

**SIMPOSIO INTERNACIONAL EN HONOR AL PROFESOR
YUJI ISHIYAMA 30 - 31 DE MAYO 2005
CISMID/FIC/UNI**

**ACTUALIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS SIMOLÓGICOS EN LA
EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO EN EL PERÚ**

Jorge ALVA ¹, Miriam ESCALAYA ²

RESUMEN

El presente trabajo presenta los resultados de la evaluación de la actividad sísmica en cada una de las fuentes sismogénicas propuestas para el Perú, habiéndose calculado la relación de recurrencia de la actividad sísmica ocurrida en el país en el periodo comprendido entre los años 1963 y 2003.

Se ha realizado una revisión de la actividad sísmica del pasado, reafirmando la definición de las fuentes sismogénicas, teniendo en cuenta las características tectónicas de la región, donde la probabilidad de ocurrencia de sismos de distintas magnitudes es homogénea en toda la fuente. Todo esto, con el propósito de efectuar la actualización de los parámetros estadísticos de recurrencia para cada una de las fuentes, utilizando la magnitud Ms y la magnitud de momento Mw.

Debido a que no existe una relación de atenuación generada con los movimientos fuertes del terreno registrados en el Perú, mediante las técnicas estadísticas aceptadas en el campo profesional para derivar dichas expresiones matemáticas, se utilizaron diversas relaciones de atenuación para evaluar la variabilidad que pueden tener los resultados al ser integrados con diferentes relaciones de atenuación. Estas evaluaciones se han realizado utilizando diferentes programas de cómputo, dependiendo de su capacidad para incluir las leyes de atenuación propuestas.

Finalmente se presentan recomendaciones para actualizar los parámetros sismológicos en la evaluación del peligro sísmico en el Perú.

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta el alto nivel de riesgo sísmico a que está expuesto el Perú y reconociendo que el entorno sísmico y los métodos de análisis cambian continuamente, es necesario proveer datos adecuados destinados a estimar la peligrosidad sísmica. Con el fin de proveer una mejor información, los parámetros sismológicos en la evaluación del Peligro Sísmico en el Perú, hasta ahora planteados, deben ser reevaluados y actualizados.

En el presente estudio se ha realizado la actualización de los parámetros de recurrencia sísmica utilizando información sismológica registrada hasta el año 2003 y se han empleado diversas leyes de atenuación de aceleraciones de sismos tanto de subducción como continentales para evaluar los resultados obtenidos con estos nuevos parámetros. Los resultados son presentados en forma de curvas de peligro sísmico.

¹ Profesor Principal, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería. Email: jalvah@terra.com.pe, jorgealvah@infonegocio.net.pe

² Postgrado en Ingeniería Geotécnica. Email: m_escalaya@hotmail.com

En este artículo se describe la metodología de cálculo de los parámetros de recurrencia y un breve ejemplo de referencia, seleccionado para distinguir las diferencias de los resultados con cada una de las leyes de atenuación utilizadas.

EVALUACIÓN DE FUENTES SISMOGÉNICAS

Una fuente sismogénica es aquella línea, zona o volumen geográfico que tiene similitudes geológicas, geofísicas y sísmicas tales, que se pueda considerar que posee un potencial sísmico homogéneo, es decir, en la que el proceso de generación y recurrencia de sismos es espacial y temporalmente similar. La definición de las fuentes sismogénicas y su demarcación es de gran importancia para estudios cuantitativos de Peligro Sísmico.

En el presente trabajo se ha realizado una revisión de la actividad sísmica del pasado, reafirmando la definición de las fuentes sismogénicas realizada por Castillo (1993). La determinación de estas fuentes sismogénicas se basó en el mapa de distribución de epicentros, así como en las características tectónicas de nuestro país, agrupándose en Fuentes de Subducción y Fuentes Continentales. Las Fuentes de Subducción modelan la interacción de las placas Sudamericana y de Nazca. Las Fuentes Continentales están relacionadas con la actividad sísmica superficial andina. Se han presentado las fuentes como áreas, ya que no existen suficientes datos para modelar las fallas activas como fuentes lineales en este tipo de análisis.

La Figura N° 1 muestra las 20 fuentes sismogénicas definidas. Las Fuentes 1, 2, 3, 4 y 5 están ubicadas a lo largo de la costa y representan la sismicidad superficial en la zona de Benioff (0-70 Km). Las Fuentes 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19 representan la sismicidad intermedia (71 a 300 Km). La Fuente 20 representa la sismicidad profunda (500 a 700 Km). Las Fuentes Continentales 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 están relacionadas con la actividad sísmica superficial andina.

La Tabla N° 1 presenta las coordenadas geográficas de las fuentes sismogénicas de subducción superficiales y continentales y la Tabla N° 2 presenta las coordenadas geográficas para las fuentes de subducción intermedias y profundas (Castillo, 1993)

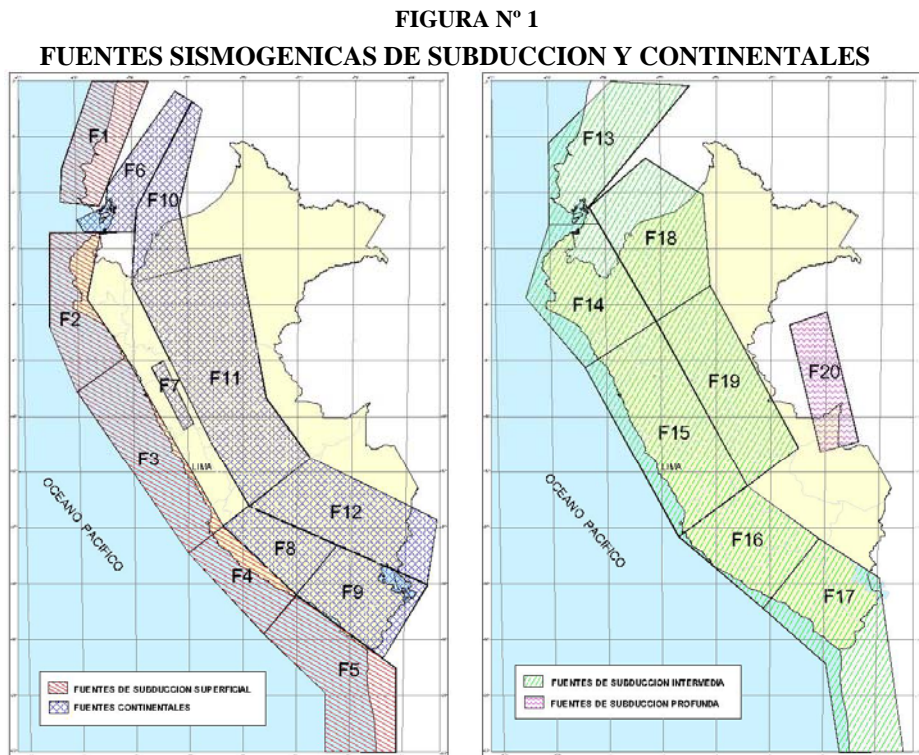


TABLA N° 1
COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LAS FUENTES DE SUBDUCCIÓN
SUPERFICIALES Y DE LAS FUENTES CONTINENTALES

FUENTES	COORDENADAS GEOGRÁFICAS (°)			
FUENTE 1	-80.29	+02.00	-78.32	+02.00
	-81.39	-00.97	-79.65	-01.21
	-81.52	-02.39	-80.19	-02.50
FUENTE 2	-82.00	-03.39	-80.17	-03.45
	-82.00	-06.83	-80.67	-05.42
	-81.17	-09.00	-79.27	-07.90
FUENTE 3	-81.17	-09.00	-79.27	-07.90
	-77.00	-14.80	-75.84	-13.87
FUENTE 4	-77.00	-14.80	-75.84	-13.87
	-74.16	-17.87	-73.00	-16.53
FUENTE 5	-74.16	-17.87	-73.00	-16.53
	-71.85	-19.87	-69.21	-19.00
	-71.85	-22.00	-69.21	-22.00
FUENTE 6	-77.50	+01.58	-76.92	+01.19
	-79.83	-01.65	-78.90	-02.53
	-79.96	-02.46	-78.97	-03.43
	-80.92	-02.96	-80.79	-03.44
FUENTE 7	-78.28	-08.20	-77.86	-08.07
	-77.21	-10.47	-76.83	-10.23
FUENTE 8	-75.84	-13.87	-74.76	-13.13
	-73.00	-16.53	-71.41	-14.67
FUENTE 9	-73.00	-16.53	-71.41	-14.67
	-69.71	-18.67	-68.12	-16.13
FUENTE 10	-76.92	+01.19	-76.50	+ 01.00
	-78.90	-02.53	-77.35	-02.40
	-79.10	-05.20	-77.00	-04.77
FUENTE 11	-79.10	-05.20	-75.10	-04.33
	-76.34	-10.67	-74.17	-09.33
	-74.76	-13.13	-72.48	-11.40
FUENTE 12	-74.76	-13.13	-72.48	-11.40
	-68.12	-16.13	-67.76	-13.80

TABLA N° 2
COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LAS FUENTES DE SUBDUCCIÓN
INTERMEDIAS Y PROFUNDAS

FUENTES	COORDENADAS GEOGRÁFICAS (°)			
FUENTE 13	-78.73	+02.00	-76.00	+01.82
	-81.00	-00.67	-79.59	-02.55
	-81.00	-03.07	-79.20	-03.07
FUENTE 14	-81.00	-03.07	-79.20	-03.07
	-81.93	-05.73	-78.60	-04.00
	-79.80	-08.13	-77.17	-06.53
FUENTE 15	-79.80	-08.13	-77.17	-06.53
	-76.38	-14.30	-73.86	-12.46
FUENTE 16	-76.38	-14.30	-73.86	-12.46
	-73.28	-16.87	-71.21	-14.40
FUENTE 17	-73.28	-16.87	-71.21	-14.40
	-70.86	-18.80	-68.93	-15.73
	-70.38	-22.00	-67.98	-22.00
FUENTE 18	-79.59	-02.55	-77.50	-00.73
	-78.60	-04.00	-75.51	-02.06
	-77.17	-06.53	-75.27	-05.33
FUENTE 19	-77.17	-06.53	-75.27	-05.33
	-73.86	-12.46	-72.03	-11.13
FUENTE 20	-72.31	-06.67	-71.00	-06.33
	-71.14	-11.30	-69.69	-10.93

EVALUACIÓN DE LA RECURRENCIA SÍSMICA

Para evaluar la variación del tamaño de los eventos sísmicos que cada fuente sísmica pueda generar es necesario determinar la recurrencia sísmica de la fuente. La recurrencia sísmica representa el número de eventos mayores o iguales a alguna magnitud dentro de la fuente y está descrita por la pendiente de la relación de recurrencia de Gutenberg y Richter (1954) b, la razón media anual de actividad sísmica v , la magnitud mínima y la magnitud máxima.

Para cuantificar *la relación de recurrencia* de la actividad sísmica de la zona en estudio se utilizó la expresión propuesta originalmente por Ishimoto-Ida en 1939 y posteriormente adecuada por Richter (1958).

$$\text{Log } N = a - bM$$

donde:

N = número de sismos de magnitud M o mayor por unidad de tiempo.

a, b = parámetros que dependen de la región y son constantes determinadas de una regresión no-lineal del catálogo de sismicidad local.

La expresión anterior también se puede describir como:

$$N = \Gamma_0 e^{-\beta M}$$

donde:

Γ_0 = 10^a es el número de sismos por unidad de tiempo con $M > 0$.

β = $b \times \ln 10$.

Para la obtención de los parámetros a y b es necesario que la base de datos disponible esté completa y lo más actualizada posible, por tal motivo se utilizó datos sismológicos desde el año 1963 al año 2003. La información sismológica fue obtenida del catálogo sísmico del Proyecto SISRA (1985) hasta el año 1992 con los datos verificados publicados por el ISC (Internacional Seismological Centre) y actualizados hasta el año 2003 por el IGP (2003).

Los parámetros estadísticos de recurrencia para cada una de las fuentes sismogénicas se han calculado utilizando la magnitud M_s y la magnitud de momento M_w , debido a que las nuevas leyes de atenuación utilizadas están expresadas en magnitud de momento, y se requiere uniformizar la entrada de datos para la integración de la amenaza sísmica.

Se utilizó la siguiente relación entre las magnitudes m_b y M_s (Castillo, 1993).

$$m_b = 3.30 + 0.40 M_s$$

Para la relación entre M_s y M_w , se consideró la obtenida por Bolaños y Monroy (2004). La relación propuesta se presenta en tres rangos:

$$M_w = 0.740 M_s + 1.742$$

$$M_s \leq 6;$$

$$M_w = 0.683 M_s + 2.039$$

$$6 < M_s < 8;$$

$$M_w = 1.093 M_s - 0.593$$

$$M_s \geq 8$$

En el análisis estadístico de los parámetros de recurrencia se utilizó el método de mínimos cuadrados. Este método ajusta los valores a una recta en función de la densidad de datos que existen en determinada zona. Los datos utilizados para el cálculo de a y b se encuentran dentro de los valores de Magnitud Mínima de Homogeneidad y Magnitud Máxima.

La tasa μ es la tasa media anual de ocurrencia de eventos mayores o iguales que la magnitud mínima de homogeneidad. Para determinar la tasa μ se utiliza una variación del diagrama de Gutenberg y Richter, que consiste en dibujar un número acumulativo de eventos mayores a una determinada magnitud versus el tiempo. De estos gráficos se puede determinar la magnitud mínima de homogeneidad (M_{\min}) y la tasa μ . La magnitud mínima de homogeneidad corresponderá al gráfico cuyo diagrama acumulativo versus tiempo muestre un comportamiento lineal monotónicamente creciente. La tasa μ es la pendiente de dicha recta.

M_{\max} es la magnitud máxima probable que puede ser liberada como energía sísmica (McGuire, 1976). Para determinar esta magnitud se utiliza el siguiente criterio: el más grande evento que ha ocurrido en la fuente en el pasado, es el máximo sismo que se espera en el futuro.

Para determinar las profundidades representativas de los hipocentros en las zonas sismogénicas se realizó un trabajo estadístico del cálculo de frecuencias de sismos versus profundidad. Las Tablas N° 3 y N° 4 presentan los parámetros de recurrencia en base a magnitudes M_s y M_w , utilizados para el caso de considerar las fuentes sismogénicas de la Figura N° 1.

TABLA N° 3
PARÁMETROS SÍSMICOS CALCULADOS EN BASE A MAGNITUDES M_s

FUENTE	Ms						PROF. (Km)
	a	b	Mmin	Mmax	BETA	TASA	
F1	2.8532	0.3468	3.0	8.1	0.80	1.62	40
F2	4.4932	0.5955	4.5	7.9	1.37	1.63	40
F3	4.1264	0.4836	3.5	8.0	1.11	6.79	40
F4	4.2187	0.5393	4.0	8.2	1.24	2.88	40
F5	4.1756	0.5254	4.0	8.2	1.21	2.97	40
F6	2.7701	0.3822	2.8	7.4	0.88	1.25	40
F7	2.2523	0.4252	3.5	7.4	0.98	0.15	45
F8	3.2145	0.5414	2.8	7.0	1.25	1.25	45
F9	3.1971	0.4536	3.5	7.5	1.04	1.02	40
F10	3.2445	0.4265	3.8	7.3	0.98	1.05	40
F11	3.7534	0.4362	3.0	7.1	1.00	6.96	40
F12	2.9039	0.4447	3.0	7.1	1.02	0.93	45
F13	3.0047	0.4711	3.0	6.9	1.08	0.98	125
F14	3.2452	0.4747	3.5	6.5	1.09	0.96	130
F15	3.4352	0.4352	3.8	7.2	1.00	1.51	130
F16	4.4482	0.6110	4.0	7.2	1.41	2.52	115
F17	5.5512	0.6915	4.8	7.5	1.59	4.26	130
F18	3.5942	0.4026	3.5	7.5	0.93	3.83	155
F19	4.3398	0.5671	4.3	7.0	1.31	1.99	160
F20	3.0434	0.3660	4.5	7.5	0.84	0.62	580

TABLA N° 4
PARÁMETROS SÍSMICOS CALCULADOS EN BASE A MAGNITUDES M_w

FUENTE	M_w						PROF. (Km)
	a	b	Mmin	Mmax	BETA	TASA	
F1	3.7217	0.4795	4.0	8.3	1.10	1.59	40
F2	6.0894	0.8392	5.1	7.4	1.93	1.61	40
F3	5.4177	0.6828	4.3	8.2	1.57	7.57	40
F4	5.6176	0.7528	4.7	8.4	1.73	3.00	40
F5	5.5403	0.7337	4.7	8.4	1.69	3.09	40
F6	3.7363	0.5305	3.8	7.1	1.22	1.31	40
F7	3.2533	0.5746	4.3	7.1	1.32	0.15	45
F8	4.4890	0.7316	3.8	6.8	1.68	1.28	45
F9	4.3551	0.6309	4.3	7.2	1.45	1.10	40
F10	4.2485	0.5763	4.5	7.0	1.33	1.13	40
F11	4.8948	0.6126	4.0	6.9	1.41	6.96	40
F12	3.9508	0.6010	4.0	6.9	1.38	0.88	45
F13	4.1138	0.6367	4.0	6.8	1.47	0.92	125
F14	4.3627	0.6415	4.3	6.5	1.48	1.01	130
F15	4.5287	0.6015	4.5	7.0	1.39	1.66	130
F16	5.8866	0.8257	4.7	7.0	1.90	2.53	115
F17	7.4704	0.9855	5.3	7.2	2.27	4.42	130
F18	4.6431	0.5638	4.3	7.2	1.30	4.14	155
F19	5.7901	0.7880	4.9	6.8	1.81	2.12	160
F20	4.0533	0.5213	5.1	7.2	1.20	0.62	580

LEYES DE ATENUACIÓN

Las leyes de Atenuación son expresiones que relacionan magnitud, posición relativa fuente-sitio e intensidad sísmica, éstas son necesarias para evaluar los efectos que produce cada una de las fuentes en el sitio de interés, en términos de intensidad sísmica.

Para evaluar la variabilidad de resultados al ser integrados con diferentes leyes de atenuación y debido a que no existe una relación de atenuación generada con los movimientos fuertes del terreno registrados en el Perú mediante las técnicas estadísticas aceptadas en el campo profesional para derivar dichas expresiones matemáticas, se utilizaron diversas relaciones de atenuación y se compararon los resultados que de ahí se derivan. Entre las más conocidas y utilizadas se encuentran las siguientes:

- Idriss, I. M. (1993)
- Sadigh, K. et al. (1993).
- Boore, D.; Joyner, W. y Fumal, T. (1993)
- McGuire (1974)
- Campbell, K.W. (1981).
- Dahle, A.; Climent, A.; Taylor, W; Bungum, H.; Santos, P.; Ciudad Real, M.; Lindholm, C.; Strauch, W. y Segura, F. (1995).
- Schmidt, V.; Dahle, A. y Bungum, H. (1997).
- Youngs, R.R.; Chiou, S.-J.; Silva, W.J. y Humphrey, J.R. (1997).
- Sadigh, K.; Chang, C.-Y.; Egan, J.A.; Makdisi, M; Youngs, R.R. (1997).
- Casaverde y Vargas (1980)

Las cuatro primeras fórmulas fueron generadas con la base de datos de movimientos del oeste de los EE.UU., donde sistemas de fallas transcurrentes y de desplazamiento de rumbo son las fuentes sismogénicas. Sin embargo corresponden a marcos tectónicos diferentes a los del Perú.

Campbell (1981) desarrolló leyes de atenuación para fuentes continentales.

Las relaciones de atenuación de Dahle et al. (1995) para Centroamérica y de Schmidt et al. (1997) para Costa Rica, fueron establecidas para marcos tectónicos donde un proceso de subducción es el fenómeno dominante.

Youngs, Chiou, Silva y Humphrey (1997), han desarrollado relaciones de atenuación para la aceleración máxima del suelo y para la aceleración espectral de respuesta, para dos tipos de terremotos que ocurren en la zona de subducción: terremotos de *interfase* y terremotos *intraplaca* que tengan una magnitud de momento $M=5$ o mayor, y para distancias de 10 a 500 kilómetros. Estas relaciones fueron desarrolladas por medio de un análisis de regresión utilizando una base de datos de 174 terremotos de las características anotadas que han ocurrido en diversas partes del mundo, tales como Alaska, Chile, Cascadia, Japón, México, Perú y Salomon Islands. Esta ley se aplica a sismos de subducción.

Las ecuaciones dadas por Sadigh, Chang, Egan, Makdisi y Youngs (1997), han desarrollado relaciones de atenuación para la aceleración máxima del suelo y para la aceleración espectral de respuesta, utilizando una base de datos de terremotos de California. Esta ley de atenuación se aplica a sismos continentales.

La ley propuesta por Casaverde y Vargas (1980) está basada en los registros de los acelerógrafos de las componentes horizontales de diez sismos peruanos registrado en Lima y alrededores, siendo evidente que existe escasez de datos de registros de aceleraciones en el Perú.

DETERMINACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO

El Peligro Sísmico puede calcularse considerando la suma de los efectos de la totalidad de las fuentes sísmicas y la distancia entre cada fuente y el sitio donde se encuentra la estructura.

Para la determinación del Peligro Sísmico se han utilizado los programas de cómputo: RISK y EZRISK desarrollados por R. McGuire (1976, 1995), y el programa MRIESGO desarrollado por Bolaños y Monroy (2004). La diversidad de programas de cómputo utilizados se debe a su capacidad para incluir las leyes de atenuación propuestas.

Estos programas se utilizaron para evaluar las probabilidades de excedencia correspondientes a determinados niveles de aceleración pico. El período de retorno de la aceleración pico es simplemente el inverso de la probabilidad anual de excedencia. Se utilizaron las relaciones de atenuación arriba mencionadas para evaluar la variabilidad que pueden tener los resultados al ser integrados con diferentes relaciones de atenuación.

En la Tabla N° 5 y la Figura N° 2 se muestran los resultados obtenidos para la Coordenada Longitud - 71.33°, Latitud -14.90°. El símbolo DA95 significa que la relación de atenuación de Dahle et al., 1995 se aplicó a todas las fuentes; I93 significa que la relación de atenuación de Idriss, 1993 se aplicó a las 20 fuentes; JB93 significa que la relación de atenuación de Boore, Joyner y Fumal, 1993 se aplicó a todas las fuentes; S93 significa que la relación de atenuación de Sadigh et al., 1993 se aplicó a todas las fuentes; S97 significa que la fórmula de Schmidt, 1997 para subducción se utilizó en las fuentes de subducción y la fórmula de Schmidt, 1997 para eventos someros se aplicó a las fuentes continentales; YO97 + CA81 significa que la ley de atenuación de Youngs et al. (1997), se aplicó a las fuentes de subducción y la

fórmula de Campbell (1981), se aplicó a las fuentes continentales; YO97+SA97 significa que la ley de atenuación de Youngs et al. (1997), se aplicó a las fuentes de subducción y la fórmula de Sadigh et al. (1997), se aplicó a las fuentes continentales. CV80+MG74 significa que la ley de atenuación de Casaverde y Vargas, 1980 se aplicó a las fuentes de subducción y la propuesta por McGuire, 1974 se aplicó a las fuentes continentales. Para estas últimas leyes se utilizaron los valores de atenuación y recurrencia sísmica en función de Ms. Para las otras leyes se utilizaron las magnitudes de momento Mw.

FIGURA N° 2
CURVAS DE PELIGRO SÍSMICO
ACELERACION MAXIMA EN LA ROCA BASE
 (Coordenadas Longitud -71.33°; Latitud -14.90°)

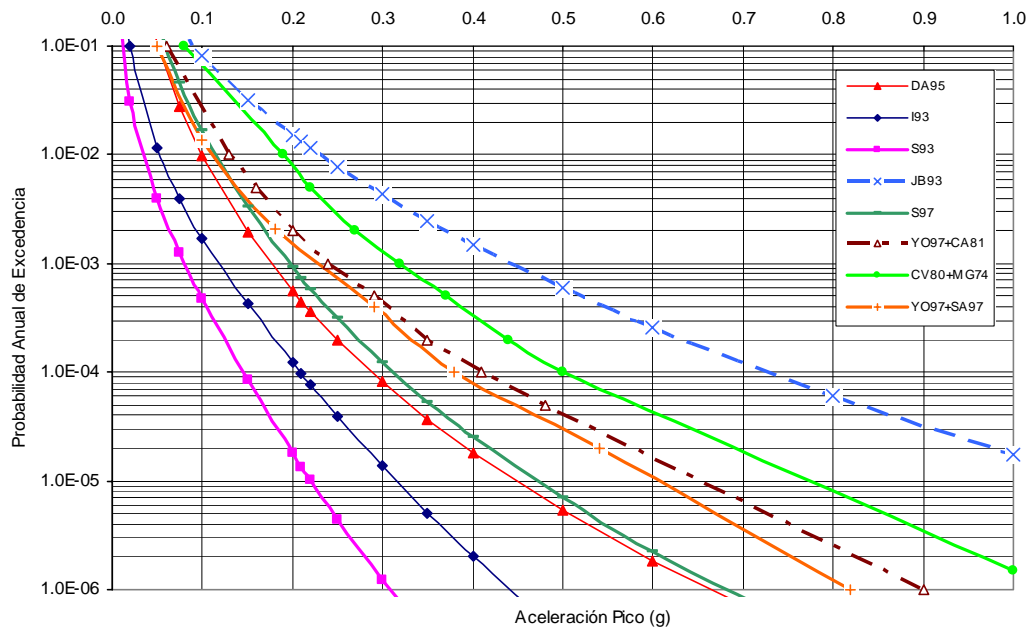


TABLA N° 5

ACELERACIONES MÁXIMAS ESPERADAS (% g) OBTENIDAS CON DIFERENTES LEYES DE ATENUACIÓN

LEY DE ATENUACIÓN	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)							
	100	200	500	1000	2000	3000	5000	10000
Idriss, I. M. (1993) I 93	0.05	0.07	0.10	0.13	0.15	0.16	0.19	0.21
Sadigh, K. et al. (1993) S 93	0.04	0.05	0.07	0.08	0.10	0.11	0.14	0.15
Boore, Joyner y Fumal (1993,4): JB 93	0.23	0.29	0.38	0.46	0.53	0.57	0.66	0.76
Dahle, A. et al (1995) DA 95	0.10	0.13	0.15	0.18	0.20	0.22	0.25	0.29
Schmidt, et al. (1997): S 97	0.13	0.14	0.18	0.20	0.23	0.25	0.28	0.32
Youngs, et al. (1997) y Campbell, K. (1981) YO97 + CA81	0.13	0.16	0.20	0.24	0.29	0.31	0.35	0.41
Casaverde y Vargas(1980) y R.McGuire (1974) CV80+M74	0.19	0.22	0.27	0.32	0.37	0.39	0.44	0.50
Youngs, et al. (1997) y Sadigh,et al. (1997) YO97 + SA 97	0.11	0.14	0.18	0.23	0.27	0.31	0.33	0.38

Se puede observar la amplia dispersión de los resultados. Es evidente que algunas de las leyes de atenuación utilizadas no son aplicables al caso en estudio. Por ejemplo I93, S93 y JB93 fueron desarrolladas para la costa oeste de EEUU y producen en nuestro caso la mayor variabilidad de resultados. Las otras leyes son para sismos de subducción o han sido utilizadas en combinación con sismos continentales, pudiéndose observar que el rango de variación de resultados es mucho menor.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente trabajo se ha realizado una revisión de la actividad sísmica del pasado, reafirmando la definición de las fuentes sismogénicas realizada por Castillo (1993).

Para la actualización de los parámetros de recurrencia sísmica se utilizó información sismológica obtenida del catálogo sísmico del Proyecto SISRA (1985) hasta el año 1992 con los datos verificados publicados por el ISC (Internacional Seismological Centre) y actualizados hasta el año 2003 por el IGP.

En el estudio probabilístico de peligro sísmico se han considerado las fuentes sismogénicas como áreas. Se han utilizado los catálogos sísmicos y determinado recurrencias sísmicas con magnitudes Ms y Mw actualizados al año 2003.

Se han utilizado diversas fórmulas de atenuación publicadas en la literatura técnica para evaluar los movimientos fuertes del terreno en el sitio generados por los eventos sísmicos ocurridos en las fuentes. Entre éstas se incluyen: Casaverde y Vargas (1980), R. McGuire (1974), Idriss, I. M. (1993), Sadigh, K. et al. (1993), Boore, Joyner y Fumal (1993,4); Campbell, K.W. (1981), Dahle, et al. (1995), Schmidt, et al. (1997), Youngs, et al. (1997), Sadigh, et al. (1997).

Se puede observar la amplia variabilidad de los resultados. Es evidente que algunas de las leyes de atenuación utilizadas no son aplicables al Perú. Por ejemplo las leyes de atenuación I93, S93 y JB93 fueron desarrolladas para la costa oeste de EEUU y producen en nuestro caso la mayor variabilidad de resultados. Las otras leyes son para sismos de subducción o han sido utilizadas en combinación con sismos continentales, pudiéndose observar que el rango de variación de resultados es mucho menor.

REFERENCIAS

- Alva Hurtado, J.E.; Meneses, J. y Guzmán, V. (1984), "Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú", V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.
- Boore, D.; Joyner, W.; y Fumal, T. (1993), "Estimation of Response and Peak Accelerations from Western North American Earthquakes", an Interim Report. USGS O.F. Report 93-509.
- Bolaños, A. y Monroy, O. (2004), "Espectros de Peligro Sísmico Uniforme", Tesis para Obtener el Grado de Magíster en Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Campbell, K.W. (1981), "Near Source Attenuation of Peak Horizontal Acceleration", Seismological Society of America Bulletin, v.71: 2039-2070.
- Casaverde, L. y Vargas, J. (1980), "Zonificación Sísmica del Perú", II Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo-Resistente, Organización de Estados Americanos y Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Castillo, J.; (1993), "Peligro Sísmico en el Perú", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.
- Cornell, A. (1968), "Engineering Seismic Risk Analysis", Bulletin of the Seismological Society of America", Vol 58, N 5, págs. 1538-1606.

- Dahle, A.; Climent, A.; Taylor, W.; Bungum, H.; Santos, P.; Ciudad Real, M.; Lindholm, C.; Strauch, W. y Segura, F. (1995), "New Spectral Strong Motion Attenuation Models for Central America". Proc. Fifth Intl. Conf. On seismic Zonation. Nice, October 1995.
- Gutenberg, B y Richter, C.F. (1954), "Seismicity of the Earth and Related Phenomena, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Idriss, I. (1985), "Evaluating Seismic Risk in Engineering Practice", XI International Conference in Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, USA, Vol I.
- Idriss, I. M. (1993), "Procedures for Selecting Earthquake ground Motions at Rock Sites". NIST GCR 93-625.
- IGP (2003), "Actividad Sísmica en el Perú, Periodo: 28 de Agosto 2001 – 03 de Junio 2003".
- McGuire, R.K. (1974), "Seismic Structural Response Risk Analysis incorporating Peak Response Regression on Earthquake Magnitude and Distance", MIT Report R74-51, Cambridge Man. USA.
- McGuire, R.K. (1976), "Fortran Computer Program for Seismic Risk Analysis", Open-File Report 76-67, U.S. Geological Survey.
- McGuire, R.K. (1995), "EZRISK, User's Manual", Risk Engineering, Boulder, Co.
- Richter, C.F. (1958), "Elementary Seismology", W.H. Freeman Co., San Francisco.
- Sadigh, K.; Chang, C.-Y.; Egan, J.A.; Makdisi, M; Youngs, R.R. (1997), "Attenuation Relationships for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data", Seismological Research Letters, Volume 68, Number 1, January/February 1997.
- Sadigh, K. et al. (1993), "Specification of Long-Period Ground Motions; Updated Attenuation Relationships for Rock site Conditions and Adjustment Factors for Near-Fault Effects". Mem. Seminario sobre Aislamiento Sísmico, Energía Pasiva, Disipación y Control Activo. ATC-M-1.
- Schmidt, V.; Dahle, A. y Bungum, H. (1997): "Costa Rican Spectral Strong Motion Attenuation". NORSAR Technical Report (RONDICA Project), Kjeller, Noruega.
- SISRA (1985), "Catálogo de Terremotos para América del Sur", Vol 7a, 7b y 7c, Proyecto SISRA, CERESIS, Lima, Perú.
- Youngs, R.R.; Chiou, S.-J.; Silva, W.J. y Humphrey, J.R. (1997), "Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes", Seismological Research Letters, Volume 68, Number 1, January/February 1997.