

DETERMINACIÓN DEL ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO Y COEFICIENTE SÍSMICO PARA LIMA

Jorge F. Meneses Loja ⁽¹⁾
Jorge E. Alva Hurtado ⁽²⁾

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados del análisis estadístico realizado con los registros de aceleraciones disponibles en la Estación Parque de la Reserva del Instituto Geofísico del Perú, en Lima. Los acelerogramas utilizados son aquellos procesados por el U.S. Geological Survey, utilizando la corrección estándar del Instituto Tecnológico de California.

En base al análisis de los espectros de respuesta de los registros anteriores y métodos probabilísticos de determinación de aceleraciones, se presentan consideraciones para la discusión de la reformulación del espectro elástico de diseño existente en las Normas de Diseño Sismo-Resistente vigentes, incorporando conceptos no contemplados en dichas normas. Finalmente, se presentan conclusiones y recomendaciones al respecto.

INTRODUCCIÓN

Los movimientos sísmicos son producidos por la liberación de energía en la corteza de la tierra cuando ocurre un deslizamiento súbito a lo largo de una falla activa. Esta energía toma la forma de emisiones de ondas sísmicas a través de los estratos geológicos. Existen varios factores relacionados al mecanismo de la fuente, al camino de propagación de las ondas de la fuente al sitio y a las condiciones locales del suelo, que pueden afectar la vibración del suelo en un sitio determinado.

Debido a la complejidad del problema, los movimientos sísmicos del suelo no pueden ser predichos con certeza, pero sí pueden ser estimados a partir de un archivo de registros de movimientos fuertes y de los análisis de respuesta del sitio. La utilización de estas técnicas debe ser moderada, debido a los numerosos factores que influyen en la vibración del suelo y a las limitaciones de la actual tecnología en considerar dichos factores.

(1) Asistente de Investigación, Laboratorio Geotécnico del CISMID, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú.

(2) Profesor Principal y Jefe del Laboratorio Geotécnico del CISMID, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú.

Las aceleraciones pico, los registros tiempo-historia de las aceleraciones y los espectros de respuesta representan la vibración del suelo que sería inducida por un sismo en un sitio determinado. Estos factores pueden establecerse por procedimientos independientes o dependientes del sitio. En este estudio se ha utilizado para determinar el espectro elástico de diseño y coeficiente sísmico de Lima, un procedimiento dependiente del sitio, es decir, basado en los registros obtenidos en una misma estación. La Estación Parque de La Reserva corresponde a un suelo firme a duro, de origen fluvial, compuesto por cantos rodados, gravas y arenas; por lo tanto, las conclusiones que se deriven del presente estudio solamente corresponden a suelos Tipo I del reglamento actual (RNC, 1977).

PARTICULARIDADES DE LOS SISMOS PERUANOS

La región peruana es un segmento del Cinturón Circum Pacificum, donde además de la alta sismicidad existente en la Costa Peruana, se aprecia una gran actividad sísmica en la denominada Zona Subandina, localizada en la Selva Alta (Alva Hurtado et al, 1984; Alva Hurtado, 1986). Gran parte de los eventos sísmicos ocurridos en el país son producto de la interacción de las placas Sudamericana y Nasca. El resultado de este encuentro, y la subducción de ésta última, determina las diferentes características sísmicas entre el litoral y el interior del país.

A pesar de esta gran actividad sísmica observada en el país, sólo se cuenta con registros de acelerógrafos disponibles en el área de Lima. Estos acelerogramas han mostrado características inusuales, en comparación con eventos sísmicos ocurridos en otras partes del mundo. En primer lugar, existe un fuerte contenido de altas frecuencias y en segundo lugar, una baja atenuación de las aceleraciones con la distancia (Cloud y Pérez, 1971; Alva Hurtado y Chang, 1978). Asimismo, en los sismos peruanos analizados se observa un menor daño para el nivel de aceleraciones máximas registradas en Lima, en comparación con registros de otros lugares del mundo; esto es explicable debido a la relación inversa entre el daño estructural y el número de cortes por cero (Araya y Saragoni, 1982). Los sismos peruanos registrados tienen muchos cortes por cero.

CONSIDERACIONES SOBRE ESTUDIOS DE RIESGO SÍSMICO EN EL PERÚ

El cálculo del peligro sísmico se realiza con la finalidad de predecir probabilísticamente las posibles aceleraciones, velocidades y desplazamientos que podrían ocurrir en un lugar determinado, considerando los datos de sismos pasados y las características tectónicas asociadas a la actividad sísmica. Reglamentos sismo-resistentes recientes, tales como el ATC-3 (1978), Venezolano (FUNVISIS, 1982), Argentino (INPRES, 1983) y Colombiano (ACIS, 1984), incorporan estimaciones probabilísticas de aceleraciones y velocidades sísmicas.

En el Perú la metodología para el cálculo de riesgo sísmico desarrollada por Cornell (1968) fue implementada por Casaverde y Vargas (1980, 1982), Arévalo (1984), entre otros investigadores.

No obstante estos aportes, el estudio de peligro sísmico en el país está aún en desarrollo. Falta definir nuevas zonas sismogénicas y el modelaje de fallas activas, así como el estudio de curvas de atenuación de aceleraciones, velocidades, desplazamientos e intensidades sísmicas que tomen en cuenta la anisotropía y heterogeneidad existentes en el Perú, y la determinación de la recurrencia sísmica con las nuevas fuentes sismogénicas definidas y los catálogos de hipocentros actualizados.

INFORMACIÓN UTILIZADA

Los acelerogramas y los espectros de sismos peruanos utilizados en este estudio son aquellos procesados en el U.S. Geological Survey y han sido presentados por Brady y Pérez (1977). Dichos registros fueron corregidos utilizando la corrección estándar del Instituto Tecnológico de California (Brady y Hudson, 1973). La Tabla N°1 presenta las características de fecha, localización, magnitud e intensidad de los sismos registrados; mientras que la Tabla N°2 presenta las principales características de los acelerogramas registrados. En las tablas anteriores tan solo se han presentado los registros en la Estación Parque de La Reserva, con coordenadas 12.07°S y 77.04°W. Dicha estación está conformada por un acelerógrafo estándar a nivel del suelo. Debe mencionarse que para Lima existen otros registros, los cuales no han sido utilizados en este estudio.

En la Estación Parque de la Reserva del Instituto Geofísico del Perú se han obtenido 7 registros sísmicos (14 componentes horizontales y 7 verticales), que han sido la base de este estudio. Debe mencionarse que la información disponible del USGS incluye: a) registros sin corregir, b) registros corregidos de aceleraciones, velocidades y desplazamientos y c) espectros de Fourier y espectros de respuesta. Los espectros de respuesta incluyen 5 diferentes amortiguamientos críticos: 0%, 2%, 5%, 10% y 20%. Los espectros de respuesta disponibles son: desplazamiento relativo, velocidad relativa, pseudo-velocidad y aceleraciones absolutas.

DESCRIPCIÓN DE LOS ANÁLISIS EFECTUADOS

En base a los espectros de desplazamiento relativo, velocidad relativa y aceleración absoluta (normalizados y sin normalizar con respecto a la aceleración máxima) y para los valores de amortiguamiento crítico de 5% y 10%, se obtuvieron el promedio, la desviación estándar, promedio menos una desviación estándar, promedio más una desviación estándar, y el coeficiente de variación, para cada uno de los siguientes conjuntos (Meneses Loja, 1985):

- a) 7 registros de la componente N82W (H1).
- b) 7 registros de la componente N08E (H2).
- c) 14 registros de las componentes horizontales (H).
- d) 21 registros, los 14 horizontales y 7 verticales (H+V).

Asimismo, para cada uno de estos conjuntos de registros se determinaron las matrices de covarianza, donde se correlacionan los valores de los desplazamientos, velocidades y aceleraciones espectrales. Este análisis estadístico se realizó para cada uno de los 91 valores de períodos, calculados y presentados por el U.S. Geological Survey, que son los siguientes:

Períodos (seg)	Intervalo de Períodos (seg)
0.040 - 0.050	0.002
0.055 - 0.100	0.005
0.110 - 0.200	0.010
0.220 - 0.500	0.020
0.550 - 1.000	0.050
1.100 - 2.000	0.100
2.200 - 5.000	0.200
5.500 - 10.000	0.500
11.000 - 15.000	1.000

En base al análisis estadístico mencionado anteriormente y al análisis de las 14 formas espectrales superpuestas en papel tripartito, Fig. N°1, se definieron los rangos donde los valores de las aceleraciones y velocidades presentan menor dispersión, o en donde se minimizan las desviaciones estándar. Estos rangos de períodos de las aceleraciones y velocidades son respectivamente: 0.07 - 0.32 seg y 0.32 - 2.00 seg El rango de desplazamientos no ha sido definido claramente en este estudio, por presentar un alto grado de dispersión. Los rangos anteriores se comparan en la Fig. N°2 con los presentados por otros autores.

Ottazzi et al (1980), a partir del análisis de los espectros de 20 registros peruanos (Brady y Pérez, 1977), definen los rangos de las aceleraciones, velocidades y desplazamientos en 0.0 - 0.4 seg, 0.4 - 2.0 seg y mayores de 2.0 seg, respectivamente. Newmark et al (1973), en base al análisis de 25 sismos, principalmente en la costa oeste de los Estados Unidos, definen los rangos de aceleraciones, velocidades y desplazamientos en 0.1 - 0.4 seg, 0.4 - 4.00 seg y mayores que 4 seg.

Teniendo en cuenta los rangos obtenidos en el presente estudio, y considerando los espectros originales normalizados, se calcularon los valores promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de los factores de amplificación para las aceleraciones y velocidades. La Tabla N°3 resume los resultados obtenidos en este estudio y compara los valores obtenidos por otros investigadores (Riddell y Vélez, 1984; Mohraz et al, 1973; Riddell y Newmark, 1979).

El factor de amplificación promedio se ha designado por ϕ_e , y la desviación estándar y el coeficiente de variación por σ_e y CV, respectivamente. Por las razones indicadas anteriormente, se recomienda ignorar los valores correspondientes a la zona de desplazamientos para los registros peruanos. En la región de velocidades, los valores de ϕ_e para registros peruanos presentan relativamente buena concordancia con los obtenidos en otros estudios similares, a

pesar de que éstos consideran principalmente registros de Norteamérica. En la región de aceleraciones, los valores de ϕ_e obtenidos en el presente estudio son casi los mismos que los obtenidos por Riddell y Newmark (1979) y son menores que los obtenidos por Riddell y Vélez (1984). En relación a la dispersión de las respuestas, representada por el CV, se observa que dicho valor es similar en los cuatro estudios comparados.

Las ordenadas del Espectro Elástico de Diseño, δ_e , se obtienen aplicando los factores de amplificación ϕ_e a los valores estimados del movimiento del suelo Y, tal que:

$$\delta_e = \phi_e \cdot Y \quad (1)$$

donde Y representa la a_{\max} , v_{\max} ó d_{\max} , esperados en un determinado período de retorno para un sitio dado, según la región espectral de que se trate. Si se desea un mayor grado de conservadorismo en el valor de δ_e , ϕ_e puede reemplazarse por:

$$\phi_e + \delta \sigma_e \quad (2)$$

Asumiendo que la amplificación de la respuesta tiene distribución normal, el uso de $\delta = 1$ significa que, dado Y, la probabilidad de que la respuesta sea menor que el valor $(\phi_e + \sigma_e) Y$, es de un 84.1%. Análogamente, el uso de $\delta = 2$, está asociado a una probabilidad de 97.7%.

Es necesario resaltar la importancia de la elección del movimiento de diseño, pues según sea éste, se obtendrán valores más o menos conservadores del espectro de diseño. Se hace pues necesario, para efectos normativos, definir el movimiento de diseño a partir de la determinación del período de retorno y el nivel de confianza, así como el amortiguamiento y los factores de amplificación a utilizarse en la elaboración del espectro.

Las Figs. N° 3 y 4 presentan el espectro del RNC (1977) para suelo Tipo I y los espectros propuestos por Kuroiwa et al (1977) y Ottazzi et al (1980), con las curvas obtenidas del análisis estadístico en la Estación Parque de La Reserva, para valores de amortiguamiento crítico de 5% y 10% respectivamente. Se aprecia en la Fig. N°3 que en el suelo Tipo I, para períodos de estructuras mayores de 0.4 seg, los valores propuestos y los del reglamento son similares, y por encima de los valores registrados. Para períodos menores de 0.4 seg existen notorias diferencias ya que, Kuroiwa et al (1977) proponen una máxima ordenada espectral de diseño de 0.50 g, mientras que el RNC (1977) y Ottazzi et al (1980) proponen 0.40 g. Como se indicará más adelante, los valores de 0.5 y 0.4 g corresponden aproximadamente a una aceleración máxima efectiva esperada en un período de retorno de 50 años (37% de confianza) y, para un $\delta = 1$ ($P = 0.84$) y $\delta = 0$ ($P = 0.50$), respectivamente.

Las Figs. N° 5 y 6 ilustran el estudio de la forma espectral para valores de amortiguamiento crítico de 5% y 10% respectivamente. Para definir el espectro se han utilizado las siguientes expresiones:

$$0 < T \leq T^* = 0.3 \text{ seg} \quad C = A \quad (3)$$

$$T > 0.3 \text{ seg} \quad C = A \left(\frac{T^*}{T} \right)^{0.8} \quad (4)$$

donde A = ordenada de la máxima aceleración espectral:

$$A = (\phi_e + \delta \sigma_e) a_{m\acute{a}x} \quad (5)$$

T^* = período donde finaliza la platea.

T = período de la estructura.

La Fig. N° 5 presenta los espectros normalizados (5% de amortiguamiento crítico) así obtenidos, para los valores de:

$A = 2.28$ ($\phi_e = 2.28$; $\delta = 0$; $\sigma_e = 0.58$; $a_{m\acute{a}x} = 1$), y

$A = 2.86$ ($\phi_e = 2.28$; $\delta = 1$; $\sigma_e = 0.58$; $a_{m\acute{a}x} = 1$), en la ec. (5).

La Fig. N° 6, de la misma manera, presenta los espectros normalizados (10% de amortiguamiento crítico) para los valores de:

$A = 1.79$ ($\phi_e = 1.79$; $\delta = 0$; $\sigma_e = 0.38$; $a_{m\acute{a}x} = 1$), y

$A = 2.17$ ($\phi_e = 1.79$; $\delta = 1$; $\sigma_e = 0.38$; $a_{m\acute{a}x} = 1$).

En ambas figuras se comparan dichos valores con las curvas obtenidas del análisis estadístico. Se aprecia que en el rango de períodos cortos, las curvas propuestas son excedidas por los valores calculados, mientras que en el rango de períodos largos, sucede lo contrario.

En base a los estudios de Peligro Sísmico desarrollados por Casaverde y Vargas (1982), se definieron los valores de aceleración efectiva (2/3 de la aceleración máxima) esperados en Lima en períodos de retorno de 30, 50 y 100 años, con un nivel de excedencia del 63% (nivel de confianza del 37%). Dichos valores fueron de: 0.15, 0.18 y 0.23 g, respectivamente.

Con los valores de aceleración efectiva obtenidos y las ec. (3), (4) y (5), se graficaron los espectros elásticos de aceleraciones para valores de $\beta=5\%$ y 10% para suelos Tipo I del actual reglamento.

a) Espectros con amortiguamiento crítico de 5%; $\phi_e = 2.28$; $\sigma_e = 0.58$

- Período de retorno de 30 años, $a_{efec.} = 0.15$ g

para $\delta = 0$	$A = 0.34$ g (P = 0.50)
$\delta = 1$	$A = 0.43$ g (P = 0.84)

- Período de retorno de 50 años, $a_{efec.} = 0.18$ g

para $\delta = 0$	$A = 0.41$ g (P = 0.50)
$\delta = 1$	$A = 0.51$ g (P = 0.84)

- Período de retorno de 100 años, $a_{\text{efec.}} = 0.23 \text{ g}$
para $\delta = 0$ $A = 0.52 \text{ g}$ (P = 0.50)
 $\delta = 1$ $A = 0.66 \text{ g}$ (P = 0.84)

b) Espectros con amortiguamiento crítico de 10%; $\phi_e = 1.79$; $\sigma_e = 0.38$

Similarmente a lo anterior, para Períodos de Retorno de 30 años, 50 años y 100 años.

Las Figs. N° 7, 8 y 9 presentan las curvas para un amortiguamiento crítico de 5%. De las curvas determinadas se observa que, a excepción de los espectros obtenidos para períodos de retorno de 100 años, éstas son excedidas en el rango de períodos cortos por las curvas del análisis estadístico realizado.

Como se puede apreciar, son varios los factores que intervienen en la determinación del espectro de diseño (período de retorno, nivel de confianza, factores de amplificación, amortiguamiento, etc.). Para efectos normativos debe tomarse una decisión frente a cada uno de ellos. Los espectros presentados no pretenden ser más que un aporte para la toma de esta decisión y que constituyan una base de trabajo para la reformulación del coeficiente sísmico C de las actuales Normas de Diseño Sismo-Resistente (RNC, 1977).

Debe indicarse que algunas Normas de Diseño Sismo-Resistente (Berg, 1982) indican que para definir el espectro elástico de diseño debe utilizarse un amortiguamiento de 5% del crítico, un valor de aceleración efectiva con un 10% de excedencia (90% de nivel de confianza) para un período de retorno de 50 años y un valor promedio del factor de amplificación de aceleraciones. Aplicando lo anterior al caso de Lima, se obtendrían valores muy altos del espectro elástico de diseño, tal como se ilustra en la Fig. 10.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. En el Perú sólo existen registros de aceleraciones sísmicas en suelo duro, que incluso son relativamente insuficientes para un análisis estadístico confiable.
2. En los espectros de respuesta calculados por el USGS se ha observado una notable dispersión en el rango de desplazamientos, atribuible a las técnicas de corrección de ondas empleadas.
3. Del análisis efectuado en el presente trabajo se desprende que el valor máximo de 0.4 g del coeficiente sísmico C del RNC (1977), corresponde aproximadamente a una aceleración máxima efectiva esperada en un período de retorno de 50 años (37% de confianza), multiplicado por el valor promedio del factor de amplificación de aceleraciones (P = 0.50); y que el valor de 0.5 g propuesto por Kuroiwa et al (1977), corresponde aproximadamente a un valor promedio más una desviación estándar (P = 0.84); ambos para un amortiguamiento del 5%.

4. Se concluye que es necesario establecer claramente en la definición del espectro elástico de diseño basado en estudios de peligro sísmico, el tiempo de exposición sísmica, el amortiguamiento, el nivel de excedencia, el factor de amplificación (valor promedio o promedio más una desviación estándar), la función de caída del espectro, entre otros factores a ser utilizados en su determinación.
5. Se concluye que no existe en el Perú registros de aceleraciones sísmicas para suelos Tipo II y III de las normas, por lo que habría que utilizar información disponible en otras partes del mundo.
6. Se recomienda instalar más acelerógrafos en el Perú, en diferentes tipos de suelo; duros, intermedios y blandos, ya que actualmente sólo se cuenta con registros en suelo duro, y distribuirlos de tal manera, de profundizar en el estudio de la atenuación de los movimientos sísmicos en el país.
7. Se recomienda definir claramente, para la reformulación del Espectro de Diseño Elástico del Reglamento Peruano, el tiempo de exposición, el amortiguamiento, el nivel de confianza, el factor de amplificación y la función de caída del Espectro a ser utilizados. Se recomienda seguir los lineamientos del ATC - 3 (1978), ya que otros países del área Andina así lo han asumido.
8. Se recomienda continuar con los estudios probabilísticos de distribución de aceleraciones, velocidades y desplazamientos sísmicos, para aplicar en el futuro códigos sismo-resistentes tipo ATC - 3 en el Perú.
9. Se recomienda desarrollar técnicas de corrección de los registros de aceleraciones sísmicas, acordes con las peculiaridades de los sismos peruanos.

AGRADECIMIENTO

Se agradece al Centro Regional de Sismología para América del Sur, en especial a su Director, el Ing. Alberto Giesecke, por el patrocinio del Proyecto SISRA en la Universidad Nacional de Ingeniería. Este artículo se basa en parte del trabajo de tesis de grado del Ing. Jorge Meneses Loja.

REFERENCIAS

1. ACIS (1984), "Código Colombiano de Construcciones Sismo-Resistentes", Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Bogotá, Colombia.
2. Alva Hurtado J. (1986), "Efectos Producidos por Terremotos en el Perú", Revista El Ingeniero Civil, Año 8, N°40, pp. 18-21.

3. Alva Hurtado J. y Chang C. S. (1978), "Características de los Terremotos Peruanos en Lima y Alrededores", III Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Lima-Perú.
4. Alva Hurtado J., Meneses L. J. y Guzmán L. V. (1984), "Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú", V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna-Perú.
5. Araya R. y Saragoni R. (1982), "Earthquake Accelerogram Destructiveness Potential Factor", Universidad de Chile, Santiago.
6. Arévalo E. (1984), "Riesgo Sísmico del Departamento de Ancash", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.
7. ATC-3 (1978), "Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings", Applied Technology Council, USA.
8. Berg G.V. (1982), "Seismic Design Codes and Procedures", Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, California, USA.
9. Brady A.G. y Pérez V. (1977), "Strong-Motion Earthquake Accelerograms. Digitization and Analysis Records from Lima, Perú: 1951 to 1974", Open File Report N°77-587, U.S. Geological Survey.
10. Casaverde L. y Vargas J. (1980), "Zonificación Sísmica del Perú", II Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo-Resistente, Organización de los Estados Americanos y Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú.
11. Casaverde L. y Vargas J. (1982), "Mapa de Distribución Probabilística de Intensidades del Perú", IV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Chiclayo-Perú.
12. Cloud W. y Pérez V. (1971) "Unusual Accelerograms Recorded at Lima, Peru", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol 61, N°3, pp 633-640.
13. Cornell C.A. (1968), "Engineering Seismic Risk Analysis", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol 58, N°5, pp 1583-1606.
14. FUNVISIS (1982), "Normas Venezolanas para Edificaciones Antisísmicas", Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, Caracas, Venezuela.
15. INPRES (1983), "Normas Argentinas para Construcciones Sismo-Resistentes", Instituto Nacional de Prevención Sísmica y Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles, San Juan, Argentina.

16. Kuroiwa J., Morales R., Sánchez A., Temoche E. y Yamashiro R. (1977), "Propuesta de Normas Básicas de Diseño Sismo-Resistente y sus Comentarios", Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.
17. Meneses Loja J. (1985), "Evaluación de Acelerogramas y Determinación de Espectros de Respuesta en Lima", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.
18. Mohraz B., Hall W. y Newmark N.M. (1973), "A Study of Vertical and Horizontal Earthquake Spectra", Report N°1255, Prepared by Newmark Consulting Engineering Services for the U.S. Atomic Energy Commission.
19. Ottazzi G., Repetto P., Vargas J. y Zegarra L. (1980), "Bases para una Revisión de las Normas Peruanas de Diseño Sismo-Resistente", II Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sísmica, Organización de los Estados Americanos y Pontificia Universidad Católica del Perú.
20. Riddell R. y Newmark N.M. (1979), "Statistical Analysis of the Response of Nonlinear Systems Subjected to Earthquakes", Civil Engineering Studies, Structural Research Series N°478, University of Illinois, Urbana.
21. Riddell R. y Vélez A. (1984), "Análisis de Espectros de Terremotos Peruanos", Departamento de Ingeniería Estructural, Universidad Católica de Chile.
22. RNC (1977), "Reglamento Nacional de Construcciones-Normas de Diseño Sismo-Resistente", Ministerio de Vivienda y Construcción, Oficina de Investigación y Normalización Coordinadora, Lima-Perú.

TABLA N° 1
CARACTERÍSTICAS SISMOLÓGICAS DE LOS SISMOS REGISTRADOS

FECHA HORA	LOCALIZACIÓN DEL SISMO	UBICACIÓN DEL HIPOCENTRO		MAGNITUD	MAXIMA INTENSIDAD OBSERVADA (MM)
		LATITUD LONGITUD	PROFUNDIDAD (km)		
31 Enero 1951 11:38 (local)	Costa Central Oeste, cerca a Lima, en el mar.	12.00 S 78.00 W	50	MS = 5.5 (7) ML = 6.0 (8)	V
17 Octubre 1966 21:41 GMT (1) 21:41:56.6 GMT (2) 21:41:57 GMT (3)	Costa Central Oeste, en el mar, al norte de Lima.	10.74 S (2) 78.63 W 10.70 S (1) 78.70 W 10.55 S (3) 78.50 W	38 (2) 24 (1)	mb = 6.3 (1) 6.3 (2) MS = 7.5 (1) 7.75 (3)	VIII
31 Mayo 1970 20:23:28.4 GMT (2) 20:23:27.3 GMT (1) 20:23:31 GMT (3)	Costa Central, en el mar, al norte de Lima.	9.20 S (1) 78.80 W 9.15 S (2) 78.83 W 7.00 S (3) 80.20 W	48 (2) 41 (1)	mb = 6.6 (1) 6.4 (2) MS = 7.8 (1) 7.6 (4) 7.9 (3)	VIII
29 Noviembre 1971 20:14:12.2 GMT (1) 20:14:12.6 GMT (2) 20:14:08.0 GMT (3)	Costa Central, en el mar, al norte de Lima.	11.25 S (2) 77.68 W 11.20 S (1) 77.80 W 11.70 S (3) 79.80 W	57 (2) 54 (1)	mb = 5.3 (1) 5.3 (2) MS = 5.5 (3)	V
5 Enero 1974 08:33:50.7 GMT (1) 08:33:50.2 GMT (2) 08:33:51.0 GMT (3)	Costa Central, al sur este de Lima.	12.28 S (2) 76.30 W 12.30 S (1) 76.40 W 12.40 S (3) 76.10 W	92 (2) 98 (1) 100 (3)	mb = 6.1 (2) 6.3 (1) 6.0 (3) MS = 6.6 (4)	VI
3 Octubre 1974 14:21:29.3 GMT (1) 14:21:29.1 GMT (3)	Costa Central, al oeste de Lima, en el mar.	12.242 S (2) 77.585 W 12.30 S (1) 77.80 W 12.00 S (3) 79.00 W	9 (2) 13 (1)	mb = 6.2 (2) 6.6 (1) 6.6 (3) MS = 7.6 (1) 7.5 (4) 7.8 (3)	VIII (8)
9 Noviembre 1974 12:59:51 GMT (2) 12:59:49.8 GMT (1) 12:59:54 GMT (3)	Costa Central, cerca de Lima, en el mar.	12.44 S (2) 77.46 W 12.50 S (1) 77.80 W 12.80 S (3) 77.80 W	6 (2) 6 (1)	mb = 6.0 (1) 6.0 (2) 6.4 (3) MS = 7.2 (1) 6.9 (1) 7.1 (1) 6.2 (4)	IV

FUENTES :

- (1) USCGS : U.S. Coast and Geodetic Survey, U.S. Department of Commerce, Washington Science Center, Rockville, Maryland.
- (2) ISC : International Seismological Centre. Edinburgh, Scotland.
- (3) MOS : Moscow Institute of Physics of the Earth. U.S.S.R.
- (4) PAS : Seismological Laboratory, Caltech, Pasadena.
- (5) BRK : Seismographic Station, UC Berkeley.
- (6) Saragoni R. et al (1981).
- (7) Ocola L. (1984)
- (8) Silgado E. (1978)

TABLA N° 2
CARACTERÍSTICAS DE LOS ACELEROGRAMAS (Brady y Pérez, 1977)

FECHA	COMPONENTES	DURACIÓN DIGITIZACIÓN (seg)	VALORES MÁXIMOS CORREGIDOS			DISTANCIA (km)		RMS (g/10)	CARACTERÍSTICAS ACELEROGRAFO		
			Aceleración (cm/seg ²)	Velocidad (cm/seg)	Desplazamiento (cm)	Hipocentral	Epicentral		Sensibilidad (cm/seg)	Período (seg)	Amortiguamiento
31/01/51	UP	30	18.7	- .5	- .3	116	105	0.0261	13.2	.064	.50
	N82W		- 60.4	- 1.7	- .3			0.0586	12.8	.064	.55
	N08E		45.7	.9	.2			0.0508	12.9	.064	.40
17/10/66	UP	66	94.3	10.6	13.5	240	236	0.0872	12.4	.065	.53
	N82W		- 180.6	13.2	7.4			0.0872	12.6	.064	.55
	N08E		- 269.3	- 21.6	- 16.6			0.0872	12.5	.064	.59
31/05/70	UP	45	73.5	4.5	1.5	375	372	0.8000	12.3	.066	.62
	N82W		- 104.8	4.7	1.6			0.8000	12.9	.065	.61
	N08E		- 97.8	7.0	2.6			0.8000	12.9	.066	.55
29/11/71	UP	40	23.0	1.2	.6	138	127	0.0374	12.4	.065	.55
	N82W		53.6	4.1	1.7			0.0778	12.9	.065	.61
	N08E		86.5	- 4.2	- 1.3			0.0748	12.9	.066	.56
05/01/74	UP	36	- 30.3	- 2.0	.7	123	74	0.0720	12.3	.065	.55
	N82W		66.8	4.0	.6			0.1397	12.9	.065	.61
	N08E		- 72.3	- 2.2	- .5			0.1441	12.9	.066	.55
03/10/74	UP	90	99.8	- 7.0	- 5.8	90	86	0.1505	12.3	.063	.61
	N82W		- 192.5	14.5	6.4			0.2737	12.9	.064	.60
	N08E		178.9	10.3	- 5.3			0.2308	12.9	.065	.57
09/11/74	UP	48	- 28.0	- 3.2	- 1.8	95	95	0.0396	12.9	.065	.59
	N82W		46.2	- 3.6	1.8			0.0736	12.9	.065	.61
	N08E		- 69.2	- 4.9	- 1.8			0.0821	12.9	.066	.59

TABLA N° 3
COMPARACIÓN DE FACTORES DE AMPLIFICACIÓN

AMORTIGUAMIENTO (% del Crítico)	REGIÓN ESPECTRAL	RIDDELL Y VELEZ (1984) (Registros Peruanos)			MOHRAZ ET AL (1973)			RIDDELL Y NEWMARK (1979)			MENESES (1985) (Est. Parque Reserva)		
		ϕ_e	σ_e	CV	ϕ_e	σ_e	CV	ϕ_e	σ_e	CV	ϕ_e	σ_e	CV
0	Desplazamiento										()	()	()
	Velocidad										3.50	2.14	0.59
	Aceleración										8.07	3.93	0.49
0.5	Desplazamiento	(0.76)	(0.42)	(0.55)	1.97	1.02	0.52						
	Velocidad	2.85	1.22	0.43	2.58	1.23	0.48						
	Aceleración	5.20	1.75	0.34	3.67	1.45	0.40						
2	Desplazamiento	(0.62)	(0.33)	(0.53)	1.68	0.83	0.49	1.69	0.83	0.49	()	()	()
	Velocidad	1.99	0.81	0.41	2.06	0.92	0.45	2.03	0.85	0.42	1.88	0.67	0.35
	Aceleración	3.40	1.00	0.29	2.76	0.89	0.32	3.08	0.74	0.24	3.09	0.95	0.31
5	Desplazamiento	(0.54)	(0.28)	(0.52)	1.40	0.64	0.46	1.47	0.64	0.43	()	()	()
	Velocidad	1.47	0.58	0.40	1.66	0.66	0.40	1.55	0.60	0.39	1.53	0.45	0.29
	Aceleración	2.46	0.62	0.25	2.11	0.49	0.23	2.28	0.49	0.22	2.28	0.58	0.26
10	Desplazamiento	(0.46)	(0.23)	(0.49)	1.15	0.47	0.41	1.23	0.48	0.39	()	()	()
	Velocidad	1.13	0.42	0.37	1.34	0.47	0.35	1.20	0.44	0.36	1.28	0.32	0.25
	Aceleración	1.84	0.40	0.22	1.65	0.36	0.22	1.78	0.32	0.18	1.79	0.38	0.21

NOTA : En el texto se indican los diferentes rangos utilizados.

FIGURA N° 1.- ESPECTROS DE RESPUESTA ESTUDIO COMPARATIVO

ESTACION = IGP
AMORTIGUAMIENTO = 5%

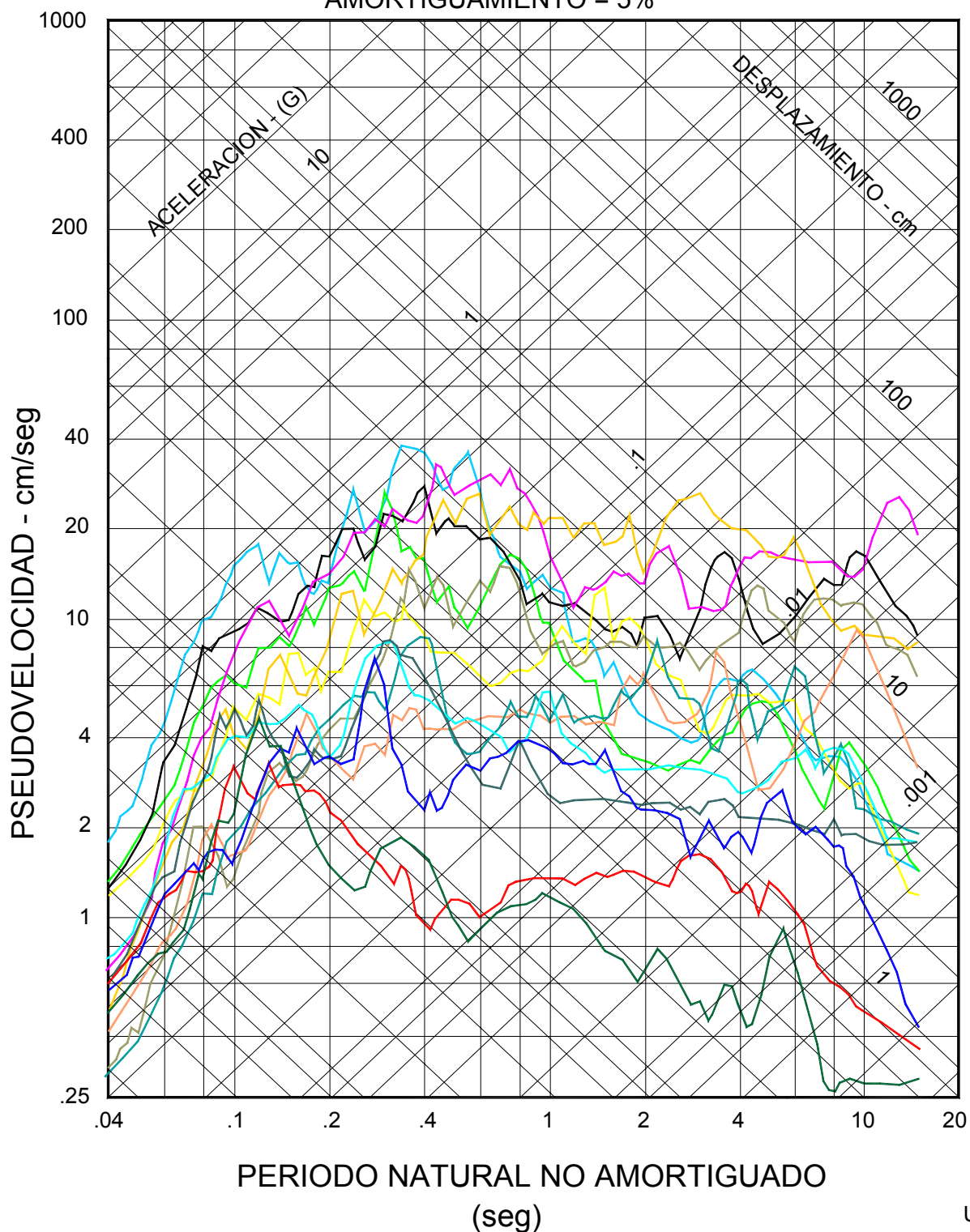


FIGURA N° 2.- ESPECTROS DE RESPUESTA ESTUDIO COMPARATIVO

ESTACION = IGP
 AMORTIGUAMIENTO = 5%

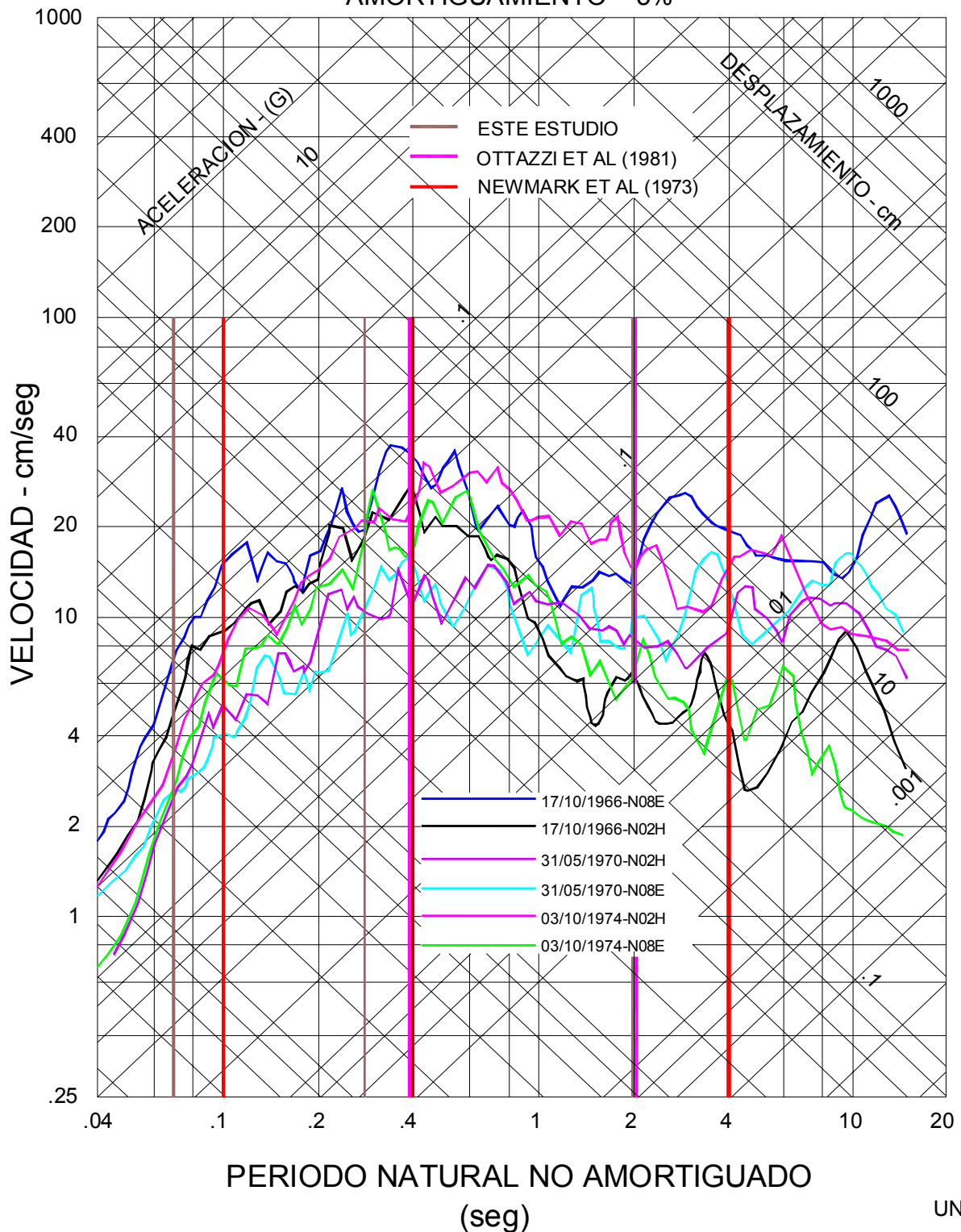


FIGURA N° 3.- ESPECTRO DE ACELERACIONES ABSOLUTAS

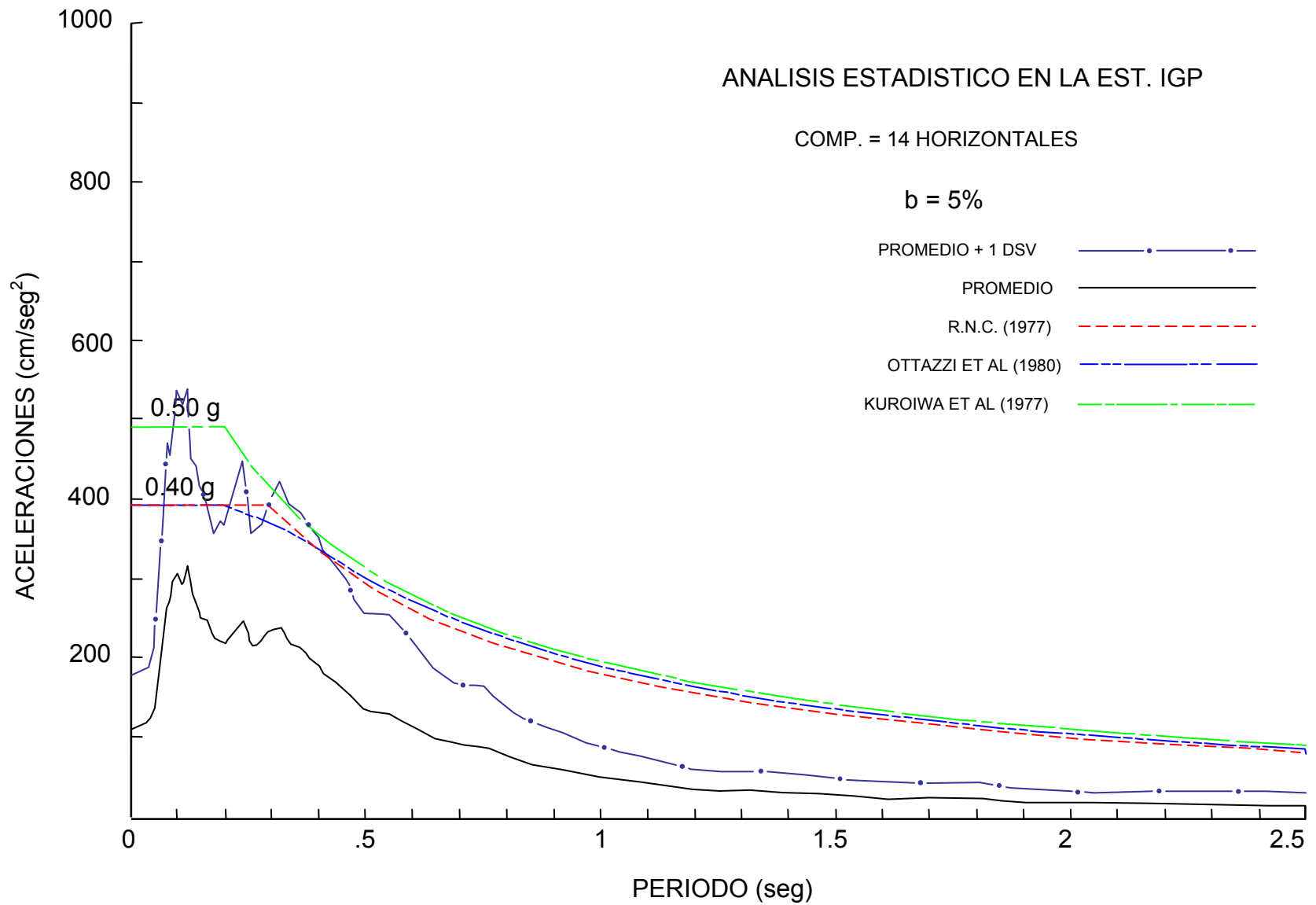


FIGURA N° 4.- ESPECTRO DE ACELERACIONES ABSOLUTAS

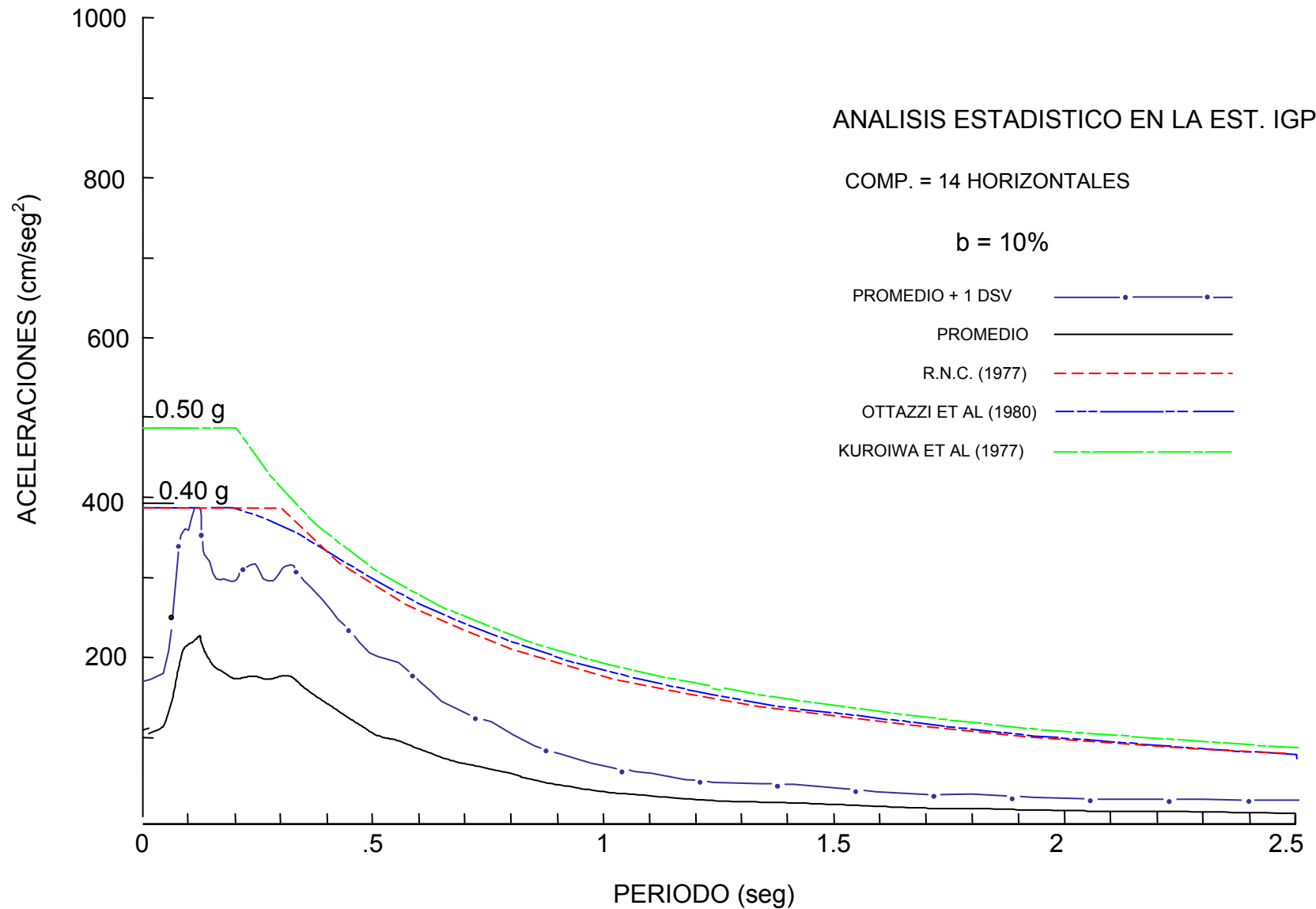


FIGURA N° 5.- ESPECTRO DE ACELERACIONES NORMALIZADAS

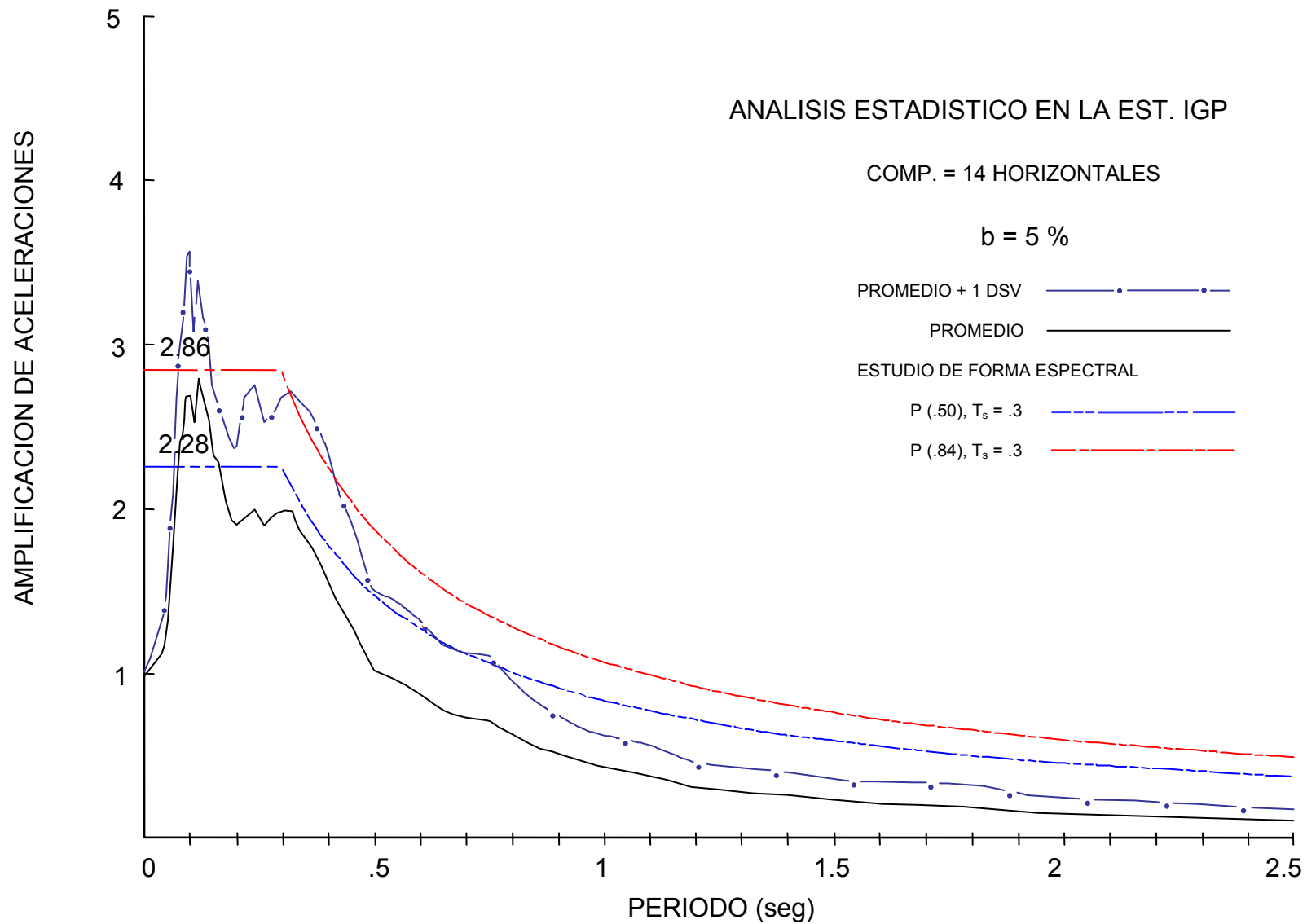


FIGURA N° 6.- ESPECTRO DE ACELERACIONES NORMALIZADAS

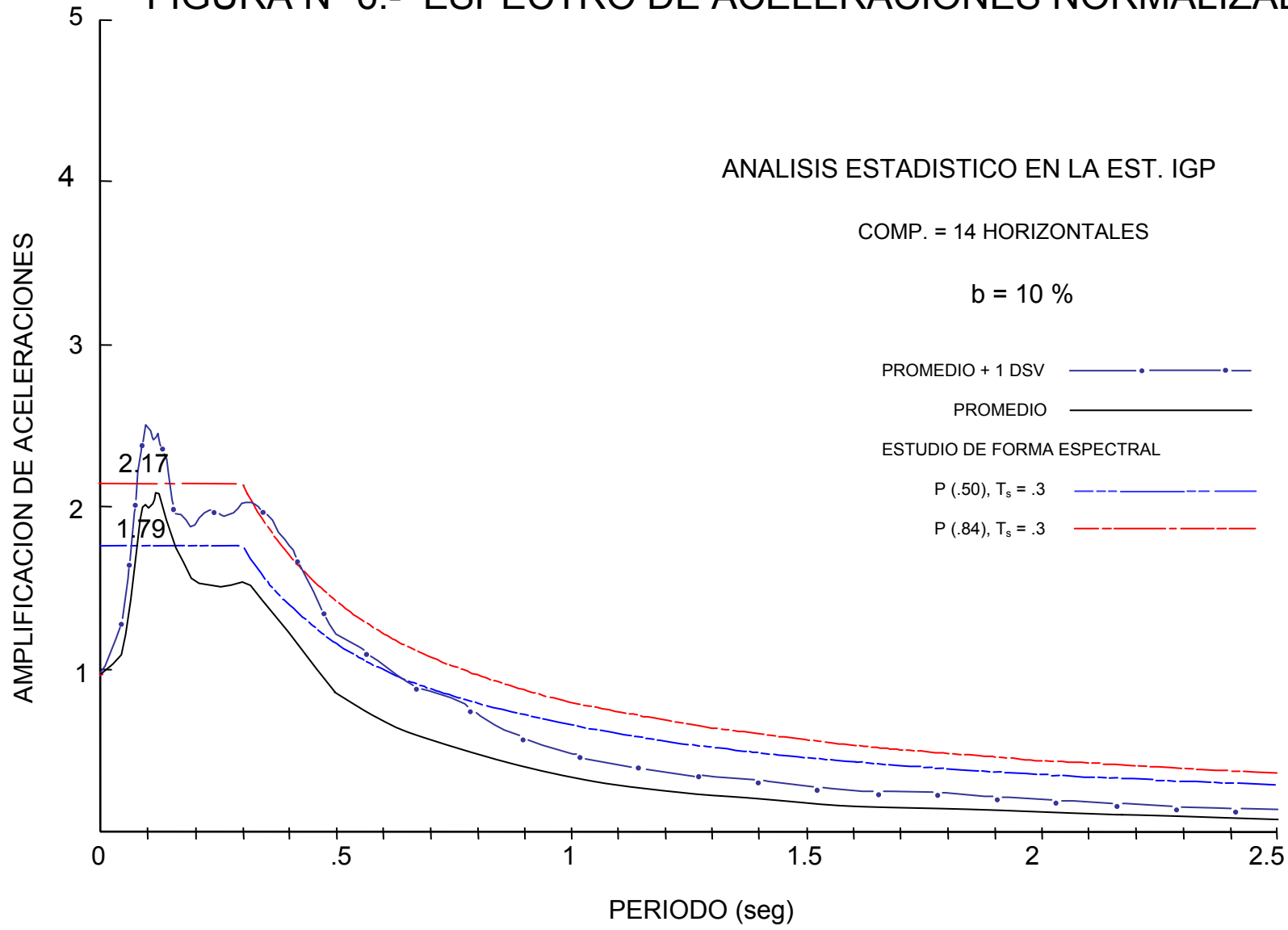


FIGURA N° 7.- ESPECTRO DE ACELERACIONES ABSOLUTAS

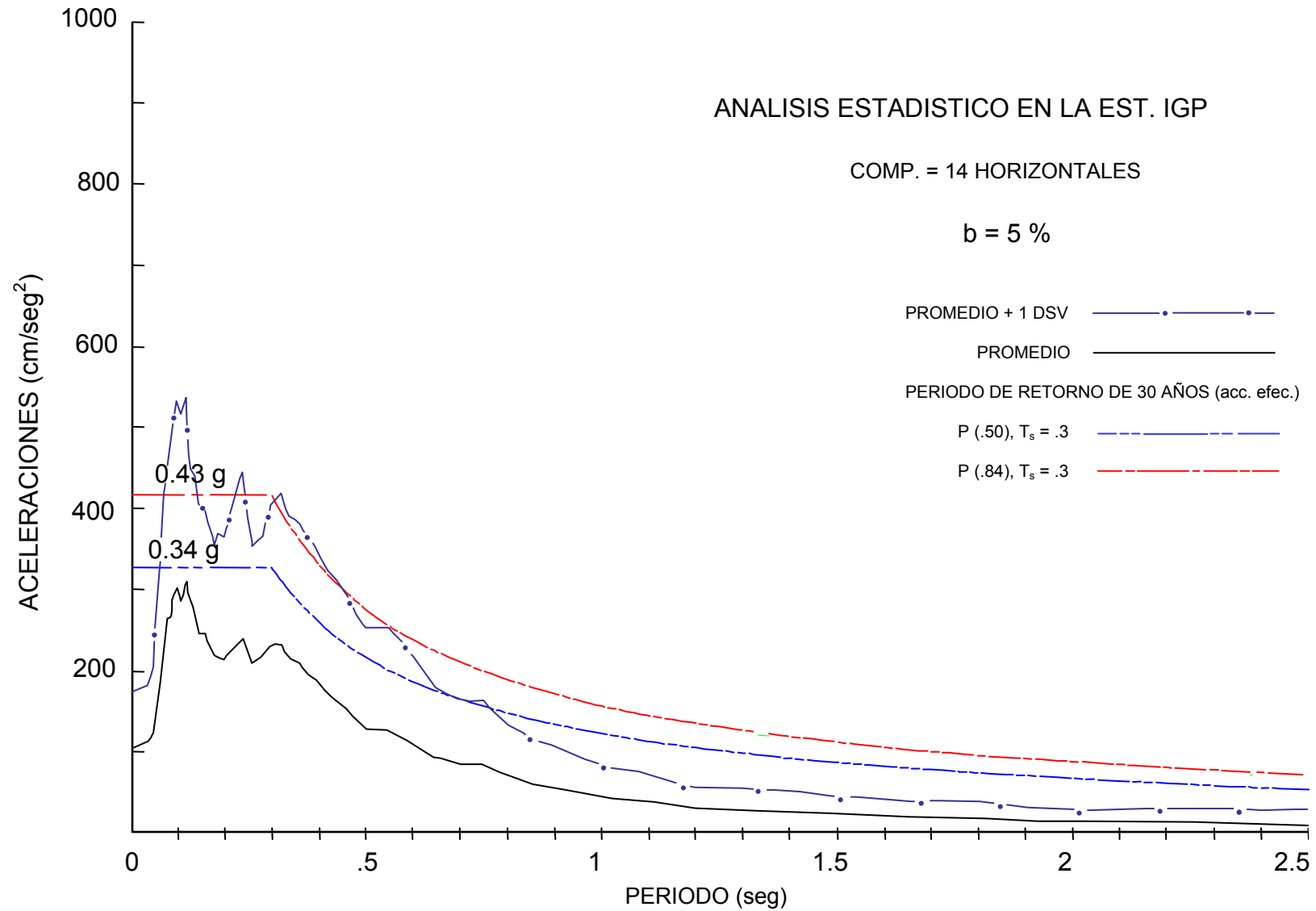


FIGURA N° 8.- ESPECTRO DE ACELERACIONES ABSOLUTAS

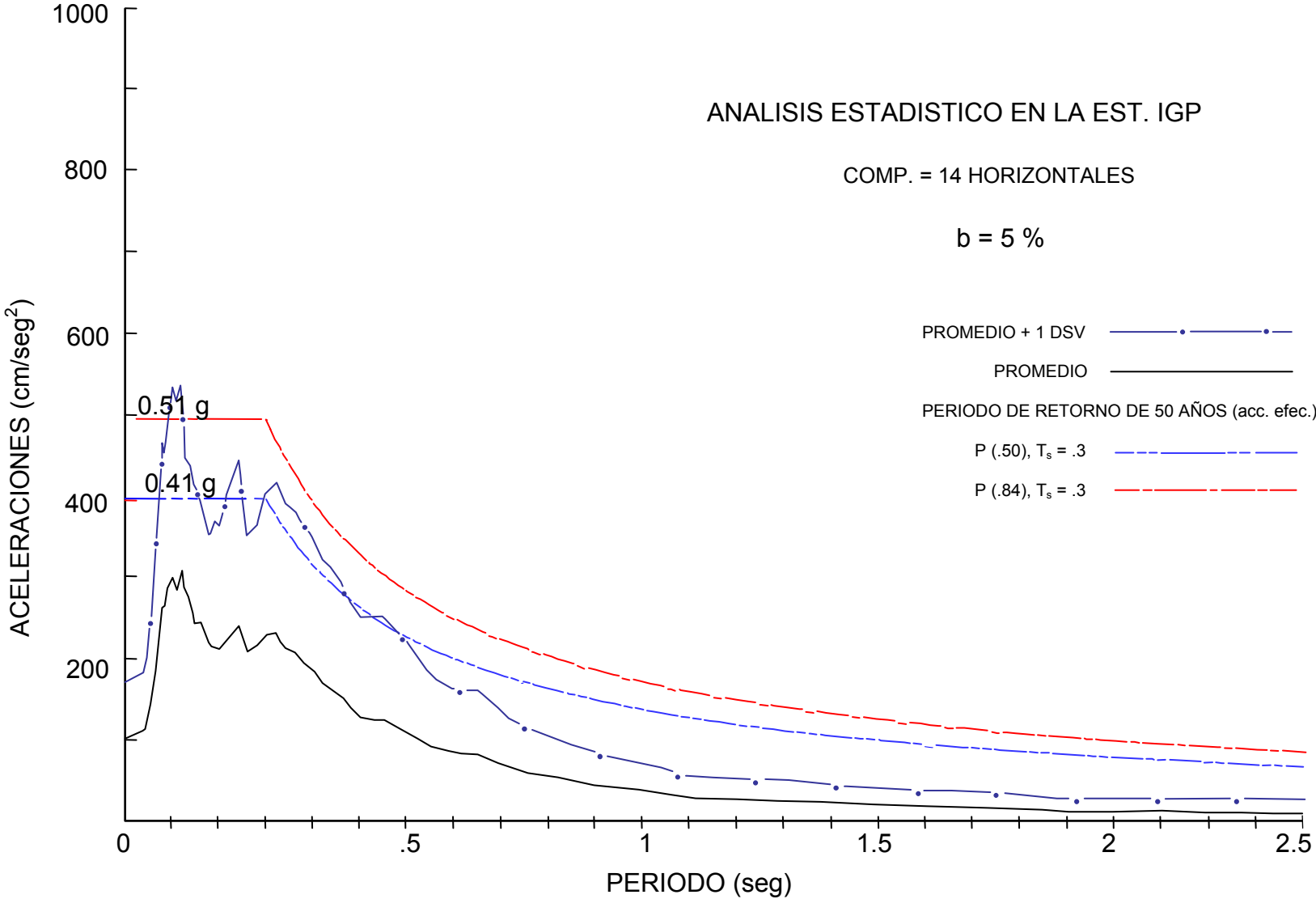


FIGURA N° 9.- ESPECTRO DE ACELERACIONES ABSOLUTAS

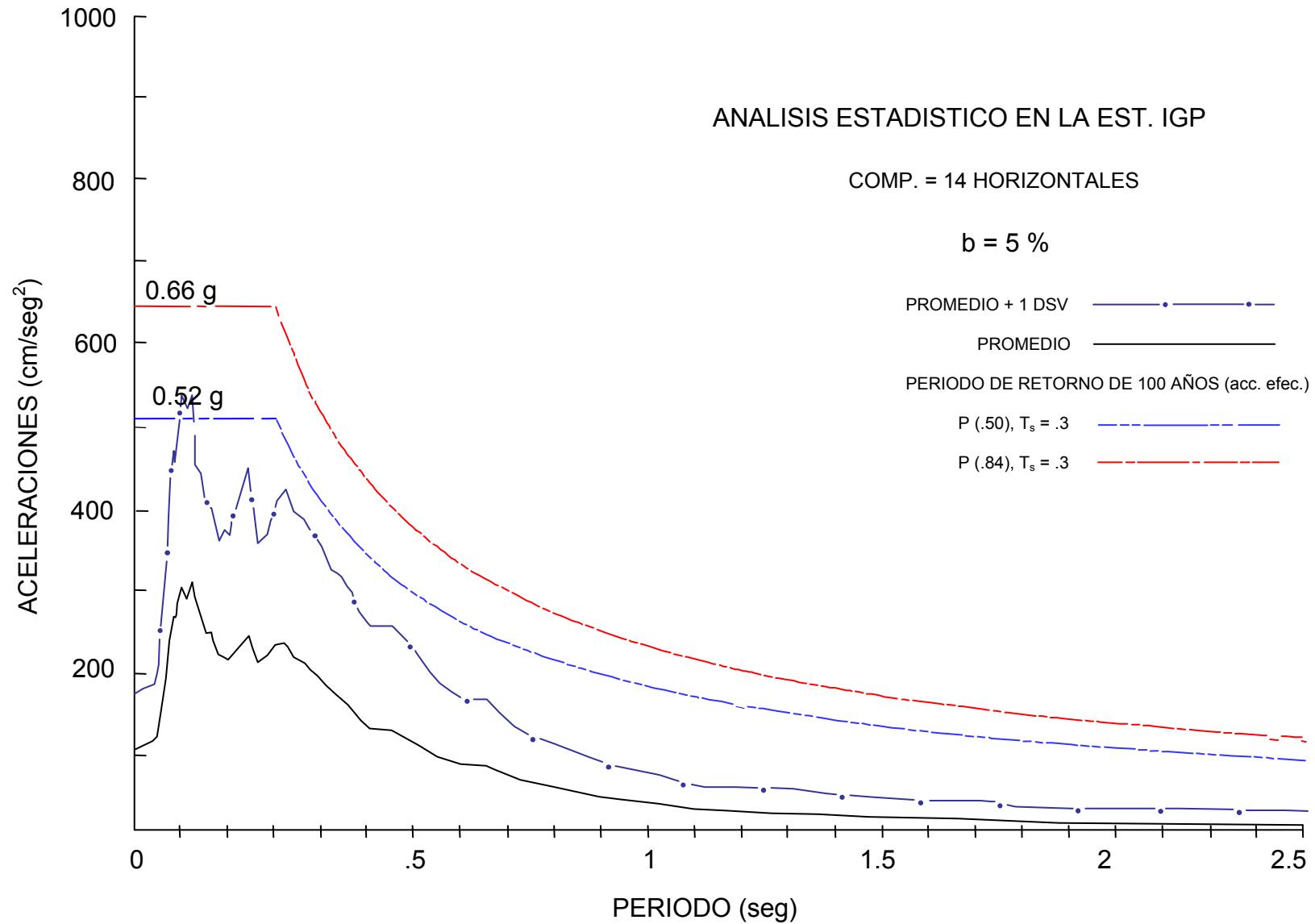


FIGURA N° 10.- ESPECTRO DE ACELERACIONES ABSOLUTAS

