

**SISTEMA NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES  
SOCIEDAD COLOMBIANA DE INGENIEROS**

**SEMINARIO**

**DESASTRES SISMICOS EN GRANDES CIUDADES  
"Enseñanzas en Mitigación y Operativos de Emergencia"**

**ESTUDIOS DE MICROZONIFICACION SISMICA PARA LA PLANIFICACION  
URBANA Y EL DISEÑO**

**INSTITUTO DE INGENIERIA SISMICA Y SISMOLOGIA  
Jakim PETROVSKI  
Professor  
Zoran MILUTINOVIC  
Professor Asociado  
Universidad "Kiril and Metodij"  
Skopje, Yugoslavia.**

## ESTUDIOS DE MICROZONIFICACION SISMICA PARA LA PLANIFICACION URBANA Y EL DISEÑO

Zoran MILUTINOVIC, Jakim PETROVSKI  
Profesores

Instituto de Ingenieria Sismica y Sismologia  
Universidad "Kiril y Metodij", Skopje, Yugoslavia

### INTRODUCCION

Las grandes devastaciones que han afectado la economía de las regiones de alta sismicidad demuestran que deben adoptarse rigurosas medidas para reducir la pérdida de vidas y de las propiedades durante terremotos catastróficos. Los países con riesgos sísmicos, con concentración de la inversión en zonas sísmicas, deben darle una especial atención a la protección futura de los costosos sistemas vitales para evitar serias penalidades económicas. Muchas grandes regiones urbanizadas e industrializadas en el mundo expuestas a una alta sismicidad se han desarrollado sin la adecuada consideración de los posibles efectos de los terremotos. Parece que entre más desarrollada sea la economía, mayores esfuerzos estará dispuesta la sociedad a destinar a la protección sísmica.

La mayoría de los estudios sobre distribución de daños causados por terremotos indican que las áreas de daño son muy localizadas y que el grado de daño puede cambiar abruptamente en distancias tan cortas como 0.5 a 1 Km. A menudo, estas variaciones en daños estructurales se atribuyen a la geología local y a las condiciones del suelo, especialmente cuando hay cimientos débiles. Aún en ausencia de problemas de cimientos, la intensidad de la sacudida del terreno varía fuertemente en cortas distancias, lo cual ha llevado a los investigadores a pensar que las condiciones locales del suelo son de vital importancia en el control del comportamiento y de los daños a los sistemas estructurales al ser expuestos a las cargas de un terremoto.

La manera más eficiente de asegurar la adecuada protección contra terremotos a nivel regional/local no es solamente aplicando criterios técnicamente consistentes y económicamente viables en el diseño sísmoresistente, sino permitir la completa protección de todas las actividades humanas y del medio de vida a través del proceso de planeación urbana y regional. Para esto, la zonificación y microzonificación son pasos indispensables y constituyen la base sobre la cual la planeación podría lograrse exitosamente a todo nivel. A continuación se darán en detalle los pasos básicos y las investigaciones para la elaboración de la zonificación y microzonificación.

## 1. RECOPIACION Y SINTESIS DE DATOS PROVENIENTES DE ESTUDIOS REGIONALES.

Con el fin de determinar los parámetros sísmicos regionales en cualquier sitio, asentamiento o el núcleo urbano que debe modificarse por la influencia de los efectos de las condiciones locales del suelo, deben desarrollarse consistentemente investigaciones y estudios a nivel regional. Estos estudios incluyen:

### 1.1. Estudios/Investigaciones Geológicas - Geomorfológicas

- Zonificación tectónica histórica;
- Análisis de movimientos neotectónicos;
- Análisis de movimientos recientes;
- Trazado de mapas de fallas tectónicas;
- Elaboración de los criterios geológicos de sismicidad;
- Determinación de zonas sísmogénicas de acuerdo con criterios geológicos.

### 1.2. Investigaciones Geofísicas de la Estructura de la Corteza Terrestre

- Estudios para la elaboración de un mapa de anomalías isostáticas de la corteza terrestre;
- Mapa de anomalías geomagnéticas;
- Mapa de profundidades de depósitos sedimentarios;
- Determinación de la elongación de las estructuras de las fallas profundas;
- Determinación de criterios geofísicos de sismicidad.

### 1.3. Recopilación y Síntesis de los Datos Sísmológicos.

- Elaboración de un catálogo de terremotos;
- Atlas de mapas isosísmicos de terremotos más fuertes;
- Mapa isosísmico sintético;
- Mapa de epicentros;
- Estudio de la generación de terremotos y de réplicas.

### 1.4. Correlación de Datos.

- Determinación de zonas capaces de producir terremotos (correlación de datos geológicos, geofísicos y sísmológicos).
- Estudio de las relaciones  $I, M, h, \Delta$  y  $\beta$ .

### 1.5. Elaboración de Mapas de Zonificación Sísmica por:

- Máxima intensidad esperada;
- Máximas aceleraciones, velocidades etc., estimadas;
- Máximas aceleraciones, velocidades etc., observadas;

De esta manera, a través de la recopilación y síntesis de los datos regionales, la regionalización sísmica será la síntesis de

los datos geológicos, geofísicos y sismológicos para definir la distribución geográfica de determinado parámetro o cantidad (ya sea sin limitación en el tiempo o para un período de tiempo específico) con base en criterios geológicos y geofísicos aceptados de sismicidad.

## 2. ANALISIS DE LA AMENAZA SISMICA.

La amenaza sísmica se define como una probabilidad de  $F(a)$  de que se excederán ciertos parámetros de movimiento del terreno en un período (T) de años. Esta definición probabilística de la amenaza sísmica contiene cierto nivel de predicción o extrapolación hacia el futuro del valor que puede llegar a tener el parámetro de movimiento del terreno que caracteriza un sismo. Actualmente, el parámetro de movimiento del terreno más común en la evaluación de la amenaza es la aceleración pico del suelo (APS). Otros parámetros tales como duración del movimiento fuerte del terreno, se utilizan más como resultados finales del análisis de la amenaza.

En términos generales, la evaluación de la amenaza se hace siguiendo estos pasos:

### 2.1. Modelo de las Fuentes de los Terremotos.

- Fuente puntual
- Fuente lineal
- Fuente en un área
- Fuente de volumen
- Sismicidad difusa (de fondo)

El modelo particular a usar depende de la detallada investigación sismológica y tectónica de la región sísmica particular.

2.2. Determinación de la Distribución de Magnitudes (Intensidad/Frecuencia) y Estimación de la Magnitud (Intensidad) Máxima de Esperada para cada Fuente Sísmica.

$$\text{Log}N = a + bM, \quad M < M_{\text{máx}}$$

Las relaciones se derivan de acuerdo con los análisis estadísticos de los datos sismológicos de terremotos ocurridos.

2.3. Modelo Estocástico de Tiempo de Interocurrencia de un Terremoto, es decir, Determinación de la Distribución de Probabilidad del Tiempo entre dos Terremotos Sucesivos con una Magnitud Dada.

Actualmente, el modelo estocástico más común es el modelo Poisson con una función constante de la tasa de amenaza. Sin embargo, existen indicios de que en el caso de que la sismicidad de una región la rijan una sola gran falla, el modelo no es satisfactorio. Por lo tanto, otros modelos que no tienen una tasa constante

de amenaza pueden utilizarse tales como la distribución normal logarítmica.

#### 2.4. Leyes de Atenuación.

Para estimar la intensidad de los parámetros de movimiento del terreno, deberá determinarse el efecto de la distancia a la fuente y la energía liberada en la fuente. La dependencia funcional entre los parámetros de movimiento del terreno y los parámetros de terremoto seleccionados ( $M$ ,  $I_0$ ,  $M_0$ ) y la distancia hipocéntral  $R$ , se denomina ley de atenuación.

Hay dos enfoques para determinarla:

- Enfoque semideterminístico utilizando análisis de regresión de los datos empíricos.

$$a = f(M, R, \dots)$$

- Modelación probabilística de los datos empíricos

$$\Pr(a < A; M, R)$$

En general, las leyes de atenuación dependen de la región considerada. Ambos enfoques se basan en datos sísmológicos y de movimientos fuertes que existen.

#### 2.5. Evaluación de la Amenaza.

Con el fin de calcular las probabilidades de exceder el parámetro específico de movimiento, debe considerarse el efecto de todas las fuentes circundantes. Asumiendo una independencia espacial para cada fuente, la probabilidad de excederlo está dada por:

$$\Pr(a > A, T) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - \Pr_i(a > A, T)]$$

donde

$$\Pr_i(a > A, T)$$

es la probabilidad de exceder el parámetro de movimiento del terreno cuando un terremoto ocurre en la fuente  $i$  durante el tiempo  $T$ .

El resultado final del análisis de amenaza son los mapas de amenaza sísmica en términos de los parámetros de movimiento de terreno en un tiempo dado  $T$ .

### 3. EVALUACION DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS Y PROPIEDADES DINAMICAS DEL TERRENO.

El objetivo final de estos estudios es la elaboración de documentación sismogeológica y mapas correspondientes como base para estimar la influencia de las condiciones locales del terreno al modificar los movimientos regionales y la elaboración de estudios detallados de microzonificación en cualquier asentamiento urbano o área.

La práctica Yugoslava, implementada en más de 100 estudios de microzonificación en todo Yugoslavia, anticipa los siguientes pasos básicos:

1. Estudios preparatorios en oficina
2. Estudios sobre el terreno e investigaciones
3. Investigaciones geotécnicas
4. Investigaciones sísmicas (geofísicas)
5. Investigaciones geodésicas
6. Investigaciones de laboratorio

### **3.1. Estudios Preparatorios en la Oficina.**

Estos estudios incluyen:

- Diseño del programa de investigación;
- Recopilación y síntesis de los datos y documentación disponibles; y
- Análisis de imágenes de aerofotografía.

Estas investigaciones preparatorias deben definir el área de investigación, los objetivos, enfoque metodológico, cronograma de las investigaciones, alcance y tipo de trabajos investigativos al nivel necesario para comprender la estructura geológica del terreno, sus características morfológicas, hidrogeológicas, ingeniería-geológicas y sismogeológicas, así como permitir la iniciación racional y elaboración de estudios e investigaciones en el terreno.

### **3.2. Estudios sobre el Terreno e Investigaciones.**

- Trazado de mapas hidrogeológicos y de ingeniería geología;
- Preparación de perforaciones;
- Trazado de mapas de los núcleos de las perforaciones;
- Muestreo para investigaciones de laboratorio; y
- Realización de pruebas de penetración estandar en el lugar.

De acuerdo con el tamaño físico del área que se microzonificará, podrá realizarse el trazado de mapas hidrogeológicos y de ingeniería-geología con base en la topografía a una escala de 1:5000 o 1:1000. En el caso de Montenegro, se utilizó la escala 1:5000 para microzonificaciones relacionadas con la elaboración de planes maestros de comunidades. La escala 1:1000 se usó para estudios detallados de microzonificación para la revitalización de antiguos núcleos urbanos, patrimonio histórico y cultural. En consecuencia, todos los mapas se realizaron en una escala 1:1000 y a 1:5000. Estos mapas ofrecen datos para la elaboración de:

- Mapas hidrogeológicos,
- Mapas de ingeniería- geología; y
- Mapas de estabilidad del terreno.

Las perforaciones deberán ofrecer datos sobre la estructura litoestratigráfica de sedimentos, de gravimetría, existencia o carencia de aguas subterráneas y el nivel freático, así como definir la posición del lecho de roca. Además, permitirá la prueba SPT a varios niveles y ofrecerá datos para la prueba de laboratorio. El trazado de mapas de los núcleos de perforaciones ofrecerá datos sobre petrografía mineral y el tamaño del grano de depósitos cuaternarios.

### 3.3. Investigación Geoeléctrica.

Estas investigaciones (AB/2 = 100 mts; AB/2 = 300 mts y AB/2 = 500 mts) debe ofrecer datos adicionales sobre el espesor de los sedimentos cuaternarios, sus características litoestratigráficas y físicas, características del lecho de la roca y nivel freático.

### 3.4. Investigaciones Sísmicas (Geofísicas).

La experiencia Yugoslava incluye los siguientes tipos de investigaciones sísmicas:

- Refracción sísmica: es decir, determinación in situ de las velocidades  $V_p$  y  $V_s$ ;
- Medición de microtemblores; y
- Medidas de la vibración ambiental a escala completa de los edificios elegidos.

Las medidas de refracción ofrecen datos sobre las velocidades elásticas de propagación  $V_s$  y  $V_p$  de los estratos característicos de terreno, sus características físicas y en consecuencia sobre la estructura geológica. Podrá obtenerse datos sobre las características de lechos de roca poco profundos. Las mediciones de microtemblores ofrecen datos sobre las características físicas de aisladas microlocalizaciones (puntos de medición). Las vibraciones ambientales a escala completa ofrecen datos sobre las características dinámicas fundamentales de los edificios representativos elegidos considerados como muestras de las construcciones que prevalecen en la región/Área urbana.

Los datos obtenidos a través de las investigaciones sísmicas representan datos básicos para la modelación geotécnica, la determinación de la influencia de las condiciones locales del terreno sobre la modificación de los movimientos regionales y la posterior elaboración de mapas de microzonificación.

### 3.5. Investigaciones Geodésicas.

Las investigaciones/mediciones geodésicas son necesarias para definir las coordenadas y niveles de todos las perforaciones, con base en las cuales se podrá lograr el correcto trazado, la elaboración de mapas y la interpretación de datos y resultados.

### 3.6. Investigaciones de Laboratorio.

Deben realizarse dos tipos de ensayos:

Estáticos, incluyendo la determinación de:

- Granulometría;
- Peso específico y densidad;
- Consistencia;
- Cohesión y ángulo de fricción interna;
- Coeficiente de filtración;
- Contenido de humedad, etc.

Dinámicos, incluyendo la determinación de:

- La relación entre el módulo de corte y los esfuerzos de cortante.
- La relación entre los coeficientes de amortiguación y los esfuerzos de cortante.

Los ensayos dinámicos de laboratorio deben efectuarse sobre muestras del suelo sin perturbación (suelos cohesivos) y con perturbación (suelos sin cohesión) tomadas durante el desarrollo de las perforaciones con el fin de determinar las llamadas curvas de material que describen el comportamiento del suelo en el rango no lineal, que posiblemente se presentará cuando los depósitos del suelo estén expuestos a sismos de mediana a fuerte intensidad.

### 4. DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DE AMPLIFICACION Y MODIFICACIONES EN LOS MOVIMIENTOS DEL SUELO ORIGINADOS POR TERREMOTOS REGIONALES.

Las enseñanzas de los pasados terremotos hicieron evidente la indiscutible influencia de la geología de la superficie, es decir, los depósitos superficiales sobre la amplificación y modificación en la frecuencia de los movimientos del suelo. Los daños y los registros en instrumentos han demostrado que mientras que las máximas aceleraciones y la duración del movimiento en la roca o en suelos duros son despreciables, en los depósitos de los valles se aumentan dramáticamente (1985 Michoacán, México). Por lo tanto, los efectos de un terremoto en un sitio, aún si son limitados, pueden ser considerablemente diferentes dependiendo de los patrones de litoestratificación de los depósitos de la superficie.

Con el fin de aclarar estos efectos y su influencia sobre la amplitud y frecuencia de los movimientos regionales, deberá hacerse el análisis dinámico de los perfiles representativos de suelos seleccionados, evaluar el potencial de amplificación y trazar mapas a la escala correcta.

Los perfiles de suelo representativos y los modelos geotécnicos deben evaluarse de acuerdo con la síntesis de las investigaciones

geológicas, geofísicas y geotécnicas disponibles. Debido a las fuertes tensiones de corte inducidas en los medios de suelo, particularmente en los suelos blandos saturados de agua durante movimientos de tierra fuertes causados por terremotos, el comportamiento de los depósitos del suelo estarían fuera del rango lineal, controlados por el módulo de corte dependiente de la fuerza y el amortiguamiento. El ablandamiento de las propiedades del material inicialmente determinado junto con el incremento en la amortiguación tienen una influencia exclusiva sobre la modificación del contenido de frecuencia y amplitud de los movimientos del suelo inducidos, cuyos efectos deben considerarse adecuadamente en el análisis e interpretación de los resultados finales.

##### 5. DETERMINACION DEL POTENCIAL DE INESTABILIDAD DINAMICA DE LOS SUELOS.

Además de los efectos vibratoriales que afectan la gran mayoría de estructuras, existen también diferentes tipos de amenazas geológicas iniciadas por la vibración sísmica y que pueden causar enormes pérdidas y víctimas.

La licueación de los suelos durante los terremotos ha resultado en ejemplos dramáticos de daños. La licuación de las arenas durante el terremoto de Niigata en 1964, causó el hundimiento de estructuras más de un metro en los suelos licuados. Los asentamientos fueron acompañados por inclinaciones hasta de 80 grados. Efectos similares fueron observados en Puerto Monte durante el terremoto de Chile en 1960. Si la licuación ocurre en o bajo una masa de tierra en pendiente, la masa entera puede fluir lateralmente hacia abajo. Estos deslizamientos se han observado en materiales saturados sueltos sin cohesión durante los terremotos de Chile (1960), Alaska (1964), Niigata (1964). El ejemplo más reciente es el terremoto del 23 de enero de 1988 en Tadjikistán, Unión Soviética (M= 5.8) cuando la ciudad de Dushanbe fue afectada y el pueblo de Sharora fue destruido.

El movimiento telúrico disparó un flujo de barro masivo que afectó el área de cerca de 8 Km de largo y 1 Km de ancho, con un volumen de más de 10 millones de metros cúbicos y donde la barrera de barro y depósitos alcanzó una altura de 25 metros en el pueblo de Sharora. Como resultado se suspendieron las actividades de rescate y atención en Sharora y el área se declaró monumento nacional.

Los deslizamientos también se presentan frecuentemente como consecuencia de terremotos. En muchos casos, pueden causar el mismo daño durante y después del terremoto que el movimiento telúrico mismo, en especial daños en la infraestructura regional y urbana y en las líneas vitales. Los principales deslizamientos durante los terremotos han ocurrido básicamente en los depósitos de arcilla. Uno de los más grandes deslizamientos en depósitos de arcilla ocurrió a lo largo de la costa del área de los Montes Turnagain en Anchorage, Alaska en el terremoto de 1964. El deslizamiento se extendió 2,550 mts a lo largo del barranco y se

desenvolvió hacia el interior cerca de 300 mts.

El desplazamiento a lo largo de las fallas de la superficie, en especial cuando pasan por zonas densamente pobladas, puede resultar en pérdidas económicas e interrupción en la movilidad operacional de la infraestructura urbana/regional y las líneas vitales. Hasta el momento, la experiencia con terremotos en el pasado indica que en muy pocos casos las rupturas de la superficie han causado daño/pérdida a las estructuras de edificios.

Con el fin de evaluar estos efectos e incorporarlos adecuadamente en los mapas de microzonificación y mapas de estabilidad del terreno, criterios de licuación y otras inestabilidades del suelo bajo las diferentes cargas de terremotos, deberán desarrollarse y trazarse correctamente en mapas de escala adecuada:

- Mapa de licuación potencial que debe elaborarse para los movimientos sísmicos esperados con diferentes periodos de retorno basado en el conocimiento de la estructura geológica del área, las características geotécnicas de las capas de tierra de la superficie y las características estimadas de amplitud y frecuencia de los movimientos terrestres esperados.

La microzonificación deberá efectuarse en términos de:

1. Zonas donde se excluye el potencial de licuación;
2. Zonas de ligero potencial de licuación;
3. Zonas de moderado potencial de licuación;
4. Zonas de alto potencial de licuación.

- Mapas de estabilidad del terreno elaborados en base a geología, ingeniería y características morfométricas del terreno, identificando las zonas de:

1. Terrenos estables;
2. Terrenos condicionalmente estables;
3. Terrenos inestables;
4. Terrenos altamente inestables.

Este mapa puede elaborarse para condiciones estáticas (no terremotos) o relacionadas con movimientos sísmicos de periodo de retorno predeterminado. La base de este mapa es el mapa morfométrico que presenta la microzonificación de acuerdo con la pendiente del terreno siguiendo los criterios que se describen a continuación:

1. Terrenos con pendientes inferiores a 5x
2. Terrenos con pendientes de 5x a 10x
3. Terrenos con pendientes de 10x a 15x
4. Terrenos con pendientes de 15x a 20x
5. Terrenos con pendientes de 20x a 30x
6. Terrenos con pendientes de 30x a 40x

El mapa de estabilidad de los terrenos es uno de los insumos básicos para la elaboración de planes urbanos detallados y maes-

tros, el mapa de microzonificación sísmica y el mapa de lugares adecuados para la urbanización.

## **6. EVALUACION DE VULNERABILIDAD Y ESTIMACION DE PERDIDAS DE ELEMENTOS BAJO RIESGO EXISTENTES Y PLANEADOS: EVALUACION DEL NIVEL DE RIESGO SISMICO ACEPTABLE.**

El mapa de microzonificación estándar (clásico) representa la convolución de amenazas regionales modificadas por la influencia de las condiciones locales del suelo en lo relacionado con la amplitud y contenido frecuencial de los movimientos regionales.

Debido a que los efectos relacionados con dichas amenazas (licuación, asentamiento uniforme/no uniforme, deslizamientos de tierra, derrumbes, fallas en la superficie, etc.) son prácticamente imposibles de evitar a través de medidas técnicas económicamente justificables, el interrogante de "si el mapa de microzonificación sísmica estándar presenta en forma confiable la severidad esperada de vibración o no y bajo cuáles circunstancias deberá utilizarse" es en la actualidad revisado en por la comunidad internacional de la ingeniería sísmica.

Desde el punto de vista de la planificación la microzonificación estándar es útil para la planeación de espacio aún no ocupado, por ejemplo cuando se va a diseñar un edificio para el cual se deben aplicar los parámetros sísmicos y geotécnicos de la microzona, considerando que la microzona es apropiada para construcción desde el punto de vista de otros peligros geológicos. Sin embargo, teniendo en cuenta que el área urbana es una aglomeración de edificios existentes, en donde, además, prevalecen sistemas estructurales diferentes, de materiales de construcción, altura, edad, etc., el mapa de microzonificación estándar tiene de poco uso práctico, pues tan sólo da la idea de cómo podrían comportarse diferentes sistemas estructurales al verse expuestos a un movimiento sísmico de un período de retorno seleccionado, ya que no se estudia ni incorpora en su desarrollo ningún parámetro que controla el comportamiento estructural. Tampoco es de gran ayuda para la planeación de actividades de preparación y atención de desastres, medidas de reconstrucción y rehabilitación a corto y largo plazo, ya que a través de éste los daños y pérdidas ocasionadas por el terremoto no pueden evaluarse confiablemente. La tipología débil y/o favorable de construcción no puede identificarse, como tampoco muchos otros parámetros que controlan la apariencia y el génesis de los daños hasta el colapso.

Por esta razón, la visión clara de las pérdidas potenciales que puede sufrir la urbanización existente y planeada en caso de un terremoto de un período de retorno predeterminado puede obtenerse de los llamados mapas de distribución de daños o de vulnerabilidad, los cuales además de todos los elementos que ya están incorporados en los mapas de microzonificación sísmica estándar, incluyen parámetros que están controlando la respuesta dinámica y el génesis del daño al edificio, tales como: (1) intensidad y

duración del movimiento del terreno como parámetros de movimiento del terreno; (2) patrones del periodo fundamental de los edificios y amortiguación como parámetros que describen las propiedades dinámicas de una estructura incluyendo la información sobre los sistemas estructurales, el número de pisos (altura), materiales de construcción utilizados, edad, etc; y (3) ductilidad y cantidad de respuestas como representativas del grupo de parámetros relacionados con la capacidad estructural y otros efectos que pueden aparecer cuando las estructuras tienen comportamientos diferentes al rango lineal.

En la elaboración de estos "mapas de distribución de daños dependiendo del tipo estructural" se debe seguir en forma consistente la siguiente secuencia de estudio:

- Zonificación de la región/ciudad y clasificación con inventario de la propiedad del material (elementos bajo riesgo) dentro de cada zona;
- Predicción de los parámetros de movimiento del terreno, en este caso particular, los espectros de respuesta efectiva promedio o respuesta efectiva, que afecta el potencial de daño por terremoto en cada zona; y
- Predicción de las pérdidas en cualquier elemento individual amenazado para cada zona, así como predicción de pérdidas acumuladas para todos los elementos amenazados considerados en la región/ciudad.

y se deben desarrollar separadamente las funciones de vulnerabilidad adecuadas para cada uno de los elementos en riesgo identificados con base en estudios empíricos, teóricos y experimentales. El siguiente conjunto de mapas podrá elaborarse teniendo la anterior información:

- Mapas de pérdidas específicas regionales/urbanas de los elementos seleccionados bajo riesgo;
- Mapas de distribución de daños a nivel regional/urbano para cada elemento amenazado y mapas sobrepuestos presentando el daño acumulado para cada elemento amenazado;

lo cual ofrecerá información detallada sobre:

- Cifras acumuladas del potencial de pérdida regional del tipo de construcción adoptado en la urbanización (viejos núcleos urbanos y nuevos desarrollos);
- Estimativos sobre las pérdidas totales físicas y funcionales que sufrirá la región/ciudad como consecuencia de un terremoto de magnitud predeterminada o escenario de amenaza sísmica justificado por el nivel de desarrollo económico;
- Estimativos de la vulnerabilidad de los grupos de sistemas estructurales existentes adoptados en vivienda moderna o nue-

vos desarrollos;

- Información sobre la conveniencia, aplicabilidad y necesidad de mejorar los estándares existentes de construcción, reglamentos, códigos, etc.
- Mapas de pérdidas específicas urbanas/regionales para los elementos amenazados seleccionados;

Con estas bases, el trazado y distribución de actividades humanas, planeación de desarrollo a nivel regional o local deberá decidirse aceptando un compromiso entre exposición a amenaza sísmica y las necesidades económicas y sociales.

## 7. RESULTADOS: IMPLEMENTACION EN LA PLANEACION DE LOS USOS DEL SUELO, LA PLANEACION URBANA DETALLADA Y EL DISEÑO

El nivel de conocimiento actual considera que los procedimientos de zonificación y microzonificación sísmica se han desarrollado con el fin de estimar la amenaza sísmica para propósitos de planeación urbana y regional así como para determinar los niveles de las fuerzas de los movimientos para el diseño sismorresistente.

Para estos propósitos, el mapa de microzonificación sísmica deberá elaborarse basándose en la síntesis de todos los estudios geofísicos, sismológicos, ingeniería sismología, morfométricos, hidrogeológicos, y demás y presenta los resultados de la microzonificación de los terrenos para diferentes períodos de retorno característicos de la amenaza sísmica tal como, 50, 100, 200, etc, años.

Esta es una de las entradas básicas para la elaboración de un mapa de usos del suelo adecuados para urbanización que debe elaborarse con base en el siguiente conjunto de mapas:

1. Mapa morfométrico
2. Mapa hidrogeológico
3. Mapa geológico-ingeniería
4. Mapa de estabilidad del terreno
5. Mapa de capacidad de resistencia del subsuelo
6. Mapa de microzonificación sísmica
7. Mapa del potencial de licuación

La actual práctica de planeación en Yugoslavia toma este mapa como base para la elaboración de planes urbanos maestros y detallados. De acuerdo con esto, el área urbana se zonifica en terrenos que son:

- Categoría I - Sin restricción alguna para la urbanización
- Categoría II- Con ligeras restricciones para la urbanización
- Categoría III- Con considerables restricciones para la

urbanización  
Categoría IV- Desfavorable para la urbanización

Sin embargo, tal como se mencionó, la información sobre la tipología de construcción urbana existente o planeada, sus características y daño potencial no se implementan a través del proceso de microzonificación y en consecuencia, tampoco la elaboración del mapa de usos del suelo adecuados para urbanización. Durante la elaboración de los planes de desarrollo físico y planes urbanos maestros en la República de Montenegro se intentó aclarar estos puntos e incorporar la información anterior en el proceso de planeación maestra y urbana. Implícitamente se entiende que además de la lista de mapas, el mapa de terrenos adecuados para la urbanización deberá también basarse en el "Mapa de Distribución de Daño Esperado" elaborado para las distintas clases de tipología de construcción existentes. Esta información incluye el mapa de usos del suelo adecuados para la urbanización, el cual no sólo ofrecerá datos sobre terrenos favorables o no para urbanizar, sino también datos sobre si determinada tipología de construcción que se adaptará a la urbanización es adecuada. Además, los mapas de distribución esperada del daño indicarán la distribución local y concentración del daño, delineando así las áreas donde aparecerán los principales problemas en los edificios existentes durante un terremoto. Igualmente, establecerá las medidas y actividades anteriores al terremoto y la prioridad a la que deben planearse para una efectiva mitigación del riesgo sísmico.