

ESTIMACIÓN DE PARA EL DISEÑO (SÍ)

Dr. Manuel MONROY; Dr. Alan HULL; Marcelo MARTINEZ MSc; Ana BOLANOS Msc
Adaptado por: Minoru Afuso Muñoz

El Perú se ubica cerca de un borde de placa convergente entre la placa Sudamericana al este y la placa de Nazca al oeste. El borde entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana en esta región está marcada por la fosa Perú-Chile. A lo largo de este borde, se ha registrado por lo menos 18 sismos con $M \geq 7,5$ entre la región Ecuatorial y los 40 grados de latitud sur desde 1900 (Bilek 2009), sismos como el de Valdivia M 9,5 en 1960 y el Maule M 8,8 en febrero de 2010.

El diseño sísmico en Perú está actualmente basado sobre las disposiciones definidas en la Norma Sísmica Peruana (NSP) E-030-2003. La norma define los movimientos sísmicos de diseño escalando una forma espectral constante a tres valores de aceleración horizontal máxima de terreno (A_{max}) con periodo de retorno de 475 años. Los valores de A_{max} varían en función de una macrozonificación sísmica que consta de tres regiones. Los movimientos sísmicos de diseño más altos están en el oeste (Zona 3), y los movimientos más bajos están en el este (Zona 1) del país. Una limitación a este tipo de definición de movimientos sísmicos de diseño es la carencia de parámetros y criterios sísmicos específicos de sitio.

MODELO SISMOTECTÓNICO

La zona de subducción asociada con la fosa Perú-Chile al frente de las costas de Perú comprende la zona de subducción de interfase, y la zona de subducción de intraplaca superior e inferior de la placa de Nazca. La región de interfase incluye todos los sismos ubicados dentro de los 50 km superiores de la zona de interfase entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana. Esta región está definida por las fuentes S1 a S4 (Figura 1). La región de intraplaca superior incluye eventos sísmicos asociados a fallas normales que ocurren entre los 51 km y los 100 km dentro de la placa de Nazca. Esta región está definida por las fuentes S5 y S8 en la Figura 1. La fuente de intraplaca inferior considera eventos de fallas normales a profundidades mayores a 101 km y caracterizados por las fuentes S9 a S12 en la Figura 1.

ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE PELIGRO SÍSMICO

Los cálculos del movimiento sísmico y el espectro sísmico para las cuatro ciudades se realizaron para un suelo Clase B definido en el

Manuel Monroy:

Especialista en Ingeniería Sísmica. Es parte del Equipo Sísmico de la Compañía Internacional GolderAssociates en Vancouver, Canadá. Su campo de acción particular es la Ingeniería Sísmica cuantificando niveles de movimiento de terreno, respuesta sísmica de sitio, respuesta dinámica no lineal de grandes estructuras mineras, respuesta sísmica de tuberías enterradas de gas y petróleo. Manuel es Doctor en Ingeniería Geotécnica por la Universidad de la Columbia Británica en Canadá, Master en Ingeniería Estructural por la Pontificia Universidad Católica del Perú e Ingeniero Civil por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

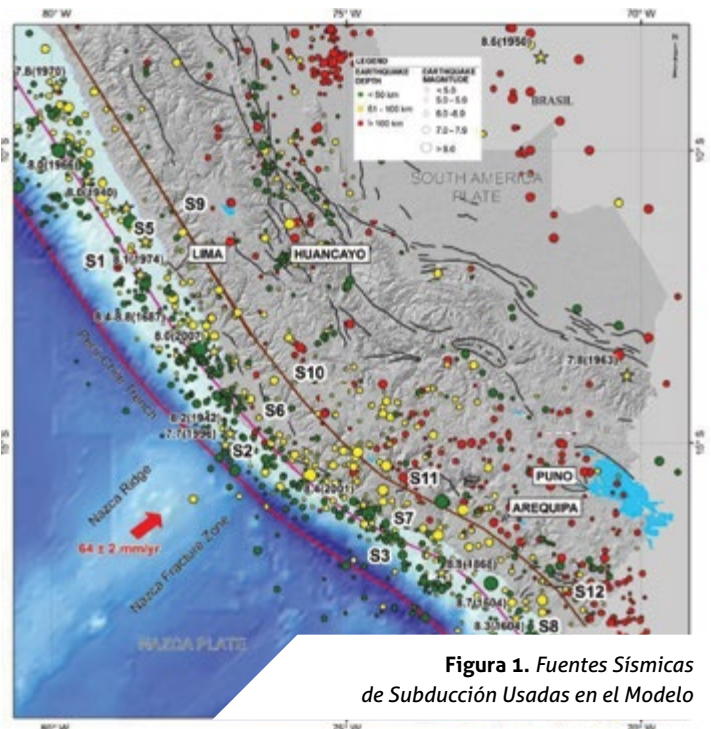


Figura 1. Fuentes Sísmicas de Subducción Usadas en el Modelo

International BuildingCode (IBC) 2009 y ASCE 7-05 (2005). Este suelo representa un afloramiento rocoso y es similar al suelo tipo S1 definido en el código sísmico peruano E-030-2003.

PARÁMETROS SÍSMICOS EN PERÚ

El **Análisis Probabilístico de Peligro Sísmico (APPS)** estima la probabilidad de que algún movimiento sísmico especificado sea excedido durante un periodo de tiempo determinado. La probabilidad de excedencia se cuantifica sobre la base de la probabilidad de ocurrencia de todos los sismos en diferentes ubicaciones dentro de cada fuente sísmica, razón por la cual el movimiento sísmico se atenúa con la distancia.

PARÁMETROS PARA EL DISEÑO SÍSMICO EN PERÚ

El objetivo del diseño sismorresistente es proveer sistemas estructurales que puedan desempeñarse sin daño significativo frente a un sismo moderado frecuente, y sin colapso o pérdida de vida en sismos severos y raros. Aunque la completa caracterización de la respuesta estructural debido a movimientos sísmicos en algún determinado sitio no se ha alcanzado todavía, la práctica actual de diseño sísmico está basada sobre la búsqueda de la definición de cuatro importantes parámetros que describan la respuesta de las estructuras debido a movimientos sísmicos: la aceleración espectral (S_a), la magnitud del sismo (M), la distancia del sitio a la fuente (D) y el parámetro épsilon (ϵ).

Las ciudades fueron elegidas por su población y ubicación con respecto a las tres zonas sísmicas especificadas en la NSP E-030-2003. La ciudad de Lima y Arequipa están ubicadas en la Zona 3; mientras que las ciudades de Huancayo y Puno están ubicadas en la Zona 2. La Zona 3 tiene el factor de peligrosidad sísmica más alto ($Z=0.4$).

Aceleraciones Espectrales (S_a). Las aceleraciones espectrales (S_a) definen el nivel de respuesta de una estructura modelada simplemente como un sistema con un grado de libertad. Para este estudio, se cuantificaron aceleraciones espectrales promedio asociadas a periodos de vibración de 0,2 segundos ($S_a(0,2)$, periodos cortos) y 1,0 segundo ($S_a(1,0)$, periodos largos) con 5% de amortiguamiento y para un periodo de retorno de 475 años (usado en la macrozonificación de la NSP).

Magnitud (M) y Distancia de la Fuente al Sitio (D). La magnitud y distancia del sismo que controla el valor de aceleración espectral (a algún periodo estructural seleccionado y para alguna probabilidad de

excedencia) son parámetros muy importantes para caracterizar el sismo de diseño apropiado para un sitio.

Épsilon. El parámetro épsilon (ϵ) describe el número de desviaciones estándar en espacio logarítmico por el cual el logaritmo del movimiento sísmico varía del valor medio (McGuire 2004) dado por la ecuación de predicción del movimiento sísmico

ESPECTRO DE DISEÑO SÍSMICO

La Figura 2 muestra el espectro de peligro sísmico uniforme con 5% de amortiguamiento para un periodo de retorno de 475 años para el sitio Tipo S1 (NSP) o Sitio Clase B (2009 IBC) para las cuatro ciudades evaluadas en este estudio. Los espectros son para periodos que van desde 0,03 a 4,0 segundos con factor de importancia y ductilidad de 1. La aceleración espectral a un periodo de 0,03 segundos es esencialmente equivalente a la A_{max} . El término de peligro sísmico uniforme es usado debido a que hay una probabilidad igual o uniforme de que los movimientos sísmicos se excedan en un determinado periodo de tiempo y para cualquier periodo espectral.

Los espectros en la Figura 2 indican que las aceleraciones espectrales disminuyen a medida que la distancia entre las ciudades y la fosa Perú-Chile se incrementa. Sin embargo, este patrón no se repite en Puno y Huancayo, donde Puno tiene un mayor peligro para el $S_a(0,2)$ que Huancayo, pese a su mayor distancia de la fosa.

Figura 2. Espectros de Peligro Uniforme
Periodo de Retorno 475 años – 5% Amortiguamiento

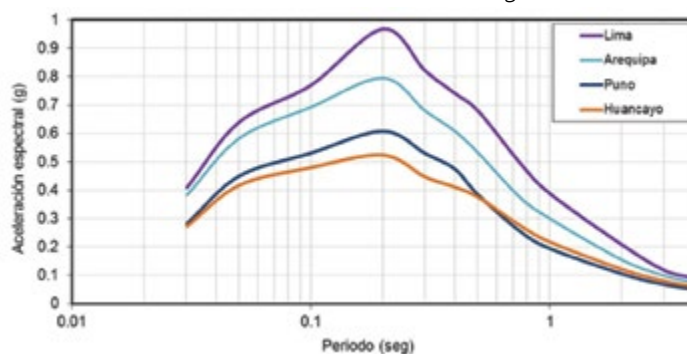
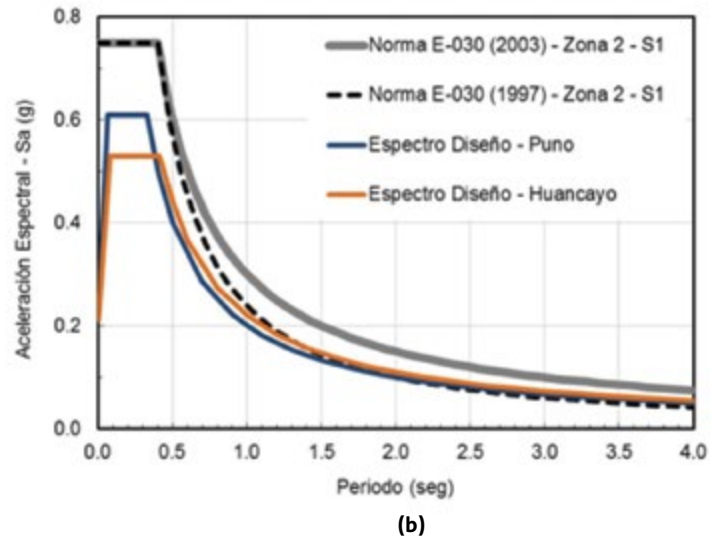
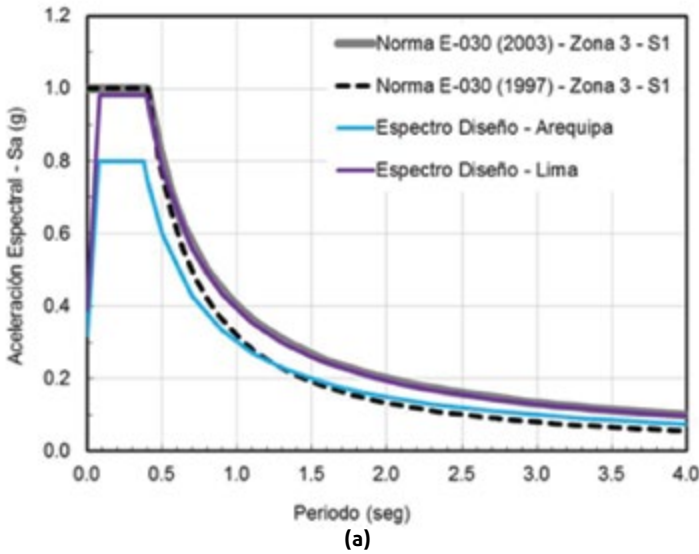


Figura 3. Comparación entre el Espectro Definido por la NSP (Sitio Clase S1) y el Espectro de Sitio Definido en este Estudio – Periodo de Retorno de 475 años 5% Amortiguamiento



Espectro de Diseño Sísmico Código Peruano

La Norma Sísmica Peruana (NSP) E-030-2003 define los movimientos sísmicos de diseño basados sobre una escala en una forma espectral constante a la aceleración máxima horizontal de terreno con 475 años en función de una macrozonificación con tres regiones que cubren todo el Perú. Los valores más altos de los movimientos sísmicos de diseño están en el oeste (Zona 3), y los más bajos están en el este (Zona 1) del país. Los límites entre estas tres macrozonas sísmicas son límites políticos de departamentos en vez de límites basados sobre características sismotectónicas que son las controlan el nivel de peligro sísmico.

Debido a que los movimientos sísmicos dependen de características sismotectónicas y de la sismicidad en la vecindad de los sitios de interés y no de límites políticos definidos arbitrariamente, recientes versiones de códigos sísmicos en Norteamérica, Europa y partes del Asia Pacífico han abandonado el uso de las macrozonas sísmicas. En vez de ello, se están usando mapas sísmicos con contornos de aceleraciones espectrales que definen de mejor manera los movimientos sísmicos de diseño específicos de sitio. Este cambio permite una transición suave del peligro a lo largo de cualquier región y elimina la discontinuidad en el peligro que existe en los límites de los mapas basados sobre macrozonas.

El espectro de diseño de la NSP E-030-2003 fue calibrado sobre la base de espectros de respuesta obtenidos de registros sísmicos de Lima y procedimientos desarrollados por expertos sísmicos peruanos.

Las Figuras 3a y 3b también indican que, para ciudades distintas a Lima, el espectro de diseño especificado en la NSP E-030-2003 parece tener diferentes niveles de conservadurismo y, por lo tanto, valores asociados a periodos de retorno diferentes a los 475 años. Por ejemplo, el espectro de diseño de la NSP E-030-2003 tiene un factor de 1,4 a 1,3 encima de las $S_a(0,2)$ y $S_a(1,0)$ específicas de sitio para Huancayo respectivamente, mientras que para Puno el espectro del NSP E-030-2003 tiene un factor de 1,2 a 1,45 encima de las $S_a(0,2)$ y $S_a(1,0)$ específicas de sitio respectivamente.

Lo anterior muestra que las personas de Arequipa, Puno y Huancayo o están más seguras con respecto a las personas de Lima o están forzadas a gastar más dinero para diseñar una estructura que debe cumplir con un estándar que, en realidad, tiene un periodo de retorno mayor a 475 años. Por lo tanto, debido a que las personas de Arequipa, Puno y Huancayo (o el resto del país) están forzadas a seguir los resultados de estudios sísmicos para Lima, estas deben diseñar para un estándar que es más estricto que el estándar que las personas en Lima están obligadas a usar en sus diseños. Enfrentar estos problemas en términos de periodos de retorno puede ayudar a tener un estándar más consistente para el Perú.

Comparaciones entre los espectros específicos de sitio desarrollados en este estudio y los espectros especificados en la NSP E-030-2003 (Sitio Clase S1) indican un grado de conservadurismo no uniforme en los niveles de diseño sísmico a través de las macrozonas sísmicas especificadas en la NSP. El uso de espectros específicos de sitio puede ofrecer un estándar de diseño más uniforme y representativo de las distintas regiones sismotectónicas del Perú, en vez de usar un estándar que lleva al resto del Perú a seguir lo que es adecuado para Lima.