

## ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE INTERVALOS DE TIEMPO DE TEMBLORES SUCESIVOS EN LA CIUDAD DE MEXICO

Sergio G. FERRÁEZ \*

### RESUMEN

Se estudia la distribución observada de frecuencia de incidencia *versus* amplitud de intervalos de tiempo entre cualesquiera dos temblores sucesivos en la ciudad de México, con magnitud 3.5 y superior, para buscar una fórmula que exprese la relación frecuencia-amplitud.

Primera, para probar la incidencia al azar se discute la distribución de Poisson. Segundo, se demuestra que dos tipos de funciones teóricas tienen la forma requerida para ajustarse a la frecuencia observada, a saber: (1) la ley exponencial generalizada  $y = A \exp(B \log \Delta t)$ , (2) la curva semi-logarítmica  $y = a + b \log \Delta t + c (\log \Delta t)^2$ .

Finalmente, se concluye que tenemos una incidencia no al azar; por ello, parece que los temblores fuertes en la ciudad de México resultan de procesos tectónicos correlativos. Además, después que ha venido un temblor fuerte el intervalo de tiempo de espera para un nuevo temblor es de uno a 48 días.

### INTRODUCCION

Varios investigadores (Woollard, 1958) han expresado que la distribución geográfica de epicentros de temblores tiene significación geológica, debido a la asociación notada entre temblores individuales y el movimiento tectónico relativo observado.

La frecuente ocurrencia de temblores en la ciudad de México permite que se hagan útiles estudios sismotectónicos, pues las series de temblores consecutivos observados tienen aparentemente epicentros concentrados en una pequeña región. El área sísmica se extiende aproximadamente entre los 15° y 19°N y los 95° a 105°W. Así, parece importante investigar si cada temblor es un evento con alguna clase de interrelación típica en tiempo con otros temblores en la misma área sísmica.

Para realizar la investigación, es conveniente examinar la manera en que varía la distribución de frecuencia de amplitudes de intervalos de tiempo observada entre cualesquiera dos temblores en la ciudad de México. El problema fundamental es discutir qué forma analítica de función teó-

## STATISTICAL ANALYSIS OF TIME-INTERVALS OF SUCCESSIVE EARTHQUAKES IN MEXICO CITY

SERGIO G. FERRÁEZ \*

### ABSTRACT

The observed distribution of frequency of occurrence *versus* amplitude of time-intervals between any two successive earthquakes in Mexico City, with magnitude 3.5 and above, is studied in search of a formula expressing the frequency-amplitude relation.

First, to test random occurrence the Poisson's distribution is discussed. Second, it is shown that two types of theoretical functions have the required form to fit the observed frequency, namely: (1) the generalized exponential law  $y = A \exp(B \log \Delta t)$  (2) the semi-logarithmic curve  $y = a + b \log \Delta t + c (\log \Delta t)^2$ .

Finally, it is concluded that we have a non-random occurrence; therefore, it appears that strong earthquakes in Mexico City are caused by correlated tectonic processes. In addition, after a strong earthquake has occurred, the expectation time-interval for a new earthquake is from one day to 48 days.

### INTRODUCCION

Various investigators (Woollard, 1958) have expressed that the geographic distribution of earthquake epicenters has geologic significance due to the association noted between individual earthquakes and the tectonic movement involved.

The frequent occurrences of earthquakes in Mexico City allow useful seismotectonic studies to be made due to the fact that observed series of consecutive earthquakes have apparently concentrated epicenters in some small region. The seismic area extends approximately from 15° N to 19° N and from 95° W to 105° W. Therefore, it seems worthwhile to investigate if each earthquake is an event with some kind of typical interrelation in time with other earthquakes in the same seismic area.

In order to do this investigation, it is convenient to examine the manner in which the observed frequency distribution of amplitudes of time-intervals varies between any two successive earthquakes in Mexico City. The fundamental problem is to discuss what analytical form of theoretical function fits well

\* Instituto de Geofísica, U.N.A.M.

\* Institute of Geophysics, N.A.U.M.

rica se ajusta bien al polígono de frecuencia indicado por los datos y cómo deben calcularse los valores numéricos de los parámetros. Tal estudio se hace usando métodos numéricos de ajuste de curvas.

the frequency polygon given by the data, as well as how the numerical values of the parameters are computed. Such study is made using numerical methods of curve fitting.

#### ANÁLISIS ESTADÍSTICO ELEMENTAL

El número total de temblores usados fue de 246, todos sentidos en el área sísmica escogida cerca de la ciudad de México entre 1928-1965. Hemos eliminado algunos temblores por ser claramente réplicas reportadas por el U. S. C. & G. S. Sin embargo, esperamos tener algún error causado por una lista incompleta para los pequeños temblores.

Para determinar la distribución de frecuencias observada medimos la amplitud de intervalos de tiempo entre dos temblores sucesivos. La amplitud más corta de intervalos de tiempo resultó ser 1 día y la más larga de cerca de 1 año. El promedio de amplitud de intervalos de tiempo para 246 temblores resultó ser  $(\Delta t)_{av.} = 48$  días. La secuencia de amplitudes de intervalo de tiempo fue agrupada en un número de grupos de tamaño conveniente. Los intervalos de clase fueron trece. Los resultados se dan en la Tabla I.

#### ELEMENTARY STATISTICAL ANALYSIS

The total number of earthquakes used is 246 all felt in the chosen seismic area near Mexico City between 1928-1965. We have ruled out some earthquakes for being reported as clear aftershocks by the U.S.C.G.S. However, we expect to have some error introduced by incomplete listing of the smaller earthquakes.

In order to determine the observed frequency distribution, we measured the amplitude of time-intervals between two successive earthquakes. The shortest amplitude of time-interval was found to be 1 day and the longest one was about 1 year. The average amplitude of time-interval for 246 earthquakes was found to be  $(\Delta t)_{av} = 48$  days. The sequence of amplitudes of time-intervals were grouped into a number of convenient-sized groups. The class intervals were thirteen. The results are given in Table I.

TABLA I

DISTRIBUCION DE FRECUENCIA DE INTERVALOS DE TIEMPO  
FREQUENCY DISTRIBUTION OF TIME-INTERVALS

Intervalo de clase Class-Interval (días-days)	Punto medio Midpoint	Frecuencia Frequency
0 — 30	15	144
30 — 60	45	41
60 — 90	75	25
90 — 120	105	9
120 — 150	135	14
150 — 180	165	3
180 — 210	195	2
210 — 240	225	2
240 — 270	255	2
270 — 300	285	1
300 — 330	315	1
330 — 360	345	0
360 — 390	375	2

TABLE I

Para calcular el valor promedio para la distribución observada de amplitud de intervalos de tiempo dada en la Tabla I, supusimos que el valor promedio de todos los casos en cada intervalo de clase coincide con el punto medio.

El valor promedio calculado es  $(\Delta t)_{av.} = 48$  días. Esto puede significar que casi siempre esperábamos tener un temblor sucesivo después de un temblor fuerte en 48 días en la región seleccionada cerca de la ciudad de México.

In computing the mean value for the observed frequency distribution of amplitude of time-intervals given in the Table I we assumed that the average value of all cases in each class interval coincides with the midpoint.

The computed mean value is  $(\Delta t)_{av} = 48$  days. This may mean that on the average we expected to have a successive earthquake, after a strong earthquake, in 48 days in the selected seismic region near Mexico City.

La distribución observada de frecuencia de amplitud de intervalos de tiempo se presenta en una gráfica que fue construida dibujando el histograma y el polígono de frecuencia en la Fig. 1.

The observed frequency distribution of amplitudes of time-intervals is presented in a graph that was constructed by drawing the histogram and the frequency polygon in Fig. 1.

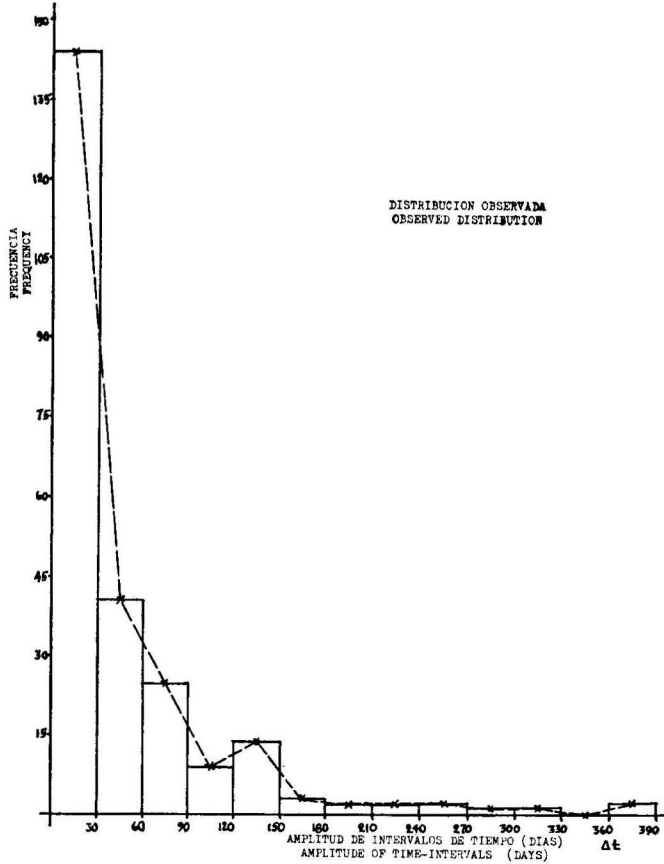


Fig. 1

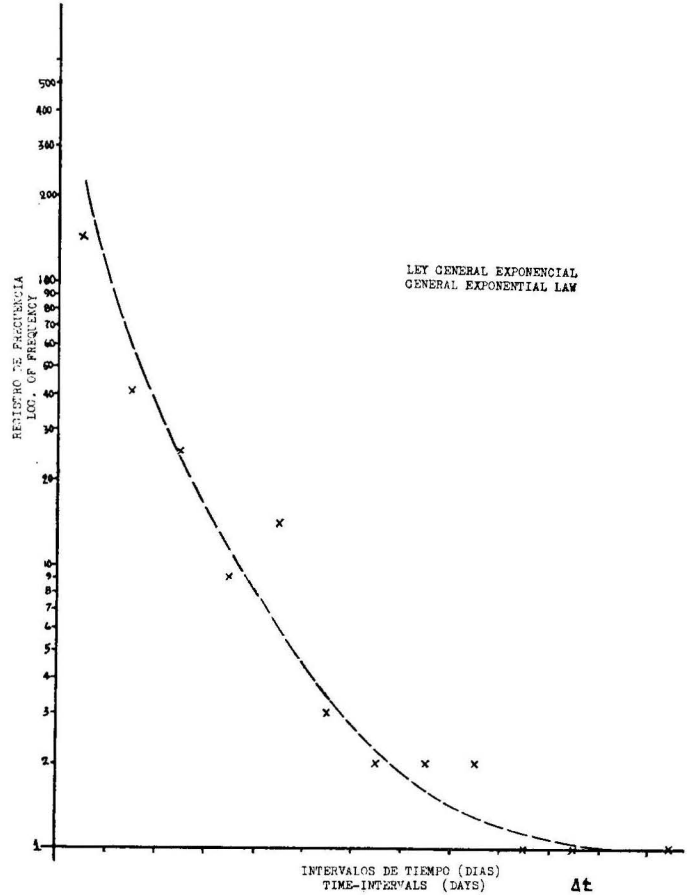


Fig. 2

MODELOS DE DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS

MODELS OF FREQUENCY DISTRIBUTION

Para ajustar la curva de una función teórica al polígono de frecuencia debemos hacer algunas consideraciones al escoger la forma matemática de la función teórica más o menos exacta que describa adecuadamente la relación entre intervalos de tiempo de frecuencia y amplitud (Fig. 2).

In fitting the curve of a theoretical function to the frequency polygon, we have to make some considerations to select the mathematical form of the more or less exact theoretical function that will adequately describe the relation between frequency and amplitude of time-intervals (Fig. 2).

Considerando que la distribución de Poisson implica incidencia al azar y que su parámetro tiene el mismo valor promedio que los datos, se probará primero para ver si los temblores ocurren más o menos al azar.

Considering that the Poisson distribution implies random occurrence, and that its parameter has the same mean value as that of the data, is first tested to see if earthquakes occur more or less randomly.

a) LA DISTRIBUCIÓN DE POISSON

(a) THE POISSON DISTRIBUTION

Aquí el problema fundamental es investigar si la distribución observada de frecuencia de longitudes de intervalos de tiempo entre cualesquiera dos temblores consecutivos en la ciudad de México, podría expresarse por una distribución de Poisson.

Here the fundamental problem is to investigate if the observed frequency distribution of lengths of the time intervals between any two consecutive earthquakes in Mexico City, could be expressed by a Poisson distribution.

Si el tiempo "t" entre temblores consecutivos varía según la ley de Poisson, el tiempo "t" entre temblores consecutivos tiene una distribución de probabilidad dada por

$$dP(t; \mu) = \mu e^{-\mu t} dt \quad (1)$$

donde  $\mu$  es el número promedio de temblores por unidad de tiempo.

Se trata de una distribución continua en la cual "t" puede variar desde 0 al infinito con densidad de probabilidad  $\mu e^{-\mu t}$ .

El tiempo promedio "t" entre temblores es dado por

$$\lambda = \int_0^{\infty} \mu t e^{-\mu t} dt = \frac{1}{\mu} \quad (2)$$

de manera que el valor de  $\mu$  es dado por

$$\mu = \frac{1}{\lambda} \quad (3)$$

Si este valor de la constante de proporcionalidad  $\mu$  se sustituye en (1), tenemos que el resultado de la ecuación puede escribirse como

$$dP(t; \lambda) = \frac{1}{\lambda} e^{-t/\lambda} dt \quad (4)$$

Esta ecuación está completamente especificada por el promedio  $\lambda$ .

La probabilidad de que "t" quede entre  $t_0$  y  $t_1$  en el área  $\Delta$  en que la curva de distribución en que  $t = t_0$  y  $t = t_1$ , es decir,

$$\Delta = \int_{t_0}^{t_1} \frac{1}{\lambda} e^{-t/\lambda} dt = e^{-t_0/\lambda} - e^{-t_1/\lambda} \quad (5)$$

Nótese que siendo "t" un variante continuo, sólo podemos decir que el intervalo de tiempo se encuentra en un rango seleccionado.

La técnica estadística recién descrita será aplicada ahora a la distribución observada de los tiempos entre incidencias de dos temblores sucesivos registrados en la ciudad de México sobre los años disponibles 1928-1965.

Usando los datos de la Tabla I, calculamos el tiempo promedio  $\bar{t} = \lambda$  entre dos temblores sucesivos y obtenemos

$$\lambda = 48.41 \text{ días}$$

Después, para obtener las frecuencias teóricas  $N_e$ , será necesario calcular las áreas de la ley de Poisson (5) dentro de cada par de límites de clase y después multiplicar las áreas por la frecuencia total,  $N = 246$ . Para ilustrar el cálculo usado y para comparar  $N_e$  con  $N_o$ , preparamos la siguiente Tabla II.

If the time "t" between consecutive earthquakes varies according to Poisson law, then, the time "t" between consecutive earthquakes has a probability distribution given by

where  $\mu$  is the mean number of earthquakes per unit time.

This is a continuous distribution in which "t" may vary from 0 to infinity with probability density  $\mu e^{-\mu t}$

The mean time "t" between earthquakes is given by

so that the value of  $\mu$  is given by

If this value of the proportionality constant  $\mu$  is substituted into (1), we have the result that the equation may be written

This equation is completely specified by the mean  $\lambda$ .

The probability that "t" lies between  $t_0$  and  $t_1$  in the area  $\Delta$  under the distribution curve between  $t = t_0$  and  $t = t_1$ , namely

Note that since "t" is a continuous variant we can say only that the time interval lies in a chosen range.

The statistical technique just described will now be applied to the observed distribution of the interoccurrence times between two successive earthquakes felt in Mexico City, over the available years 1928-1965.

Using the data given in Table I, we compute the mean time  $t = \lambda$  between two successive earthquakes and we obtain

$$\lambda = 48.41 \text{ days}$$

Next, to obtain the theoretical frequencies  $N_e$ , it will be necessary to calculate the areas of the Poissonian law (5) within each pair of class limits and then to multiply the areas by the total frequency  $N = 246$ . To illustrate the computation using and to compare  $N_e$  with  $N_o$ , we prepare the following Table II.

TABLA II  
 CALCULO DE LA PRUEBA  $\chi^2$  PARA LA DISTRIBUCION DE  
 POISSON CON LAS FRECUENCIAS OBSERVADAS  
 CALCULATION OF  $\chi^2$ -TEST FOR THE POISSON DISTRIBUTION  
 WITH THE OBSERVED FREQUENCIES

Intervalo de clase Class Interval (días — days)		$N_e$	$N_o$
0 — 30	0.462	113.67	144
30 — 60	0.249	61.15	41
60 — 90	0.134	32.89	25
90 — 120	0.072	17.69	9
120 — 150	0.039	9.52	14
150 — 180	0.021	5.12	3
180 — 210	0.011	2.75	2
210 — 240	0.006	1.48	2
240 — 270	0.003	0.79	2
270 — 300	0.002	0.43	1
300 — 330	0.001	0.23	1
330 — 360	0.0005	0.13	0
360 — 390	0.0003	0.06	2

$\chi^2$  — prueba para la Distribución de Poisson.

Ahora decidiremos si la distribución teórica de Poisson especificada representa adecuadamente la distribución observada de los tiempos entre incidencias de temblores sucesivos en la ciudad de México.

Los datos de la Tabla II permitieron comparar las frecuencias teóricas de Poisson con las frecuencias observadas. Para decidir si las frecuencias observadas tienen diferencias significantes con las frecuencias teóricas usaremos la prueba  $\chi^2$ . Las estadísticas  $\chi^2$  pueden calcularse con la fórmula

$\chi^2$  — test for the Poisson Distribution.

Here we want to decide whether the specified theoretical Poisson distribution, will adequately represent the observed distribution of the interoccurrence times between successive earthquakes in Mexico City.

The data given in Table II, provided data to compare the theoretical Poisson frequencies with the observed frequencies. To decide whether the observed frequencies are significantly different from the theoretical frequencies we shall use the  $\chi^2$  — test. The  $\chi^2$  statistics can be calculated from the formula

$$\chi^2 = \frac{(N_o - N_e)^2}{N_e} \tag{6}$$

donde  $N_o$  representa las frecuencias observadas y  $N_e$  las frecuencias teóricas o esperadas.

Para el cálculo de la estadística  $\chi^2$  usamos un método (6) para preparar la Tabla III.

Existen 6 clases de frecuencias y se calcularon dos estadísticas de la muestra. Luego, el número de grados de libertad es 4. El valor de  $\chi^2$  para 4 grados de libertad dentro del nivel de significancia es 5% está dado por  $\chi^2 = 9.49$ . El valor observado,  $\chi^2 = 23.39$ , es mucho mayor que eso y por consecuencia, muy significativa, por lo cual la distribución de Poisson no se ajusta satisfactoriamente a los datos.

where  $N_o$  represents the observed frequencies and  $N_e$  the theoretical or expected frequencies.

To do the calculation of the  $\chi^2$  statistic we use (6) and prepare Table III.

There are 6 frequency classes and two statistics have been calculated from the sample. Therefore, the number of degrees of freedoms is 4. The value of  $\chi^2$  for 4 degrees of freedom which lies on the 5% level of significance, is given by  $\chi^2 = 9.49$ . The observed value,  $\chi^2 = 23.39$  is very much greater than this and is clearly highly significant, and therefore the Poisson distribution does not give a satisfactory fit to the data.

De lo anterior podemos concluir que: la amplitud del intervalo de tiempo para la incidencia de eventos sísmicos

From the foregoing we can conclude that: the amplitude of the time interval for the occurrence of successive earth-

sucesivos en la ciudad de México depende del tiempo de incidencia de su predecesor o predecesores. A una conclusión similar han llegado Aki (1956) y Knopoff (1964).

quake events in Mexico City is dependent on the time of occurrence of its predecessor or predecessors.

A similar conclusion has been reached by Aki (1956) and Knopoff (1964).

TABLA III

TABLE III

CALCULO DE LA PRUEBA  $\chi$  PARA LA DISTRIBUCION DE POISSON  
 CALCULATION OF  $\chi$ -TEST FOR THE POISSON DISTRIBUTION

Intervalo de clase Class Interval (días — days)	$N_o$	$N_e$	$N_e - N_o$	$\frac{(N_n - N_o)^2}{N_e}$
0 — 30	144	114	— 30	7.89
30 — 60	41	61	+ 20	6.56
60 — 90	25	33	+ 8	1.94
90 — 120	9	18	+ 9	4.50
120 — 150	14	10	— 4	1.60
150 — 390	13	10	— 3	0.90
Totales Totals	246	246	0	= 23.39

b) LA LEY EXPONENCIAL GENERAL

Nótese que la forma del polígono de frecuencia sugiere un tipo de distribución limitada en una dirección como si tuviera forma de distribución en L. Por ello, la función teórica adecuada para ajustarse a la frecuencia observada puede ser la ley exponencial. Así, examinaremos en esta sección si la ley exponencial se ajusta bien a nuestros datos. Más que aplicar la simple ley exponencial  $y = Ae^{ax}$ , se adopta la siguiente fórmula general para este tipo de curva.

b) THE GENERAL EXPONENTIAL LAW

Note that the shape of the frequency polygon suggests that it is a type of distribution bounded in one direction as the L-shaped distribution.

Therefore, a proper theoretical function to fith the observed frequency might be the exponential law. Thus, we will examine in this section if the exponential law fits well our data. Rather than to apply the simple exponential law  $y = Ae^{ax}$ , the following general formula for this type of curve is adopted

$$y = A e^{\sum_{i=1}^n a_i x^i} \tag{7}$$

donde

$y$  = frecuencia a que ocurre cualquier  $x$

$e$  = base de logaritmos naturales

$A, a, i,$  son valores constantes para determinarse usando los datos.

Cuando se toman los logaritmos de ecuación (7), se obtiene la relación polinómica.

where

$y$  = frequency with which any  $x$  occurs

$e$  = base of natural logarithms

$A, a, i,$  are constant values to be determined using the data.

When logarithms are taken equation (7), we obtain the polynomial relation

$$\log y = \log A + \sum_{i=1}^n (\log e) a_i x^i \tag{8}$$

Si arreglamos en (8)  $\log y = Y, \log A = \beta, a_i \log e = \alpha_i,$  obtenemos la fórmula polinómica general

If we set in (8)  $\log y = Y, \log A = \beta, a_i \log e = \alpha_i,$  we obtain the general polynomial formula

$$Y = \beta + \sum_{i=1}^n \alpha_i x^i \tag{9}$$



que muestra que si la ley exponencial general se ajusta a la frecuencia observada de amplitudes de intervalos de tiempo para temblores sucesivos en la ciudad de México; entonces, los puntos  $(x, \log y)$  pueden disponerse en una línea recta, una curva del tipo parabólico más sencillo o una curva polinómica general. El resultado de calcular  $\log y$  de frecuencias *versus* amplitudes de intervalos de tiempo  $t = x$ , queda indicado por la línea quebrada de la Fig. 2.

Ya que esta figura no es una línea recta, puede compararse con las curvas ejemplares que ilustran diferentes tipos de funciones matemáticas. Así, la gráfica observada es no-lineal, en cuyo caso parece razonable dibujar a la vista una parábola alisada. Podría concluirse de lo anterior que la ley exponencial general explicaría los datos con una curva de forma particular

$$y = A e^{a_1 x + a_2 x^2} \tag{10}$$

Sin embargo, notamos que hay algunas diferencias entre valores alisados y observados, por cuyo motivo la ley exponencial general no puede explicar los datos.

c) LA LEY EXPONENCIAL GENERALIZADA

En la Sección anterior demostramos que la curva exponencial general no es del tipo más apropiado para ajustarse a la distribución observada de amplitudes de intervalos de tiempo para temblores sucesivos en la ciudad de México. Ensayaremos ahora otro tipo de ley exponencial. La ley exponencial generalizada se define por una curva de forma analítica general

$$y = A e^{\sum_{i=1}^n \alpha_i (\log x)^i} \tag{11}$$

donde  
 $y$  = frecuencia de incidencia de cualquier  $x$   
 $e$  = base de logaritmos naturales  
 $A, a, i,$  son parámetros a determinarse.

Cuando se toman logaritmos de ambos lados de (11) obtendremos la relación logarítmica

$$\log y = \log A + \sum_{i=1}^n (\log e) \alpha_i (\log x)^i \tag{12}$$

Si disponemos en (12)  $Y = \log y, X = \log x, \log A = a$  y  $(\log e) \alpha_i = b_i$ , obtenemos la fórmula polinómica general

$$Y = a + \sum_{i=1}^n b_i X^i \tag{13}$$

mostrando que los datos podrían dibujarse como una línea recta, una curva del tipo parabólico más simple o una curva polinómica general sobre papel logarítmico donde cada  $x$  e  $y$  son escalas logarítmicas. El resultado de trazar  $\log_{10}$  de frecuencias contra  $\log_{10}$  de intervalos de tiempo se muestra en la Fig. 3.

which shows that if the general exponential law fits the observed frequency of amplitudes of time-intervals for successive earthquakes in Mexico City, then the points  $(x, \log y)$  may fall on a straight line, a curve of the simplest parabolic type or a general polynomial curve. The result of plotting  $\log y$  of frequencies *versus* amplitudes of time-intervals  $t = x$ , is shown by the broken line in Fig. 2.

Since this figure is not a straight line, it may be compared with the specimen curves illustrating a number of different types of mathematical functions. Thus, the observed graph is non linear, in which case it seems reasonable to draw by eye a smooth parabola. From the foregoing, one may be tempted to say that the general exponential law may explain the data with a curve of the particular form

However, we note that there are some differences between smoothed values and observed values.

Therefore, the general exponential law can not explain the data.

c) THE GENERALIZED EXPONENTIAL LAW

In the preceding section we have shown that the general exponential curve is not the more appropriate type of curve to fit the observed distribution of amplitudes of time-intervals for successive earthquakes in Mexico City. Now, we shall try another type of exponential law.

The generalized exponential law is defined by a curve of the general analytical form

where  
 $y$  = frequency with which any  $x$  occurs  
 $e$  = base of natural logarithms  
 $A, a,$  and  $i,$  are parameters to be determined.

When logarithms are taken on both sides of (11) we obtain the logarithmic relation.

If we set in (8)  $Y = \log y, X = \log x, \log A = a$  and  $(\log e) \alpha_i = b_i$  we obtain the general polynomial formula

showing that de data would plot a straight line, a curve of the simplest parabolic type or a general polynomial curve on logarithmic paper, where both  $x$  and  $y$  are logarithmic scales. The result of plotting  $\log_{10}$  of frequencies against  $\log_{10}$  of time-intervals, is shown in Fig. 3.

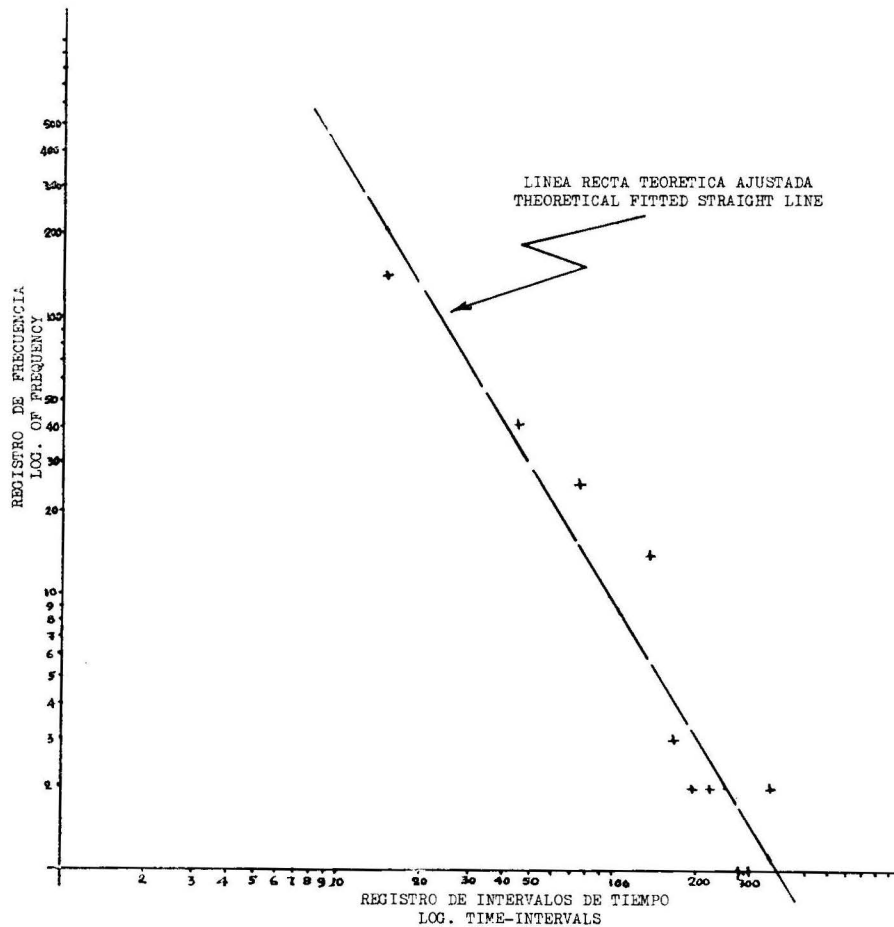


Fig. 3

Parece razonable dibujar a la vista una línea recta alisada pues los puntos trazados caen cerca de ella. Usando (13) la ecuación de esta línea puede escribirse como

$$Y = a + b X \quad (14)$$

Usando el método de mínimos cuadrados calculamos ambas constantes y obtenemos  $a = 4.261$  y  $b = -1.647$ . Consecuentemente, la ecuación de la ley exponencial generalizada para secuencias dadas de temblores en la ciudad de México es aproximadamente

$$N = 18240 e^{-3.794(\log \Delta t)} \quad (15)$$

#### d) LA CURVA SEMI-LOGARÍTMICA

Hasta ahora hemos demostrado que un tipo de función de distribución de frecuencia tiene la forma analítica requerida para ajustarse a la frecuencia observada, es decir, la basada en la ley exponencial generalizada.

Ahora mostraremos que otra ecuación matemática que se ajusta más o menos al trazo de los datos es la curva semi-logarítmica  $y = a + b \log x + c (\log x)^2$ . El procedimien-

It seems reasonable to draw by eye a smooth straight line, because the plotted points fall near a straight line. Using (13) the equation of this line may be written

Using the least squares method we computed the two constants, and obtained  $a = 4.261$  and  $b = -1.647$ .

Therefore, the equation of the generalized exponential law for the given sequence of Mexico City earthquakes is very nearly

#### d) THE SEMI-LOGARITHMIC CURVE

So far we have shown that a type of frequency distribution function has the required analytical form to fit the observed frequency, namely, that based on the generalized exponential law.

Here we shall show that another mathematical equation which more or less fits the plot of the data is the semi-logarithmic curve  $y = a + b \log x + c (\log x)^2$ . The



to matemático consiste esencialmente en dibujar (log x, y) en papel semi-logarítmico y escoger la forma de la curva basándose en un conocimiento de las formas generales de los distintos tipos de curva.

El resultado de trazar log x contra y se muestra en la línea quebrada de la Fig. 4.

mathematical procedure is essentially to plot (log x, y) on semi-logarithmic paper and to select the form of the curve based upon a knowledge of the general shapes of different types of curves.

The result of plotting log x against y is shown by the broken line in Fig. 4.

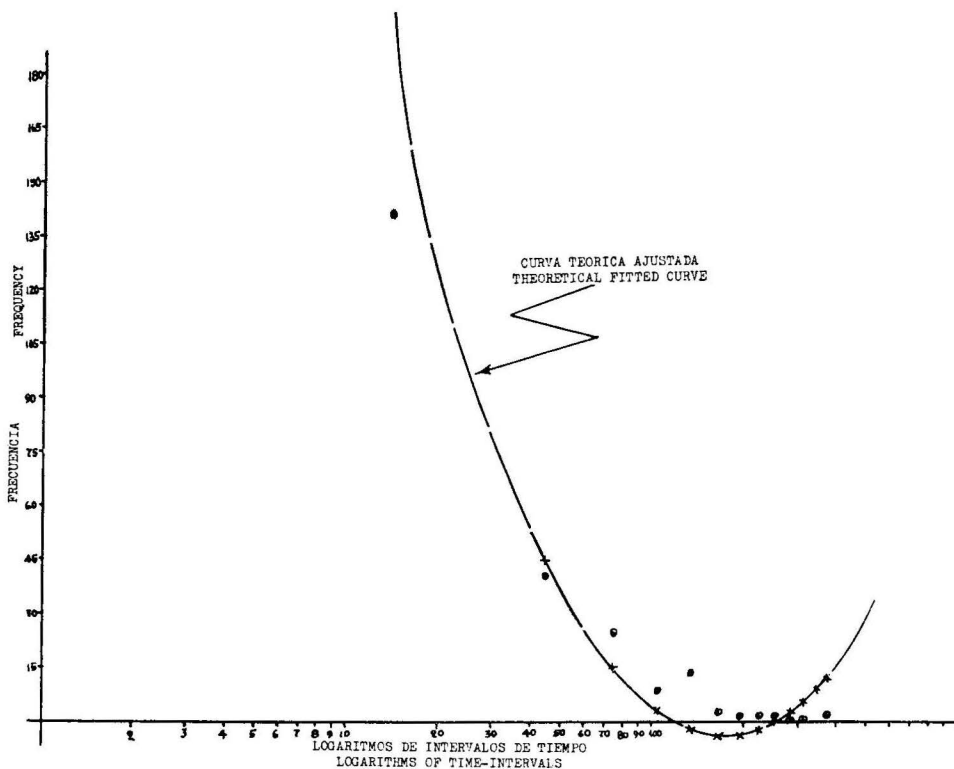


Fig. 4

Puede verse que los puntos trazados caen casi exactamente a lo largo de una curva del tipo parabólico simple  $y = a + b (\log x) + c (\log x)^2$ . Habiendo decidido la forma probable de la curva, la determinación de los tres coeficientes, a, b y c, puede hacerse por el método de mínimos cuadrados.

La ecuación de esta curva semi-logarítmica es muy cercana a

$$N = 729.593 - 657.063 \log \Delta t + 147.114 (\log \Delta t)^2 \tag{16}$$

CONCLUSIONES

La aplicación de la distribución de Poisson a distribuciones de frecuencia observadas de intervalos de tiempo entre dos temblores sucesivos sentidos en la ciudad de México indica que la distribución de Poisson no tiene buen ajuste y en consecuencia, que el tiempo de incidencia de un temblor en la ciudad de México no es independiente del tiempo de incidencia de su predecesor o predecesores.

Este resultado puede ser naturalmente confirmado, ya que los epicentros reales de temblores estaban concentrados apa-

It is seen that the plotted points fall almost exactly along a curve of the simple parabolic type  $y = a + b (\log x) + c (\log x)^2$ . Having decided on the probable form of the curve, the determination of the three coefficients, a, b, and c, may be made by the least squares method.

The equation of this semi-logarithmic curve is very nearly

CONCLUSIONS

The application of the Poisson distribution to observed frequency distribution of time-intervals between two successive earthquake felt in Mexico City, indicates that the Poisson distribution does not give a good fit and, therefore, that the time of occurrence of an earthquake in Mexico City is not independent of the time of occurrence of its predecessor or predecessors.

This result may be naturally confirmed, since the actual earthquakes epicenters are apparently concentrated in some

rentemente en alguna angosta región sísmica cercana a la ciudad de México y la actividad sísmica puede estar relacionada con la geología del elemento tectónico respectivo. Sin embargo, sólo se trata de un resultado estadístico que necesita confirmación.

Un estudio de la distribución de frecuencias observada para obtener una expresión matemática de la relación entre frecuencias *versus* amplitud observada de intervalos de tiempo indica que dos tipos de curvas teóricas tienen la forma requerida para ajustarse a la frecuencia observada, es decir, aquellas basadas sobre la ley exponencial general

$$y = A e^{B \log x}$$

y a la curva semi-logarítmica

$$y = a + b \log x + c (\log x)^2$$

Finalmente, un cálculo estadístico elemental sugiere que después de un fuerte temblor de magnitud 5 y superior, el intervalo de tiempo de espera para un nuevo temblor en dicha región es de uno a 48 días.

narrow seismic region near Mexico City and the seismic activity appears to be related to the geology of the tectonic element involved. However, this is of course only a statistical result and further confirmation is needed.

A study of the observed frequency distribution to obtain a mathematical expression of the relationship between observed frequency *versus* amplitude of time-intervals, indicates that two types of theoretical curves have the required form to fit the observed frequency, namely, those based on the general exponential law

and the semi-logarithmic curve

Finally, an elementary statistical calculation suggests that after a strong earthquake of magnitude 5 above has occurred, the time-interval expectation for a new earthquake to occur in this region is about from one day to 48 days.

#### BIBLIOGRAFIA

- AKI, K. 1969. Some Problems in Statistical Seismology, *Zisin*, 8:205-288.
- ARKIN, H. & R. R. COLTON. 1964. *Statistical Methods*. New York (Barnes Noble Inc.), 1 vol.
- KNOPOFF, L. 1964. The Statistics of Earthquakes in Southern California. *Bull. Seismol. Soc. America*, 54(6):1871-1873.
- PARADINE, G. & B. H. P. RIVETT. 1962. *Statistical Methods for Technologists*. London (The English Universities Press), 1 vol.
- WOOLLARD, G. P. 1958. Areas of Tectonic Activity in the United States as indicated by Earthquake Epicenters. *Trans. American Geophys. Union*, 39(6):1135-1150.

#### BIBLIOGRAFIA