

ESTIMACION DE MAGNITUD PARA SISMOS EN CHILE CENTRAL UTILIZANDO DURACION DE REGISTROS DE ESTACION SISMOLOGICA PELDEHUE (PEL)

Mario Pardo P.

Departamento de Geofísica. Universidad de Chile.
Casilla 2777, Santiago, Chile.

RESUMEN

La magnitud para sismos con epicentros en Chile Central ($27^\circ - 39^\circ$ latitud sur) puede ser convenientemente estimada en función de la duración total del sismo en segundos (τ), y de la distancia hipocentral en kilómetros (Δ).

Utilizando los registros de la componente vertical de período corto de la estación sísmológica Peldehue (PEL), para un conjunto de 129 sismos con hipocentro y magnitud m_B determinados por el U.S. Geological Survey con la red mundial de estaciones, se obtiene mediante regresión lineal múltiple un estimador de magnitud \hat{m}_τ dado por:

$$\hat{m}_\tau = 2.40 (\pm 0.14) + 0.312 (\pm 0.0177) \cdot (\log \tau)^2 + 0.0004 (\pm 0.0001) \cdot \Delta$$

Para el caso de una estimación preliminar rápida de magnitud, el mejor estimador obtenido es:

$$\hat{m}_\tau = 2.62 (\pm 0.13) + 0.3006 (\pm 0.0180) (\log \tau)^2$$

Ambas relaciones son válidas para distancias menores o iguales que 600 kilómetros de PEL y magnitudes m_B entre 4.0 y 6.1, que corresponden a la mayoría de los sismos sensibles por la población en Chile Central.

La máxima dispersión de la magnitud estimada utilizando estas relaciones es de ± 0.4 y ± 0.5 , respectivamente, las cuales son consideradas aceptables, tomando en cuenta que la magnitud m_B dada por el USGS es el promedio de las magnitudes reportadas por estaciones sísmológicas de la red mundial, con una dispersión máxima de ± 1.0 .

Para sismos cercanos pequeños, con duración total τ menor que 240 segundos ($m_B < 4.0$), la relación $m(\tau) = -1.9 + 2.5 \log \tau$, obtenida por Aki (1973), es considerada un mejor estimador de magnitud.

ABSTRACT

Estimation of magnitude of earthquakes in Central Chile from total durations of records at Peldehue seismological station (PEL)

The magnitude of earthquakes with epicenter in Central Chile ($27^\circ - 39^\circ$ latitude south), can be estimated as a function of total duration of the earthquake in seconds (τ), and the hypocentral distance in kilometers (Δ).

Using the records from the short period, vertical component, of the seismological station Peldehue (PEL), for a set of 129 earthquakes with hypocenter and magnitude m_B given by the U.S. Geological Survey from the world seismological network, an estimator of magnitude \hat{m}_τ is obtained using multiple linear regression:

$$\hat{m}_\tau = 2.40 (\pm 0.14) + 0.3127 (\pm 0.0177) \cdot (\log \tau)^2 + 0.0004 (\pm 0.0001) \cdot \Delta$$

For the case of a fast preliminary estimation of magnitude, the best estimator obtained is:

$$\hat{m}_\tau = 2.62 (\pm 0.13) + 0.3006 (\pm 0.0180) (\log \tau)^2$$

Both relations are valid for distances less or equal than 600 kilometers from PEL and magnitude m_B between 4.0 and 6.1, which correspond to almost all the earthquakes perceptible by the population in Central Chile.

The maximum dispersion of the magnitude estimated using these relations are ± 0.4 and ± 0.5 , which are considered acceptable, taking into account that the magnitude m_B given by the USGS is the average of the magnitudes reported by the seismological station of the world network, with a maximum dispersion of ± 1.0 .

For small local earthquakes, with total duration τ less than 240 seconds ($m_B < 4.0$), the relation $m(\tau) = -1.9 + 2.5 \log \tau$, given by Aki (1973), is considered a better estimator of magnitude.

1. INTRODUCCION

Numerosos autores han planteado relaciones lineales entre la magnitud y el logaritmo decimal de la duración de un sismo (Aki (1969, 1973), Lee et al. (1972), Wahlström (1982).

La importancia de estas relaciones reside en poder estimar magnitud para sismos cercanos, en los casos de no disponer de instrumental adecuado para tales efectos (e.g. Wood-Anderson para calcular M_L), y en que m_B y M_S son calculadas sólo con estaciones a distancias telesísmicas mayores que 20° .

Definiendo la duración total (τ) como el tiempo en segundos entre el comienzo del sismo (onda P) y el instante en que las amplitudes del sismo son del orden del ruido de fondo en un sismograma de período corto vertical, se puede plantear la siguiente expresión de partida para estimar magnitud de sismos cercanos.

$$\hat{m}_\tau = A_0 + A_1 (\log \tau)^2 + A_2 \log \tau + A_3 + A_4 h + A_5 G \quad (1)$$

donde:

A_j son constantes regionales

τ duración total del sismo en segundos

Δ distancia hipocentral en kilómetros

h profundidad de foco en kilómetros

G ganancia de la estación sismológica utilizada.

Las constantes A_j pueden ser obtenidas mediante una regresión lineal múltiple.

2. METODOLOGIA

Dada la expresión (1), el problema se reduce a obtener los coeficientes A_j conocidas las variables τ_i , Δ_i , h_i y la magnitud m_i para cada sismo i .

La magnitud m_i dada en alguna escala es usada como calibrador, siendo \hat{m}_τ calculado según (1), un estimador de la magnitud en la escala correspondiente.

En el caso de utilizar datos de sólo una estación sismológica, el término dependiente de la ganancia de la estación ($A_5 \cdot G$ en (1)) puede ser asimilado a la constante libre A_0 , asumiendo que la calibración de la estación no ha sido modificada sensiblemente en el tiempo. Luego (1) puede ser expresado como:

$$\hat{m}_\tau = A_0 + A_1 (\log \tau)^2 + A_2 \log \tau + A_3 \Delta + A_4 h \quad (2)$$

Con la información para N sismos cercanos a una estación sismológica determinada, para los cuales se conocen m_i , τ_i , Δ_i , h_i ($i = 1, N$), es posible determinar los coeficientes A_j y sus incertezas por medio de una regresión lineal múltiple escalonada, utilizando el método de mínimos cuadrados sin pesos, lo cual permite, además, eliminar la dependencia de alguna de las variables si la incerteza es del orden del valor calculado para ese coeficiente.

Se prosigue escribiendo (2) como una función general lineal en sus coeficientes para cada sismo i ($i = 1, N$):

$$Y_i = A_0 + A_1 X_{1i} + A_2 X_{2i} + A_3 X_{3i} + A_4 X_{4i}, \quad (3)$$

$$\text{donde: } Y_i = m_i \quad \begin{cases} X_{1i} = (\log \tau_i)^2 \\ X_{2i} = \log \tau_i \\ X_{3i} = \Delta_i \\ X_{4i} = h_i \end{cases}$$

Además, se definen los coeficientes de correlación lineal r_{jk} entre las variables X_j y X_k como:

$$r_{jk} = \frac{s_{jk}^2}{s_j s_k}, \quad (4)$$

donde s_{jk} y s_j son la covarianza y varianza de la muestra, respectivamente, dadas por:

$$s_{jk}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_j)(X_{ik} - \bar{X}_k) \quad (5)$$

$$s_j^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 \quad (6)$$

Con estas definiciones, donde \bar{X}_j es la media estadística, los coeficientes A_j ($j = 1, n = 4$), utilizando el método de mínimos cuadrados, estarán dados por (Bevington, 1969):

$$A_j = \frac{s_y}{s_j} \sum_{k=1}^n (r_{kj} r_{jk}^{-1}) \quad (7)$$

donde $r_{jk}^{-1} = r_{kj}^{-1}$ es el término j -ésimo de la matriz inversa de coeficientes de correlación lineal.

El coeficiente A_0 puede ser expresado explícitamente como función de todos los otros coeficientes A_j .

$$A_0 = \bar{y} - A_1 \bar{X}_1 - A_2 \bar{X}_2 - \dots - A_n \bar{X}_n \quad (8)$$

Las incertezas en los coeficientes A_j ($j = 1, n$) y del coeficiente A_0 estarán dadas respectivamente por las siguientes relaciones (Bevington, 1969):

$$\sigma_{A_j}^2 = \frac{1}{N-1} \frac{1}{s_j^2} r_{jj}^{-1} \quad (9)$$

$$\sigma_{A_0}^2 = \frac{1}{N} + \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n (\bar{X}_j \bar{X}_k \frac{1}{s_j} \frac{1}{s_k} r_{jk}) \quad (10)$$

Por lo tanto, los coeficientes y sus errores —resultantes de la regresión lineal múltiple utilizando mínimos cuadrados sin pesos— serán: $A_k \pm \sigma A_k$ ($k = 0, n$) (de acuerdo a las relaciones (7), (8), (9) y (10)).

3. APLICACION DEL METODO A SISMOS EN CHILE CENTRAL UTILIZANDO ESTACION SISMOLOGICA PELDEHUE (PEL)

Peldehue es una estación sismológica dependiente del Servicio Sismológico de la Universidad de Chile y forma parte de la red mundial de estaciones WWSSN, por lo cual sus parámetros de calibración son considerados constantes en el tiempo, siendo válido partir con una expresión similar a (2) para estimar la magnitud de los sismos.

La estación PEL está ubicada en la latitud 33.1436° Sur, longitud 70.6853° Oeste y a 690 metros sobre el nivel del mar.

Los datos utilizados corresponden a 129 sismos con hipocentros determinados por el USGS en un radio de 600 km. en torno a PEL, ocurridos en el período enero 1978 - mayo 1982, con registro en la componente vertical de período corto de esta estación. Estos datos se presentan en Tabla 1.

TABLA 1

| N | LAT. | LONG. | H | DISTH | LOG(T) | T | MB |
|----|--------|--------|------|-------|--------|-------|-----|
| 1 | 28.997 | 69.675 | 110. | 487.0 | 3.230 | 1700. | 6.1 |
| 2 | 31.576 | 67.468 | 21. | 398.3 | 3.241 | 1740. | 5.7 |
| 3 | 32.142 | 71.321 | 45. | 139.5 | 3.140 | 1380. | 5.7 |
| 4 | 36.286 | 72.463 | 47. | 404.2 | 3.083 | 1210. | 5.7 |
| 5 | 33.474 | 70.151 | 103. | 124.4 | 3.182 | 1520. | 5.6 |
| 6 | 31.271 | 67.773 | 10. | 384.9 | 3.017 | 1040. | 5.6 |
| 7 | 32.723 | 71.646 | 35. | 121.9 | 3.053 | 1130. | 5.5 |
| 8 | 27.867 | 71.197 | 37. | 590.6 | 2.869 | 740. | 5.4 |
| 9 | 31.381 | 67.627 | 32. | 393.6 | 2.982 | 960. | 5.3 |
| 10 | 35.366 | 71.046 | 88. | 265.4 | 2.863 | 730. | 5.3 |
| 11 | 35.251 | 69.991 | 151. | 289.2 | 2.833 | 680. | 5.3 |
| 12 | 31.525 | 67.712 | 47. | 379.1 | 2.799 | 630. | 5.3 |
| 13 | 31.551 | 67.829 | 40. | 365.6 | 2.964 | 920. | 5.2 |
| 14 | 35.534 | 71.786 | 55. | 297.8 | 2.911 | 815. | 5.2 |
| 15 | 30.656 | 71.565 | 33. | 295.3 | 2.892 | 780. | 5.2 |
| 16 | 29.451 | 69.464 | 106. | 445.2 | 2.763 | 580. | 5.2 |
| 17 | 36.284 | 71.361 | 95. | 369.6 | 2.756 | 570. | 5.2 |
| 18 | 34.922 | 69.222 | 33. | 258.0 | 2.944 | 880. | 5.1 |
| 19 | 31.480 | 67.140 | 122. | 452.0 | 2.869 | 740. | 5.1 |
| 20 | 34.287 | 70.158 | 10. | 140.3 | 2.839 | 690. | 5.1 |
| 21 | 33.654 | 70.440 | 19. | 65.7 | 2.833 | 680. | 5.1 |
| 22 | 34.857 | 70.743 | 96. | 213.4 | 2.792 | 620. | 5.1 |
| 23 | 29.630 | 71.441 | 39. | 401.5 | 2.756 | 570. | 5.1 |
| 24 | 33.257 | 73.141 | 26. | 274.7 | 2.748 | 560. | 5.1 |
| 25 | 31.616 | 71.917 | 33. | 220.8 | 2.740 | 550. | 5.1 |
| 26 | 31.808 | 67.296 | 135. | 426.8 | 2.820 | 660. | 5.0 |
| 27 | 32.740 | 71.923 | 33. | 148.6 | 2.778 | 600. | 5.0 |
| 28 | 31.522 | 67.583 | 29. | 390.1 | 2.763 | 580. | 5.0 |
| 29 | 31.537 | 67.834 | 38. | 365.7 | 2.724 | 530. | 5.0 |
| 30 | 29.278 | 71.234 | 100. | 445.5 | 2.716 | 520. | 5.0 |
| 31 | 29.855 | 71.825 | 33. | 388.4 | 2.633 | 430. | 5.0 |
| 32 | 30.133 | 71.815 | 33. | 359.1 | 2.591 | 390. | 5.0 |
| 33 | 32.728 | 71.657 | 45. | 126.0 | 2.892 | 780. | 4.9 |
| 34 | 34.936 | 69.199 | 33. | 260.8 | 2.892 | 780. | 4.9 |
| 35 | 31.165 | 67.786 | 33. | 391.5 | 2.875 | 750. | 4.9 |
| 36 | 29.754 | 71.579 | 49. | 392.9 | 2.839 | 690. | 4.9 |
| 37 | 34.113 | 69.531 | 29. | 169.9 | 2.799 | 630. | 4.9 |
| 38 | 32.195 | 71.317 | 59. | 139.9 | 2.748 | 560. | 4.9 |
| 39 | 32.700 | 71.950 | 33. | 152.8 | 2.732 | 540. | 4.9 |
| 40 | 32.699 | 71.942 | 29. | 151.2 | 2.690 | 490. | 4.9 |
| 41 | 30.799 | 72.188 | 33. | 311.5 | 2.663 | 460. | 4.9 |
| 42 | 29.884 | 71.181 | 79. | 375.0 | 2.863 | 460. | 4.9 |
| 43 | 28.505 | 68.546 | 51. | 570.1 | 2.643 | 440. | 4.9 |
| 44 | 37.471 | 73.739 | 33. | 589.9 | 2.505 | 320. | 4.9 |
| 45 | 28.009 | 70.934 | 56. | 574.3 | 2.505 | 320. | 4.9 |
| 46 | 32.107 | 68.985 | 50. | 226.8 | 2.820 | 660. | 4.8 |
| 47 | 33.806 | 72.383 | 33. | 205.5 | 2.806 | 640. | 4.8 |
| 48 | 32.484 | 71.584 | 44. | 131.7 | 2.792 | 620. | 4.8 |
| 49 | 30.596 | 71.389 | 82. | 305.1 | 2.740 | 550. | 4.8 |
| 50 | 34.274 | 70.475 | 23. | 129.9 | 2.708 | 510. | 4.8 |
| 51 | 29.612 | 71.570 | 46. | 407.4 | 2.708 | 510. | 4.8 |
| 52 | 31.136 | 68.159 | 33. | 360.1 | 2.681 | 480. | 4.8 |
| 53 | 29.785 | 71.440 | 53. | 386.4 | 2.623 | 420. | 4.8 |
| 54 | 31.959 | 67.803 | 10. | 346.4 | 2.623 | 420. | 4.8 |
| 55 | 37.643 | 72.008 | 85. | 528.4 | 2.602 | 400. | 4.8 |

| N | LAT. | LONG. | H | DISTH | LOG(T) | T | MB |
|-----|--------|--------|------|-------|--------|------|-----|
| 56 | 32.313 | 72.125 | 33. | 187.9 | 2.602 | 400. | 4.8 |
| 57 | 31.298 | 67.572 | 45. | 404.7 | 2.568 | 370. | 4.8 |
| 58 | 36.101 | 71.516 | 90. | 353.2 | 2.556 | 360. | 4.8 |
| 59 | 33.170 | 72.280 | 33. | 180.6 | 2.531 | 340. | 4.8 |
| 60 | 36.817 | 72.422 | 32. | 453.0 | 2.519 | 330. | 4.8 |
| 61 | 31.366 | 67.842 | 15. | 372.9 | 2.519 | 330. | 4.8 |
| 62 | 31.252 | 68.720 | 112. | 323.2 | 2.519 | 330. | 4.8 |
| 63 | 37.479 | 73.312 | 33. | 564.6 | 2.785 | 610. | 4.7 |
| 64 | 31.749 | 71.859 | 33. | 205.5 | 2.785 | 610. | 4.7 |
| 65 | 31.745 | 71.650 | 36. | 192.4 | 2.778 | 600. | 4.7 |
| 66 | 31.987 | 67.444 | 33. | 383.9 | 2.771 | 590. | 4.7 |
| 67 | 32.272 | 71.878 | 41. | 169.4 | 2.699 | 500. | 4.7 |
| 68 | 28.736 | 71.658 | 33. | 503.0 | 2.690 | 490. | 4.7 |
| 69 | 32.795 | 71.582 | 33. | 112.1 | 2.653 | 450. | 4.7 |
| 70 | 31.911 | 68.340 | 118. | 317.2 | 2.643 | 440. | 4.7 |
| 71 | 37.479 | 73.312 | 33. | 564.6 | 2.633 | 430. | 4.7 |
| 72 | 31.623 | 67.602 | 10. | 382.2 | 2.613 | 410. | 4.7 |
| 73 | 33.673 | 72.212 | 22. | 181.2 | 2.602 | 400. | 4.7 |
| 74 | 32.151 | 69.180 | 120. | 233.5 | 2.591 | 390. | 4.7 |
| 75 | 30.022 | 72.004 | 33. | 378.3 | 2.568 | 370. | 4.7 |
| 76 | 31.439 | 67.705 | 10. | 381.7 | 2.531 | 340. | 4.7 |
| 77 | 31.760 | 68.284 | 118. | 329.8 | 2.531 | 340. | 4.7 |
| 78 | 29.504 | 68.842 | 55. | 456.8 | 2.477 | 300. | 4.7 |
| 79 | 28.448 | 69.633 | 117. | 547.6 | 2.447 | 280. | 4.7 |
| 80 | 28.636 | 69.282 | 121. | 538.6 | 2.447 | 280. | 4.7 |
| 81 | 29.776 | 71.283 | 49. | 383.4 | 2.778 | 600. | 4.6 |
| 82 | 30.952 | 71.819 | 33. | 276.4 | 2.653 | 450. | 4.6 |
| 83 | 34.292 | 70.426 | 106. | 168.4 | 2.633 | 430. | 4.6 |
| 84 | 31.717 | 67.667 | 10. | 371.1 | 2.623 | 420. | 4.6 |
| 85 | 35.798 | 74.674 | 33. | 533.9 | 2.623 | 420. | 4.6 |
| 86 | 37.948 | 73.013 | 33. | 594.5 | 2.613 | 410. | 4.6 |
| 87 | 28.242 | 72.244 | 33. | 572.9 | 2.580 | 380. | 4.6 |
| 88 | 30.816 | 71.456 | 81. | 284.4 | 2.580 | 380. | 4.6 |
| 89 | 33.387 | 72.222 | 33. | 192.8 | 2.574 | 375. | 4.6 |
| 90 | 30.627 | 71.738 | 52. | 307.8 | 2.568 | 370. | 4.6 |
| 91 | 28.678 | 69.577 | 95. | 520.2 | 2.531 | 340. | 4.6 |
| 92 | 31.471 | 68.748 | 10. | 284.6 | 2.477 | 300. | 4.6 |
| 93 | 37.411 | 73.425 | 33. | 564.9 | 2.362 | 230. | 4.6 |
| 94 | 34.162 | 70.078 | 10. | 132.1 | 2.681 | 480. | 4.5 |
| 95 | 31.554 | 67.795 | 8. | 366.6 | 2.663 | 460. | 4.5 |
| 96 | 31.210 | 72.201 | 33. | 368.7 | 2.643 | 440. | 4.5 |
| 97 | 29.151 | 71.416 | 33. | 452.5 | 2.643 | 440. | 4.5 |
| 98 | 32.501 | 71.864 | 33. | 153.0 | 2.638 | 435. | 4.5 |
| 99 | 32.201 | 71.289 | 82. | 149.1 | 2.633 | 430. | 4.5 |
| 100 | 31.206 | 68.435 | 112. | 348.5 | 2.633 | 430. | 4.5 |
| 101 | 37.571 | 73.164 | 33. | 565.2 | 2.623 | 420. | 4.5 |
| 102 | 33.013 | 70.253 | 108. | 119.0 | 2.623 | 420. | 4.5 |
| 103 | 35.547 | 73.721 | 33. | 431.9 | 2.591 | 390. | 4.5 |
| 104 | 32.092 | 68.350 | 132. | 313.7 | 2.591 | 390. | 4.5 |
| 105 | 29.173 | 68.245 | 116. | 530.9 | 2.568 | 370. | 4.5 |
| 106 | 34.275 | 73.494 | 33. | 338.5 | 2.544 | 350. | 4.5 |
| 107 | 36.436 | 69.686 | 150. | 410.8 | 2.544 | 350. | 4.5 |
| 108 | 33.251 | 73.328 | 33. | 296.1 | 2.519 | 330. | 4.5 |
| 109 | 33.048 | 73.144 | 33. | 275.7 | 2.505 | 320. | 4.5 |
| 110 | 34.058 | 70.384 | 33. | 112.0 | 2.505 | 320. | 4.5 |
| 111 | 33.048 | 73.144 | 33. | 275.7 | 2.505 | 320. | 4.5 |
| 112 | 36.844 | 73.589 | 33. | 524.1 | 2.491 | 310. | 4.5 |

| N | LAT. | LONG. | H | DISTH | LOG(T) | T | MB |
|-----|--------|--------|------|-------|--------|------|-----|
| 113 | 36.495 | 70.506 | 164. | 407.6 | 2.462 | 290. | 4.5 |
| 114 | 33.330 | 72.930 | 33. | 252.8 | 2.447 | 280. | 4.5 |
| 115 | 34.606 | 69.004 | 185. | 309.1 | 2.380 | 240. | 4.5 |
| 116 | 32.991 | 67.803 | 34. | 322.5 | 2.633 | 430 | 4.4 |
| 117 | 31.814 | 67.713 | 46. | 364.7 | 2.591 | 390. | 4.4 |
| 118 | 31.471 | 67.864 | 22. | 365.1 | 2.556 | 360. | 4.4 |
| 119 | 37.707 | 72.880 | 33. | 564.0 | 2.531 | 340. | 4.4 |
| 120 | 34.409 | 69.189 | 174. | 278.7 | 2.477 | 300. | 4.4 |
| 121 | 29.119 | 69.584 | 111. | 476.9 | 2.415 | 260. | 4.4 |
| 122 | 36.518 | 73.018 | 33. | 457.4 | 2.398 | 250. | 4.4 |
| 123 | 31.937 | 72.292 | 47. | 228.4 | 2.613 | 410. | 4.3 |
| 124 | 34.872 | 70.889 | 10. | 193.8 | 2.556 | 360. | 4.3 |
| 125 | 31.852 | 71.368 | 76. | 179.4 | 2.602 | 400. | 4.2 |
| 126 | 31.269 | 67.730 | 106. | 403.1 | 2.544 | 350. | 4.2 |
| 127 | 32.193 | 71.815 | 33. | 167.6 | 2.531 | 340. | 4.2 |
| 128 | 36.712 | 72.907 | 33. | 468.6 | 2.519 | 330. | 4.2 |
| 129 | 33.259 | 70.441 | 89. | 93.9 | 2.447 | 280. | 4.0 |

Se probaron variaciones posibles de la expresión (2), obteniéndose el mejor ajuste de los datos según el estimador:

$$\hat{m}_\tau = A_0 + A_1(\log \tau)^2 + A_2 \Delta \quad (11)$$

$$A_0 = 2.410 \pm 0.14$$

$$A_1 = 0.3127 \pm 0.0177$$

$$A_2 = 0.0004 \pm 0.0001$$

con un coeficiente de correlación múltiple de 0.8444, desviación standard de 0.19 y una máxima dispersión de la magnitud observada menos la calculada de ± 0.4 .

Para el caso de una estimación rápida de magnitud, cuando no se dispone de información confiable de distancia hipocentral, la mejor expresión obtenida es:

$$\hat{m}_\tau = A_0 + A_1(\log \tau)^2 \quad (12)$$

donde:

$$A_0 = 2.62 \pm 0.13$$

$$A_1 = 0.3006 \pm 0.0180$$

con un coeficiente de correlación de 0.8288, desviación standard de 0.19 y máxima dispersión de ± 0.5 .

4. DISCUSION

Las relaciones (11) y (12), son los mejores estimadores obtenidos del conjunto de las variaciones posibles de la expresión (2), luego de analizar en detalle los valores de los coeficientes y sus incertezas junto con el coeficiente de correlación múltiple y desviación standard obtenidas para cada variante de la expresión.

La dispersión máxima de los estimadores (11) y (12) propuestos, para el rango de magnitudes y distancias utilizadas, es de ± 0.4 y ± 0.5 , respectivamente, las cuales son bastante aceptables considerando que la magnitud m_b determinada por el USGS es el promedio de las magnitudes reportadas por estaciones sismológicas de la red mundial, con una dispersión máxima de ± 1.0 .

Para el caso de estimación preliminar rápida de magnitud, se intentó una regresión del tipo $m_\tau = A_0 + A_1 \cdot \log \tau$ para poder compararla con la obtenida por Aki (1973) para la estación sismológica de Santiago:

$$m(\tau) = -1.9 + 2.5 \log \tau \quad (13)$$

Para el conjunto de datos utilizados en el presente trabajo se obtuvo: $A_0 = 0.37 \pm 0.27$ y $A_1 = 1.65 \pm 0.10$, con un coeficiente de regresión de 0.8225 y desviación standard de 0.20. Esta relación con la duración es considerada poco significativa debido a la gran incerteza (72.7%) en la determinación del coeficiente A_0 .

La relación (13), obtenida por Aki (1973), es considerada un buen estimador para magnitudes m_B menores que 4.0, esto es, para duración τ menor que 240 segundos.

Por estas razones, para estimar la magnitud de sismos cercanos ($\Delta \leq 600$ Km.) a la estación sismológica Peldehue, en el rango de magnitud $4.0 \leq m_B \leq 6.1$, los cuales corresponden a la mayoría de los sismos sensibles por la población en Chile Central ($27^\circ - 39^\circ$ latitud sur), se recomienda utilizar la relación (11) y la relación (12) en el caso de estimación preliminar cuando no se dispone de información confiable de distancia hipocentral.

Para duración total (τ) menor que 240 segundos ($m_B \leq 4.0$), se recomienda utilizar la relación (13) dada por Aki.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece la valiosa colaboración del Señor Héctor Massone en las lecturas de duración (τ) desde los registros de la estación sismológica PEL.

6. REFERENCIAS

- AKI K. (1969). Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scattered waves. *Journal of Geophysical Research* V. 74, 615-631.
- AKI K. (1973). Relation among the magnitude, total duration and coda period for local earthquakes. Apuntes profesor invitado al Departamento de Geofísica y Geodesia. Universidad de Chile.
- BEVINGTON P. (1969). Data reduction and error analysis for the physical sciences. McGraw-Hill, 336 pp.
- LEE W., BENNETT R. Y MEAGHER, K. (1972). A method of estimating magnitude of local earthquakes from signal duration. U.S. Geological Survey. Open File Report 1972.
- U.S.G.S. Preliminary Determination of epicenters. Monthly Listing, (Jan 78 - May 82). U.S. Department of Interior/Geological Survey.
- WAHLSTROM R. Y AHJOS T. (1982). Determination of local magnitude and calibration of magnitude scales for earthquakes in the Baltic Shield. Publ. 185, Inst. Seismology, Univ. Helsinki, 39 pp.