

# ESTIMACIÓN DEL PELIGRO SISMICO PROBABILISTICO & GENERACIÓN DE ESPECTROS DE PELIGRO UNIFORME (UHS) PARA LA REGION DE LIMA, PERÚ

*Christian Obregon Mitma <sup>(1)</sup>*

1.- Universidad Nacional Mayor de San Marcos - UNMSM

## RESUMEN

La ocurrencia de terremotos de gran magnitud en el borde oeste de Sudamérica nos reafirma la importancia de los Análisis de Peligro Sísmicos para estimar las consecuencias de estos eventos. En tal sentido, el presente trabajo resume los resultados de la evaluación de peligro sísmico probabilístico desarrollados para el departamento de Lima, donde está ubicada la ciudad capital. Esto afín de estimar valores de aceleraciones espectrales en suelo firme para la región y los potenciales efectos de estos sobre la infraestructura civil.

Para el análisis de peligro sísmico probabilístico se utilizó la nueva configuración de fuentes sismogénicas definidas por Gamarra, C. (2009); y se aplicaron las leyes de atenuación propuestas por Youngs et al (1997) y Sadigh et al. (1997) para sismos de subducción y continentales respectivamente. Se obtuvieron valores de aceleraciones máximas de 0.54g en suelo para el departamento de Lima (Perú); notándose que las aceleraciones disminuyen en dirección al continente. Así mismo, se generaron espectros de peligro uniforme y mapas de isoaceleraciones espectrales para la aceleración máxima del suelo (PGA) y períodos estructurales de 0.0 y 1.0 segundo.

## PALABRAS CLAVES

Sismología, peligro sísmico, atenuación, sismos, espectros peligro uniforme.

## INTRODUCCIÓN

El Departamento de Lima (Perú) se caracteriza por su ubicación geográfica y contexto geológico, al estar enmarcado al borde occidental de Sudamérica, considerado como la zona de mayor potencial sísmico en el mundo, cuya actividad sísmica principal está asociada al proceso de subducción de la Placa de Nazca (PN) bajo la Placa Sudamericana (PS). Identificándose en este borde oeste del Perú, lagunas sísmicas que representan potenciales áreas de ruptura que pueden desarrollar sismos de hasta a 8.0 Mw (Tavera y Bernal, 2005; Perfettini et al., 2010).

Ante tal escenario, y debido al elevado peligro sísmico inminente para esta región, es necesario desarrollar un análisis de peligro sísmico confiable con la finalidad de estimar las aceleraciones espectrales del terreno; y las demanda sísmicas a las que estará expuesta la infraestructura civil.

## OBJETIVOS

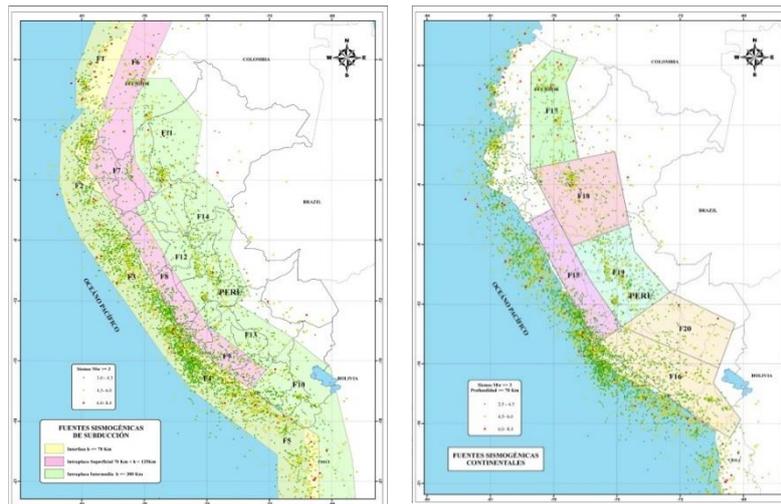
- Estimar valores confiables de aceleraciones espectrales en suelo firme para un determinado período de retorno mediante estudios de peligro sísmico probabilístico (PSHA).
- Generar curvas de peligro sísmico probabilístico y espectros de peligro uniforme (UHS) para el departamento de Lima (Perú).
- Elaborar mapas de isoaceleraciones espectrales correspondientes a la máxima aceleración del suelo (PGA) y para períodos estructurales de 0.5 y 1.0 segundo, para definir el espectro de respuesta con peligro uniforme.

## 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.

El presente trabajo se ha basado en la revisión de la actividad sísmica histórica e instrumental, reafirmando la definición de las fuentes sismogénicas realizada por Gamarra, C. (2009). 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. La Figura N° 01 muestra las 20 fuentes sismogénicas definidas. Las Fuentes 01, 02, 03, 04 y 05 están ubicadas a lo largo de la costa y representan la sismicidad de interfase en la zona de Benioff (0-70 Km). Las Fuentes 06, 07, 08 y 09 representan la sismicidad de intraplaca superficial (70 a 125 Km); y las Fuentes 10, 11, 12, 13 y 14 la sismicidad de intraplaca intermedia (125 a 300 Km). Las Fuentes 15, 16, 17, 18, 19 y 20 están relacionadas con la actividad sísmica cortical superficial (<70Km).



**Figura N° 01:** Fuentes Sismogénicas de subducción (Izq) y Continentales (Der).

## RECURRENCIA SÍSMICA

La recurrencia sísmica representa el número de eventos mayores o iguales a alguna magnitud dentro de la fuente y está descrita por de la relación de recurrencia de Gutenberg y Richter (1954).

$$\text{Log}(N) = a - b(M)$$

Donde N es el número de sismos que ocurre en cierto periodo de tiempo y M la magnitud de los sismos y puede ser dada en mb o Mw, los parámetros “a” y “b” son dos constantes que representan el número de sismos de magnitud mayor que cero, y la proporción de sismos con magnitudes pequeñas y grandes, respectivamente (Udías 1999). Los valores de las constantes dependen del periodo de datos considerado, del área y de las propiedades físicas del medio y son indicativos del nivel de sismicidad. Para el presente estudio las constantes ‘a’ y ‘b’ han sido determinadas por el método de mínimos cuadrados.

## LEYES DE ATENUACIÓN

El fenómeno de atenuación hace referencia a la capacidad del terreno para amortiguar el movimiento generado por las ondas sísmicas conforme éstas se alejan del foco sísmico (García, 2001).

Para estimar el peligro sísmico probabilístico se ha utilizado los modelos de atenuación para ordenadas espectrales propuesta por Young et al (1997), que diferencian los mecanismos focales para sismos de subducción de interfase e intraplaca en la estimación de la máxima aceleración del suelo. Así mismo, se ha utilizado el modelo de atenuación sísmica propuesto por Sadigh et al (1997) para sismos continentales.

- Para las Fuentes de subducción, fue usado la relación determinada por Youngs et al. (1997):

$$\text{Ln}(y) = -0.6687 + 1.438M + C_1 + C_2(10-M)^3 + C_3 \text{Ln}(R + 1.097e0.617M) + 0.00648H + 0.3643ZT$$

- Para las fuentes continentales, fue usado la relación derivada por Sadigh et al. (1997):

$$\text{Ln}(y) = C_1 + C_2M - C_3 \text{Ln}(r_{rup} + C_4 e^{C_5M}) + C_6 + C_7(8.5 - M)^{2.5}$$

Donde:

y = Aceleración espectral expresada en g.

M = Magnitud de momento sísmico Mw.

R = Distancia hipocentral o distancia más cercana al área de ruptura en km.

Zt = 0 para sismos de interfase, 1 para sismos de intraplaca.

r<sub>rup</sub> = Distancia más cercana al área de ruptura (km)

H = Profundidad focal en km.

## EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO PROBABILÍSTICO (PSHA)

La PSHA fue realizada utilizando la teoría propuesta por Cornell (1968) y empleando el programa de cómputo CRISIS 2007 (Ordaz et al., 2007). Se decidió evaluar el peligro sísmico para tres escenarios de niveles sísmicos diferentes, siendo estos los que se detallan a continuación:

**SISMO DE SERVICIO:** Corresponde a un 50 % de probabilidad de excedencia en 50 años. Equivale a un periodo de retorno de 72 años

**SISMO DE DISEÑO:** Corresponde a un 10 % de probabilidad de excedencia en 50 años.

Equivale a un periodo de retorno de 475 años

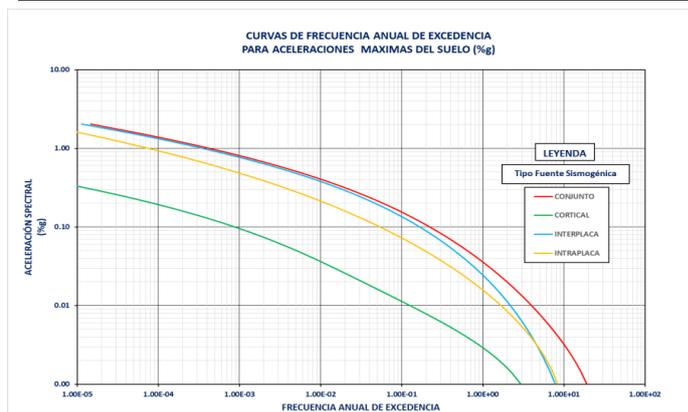
**SISMO MÁXIMO CAPAZ:** Corresponde a un 10 % de probabilidad de excedencia en 100 años.

Equivale a un periodo de retorno de 949 años

Las curvas de frecuencia de excedencia anual según fuente sismogénica se muestra en la Figura N° 02. Los resultados finales de aceleraciones están resumidos en la Tabla N°01; y se muestra el Mapa de peligro sísmico probabilístico conjunto (Figura N°03) de aceleraciones máximas (PGA) con una probabilidad de excedencia de 10% en 50 años, equivalente a un periodo de retorno de 475 años.

*Tabla N°01: Valores de PGA (%g) por Capital Provincial, según Nivel sísmico y Fuente Sismogénica participante*

Capital Provincia I Dpto. Lima	Sismo de Servicio (TR=72 años)				Sismo de Diseño (TR=475 años)				Sismo Máximo Capaz (TR=949 años)			
	Efect o Inter	Efect o Intra	Efect o Corti	Efect o Conj	Efect o Inter	Efect o Intra	Efect o Corti	Efect o Conj	Efect o Inter	Efect o Intra	Efect o Corti	Efect o Conj
Barranca	0.34	0.18	0.03	0.36	0.63	0.37	0.07	0.66	0.76	0.46	0.09	0.80
Cajatambo	0.19	0.22	0.05	0.27	0.37	0.42	0.09	0.49	0.46	0.52	0.11	0.60
Canta	0.21	0.22	0.05	0.28	0.41	0.43	0.09	0.52	0.50	0.54	0.11	0.63
Cañete	0.30	0.21	0.04	0.34	0.57	0.42	0.09	0.63	0.69	0.52	0.11	0.75
Huaral	0.31	0.20	0.04	0.34	0.58	0.40	0.09	0.63	0.71	0.50	0.11	0.76
Huarochirí	0.20	0.22	0.04	0.28	0.39	0.43	0.09	0.51	0.48	0.54	0.11	0.62
Huaura	0.29	0.21	0.04	0.33	0.54	0.42	0.09	0.60	0.66	0.52	0.12	0.73
Lima	0.33	0.19	0.03	0.36	0.63	0.38	0.07	0.66	0.75	0.47	0.09	0.79
Oyón	0.18	0.21	0.05	0.26	0.34	0.42	0.09	0.47	0.42	0.52	0.11	0.58
Yauyos	0.18	0.22	0.05	0.27	0.35	0.44	0.09	0.49	0.44	0.54	0.11	0.60

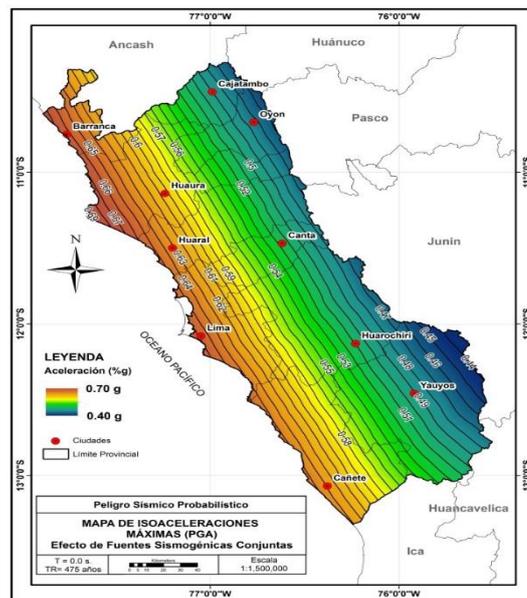
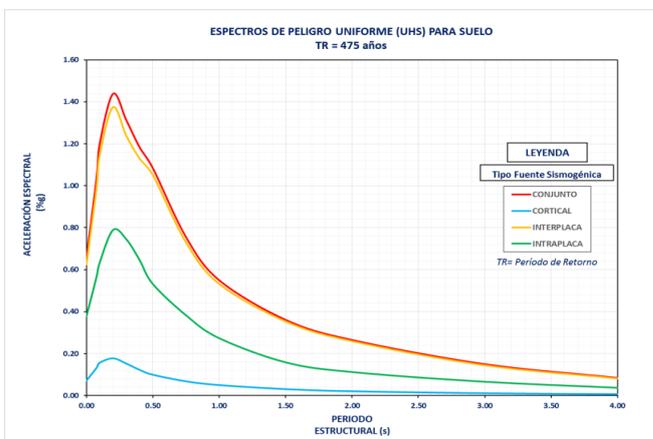


*Figura N° 02: Curvas de Frecuencia de Excedencia Anual según fuente sismogénica.*

## DEMANDA SÍSMICA CON ESPECTROS DE PELIGRO UNIFORME (UHS)

La generación de UHS (*Uniform Hazard Spectra*) proporciona valores de aceleraciones espectrales correspondientes a los períodos de cada modelo de atenuación. Se generaron según los tipos de fuentes sismogénicas (Figura N°04), considerando un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años (Período de retorno de 475 años).

**Figura N°04:** Espectros de Peligro Uniforme generados para Suelo, considerando un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años (Período de retorno de 475 años).



**Figura N°03:** Mapa de Peligro Sísmico Probabilístico de aceleraciones máximas (TR=475), como resultado del efecto conjunto de las fuentes sismogénicas de subducción y corticales.

## CONCLUSIONES GENERALES

- El peligro sísmico del área de estudio se ha determinado utilizando la información pertinente en la literatura técnica; y así mismo se han calculado valores de aceleración espectral con el uso del software de computo CRISIS 2007, desarrollado por Ordaz et al. (1999), que emplea métodos numéricos conocidos, y considera las leyes de atenuación de Youngs et al. (1997) para sismos de tipo subductivo; y la ley de atenuación de Sadigh et al. (1997) para sismos corticales.
- En el análisis probabilístico de peligro sísmico se ha considerado las fuentes sismogénicas como volúmenes, habiéndose definido éstas en función a su mecanismo focal como fuentes de interfase, fuentes de intraplaca superficial e intraplaca intermedia, así también fuentes continentales, asociados a mecanismos focales corticales.
- En base a la estimación probabilística del Sismo de Diseño, obtenida con 10% de probabilidad de excedencia y 50 años de periodo de exposición sísmica, correspondiente a 475 años de periodo de retorno, se ha estimado un valor de PGA en suelo mínimo de 0.47 g (Oyón); y máximo de 0.66 g (Lima).
- Los valores de aceleración calculados para el área de estudio no reflejan la amplificación local del suelo, en caso de existir.

## REFERENCIAS

1. Aguilar, et al. (2007), "Curso de Geofísica Aplicada", Post grado UNI-FIC.
2. Alva Hurtado J. E. (2004), "Banco de Datos de Mapas de Isosistas en el Perú", Página web del CISMID – FIC – UNI ([http://www.cismid-uni.org/p\\_acelerograf/index.htm](http://www.cismid-uni.org/p_acelerograf/index.htm)).
3. 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.
4. Bernal, I. (2000), "Características de la Sismicidad en la Región Sur del Perú", Revista de Trabajos de Investigación, CNDG, IGP, pp. 69 – 80. Lima, Perú.
5. Bernal I., Tavera H., Antayhua Y., "Zonas sismogénicas en el Perú: volúmenes de deformación, gráficos polares y zonificación preliminar", Bol. Soc. Geológica del Perú, Vol. 93, p. 31-44, 2002.

6. Bolaños A. y Monroy O. (2004), "Espectros de Peligro Sísmico Uniforme", Tesis para Optar el Grado de Magíster en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
7. Castillo J. (1993), "Peligro Sísmico en el Perú", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.
8. Castillo, J; Alva, J. (1998), "Peligro sísmico en el Perú", Memorias del VIII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, SPMSIF, Lima, Perú
9. Ordaz, M., Aguilar A., Arboleda J: (1999), "Program for Computing Seismic Hazard: CRISIS 2003 Ver 3.0.1", Institute of Engineering, Universidad Nacional Autónoma de México.