

9. EVALUACION DE LA AMENAZA SISMICA.

Para efectuar la evaluación de la amenaza sísmica, es necesario contar con una base de datos sísmicos completa y con registros instrumentales; además, se debe tener un buen conocimiento de la situación geotectónica de la región, con el fin de poder asociar los eventos sísmicos con las fuentes que han sido previamente definidas.

Para este proyecto en particular, se utiliza el programa EQRISK, el cual es un método probabilístico.

El programa se basa en modelos de recurrencia y ocurrencia temporal de los sismos, los cuales se analizan por fuente y según los diferentes grados de magnitud y tomando en cuenta la distancia entre la fuente y el sitio analizado. El efecto de esta distancia se toma en cuenta a través de una relación de atenuación (ver capítulo 4.1.3).

Finalmente, se hace un análisis determinístico para estimar la aceleración máxima del terreno, provocada por un evento específico.

9.1 Base de datos sísmicos.

Una de las tareas más importantes en el inicio del proyecto, fue la decisión sobre la base de datos sísmicos que serviría de fundamento para el análisis del riesgo sísmico en el valle de la ciudad de Guatemala. Existen varias bases de datos sísmicos para el área del estudio y una de las tareas básicas fue la definición de los criterios de selección de la base adecuada para el proyecto.

Estos diferentes criterios se discuten con cada uno de los catálogos analizados.

Se contó con varios catálogos, a saber:

- catálogos telesísmicos del USGS
(Servicio Geológico de los Estados Unidos de América),
- catálogos sísmicos del INSIVUMEH,
- catálogo sísmico del CEPREDENAC,

- catálogos no instrumentales con base histórica.

Cabe señalar que los catálogos de datos instrumentales poseen, en general, información muy similar. Esto es de esperarse, pues todos registran los mismos sismos. Es conveniente resaltar que unos son más completos que otros. Además, otra consideración importante, es la uniformidad de los datos. Los métodos de determinación de los parámetros del sismo son uniformes al usar una misma base de datos.

Adicionalmente, el uso de diferentes catálogos de datos sísmicos, implica una transformación de datos, especialmente magnitud y profundidad.

Se obtuvo una copia en papel, del catálogo del USGS en el INSIVUMEH. Este catálogo cubre desde principios de siglo, hasta el 1 de diciembre de 1,989 e incluye datos de toda América Central. Lógicamente, la información en papel era prácticamente inútil para nuestro trabajo; por lo tanto, primero fue necesario escribir un programa adecuado para manejar los datos de acuerdo a los objetivos del proyecto. La primera discriminación se hizo en base a la longitud, únicamente se ingresaron aquellos datos que estuvieran comprendidos dentro de la zona de estudio (entre 88 y 92 grados de longitud Oeste). Con esta discriminación se eliminaron cerca de 6,000 registros. Los restantes 1,647 registros, fueron ingresados a la base de datos.

En un principio, se pensó en utilizar esta base de datos como la principal herramienta del trabajo del proyecto; sin embargo, al hacer la primera gráfica regional con los sismos, surgió un problema; por obtenerse una copia en papel la aproximación de las coordenadas siempre fue a un decimal; esto hacía que fuera muy difícil el asignar los sismos adecuados a cada fuente sismogénica. Después de esto, se tomó la decisión de utilizar la base de datos de CEPREDENAC como la principal y utilizar la base de datos del USGS como medio de corroboración y revisión.

La base de datos del CEPREDENAC se obtuvo directamente de esta entidad en un diskette. El programa, también en dBase III+, ya existía. El catálogo cubre desde el 20 de enero de 1,904 hasta el 2 de agosto de 1,988 y sus datos se obtuvieron de otros catálogos y bases de datos: GUTE, ISS, OTT, CGS, TAC, BCIS, SYKES, PDE, BOG, USCGS, ISC,

SSS, TRN y NEIS.

Para efectos de estimación de amenaza, se ha considerado un período de 25.42 años (del 24/02/1963 al 02/08/1988).

En el anexo II se presenta la base de datos (simplificada).

Este proyecto evalúa la amenaza sísmica asumiendo que la capa superficial de la tierra es roca; es decir, no se toman en cuenta los efectos locales del suelo.

9.2 Programa "EQRISK". (Método probabilístico)

El programa EQRISK es un programa de computadora que se utilizó para efectuar la última etapa del análisis de la evaluación sísmica del valle.

La teoría sobre la cual se basa el programa EQRISK, fue desarrollada durante varios años por varios autores: Cornell, 1,968 y 1971; y Merz McGuire (1,976) con base en la teoría previamente derivada por Cornell (1,968).

De acuerdo a Cornell, y a Shah et al. las ventajas de el programa EQRISK comparado con otros programas similares son:

1. Las especificaciones de las áreas-fuente son bastante generales; virtualmente, se puede especificar cualquier geometría de un área-fuente por los cuadriláteros que se usan en EQRISK.
2. La especificación de las áreas-fuentes es independiente del sitio que se investiga; por lo tanto, diferentes sitios o conjuntos de sitios pueden ser evaluados usando solamente una especificación de área-fuente.
3. El tamaño del programa es relativamente pequeño. No se incurre en ninguna disminución en la memoria disponible de la computadora al analizar una rejilla de

Archivo CINST3.WKj
Sismos Instrumentales

No.	LATITUDE	LONGITUDE	DEPTH	MS	MB
1027	15.9430	-88.4540	10.00	4.90	5.50
1028	14.2800	-91.5000	33.00	5.40	5.80
1029	13.9690	-91.4200	72.00	4.90	5.50
1030	13.0730	-88.8060	80.00	5.80	6.00
1031	13.1550	-89.9480	33.00	4.80	5.70
1032	13.8270	-89.1180	7.00	5.80	5.90
1033	13.7920	-89.1580	5.00	5.30	5.70
1034	13.3260	-90.1180	45.00	5.60	5.90
1035	13.3660	-90.4330	48.00	4.80	5.40
1036	14.4570	-91.6550	89.00	5.50	5.80
1037	13.8770	-91.7160	69.00	5.40	5.80
1038	15.3350	-89.7530	5.00	5.20	5.60
1039	13.8270	-90.9950	70.00	5.10	5.60
1040	14.0710	-90.5440	93.00	5.40	5.80
1041	14.2440	-91.4790	80.00	5.30	5.70
1042	14.4390	-91.2790	88.00	5.20	5.60
1043	13.2200	-89.1270	58.00	5.20	5.70
1044	14.1140	-91.2140	86.00	5.20	5.60
1045	13.9130	-89.6790	133.00	5.30	5.70
1046	13.4320	-89.4320	33.00	5.30	5.70
1047	13.9110	-91.8570	48.00	5.20	5.70
1048	14.0490	-91.3140	81.00	5.50	5.80
1049	13.3960	-89.5300	67.00	4.00	5.50
1050	14.1550	-91.4260	65.00	5.20	5.70
1051	13.1610	-88.6580	55.00	5.30	5.70
1052	14.0170	-91.1970	69.00	5.40	5.80
1053	15.3080	-89.1500	10.00	5.20	5.60
1054	13.6310	-91.5870	53.00	5.50	5.80
1055	13.3070	-90.2250	33.00	5.20	5.60
1056	14.2360	-89.8870	117.00	5.60	5.90
1057	13.2860	-89.7120	71.00	5.70	5.90
1058	13.4910	-89.4620	33.00	5.20	5.70
1059	13.5400	-91.4200	165.00	5.80	6.00
1060	14.1900	-91.5200	33.00	5.40	5.80

sitios, pues cada sitio es considerado y analizado secuencialmente. Usando una cantidad moderada de espacio de memoria, las áreas sismogénicas fuente pueden especificarse para áreas grandes y los sitios de análisis pueden variarse a conveniencia.

4. Un intercambio óptimo entre exactitud y eficiencia puede lograrse a través de una variación del número de corridas usadas en la integración numérica en función de la distancia sitio-fuente.
5. Una alternativa opcional del programa permite que se use cualquier forma de la función de atenuación y distribución residual. Aún es posible usar una función en forma tabular.

Los cálculos del programa se pueden representar en su forma más fundamental por medio del "teorema de probabilidad total":

$$P[A] = \int \int p[A:s \text{ y } r] f_e(s) f_r(r) ds dr$$

donde P indica probabilidad, A es el evento cuya probabilidad se desea calcular, S y R son variables continuas, independientes, aleatorias que influyen a A. En otras palabras, la probabilidad de que A ocurra puede calcularse multiplicando la probabilidad condicional de A dados los eventos s y r, multiplicado por las probabilidades independientes de s y r, e integrando sobre todos los posibles valores de s y r.

En este programa, A puede representar la Intensidad de la Escala de Mercalli Modificada, aceleración pico del terreno, velocidad espectral u otros parámetros. Las variables s y r representan tamaño del sismo y distancia del sitio investigado respectivamente.

Bajo la opción principal del programa, la probabilidad condicional de que la Intensidad (I) aleatoria exceda un valor i en un sitio dados s y r es evaluado usando una distribución normal; esta distribución ha sido usada para una gran variedad de medidas de intensidad del movimiento del

terreno por varios investigadores.

El promedio de la distribución (condicional) de intensidad se toma como:

$$mI(S,R) = C1+C2S+C3\ln(R+ro)$$

donde $c1$, $c2$, $c3$ y ro son constantes, S es el tamaño del sismo y R es la distancia epicentral o hipocentral. La mayoría de las funciones de atenuación disponibles (McGuire, 1976) son de esta forma o pueden convertirse. El programa calcula la integración sobre la distancia numéricamente, por lo tanto, la forma del término distancia en la ecuación anterior no es crítica.

El programa es relativamente sencillo de operar. Los datos necesarios para su funcionamiento son (mínimo):

- coordenadas de las fuentes y subfuentes. Las fuentes deben ser cuadriláteros, pero para mayor flexibilidad, cada fuente puede ser dividida en hasta 10 subfuentes. A su vez, cada subfuente debe ser también un cuadrilátero de forma irregular. Sin embargo, se necesita que cada subfuente tenga por lo menos un lado común con otra subfuente adyacente. El programa usa un sistema arbitrario de coordenadas cartesianas (UTM, por ejemplo) pero, puede ser fácilmente modificado para usarse con coordenadas geográficas (latitud y longitud);
- las tasas de ocurrencia de cada fuente deben ser ingresadas de acuerdo a la ecuación propuesta por Richter en 1958:
$$\text{Log}(N) = a - bM$$
- coordenadas del sitio donde se desea estimar la amenaza sísmica.
- además, existen otras variables que deben ser ingresadas por el operador, pero que sirven para controlar una serie de factores propios de la operación del programa (por ejemplo: número de iteraciones, títulos, probabilidades de excedencia deseadas para un sitio en especial, etc.).

Una parte del programa que merece mencionarse es la forma en que se calcula la distancia entre cada fuente y el sitio de investigación. Si la distancia entre las coordenadas de una fuente y el sitio es menor de 100 km, se divide la fuente en una serie de arcos (NSTEP) a los cuales se les asigna una tasa de actividad proporcional a su área. Cuando la distancia entre el punto más cercano de un cuadrilátero al sitio de investigación es mayor de 100 km, pero menor de 250 km, se divide el área en un número de arcos igual a la mitad del caso anterior (NSTEP/2). Cuando la distancia entre el punto más cercano de un cuadrilátero al sitio de investigación, es mayor de 250 km, pero menor de 500 km no se realiza ningún cálculo numérico, la actividad se le asigna al punto situado en el centro del área. Finalmente, el programa desprecia (no toma en cuenta) la influencia de fuentes cuyo punto más cercano estén a más de 500 km.

Otros parámetros necesarios para la evaluación probabilística son, como ya se mencionó, las relaciones de frecuencia-magnitud (recurrencia), los modelos de ocurrencia temporal de los sismos y la relación de atenuación.

Para estimar la recurrencia fueron obtenidos valores "b", para cada una de las fuentes, siendo este la pendiente de la curva frecuencia-magnitud. (Figuras de 9.1 a 9.11). Es de hacer mención que este valor fue obtenido utilizando una base de datos sísmicos con 9 años de registro efectivo, que comprende de 1984 a 1993. Esta base es la que actualmente está en uso en el Departamento de Sismología del INSIVUMEH y se usó debido a que contiene también un número de datos suficientes para el cálculo de "b".

El modelo de Poisson (ocurrencia temporal) y la relación de atenuación propuesta por Esteva & Villaverde (1973, en McGuire, 1976) son los otros parámetros utilizados. Se usó la ecuación de Esteva & Villaverde, puesto que ha sido usada en estudios de amenaza en el área centroamericana (Morán, 1989 y Kiremidjian, 1977) y porque se carece de datos a nivel local para poder establecer una ecuación específica para Guatemala.

En el anexo I se presenta el archivo de salida del programa EQRISK, haciéndose los siguientes comentarios:

- Como datos de entrada aparecen, entre otros, quince (15) fuentes sísmicas con sus respectivas

características: magnitud máxima y mínima analizada. Beta ($\beta = b \cdot \ln 10$), la tasa anual de sismos, la profundidad promedio a la que ellos ocurren y las coordenadas de las fuentes en un eje cartesiano.

- Se tienen quince fuentes, porque fue necesario dividir en dos segmentos algunas de ellas (Motagua, Polochic, Jocotán y la zona de subducción somera) por una restricción del programa.

- El punto geográfico a investigar se ubica en las coordenadas siguientes: 14° 38' 24" latitud norte 90° 30' 36" longitud oeste que corresponden al Centro de la ciudad de Guatemala.

- El número de iteraciones, probabilidades deseadas, títulos y otras variables fueron ingresadas a criterio del operador.

9.3 Método determinístico.

Para el cálculo de aceleración por el método determinístico, es necesario contar con una ecuación de atenuación adecuada y confiable; lamentablemente por carecerse de registros de acelerógrafos no ha sido posible establecerla.

Se evaluará con dos ecuaciones de atenuación distintas, utilizadas en otros estudios y lugares, para un evento de magnitud (M_b) 5.70 a una distancia hipocentral de 30.42 Km. del sitio a investigar. Este es un evento provocado por fallamiento local, sistema de fallas Mixco-Pinula, (en un período de 25.42 años).

- Ecuación propuesta por Esteva & Villaverde (1973, en McGuire, 1976)

$$a = 5,600 \exp (0.8 * M)$$

$$-----$$

2

$$(R + 40)$$

$$M = \text{Magnitud} = 5.70$$

$$R = \text{Dist. en Km} = 30.42$$

$$a = \text{aceleración en cm/seg}^2$$

$$a = \frac{5,600 \exp(0.8 \cdot 5.70)}{(30.42 + 40)^2} = 107.94 \text{ cm/seg}^2$$

- Ecuación propuesta por Taylor Castillo et al (1992) para Centroamérica:

$$\ln(a) = 0.339 + 0.455M - 0.67 \ln R - 0.00207 R$$

$$M = \text{Magnitud} = 5.70$$

$$R = \text{Distancia en Km.} = 30.42$$

$$a = \text{Aceleración en m/seg}^2$$

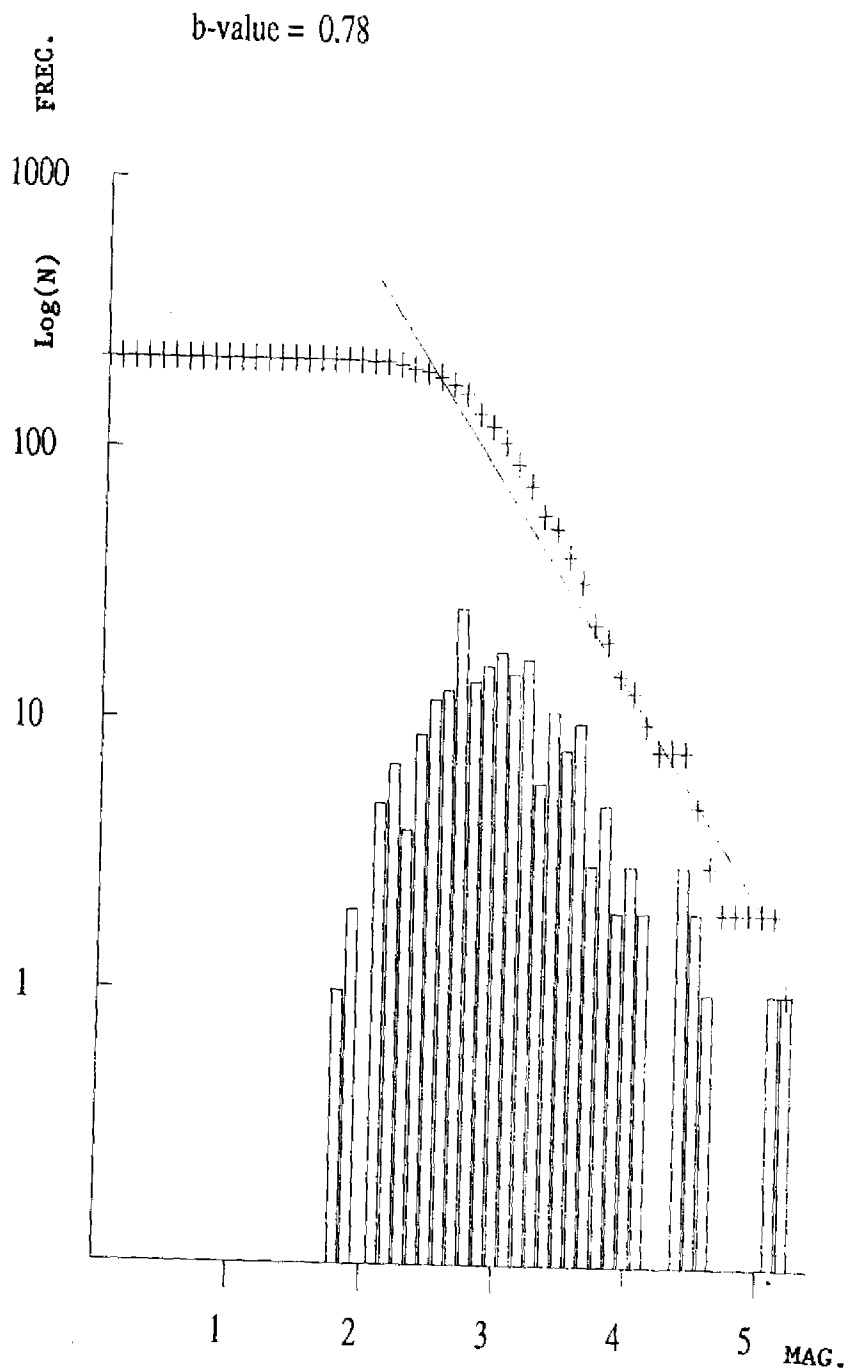
$$\ln(a) = 0.339 + 0.455(5.70) - 0.67 \ln(30.42) - 0.00207 (30.42)$$

$$a = e^{0.58}$$

$$a = 1.78856 \text{ m/seg}^2$$

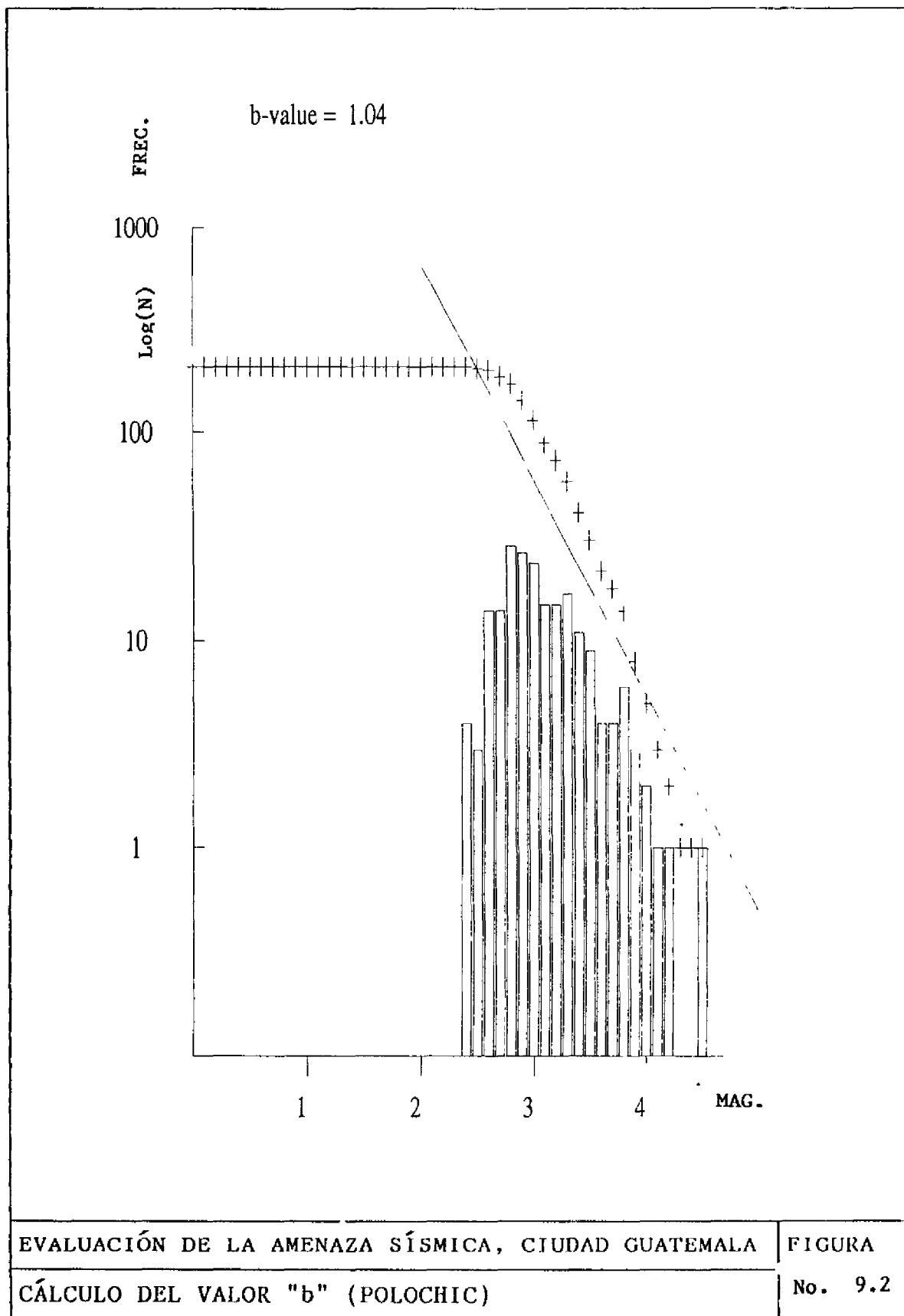
$$a = 178.86 \text{ cm/seg}^2$$

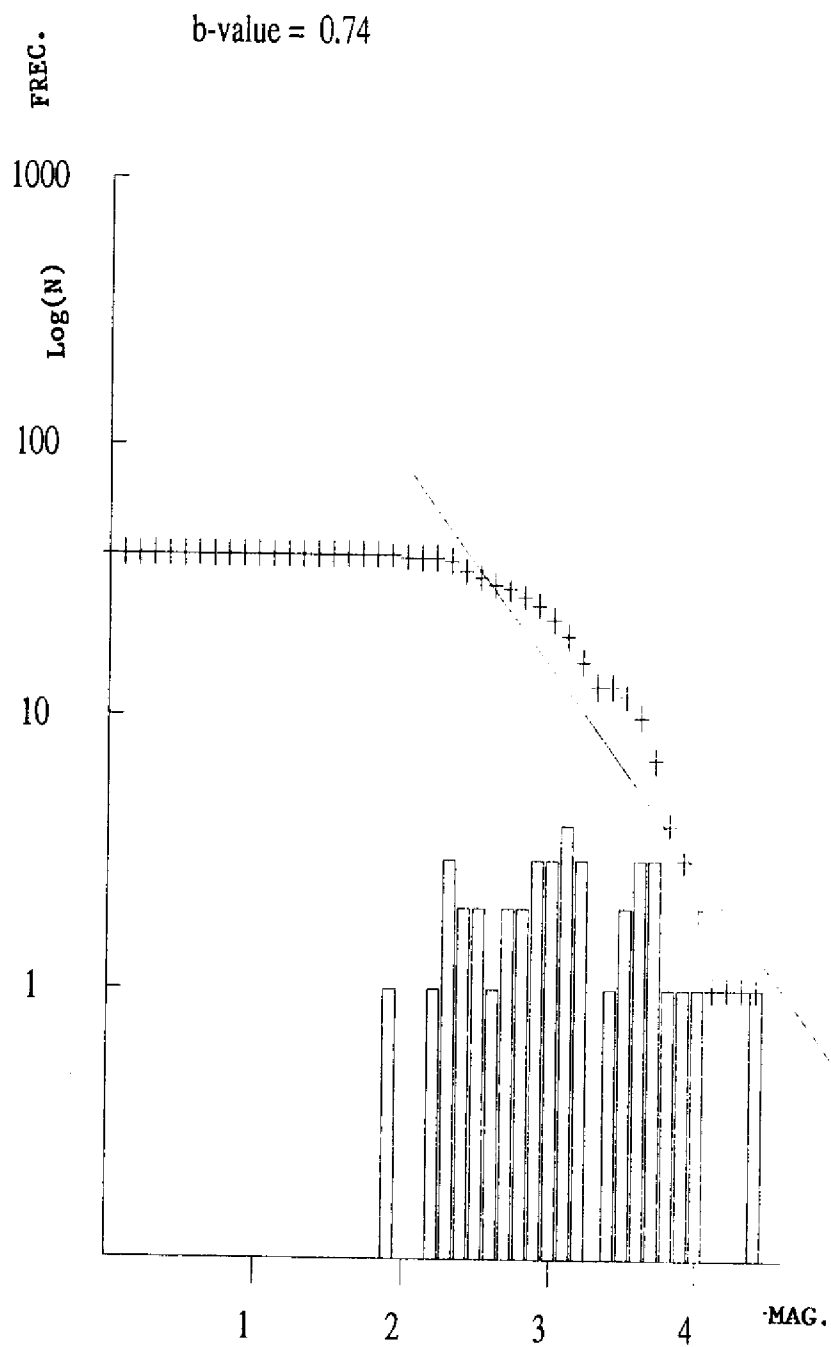
De los resultados obtenidos se puede observar que la segunda ecuación proporciona valores 65% más altos que la primera, lo cual permitirá que se use la ecuación de Taylor para aspectos de diseños con criterios más conservadores.



EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA, CIUDAD GUATEMALA
 CÁLCULO DEL VALOR "b" (MOTAGUA)

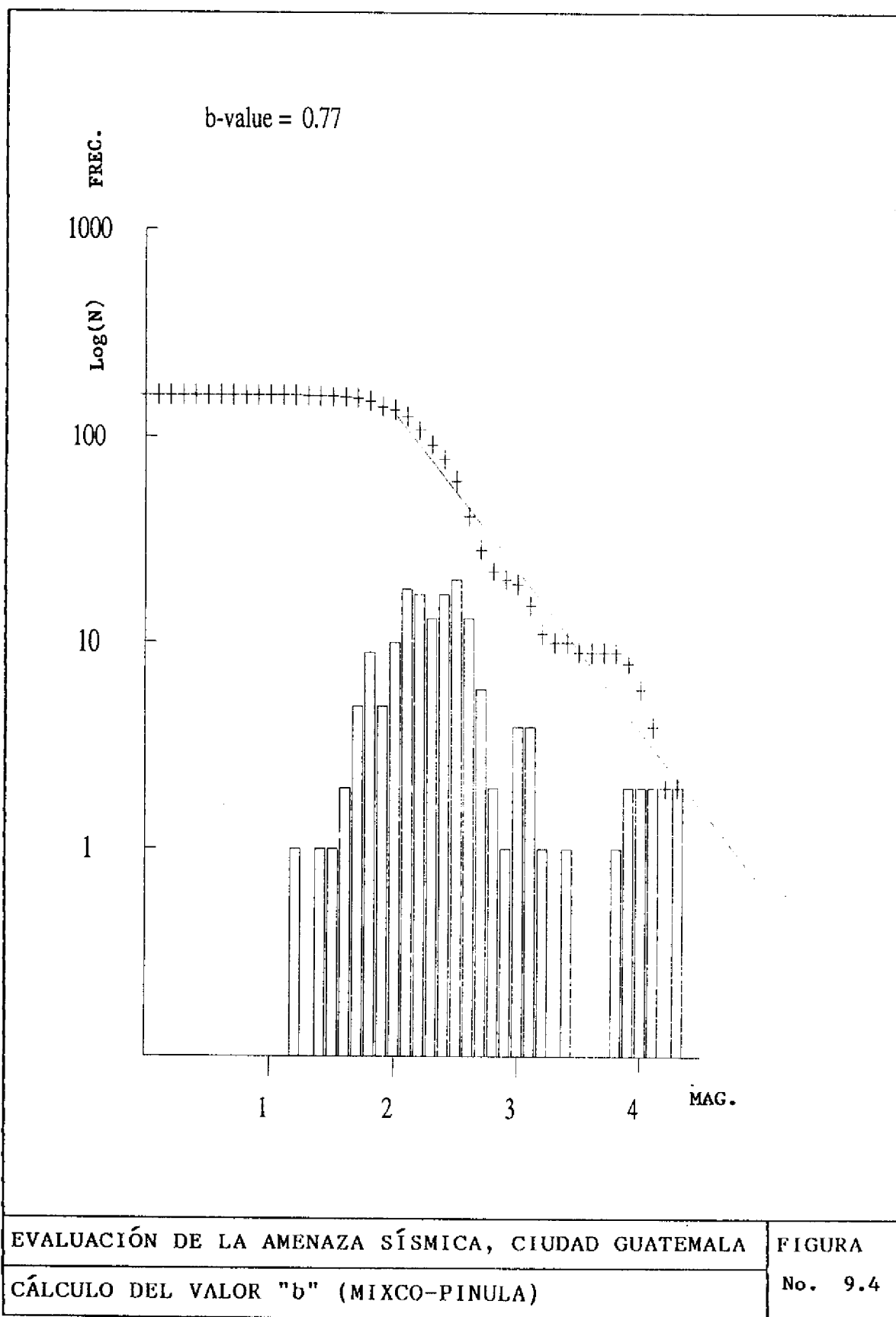
FIGURA
 No. 9.1

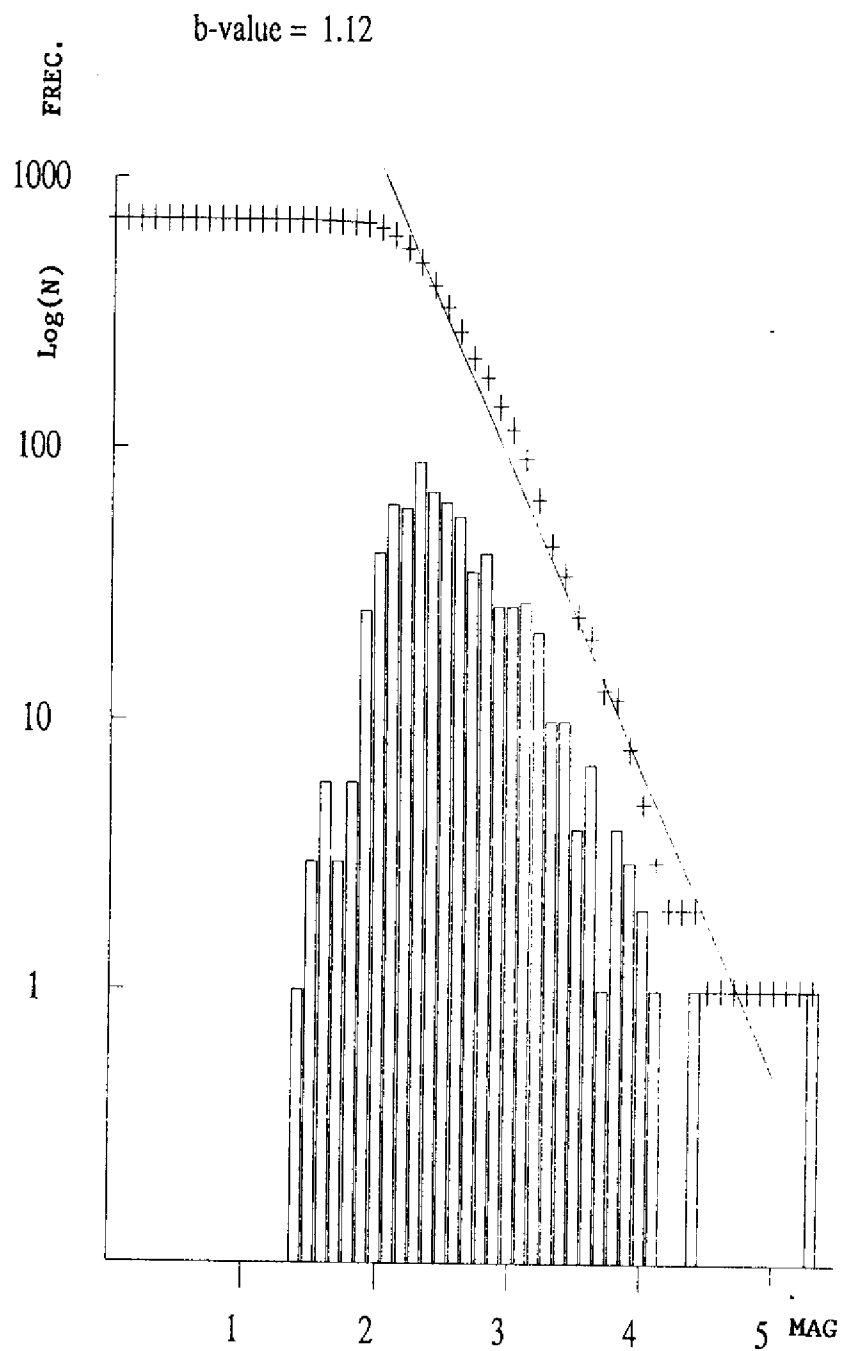




EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA, CIUDAD GUATEMALA
CÁLCULO DEL VALOR "b" (JOCOTÁN)

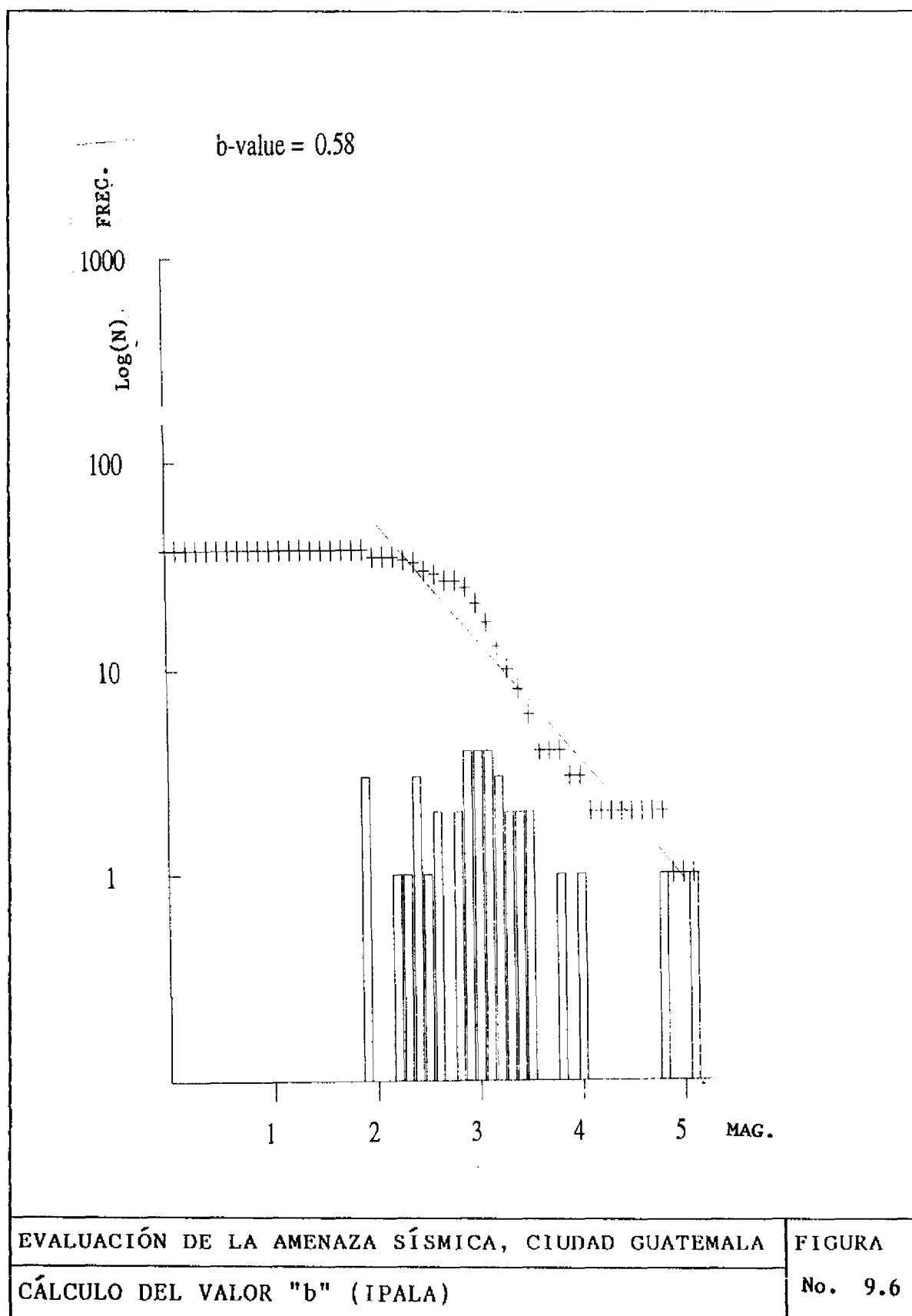
FIGURA
No. 9.3

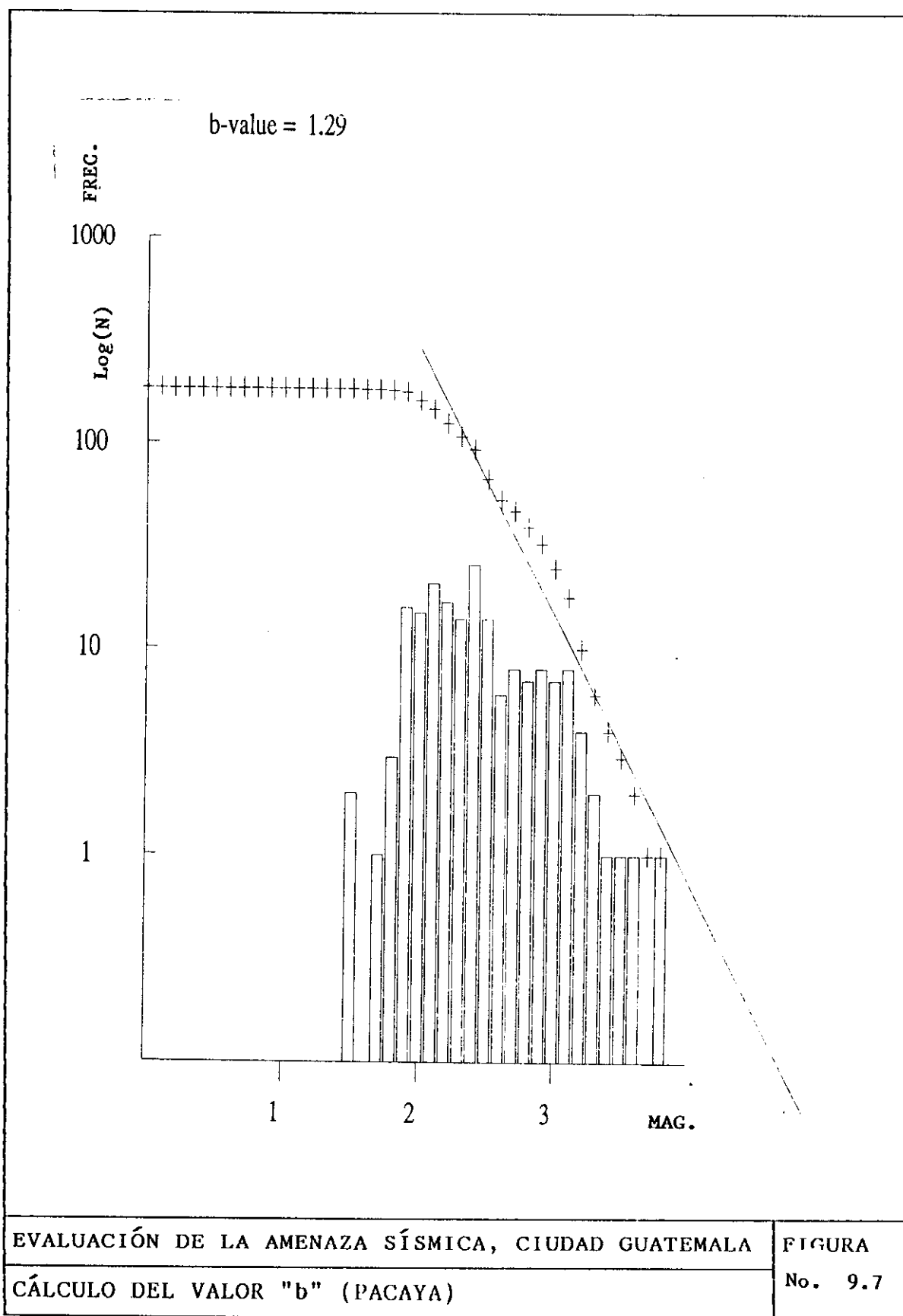


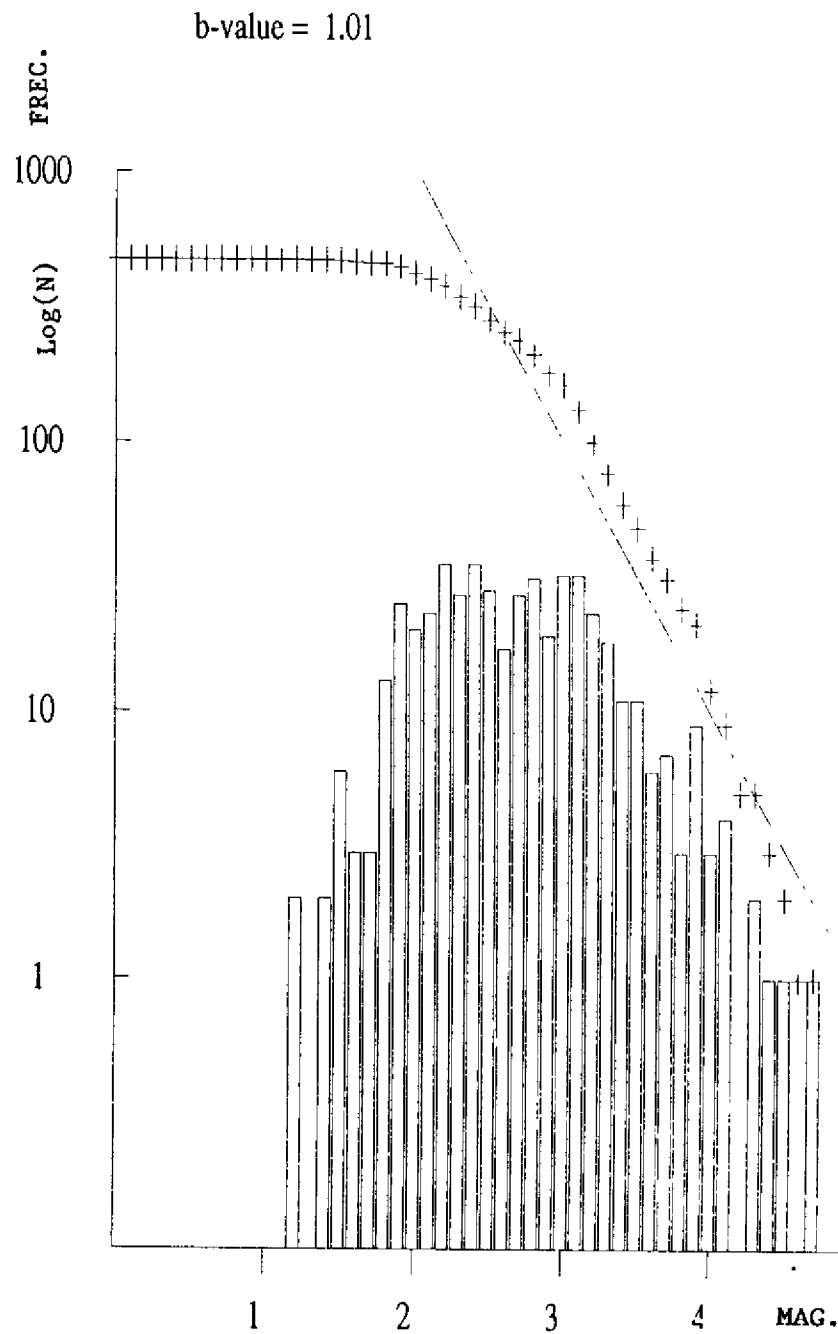


EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA, CIUDAD GUATEMALA
CÁLCULO DEL VALOR "b" (JALPATAGUA)

FIGURA
No. 9.5

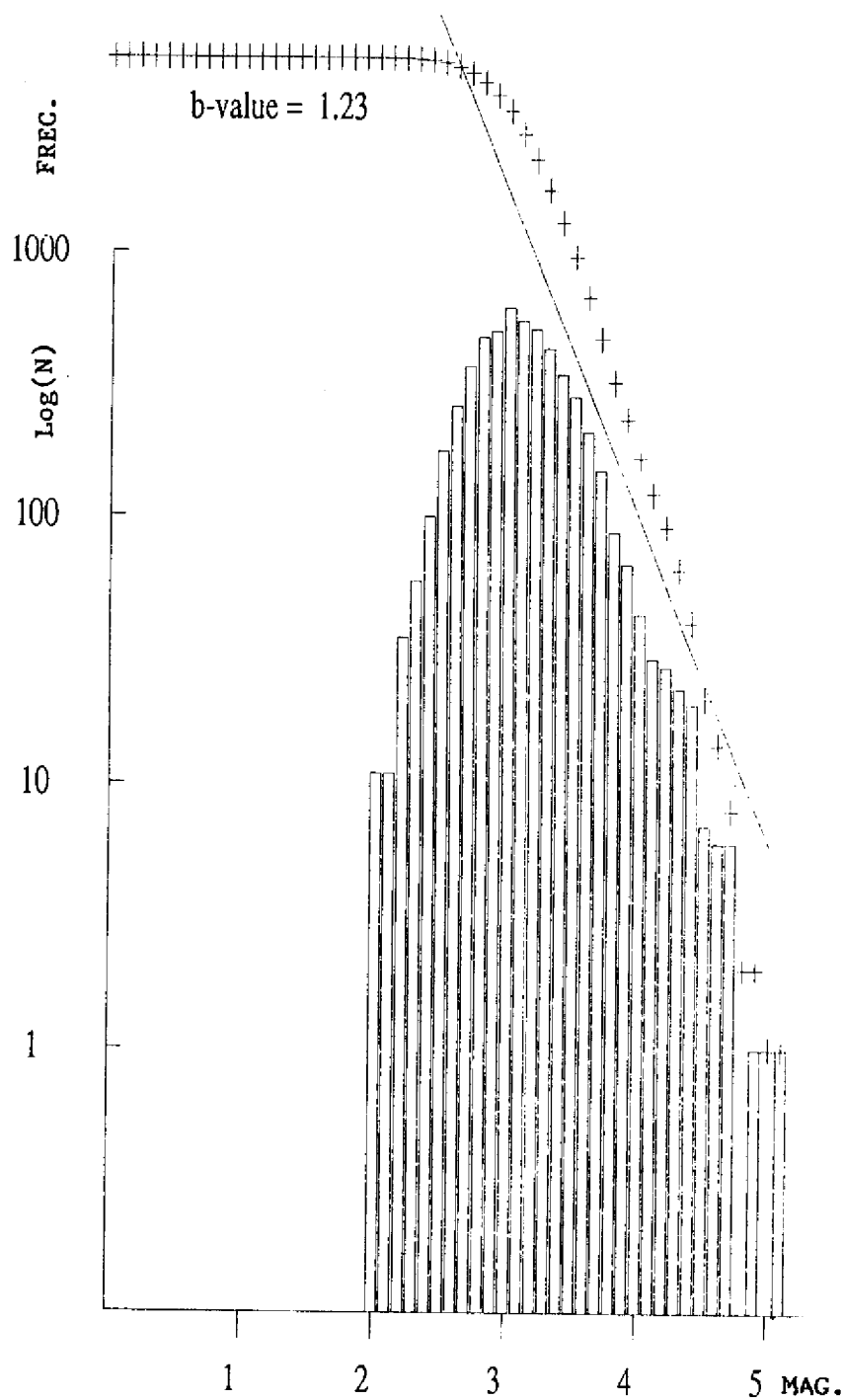




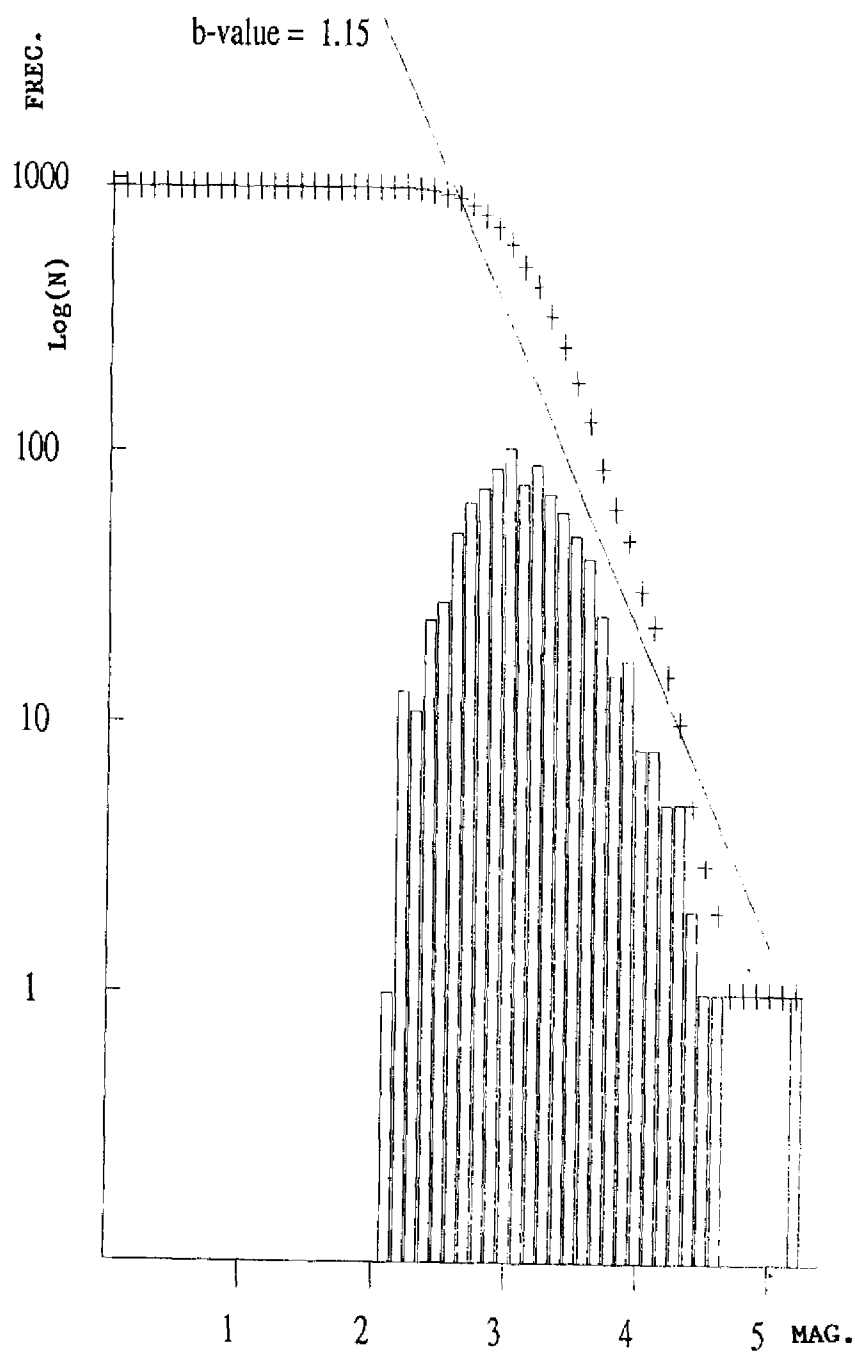


EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA, CIUDAD GUATEMALA
CÁLCULO DEL VALOR "b" (FAJA VOLCÁNICA O.)

FIGURA
No. 9.8

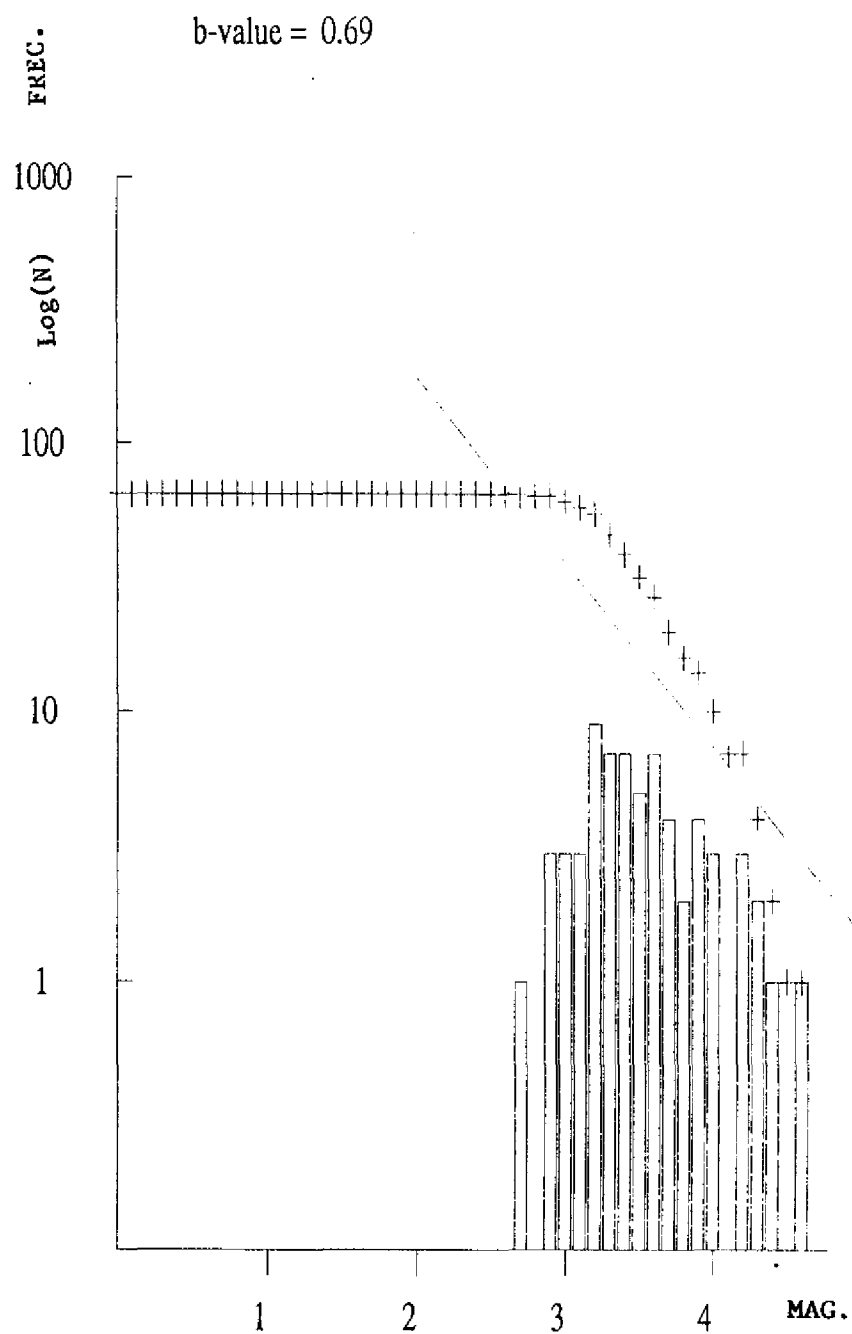


EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA, CIUDAD GUATEMALA	FIGURA No. 9.9
CÁLCULO DEL VALOR "b" (SUBDUCCIÓN SOMERA)	



EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA, CIUDAD GUATEMALA
CÁLCULO DEL VALOR "b" (SUBDUCCIÓN PROFUNDA)

FIGURA
No. 9.10



EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA, CIUDAD GUATEMALA
CÁLCULO DEL VALOR "b" (IXCÁN)

FIGURA
No. 9.11

10. PRESENTACION DE RESULTADOS

10.1 Método probabilístico

La salida del programa EQRISK se interpreta como sigue:

Probabilidad anual de excedencia	0.1	0.01	0.02	0.05	0.001	0.002	0.005
Período de retorno (años)	10	100	50	20	1,000	500	200
Aceleración ² (cm/seg)	151.19	279.14	235.03	187.23	473.73	407.40	333.75

Una obra civil se diseña para un determinado período de tiempo (vida útil). Se puede escoger una aceleración y ver la probabilidad de que esta sea excedida.

Por ejemplo, si tomamos una aceleración de 333.75 cm/seg² (período de retorno de 200 años) y calculamos la probabilidad de ser excedida en 50 años (vida útil de la obra), tendremos:

De acuerdo a la ecuación presentada en el capítulo 4.1.4:

$$q = 1 - \exp(-L/T)$$

T = Período de retorno

L = Vida útil (años)

q = Probabilidad de ser excedida

$$q = 1 - \exp(-50/200) = 0.22$$

Esto significa que existe un 22% de probabilidad que la aceleración de 333.75 cm/seg² sea excedida en un período de 50 años (o un 78% de probabilidad de no ser excedida).

Para efectos de diseño de una obra, lógicamente, trataríamos de que la probabilidad de que una aceleración sea excedida fuese la más baja posible.

10.2 Método determinístico

Mediante este método tenemos que, la aceleración máxima producida por un evento fue de 178.86 cm/seg² (utilizando la ecuación de Taylor Castillo et al, 1992).

Este valor fue calculado para un evento provocado por fallamiento local y registrado en una base de datos que cubre un período de 25.42 años.

10.3 Propuesta de la aceleración de diseño

Si se quiere diseñar una obra para una vida útil de 50 años, con un nivel de excedencia permisible (22%), se recurre al análisis probabilístico el cual propone una aceleración de diseño de 333.75 cm/seg².

Estimaciones similares podrían hacerse para obras con diferente vida útil.

El resultado del método determinístico podría utilizarse únicamente como parámetro de comparación por lo limitado, en tiempo, del registro.

11. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos por ambos métodos (probabilístico y determinístico) son útiles para el Ingeniero de diseño, ya que con los valores de aceleración sísmica es posible calcular la fuerza sísmica actuante en una edificación.
- El método determinístico da un único valor de aceleración y se calcula tomando un sismo escogido del registro, el cual es considerado como el que más daño podría provocar. Es necesario tener una ecuación de atenuación adecuada y confiable, y una base de datos que cubra el mayor período de tiempo posible (registros instrumentales).
- La probabilidad de que una aceleración dada, sea excedida en un determinado período de tiempo, son los resultados del método probabilístico. Con una base de datos limitada en tiempo (25.42 años) no es conveniente hacer extrapolaciones para grandes períodos de tiempo.
- Existe una gran cantidad de sismos que por su ubicación y magnitud poco precisas, fueron asignadas a una fuente determinada aplicando criterios geológicos.
- El programa EQRISK, utilizado en la evaluación probabilística, presenta una serie de características que lo hacen muy versátil. Durante la investigación se estableció que existen otros programas (FRISK, STASHA...) que persiguen el mismo fin.

12. RECOMENDACIONES

- Disponer de un catálogo completo de datos instrumentales de la red sismológica local.
- Instalar una red de acelerógrafos en el país para tener una documentación de respuesta en un sitio (espectro de diseño), además, para obtener una ecuación de atenuación apropiada.
- Realizar un análisis de incertidumbre (en el método probabilístico) para determinar como y hasta qué grado se pueden mejorar las estimaciones. La incertidumbre se presenta debido a: la relación de atenuación utilizada, el modelo estocástico, el uso de una base de datos (registro instrumental) limitada temporalmente y la geometría de las fuentes sísmicas.
- Es necesario identificar, en detalle, las características del subsuelo, tales como: velocidades de onda, frecuencias de resonancia, factores de amplificación, espesores de las capas y así iniciar los estudios de microzonificación sísmica. Los valores de aceleración dados en este estudio son para sitios en roca o suelo firme.
- Debe considerarse en un futuro estudio, la influencia de la topografía.
- Desarrollar este tipo de estudios en otras regiones del país.
- Integrar equipos de trabajo que involucren a personal de universidades y centros de investigación gubernamentales, para unificar esfuerzos y desarrollar proyectos en conjunto.

13. BIBLIOGRAFIA

- ALMENGOR. Adolfo. 1976. Terremoto en Guatemala: Revista. Unica edición. pp. 76
- Boletín de la Biblioteca Nacional, Manuscrito Nacional: los terremotos de 1,717 - 1,718. 1a. parte. No. 7 pp. 7.
- BOLT, Bruce A., 1981. Terremotos: Serie Reverté. Ciencia Sociedad. Editorial Reverté, S.A. Barcelona. pp. 180.
- BUCKNAM, R.C., 1977. Fault movement (afterslip) following the Guatemala earthquake of February 4, 1976. U.S. Geology. pp. 26.
- BUCKNAM, R.C., 1977. Surface faulting and displacements of the 1976 Guatemala earthquake. U.S. Geological Survey, Denver, Colorado. Vol. 9. No.2. pp. 18.
- CAMPBELL, M., and Kenneth W., 1985. Strong motion attenuation relations: a ten-year perspective: Earthquake spectra. Vol. 1, No.4. pp.82.
- CAMPBELL M., and Kenneth W., 1981. Near Source attenuation of peak horizontal acceleration: Bulletin of the seismological society of America. Vol.71, No. 6. pp.71.
- CARR, Michael J. y Stoiber, Richard E., 1977, Geological setting of some destructive earthquakes in Central America. Geological Society of America. Bulletin. pp. 12.
- CARR, Michael J., 1976, Underthrusting and quaternary faulting in northern Central America: Department of Geology, Rutgers College, New Jersey. pp. 10.
- Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central, 1990. Memorias del primer seminario taller sobre sismicidad de América Central: 26 al 29 de junio de 1989. CEPREDENAC. Edit. Aristóteles Vergara Muñoz. Guatemala. pp.62.

- Comité de Reconstrucción Nacional 1978. Simposio Internacional sobre el terremoto de Guatemala, del 4 de febrero de 1976 y el proceso de reconstrucción: 32 tomos. Edit. Impresos Industriales. Guatemala. pp. 700.
- CUNINGHAM, Charles G., et.al., 1984. Earth and water resources and hazards in Central America: Geological Survey. pp. 172.
- ESPINOSA, A.F., 1977, The Guatemala earthquake of February 4, 1976: U.S. Geological Survey. Denver, Colorado. Vol. 9. No.2. pp. 5.
- ESPINOSA, A.F., 1976, The Guatemala earthquake of February 4, 1976 a preliminar reporte: Geological Survey professional. United States Government. pp. 7.
- FACCILI, EZIO, 1986, Elementi per una guida alle indagini di microzonazione sismica: Consiglio Nazionale delle Ricerche. Roma. pp. 47.
- GONZALEZ CANO, Marcelino, 1986, Uspantán, una lección para el próximo desastre: Memorias del III Congreso Nacional de Arquitectura. Guatemala, pp.16.
- HARP, Edwin L., et al., 1981, Landslides from the February 4, 1976. Guatemala earthquake: United States Geological Survey, Washington. pp. 81.
- HOUSNER, G.W. and Jennings. P.C.. 1982. Earthquake design criteria: Earthquake engineering research institute, Stanford University. Stanford, California. pp.112.
- IDRIS, I.M., 1974, Effects of local geological and soil conditions on damage potential during earthquakes. 2nd. international congress of the international association of engineering geology, Sao Paulo, Brasil. pp. 51.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología-INSIVUMEH, 1980. Principios básicos para análisis e interpretación de sismogramas. Guatemala. pp.58.

CORNELL, A., 1968. Engineering seismic risk analysis. Bulletin of the Seismological Society of America, USA. pp.3.

- IZAGUIRRE MENDOZA, Miguel, 1979. sismos o terremotos y sus escalas: Observatorio astronómico. Universidad de Guanajuato. México. pp.92.
- KANAMORI, Hiroo and Steward, Gordon S., 1978, Seismological aspects of the Guatemala earthquake of February 4, 1976: Journal of Geophysical Research. pp. 57.
- KIREMIDJIAN, A., Shah, H. and Lubetkin L., 1977, Seismic hazard mapping for Guatemala, Stanford University, California, USA. 227 P.
- KRUSHENSKY, Richard-Cargill, Simon M. y Raines, Gary G., 1987, Desarrollo de recursos minerales, energía, agua y mitigación de riesgos geológicos en Centroamérica. U.S. Geological Survey. pp. 242.
- LAPORTE PIRIE, María, 1985. Estudios recientes en la evaluación de la amenaza sísmica: III seminario nacional de Geotecnia, San José, Costa Rica. pp. 17.
- LAPORTE PIRIE, María y Mora, Sergio, 1988, Medición de los riesgos naturales: San José, Costa Rica. pp. 22.
- LIANO QUEZADA, Foscolo, 1983. Estudio y aplicación de aceleración sísmica en Guatemala: Tesis de graduación, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. pp.116.
- MCGUIRE, 1976. EQRISK, Evaluation of earthquake risk to site. United States Department of the Interior Geological Survey.
- MCNALLY, Karen C. y Minster J. Bernard, 1981. Nonuniform seismic slip rates along the middle America trench: Journal of geophysical research. Vol. 86. No.B6, pp. 38.
- MELGAR CHAVEZ, Oscar Alfredo, 1986, Análisis del origen de los sismos en Guatemala: Tesis de grado. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. pp. 117.

- MOLINA, Enrique, Juan Pablo Ligorria A. y M. Lautaro Ponce, 1988. Sismicidad de mayo de 1988 en la ciudad de Guatemala: Departamento de Sismología, Instituto de Geotecnia. UNAM, México, pp. 37.
- MOLNAR, Peter and Sykes, Lynn R., 1969. Tectonics of the Caribbean and middle America regions from focal mechanism and seismicity: Geological Society of America bolletin. pp.23.
- MONZON D., Héctor, 1984. Programa de cooperación técnica en ingeniería de terremotos: Instituto Nacional de Electrificación. Programa INDE-GTZ. Guatemala. pp.124.
- MORAN ORELLANA, Guillermo Napoleón, 1989. Evaluación de la amenaza sísmica para el área geotérmica de Berlín, El Salvador, América Central: Tesis de graduación, Licenciatura en Geología, Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Básicas, Escuela Centroamericana de Geología, San José, Costa Rica. pp.97.
- OLIVEIRA, Carlos, 1974, Seismic risk analysis: College of Engineering, University of California, Berkeley, California. pp.88.
- PLAFKER, George, 1976, Tectonic aspects of the Guatemala earthquake of 4 February 1976: American Association for the advancement of science. Vol. 193. pp 37.
- SAUTER F., Franz, 1989. Introducción a la sismología: Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica. pp.271.
- SCHWARTZ, David P. et al., 1979, Quaternary faulting along the caribbean north America plate boundary in Central America: Edit. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. pp. 41.
- SHAH, H.C., 1984, Fundamentals of probabilistic risk assessment: Earthquake engineering research institute, Stanford University. Stanford, California. pp. 133.

- TAYLOR CASTILLO, W., Santos, Pl. Dahle, A. and Bungam. H., 1992. Digitization of strong Motion Data and Estimation of PGA Attenuation. NORSAR NORWAY, 23 P.
- United States Geological Survey, 1964, The Alaska earthquake. pp. 64.
- VASSAUX, P., José, 1969, Cincuenta años de sismología en Guatemala: Ministerio de Agricultura. Dirección de recursos naturales renovables. Observatorio Nacional.
- VERE JONES, D., 1983, What are the main uncertainties in estimating earthquake risk: Bulletin of the New Zeland society for earthquake engineering. Vol. 16, No.1. pp.4.
- WEYL, R., 1980. Geology of Central America, Institut der Ybuversutat GieBen, Berlin, Alemania. 371 p.
- WHITE, Randall A., (s.f.) Catalog of historic seismicity in the vicinity of the Chixoy Polochic and Motagua faults, Guatemala. pp. 31.
- WHITE, Randal A., 1985, The Guatemala earthquake of 1816 on the Chixoy Polochic fault: Edit. Bulletin of the sismological society of America. Vol. 75. No. 2. pp. 23.
- WUNDERMAN, R., 1984, Amatitlán, an active resurgent caldera immediately south of Guatemala city: Thesis, Geology and Geological Engineering. pp. 103.