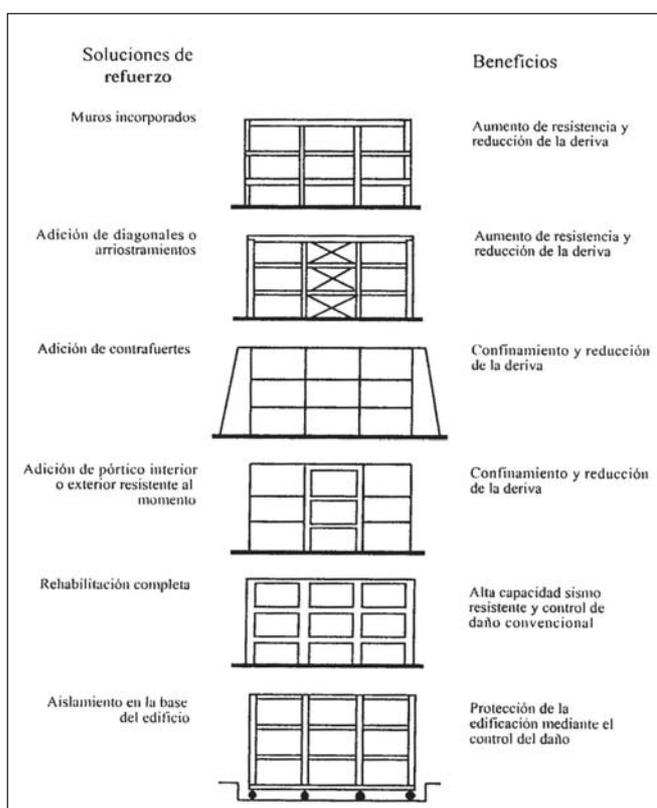
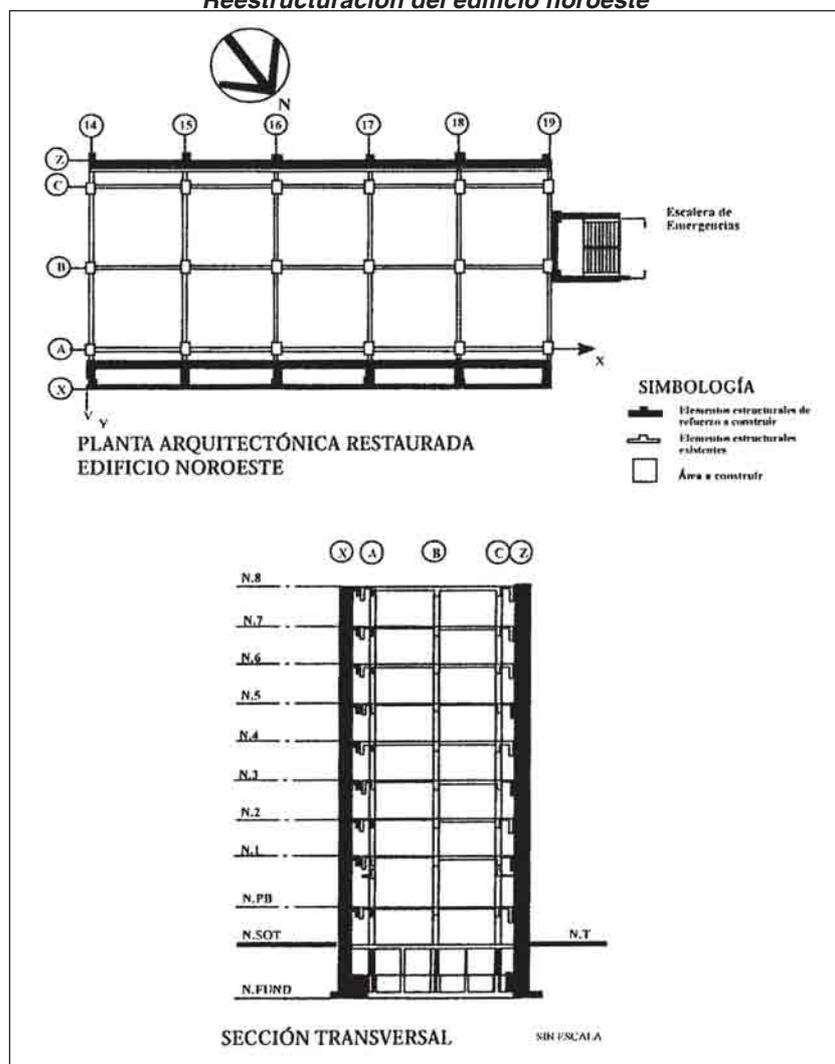


Figura 13. Soluciones conceptuales

no lineal. Esto los convierte en sistemas que sin duda llegarán a ser de gran importancia en la construcción de edificios en general, debido a las crecientes exigencias de seguridad estructural y no estructural ante sismos fuertes, y de comodidad ante vibraciones ambientales.

Figura 14.

**Reestructuración del edificio noroeste****COORDINACIÓN DE LA REESTRUCTURACIÓN**

Para una adecuada coordinación de los trabajos de reestructuración o reforzamiento de un establecimiento hospitalario, deben intervenir los diferentes agentes involucrados en el normal funcionamiento del hospital y los profesionales directamente encargados de la ejecución de las medidas de mitigación. Por lo anterior, en la estrategia a seguir en las obras de reestructuración deben intervenir el director del hospital, administrador, encargados de los servicios clínicos y de apoyo que se verán afectados, jefe de mantenimiento y servicios generales, así como todos los profesionales involucrados en el diseño y ejecución de las obras de refuerzo.

Por otra parte, las acciones de coordinación se deben realizar en el trabajo de diseño de las medidas de mitigación, en la planificación de las obras, así como en su ejecución. Se debe tratar de que en los diferentes momentos de la coordinación siempre participen las mismas personas.

La intervención de la vulnerabilidad sísmica de la estructura de una edificación hospitalaria es una tarea usualmente más compleja que la que se puede realizar en otro tipo de edificaciones. Varios son los aspectos que hacen diferente este tipo de trabajo en las instalaciones de la salud. Entre ellos se pueden destacar los siguientes:

18 Cruz, M.F., "Comportamiento de hospitales en Costa Rica durante los sismos de 1990", Taller Regional de Capacitación para la Administración de Desastres, OPS/PNUD/UNDRO/OEA/ONAD, Bogotá, 1991.

19 Cruz, M.F., Acuña, R., Diseño sismo-resistente del Hospital de Alajuela: un enfoque integrador, Conferencia Internacional sobre Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud, OPS, México 1996.

- Normalmente la edificación no se puede desocupar a efectos de llevar a cabo el refuerzo.
- La programación de los trabajos debe tener en cuenta la operación de los diferentes servicios de atención médica, con el fin de no causar graves trastornos al funcionamiento del hospital o la inoperancia injustificada de cierto tipo de servicios.
- Se debe prever que habrá un amplio número de labores imprevistas debido a la dificultad de identificar con precisión detalles del proceso constructivo con anterioridad a la iniciación de los trabajos.
- Deben conocerse los elementos no estructurales y los efectos sobre los acabados arquitectónicos, previamente al inicio de la intervención estructural.

Por lo anterior, el desarrollo de una reestructuración debe obedecer a un programa de trabajo muy detallado que involucre aspectos relativos a la función de los servicios en cada etapa del proceso. De la misma manera, debe definirse una debida coordinación con el personal administrativo, de atención médica y de mantenimiento del hospital.

## COSTOS DE INTERVENCIÓN

El costo de una intervención de la vulnerabilidad de un hospital no es posible conocerlo si no se realiza un diseño detallado de la solución estructural y de sus implicaciones en relación con los elementos no estructurales. Sin embargo, esta situación no debe impedir la formulación de un plan de avance con algún grado de precisión que se ajuste lo menos posible en el proceso.

Los costos adicionales para hacer un edificio resistente a huracanes, sismos o inundaciones pueden considerarse como un seguro. Se han hecho estudios que han demostrado que los costos de una edificación diseñada y construida desde su inicio considerando especificaciones contra amenazas como la sísmica, pueden incrementarse entre el 1% y el 4% del costo total del edificio.

Si se analiza el problema en términos del costo para proteger un equipo determinado, la diferencia podría también ser sorprendente. Por ejemplo, la interrupción de electricidad en un hospital como consecuencia de daños severos de un generador de electricidad cuyo costo puede acercarse a la cifra de US\$ 50.000 puede ser evitada mediante la instalación de aisladores sísmicos y restricciones para evitar su volcamiento cuyo costo puede ser de escasos US\$ 250.

En todos los casos se ha demostrado la alta rentabilidad económica y social de mejorar el comportamiento estructural de las edificaciones hospitalarias vulnerables. El costo de una reestructuración, aunque puede considerarse alto en algunas ocasiones, siempre será un valor poco significativo en relación el presupuesto del servicio o en relación con el costo de su reparación o reposición física. Unas buenas preguntas figurativas que podrían formularse en cada caso podrían ser, por ejemplo: ¿el costo de la reestructuración sería equivalente a cuántos escanógrafos? y ¿cuántos escanógrafos tiene el hospital? Las respuestas podrían dar resultados sorprendentes, sin tener en cuenta todos los demás elementos, equipos y bienes que en general aloja la edificación; esto por supuesto sin tener en cuenta las vidas humanas involucradas directa o indirectamente y en general el costo social que significa la pérdida del servicio.

De acuerdo con la experiencia en la región, el valor de los estudios de vulnerabilidad sísmica estructural y diseño del refuerzo puede situarse en un rango entre 0.3% y 0.5% del valor total del hospital y el costo de la rehabilitación o refuerzo podría situarse entre el 4% y el 8% del mismo valor. En otras palabras, con una inversión en refuerzo que signifique una cifra inferior al 10% del costo por cama, podría evitarse una pérdida de no menos del 20% de las camas existentes en el caso de un sismo fuerte<sup>20</sup>. Estas cifras, si bien no pueden tomarse como evaluaciones económicas precisas, si dan un orden de magnitud de la relación costo-beneficio económico que se logra al aplicar las medidas de mitigación.

### Costos de reforzamiento de hospitales en Costa Rica

Hospital	Camas	Duración de las obras (meses)	Valor reforzamiento (US\$)	% del valor total del hospital
Hospital México	600	31	2.350.000	7,8
Hospital Nacional de Niños	375	25	1.100.000	4,2
Hospital Monseñor Sanabria	289	34	1.270.000	7,5

**BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA PARA ESTE CAPÍTULO**

- ACI, Seismic Design for Existing Structures, Seminal Course Manual SCM-14(86), Detroit 1986.
- AIA/ACSA Council on Architectural Research, Buildings at Risk: Seismic Design Basis for Practicing Architects, American Institute of Architects, Association of Collegiate Schools of Architecture, Washington, D.C., 1994.
- Aoyama, H. A Method for the Evaluation of the Seismic Capacity of Existing Buildings Reinforced Concrete in Japan, Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol. 14, No. 3, 1981.
- Applied Technology Council (ATC) (Report ATC 3-06), Tentative Provisions for Development of Seismic Regulations for Buildings, Palo Alto, 1978. (Versión en español por Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Bogotá, 1979).
- ATC (Report ATC-14), Evaluating the Seismic Resistance of Existing Buildings, Redwood City, 1987.
- ATC (Report ATC-21), Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook, Redwood City, 1988 (FEMA Report 154, July 1988).
- ATC (Report ATC-22), A Handbook for Seismic Evaluation of Existing Buildings, Redwood City, 1989.
- ATC (Report ATC-22-1), Seismic Evaluation of Existing Buildings: Supporting Documentation, Redwood City, 1989. (FEMA 175, 1989).
- ATC (Report ATC-33-03), Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings, 75% Submittal, Third Draft, 3 Volumes, Redwood City, 1995; NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, (FEMA 273).
- ATC (Report ATC-40), Sismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, 2 Volumes, Seismic Safety Commission, Redwood City, 1996.
- Argudo, J., Yela, R., Vulnerabilidad estructural de hospitales de Guayaquil – Ecuador, estudio inédito realizado para la OPS/ECHO, Guayaquil, 1995.
- Arnold C., Durkin M., Hospitals and the San Fernando Earthquake, Building Systems Development Inc., 1983.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Adición, Modificación y Remodelación del Sistema Estructural de Edificaciones Existentes antes de la Vigencia del Decreto 1400/84. Norma AIS-150-86, Bogotá, 1986.
- AIS, Análisis de Vulnerabilidad Sísmica del Hospital Universitario de Caldas, Comité de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico AIS-400, Manizales, 1992.
- AIS, Análisis de Vulnerabilidad Sísmica del Hospital Departamental Evaristo García, Comité de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico AIS-400, Cali, 1992.
- AIS, Código colombiano de construcciones sismo resistentes, comentarios, manuales y especificaciones. Bogotá, 1991.
- AIS, Normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente NSR-98, Ley 400 de 1997. Decreto Ley 33 de 1998, Santa Fe de Bogotá, 1998.
- AIS, Seminario sobre vulnerabilidad sísmica de edificaciones y de líneas vitales, Boletín Técnico No. 50, AIS/Universidad de los Andes, Bogotá, junio 1996.
- Akiyama, H., Earthquake-Resistant Limit-State Design for Buildings. Tokio, 1985.
- Aktan A.E., I-Kang Ho, "Seismic Vulnerability Evaluation of Existing Buildings", EERI Earthquake Spectra, 6(3): 439-472, 1990.
- Bazán, E., Meli, R., Manual de diseño sísmico de edificios, Limusa, México, 1987.
- Bellido, J. et al, Vulnerabilidad no-estructural del Hospital Nacional Guillermo Almenara Irigoyen, OPS, Lima, 1997.
- Bertero, V., "Rehabilitación Sísmica de Edificios Existentes", Terremoto de Caracas 30 Años Después. Caracas, 1997.
- Bitrán, D., Estrategias y políticas para hospitales más seguros en América Latina y el Caribe, documento inédito para la OPS, Preliminar, enero 1988.
- Blejwas T., Bresler B., Damageability in Existing Buildings (Informe no. UCB/EERC-78/12). Earthquake Engineering Research Center, University of California, agosto 1979.
- Boroschek, R., Astroza, M., Osorio, C., Kausel, E., Análisis de vulnerabilidad y preparativos para enfrentar desastres naturales en hospitales de Chile, Universidad de Chile, estudio realizado para OPS/OMS-ECHO, Santiago, Chile, 1996.
- Boroschek, R., Astroza, M., Osorio, C., Capacidad de respuesta de Hospitales ante desastres sísmicos: Aspectos No Estructurales, Conferencia Internacional sobre Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud, OPS, México, 1996.
- Boroschek, R., Astroza, M., Estudio de vulnerabilidad física del hospital San Martín de Quillota, Ministerio de Salud

20 OPS, Lecciones aprendidas en América Latina de mitigación de desastres en instalaciones de salud. Aspectos de Costo – Efectividad, DHA, Secretariado del IDNDR, OPS, Washington 1997.

de Chile, OPS, Santiago, 1994.

Cardona, O.D., Análisis de vulnerabilidad sísmica y diseño del reforzamiento del Hospital Kennedy de Santa Fe de Bogotá, Ingeniar Ltda: Ingenieros y Arquitectos Consultores, ECHO:3/OPS, Bogotá, 1996.

Cardona, O.D., Estudios de vulnerabilidad y evaluación del riesgo sísmico: planificación física y urbana en áreas propensas. Boletín Técnico No. 33, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Bogotá, diciembre 1986.

Cardona, O.D., Las edificaciones hospitalarias en la nueva legislación sísmica colombianas, Conferencia Internacional sobre Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud, OPS, México, 1996.

Cardona, O.D., "Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones y centros urbanos", VII Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo-Resistente – IX Jornada Estructurales, SCI/AIS/MOFT, Bogotá, octubre 1991.

Cardona, O.D., Hurtado J.E., "Análisis de vulnerabilidad sísmica de estructuras de concreto reforzado", Reunión del Concreto, ASOCRETO, Cartagena, 1992.

Clough, R., Penzien, J., Dynamics of Structures. Tokio: McGraw-Hill Kogakusha, 1975.

Crawley, S.W., Ward, D.B., Seismic and Wind Loads in Architectural Design: An Architect's Study Guide, American Institute of Architects, 2<sup>nd</sup> Edition, 1990.

Cruz, M.F., "Comportamiento de hospitales en Costa Rica durante los sismos de 1990", Taller regional de capacitación para la administración de desastres, OPS/ PNUD/ UNDRO/ OEA/ONAD, Bogotá, 1991.

Cruz, M.F., Acuña, R., Diseño sismo-resistente del Hospital de Alajuela: un enfoque integrador, Conferencia Internacional sobre Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud, OPS, México, 1996.

Department of Energy, Seismic Safety Manual: A Practical Guide for Facility Managers and Earthquake Engineers, Office of Environment, Safety and Health, Office of Nuclear and Facility Safety, University of California, Livermore, 1996.

Department of Defense, Seismic Design Guidelines for Upgrading Existing Buildings. Technical Manual, Army RM 5-809-10-2, Navy NAVFAC P-355.2, Air Force AFM 88-3, Capítulo 13, Sección B, septiembre 1988.

Dowrick, D.J. Diseño de estructuras resistentes a sismos para ingenieros y arquitectos. México: Limusa, 1984.

EERI, Reducing Earthquake Hazards: Lessons Learned from the 1985 Mexico Earthquake (Publication No. 89-02). Oakland, California: EERI, 1989.

EERI, Reducing Earthquake Hazards: Lessons Learned from Earthquakes. (Publication No. 86-2). Oakland, California, 1986.

Englekirk R.E., Sabol T.A., "Strengthening Buildings to Life Safety Criterion", EERI Earthquake Spectra, 7(1):81-87, 1991.

Federal Emergency Management Agency (FEMA), NEHRP Handbook for Seismic Evaluation of Existing Buildings. (FEMA 178), Washington, 1992; Handbook for Seismic Evaluation of Buildings: A Prestandard. (FEMA 310), Washington, D.C., 1998.

FEMA, NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings. (FEMA 222A, 223A), Washington, 1995.

FEMA, Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: Supporting Documentation (Report ATC-21-1). (FEMA 155) Washington, D.C. 1988.

FEMA, Typical Costs for Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, Volume 1 Summary (FEMA 156), Volume 11 Supporting Documentation (FEMA 157), Washington, D.C., 1988.

García, L.E., Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico, Universidad de los Andes, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Bogotá, 1998.

Grases, J. et al, Evaluación sismorresistente de instalaciones de la ciudad universitaria DR. Enrique Tejera, Valencia, Estado Carabobo, Venezuela. Informe de Estudio para la OPS, Inédito, Caracas, 1995.

Guevara, L.T., Evaluación preliminar de la respuesta ante el sismo del 09-07-97 del Hospital Antonio Patricio de Alcalá, Cumaná, Edo. Sucre, Venezuela: aspectos arquitectónicos-funcionales del departamento de emergencia y medicina crítica. Informe inédito para la OPS, Caracas, 1997.

Hirosawa, M., Evaluation of Seismic Safety and Guidelines on Seismic Retrofitting Design of Existing Reinforced Concrete Buildings, Tokyo 1976, VI Seminar on Seismology and Earthquake Engineering for Structural Engineers, 1988.

Hirosawa, M., et al, "Seismic Evaluation Method and Restoration Techniques for Existing and Damaged Buildings Developed in Japan". IDNDR International Symposium on Earthquake Disaster Reduction Technology. Tsukuba, Japan, 1992.

Iglesias, J., Evaluación de la capacidad sísmica de edificios en la Ciudad de México. Secretaría de Obras, México, 1986.

- Iglesias, J. et al., Reparación de estructuras de concreto y mampostería. Universidad Autónoma Metropolitana, México, 1988.
- Lomnitz, C., Rosenblueth, E. (eds), Seismic Risk and Engineering Decisions. Amsterdam, 1976.
- Meek, J., Matrix Structural Analysis. Tokio: McGraw-Hill Kogakusha, 1971.
- National Center for Earthquake Engineering Research (NCEER), Manual of Repair Methods for Civil Engineering Structures Damaged by Earthquakes. State University of New York at Buffalo, 1990.
- Newmark, N.M., Rosenblueth, E. Fundamentos de ingeniería sísmica. México, 1976.
- Ohkubo M., Current Japanese System for Evaluation of Seismic Capacity of Existing Reinforced Concrete Buildings Structures. Tsukuba, Japón: International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, diciembre 1991.
- OPS, Guías para la mitigación de riesgos naturales en las instalaciones de la salud de los países de América Latina. Washington, D.C., 1992.
- OPS, Lecciones aprendidas en América Latina de mitigación de desastres en instalaciones de salud, aspectos de costo – efectividad, DHA, Secretariado del IDNDR, OPS, Washington, D.C., 1997.
- OPS, Programa de reconstrucción y reordenamiento de los servicios de salud. Secretaría de Salud, México, 1986.
- Pan American Health Organization (PAHO). Disaster Mitigation Guidelines for Hospitals and Other Health Care Facilities in the Caribbean. Washington, D.C., 1992.
- Park, R., Paulay, T., Estructuras de concreto reforzado. México: Editorial Limusa, 1978.
- Park, Y.J., Ang, A, H-S, and Wen, Y.K., Seismic Damage Analysis and Damage-Limiting Design of R/C Buildings, Civil Engineering Studies, Report SRS 516, University of Illinois, Urbana, 1984.
- Park, Y.J., Reinhorn, A.M. and Kunnath, S.K. IDARC: Inelastic Damage Analysis of Reinforced Concrete Frame – Shear Wall Structures, Report NCEER-87-0008, State University of New York at Buffalo, 1987.
- Perbix T.W., Burke P., “Toward a Philosophy for Seismic Retrofit: The Seattle Experience”, EERI Earthquake Spectra, 5(3):557-569, 1990.
- Platt C.M., Shepherd R., “Some Cost Considerations of the Seismic Strengthening of Pre-Code Buildings” EERI Earthquake Spectra, 1(4):695-720, 1985.
- Priestley, M.J. N., Calvi, G.M., “Towards a Capacity Design Assessment Procedure for Reinforced Concrete Frames”, EERI Earthquake Spectra 7(3):413-437, 1991.
- Reinhorn, A.M. et al, IDARC 2D Versión 4.0: A Program for Inelastic Damage Analysis of Buildings, Users Manual, Report NCEER-96.0010, University of Buffalo, New York, 1996.
- Rivera de Uzcátegui, I., Evaluación primaria de edificios bajos ante solicitaciones sísmicas, aplicación al Hospital Universitario de Mérida, Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, 1989.
- Rodríguez M., Park R., “Repair and Strengthening of Reinforced Concrete Buildings for Seismic Resistance”, EERI Earthquake Spectra, 7(3):439-459, 1991.
- Rosenblueth, E. (ed.). Design of Earthquake Resistant Structures. Nueva York, 1981.
- Sarria, Alberto. Ingeniería sísmica. Ediciones Uniandes, Bogotá, 1990.
- Scott, J.G., Architecture Building Codes, Van-Nostrand Reinhold, New York 1997.
- Sugano S., Seismic Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings in Japan. Tsukuba, Japan: International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, diciembre 1991.
- Tassios T.P., Evaluation of the Relative Seismic Risk of Existing Buildings by Means of Simplified Vulnerability Techniques. (Informe del proyecto Popayán, presentado en Atenas, Grecia, diciembre 1989).
- University of Antioquía, WHO Collaborating Center. The Status of Instruction on Emergency Health Management after Disasters at the Postgraduate Level in Latin America, PAHO/WHO, 1990.
- URS/JHON A. BLUME & ASSOCIATES, ENGINEERS, Selected Seismic Rehabilitation Techniques and Their Costs, NEHRP, Contract No. EMW-87-C-2527, FEMA.
- Wiegel, R. (ed.), Earthquake Engineering Englewood Cliffs, 1970.
- Williams, M.S., Sexsmith, R.G., “Seismic Damage Indices for Concrete Structures: A State-of-the-Art Review”, EERI Earthquake Spectra, Vol. 11 No. 2, May 1995.