

ANÁLISIS DEL RIESGO SÍSMICO Y PLANOS DE RIESGOS

2.1 GENERALIDADES

Dada la incertidumbre en el número, magnitud y localización de futuros terremotos, se ha convenido en expresar el riesgo sísmico, al igual que las inundaciones, sequías y huracanes, en términos del período de retorno (Blume 1965, Newmark 1967, Blume, Newmark y Corning 1961, Housner 1952, Muto, Bailey y Mitchell 1963, Gzovsky 1962) (1).

La información sísmica más útil y completa para un estudio de ingeniería es aquella transmitida a través de gráficos que relacionen, por ejemplo intensidad modificada en la escala de Mercalli, o magnitud en la escala de Richter, versus períodos de retorno promedio. Información del tipo de Máximo período de vida esperado, o la intensidad de 50 años, son valores bien definidos, pero insuficientes para dar al ingeniero una comprensión de qué tan rápido el riesgo decrece a medida que la intensidad del movimiento se incrementa.

Llegar a establecer en estos términos el riesgo sísmico de una zona, no ha sido tarea fácil para los sismólogos. Ha sido necesario para ello, sintetizar información histórica, geológica, y tener en cuenta muchos otros factores modificatorios en este proceso.

Las fuentes potenciales de actividad de los sismos y su localización, pueden ser muchas y de muy diversas clases. En algunas regiones, por ejemplo, no es posible correlacionar la actividad pasada con estruc -

turas geológicas conocidas. En tales situaciones el experto en sismología efectúa estimaciones muy conservadoras, tanto más, cuanto mayor sea la importancia del proyecto en estudio. Este tipo de decisión puede ser tomada más apropiadamente, si se tiene además en cuenta otro tipo de información que involucre costos de construcción, características de comportamiento de la estructura, etc., en base a la cual determinar un balance óptimo de costo, comportamiento y riesgo. Un análisis así orientado puede ser efectuado más convenientemente - por un ingeniero, por lo que los sismólogos que así lo han comprendido, hace ya bastante tiempo que han empezado a elaborar estimaciones de riesgo sísmico, mapas regionales de zonificación de riesgo sísmico y métodos que proporcionen a los ingenieros las deseadas relaciones entre los parámetros de movimiento del suelo, tales como intensidad de Mercalli modificada, velocidad pico de la tierra, aceleración pico y período de retorno promedio para una localización dada.

2.2 MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO SÍSMICO

El riesgo sísmico es una medida de la probabilidad de ocurrencia de un sismo de características dadas y tiene por objeto el determinar el sismo más fuerte que puede ocurrir en una zona, en un cierto número de años, exceda o no, un determinado nivel de magnitud o aceleración. Los elementos más importantes para la evaluación del riesgo sísmico son: la historia sísmica, la naturaleza de las fuentes sísmicas, la respuesta del sitio y los riesgos relacionados con la geología y el suelo.

Los principales métodos utilizados en la evaluación del riesgo sísmico son los métodos convencionales y probabilísticos.

Los métodos convencionales involucran las formas más elementales de estimar el riesgo sísmico, como la presentación de un mapa de epicentros. El número de sucesos en una región determinada puede ofrecer a primera vista una idea representativa del nivel de actividad en la región, Figura No. 2.1.

Debido a la íntima conexión entre el número de pequeños y grandes sismos, ocurre que ordinariamente las zonas con mayor número de sismos pequeños, son al mismo tiempo aquéllas que sufren los mayores terremotos.

Los métodos probabilísticos se emplean para todos los fenómenos de la naturaleza que involucran algún grado de incertidumbre. En la evaluación del riesgo sísmico se usa el método probabilístico debido al grado de incertidumbre que éste encierra. La generación de sismos está relacionada con los mecanismos geotectónicos. El tiempo, intensidad y situación de la ocurrencia de futuros sismos, no pueden hasta la fecha precisarse, sólo es posible su pronóstico en una forma determinística. En consecuencia, la generación de sismos en espacio y tiempo, cae dentro de la categoría general de procesos estocásticos.

Para las necesidades de nuestro estudio, sería ideal poder contar con planos como los mostrados en las Figuras Nos. 2.2, 2.3 y 2.4 de donde se pudiera obtener directamente la máxima aceleración sísmica del terreno para una determinada zona. Estos planos infelizmente no están desarrollados para todos los países de Latinoamérica, por lo que se presentan a continuación dos métodos sencillos que pueden dar una estimación aproximada de los parámetros de riesgo sísmico.

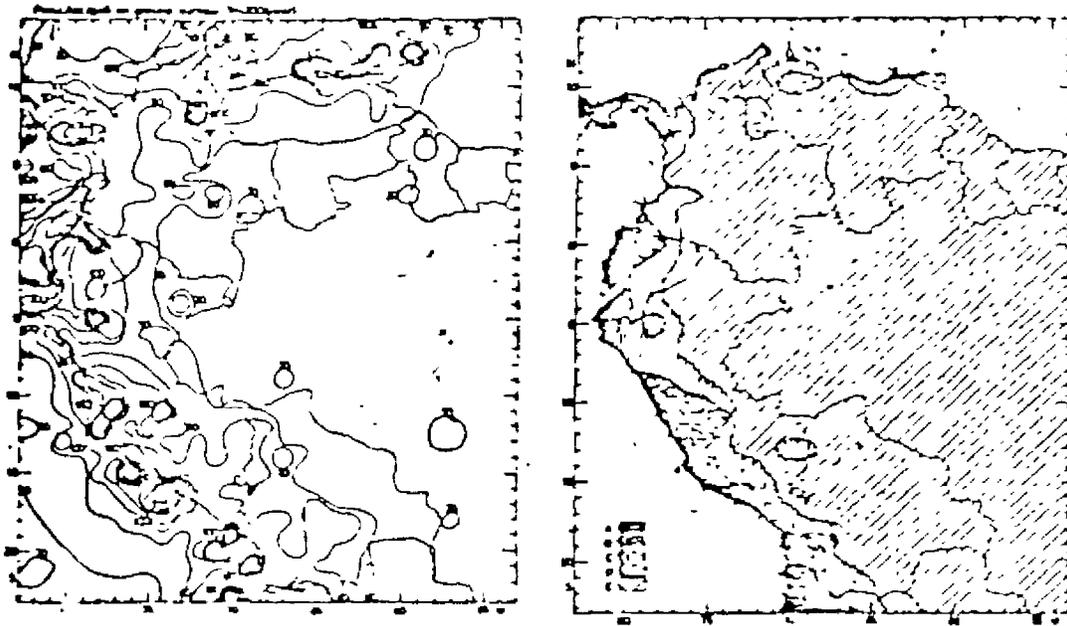


FIGURA No. 2.2

Distribución regional de aceleraciones máximas
($T_r = 200$ años) y Mapa sísmico simplificado

S. Hattori, 1979 (1)

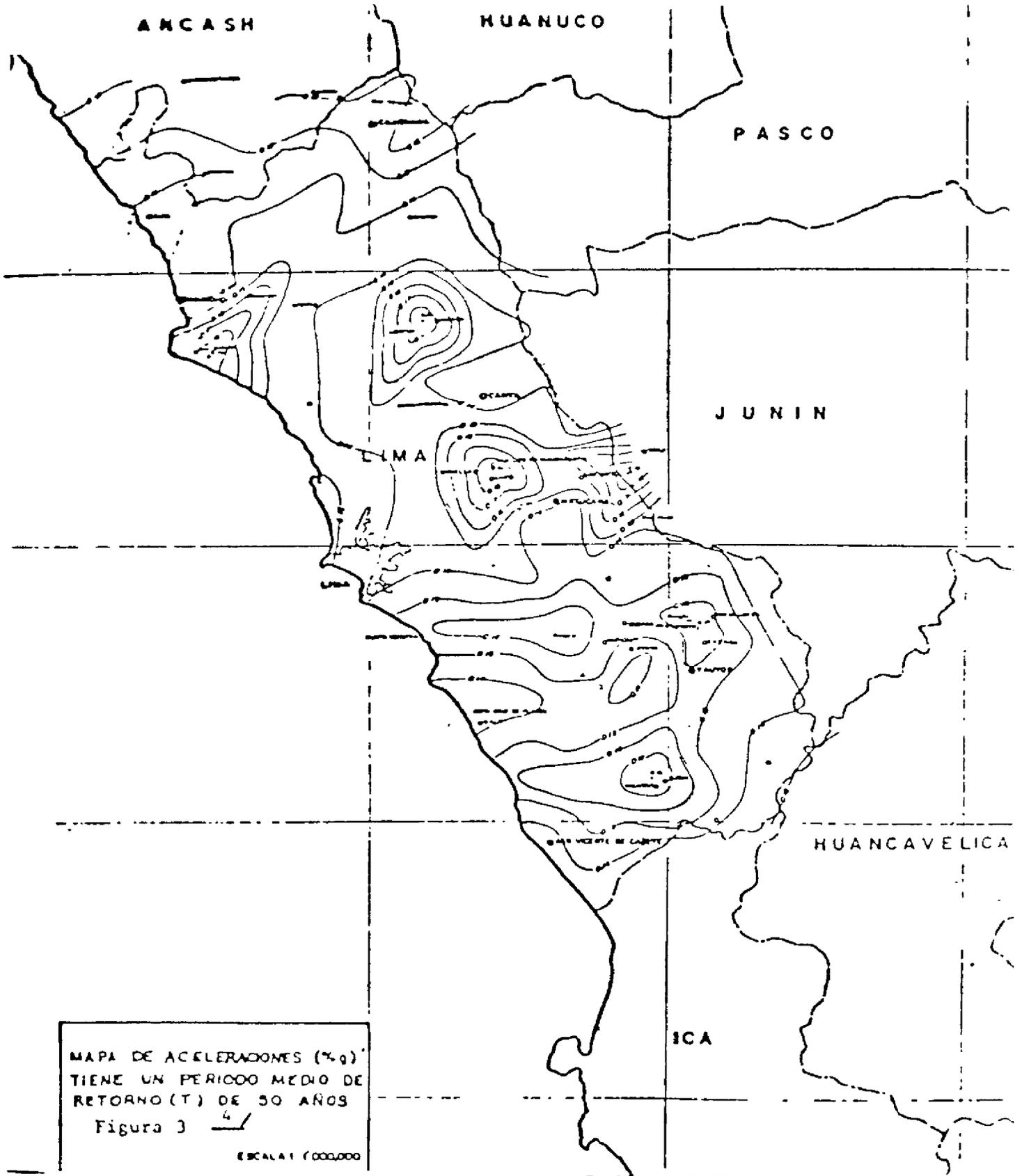


Figura No. 2.3

Mapa de aceleraciones (%g), Perú,
para T = 50 años



Figura No. 2.4
Mapa de aceleraciones $\%g$, Peru, con una probabilidad del
80% de no ser excedida en 50 años

2.2.1 Método de Allin Cornell (5)

El método desarrollado por Allin Cornell permite al ingeniero responsable del diseño, o evaluación sísmica de una estructura, determinar el riesgo sísmico de la zona de localización de un proyecto. Los resultados se obtienen en términos de parámetros de aceleración del terreno (como aceleración pico), versus período de retorno promedio. El método incorpora la influencia de todas las fuentes potenciales de sismos y las tasas de actividad promedio que les han sido asignadas.

Este procedimiento, aunque adaptado a las necesidades de la ingeniería requiere de un conocimiento de sismología por encima del común dentro de la especialidad, por lo que para los fines de este Manual se le ha simplificado, generalizando algunos coeficientes que en realidad son específicos para cada caso en estudio, por lo cual los resultados obtenidos se pueden considerar aproximaciones bastante groseras.

a. Criterios de cálculo

1. Información necesaria:

- De una relación histórica de sismos de la zona en estudio, determinar el número de sismos (N) de magnitud igual o mayor a (M), durante un período de años (n). El valor de (M) por lo general se adopta entre 4 y 5.

2. Cálculos:

- Determinar el número medio de sismos por año (N^1), de magnitud igual o superior a (M) por unidad de longitud de falla (L).

$$N^1 = \frac{N}{n + L} \quad (1)$$

- Determinar la distancia (d) en línea recta del hipocentro al sitio (Figura No. 2.5).

$$d = \sqrt{h^2 + l^2} \quad (2)$$

- Utilizando los valores empíricos de las constantes utilizadas en California y Turquía:

$$b = 0.50 - 0.70$$

$$C_1 = 8.16$$

$$C_2 = 1.45$$

$$C_3 = 2.46$$

$$1.50 = < B < 2.50$$

Determinar las siguientes constantes:

$$B = b \ln 10 \quad (3) \quad \gamma = \beta \frac{C_3}{C_2} - 1 \quad (4) \quad c = e^{\beta \left[\frac{C_1}{C_2} + M \right]} \quad (5)$$

- Calcular el período de retorno aproximado (T), de un sismo de intensidad (I):

$$I = \frac{C_2}{C_1} \ln (N^1 CGT) \quad (6)$$

siendo:

$$G = \frac{2}{(2d)^\gamma} \frac{f(\gamma)}{\left[f\left(\frac{\gamma+1}{2}\right) \right]^2} \quad (7)$$

donde $f(\gamma)$ es la función completa de (γ) , en la cual (γ) está limitado a los valores positivos. Para facilitar el cálculo de (G) se puede utilizar el gráfico de la Figura No. 2.6 en el cual:

$$Q = \int_0^{\sec^{-1} l_0/d} \frac{l_0/d}{(\cos u)^{\gamma-1}} du.$$

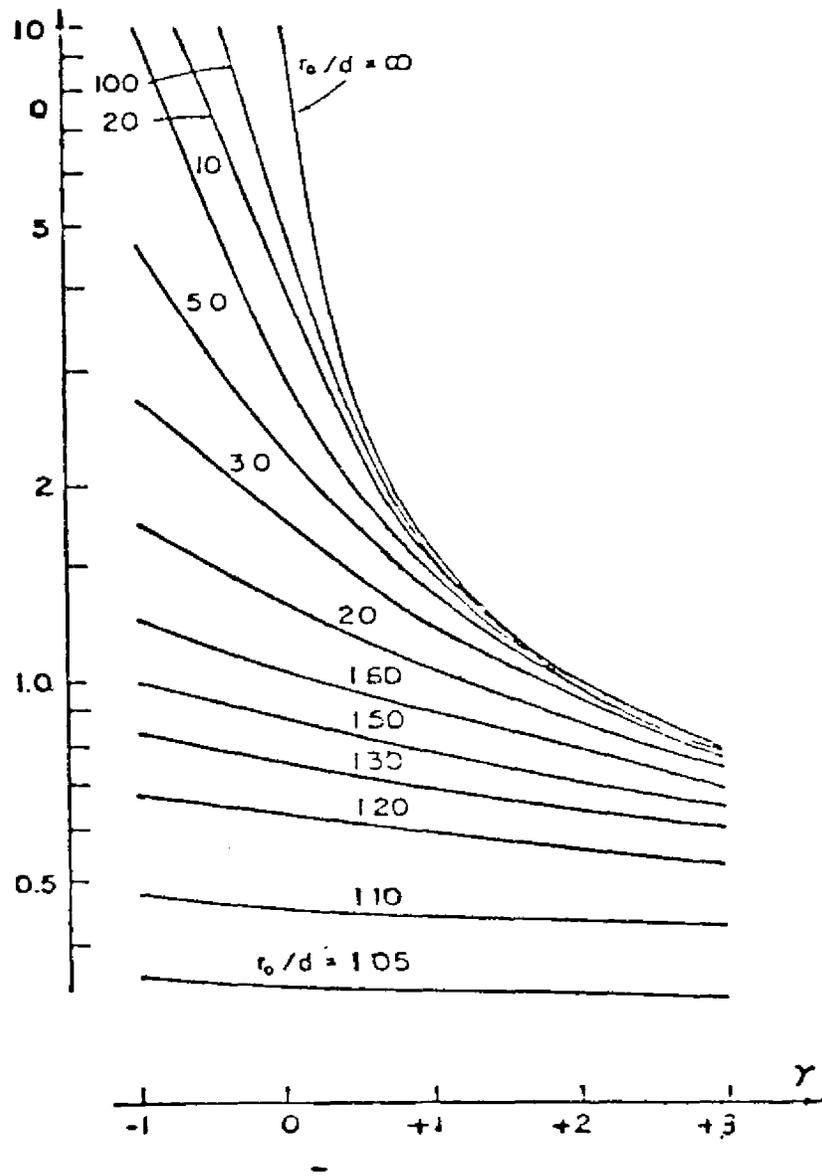


Figura No. 2.6

Integral: Valores numéricos auxiliares

- Determinar la aceleración pico (A) cm/s^2 , para una magnitud (M) conocida, y una distancia focal (R) en Kms.

$$A = b_1 \cdot e^{b_2 \cdot M} \cdot R^{-b_3} \quad (8)$$

donde $b_1 = 2000$, $b_2 = 0.8$ y $b_3 = 2$ (constantes adoptadas para el sur de California).

- De igual modo se pueden determinar la velocidad pico del suelo (V) en cm/s a partir de la ecuación (8):

$$V = b_1 \cdot e^{b_2 \cdot M} \cdot R^{-b_3} \quad (9)$$

En este caso los valores de las constantes son:

$$b_1 = 16, \quad b_2 = 1.0 \quad \text{y} \quad b_3 = 1.7.$$

Y También el desplazamiento (D) en cms:

$$D = b_1 \cdot e^{b_2 \cdot M} \cdot R^{-b_3}$$

siendo $b_1 = 7$, $b_2 = 1.2$ y $b_3 = 1.6$

b. Aplicación

Se desea clacular el período de retorno aproximado de un sismo de intensidad 6 en una localidad que está ubicada a 40 Kms de distancia de una falla principal de 650 Kms de extensión. En esta zona se presentaron 5 sismos de magnitud mayor de 5 en el lapso de 51 años, con una profundidad media de hipocentros de 20 Kms.

1. Los datos son los siguientes:

$$M = 5$$

$$N = 5$$

$$L = 650 \text{ Kms}$$

$$h = 20 \text{ Kms}$$

$$l = 40 \text{ Kms}$$

$$n = 51 \text{ años}$$

Coefficientes impuestos:

$$\beta = 1.48$$

$$C_1 = 8.16$$

$$C_2 = 1.45$$

$$C_3 = 2.46$$

Cálculo:

$$N^d = \frac{N}{n + L} = \frac{5}{51 + 650} = 0.00015$$

$$d = \sqrt{h^2 + l^2} = \sqrt{20^2 + 40^2} = 44.6 \text{ Km}$$

$$\gamma = \beta \times \frac{C_3}{C_2} - 1 = 1.48 \times \frac{2.46}{1.45} - 1 = 1.51$$

$$c = e \left[\beta \left(\frac{C_1}{C_2} + M \right) \right] = 2.71 \left[1.48 \left(\frac{8.16}{1.45} + 5 \right) \right] = 6052683$$

$$r_0 = \sqrt{\left(\frac{L}{2} \right)^2 + l^2} = \sqrt{\left(\frac{650}{2} \right)^2 + 40^2} = 327$$

$$\frac{r_0}{d} = \frac{327}{44.6} = 817 \quad (\text{Para utilizar en unión de la Figura No.2.6})$$

$$G = \frac{2w}{2dY} \frac{f(Y)}{\left[1\left(\frac{Y+1}{2}\right)\right]^2} = 0.00704$$

$$I = \frac{C_2}{\beta} \ln(NCGT)$$

$$G = \frac{1.45}{1.48} \ln(0.00015 \times 6052683 \times 0.00704 T)$$

$$T = 22.75 \text{ años}$$

Igual procedimiento puede seguirse para M = 6, 7, 8, 9, obteniéndose la curva indicada en la Figura No. 2.7

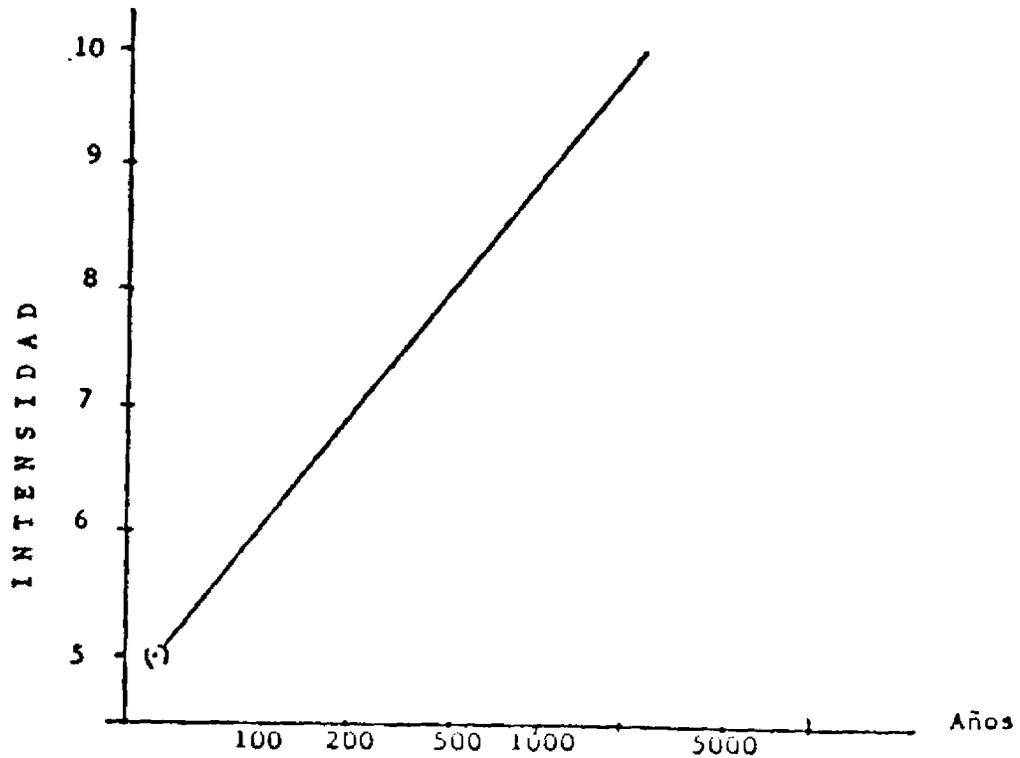


Figura No. 2.7

Intensidad versus periodo de retorno

2.2.2 Método simplificado de O'Rourke (3)

O'Rourke (4) sugiere la siguiente metodología de análisis muy expedita y simple.

a. Criterios de cálculo

1. Calcular por el procedimiento anteriormente indicado, la magnitud del sismo crítico (M) y por medio del Cuadro No.1 calcular la aceleración (A max) en % g y duración (d) en seg. correspondientes.

MAGNITUD	ACELERACION MAXIMA (% g)	DURACION (seg)
5.0	9	2
5.5	15	6
6.0	22	12
6.5	29	18
7.0	37	24
7.5	45	30
8.0	50	34
8.5	50	37

CUADRO No. 2.1

ACELERACIONES MAXIMAS DE TIERRA Y DURACIONES

DURANTE LA FASE FUERTE DE MOVIMIENTO

2. Conociendo la longitud de la falla (L) en Km y por medio de la Tabla 2, determinar en un mapa las áreas con igual aceleración.

Aceleración	M						
	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
≥ 5	0.4	1.6	3.6	6.8	13	28	56
≥ 10		0.6	1.6	3.6	7.6	14	32
≥ 15			0.6	2.0	4.4	9.6	21
≥ 20				0.9	2.5	6.0	14
≥ 25					1.3	4.0	10
≥ 30					0.25	2.0	6.4
≥ 35						0.6	4.0
≥ 40							1.2

CUADRO No. 2.2
CORRELACION DE ACELERACION Y MAGNITUD
EN UN AREA DETERMINADA

b. Aplicación

Se desea conocer el conjunto de curvas de aceleración máxima para una zona en la cual se tenga una falla de $L = 30$ Km y se produzca un sismo de magnitud $M = 6$.

Del Cuadro No.3 , para $M = 6$, se obtiene una aceleración máxima de 0.22 g y una duración probable de 12 segundos.

Del Cuadro No.4 , para $M = 6$, se obtienen los siguientes datos:

<u>Aceleración (g)</u>	<u>Area Km²</u>
5%	9,320 (2,600 x 3.6)
10	4,160 (2,600 x 1.6)
15	1,560 (2,600 x 0.6)

Suponiendo aceleraciones equidistantes de la falla, se tendría que:

$$A = D^2 + 2 DL$$

Para valores de $A = 1,560 \text{ Km}^2$ se obtienen valores de $D = 12.7 \text{ Km}$.

$4,160 \text{ Km}^2$ = 26.8 Km .

9.320 Km^2 = 44.9 Km ,

obteniéndose las curvas indicadas en la Figura No. 2.8

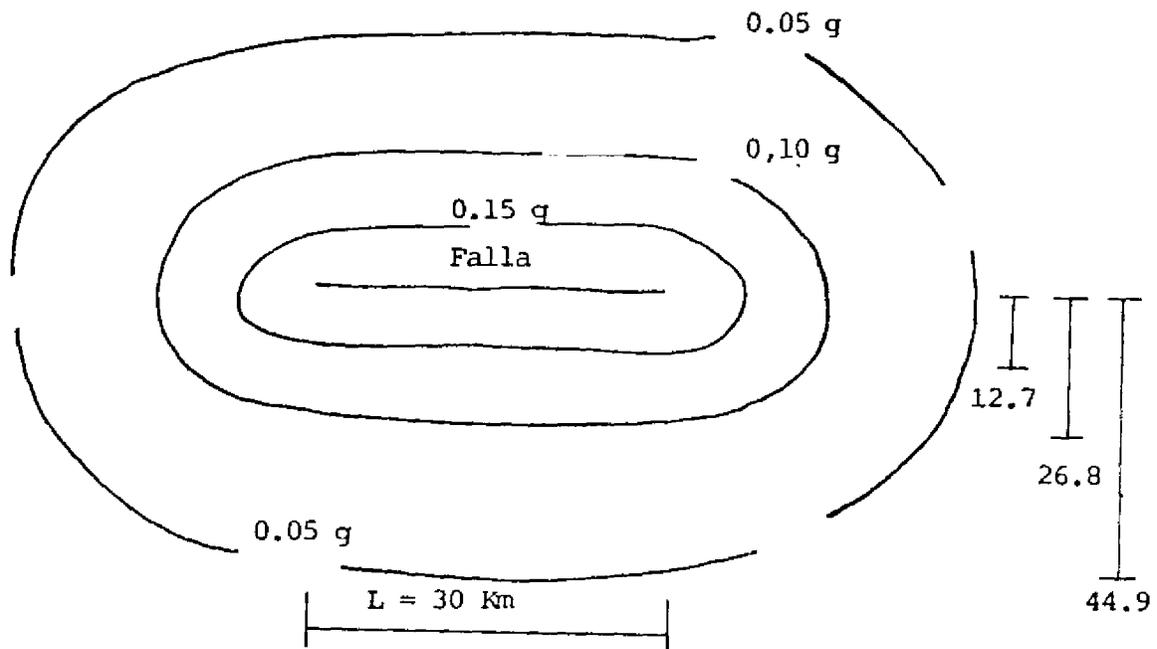


FIGURA No. 2.8

MAPA DE ACELERACIONES

2.3 PLANOS DE RIESGOS

Se elaboran como consecuencia de la evaluación de las condiciones tectónicas, geológicas, fisiográficas y climáticas existentes.

2.3.1 Información requerida

Complementaria a la información sobre riesgo sísmico indicada en el acápite 2.2 es necesario elaborar u obtener un plano de zonas de ries-

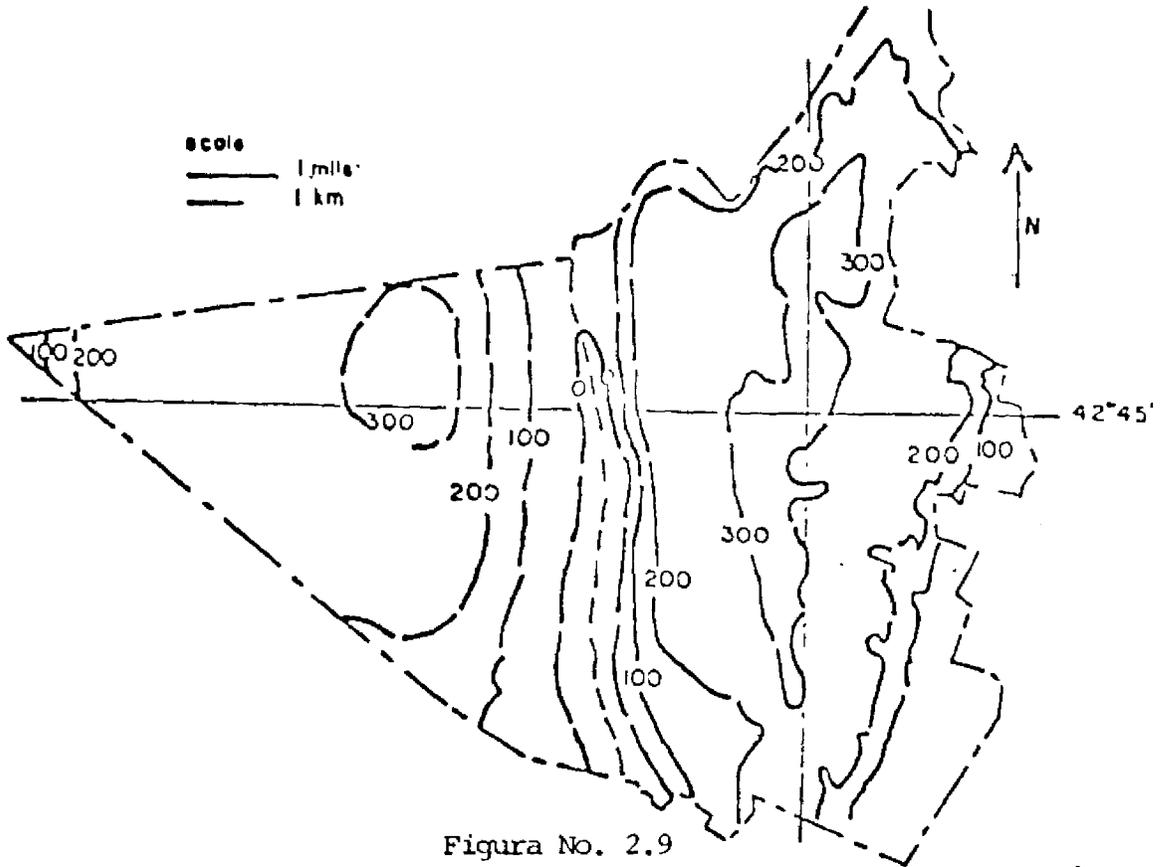


Figura No. 2.9
TOPOGRAFIA DEL BASAMENTO ROCOSO DE LATHAN - NUEVA YORK^{5/}

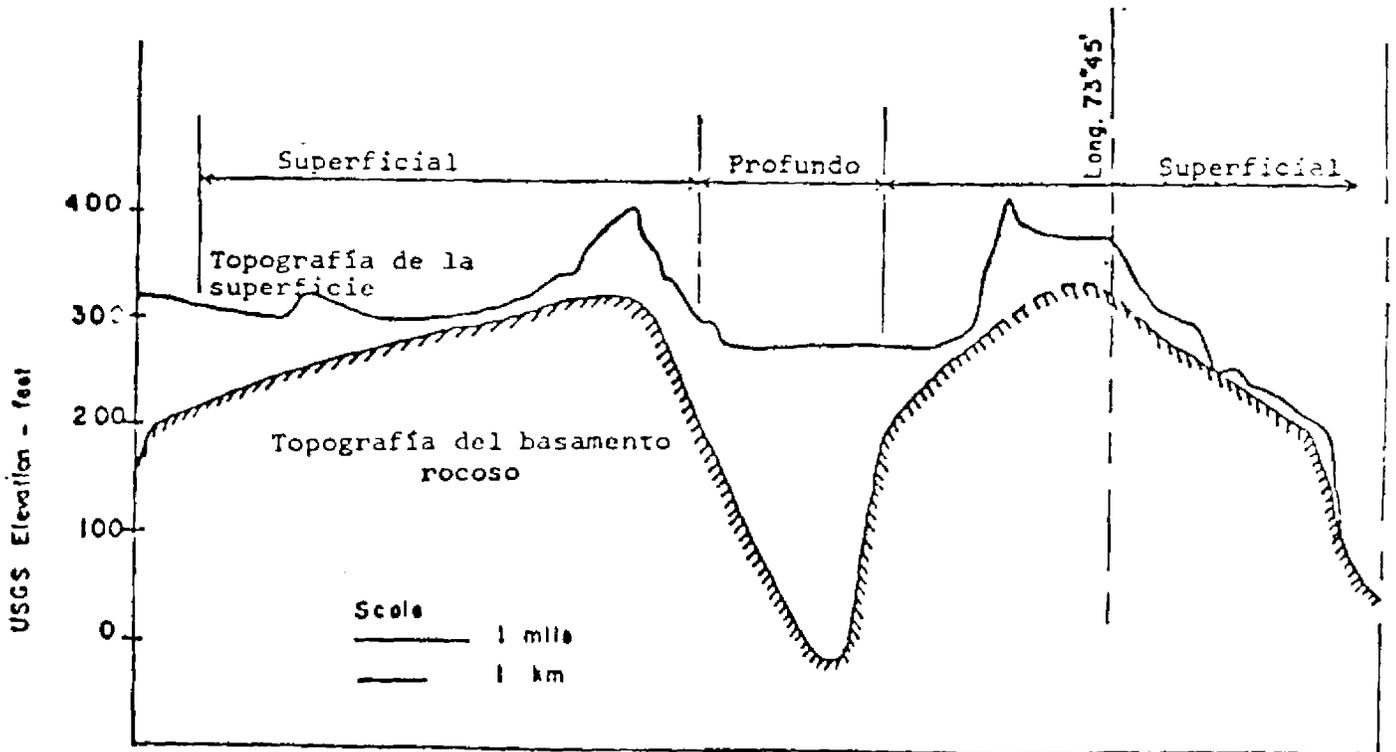


Figura No. 2.10
ESTRATIFICACION DEL TERRENO - ESTUDIO GEOLOGICO DE LATHAN - NUEVA YORK^{5/}

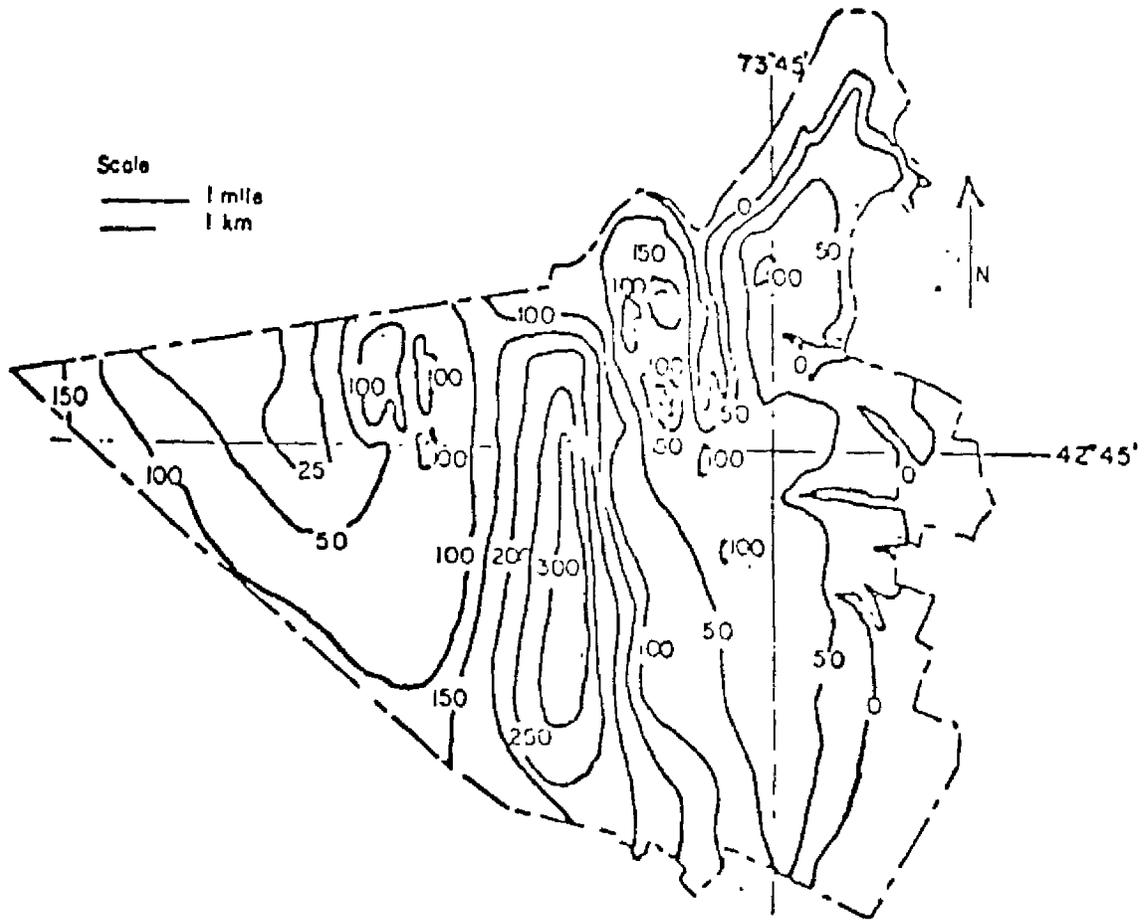


Figura No. 2.11
Curvas de profundidad de terreno (pies) sobre la roca,
Lathan, Nueva York (5)

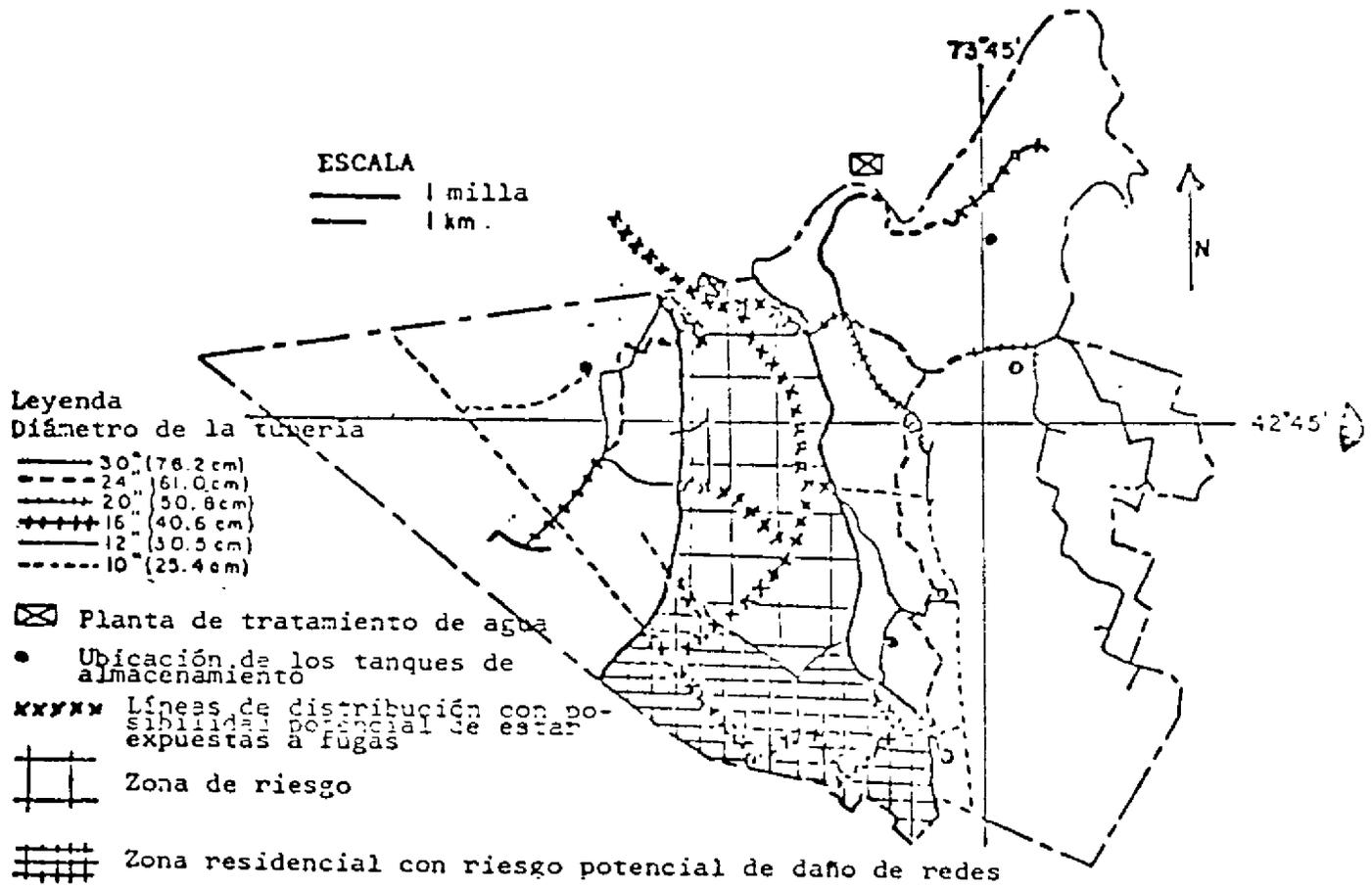


Figura No. 2.12
Plano de vulnerabilidad sísmica de Lathan (1)

go.

Esta zonificación se basa en un estudio de las características geológicas y tectónicas de la zona. Dependiendo del tipo de terreno y de las estructuras tectónicas existentes, una zona puede ser más o menos riesgosa durante un sismo. Para su elaboración se necesita, básicamente, un plano geológico de la zona y su respectiva descripción, indicando la estratificación del terreno, el tipo de material y espesor de cada estrato en una profundidad promedio de 100 m. Es de primordial importancia conocer la profundidad a la cual se encuentra el fundamento rocoso y la napa de agua subterránea.

Son particularmente zonas de alto riesgo aquellas:

- a. ubicadas cerca de fallas principales o secundarias;
- b. que existan condiciones insatisfactorias, tales como taludes muy inclinados, suelos de baja cohesión, que cuando están secos pueden producir asentamientos, o cuando están húmedos pueden producir licuefacción;
- c. en los que exista un rápido cambio de propiedades;
- d. en los que existan capas o lentes liqueables y que puedan producir expansión lateral;
- e. terrenos que por sus características químicas produzcan corrosión en tuberías o estructuras.

Las figuras Nos. 2.9, 2.10 y 2.11 muestran el estudio de constitución del terreno elaborado por el análisis de riesgo sísmico del distrito de aguas de Lathan.

El plano de características tectónicas de la zona, consiste en un plano

de ubicación de fallas geológicas primarias y secundarias y la correspondiente descripción de las mismas. En este plano se indican además, la ubicación de los epicentros de los sismos destructivos acaecidos y de los volcanes existentes en la zona (Ver Figura No. 2.1).

Hay casos en que las zonas de riesgo se visualizan muy claramente a través del estudio geológico (Figuras Nos 2.9 , 2.10 y 2.11), como es el caso del estudio del sistema de Lathan (Figura No. 2.12), donde la zona de alto riesgo se ve perfectamente definida por las características del suelo.

2.3.2 Identificación de riesgos consecuentes

Es necesario identificar las laderas de montañas o colinas que presentan riesgo potencial de corrimiento de tierras, debido a su debilidad geomorfológica y/o geológica y definir las zonas de aludes.

Es igualmente importante el definir los espacios al pie de las montañas que podrían resultar afectadas por el deslizamiento de capas de suelo y rocas.

Es preciso estudiar también la posibilidad de incremento de vulnerabilidad de la zona debido al debilitamiento del terreno causado por obras de ingeniería que se realicen en la cima o en la base de la montaña (como por ejemplo, construcción de carreteras, obras de drenaje, etc.) y como consecuencia de los cambios en el régimen hídrico. Podría aumentarse asimismo el peligro de corrimiento de tierras cuando se tengan estructuras u objetos pesados de carácter provisional o permanente en las laderas que presentan riesgo potencial. El peligro se agrava en zonas propensas a terremotos.

3. EFECTOS DE LOS SISMOS SOBRE LOS SISTEMAS

3.1 GENERALIDADES

Qualquier sistema de abastecimiento de agua o de recolección y disposición de aguas residuales puede físicamente sintetizarse en tres elementos: estructuras, equipos y tuberías. Los efectos que ejerzan los desastres sobre los sistemas, estarán actuando en última instancia sobre estos tres elementos.

Estos efectos se pueden ponderar mediante un análisis de las características geotectónicas de la localidad - Ver el Capítulo No. 4 - en relación con la ubicación y características de los componentes del sistema - Ver Capítulo No. 4 - Un análisis de este tipo es suficiente para los fines del presente Manual. En los casos en que el grado de riesgo o la importancia de la estructura justifiquen efectuar un análisis estructural, se precisará la siguiente información:

1. El sismo de diseño y su correspondiente aceleración del terreno.
2. Plano geológico y tectónico del área del sistema.

Con esta información es posible calcular los esfuerzos y deformaciones máximas que el terreno va a transmitir a las estructuras, anclajes de los equipos y tuberías para que, comparados con los esfuerzos y deformaciones que éstos pueden soportar y dependiendo de sus características físicas, se establezca la magnitud del posible daño.

El análisis se deberá efectuar con cada elemento de diferente material y en cada diferente medio, es decir, con cada diferente tipo de terreno o cambio de las condiciones tectónicas.

Dependiendo de las características geotectónicas del medio, existen tres mecanismos mediante los cuales pueden fallar los elementos:

- Fallas
- Licuefacción y deslizamientos
- Efecto de propagación de las ondas.

El análisis estructural de la forma como actúan estos mecanismos, es sumamente complejo y específico en cada caso particular, por lo que debe ser ejecutado por un especialista.

El efecto de licuefacción y deslizamiento ocurre muy a menudo durante un terremoto en terrenos no consolidados con fuertes pendientes y granos suaves y finos fácilmente desmoronables. Las redes deben ser instaladas en las áreas en las cuales se han asentado los pobladores, por lo que el proyectista no tiene oportunidad de elegir en relación a la geología de la zona. Lo más que se puede hacer es prever en el diseño una adecuada distribución de válvulas y la mayor flexibilidad posible en el sistema de tuberías, con la esperanza de reducir al mínimo las roturas cuando los deslizamientos y licuefacción ocurran.

De acuerdo con Youd (11,12), el mayor porcentaje de roturas en tuberías de alimentación, durante el sismo de San Francisco en 1906, ocurrió a causa de deslizamientos laterales del terreno, debido a la licuefacción de las capas superficiales del terreno.

Las fallas causan desplazamientos horizontales y verticales del terreno y agrietamientos, originando la ruptura de los sistemas de tuberías. Los esfuerzos y movimientos a que están sujetas las tuberías bajo la acción de este mecanismo no se encuentran bien definidos, existiendo teorías de cálculo aproximadas, Adi (13), 1966.

Durante el sismo de San Francisco en 1971 (5), casi todas las tuberías que cruzaban fallas, se rompieron en el punto de cruce o cerca de éste. (5). Estudios efectuados indican que este mecanismo fue el causante de la rotura del 25% de las tuberías durante el sismo de San Fernando (5).

El efecto de propagación de las ondas es la tercera de las grandes causas por las que las tuberías fallan durante un sismo. El movimiento a lo largo de una falla o de un punto en particular en el interior de la tierra es transmitido a través del terreno mediante una serie de ondas. La orientación de las tuberías con relación al epicentro del sismo y más aún con respecto a la dirección de propagación de las ondas, tiene mucha influencia en la magnitud de los esfuerzos que actúan sobre éste durante un terremoto. La experiencia indica que las tuberías que se encuentran perpendiculares o normales a la dirección de propagación de las ondas sufren daños menores. De esta manera, el efecto de la vibración sísmica en sistemas de tuberías ubicadas paralelamente a la dirección de propagación de las ondas, deberán recibir la mayor atención por parte de los proyectistas.

3.2 EFFECTOS SOBRE LA SALUD

Se sabe que existe una relación entre el tipo de desastre y su efecto sobre la salud, en particular en cuanto al impacto inmediato en la causa de las lesiones. Así, por lo común en el caso de terremotos, debido a la destrucción de las viviendas pueden producir muchas defunciones (más del 10% de la población) y causar lesiones a un gran número de habitantes. El número de muertos y heridos en estos casos depende funda-

mentalmente de tres factores.

El primero es el tipo de vivienda. Las casas construidas de adobe o piedra sin mortero, incluso cuando sólo tienen un piso, son muy inestables y su derrumbe causa muchos muertos y heridos. Se ha comprobado que las formas de construcción más livianas, especialmente la construcción de entramado de madera, son mucho menos peligrosas. Así, después del terremoto de 1976 en Guatemala, una investigación puso de manifiesto que en una aldea de 1,577 habitantes, los 78 muertos y las personas con lesiones graves se encontraban en edificios de adobe, en tanto que todos los residentes de casas de entramado habían sobrevivido. El segundo factor se vincula con la hora del día en la cual ocurre el temblor. El tercer y último factor es la densidad demográfica ya que el número total de defunciones y lesiones probablemente será mucho más elevado en las zonas densamente pobladas.

En el Cuadro No.3.1 se presenta un balance de los desastres telúricos y tectónicos ocurridos de 1900 a 1976 y en la figura No.3.1 se consideran los cambios en las necesidades de aspectos de salud y sus prioridades con posterioridad a los terremotos.

TIPO DE DESASTRE	MUERTOS	OTRAS VICTIMAS
Terremotos	2'662,165	28'894,657
Erupciones volcánicas	128,058	337,931

CUADRO No. 3.1

BALANZA DE LOS DESASTRES TELURICOS Y
TECTONICOS OCURRIDOS DE 1900 a 1976

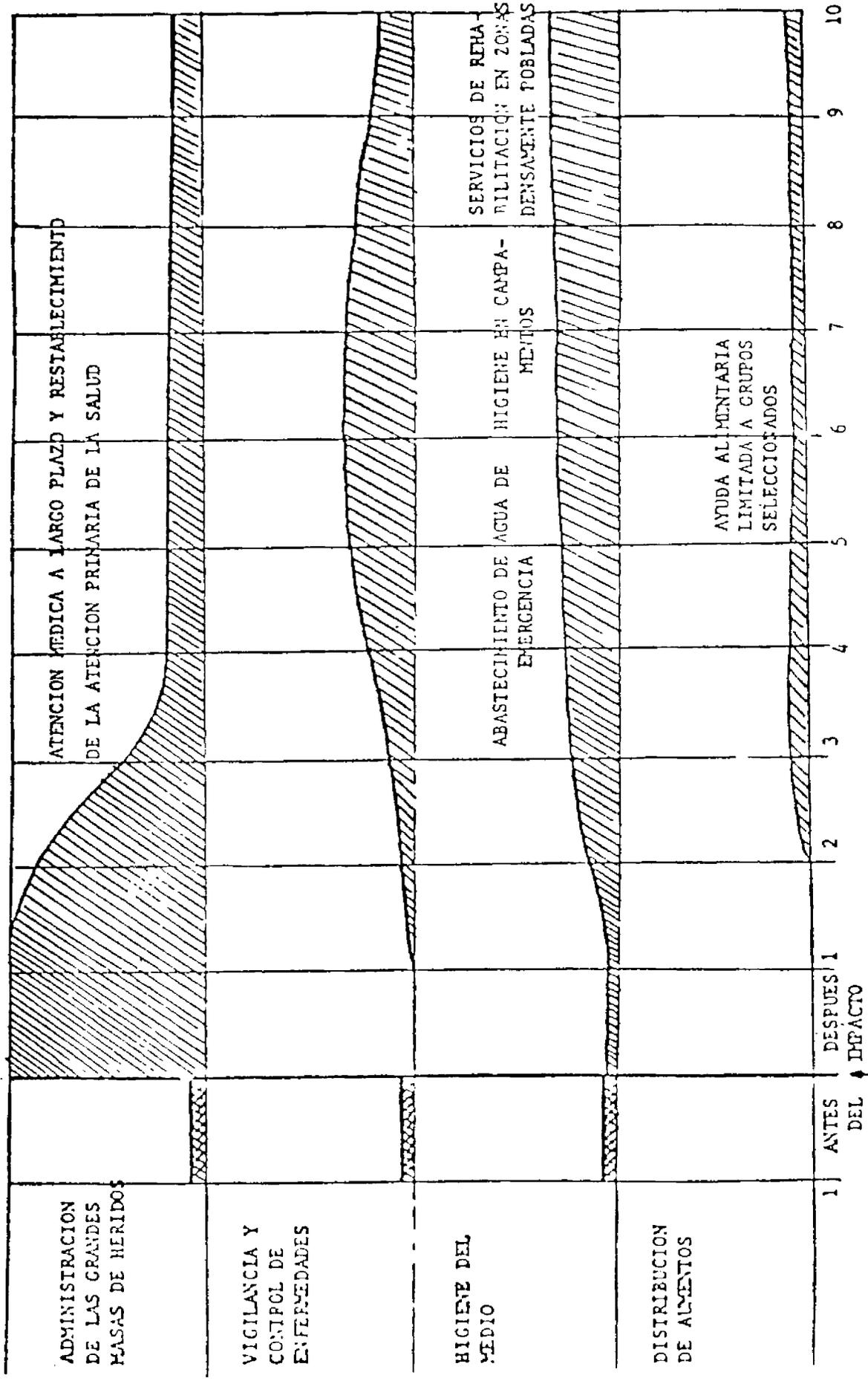


Figura No. 3.1

Impacto de los terremotos en aspectos de salud pública en los días siguientes inmediatos al impacto

Fuente: OPS. Guía para la administración sanitaria de emergencia con posterioridad a los desastres naturales. Noviembre 1980. Versión preliminar

3.3 EFECTOS ECONÓMICOS

Al igual fue en el caso de otros desastres, se distinguen tres categorías:

1. Por efectos directos que afectan en sus patrimonios y sus ingresos a las personas, empresas y colectividades víctimas del desastre.
2. Por efectos indirectos que son resultado de la disminución de los ingresos de los hogares y de la reducción de la producción de las demás empresas por encadenamiento de efectos.
3. Por efectos inducidos que puedan ir apareciendo algún tiempo después del desastre: epidemias, inflación, agravación de las desigualdades del ingreso, asilamiento de regiones agrícolas.

Inmediatamente después de sucedido el desastre, los daños económicos directos se referirán generalmente a pérdidas de capital cuya proporción es grande en el caso de terremotos y erupciones volcánicas, afectando 3 tipos de bienes físicos, como son inmuebles, equipo y reservas. Estas pérdidas serán en los principales sectores económicos.

a. Agricultura: Posible destrucción o daño en las infraestructuras de producción ya sea instalaciones de riego, maquinaria agrícola, además entre otros, la destrucción del capital productivo como son los cultivos y bosques.

b. Industria: Las destrucciones de bienes de equipo serán en general las más importantes, aunque la destrucción de reservas que es lo más difícil de evaluar, puede alcanzar proporciones de igual importancia (caso del terremoto de Nicaragua donde el 42% de pérdidas del sector industrial son imputables a la destrucción de bienes de equipo, el -

27% a las reservas y el 31% a los edificios).

c. Infraestructuras: Además de los daños a las infraestructuras de transportes y telecomunicaciones que suelen ser considerables (carreteras, puentes, vías férreas, aeropuertos, puertos, vehículos de transporte) hay que contabilizar en este sector las pérdidas relativas a hospitales, escuelas, instalaciones eléctricas, redes de abastecimiento de agua y saneamiento, etc. Como por ejemplo, la suma de pérdidas en este sector representa el 32% de las pérdidas en capital en Guatemala durante el terremoto de 1976. De estas pérdidas, una tercera parte aproximadamente se debió a daños provocados a las infraestructuras de transportes y telecomunicaciones (220 Km de vías primarias y 180 Km de vías secundarias destruidas.

d. Vivienda: Este sector constituye el tipo de infersión más vulnerable en caso de terremotos. Ejemplos de estos daños hay muchos. Por considerar dos ejemplos: En el terremoto de Nicaragua de 70,000 casas afectadas de las cuales 53,300 fueron completamente o seriamente dañadas, la mayoría habitada por personas con ingresos medios y bajos, representando estas pérdidas de 53% de las pérdidas de capital. En el terremoto del Perú en mayo de 1970, el número de viviendas afectadas llegó a 200,000 y sumaban más de 100,000 el número de viviendas destruidas, muchas de las cuales quedaron reducidas a escombros como en los casos de Yungay y Ranrahirca, sepultadas y barridas por el desprendimiento del pico norte del Nevado Huascarán que se precipitó como consecuencia del terremoto.

Al considerar las consecuencias económicas de la actividad sísmica en cuanto a construcciones civiles, se puede afirmar en primer lugar que

los efectos económicos no se miden únicamente por el costo de los daños causados por los sismos futuros. La evaluación del costo, en relación con la probabilidad de los acontecimientos sísmicos, correspondería a los problemas técnicos que tendría que resolver una sociedad de seguros que intentase definir la cuantía de los riesgos sísmicos que tuviera que asegurar, o bien la margen de una planificación de los problemas que plantearían para la evaluación de los riesgos de desastres naturales exclusivamente desde el ángulo del costo de los auxilios y de la reconstrucción.

Hay que añadir en cambio a ese costo el de todas las medidas de prevención encaminadas a aumentar la resistencia de las estructuras y el resultante del efecto de la protección antisísmica en la densidad de construcción. Este último se manifiesta por una influencia más marcada del costo del terreno en el costo global de la construcción.

e. Comercio: Fundamentalmente las pérdidas se deben simultáneamente a la destrucción de locales comerciales, como de las existencias. Como ejemplo podemos citar que aproximadamente 400,000 m² de edificios comerciales y bodegas resultaron perdidos o seriamente dañados en el terremoto de Managua.

f. Servicios: Este sector se refiere sobre todo a las actividades turísticas y hoteleras, las administraciones y a veces a instituciones financieras. Según datos del terremoto de Managua, 340.000 m² de oficinas públicas y privadas desaparecieron o fueron seriamente dañados.

También se presentarían efectos económicos indirectos e inducidos:

Pocos ejemplos podemos obtener ya que muy escasos son los estudios sis-

temáticos y exhaustivos que se han efectuado en lo que se refiere a pérdidas económicas indirectas e inducidas subsiguientes a un desastre.

Para efectos económicos inducidos en el caso de Guatemala, tras el terremoto de febrero de 1976, el déficit global de la economía se multiplicó por seis en relación con 1975 y se mantuvo a ese nivel durante el período 1976-1979. Debiendo la deuda pública financiarse hasta 1979, en una proporción de un 56% por término medio mediante préstamos del exterior.

En este mismo caso de Guatemala, debido a los efectos del desastre, 330 millones de dólares de importaciones directas previstas con fines de reconstrucción para el período 1976-1979 contribuyeron ostensiblemente a aumentar el déficit de la balanza corriente que ascendió a 471 millones de dólares de 1979. Al mismo tiempo, las reservas de divisas disminuyeron en 40 millones de dólares en 1976.

Presiones inflacionarias son también resultado del desastre debido entre otras cosas al aumento de la demanda en determinados sectores que merecen especial atención. Así, a fines de 1976, el Comité de Reconstrucción de Guatemala calculaba que la inflación tendría el efecto de elevar el costo de la reconstrucción de 1,021 millones de dólares (669'400,000 dólares para viviendas, 219'900,000 dólares para infraestructura social, 77'400,000 dólares para infraestructura económica y 54'3000,000 dólares para el sector productivo) a 2,000 millones de dólares aproximadamente. El precio de los ladrillos ya se había triplicado en relación con el período anterior al desastre.

Entre las medidas antiinflacionarias contempladas por el gobierno, figuraban en lugar destacado medidas fiscales.

3.4 EFECTOS SOBRE LAS ESTRUCTURAS FISICAS

En el Cuadro No.3.2 se resumen los efectos causados por sismos en edificios y especialmente viviendas.

Intensidad	Tipo A			Tipo B			Tipo C		
	A	M	LM	A	M	LM	A	M	LM
VI	2	1		1					
VII	4	3		2				1	
VIII	5	4		4	3		3	2	
IX		5		5	4		4	3	
X			5		5		5	4	

CUADRO No. 3.2

EFECTOS DE SISMOS EN EDIFICACIONES POR TIPO DE VIVIENDA E INTENSIDAD

En el cual se considera:

Tipos de construcción

Tipo A: Viviendas de tierra apisonada, ladrillo sin cocer (adobe), viviendas rurales, construcciones de piedra ordinaria (guijarros, etc.).

Tipo B: Construcciones de ladrillo, bloques de hormigón, construcciones mixtas de albañilería y madera, construcciones de piedra tallada.

Tipo C. Construcciones armadas y buenas construcciones de madera.

Porcentaje de edificios dañados

A (algunos) : Aproximadamente el 5%

B (muchos) : Aproximadamente el 50%

C (la mayoría) : El 75% y más

Naturaleza de los daños

1. Agrietamiento y caída de gresados y de enlucido.
2. Agrietamiento de las paredes, caída de tejas, agrietamiento y caída de partes de chimenea.
3. Grietas anchas y profundas en las paredes, caída de chimeneas.
4. Brechas en las paredes, derrumbamiento parcial, destrucción de accesorios o de tabiques interiores.
5. Derrumbamiento total de la construcción.

Es interesante anotar que en los Estados Unidos los casos más importantes son los 20 terremotos más violentos de estos últimos 40 años ya que afectaron a construcciones que eran en su mayoría de tipo reciente y por lo tanto construídas con arreglo a normas antisísmicas. En estos últimos años el número de víctimas fue en total 320. De ellas 110 resultaron muertas por el tsunami que siguió al sismo ocurrido en Alaska en 1964; 28 por hundimientos; 4 por caída de objetos y 3 por ataques cardíacos. En conclusión las pérdidas de vidas humanas imputables a la falta de resistencia de las construcciones sólo han sido casos aislados. Siempre según la misma fuente la cuantía total de los daños causados por esos 20 últimos sismos excede de 1.500 millones de dólares.

Las cifras son muy diferentes en el caso de países en que predominan las construcciones en cuyo diseño no se tienen en cuenta los efectos de las fuerzas horizontales en las zonas sísmicas y lo mismo ocurre si se considera un pasado relativamente próximo en que las normas para las estructuras no existían.

Así por ejemplo después del sismo de Kern Country (California) ocurrido en 1952 se compararon los daños sufridos por 2 tipos diferentes de edificios escolares, los recientes habían sido diseñados teniendo presen-

te las normas sísmicas, mientras que los otros más antiguos se habían proyectado sin tenerlas en cuenta.

Los resultados muy significativos figuran en el siguiente cuadro.

Daños sufridos	Edificios diseñados de acuerdo con las normas sísmicas	Edificios no diseñados de acuerdo con las normas sísmicas
Ningún daño	21	1
Daños ligeros	6	9
Daños moderados	1	9
Grandes daños	0	13
Hundimientos	0	1

CUADRO No. 3.3
EFECTOS EN EDIFICIOS, CALIFORNIA, SISMO DE 1952

Otro ejemplo es la destrucción extensa de ciudades, localidades y villas en los terremotos del Perú, que es atribuida mayormente al pobre material de construcción utilizado en edificaciones, las cuales son principalmente de adobe. El material de adobe tiene poca resistencia a fuerza cortante por fuerzas laterales impuestas por efectos vibracionales de los terremotos.

3.5 EFECTOS SOBRE LAS ESTRUCTURAS DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Los efectos en general de los terremotos se manifiestan en los sistemas de abastecimiento de agua en la siguiente forma:

1. Destrucción total o parcial de obras de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución.
2. Rupturas de tuberías de conducción y distribución de agua, con el consiguiente desperdicio de agua.
3. Agrietamiento y/o destrucción de obras civiles o instalaciones.
4. Interrupción de la corriente eléctrica y de las comunicaciones.
5. Incendios que requieren de un elevado consumo de agua para su control.
6. Interrupción total o parcial de los servicios de aprovisionamiento de agua.
7. Modificación de la calidad del agua y contaminación en el sistema de distribución.

Las fallas de tuberías durante los terremotos son más frecuentes de lo que en realidad se cree y en algunos casos afectan muy seriamente los servicios. Los análisis de los efectos de los terremotos de Alaska - (5), en 1964, San Fernando, California (5) en 1971 y otros terremotos (5), han demostrado que la intensidad y distribución de daños y tipos de daños que soportan las tuberías durante un terremoto son:

- a. Función principalmente de la geología que rodea la tubería.
- b. Función del material de la tubería.

Durante un terremoto un sistema de tuberías está sujeto a efectos directos e indirectos, los efectos directos incluyen:

1. Levantamientos y hundimientos regionales
2. Desplazamientos de fallas
3. Movimientos sísmicos.

Los efectos indirectos incluyen:

1. Deslizamientos
2. Fracturas
3. Desplazamientos laterales de sedimentos
4. Asentamientos diferenciales de sedimentos
5. Compactación de sedimentos.

Los daños ocasionados por los terremotos a las tuberías tanto por los efectos directos como por los indirectos anotados, se han observado - (29) que son menores en camas de roca, intermedios en sedimentos granulares gruesos y mayores en sedimentos granulares finos. Los Cuadros Nos. 3.4 y 3.5 resumen las experiencias descritas.

Obviamente la mayor incidencia de tuberías rotas se presenta en fallas geológicas. Durante el terremoto de 1971 en California, prácticamente todas las tuberías que cruzaban una falla mayor, sufieron daños considerables o fallaron y el 25% de las roturas de tuberías se debieron a roturas en fallas.

Otros efectos de los terremotos tales como deslizamientos y liquefacción, también causan serios daños a las tuberías. De un informe (28) sobre los daños causados por el terremoto de Managua, Nicaragua en 1972, de magnitud 6.5 grados en la escala Richter, se extracta lo siguiente:

" El sistema de distribución de la ciudad de Managua constaba de unos 600 Kilómetros de tuberías que variaban en tamaño entre 1" y 30" constituida con materiales diversos: hierro fundido, asbesto cemento, PVC y hierro galvanizado. La red de distribución sufrió daños del tipo de fractura, principalmente en la región central de la ciudad por donde pasan las fallas activas. La forma y frecuencia de fallas dependió del

EFECTOS	CAMAS	ROCA	SEDIMENTOS	
			GRANULARES FINOS	GRANULARES GROSOS
<u>DIRECTOS:</u>				
Levantamientos regionales	Común	Común	Común	Común
Hundimientos regionales	Común	Común	Común	Común
Desplazamientos del terreno	Común	Común	Común	Común
Fracturas tectónicas	Común	Común	Común	Común
Movimientos sísmicos	Común	Común	Común	Común
-Alta frecuencia	Abundante	Raro	Raro	Raro
-Baja frecuencia	Raro	Abundante	Abundante	Abundante
<u>INDIRECTOS:</u>				
Deslizamiento (rotacionales)	Común	Común	Común	Raro o común
Deslizamientos (traslacional)	Ninguno	Ninguno	Abundante	Ninguno
Asentamiento diferenciales	Ninguno	Ninguno	Abundante	Común
Desplazamientos laterales	Ninguno	Ninguno	Abundante	Común
Compactación	Ninguno	Ninguno	Abundante	Común
Fracturas	Raro	Raro	Abundante	Raro o común

CUADRO No. 3.4

OCURRENCIA RELATIVA DE EFECTOS DIRECTOS E INDIRECTOS
DE LOS TERREMOTOS SOBRE TUBERIAS COLOCADAS EN
CAMAS DE ROCA Y SEDIMENTOS NO CONSOLIDADOS

CAUSA DEL DADO	CAVAS	SEDIMENTOS NO CONSOLIDADOS	
		ROCA	GRAVO FINO (ARCILLA-ARENA) GRAVO GRUESO GRAVA
Levantamientos regionales	Ninguno a leve	Ninguno a leve	Ninguno a leve
Hundimientos regionales	Ninguno a leve	Ninguno a leve	Ninguno a leve.
Desplazamientos tectónicos y fracturas	Moderado a intenso	Moderado a intenso	Moderado a intenso
Fracturas (no tectónicas)	Leve	Moderado a intenso	Moderado
Movimientos sísmicos	Leve	Intenso	Moderado a intenso
Desplazamiento (rotacionales)	Moderado	Moderado a intenso	Moderado a intenso
Desplazamientos (traslacionales)	Ninguno	Intenso	Ninguno a leve
Desplazamientos laterales	Ninguno		
-Tuberías enterradas		Leve a moderado	Leve
-Tuberías expuestas		Moderado a intenso	Moderado
Asentamientos diferenciales	Ninguno	Moderado	Leve
Compacción	Ninguno	Moderado	Leve

CUADRO No. 3.5
 INTENSIDAD RELATIVA DE DATOS SOBRE TUBERIAS COLOCADAS EN
 CAMAS DE ROCA Y SEDIMENTOS NO CONSOLIDADOS

material y tipo de junta de la tubería; la tubería de asbesto cemento fué la más afectada y falló casi totalmente por cortante y por desplazamiento de sus juntas. Roturas similares ocurrieron en tuberías antiguas de hierro fundido de 2" y 4". Las tuberías de hierro fundido con junta de plomo, fallaron en sus juntas, desprendiéndose el tubo de la campana, las juntas de flanger (bridas) y dresser (unión flexible) se comportaron satisfactoriamente. El mejor comportamiento lo tuvo la tubería de hierro dúctil de diámetro igual o mayor de 16" con uniones de empaque de hule, en este caso la tubería no se fracturó sino que debido al movimiento se abrió la junta y se salió la espiga. El PVC se comportó satisfactoriamente, sus fallas se detectaron en las juntas. Los registros de localización de válvulas que la Empresa Aguadora tiene en planos a diferentes escalas y los archivos completos de sus características y de operación, contribuyeron a que el cierre de las válvulas de las tuberías afectadas fuera hecho con prontitud aunados al esfuerzo de varias personas que conocían la red.

Una investigación realizada en enero de 1973, reveló que el número de conexiones activas, o servicios domiciliarios, eran unas 18,000, o sea el 46% de las conexiones existentes antes del terremoto.

Las conexiones domiciliarias fallaron en número considerable por roturas, tanto aquellas que pertenecían a casas que fueron destruidas como a casas que permanecieron intactas y habitables. El mejor comportamiento lo tuvo las conexiones de tubos de cobre, luego la tubería de hierro galvanizado. La tubería de PVC sufrió fallas de desprendimiento con el medidor y la llave municipal. En muchas conexiones en tuberías de hierro fundido se desprendió totalmente la llave municipal afectando

tubería matriz. Se estima que un 75% de los servicios quedaron filtrando. En los Cuadros Nos. 6 y 7 se presenta el resumen de daños en las tuberías de conducción y distribución.

De los cuatro tanques de distribución de 2.5 MG (millones de galones) cada uno, dos de ellos de la zona de servicio de bajo y ubicado en el Barrio San Cristobal y los otros dos del servicio alto en el Reparto de Altamira, sufrieron daño en las juntas perimétricas del fondo, agrietamiento y cierto grado de asentamiento en las fundaciones de las paredes. Los tres tanques que contenían agua en 5/6 de su altura en el momento del sismo (un tanque de San Cristóbal estaba fuera de servicio - para ser limpiado y reparado) perdieron el agua a través de la junta perimétrica del fondo y a través de roturas en las conexiones de las líneas de conducción.

Los tanques fueron inspeccionados por varios especialistas, lo que dió lugar a varios informes (31).

En el kilómetro 8 de la Carretera Sur estaban localizados cuatro tanques de almacenamiento de acero (tipo Standpipe) de 162,000 galones cada uno.

Dos de ellos eran viejos de acero remachado de 1/5" de espesor. En el kilómetro 9 de la misma carretera, estaban dos tanques similares de acero de 126,000 galones, uno viejo remachado de 1/8" de espesor y el otro nuevo soldado de 1/4". Estos seis tanques de almacenamiento, pertenecen al servicioo alto superior. Los tres tanques viejos de paredes delgadas sufrieron deformación, achatándose en la parte inferior y separándose las líneas de entrada y salida ".

DIAMETRO	MATERIAL	LONGITUD (DIC 72)	No. DE FALLAS	FALLAS POR Km
		Metros		
1"	H.G	2.294	6	2.6
	P.V.C	2.689	-	-
2"	H.G	49.287	55	1.1
	P.V.C	73.911	-	-
	H.F.	2.107	-	-
3"	A.C	7.245	2	0.2
	P.V.C	37	-	-
	H.F	7.027	17	2.4
4"	A.C	207.918	217	1.3
	P.V.C	360	-	-
	H.F	22.409	43	1.9
6"	A.C	88.710	103	0.1
	H.F	15.042	12	0.8
8"	A.C	19.775	15	0.7
	H.F	7.027	29	4.1
10"	A.C	1.135	-	-
	H.F	676	1	1.4
12"	A.C	5.643	2	0.3
	H.F	37.010	5	0.1
14"	H.F	610	-	-
16"	H.F.	15.501	3	0.2
18"	H.F	60	-	-
24"	H.F	12.100	8	0.6
30"	H.F	2.581	-	-
		581.154		

H.G = Hierro Galvanizado, P.V.C = Cloruro de polivinilo, A.C = Asbesto Cemen-
to y H.F = Hierro fundido.

CUADRO No. 3.6

EFFECTOS DE TERREMOTO DE MANAGUA, NICARAGUA DE 1972 EN LAS
TUBERIAS DE CONDUCCION Y DISTRIBUCION

De la referencia (31) se extracta lo siguiente sobre los efectos del mismo terremoto de Managua: " Las fallas en las tuberías de agua - fueron causadas principalmente por movimientos de la tierra laterales y verticales que llegaron en algunos sitios hasta 10 y 20 centímetros. Las fallas en tuberías de asbesto cemento fueron más que - todo fallas en cortante. Fallas similares se presentaron también en tuberías viejas de hierro fundido de 2" y 4" de diámetro. Las fallas en tuberías de diámetros mayores de hierro fundido y dúctil, no fueron causadas por roturas, sino más bien por separación de las uniones. Las fallas en las tuberías de servicios o conexiones domiciliarias, ocurren en la válvula de corporación y en las conexiones a la caja del medidor ".

También en un informe (5) sobre los daños causados por el terremoto de Guatemala en 1976, de magnitud 7.2 grados en la escala Richter, se extracta lo siguiente referente a las redes de distribución de agua potable: " Los daños más relevantes en las redes de distribución por su magnitud y número de roturas fueron a lo largo de fallas visibles y en otros sectores donde no tenían el anclaje correcto. La forma y número de roturas dependió principalmente del material y del tipo de unión en las tuberías. La tubería más afectada fue la de asbesto cemento, siguiendo en orden la de hierro fundido de campana y espiga de plomo. El mejor comportamiento lo tuvo la tubería de hierro dúctil y la tubería plástica de PVC se comportó también muy satisfactoriamente. Las fallas ocurridas en las tuberías de hierro fundido se debieron al desplazamiento longitudinal provocado por el sismo que desalojó el extremo de la espiga, las juntas mecánicas de los accesorios se comportaron -

satisfactoriamente debido a su flexibilidad y en las juntas de flanger (bridas) de las válvulas y en las juntas dresser (uniones flexibles) - no se detectaron fallas.

Con respecto a la tubería de asbesto cemento, se comprobó que fueron las más afectadas, reportándose muchos daños, consistiendo estas roturas en las coplas o accesorios debido a choques de los extremos de los tubos - con dichas juntas. Las conexiones domiciliarias fallaron en número considerable, manifestando mejor comportamiento la tubería de cobre que hace muchos años era la más usual, siguiendo la tubería de hierro galvanizado, fallando en partes oxidadas expuestas a esfuerzos, la tubería de PVC sufrió fallas de desprendimiento con la llave municipal, posiblemente por estar mal instalada en la caja de medidor y en algunos casos donde se hace la toma de abonado por falta de una adecuada abrazadera inoxidable. Los tanques que tienen muros de mampostería y que estaban llenos al momento del terremoto, debido a la hora del mismo, 3.30 de la mañana, fueron seriamente dañados, comprobándose que los que se encontraban vacíos sufrieron daños menores relativamente a los que estaban llenos.

Los daños en los tanques de almacenamiento consistieron en grietas visibles en las paredes más o menos verticales y muchas localizadas en las esquinas, dichas grietas profundas afectaron seriamente la estructuras del tanque.

Los tanques con losa de concreto y muros donde están conectados entre ellos y se previó junta deslizante (plástico o chapopote) no sufrieron daños en sus partes.

El piso de la mayoría de los tanques son de mampostería y son independientes de los muros, estas juntas fallaron durante el sismo provocando fugas de agua en el fondo del tanque ocasionando deslaves del suelo de fundación abajo del piso ".

Un informe (5), sobre el terremoto que azotó la ciudad de Los Angeles en California el 9 de febrero de 1971 reporta que los daños en las tuberías de entrada y salida en tanques y estaciones de bombeo, se debieron principalmente a falta de flexibilidad en las uniones.

En las Figuras Nos 3.2 y 3.3, tomadas de la referencia (46), se presentan los resultados de un informe de vulnerabilidad sobre reservorios, tanques y pozos de succión, llevado a cabo por el Departamento de Agua y Energía de la Ciudad de Los Angeles, sobre su sistema; las figuras se explican por sí solas, y constituyen una guía sobre los aspectos de atención en análisis de este tipo.

En las áreas propensas a la actividad sísmica es necesario analizar la vulnerabilidad sísmica de las tuberías colocadas, y conocer la mecánica del comportamiento de las tuberías a las ondas sísmicas para efectos de diseño.

En el Cuadro No. 3.7 se presenta un resumen de los posibles efectos de un terremoto sobre los sistemas de acueducto y alcantarillado.

EFECTO	COMPONENTES AFECTADOS	ORIGEN
Daños a las estructuras	Presas y estructuras de captación; plantas de tratamiento (tanques y estructuras de floculadores, sedimentadores y filtros); estaciones de bombeo; pozos; tanques de almacenamiento; edificaciones (oficinas, almacenes).	<ul style="list-style-type: none"> - Sismos y movimientos del suelo - Colapsos de estructuras adyacentes - Deslizamientos - Avalanchas de agua y lodo - Fallas en anclajes
Daños a estructuras sub-superficiales	Tuberías (uniones rígidas), alcantarillas; tanques sépticos; letrinas.	<ul style="list-style-type: none"> - Tuberías en suelos sueltos, rellenos, atravesando fallas (acción cortante), desplazamientos, asentamientos diferenciales.
	Pozos	<ul style="list-style-type: none"> - Edificaciones caídas
Cambios en capacidad y producción de agua	Presas	<ul style="list-style-type: none"> - Daños en tuberías de ademe - Asentamientos y fracturas del suelo
	Pozos	<ul style="list-style-type: none"> - Cambios en la capacidad de almacenamiento y permeabilidad de los acuíferos
	Corrientes de agua	<ul style="list-style-type: none"> - Cambios en los niveles de agua - Desvíos por bloques

EFECTO	COMPONENTES AFECTADOS	ORIGEN
Daños por salida de operación de equipos	Hidrantes, válvulas	- Operaciones de limpieza con equipo pesado.
	Conexiones domiciliarias	- Roturas y bloqueos
Falta de energía	Plantas de tratamiento (equipos eléctricos de dosificación, mezcla, floculación y bombeo)	- Daños en plantas eléctricas
	Estaciones de bombeo	- Líneas de energía dañadas
	Controles automáticos	- Fallas de electricidad
	Comunicaciones	
Fallas en otros servicios de soporte	Operaciones (estaciones de bombeo y plantas de tratamiento)	- Bloqueos en carreteras y calles
		- Interrupción del servicio telefónico
		- Falta de personal, respuestos, suministros y equipo
Sobrecarga a los sistemas (especialmente al abastecimiento de agua)	Sistema de distribución	- Desplazamientos de población.
Incremento de riesgo de incendios	Sistema de distribución	- Interrupción en el abastecimiento de agua
Contaminación del agua	Pozos, sistemas de distribución, alcantarillas, drenajes y descargas	- Incremento de la percolación del agua superficial

EFECTO	COMPONENTES AFECTADOS	ORIGEN
		<ul style="list-style-type: none"> - Fugas de alcantarillados - Incremento en la turbiedad del agua superficial - Bloqueo de alcantarillas sanitarias y de drenaje, con el consecuente retroflujo.

CUADRO No. 3.7

EFFECTOS POSIBLES DE LOS TERREMOTOS SOBRE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO