

DETERMINACIÓN PRELIMINAR DE LA MAGNITUD DE SISMOS LOCALES EN BASE A LOS REGISTROS DEL ACELERÓMETRO SSA - 2

Silva Eduardo O., Tornello, Miguel E., Frau Carlos D.

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza - Centro Regional de
Desarrollo Tecnológico para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica
ceredetec@frm.utn.edu.ar

RESUMEN

El Servicio de Información Sísmica tiene por objeto informar en forma rápida a las autoridades y medios de comunicación masiva las características preliminares de eventos sísmicos sensibles que tengan relevancia para los habitantes de la zona norte de la Provincia de Mendoza.-

Uno de los parámetros importantes a tener presente, además de la distancia hipocentral, duración de la parte intensa y aceleraciones alcanzadas, es la magnitud del evento.-

Generalmente para determinar la magnitud de un sismo se toman en cuenta los sismogramas obtenidos en sismógrafos.-

Con el advenimiento de acelerómetros digitales, donde es posible calibrar el tiempo de preevento es posible obtener registros casi completos de los sismos importantes que ocurren a distancias de hasta aproximadamente 400 km. del lugar de emplazamiento del instrumento.-

Por tal motivo se ha estudiado la aplicación de diversas fórmulas utilizadas para determinar magnitudes basadas en la duración del evento, arribo de ondas P y/o S y distancia hipocentral a más de 100 registros obtenidos en un acelerómetro digital SAA-2 desde 1995.-

En base a ello y a las magnitudes de esos eventos determinadas internacionalmente, se ha logrado formular un método rápido para determinar el valor preliminar de la magnitud de un evento, especialmente de aquéllos que tienen corta distancia hipocentral.-

Además es de interés asignarle magnitud a eventos locales que por diversos motivos no llegan a ser catalogados internacionalmente

OBJETIVO

El objetivo fundamental es poder determinar la magnitud preliminar de eventos sensibles de corta distancia hipocentral, aproximadamente hasta 400 km., en función de los parámetros obtenidos de los registros en un acelerómetro digital SAA - 2, tales como la duración del evento, duración de la parte principal y lectura del intervalo (S - P).- Esto significa obtener una magnitud preliminar basada en la duración del registro o coda.

Con el conocimiento de la distancia hipocentral, duración de la parte intensa, intensidad en el sitio y magnitud es probable tener, a poco de haber ocurrido el evento, una idea clara de sus características y evaluar la probabilidad de la ocurrencia de daños.

Además es de interés calcular la magnitud de eventos locales sensibles que por diversos motivos no llegan a ser catalogados internacionalmente.

INTRODUCCIÓN

Es conocida la situación que la magnitud de un sismo varía sustancialmente según donde haya sido calculada, tanto por el método empleado como por la ubicación geográfica del lugar de registro.

Por tal motivo se pueden observar modificaciones de los valores de magnitud en los catálogos, según las revisiones sucesivas de los mismos.

La revisión y actualización de los Catálogos Sísmicos es un proceso continuo a medida que se encuentra nueva información, se relocalizan epicentros, se recalculan magnitudes e intensidades o se eliminan errores (1995). Como ejemplo de ello se citan los siguientes casos:

El sismo del 26 de octubre de 1996 (U.T.C. 10 25 50.1 32,817 S 68,882 W h = 33 km) que tuvo una intensidad media en el Gran Mendoza de V en la Escala de Mercalli Modificada y cuya máxima intensidad instrumental se registró en el aeropuerto El Plumerillo donde alcanzó según el registro de sismoscopio el grado 6,2 de esa escala.

La máxima aceleración registrada en el CEREDETEC se obtuvo en la componente norte sur y alcanzó a 0,0283g, siendo la segunda más alta registrada desde 1995 a la fecha

La magnitud ML del sismo se calculó en el CEREDETEC, considerando el epicentro indicado por la red de sismoscopios y la distancia hipocentral según el registro del acelerómetro (arriba de ondas P y S) en 5,3 , según la fórmula empírica (ref. 3 y ref. 7).-

$$M = 0,67 I_o + 2,33 \log h - 2$$

A este evento se le asignó internacionalmente en un primer momento la magnitud 4,4.- En los catálogos actualizados la magnitud ha crecido hasta llegar a 5,0

Actualmente, con la aplicación de la fórmula deducida que mejor se ajusta a los valores internacionales en el presente trabajo, se llega a una magnitud $M = 5,6$

El otro ejemplo a considerar es el terremoto de Punitaqui, Chile ocurrido el 15 de octubre de 1997 (U.T.C. 1 03 33 30,93 S 71,22 W h = 58 km.) que tuvo una intensidad media en el Gran Mendoza de VI en la Escala de Mercalli Modificada y cuya máxima intensidad instrumental se registró en el aeropuerto El Plumerillo donde alcanzó según el registro de sismoscopio el grado 6,2 de esa escala.-

La máxima aceleración registrada en el CEREDETEC se obtuvo en la componente Este - Oeste y alcanzó a 0,02377g, siendo la quinta más alta registrada desde 1995 a la fecha.-

La magnitud del sismo se calculó en el CEREDETEC, considerando el epicentro indicado por datos internacionales y la distancia hipocentral según el registro del acelerómetro (arriba de ondas P y S) en 7,6 , según la fórmula dada en el caso anterior.-

A este evento se le asignó internacionalmente en un primer momento la magnitud 6,8.(ref. 2, ref. 9).- En los catálogos actualizados la magnitud ha crecido hasta llegar a 7,6.-

Actualmente, con la aplicación de la fórmula deducida que mejor se ajusta a los valores internacionales en el presente trabajo, se llega a una magnitud $M = 6,5$

El ejemplo más reciente para ver como van variando los parámetros sísmicos en función del tiempo lo tenemos observando la tabla N° 1 correspondiente al sismo ocurrido en Chile el 20 de junio de 2003.

Tabla N° 1

VARIACIÓN DE PARÁMETROS EN EL TIEMPO DEL SISMO 20 - 06 - 2003

Día	Hora	Latitud	Longitud	Prof.	Magnitud	Fuente
20	11:15	-----	-----	-----	6,5	CEREDETEC
20	15:00	-----	-----	-----	6,2	ONEMI
23	13:50	30,722	71,591	23,1	Mb GS 6,2 ML GUC 6,7	Servicio Sismológico U. De Chile
24	19:50	30,52	71,42	12,8	6,8	NEIC
30	18:30	30,53	71,37	32	Ms GS 6,8	NEIC

Además es de interés asignarle magnitud a eventos locales que por diversos motivos no llegan a ser catalogados internacionalmente, como por ejemplo el ocurrido el 20 de enero de 2003 a las 21:59 H.O.A. que no ha sido reportado y que alcanzó una magnitud aproximada a 4,8. La distancia focal se calculó en 58 km. y alcanzó al grado III M.M.

En la Tabla N° 2 se observan algunas de las fórmulas de magnitudes usadas en algún momento por diferentes países de América del Sur

Tabla Nº 2
ALGUNAS EXPRESIONES DE MAGNITUDES USADAS EN PAISES
SUDAMERICANOS (ref. 1, ref. 5 y ref. 8)

PAIS	MAGNITUD
ARGENTINA	$ML = 2,43 + 0,33 (\log T)^2 + 0,0006 D + 0,0004 H$ <p>DONDE: T: Duración total del registro en segundos D: Distancia epicentral en km. H: Profundidad de foco en km.</p>
BOLIVIA	$mb = 0,65 + 0.89 ML$ <p>Otra fórmula usada es:</p> $mb = 2,37 + 0.56 Ms$ <p>Siendo Ms la magnitud reportada por Pasadena</p> $ML = \log (A/T) + 1,8 \log (d) + 3,5$ <p>DONDE: A = Amplitud máxima en micrones de la onda S del sismograma de período corto T = período predominante para el mismo tren de ondas d = la distancia epicentral en grados 3,5 = corrección de escala para adecuarse a la de Richter Otra fórmula usada es:</p> $ML = 1.08 + 0.6228 Io$ <p>Siendo Io la intensidad máxima en la escala de Mercalli Modificada (MM)</p>
BRASIL	<p>Usando datos macrosísmicos</p> $mb = 1.63 + 0.60 \log (At)$ <p>At es el área total afectada en kilómetros cuadrados encerrada por la isosista de intensidad II MM</p> <p>Otra expresión es:</p> $mb = 2.29 + 0.55 \log (AIV)$ <p>DONDE: AIV es el área de la curva isosista con intensidad IV MM</p> <p>Usando datos instrumentales:</p> $mb = \log (A/T) + 2.3 \log d - 2.28$ <p>DONDE: A = máxima amplitud del movimiento del suelo en micrones</p>

PAIS	MAGNITUD
	<p>T = período de la onda, en segundos, correspondiente a A d = distancia epicentral en km.</p>
CHILE	$M_C = a \log (T_C) + bD + c$ <p>M_C = Magnitud Coda (en función de la duración de un sismo)</p> <p>DONDE: T_C = Duración de un sismo en un registro D = Distancia foco - estación. a, b, c = Constantes que se obtienen por regresión lineal de T_C v/s magnitud.</p>
COLOMBIA	<p>Para eventos no instrumentales</p> $mb = \log (A/T) + 1.35 (d) + 0.77$ <p>DONDE: A = máxima amplitud del movimiento del suelo en micrones T = período de la onda, en segundos, correspondiente a A d = distancia epicentral en km.</p> <p>Para eventos no instrumentales</p> $M_s = 1 + 2/3 I_o$ <p>I_o = Intensidad Máxima</p>
ECUADOR	$M_s = 1 + 2/3 I_o$ <p>Similar a la usada en Colombia</p>
PERÚ	$mb = \log (A/T) + Q$ <p>Q se determina de los gráficos Q (PZ) dados por Duda (1970)</p> <p>Para eventos no instrumentales</p> <p>1) $M = 0.090 I_o + 4.147 \log(h) + 0.752$ para $I_o > 6$ y $0 < h < 33$</p> <p>2) $M = 0.472 I_o - 5.361 \log(h) + 13.023$ para $I_o > 6$ y $33 < h < 100$</p> <p>3) $M = 0.287 I_o + 1.200 \log(h) + 1.703$ para $2 < I_o < 6$ y $0 < h < 33$</p> <p>4) $M = 0.284 I_o + 4.223 \log(h) - 4.147$ para $2 < I_o < 6$ y $33 < h < 130$</p> <p>DONDE: I_o = Intensidad máxima en la escala MSK h = Profundidad de foco en km.</p>

DESARROLLO DEL TRABAJO

Se toman como base cinco referencias para el desarrollo del trabajo:

1.- La fórmula propuesta por Lee y Lahr en 1972 para California para terremotos locales con distancias epicentrales de hasta 500 km:

$$M_L = 2 \log t - 0,87 + 0,0035 D$$

Siendo:

t Duración del registro del terremoto en segundos

D Distancia epicentral en kilómetros

Fórmula del tipo:

$$M_L = A_0 + A_1 \log T + A_2 d \quad (1)$$

Siendo:

A_0 = Magnitud base

A_1 = Coeficiente que calibra al logaritmo de la duración total T

A_2 = Coeficiente correspondiente al intervalo (S - P) relacionado a la distancia epicentral propuesta por los autores

2.- La fórmula propuesta por el INPRES (ref. 5)

$$M_L = 2,43 + 0,33 (\log T)^2 + 0,0006 D + 0,0004 H$$

Siendo:

T : Duración total del registro en segundos

D : Distancia epicentral en km.

H : Profundidad de foco en km.

Fórmula del tipo:

$$M_L = A_0 + A_1 (\log T)^2 + A_2 d \quad (2)$$

Donde:

A_0 = Magnitud base

A_1 = Coeficiente que afecta al cuadrado del logaritmo de la duración total del registro

A_2 = Considera al intervalo (S - P) correspondiente a los dos últimos términos de la fórmula propuesta por el INPRES: distancia epicentral y profundidad de foco

3.- Se ha intentado correlacionar la magnitud con la duración de la parte intensa del evento (ref. 4) y la distancia hipocentral mediante la fórmula:

$$M_L = A_0 + A_1 \log T_i + A_2 d \quad (3)$$

Donde:

T_i : Duración de la parte intensa del registro en segundos expresada según la definición dada en la (ref. 4)

d : Intervalo (S - P) medido en segundos

A_0 = Magnitud base

A_1 = Coeficiente que afecta la duración de la parte intensa del sismo

A_2 = Coeficiente que afecta a la distancia al foco

4.- Correlación de la magnitud M_L con la duración total del registro y la distancia hipocentral mediante la expresión:

$$M_L = A_0 + A_1 T + A_2 d \quad (4)$$

Donde:

T : Duración total del registro en segundos a partir de la primera onda "P" .-

d : Intervalo (S - P) medido en segundos.-

A_0 = Magnitud base

A_1 = Coeficiente que afecta la duración total del registro

A_2 = Coeficiente que afecta a la distancia al foco

Como generalmente los instrumentos se disparan con las primeras ondas S que arriban puede ocurrir que para eventos de magnitudes del orden de 4 y distancias focales del orden de los 200 km no se obtenga el registro completo a partir de la primera onda "P".- Por tal motivo se ha intentado efectuar una correlación como la siguiente:

5.- Correlación de la magnitud M_L con la duración del registro a partir de la llegada de la onda "S" mediante la expresión:

$$M_L = A_0 + A_1 T_{F-S} \quad (5)$$

Donde:

T_{F-S} : Duración del registro en segundos a partir de la llegada de la primera onda "S".-

A_0 = Magnitud base

A_1 = Coeficiente que afecta la duración del registro desde la llegada de la onda "S", hasta el fin del mismo

Metodología

En el estudio se siguieron los siguientes pasos:

1. Se recopiló bibliografía.-
2. Se utilizó la base de datos de los sismos registrados desde julio de 1995 a la fecha en el acelerómetro SSA - 2 instalado en la sede del CEREDETEC.-
3. Se estudiaron los parámetros de preevento, mínimo tiempo de funcionamiento y post evento con que se caracteriza el funcionamiento del instrumento, para cada evento registrado.-
4. Se estudiaron las magnitudes de los sismos registrados provenientes de otras fuentes nacionales e internacionales, considerándolos como datos de base ciertos para el análisis.-
5. Hasta el año 1998, se han elegido aquéllos sismos que por su importancia tienen determinadas magnitudes internacionales supuestamente más confiables.- A partir de 1998 se han considerado todos los eventos que consignan magnitud.-
6. Donde las desviaciones de los valores internacionales son mayores se han revisado los acelerogramas a fin de mejorar la acotación de la duración total de los registros.-
7. El primer análisis se efectuó utilizando todos los eventos.- En iteraciones sucesivas se utilizaron aquellos sismos mejor definidos en su registro y duración.-

8. Cuando ha existido gran diferencia entre la magnitud internacional reportada con las características instrumentales y de intensidad observadas, se ha recalculado la magnitud con las expresiones obtenidas en este trabajo
9. El proceso se ha ido efectuando por aproximaciones sucesivas obteniendo los coeficientes para los diferentes tipos de fórmulas propuestas, resolviendo en cada iteración un conjunto de aproximadamente treinta sistemas de ecuaciones con tres incógnitas cada uno o de aproximadamente cuarenta y cinco sistemas de dos ecuaciones con dos incógnitas cada uno.-
10. Se comparan las determinaciones efectuadas en base a los registros del acelerómetro SSA-2 instalado en el CEREDETEC con los obtenidos en el acelerómetro Etna instalado en la Dirección de Hidráulica del Ministerio de Ambiente y Obras Públicas de la Provincia de Mendoza con los parámetros adaptados a las determinaciones efectuadas.-

RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

En sesenta y seis acelerogramas fue posible encontrar la magnitud internacional, la duración total del registro, el tiempo de llegada de la onda P y el tiempo de llegada de la onda S

Analizadas los diferentes tipos de fórmulas se determinaron los valores de los coeficientes que se obtienen en base a los datos existentes

$$M_L = 4,1916 * \log T - 1,8471 - 0,0551 * (S - P) \quad (1)$$

$$M_L = 1,6706 + 0,8001 * (\log T)^2 - 0,0575 (S - P) \quad (2)$$

$$M_L = 3,2657 + 0,04455 T - 0,05028 (S - P) \quad (4)$$

$$M_L = 3,6872 + 0,0329 T_{F-S} \quad (5)$$

Donde:

T = Duración total del registro en segundos a partir de la llegada de la onda "P"

(S - P) = Intervalo de tiempo, en segundos, entre la llegada de las ondas P y S

T_{F-S} = Duración del registro a partir de la llegada de la onda "S"

En el Gráfico N° 1 se muestran los intervalos de tiempos utilizados en las fórmulas medidos sobre un acelerograma típico

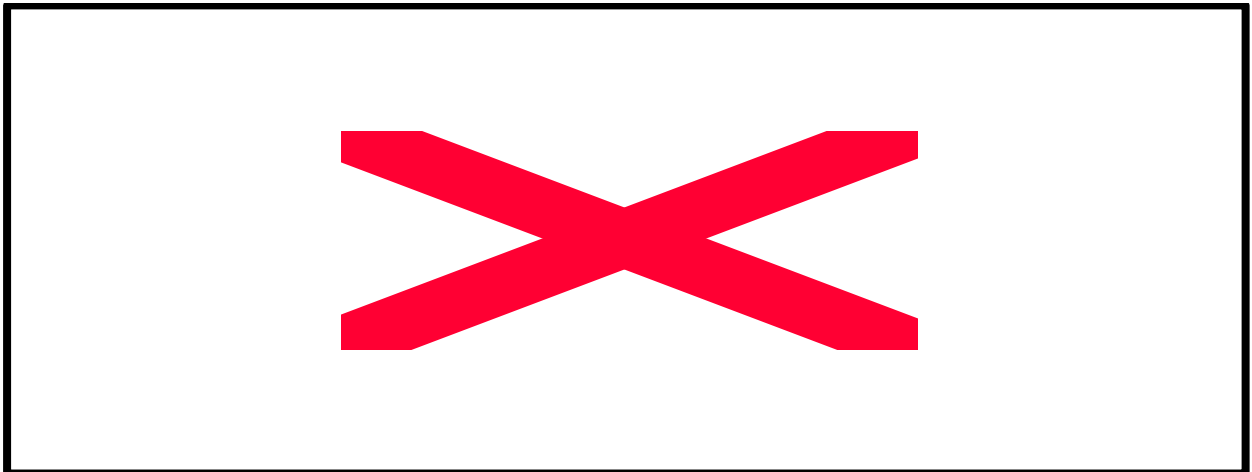
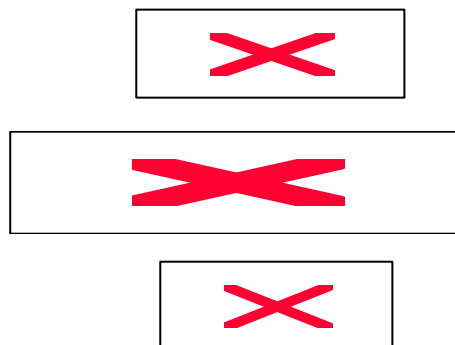


Gráfico N° 1 - Intervalos de tiempos utilizados en las fórmulas

Considerando como ciertas las magnitudes reportadas internacionalmente, se encontraron las desviaciones promedios, desviaciones típicas o estándar y varianzas de los valores encontrados según las cuatro expresiones sobre las que se ha trabajado.-

Las expresiones utilizadas a ese efecto fueron:



Donde:

D = Valor absoluto de la diferencia entre la magnitud determinada por la expresión deducida y la reportada internacionalmente

n = Número de determinaciones.- En este caso **n** = 66

Estos valores pueden observarse en la Tabla N° 3

Tabla N° 3

VALORES ESTADÍSTICOS PARA LAS DIFERENTES ECUACIONES

ECUACIÓN	(1)	(2)	(4)	(5)
Desviación promedio	0,76	1,70	0,36	0,31
Desviación típica o estándar	0,94	1,88	0,44	0,42
Varianza	0,88	3,54	0,19	0,18

Como se aprecia los mejores valores se obtienen para los determinados según la expresión (5)

En el Gráfico N° 2 se observan en su conjunto los resultados que se han obtenido usando cada una de las fórmulas anteriores comparadas con las magnitudes reportadas internacionalmente en los 66 casos donde ha sido posible aplicar simultáneamente las cuatro expresiones.-

El Gráfico N° 3 muestra en forma aislada la correlación existente entre las magnitudes reportadas internacionalmente con las determinadas en el acelerómetro SSA-2 utilizando la fórmula (5)

$$M_L = 3,6872 + 0,0329 T_{F-S}$$

donde se considera el tiempo transcurrido entre la llegada de la onda "S" y el final del registro T_{F-S} .-

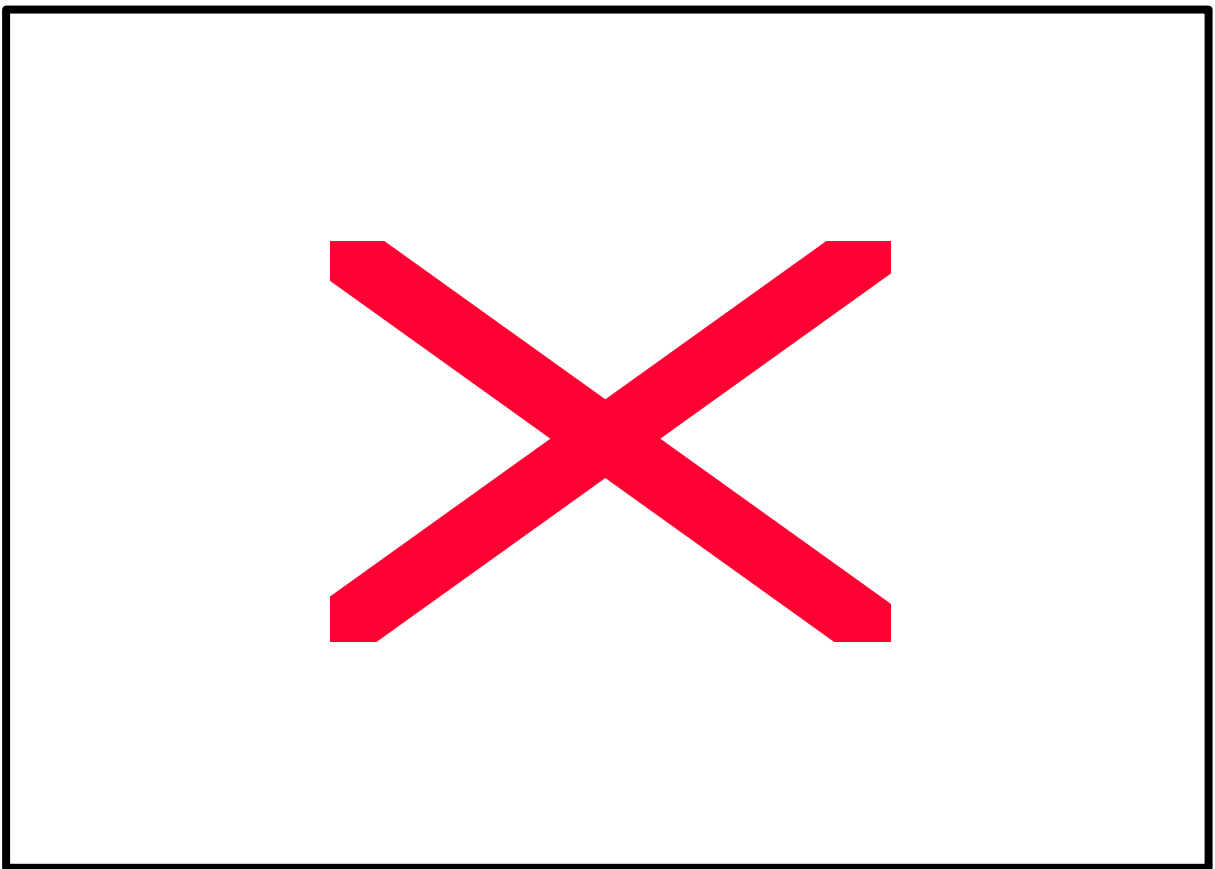


Gráfico N° 2 - Magnitud internacional Vs. Formulas (1), (2), (4) y (5)

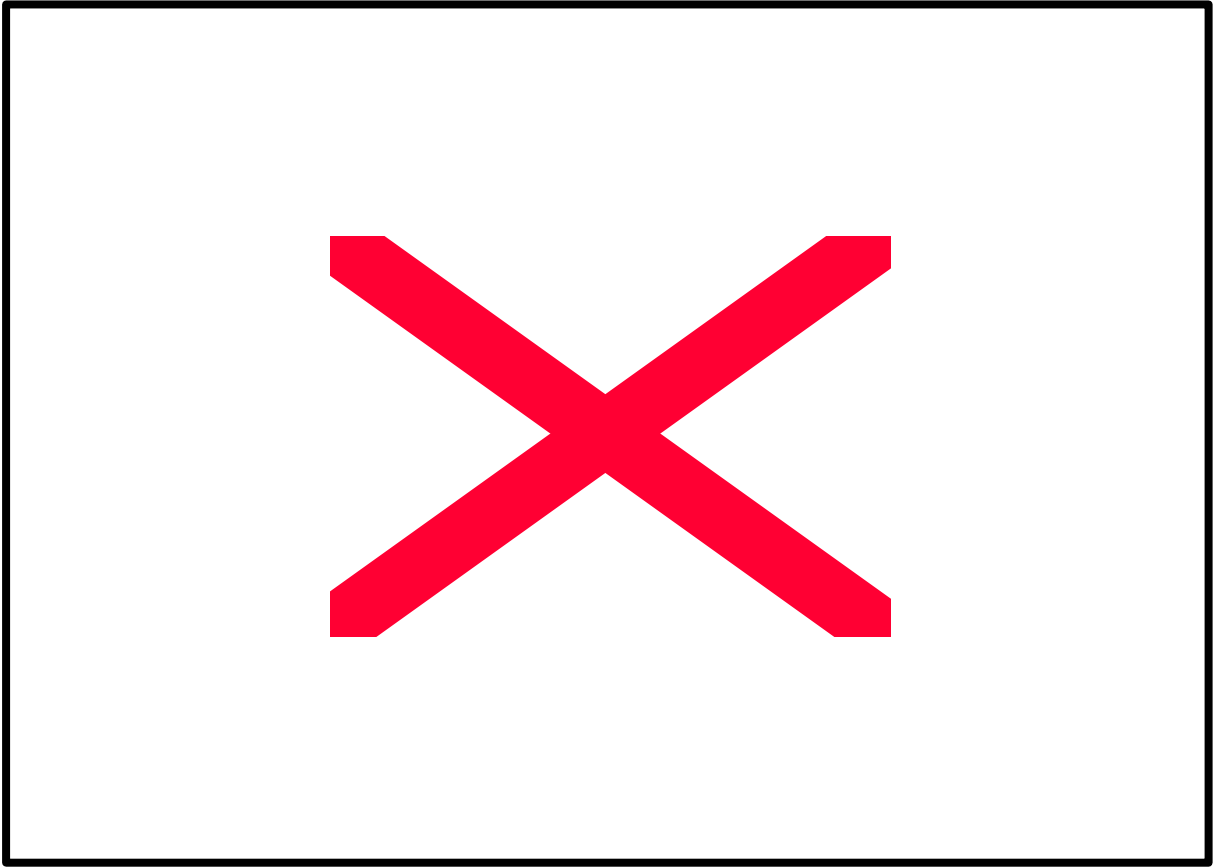


Gráfico N° 3 - Comparación Magnitudes Internacionales Vs Magnitud S - F

Comparación de resultados para distancias focales superiores a 250 km

Observando el Gráfico N° 4 se observa que aparentemente a partir de los 250 km de distancia al foco y cuando la magnitud supera el valor 5,5 las magnitudes calculadas con la expresión (5) tienden a dar un resultado sistemático por defecto

A fin de solucionar ese problema se plantea una corrección a las expresiones (4) y (5) para mejorar las determinaciones dentro de ese rango.- El resultado de la aplicación de la corrección se observa en el Gráfico N° 5

Hasta el presente solo se cuenta con 6 eventos de esas características, razón por la cual es probable que necesiten ajuste en el tiempo a medida que se acumulen mayor cantidad de datos, aunque al presente se observa una correlación aceptable

Las fórmulas que se proponen para este caso son al presente

$$M_L = 4,2 + 0,0329 T_{F-S} \quad (6)$$

$$M_L = 3,8 + 0,04455 T - 0,05028 (S - P) \quad (7)$$

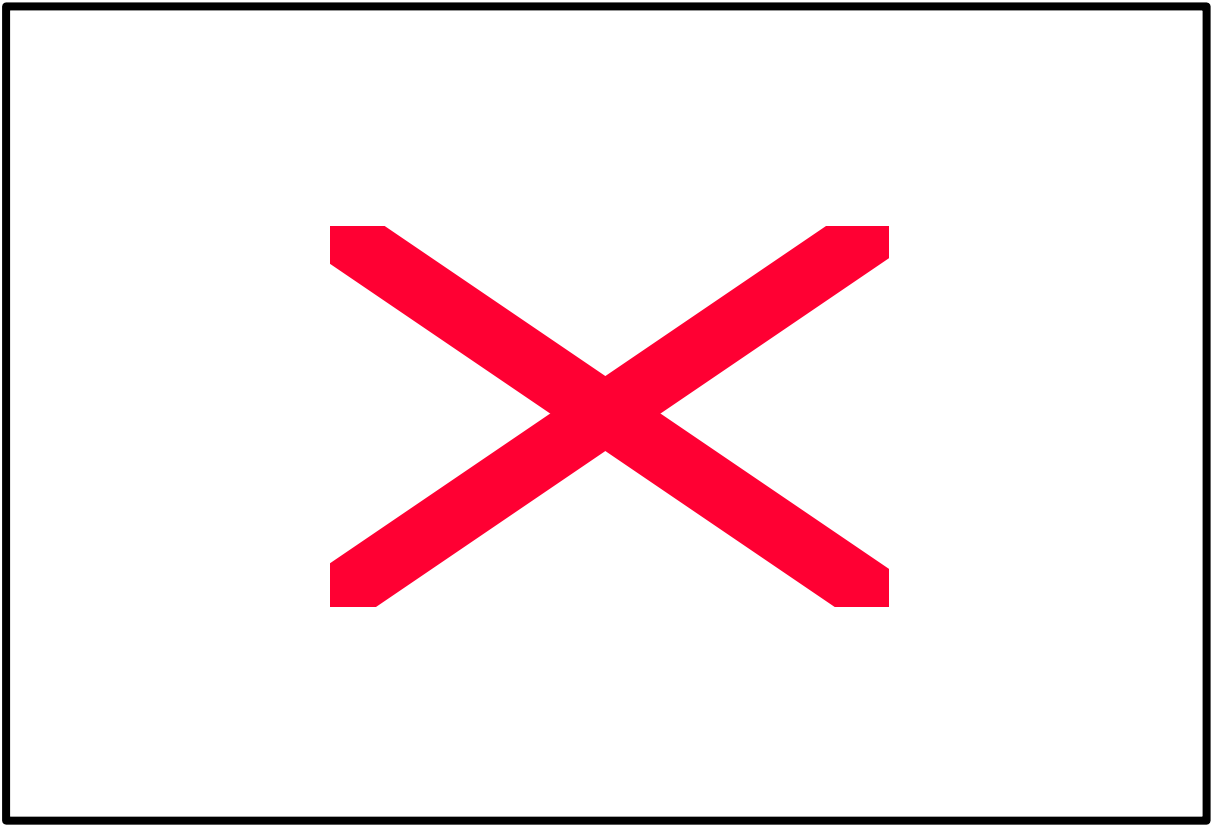


Gráfico N° 4 - Comparación de magnitudes con distancias focales

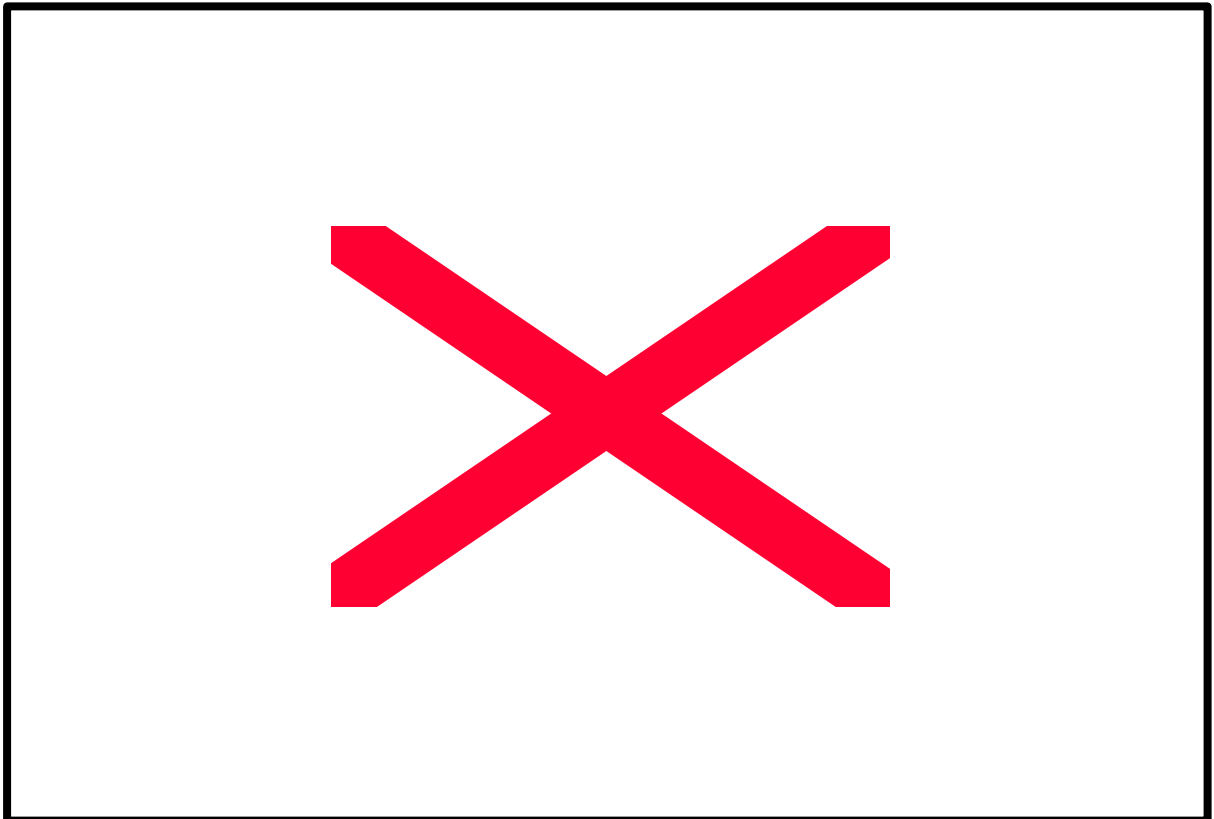
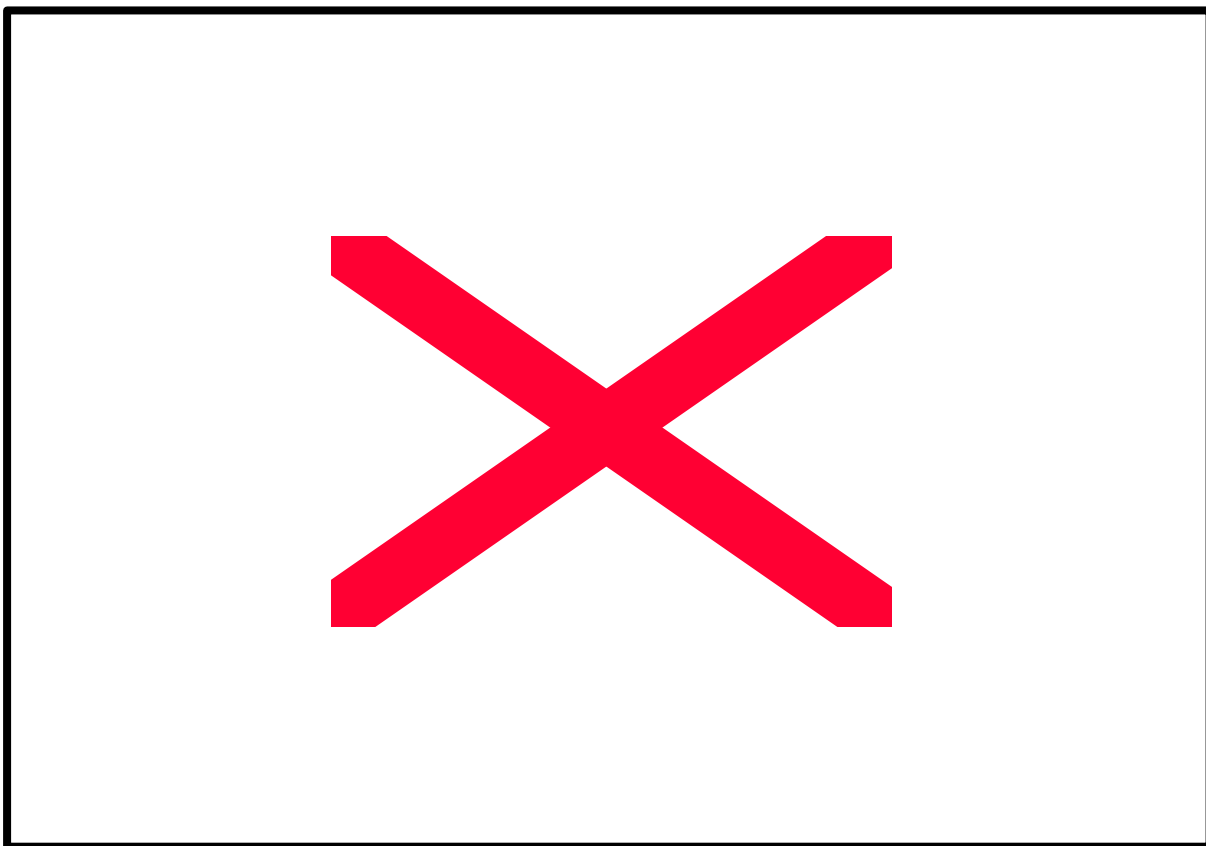


Gráfico N° 5 - Comparación de magnitudes para sismos de distancia focal superior a 250 km utilizando para el cálculo las fórmulas (6) y (7)

Limitaciones y precauciones

- En aquéllos casos donde interviene la duración total del registro puede suceder que en eventos lejanos importantes no se obtenga el registro completo por ser el intervalo (S - P) mayor que el tiempo de preevento seleccionado si el arranque del acelerómetro se produce con el valor de aceleración de alguna onda transversal.- En este caso la fórmula en que interviene el intervalo (S - P) no es aplicable.-
- Se ha seguido un proceso similar para calcular la magnitud a partir de la duración del intervalo existente entre la llegada de la onda transversal S y el final del registro.-
- Es posible que en sismos lejanos importantes no se individualice el arribo de la onda P ni la S.- En ese caso las expresiones propuestas no son aplicables.-
- HAY QUE TENER ESPECIAL CUIDADO CON LA COMPUTADORA QUE SE USA.- Puede ocurrir que en algún caso no muestre el registro total obtenido por el acelerómetro.- Esto puede visualizarse si la coda del registro no tiende a atenuarse y confundirse con la línea de base.- Este aspecto se puso de manifiesto nuevamente con el sismo del 20 de junio de 2003 y es más probable que se presente en los eventos de magnitud importante y distancia focal superior a los 200 km, como ya ocurrió con el terremoto de Punitaqui.-

- DEBEN MANTENERSE INVARIABLES LOS PARÁMETROS DEL ACELERÓMETRO.- No deben modificarse los parámetros correspondientes al preevento, tiempo mínimo de funcionamiento y post evento, como tampoco los correspondientes a los umbrales de sensibilidad de arranque.-



- En principio el método propuesto no sería aplicable a eventos de foco múltiple

Comparación de resultados para diferentes emplazamientos

Si bien son pocos los eventos registrados en diferentes acelerómetros con idénticos parámetros de registro, ya es posible comparar resultados ante los eventos ocurridos los días 18 de junio de 2002, 2 de julio de 2002, 24 de septiembre de 2002, 26 de diciembre de 2002, 18 de mayo de 2003 y 20 de junio de 2003

El Gráfico N° 6 muestra los resultados de aplicar la fórmula (4) basada en la duración total del registro

$$M_L = 3,2657 + 0,04455 T - 0,05028 (S - P)$$

a los registros obtenidos en otros acelerómetros con idénticos parámetros de funcionamiento emplazados en otros puntos del Gran Mendoza.-

En el Gráfico N° 7 se comparan los resultados de aplicar la fórmula (5) basada en la duración del registro a partir del arribo de la onda "S"

$$M_L = 3,6872 + 0,0329 T_{F-S}$$

a los registros obtenidos en otros acelerómetros con idénticos parámetros de funcionamiento emplazados en otros puntos del Gran Mendoza.-

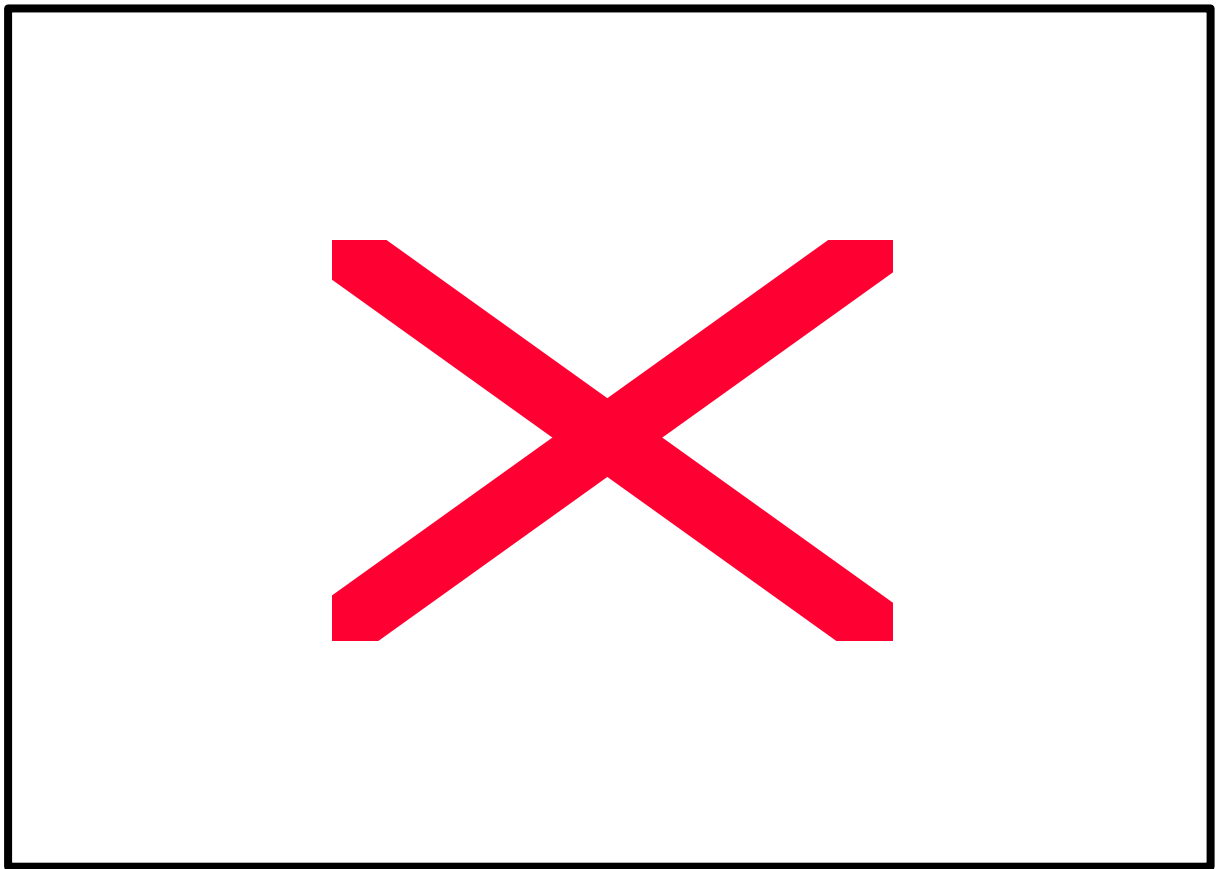


Gráfico N° 6 - Comparación de magnitudes en tres emplazamientos diferentes usando
(4)

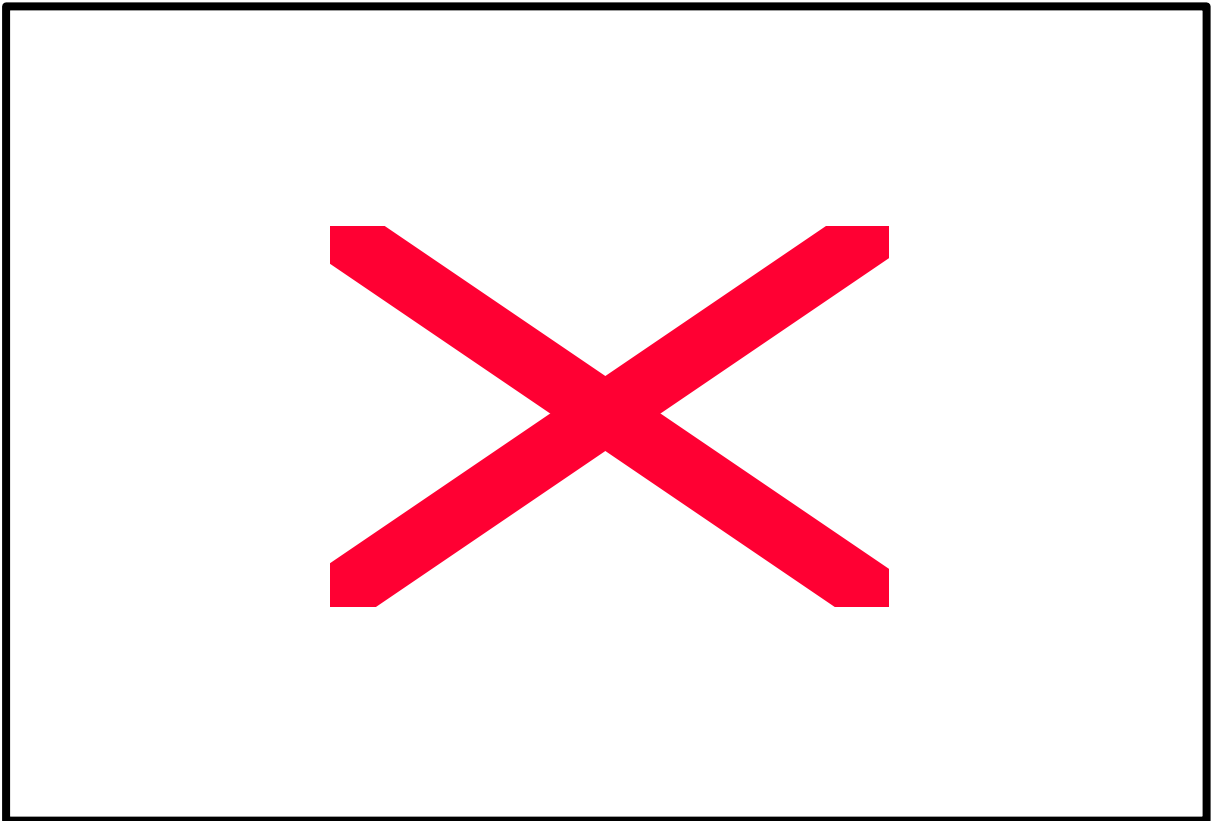


Gráfico N° 7- Comparación de magnitudes en tres emplazamientos diferentes usando (5)

CONCLUSIONES

- Se ha podido arribar a una fórmula apta para determinar la magnitud preliminar de sismos sensibles en el punto de emplazamiento del instrumento.- La misma es aplicable a eventos cuya distancia focal se encuentra hasta alrededor de 250 km..- Estas expresiones determinan magnitudes de coda, es decir magnitudes basadas en la duración del registro
- Al plantear los primeros cálculos numéricos, rápidamente se llegó a la conclusión que no era viable la determinación de la magnitud en función de la duración de la parte intensa del sismo, ya que esa duración no se relacionaría en forma confiable con la magnitud del evento (Ref. 4)
- Algunos sismos ocurridos antes de 1997, donde en base a los registros obtenidos, a la forma en que fueron percibidos y a los efectos provocados muestran diferencias apreciables entre la magnitud internacional y la magnitud determinada por el CEREDETEC (Ref. 7)
- Para idénticos parámetros instrumentales se han comprobado importantes diferencias entre la duración total del registro del mismo sismo obtenidas en diferentes acelerómetros según su emplazamiento.- Por tal motivo el método no es aplicable en forma general, debiendo hacerse un trabajo similar para determinar las constantes de las fórmulas deducidas a medida que se acumulen registros en ese emplazamiento

- Es conveniente reajustar los valores de las constantes en un periodo de tiempo prudencial a fin de mejorar la correlación, tomando las magnitudes de sismos recientes que al parecer son más confiables
- En base a los resultados disponibles hasta el presente la fórmula propuesta es la (5):

$$M_L = 3,6872 + 0,0329 T_{F-S} \quad (5)$$

Como alternativa puede usarse la expresión:

$$M_L = 3,2657 + 0,04455 T - 0,05028 (S - P) \quad (4)$$

- Cuando el intervalo (S - P) supere los 26 segundos o se tenga la seguridad de que se trata de un sismo lejano, al menos por el momento y mientras se acumulan datos de este tipo de eventos, se recomienda usar las siguientes expresiones, que en definitiva significa aumentar la magnitud obtenida según (4) y (5) en 0,5

$$M_L = 4,2 + 0,0329 T_{F-S} \quad (6)$$

$$M_L = 3,8 + 0,04455 T - 0,05028 (S - P) \quad (7)$$

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos profunda y sinceramente la colaboración brindada por los alumnos becarios Sebastián Panella y Juan Carlos Palencia que colaboraron en la elaboración de este trabajo.- Hacemos extensivo el agradecimiento a los compañeros del CEREDETEC, autoridades de la U.T.N. y Fac. Reg. Mendoza, por el apoyo a nuestro accionar.-

REFERENCIAS

Catálogo Sísmico Regional de Parámetros Focales para América del Sur - Informe Final - Instituto Panamericano de Geografía e Historia - Peligro Sísmico en Latinoamérica y El Caribe - Diciembre, 1995

Centro Sismológico de la Universidad de Tarapacá, Arica - Chile - www.uta.cl/sismología.-

"Design of Earthquake Resistant Structures" - Poliakov S. - MIR publishers - Moscú - 1974

"Duración de la Parte Principal de Sismos Locales en la Zona Norte de la Provincia de Mendoza" Silva, E.O. - Tornello M.E. - Frau C.D. - Galdame I. A. - 2002

"El terremoto de Mendoza del 26 de enero de 1985" - Instituto Nacional de Prevención Sísmica - INPRES - 1985 - pág. 23

Fundamentos de Geofísica - Capítulo 11 - Parámetros Focales de los Terremotos - pág. 185

"Informe Preliminar del Sismo del 26 de Octubre de 1996" - Silva, Tornello. - Revista CENTRO del Centro de Ingenieros, Arquitectos y Agrimensores de Mendoza, Nro 80, Año 39, Pgs. 7 a 12 - Diciembre de 1996.

Servicio Sismológico Nacional - Universidad de Chile - <http://ssn.dgf.uchile.cl>

Sismicidad en Chile - El Correo de Santiago - mundo21.tripod.com/7tevic00.html.-