

OFICINA DEL COORDINADOR DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL SOCORRO EN CASOS DE DESASTRE
Ginebra

Misión de Asesoramiento Técnico al Gobierno de Filipinas
Comisión de Asentamientos Humanos

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD COMBINADA

Metodología y estudio de la Zona Metropolitana de Manila

Informe técnico revisado

INDICE

	Página
Introducción	1
PRIMERA PARTE - METODOLOGIA	4
I. ANALISIS DE VULNERABILIDAD SISMICA	5
1.1 Observaciones generales.....	5
1.2 Factores físicos relacionados con la respuesta del suelo.....	7
1.2.1 Componente de respuesta básica del suelo (i).....	7
1.2.2 Capas de arena de poca cohesión [potencial de licuefacción : componente (s)].....	10
1.2.3 Fallas : componente (f).....	12
1.2.4 Indice de respuesta total del suelo : I	12
1.3 Resonancia : (R)	13
1.4 Cuadro de indices de vulnerabilidad sísmica general (I/R).....	14
1.5 Limitaciones del aprovechamiento de la tierra y de la construcción.....	15
1.5.1 Definición de las limitaciones.....	16
1.5.2 Aplicación de las limitaciones al cuadro de indices de vulnerabilidad sísmica.....	17
1.6 Interpretación del cuadro de indices de vulnerabilidad.....	18
1.6.1 Interpretación por filas (coordenadas horizontales)	18
1.6.2 Interpretación por columnas (coordenadas verticales)	19
1.7 Comprobación diagonal.....	20
1.8 Síntesis de vulnerabilidad sísmica.....	22
II. ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD A LAS INUNDACIONES	23
2.1 Observaciones generales.....	23
2.2 Factores físicos relacionados con el riesgo de inundaciones.....	25
2.3 Criterios para determinar la vulnerabilidad a las inundaciones.....	26
2.4 Limitaciones del aprovechamiento de la tierra y de la construcción.....	27
2.4.1 Definición de las limitaciones	27
2.4.2 Determinación de las limitaciones del cuadro de indices de vulnerabilidad.....	28
2.5 Cuadro de indices de vulnerabilidad general a las inundaciones.....	30
2.6 Mapa de síntesis de vulnerabilidad a las inundaciones.....	31

III. SINTESIS

3.1 Integración de las limitaciones del aprovechamiento de la tierra y de la construcción en una mapa de riesgos combinados.....	32
--	----

SEGUNDA PARTE : APLICACION DEL METODO DE ANALISIS DE VULNERABILIDAD A LA ZONA METROPOLITANA DE MANILA

36

IV. ANALISIS DE VULNERABILIDAD SISMICA 36

4.1 Observaciones generales.....	36
4.1.1 Características tectónicas.....	37
4.1.2 Sismicidad.....	37
4.1.3 Geología.....	38
4.2 Factores físicos relacionados con la intensidad de la respuesta del suelo.....	45
4.2.1 Componente (i) de respuesta básica del suelo.....	45
4.2.2 Presencia de capas de arena de poca cohesión (s)...	48
4.2.3 Resonancia (R).....	49
4.2.4 Presencia de fallas (f).....	49
4.2.5 Indice de respuesta total del suelo (I).....	49
4.3 Cuadro de vulnerabilidad sísmica general (I/R).....	50
4.4 Síntesis de vulnerabilidad sísmica.....	51
4.5 Limitaciones del aprovechamiento del suelo y de de la construcción.....	52

V. ANALISIS DE VULNERABILIDAD A LAS INUNDACIONES 54

5.1 Características físicas generales.....	54
5.1.1 Hidrografía.....	55
5.1.3 Relación hidráulica.....	57
5.2 Factores físicos relacionados con el riesgo de inundaciones.....	57
5.2.1 Inundaciones en la laguna de Bay y la planicie de Marikina	58
5.2.2 Inundaciones en la zona urbana	60
5.3 Examen de los proyectos en cueros o previstos de lucha contra las inundaciones.....	63
5.3.1 Repercusiones probables de los proyectos de lucha contra las inundaciones.....	65
5.4 Cuadro de vulnerabilidad general a las inundaciones.....	66

	Página
5.5 Integración de las limitaciones del aprovechamiento del suelo y de la construcción en el cuadro de vulnerabilidad a las inundaciones.....	66
5.6 Síntesis de la vulnerabilidad a las inundaciones ..	68
VI. OTRAS FUENTES DE DESASTRES NATURALES	68
6.1 Tifones.....	68
6.2 Tsunamis.....	69
6.3 Volcanes.....	69
VII. MAPA DE VULNERABILIDAD COMBINADA	70
Referencias.....	73

INTRODUCCION

Hasta hace poco tiempo, en el proceso de planificación del medio físico de los países en desarrollo más propensos a desastres se ha prestado en general poca atención al riesgo de desastres naturales, tanto en el plano regional como en el urbano. Sin embargo, con la creciente concentración de las poblaciones en centros urbanos, el desarrollo de infraestructuras y tecnologías costosas y la mayor complejidad de la vida comunitaria y ciudadana, las pérdidas de vidas y los daños causados por desastres naturales han crecido a tasas casi exponenciales en esos países en desarrollo propensos a desastres. Con objeto de resolver al menos una parte importante de este problema, la UNDR0 viene preconizando desde hace tiempo la utilización de análisis de vulnerabilidad para integrar los factores del riesgo de desastres en el proceso de planificación física y económica.

El Gobierno de Filipinas, muy consciente de los riesgos de desastres, solicitó a mediados de 1976 la asistencia de la Oficina del Coordinador de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastre (UNDR0) a fin de realizar un análisis sistemático de vulnerabilidad de la Zona Metropolitana de Manila y, sobre esa base, elaborar un mapa de riesgos combinados para su inclusión en el plan urbano regulador de la Zona Metropolitana de Manila que actualmente se prepara.

Un equipo compuesto por dos consultores de la UNDR0, el Sr. Michel Couillaud y el Sr. Jacques Didon, realizó una misión de estudio y recogida de datos del 13 de octubre de 1976 al 5 de marzo de 1977, dirigida por la Comisión de Asentamientos Humanos, organismo encargado de la preparación del plan regulador de la Zona Metropolitana de Manila. Ulteriormente se elaboró y perfeccionó la metodología en las oficinas de la UNDR0 en Ginebra.

La Zona Metropolitana de Manila puede considerarse como escenario ideal para ese estudio por las siguientes razones :

- la mayor parte de la Zona Metropolitana de Manila está expuesta a peligros naturales (especialmente terremotos, inundaciones y tifones);
- la Comisión de Asentamientos Humanos está preparando un plan regulador nuevo y general para toda la Zona Metropolitana de Manila y, por ello, se interesa especialmente por los problemas que plantean los peligros naturales y la vulnerabilidad.

El presente informe se ha dividido en dos partes : en la primera se expone un enfoque metodológico para integrar los análisis de vulnerabilidad en el proceso de planificación urbana. Esa metodología es tan amplia como resulta posible, y puede tener aplicaciones más generales, teniendo en cuenta, sin embargo, que se basa en las características naturales específicas de la Zona Metropolitana de Manila : una zona relativamente llana, sin diferencias importantes entre sus distintas partes en lo que a los riesgos de tifones se refiere y sin grandes riesgos de corrimientos de tierras, en la que las dos fuentes principales de desastres naturales son los terremotos y las inundaciones.

A este respecto, hay que señalar que la metodología que aquí se expone para el análisis del riesgo de terremotos es aplicable a cualquier zona similar a la de Manila, pero no a los lugares situados en una zona epicéntrica, como San Francisco (Estados Unidos). De igual modo, en relación con el riesgo de inundaciones se han considerado despreciables los efectos de la fuerza de las corrientes, comparados con los daños causados por las crecidas de los ríos y las inundaciones debidas a las lluvias. Evidentemente, no siempre sera así en otros lugares.

En la segunda parte se aplica a la Zona Metropolitana de Manila la metodología del análisis de vulnerabilidad formulada en la primera, utilizando los siguientes epígrafes :

- análisis de vulnerabilidad sísmica
- análisis de vulnerabilidad a las inundaciones
- otras fuentes de desastres naturales
- mapa de vulnerabilidad combinada

El Coordinador de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastre quisiera expresar su sincera gratitud al Gobierno de Filipinas por la asistencia y los medios facilitados a los consultores de la UNDRO y por su cooperación en esta empresa.

PRIMERA PARTE - METODOLOGIA

En esta parte se formulan directrices para realizar análisis de vulnerabilidad y tener en cuenta sus resultados en el proceso de planificación física y económica en su totalidad pero, más concretamente, con fines de planificación urbana.

En los siguientes párrafos se analizan dos clases de riesgos :

- riesgo sísmico, y
- riesgo de inundaciones.

Sobre la base de esos análisis se propone un procedimiento para preparar un mapa de riesgos combinados de la zona de planificación, teniendo en cuenta que el procedimiento puede generalizarse para integrar otros tipos de riesgos.

I - ANALISIS DE VULNERABILIDAD SISMICA

1.1 Observaciones generales

Un terremoto, aunque sea de moderada intensidad, libera una enorme cantidad de energía y desencadena normalmente una compleja sucesión de acontecimientos, cuyos efectos son potencialmente peligrosos para el hombre y su medio.

El análisis de esos acontecimientos es bastante difícil, porque están mutuamente relacionados. No obstante, se pueden definir en general tres clases de efectos en cadena producidos por un terremoto :

- a) Los efectos directos que dependen de la magnitud del terremoto, los desplazamientos de fallas y las sacudidas del suelo.
- b) Las modificaciones producidas por los movimientos del suelo en accidentes o estructuras geológicas inestables. Esos movimientos del suelo pueden ser amplificados o reducidos por las características geológicas locales. Las sacudidas de cierta intensidad pueden producir licuefacción cuando haya capas de arena de poca cohesión.
- c) La reacción de las estructuras artificiales a las fuerzas del terremoto (que indica, en realidad, la vulnerabilidad específica de esas estructuras).

Para fines de planificación urbana, la formulación de medidas preventivas requiere información bastante detallada que no siempre puede obtenerse exclusivamente de datos históricos :

- el conocimiento de las zonas epicéntricas deducido de registros anteriores no permite por lo general diferenciar los riesgos dentro de una zona urbana, cualquiera que sea su tamaño. Esos registros sólo pueden proporcionar información básica para estimar las probabilidades de que se produzcan terremotos de diversas magnitudes en toda la zona.

- los factores que pueden servir para diferenciar los riesgos dentro de la zona son las características geológicas, siempre que su efecto amplificador sea desigual.

Muchos estudios realizados en todo el mundo se han ocupado de los efectos amplificadores del subsuelo y de sus efectos consiguientes en las estructuras. Los resultados generales de esos estudios, unidos a los datos y análisis específicos existentes de la zona de Manila han permitido elaborar una metodología para evaluar la vulnerabilidad de un área determinada a los peligros naturales, incluida la preparación de un mapa de microzonificación de riesgos combinados.

Pueden definirse dos clases de fenómenos capaces de provocar desastres durante un terremoto :

- la respuesta del suelo, determinada por su aceleración y composición en un punto determinado.
- la resonancia, que relaciona la amplitud de las vibraciones del suelo con el período natural de las estructuras sobre él levantadas.

Este fenómeno depende especialmente de la altura de los edificios, mientras que el primero depende del espesor del sedimento. Para determinar la vulnerabilidad debida a la resonancia hay que realizar análisis hasta el nivel de la roca de fondo.

Por consiguiente, se analizarán los siguientes aspectos :

- factores físicos relacionados con la respuesta del suelo
- factores físicos relacionados con la resonancia

- índice de vulnerabilidad sísmica general
- limitaciones del aprovechamiento de la tierra y de la construcción
- sistema de mapas de vulnerabilidad general.

1.2 Factores físicos relacionados con la respuesta del suelo

Los datos geológicos son la base para determinar la respuesta del suelo. Sin embargo, normalmente no es posible encontrar mapas geológicos uniformes con datos suficientes para ese fin, especialmente para las zonas situadas sobre depósitos sedimentarios no consolidados en donde, según los datos históricos sobre grandes terremotos, se han producido algunas de las mayores pérdidas de vidas y daños estructurales. Esos suelos sedimentarios se encuentran en zonas bajas y llanas que, a menudo, están muy pobladas e incluso altamente desarrolladas. Utilizando los resultados de estudios geotécnicos puede determinarse un índice de respuesta del suelo (I) integrado por los siguientes componentes :

- un componente básico (i) que depende de la composición del subsuelo y del volumen de las capas sedimentarias.
- otro componente que depende de las características específicas de la zona, como la presencia de fallas (f), capas de arena de poca cohesión (s)...

$$I = i + f + s + \dots$$

Hay que definir la medida de cada uno de esos componentes.

1.2.1 Componente de respuesta básica del suelo (i)

La respuesta básica del suelo (i) es función de la composición y del espesor de éste. Determina primordialmente la intensidad de la respuesta del suelo a la actividad sísmica en un lugar determinado.

a) Composición normal del suelo (G)

El problema consiste en diferenciar los depósitos sedimentarios en "unidades sísmicamente significativas". Para ello hay que tener en cuenta dos parámetros :

- las propiedades físicas de cada clase de suelo (resistividad, plasticidad, compacidad, contenido de agua) ;
- el espesor de la formación sedimentaria hasta la roca de fondo.

Sobre la base de esos parámetros puede elaborarse un cuadro uniforme de unidades sísmicamente significativas con un número limitado de referencias (5 x 3 en el caso de la Zona Metropolitana de Manila, como puede verse en el cuadro que sigue). La amplitud y la complejidad del cuadro (es decir, el número de referencias posibles) están sólo limitadas por la calidad y el detalle de los datos obtenidos de investigaciones del suelo. Como puede observarse en el cuadro, cada rectángulo refleja diferencias de posibles respuestas del suelo. La composición normal del suelo (G) de un área determinada puede definirse como la suma de las proporciones de clases de suelos que integran esa área.

Cuadro de composición normal del suelo

Clase de suelo Espesor del suelo	A	B	C	D	E
a	Aa	Ba	Ca	Da	Ea
b	Ab	Bb	Cb	Db	Eb
c	Ac	Bc	Cc	Dc	Ec

En la Zona Metropolitana de Manila hay cinco clases posibles de suelos que, hipotéticamente, pueden encontrarse en cualquier área. Para mayor sencillez y por la falta de detalle de los datos disponibles, las cinco proporciones de clases de suelos se ordenan invariablemente en cinco partes. Así, cuando en un lugar determinado se encuentran las cinco clases, la composición normal del suelo (G) puede expresarse del siguiente modo :

$$G = \frac{1}{5}A + \frac{1}{5}B + \frac{1}{5}C + \frac{1}{5}D + \frac{1}{5}E = 1$$

Si en el lugar hay menos clases de suelos, por ejemplo, tres, G puede expresarse del siguiente modo :

$$G = \frac{3}{5}C + \frac{1}{5}D + \frac{1}{5}E = 1$$

o bien :

$$\frac{2}{5}C + \frac{2}{5}D + \frac{1}{5}E = 1$$

o cualquier otra permutación hipotéticamente posible de las proporciones, expresadas siempre en quintos, en función de las características del suelo.

La composición normal del suelo (G) puede expresarse matemáticamente del siguiente modo :

$$G = n_1A + n_2B + n_3C + n_4D + n_5E$$

en donde $n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 = 1$ representa las proporciones de las clases de suelos A, B, C, D y E en un lugar determinado.

b) Respuesta básica del suelo (i)

El componente básico de respuesta del suelo (i) en un área

determinada es por lo tanto igual a la suma de las unidades sísmicamente significativas (que integran la clase con el espesor del suelo) en un lugar determinado.

Así, para un espesor del suelo, por ejemplo, b :

$$(i) = n_1Ab + n_2Bb + n_3Cb + n_4Db + n_5Eb.$$

1.2.2 Capas de arena de poca cohesión [potencial de licuefacción : componente (s)]

La existencia de capas de arena de poca cohesión susceptibles de licuefacción se identifica por el componente (s), que debe añadirse al (i) anteriormente definido.

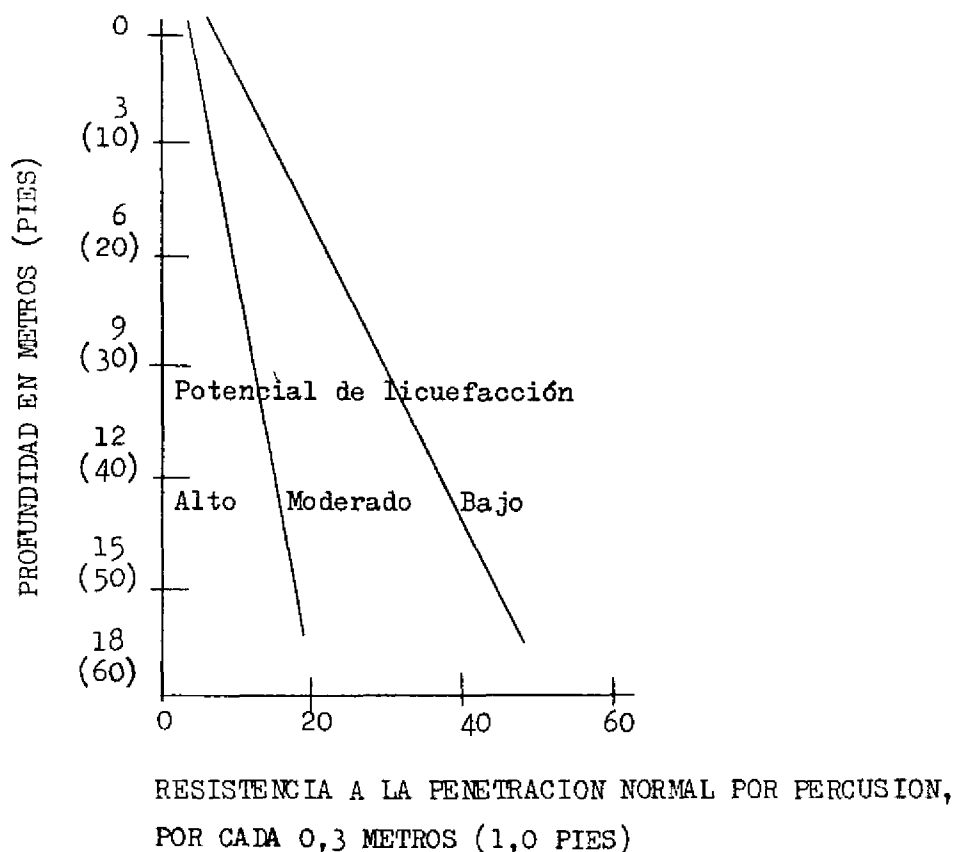
Las sacudidas sísmicas tienden a compactar los sedimentos granulares, lo que produce una transferencia de carga de los contactos intergranulares al agua intersticial, aumentando así la presión del agua de los poros. Se trata del fenómeno de licuefacción.

En la Zona Metropolitana de Manila, la licuefacción sísmicamente inducida se producirá más probablemente en capas de arena de poca cohesión, saturada de agua y homogénea hasta una profundidad media de 30 metros o más. A partir de los estudios geológicos disponibles y de la recopilación de datos de sondeo se han podido delimitar zonas de capas granulares no arcillosas con potencial de licuefacción. El potencial de licuefacción puede estimarse a partir del análisis de la litología, el régimen freático, ensayos de penetración normal y datos sísmicos.

Para definir una escala de potencial de licuefacción (bajo, moderado, alto) a partir de observaciones sobre el terreno, pueden

estimarse las densidades relativas del diagrama de penetración normal que determina los criterios utilizados para estimar el potencial de licuefacción, utilizando la correlación existente entre la resistencia a la penetración normal y la densidad relativa.

Ensayos que utilizan la relación de Gibbs y Holtz (1957).



El valor dado al componente de licuefacción $n(s)$ está determinado por la importancia de este efecto en relación con otros efectos producidos por los terremotos en la zona de que se trata. A este respecto, es interesante analizar los datos sobre efectos de los terremotos en las zonas de capas de arena de poca cohesión.

1.2.3 Fallas : componente (f)

El riesgo de desplazamiento de fallas y de sacudidas conexas puede expresarse por un coeficiente (f) que varía entre 0 (inexistencia de fallas) y un valor máximo (nf). Este valor se añade a los componentes anteriores (i) y (s) del índice de respuesta del suelo.

Es concebible que las líneas de fallas de la Zona Metropolitana de Manila experimenten movimientos en el porvenir (véase, sin embargo, el párrafo 4.2.4.). Los terremotos producidos en una falla pueden ser causa de graves sacudidas locales. Debe localizarse, a lo largo de las fallas, su desplazamiento superficial y la deformación que lo acompaña. En el estado actual de los conocimientos, los métodos de estimación son principalmente empíricos. Así, la apreciación de si es probable o no que una falla se mueva en un futuro próximo se basa en su comportamiento en el pasado geológico reciente. Es prudente considerar que una falla que se ha movido en los últimos 15.000 años es todavía activa y constituye un factor que debe ponderarse detenidamente al planificar el medio físico.

La estimación de n(f) es función del contexto geológico : es decir, la longitud de la falla, la época del último movimiento y la frecuencia de desplazamiento. El valor máximo se determina también mediante la comparación con el valor de todos los coeficientes ya definidos supra (i y s).

1.2.4 Índice de respuesta total del suelo : I

$$I = i + s + f \dots$$

Los componentes de intensidad estudiados se agregan en una fórmula aditiva. Hay que señalar que todos esos componentes no son independientes. La importancia relativa de cada uno es función

directa de las características locales y sólo puede determinarse mediante estudios sobre el terreno.

1.3 Resonancia : R

Se ha observado que, en algunos terremotos destructivos, las sacudidas de la superficie del suelo guardan relación con el espesor de los suelos blandos sedimentarios o aluviales. Cuanto mayor es el espesor tanto más grande es el desplazamiento y más largo el período predominante.

En observaciones pasadas de microtemblores se ha visto que siempre que existe una espesa capa de fango blando predomina en las curvas de distribución un período más largo, por ejemplo de 0,5 segundos o más.

Cuando existe una delgada capa de materiales blandos sobre la roca de fondo o cuando la capa superficial no es demasiado blanda, el período predominante se hace más corto. En la roca de fondo misma, el período del movimiento del suelo es uno de los factores que más influyen en las repercusiones de las fuerzas sísmicas en los edificios y las obras de ingeniería civil.

Cuanto más altos son los edificios, tanto mayor es su período natural. Por ello, si un edificio de muchos pisos u otra estructura alta y esbelta están situados sobre una capa espesa de depósitos no consolidados que tienen un período predominante largo, toda la estructura puede empezar a vibrar por simpatía con el suelo, produciéndose importantes daños porque los efectos de las sacudidas del suelo se ven muy amplificadas por el fenómeno de la resonancia.

Esta clase de peligro sísmico sólo afecta, naturalmente, a algunos tipos de edificios. Sin embargo, es absolutamente necesario considerar todas las clases de riesgos sísmicos aunque un riesgo determinado sea específico de cierto tipo de edificios. En el contexto actual, el espesor del suelo blando es un índice bastante aceptable para estimar la resonancia.

1.4 Cuadro de índices de vulnerabilidad sísmica general (I/R)

Cada parte de la zona de estudio puede representarse gráficamente por los valores correspondientes de los índices de respuesta del suelo y resonancia (I y R). Para facilitar la lectura de ese mapa, las gamas de valores de I y R pueden dividirse en un número limitado de clases. En el caso de Manila se han definido las siguientes, teniendo en cuenta las variaciones locales de las características del suelo y los datos sobre terremotos pasados de intensidad 10 en la escala de Rossi-Forel :

- cuatro clases de respuesta del suelo I (débil, fuerte, muy fuerte, violenta)
- tres clases de resonancia R (corta, media, larga)

Sobre esa base puede elaborarse un cuadro de índices de vulnerabilidad que muestre todos los casos típicos :

	Resonancia (espesor) R	Respuesta total del suelo I	débil	fuerte	muy fuerte	violenta
			A	B	C	D
0						
		corta 1	A1	B1	C1	D1
h1						
		media 2	A2	B2	C2	D2
h2						
		larga 3	A3	B3	C3	D3
h3						

Hay que señalar que los índices I y R no son totalmente independientes, porque el parámetro de espesor se introduce también en la respuesta del suelo I. Por consiguiente, es probable que los casos extremos, como los correspondientes a los rectángulos situados en los extremos inferior izquierdo y superior derecho del cuadro, sean en realidad hipotéticos y no se den en la práctica.

1.5 Limitaciones del aprovechamiento de la tierra y de la construcción

Un mapa de índices de vulnerabilidad es un instrumento indispensable para definir las limitaciones del aprovechamiento de la tierra y de la construcción que, si se aplican, se traducirán en la mitigación de las repercusiones de los fenómenos naturales, evitando así los

desastres. Esas limitaciones se aplican tanto a las zonas ya edificadas (en donde es posible la adaptación a las prácticas existentes) como a aquellas en que se prevén nuevos desarrollos. Así, en el primer caso, las limitaciones indicadas pueden producir la eliminación de edificios o actividades sumamente vulnerables, la ejecución de programas de renovación urbana en que se tenga en cuenta el factor del riesgo o la realización de ajustes temporales en el aprovechamiento de la tierra. En el segundo caso, señalarán simplemente restricciones del aprovechamiento de la tierra y de la construcción.

1.5.1 Definición de las limitaciones :

Como ya se ha indicado, el análisis sísmico revela que los terremotos pueden causar daños a los asentamientos humanos por la respuesta y la resonancia del suelo ; la primera tiene efectos generales y la segunda efectos que dependen del tipo de construcciones.

Por consiguiente, resulta lógico definir las limitaciones conexas tanto en el campo del aprovechamiento de la tierra como en el de la construcción.

La lista que sigue indica las principales limitaciones que deben establecerse de acuerdo con las características sísmicas de cada área determinada de una zona de planificación urbana :

- 1 - sólo espacios abiertos
- 2 - sin edificios de poca altura (0 a 2 pisos)
- 3 - sin edificios de altura media (3 a 7 pisos)
- 4 - sin edificios de gran altura (8 pisos y más)
- 5 - sin lugares públicos, como escuelas, mercados, centros comerciales, teatros, oficinas, etc.

- 6 - sin industrias y almacenes peligrosos que puedan provocar explosiones o incendios (fábricas de productos químicos, refinerías de petróleo, depósitos de gas o combustible, etc.).
- 7 - sin industrias ni servicios vitales para la comunidad (electricidad, depuración de aguas, telecomunicaciones, hospitales, servicios contra incendios, servicios de socorro, etc.).

Es evidente que la limitación 1 es la más severa y se aplicará en las zonas más peligrosas. Sin embargo, hay que subrayar que esa lista no implica ningún orden de importancia, porque la asignación de una limitación (o de una serie de restricciones) a un área determinada dependerá de dos índices separados de valores (o coordenadas), es decir, la intensidad de la respuesta del suelo y la resonancia, que no tienen efectos similares, aunque estén relacionados y sean hasta cierto punto interdependientes. Esas limitaciones se indican por su número en los cuadros de índices de vulnerabilidad que siguen.

1.5.2 Aplicación de las limitaciones al cuadro de índices de vulnerabilidad sísmica

La asignación de limitaciones al cuadro depende de los valores asignados a las escalas del cuadro mismo, aunque esas escalas sean relativas. Esos valores están estrechamente relacionados con las características locales, es decir, la intensidad de los terremotos ocurridos durante 100 años y la naturaleza y la variedad de los suelos.

En un lugar afectado por terremotos de intensidad relativamente débil, con sedimentos poco profundos y bastante homogéneos, el cuadro de índices de vulnerabilidad contendrá relativamente pocas limitaciones, que en su mayoría señalarán probablemente restricciones muy ligeras.

En un lugar afectado por fuertes terremotos, con capas sedimentarias espesas y homogéneas, el cuadro de índices de vulnerabilidad mostrará también limitaciones relativamente escasas, pero la reducida escala resultante de restricciones será rigurosa.

En un lugar afectado por fuertes terremotos, con características del suelo diversificadas, la gama de limitaciones asignada a la zona será relativamente extensa y severa. La Zona Metropolitana de Manila cae precisamente dentro de esta última categoría, como se indica en el cuadro siguiente :

I \ R	A	B	C	D
	débil	fuerte	muy fuerte	violenta
1 - corta	—	—	6,7	4,5,6,7
2 - media	—	—	3,5,6	3,4,5,6,7
3 - larga	4	4,7	3,4,5,6,7	1

1.6 Interpretación del cuadro de índices de vulnerabilidad

1.6.1 Interpretación por filas (coordenadas horizontales)

En la fila R/1, las respuestas del suelo A y B (movimientos del

suelo) no se consideran suficientemente fuertes para causar daños importantes. Por consiguiente no se indican limitaciones. Para una respuesta del suelo muy fuerte C, sólo son vulnerables las industrias peligrosas (limitación 6) y las industrias y los servicios vitales (limitación 7). Para una respuesta del suelo violenta, D, deben mantenerse las mismas limitaciones más dos nuevas (4 y 5) relacionadas con las actividades que pueden poner en peligro vidas humanas.

En las filas 2 y 3, el proceso para determinar las limitaciones es exactamente el mismo, pero el factor de resonancia es más importante. Así, en los rectángulos A y B de la fila 2 no existe ninguna limitación, mientras que todos los de la fila 3 tienen limitaciones. En el rectángulo D3 se introduce la limitación 1 (sólo espacios abiertos) porque incluso los edificios de poca altura, que generalmente tienen estructuras ligeras de centro de gravedad bajo, pueden verse afectados. Como es la más grave de las siete limitaciones, excluye todas las demás posibilidades.

1.6.2 Interpretación por columnas (coordenadas verticales)

Estudiando el cuadro de índices de vulnerabilidad verticalmente, se ve que para una respuesta del suelo determinada (I) se producen variaciones del fenómeno de resonancia R, a medida que aumenta el espesor de los suelos de poca cohesión o no consolidados (R/1, R/2, y R/3). Por ello se establecen restricciones a la construcción de edificios de gran altura en suelos espesos y no consolidados porque, como se ha dicho supra, los períodos de resonancia más largos de esos suelos pueden coincidir con el período natural de las estructuras de gran altura y producir hundimientos estructurales que causen víctimas y daños.

En las columnas verticales I/A y I/B, para respuestas del suelo relativamente débiles o suaves, los riesgos son despreciables

en los depósitos poco profundos, pero aumentan de forma importante cuando esos depósitos se hacen más espesos, especialmente con respecto a las estructuras armadas de gran altura. Hay que observar que en las capas espesas de materiales no consolidados, la amplitud del movimiento o resonancia (R) puede tener efectos destructivos, especialmente en las estructuras de gran altura, aunque la intensidad (I) sea débil.

Al examinar las columnas I/C e I/D, la respuesta del suelo (I), es decir, la intensidad de la sacudida, es suficientemente fuerte para aumentar los riesgos generales, aunque la resonancia (y el espesor) del suelo sea mínima. A medida que aumenta el espesor del suelo aumenta también el factor de resonancia, y tanto la resonancia como la intensidad actúan de concierto para amplificar los riesgos de desastre en tal medida que es preciso establecer severas limitaciones. Así, en la columna I/C, las limitaciones aumentan desde 6 y 7 en la fila horizontal R/1 hasta 3, 4, 5, 6 y 7 en la fila R/3.

1.7 Comprobación diagonal

Si, por ejemplo, se consideran los rectángulos D1, C2 y B3, por ese orden, puede observarse que, en el caso de un violento movimiento del suelo, todas las estructuras y actividades estarán expuestas probablemente a cierto riesgo. Al disminuir la respuesta del suelo (sacudidas) pero aumentar la resonancia (y el espesor del suelo), las estructuras de gran altura son las más afectadas y deben protegerse las actividades más vitales (b3). Puede observarse que cierto número de rectángulos presentan series análogas de limitaciones y, por lo tanto, pueden agruparse en categorías comunes.

En definitiva, el cuadro que figura a continuación contiene una serie de ocho clases de limitaciones del aprovechamiento del suelo y la construcción.

R \ I	A	B	C	D
1	-	-	6,7	4,5,6,7
2	-	-	5,6,7	3,4,5,6,7
3	4	5,7	3,4,5,6,7	1

Ese número teórico puede reducirse de hecho si algunos casos extremos, como (A3), no existen en la realidad. (Véase el párrafo 1.4).

La Zona Metropolitana de Manila es bastante representativa de las grandes ciudades de los países en desarrollo en lo que a las normas y los reglamentos de construcción se refiere. Es evidente que la definición de las limitaciones del aprovechamiento de la tierra y de la construcción, y su relación con el cuadro de índices de vulnerabilidad sísmica deben adaptarse a las condiciones, los recursos y las posibilidades locales. Esto implica la calibración específica de las escalas de índices R e I.

1.8 Síntesis de vulnerabilidad sísmica

Los factores sísmicos que determinan las limitaciones del aprovechamiento de la tierra y de la construcción no son normalmente uniformes en una zona determinada, cualquiera que sea su superficie. Su importancia relativa puede variar de forma importante incluso en distancias muy pequeñas. Por ello, la utilización de mapas cuadrículados de microzonificación parece la solución más apropiada. En esos mapas, el tamaño de los cuadros depende de varios factores :

- la escala de la planificación
- la exactitud de los estudios sobre el terreno
- el uso futuro a que se destinen los mapas.

En las zonas de planificación urbana, una cuadrícula de microzonificación de cuadrados de 1 km x 1 km parece ser suficiente, siempre que la estructura física de la zona (topografía, geología) no sea demasiado compleja.

Dentro de cada cuadrado se registran los factores físicos relacionados con los índices sísmicos I y R. Entonces se acude al cuadro que presenta la combinación de fenómenos de respuesta y resonancia del suelo para determinar la serie de limitaciones que afectan a ese cuadrado determinado.

II - ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD A LAS INUNDACIONES

2.1 Observaciones generales

La determinación de los riesgos de inundaciones es en general menos compleja que la de los riesgos de terremotos. Normalmente una inundación tiene dos medios directos de repercusión : el nivel de las aguas y su velocidad. La frecuencia e incluso la intensidad de las inundaciones pueden estimarse bastante fácilmente, teniendo en cuenta la gran disponibilidad de métodos y técnicas hidrológicos modernos. Además, la relativa simplicidad de los procesos de inundación, comparados con la compleja cadena de acontecimientos que desencadenan las sacudidas sísmicas, permite estimar con cierto grado de exactitud la vulnerabilidad de un lugar determinado.

El presente estudio para integrar el riesgo de inundaciones en la planificación urbana comprende lo siguiente :

- una descripción de los factores físicos relacionados con el riesgo de inundaciones
- las repercusiones de las medidas existentes de lucha contra las inundaciones
- la determinación de los factores de vulnerabilidad
- la determinación de las limitaciones del aprovechamiento de la tierra y de la construcción
- un mapa de síntesis de las limitaciones relacionadas con las inundaciones.

Las características de las inundaciones guardan estrecha relación con el origen de éstas. En el presente contexto puede observarse lo siguiente :

a) Inundaciones debidas a lluvias torrenciales

En general, esta clase de inundaciones son muy rápidas y repentinas (crecidas fulminantes) y pueden producirse en las horas que siguen inmediatamente a lluvias torrenciales. La frecuencia de su producción depende naturalmente de las condiciones climáticas locales, la topografía y el funcionamiento del sistema de drenaje.

b) Inundaciones debidas al desbordamiento de los ríos

Aunque esta clase de inundaciones no son tan repentinas ni se desplazan tan rápidamente como las anteriores, presentan sin embargo el máximo riesgo dentro de la zona que probablemente se verá afectada. Por lo general, se trata de las inundaciones más dañinas y son causadas casi siempre por las características topográficas (como lechos fluviales poco profundos, incapaces de contener grandes caudales o niveles). Sin embargo, esta clase de inundaciones se ven a menudo agravadas por la intervención del hombre, que reduce la escorrentía.

c) Inundaciones debidas a tsunamis

Teniendo en cuenta los datos obtenidos de registros de inundaciones anteriores ocurridas en Manila, los tsunamis no se incluyen en el conjunto de riesgos de inundación analizados. Hay que observar que la configuración de la bahía de Manila tendría en cualquier caso un efecto inhibitor sobre la altura y la energía de un posible tsunami.

d) Oleaje tempestuoso

Siempre que se produce un tifón existe el riesgo de oleaje tempestuoso en el litoral. Sin embargo, por la configuración de la bahía de Manila, el riesgo de oleajes tempestuosos no resulta especialmente importante. La estrecha boca y la forma

de la bahía, y la presencia de la isla de Corregidor, tenderían a actuar como rompeolas del oleaje, disipando su energía. Los datos sobre oleajes tempestuosos en la Zona Metropolitana de Manila son casi inexistentes. Al parecer, los efectos inmediatos de inundación de las grandes lluvias superan durante las tormentas tropicales a todos los demás. Esto resulta especialmente cierto en la Laguna de Bay, que aumenta de nivel con la lluvia más ligera.

2.2 Factores físicos relacionados con el riesgo de inundaciones

La frecuencia y la intensidad de las inundaciones guardan relación entre sí : normalmente, cuanto más frecuentes son las inundaciones, tanto menos intensas resultan. Los dos parámetros principales de intensidad son los siguientes :

- la altura o el nivel de inundación, en cualquier clase de inundaciones,
- la velocidad de la corriente, cuando se trata del desbordamiento y la erosión de las orillas.

a) Altura (nivel de crecida) y frecuencia de la inundación

En un lugar determinado, la estimación del nivel de crecida guarda relación con su frecuencia, como queda dicho. Es normal considerar niveles de crecida para 10, 25 y 100 años (también llamados "períodos de retorno").

Pueden trazarse mapas de las zonas propensas a inundaciones señalando, mediante curvas de nivel, las diferencias entre los niveles de crecida y la elevación del suelo.

b) Velocidad de la corriente

La velocidad de la corriente tiene un efecto dinámico que se caracteriza normalmente por la evidencia de la erosión del

suelo y la destrucción de estructuras artificiales (edificios, puentes, etc.). La velocidad de la corriente no constituye realmente un problema en la Zona Metropolitana de Manila, por la topografía relativamente llana, y en consecuencia no se ha incluido como parámetro en la elaboración de la presente metodología.

2.3 Criterios para determinar la vulnerabilidad a las inundaciones

Para definir la vulnerabilidad a las inundaciones hay que establecer primero una tipología de los daños relacionados con el riesgo de inundaciones :

1. Pérdida de vidas
2. Pérdidas de capital (daños a los edificios y las obras de ingeniería civil)
3. Pérdidas de funcionamiento (interrupción de actividades económicas y de servicios).

En Manila, las repercusiones de las inundaciones guardan relación directa con la altura (o el nivel) de las inundaciones. Las inundaciones frecuentes tienen por lo general un bajo nivel de crecida (0 a 1 metros en el caso de Manila), mientras que las poco frecuentes son de nivel muy alto (hasta 4 metros en el caso de Manila). Así, si se estima que las inundaciones tienen una frecuencia comprendida entre 1 y 100 años, puede suponerse lo siguiente :

- las inundaciones frecuentes se caracterizan por grandes daños de funcionamiento, pero causan escasas pérdidas de vidas o de capital, si es que causan alguna ;
- las inundaciones poco frecuentes se caracterizan por importantes pérdidas de vidas y grandes pérdidas de capital, y las pérdidas de funcionamiento resultan mínimas en comparación.

En valores de actualización para un largo período, es evidente que las inundaciones frecuentes pueden ofrecer un índice relativamente satisfactorio para medir las pérdidas de funcionamiento, mientras que las poco frecuentes indican con claridad las pérdidas de capital.

Por consiguiente, en una zona determinada, la vulnerabilidad es función de las alturas (o niveles) de las inundaciones frecuentes y poco frecuentes. La gama de posibles niveles de crecida varía, naturalmente, según los lugares.

Con fines prácticos puede dividirse cada gama de niveles de crecida en tres intervalos definidos : bajo, medio y alto.

2.4 Limitaciones del aprovechamiento de la tierra y de la construcción

2.4.1 Definición de las limitaciones

En los párrafos anteriores sobre riesgos sísmicos se definieron siete limitaciones del aprovechamiento de la tierra y de la construcción que, en su mayoría, pueden aplicarse también a las inundaciones.

Sin embargo, la limitación 6 (industrias y almacenes peligrosos) no resulta particularmente importante, mientras que hay que añadir una octava limitación con respecto a las industrias de gran densidad de capital (es decir, las que requieren tecnología y equipo costosos). Hay que subrayar una vez mas que la lista que sigue no implica ningún orden de importancia.

En el caso de las inundaciones existen las siguientes limitaciones del aprovechamiento de la tierra y de la construcción :

1. sólo espacios abiertos
2. sin edificios de poca altura (0 a 2 pisos)

3. sin edificios de altura media (3 a 7 pisos)
4. sin edificios de gran altura (8 pisos y más)
5. sin lugares públicos, como escuelas, mercados, centros comerciales, teatros, oficinas, etc.
6. sin industrias ni almacenes peligrosos que puedan provocar explosiones o incendios (fábricas de productos químicos, refinerías de petróleo, depósitos de gas o combustible, etc.)
7. sin industrias ni servicios vitales para la comunidad (electricidad, depuración de aguas, hospitales, telecomunicaciones, servicios contra incendios, servicios de socorro, etc.).
8. sin industrias ni actividades de gran densidad de capital (limitación nueva), que impliquen grandes inversiones en equipo sumamente costoso o complejo (fábricas textiles modernas, plantas de montaje, industria ligera que fabrique productos y componentes costosos y complejos, etc.).

2.4.2 Determinación de las limitaciones del cuadro de índices de vulnerabilidad

a) Para inundaciones frecuentes

<u>nivel de crecida</u>	<u>limitaciones</u>
bajo (0-0,20m)	-
medio (0,20-0,50m)	2,7,8
alto (0,50-1,00m)	2,3,4,5,6,7,8

Observaciones :

- los bajos niveles de crecida de las inundaciones frecuentes presentan por lo general pocos riesgos para las estructuras y no suponen una grave interrupción de las actividades humanas. La posibilidad de que seres humanos se ahoguen es mínima, cuando no inexistente.

- en los niveles de crecida medios deben desaconsejarse o prohibirse los asentamientos en las zonas bajas y, en cualquier caso, debe prohibirse la construcción de edificios de poca altura.
- en las zonas expuestas a altos niveles de crecida deben prohibirse todos los asentamientos permanentes.

b) Para inundaciones poco frecuentes

<u>nivel de crecida</u>	<u>limitaciones</u>
bajo (0-0,50m)	-
medio (0,50-2,00m)	6,7,8
alto (2,00-4,00m)	2,6,7,8

Observaciones :

- en el caso de las inundaciones de escasa frecuencia (es decir, de largo período de retorno) es evidente que no pueden prohibirse por completo todas las actividades vulnerables. La elección entre la prohibición total o la evitación de las inundaciones poco frecuentes es evidentemente un problema de costos y beneficios. En general, hay que suponer que un porcentaje importante de las limitaciones del aprovechamiento de la tierra y de la construcción enumeradas no pueden aplicarse ni hacerse cumplir de forma permanente.
- en principio, las limitaciones no aplicables son las que se refieren a los costos de funcionamiento.

Por consiguiente :

- no hacen falta limitaciones en el caso de las inundaciones de bajo nivel (es decir, de las que son poco frecuentes y de bajo nivel).

- en las de nivel medio deben protegerse los servicios vitales (especialmente los de salvamento y socorro) y las industrias peligrosas (o tóxicas).
- en las inundaciones de alto nivel, debe evitarse a toda costa la construcción de edificios de poca altura, a fin de evitar personas ahogadas y daños importantes.

2.5 Cuadro de índices de vulnerabilidad general a las inundaciones

Integrando esas limitaciones en el cuadro que sigue se obtiene la combinación global de limitaciones para las zonas afectadas por ambos tipos de inundaciones (frecuentes y poco frecuentes) :

Nivel de crecida :		0,m.	0,5m.	2 m.	4 m.
Nivel de crecida:	Inundaciones poco frecuentes				
	Inundaciones frecuentes				
	0m.	-	6,7,8	2,6,7,8	
	0,20m.	-	6,7,8	2,6,7,8	
	0,50m.	2,7,8	2,7,8	2,6,7,8	2,6,7,8
	1m.	1	1	1	1

Esta clase de cuadro puede aplicarse en principio a cualquier zona urbana propensa a inundaciones, ajustando la escala de cada coordenada a los datos correspondientes sobre niveles de ambos tipos de inundaciones.

2.6 Mapa de síntesis de vulnerabilidad a las inundaciones

El mapa cuadriculado que indica la vulnerabilidad a las inundaciones es el mismo anteriormente descrito para los terremotos. Después de evaluar la altura media de las inundaciones frecuentes por una parte, y la altura media de las poco frecuentes por otra, se asignarán a cada cuadrado dos cifras, cada una de las cuales corresponderá a una de las tres clases de niveles. Entonces, utilizando el cuadro que acaba de describirse, se podrán asignar rápidamente a cada cuadrado (es decir, a cada referencia de la cuadrícula) las limitaciones adecuadas.

Hay que recordar que en el presente estudio se excluyen algunos fenómenos naturales, porque se refiere sólo a las circunstancias de Manila. No obstante, la inclusión de parámetros adicionales, como los tsunamis o la velocidad de la corriente, no complicaría excesivamente el procedimiento. Los resultados generales de los parámetros adicionales se llevarían a un cuadro similar a los ya utilizados, y las nuevas limitaciones se añadirían a las anteriores.

III - SINTESIS

3.1 Integración de las limitaciones del aprovechamiento de la tierra y de la construcción en un mapa de riesgos combinados

El mapa sintético que resuma todas las limitaciones descritas en los párrafos precedentes debe ser un mapa cuadrículado en el que la escala y posición de la cuadrícula sean las mismas para los riesgos sísmicos y para los riesgos de inundaciones. La integración de las limitaciones relacionadas con los terremotos y de las relacionadas con las inundaciones se realiza superponiendo todas las limitaciones que correspondan a un mismo cuadro de la cuadrícula.

Hay que subrayar que esas limitaciones son acumulativas. En un cuadro determinado, por ejemplo, se encontrarán las siguientes limitaciones :

terremotos	_____	(2,3,6)
inundaciones	_____	(2,4,6,7)

las limitaciones generales relacionadas con el riesgo total serán :

Total	_____	(2,3,4,6,7)
-------	-------	-------------

Siguiendo ese procedimiento, la combinación de ocho clases de limitaciones sísmicas (véase 1.7) con cinco clases de limitaciones relacionadas con las inundaciones (véase 2.5) se traduce en 19 categorías de limitaciones totales, teniendo en cuenta que se trata de un número máximo hipotético :

- en cada tipo de riesgo, algunas categorías son excepcionales
- algunas combinaciones de clases de limitaciones relacionadas

con los dos tipos de riesgos no se darán en la práctica. Por ejemplo, de las 19 categorías sólo 10 se han seleccionado como de posible aplicación en el caso de Manila. En el análisis final sólo se utilizan ocho combinaciones de limitaciones.

El mapa sintético (o resumido) se adapta directamente a la planificación del medio físico, ya que todas las limitaciones se traducen en limitaciones del aprovechamiento de la tierra y de la construcción. Hay que aclarar que los mapas de vulnerabilidad **no** son propiamente mapas de riesgos, sino que definen limitaciones sobre la base de riesgos definidos por separado. De hecho, sería difícil combinar directamente dos tipos de riesgos (inundaciones y terremotos), porque la producción de daños es totalmente diferente en cada uno de ellos y no poseen necesariamente factores comunes que puedan utilizarse como términos de comparación.

La utilización de las limitaciones del aprovechamiento de la tierra y de la construcción como factor común permite hacer el método extensivo a cualquier clase de desastre natural. Este es uno de los aspectos más atractivos del método de análisis de vulnerabilidad. La condición básica que hay que satisfacer es la determinación y formulación de las limitaciones conexas. Por ejemplo, en el caso de los riesgos de tifones, la vulnerabilidad guarda relación esencialmente con la tipografía y el tipo de construcción. De acuerdo con esos criterios, las limitaciones del aprovechamiento de la tierra pueden definirse y combinarse con las relacionadas con otros riesgos.

Incluso los efectos indirectos de los riesgos de desastres naturales, como la rotura de embalses, pueden tomarse en consideración. Sin embargo, la evaluación de esta clase de riesgos puede ser más difícil por la cadena de efectos que probablemente se producirán como consecuencia.

El mapa de síntesis de limitaciones, es decir, el resultado final del análisis de vulnerabilidad, proporciona al planificador un instrumento de planificación física que, en realidad, no sirve sólo para determinar las limitaciones. No obstante, es importante señalar que las limitaciones basadas en la vulnerabilidad no tiene carácter absoluto. Son relativas por lo menos desde dos puntos de vista : en primer lugar, las limitaciones sísmicas se basan implícitamente en los tipos y métodos de construcción uniformes que normalmente se aplican en las modernas zonas urbanas. Implican también la aplicación de los reglamentos de construcción habituales y de los reglamentos de seguridad de la industria. Es evidente que el cuadro normal de limitaciones sísmicas que aparece en el párrafo 1.4.2 deberá modificarse si no se aplican reglamentos de construcción o si todos los edificios se construyen con materiales tradicionales. En segundo lugar, las limitaciones relacionadas con las inundaciones dependen de la situación del sistema existente de lucha contra las inundaciones (cuando exista). Si se introducen mejoras en ese sistema, el riesgo de inundaciones se modificará lógicamente y, por lo tanto, se modificará también el mapa de limitaciones relacionadas con las inundaciones. Por consiguiente, este mapa deberá actualizarse periódicamente para que siga siendo válido.

Teniendo en cuenta las observaciones que anteceden, el método puede generalizarse para otros tipos de riesgos y aplicarse en todos los países. Su relativa sencillez no requiere la utilización de técnicas complicadas. Se basa en datos simples disponibles en casi todas partes que, sin embargo, deberán ser interpretados por los ingenieros.

Entre los resultados de aplicar un método como el descrito puede mencionarse el servir de base para perfeccionar las ordenanzas de la construcción. En primer lugar, esas ordenanzas pueden adaptarse de modo más eficaz a las condiciones locales ; además, los reglamentos pueden modificarse para tener en cuenta las variaciones de las características del subsuelo en una zona determinada de planificación. En principio, deberían lograrse ahorros importantes introduciendo cierta flexibilidad en las ordenanzas de la construcción. Por ejemplo, los reglamentos deberían ser más estrictos para las zonas de aluvión que para las de roca de fondo poco profunda.