NÚMERO DE CICLOS EQUIVALENTES DE LAS ONDAS SÍSMICAS PERUANAS

Jorge E. Alva Hurtado [1]
Jorge F. Meneses Loja [2]

RESUMEN

Este artículo presenta el cálculo del número de ciclos equivalentes de los registros de aceleraciones sísmicas en la Estación Parque de la Reserva del Instituto Geofísico del Perú, en Lima. Se han utilizado catorce registros de componentes horizontales para determinar el número de ciclos equivalentes para tres diferentes niveles de aceleración; y asimismo, se obtuvieron aceleraciones equivalentes para 5, 10 y 30 ciclos. Los cálculos se efectuaron mediante un programa de cómputo implementado en la Universidad Nacional de Ingeniería.

Los números de ciclos equivalentes de sismos peruanos se graficaron con la magnitud del sismo y se compararon con relaciones semejantes para sismos de otras partes del mundo. Los valores determinados en este estudio fueron apreciablemente más altos, probablemente debido al contenido de altas frecuencias y la presencia de picos significativamente intensos de los sismos peruanos.

ANTECEDENTES

El análisis de estabilidad y deformación sísmica de estructuras de tierra requiere que el registro tiempo-historia de los esfuerzos cortantes producidos por el sismo sean convertidos a un número de ciclos uniformes equivalentes N_{eq}, el cual puede ser utilizado para interpretar los resultados de ensayos cíclicos de especímenes de suelo en el laboratorio

El cálculo anteriormente descrito ha sido presentado por Lee y Chan (1972), Seed et al (1975) y Annaki y Lee (1977), entre otros. El término número de ciclos equivalentes, N_{eq}, se refiere al número de ciclos uniformes con una intensidad de esfuerzo τ_{av}, el cual, si se aplica a un elemento de suelo en el sitio o en el laboratorio, tendría el mismo efecto en términos de resistencia o deformación del suelo, que si el registro real de esfuerzos cortantes irregulares fuera aplicado (Fig. N°1). El valor de N_{eq} está relacionado al valor seleccionado de τ_{av} y a la relación de resistencia de carga cíclica del suelo (Fig. N°2).

Lee y Chan (1972) han explicado cómo convertir un registro irregular tiempo-historia de esfuerzos a un registro de esfuerzos cíclicos uniformes equivalentes.

---

(1) Profesor Asociado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
(2) Profesor Auxiliar, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

Ponencia presentada en el V Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Lima 13 al 15 de Abril de 1987

a) La Fig. N°3 presenta un registro tiempo-historia de esfuerzos de corte inducidos a una profundidad de 6.25 pies por debajo de la superficie del suelo, donde el esfuerzo vertical efectivo antes del sismo fue $\bar{\sigma}_{nc}$ = 720 lb/pie^2. El esfuerzo máximo registrado fue τ_{max} = 265 lb/pie^2.

b) τ_{max} difícilmente puede ser considerado como representativo del registro tiempo-historia. No obstante, se puede asumir un esfuerzo promedio equivalente τ_{av} de una manera arbitraria, que cambiaría el número de ciclos equivalentes; se asume un esfuerzo promedio equivalente realista como τ_{av} = 0.65 τ_{max} = 172 lb/pie^2. Esto corresponde a una relación de esfuerzos τ_{av}/ $\bar{\sigma}_{nc}$ = 0.239

c) El siguiente paso es dividir el rango de esfuerzos (τ = 0-τ_{max}) en un número conveniente de niveles y calcular el esfuerzo promedio dentro de cada nivel. Un ejemplo de utilización de 5 niveles se ilustra en la Fig. N°3

d) Según la curva de resistencia cíclica de campo (Fig. N°2), la relación de esfuerzos de 0.239 corresponde a un N_f = 5.0 ciclos, donde N_f es el número de ciclos necesarios para causar la falla del suelo, para un valor dado de relación de esfuerzos o intensidad de esfuerzos cíclicos. Así, cualquier nivel de esfuerzo en esta curva puede ser convertido a una combinación de τ_{av} y un cierto número de ciclos equivalentes. Por ejemplo, los 1.6 ciclos de nivel de esfuerzo 1 (Fig. N°3) son equivalentes a los 5 ciclos de τ_{av} en términos de los efectos sobre el suelo. El valor de N_f correspondiente a la relación de esfuerzo promedio asumida, está dada por N_{ref}. En el registro tiempo-historia real hubo 2 ciclos del nivel de esfuerzo 1, y en lo que respecta al suelo, estos 2 ciclos son equivalentes a·

$N_{eq} = \frac{5(2.0)}{1.6} = 6\,2$ ciclos uniformes de intensidad τ_{av}. Por un procedimiento similar, los ciclos equivalentes para los otros niveles de esfuerzo son calculados, tal como se ilustra en la Tabla N°1, y luego sumados para obtener el número total de ciclos uniformes equivalentes para el total del registro tiempo-historia, N_{eq}= 11.8.

Nótese que este valor de N_{eq} = 11.8 corresponde a un nivel de esfuerzo uniforme asumido, τ_{av} = 0.65 τ_{max}. Por un procedimiento similar, los valores de N_{eq} para otros niveles de esfuerzos uniformes pueden ser fácilmente calculados. Por ejemplo, si se desea utilizar un τ_{av} = 0.75 τ_{max}, el valor correspondiente de N_{ref} sería de 3.2 ciclos. Este sería entonces sustituido por el valor previo (N_{ref} = 5.0) y se realizan las multiplicaciones para determinar N_{eq} para cada nivel de esfuerzo, como se efectuó anteriormente. Un procedimiento más rápido es ilustrado en la parte inferior de la Tabla N°1, que conduce directamente a N_{eq} = 7.6 ciclos para τ_{av} = 0.75 τ_{max}. Es importante notar que un cambio en N_{eq} de aproximadamente 35%, corresponde a un cambio en τ_{av} de aproximadamente 15%. De esta manera, variaciones grandes en N_{eq} no significan importantes variaciones en los esfuerzos de corte cíclicos.

Este método de calcular N_{eq} no está limitado a registros tiempo-historia de esfuerzos de corte, sino también puede ser aplicado a otras cantidades, tales como registros tiempo-historia de aceleraciones, ya que, dentro de los 20 pies superiores de cualquier depósito de suelo, el registro tiempo-historia de los esfuerzos de corte cíclicos será necesariamente muy similar, en forma, al registro tiempo-historia de las aceleraciones en la superficie del suelo (Seed e Idriss, 1971).

INFORMACIÓN UTILIZADA

Los acelerogramas de sismos peruanos utilizados en este estudio son aquellos procesados en el U.S. Geological Survey, y han sido presentados por Brady y Perez (1977). La Tabla N°2 presenta las características sismológicas de los sismos registrados. Todos los registros proceden de la Estación Parque de la Reserva con coordenadas 12.07°S y 77.04°W, en Lima.

En la Estación indicada, perteneciente al Instituto Geofísico del Perú, se han obtenido 7 registros sísmicos (14 componentes horizontales y 7 verticales). Los registros utilizados en este estudio han sido las componentes horizontales. (Meneses Loja y Alva Hurtado, 1986).

DETERMINACIÓN DEL N_{eq} DE LAS ONDAS SÍSMICAS PERUANAS

El número de ciclos equivalentes para los 14 registros de componentes horizontales obtenidos en la Estación del Instituto Geofísico del Perú en el Parque de la Reserva en Lima, han sido calculados en este estudio para tres diferentes niveles de aceleraciones uniformes equivalentes: $a_{av} = 0.60\ a_{max}$, $a_{av} = 0.65\ a_{max}$ y $a_{av} = 0.70\ a_{max}$ y, asimismo, se obtuvieron los valores de aceleraciones equivalentes para los números de ciclos equivalentes de 5, 10 y 30 (Tabla N°3)

Se utilizó en el cálculo el programa EQUIV desarrollado por Taniguchi et al (1983) para calcular la aceleración uniforme equivalente de cualquier registro tiempo-historia de aceleraciones y para calcular el número de ciclos equivalentes para cualquier nivel dado de aceleración uniforme. El programa indicado es parte de una metodología que evalúa las deformaciones inducidas por acciones sísmicas en presas de tierra mediante el método de elementos finitos. Fue necesario adaptar el programa EQUIV a las condiciones del presente análisis e implementarlo en el Centro de Cómputo de la UNI con las modificaciones pertinentes (Meneses Loja, 1985).

En esencia, la metodología es la misma a la ya explicada anteriormente, con la diferencia que en vez de las curvas mostradas en la Fig. N°2, se utilizaron los gráficos tal como el que se muestra en la Fig. N°4, donde se grafica la relación de la aceleración en porcentaje de la gravedad versus el número de puntos que exceden esta relación (Sasaki et al, 1984). Se efectuaron los gráficos para los 14 registros analizados. Estos valores fueron ajustados por mínimos cuadrados, y la pendiente de la recta así obtenida (C1), sirvió como dato de entrada para el programa EQUIV.

El programa de cómputo requiere como dato el valor de la fracción de la aceleración máxima para obtener la aceleración uniforme equivalente. En el estudio se utilizaron valores de 0.60, 0.65 y 0.70. También se requiere conocer el número de rangos en que se dividirá el registro tiempo-historia de aceleraciones, que en el caso en estudio fue 15. Se necesita como dato de entrada los números de ciclos equivalentes para los cuales se determinará la aceleración uniforme equivalente, que en el caso de los sismos peruanos fue de 5, 10 y 30. Finalmente, se requiere el valor de C1 y el registro tiempo-historia de los sismos.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En la Fig. N°5 se ha graficado el número de ciclos equivalentes N_{eq} versus la magnitud del sismo M_s, para cada uno de los niveles calculados de aceleración uniforme equivalente. Se nota la tendencia que el número de ciclos equivalentes aumenta conforme se incrementa la magnitud del sismo, apreciándose también que la dispersión y los valores de N_{eq} son más pequeños para la condición de $a_{av} = 0.70\ a_{max}$ y son más grandes para la condición de $a_{av} = 0.60\ a_{max}$.

Las Figs N°6 y 7 presentan las comparaciones de los resultados de los sismos peruanos con sismos de otras partes del mundo. En la Fig. N°6 se comparan los valores de N_{eq} de los sismos peruanos para $0.65\ a_{max}$ con los N_{eq} obtenidos de sismos norteamericanos (Lee y Chan, 1972) y con la curva propuesta por Seed e Idriss (1971); se puede apreciar que los valores obtenidos en el presente estudio son apreciablemente más altos. Igual tendencia se presenta en la Fig. N°7 (Seed et al, 1975), donde se comparan valores de N_{eq} y M_s con resultados de sismos norteamericanos y algunos sudamericanos, los valores de los sismos peruanos superan apreciablemente la curva media más una desviación estándar de dichos puntos.

Estos valores altos probablemente se deban al fuerte contenido de altas frecuencias de los registros peruanos analizados y por la presencia de picos significativamente intensos que contribuyen de manera importante en el conteo de los números de ciclos equivalentes. Estos valores inusualmente altos de N_{eq}, constituyen también una peculiaridad más de los sismos peruanos. (Meneses Loja y Alva Hurtado, 1986).

Se hace necesaria una última reflexión. El número de ciclos representativo de cualquier registro depende grandemente de la selección de la aceleración máxima considerada que será representativa del sitio en cuestión (Seed et al. 1975). Donde ambas componentes del movimiento registrado tienen aproximadamente la misma aceleración máxima, no se presenta ningún problema. Pero cuando las dos componentes en cualquier sitio tienen valores de aceleración pico completamente diferentes, el número apropiado de ciclos representativos de los efectos de los movimientos depende del grado de conservadorismo inherente en la selección de un movimiento del suelo representativo. Si el movimiento del suelo representativo es seleccionado conservadoramente (p.ej., el máximo de las componentes), entonces no es realista introducir un conservadorismo inicial evaluando cada componente de las aceleraciones registradas sobre la base de su propia aceleración pico con el propósito de determinar un número de ciclos equivalentes, combinando de este modo los efectos de los dos elementos conservadores en un movimiento final de diseño. Esto es cierto, si se reconoce que la componente más fuerte del movimiento en un sitio domina el potencial de licuación (Seed et al, 1975). Por otro lado, si el movimiento de diseño representativo es seleccionado como un valor medio basado en movimientos registrados previamente, entonces sería apropiado evaluar cada componente del movimiento con respecto a su propia aceleración pico y utilizar estos resultados para determinar un número apropiado de ciclos uniformes representativo de cualquier sismo dado. Este último procedimiento conduciría a un número más grande de ciclos representativos de un sismo de magnitud dada, que el procedimiento anteriormente descrito

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Para los tres niveles de aceleraciones equivalentes uniformes estudiados (0.60 a_{max}, 0.65 a_{max} y 0.70 a_{max}) se han obtenido de los sismos peruanos números de ciclos equivalentes inusualmente altos, al compararlos con los obtenidos de sismos norteamericanos y sudamericanos. Estos valores altos probablemente se deban al contenido de altas frecuencias de los registros peruanos analizados y por la presencia de picos significativamente intensos que contribuyen de manera importante en el conteo de los números de ciclos equivalentes.

2. Se recomienda obtener mayor cantidad de registros de aceleración tiempo-historia para mejorar el ajuste de las curvas N_{eq} vs. Magnitud de los sismos peruanos. Esto solo se logrará con la implementación de una bien montada red de acelerógrafos en el Perú.

AGRADECIMIENTO

Se agradece al Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS), 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. Annaki M. y Lee K.L. (1977). "Equivalent Uniform Cycle Concept for Soil Dynamics", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 103, GT6.

2. Brady A.G. y Pérez V. (1977), "Strong-Motion Earthquake Accelerograms Digitization and Analysis. Records from Lima, Peru: 1951 to 1974", Open File Report N°77-587, U.S. Geological Survey.

3. Lee K.L. y Chan K. (1972). "Number of Equivalent Significant Cycles in Strong Motion Earthquakes", Proceedings of the International Conference on Microzonation, Vol. II, Seattle, Washington, pp. 609-627.

4. Meneses Loja. J. (1985), "Evaluación de Acelerogramas y Determinación de Espectros de Respuesta en Lima", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.

5. Meneses Loja. J. y Alva Hurtado J. (1986), "Determinación del Espectro Elástico de Diseño y Coeficiente Sísmico para Lima", VI Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Cajamarca-Perú, pp. 128-136.

6. Sasaki Y., Koga Y. y Taniguchi E. (1984), "Earthquake Resistant Design of Earth Structures", Public Works Research Institute, Ministry of Construction, Japan.

7. Seed H.B. e Idriss I.M. (1971), "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 97, SM9, pp. 1249-1273.

8. Seed H B., Idriss I.M., Makdisi F. y Banerjee N. (1975), "Representation of Irregular Stress Time Histories by Equivalent Uniform Stress Series in Liquefaction Analyses", Earthquake Engineering Research Center EERC-75-29, University of California, Berkeley.

9. Taniguchi E., Whitman R.V. y Marr W.A. (1983), "Prediction of Earthquake-Induced Deformation of Earth Dams", Soils and Foundations, Vol. 23, N°4, pp. 126-132.

TABLA N°1 EJEMPLO DE CÁLCULO DEL NÚMERO DE CICLOS EQUIVALENTES

Profundidad = 6 25 pies; = 720 lb/pie^2 (Lee y Chan, 1972)

Sismo : TAFT

Notas	Datos del Registro Tiempo-Historia de Esfuerzos de Corte Calculados		Datos de la Curva de Resistencia del Suelo (Campo)		
	Esfuerzos de Corte Cíclicos Inducidos		N° de Ciclos con picos en este nivel	N_f	ΔN_{eq}
	τ_x lb / pie^2	$\tau_x / \bar{\sigma}_{nc}$			
τ_{max}					
τ_{av} = 0 65 τ_{max}	265	0.368	—	N_{ref} = 5.0	—
(asumido)	172	0 239	—		—
Nivel de Esfuerzo N°					
(1)	238	0.331	2.0	1.6	$\frac{5}{1.6}$ x 2 0 = 6.2
(2)	185	0.257	2.0	4.0	$\frac{5}{4.0}$ x 2.0 = 2.5
(3)	132	0.183	7	13.0	$\frac{5}{13\ 0}$ x 7.0 = 3.1
(4)	79	0.110	5	>1000.0	$\frac{5}{1000}$ x 5.0 = 0
(5)	26	0.036	7	>1000.0	= 0

(a) Si se desea calcular N_{eq} correspondiente a τ_{av} = 0.75 τ_{max} ·

$(\tau / \sigma)_{ref}$ = 0 75 x 0.368 = 0.276; N_{eq} = 3.2/5 0 x 11 8 = 7.6 ciclos

(b) Si se desea N_{eq} = 10 ciclos

N_{ref} = 10/11 8 x 5 = 4.24

$(\tau / \sigma)_{ref}$ = 0.25 (De la curva de resistencia del suelo)

τ_{av} = 0.25 x 720 = 180 psf = 0.68 τ_{max}

Número total de ciclos equivalentes = 11.8

Correspondiente a τ_{av} = 0.65 τ_{max}

TABLA N° 2
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 7° S (1) 78 7° W 10 55° S (3) 78 5° 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	9.2° S (1) 78 8° W 9 15° S (2) 78.83° W 7 0° S (3) 80 2° 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 2° S (1) 77 8° W 11 7° S (3) 79 6° 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 3° S (1) 76 4° W 12.4° S (3) 76 1° 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 3° S (1) 77 8° W 12 0° S (3) 79 0° 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 12.5° S (1) 77.8° W 12 8° S (3) 77.8° 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

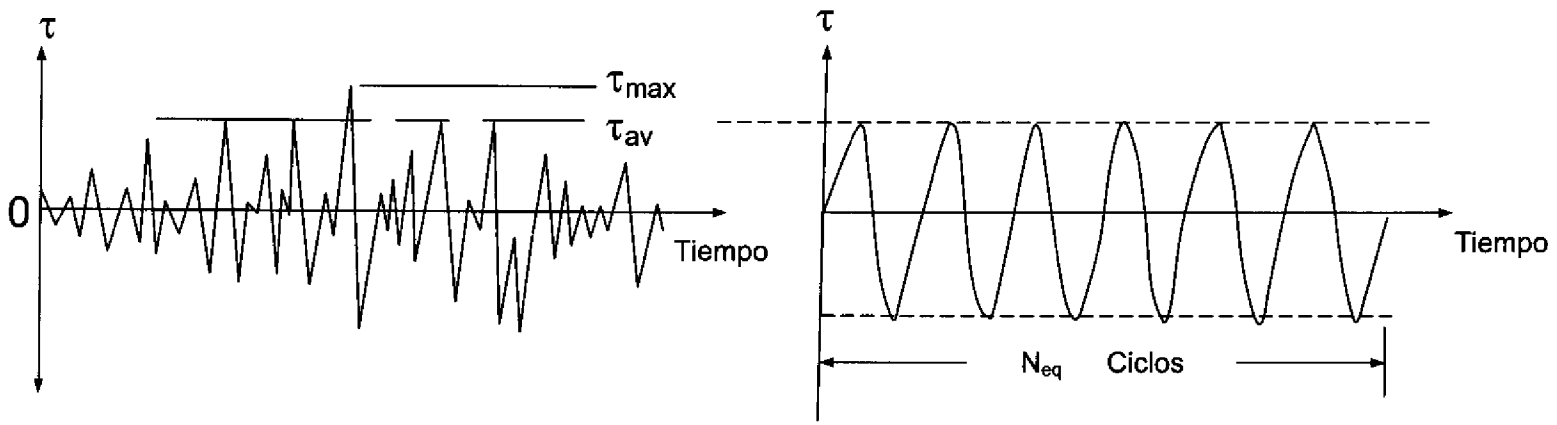
FUENTES .

(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° 3

CÁLCULO DEL NÚMERO DE CICLOS EQUIVALENTES Y ACELERACIONES EQUIVALENTES PARA LOS REGISTROS OBTENIDOS EN LA ESTACIÓN IGP-LIMA

SISMO	COMP	$a_{máx}$ (g)	C1	N_{eq} $a_{av} = 0.60\ a_{máx}$	N_{eq} $a_{av} = 0.65\ a_{máx}$	N_{eq} $a_{av} = 0.70\ a_{máx}$	Aceleración Equivalente (g)		
							Nc = 5	Nc = 10	Nc = 30
31/01/51	N82W	0.06161	-0.0229	18.99	13.93	10.22	0.05024	0.04334	0.03242
	N08E	0.0466	-0 0191	24.24	18.31	13.83	0.04105	0.03530	0.02618
17/10/66	N82W	0.1841	-0.0660	66.12	47.96	34.79	0.18446	0.16460	0.13310
	N08E	0.2746	-0.1039	53.45	39.43	29.09	0.27160	0.24040	0.19079
31/05/70	N82W	0.1068	-0.0384	70.34	51.06	37.06	0.10820	0.0966	0.07832
	N08E	0.0996	-0.0409	71.74	54.19	40.94	0.10710	0.0948	0.07527
29/11/71	N82W	0 0546	-0.0192	31.48	22.69	16.36	0.04810	0.0423	0.03315
	N08E	0.0882	-0.0282	14.51	10.12	7.06	0.06598	0.05749	0.04403
05/01/74	N82W	0.06806	-0.0276	58 65	44.16	33.24	0.07035	0.06204	0.04887
	N08E	0.07367	-0.0279	53.27	39.30	29.00	0.07287	0.06447	0.05116
03/10/74	N82W	0.1824	-0.0479	38.33	24.72	15.95	0.15182	0.13740	0.11455
	N08E	0.1962	-0 0617	66.36	46.02	31.91	0.18702	0.16840	0.13900
09/11/74	N82W	0.04711	-0.0187	41.89	31.34	23.45	0.04553	0.03990	0.03097
	N08E	0.07056	-0.0254	22.08	16.04	11 65	0.05872	0.05107	0.03895



(a) Respuesta Real Calculada

(b) Respuesta Equivalente

Figura Nº 1.- REGISTROS TIEMPO – HISTORIA DE ESFUERZOS REAL Y EQUIVALENTE

(Lee y Chan, 1972)

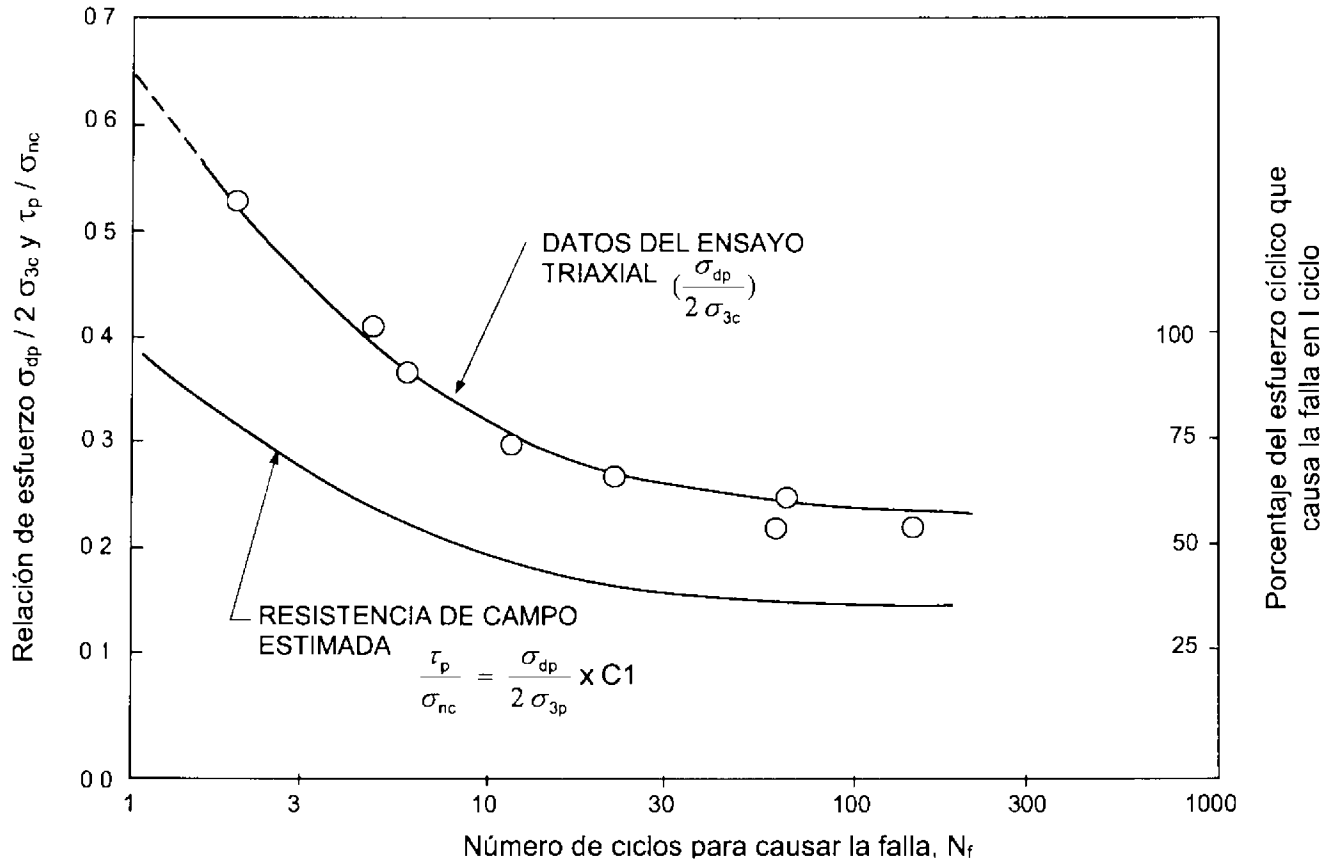


Figura Nº 2.- RESULTADOS TIPICOS DE ENSAYOS DE CARGA CICLICA SOBRE MUESTRAS DE SUELO
(Lee y Chan, 1972)

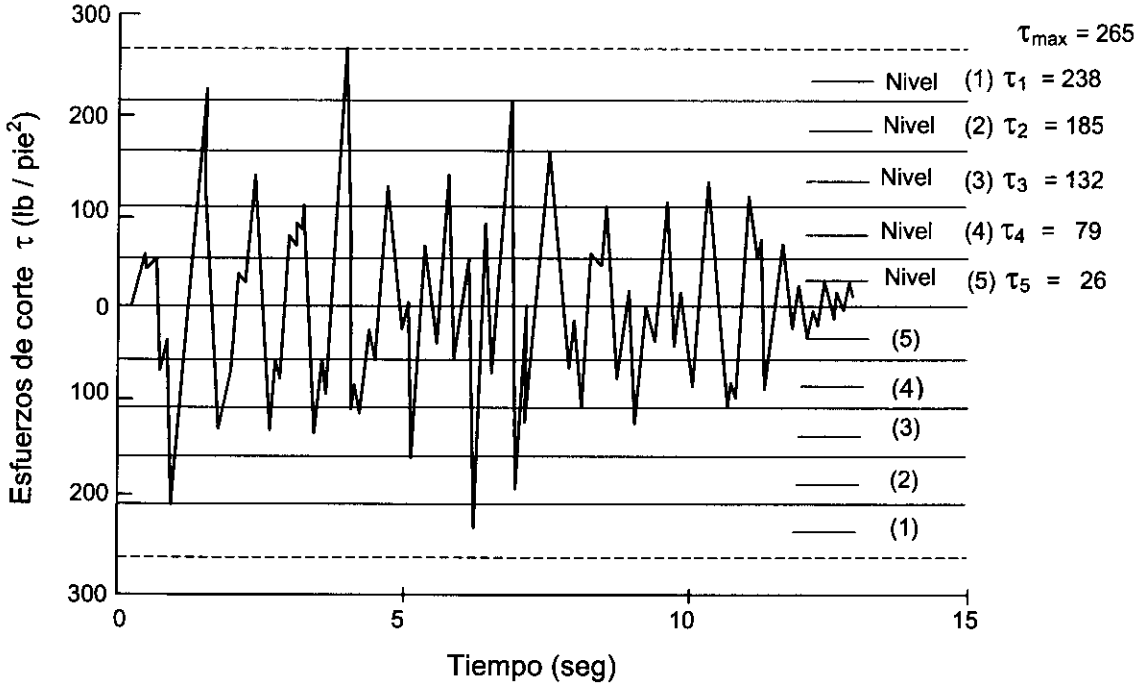


Figura Nº 3.- PASOS PARA CALCULAR N_{eq} DE UN REGISTRO TIEMPO HISTORIA DE ESFUERZOS SISMICOS (Lee y Chan, 1972)

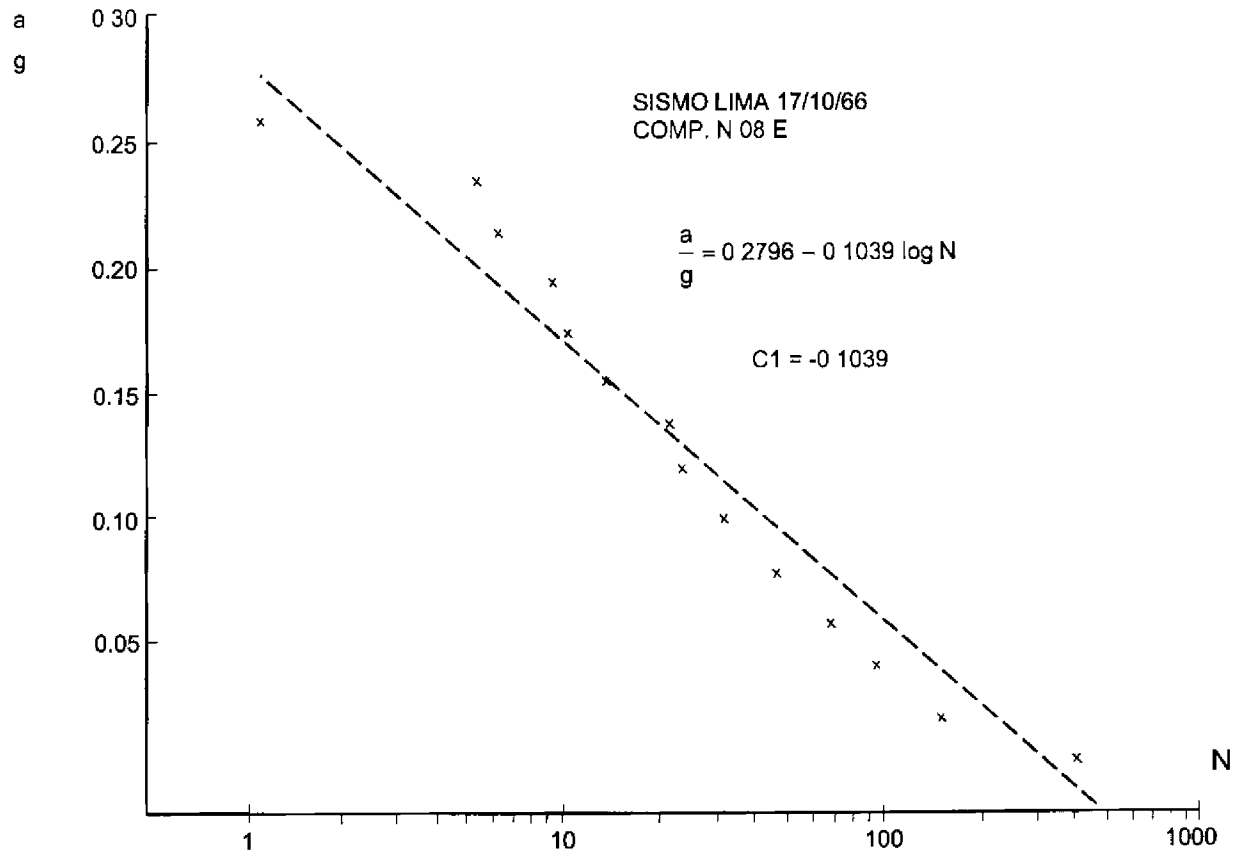


Figura Nº 4.- GRAFICO TIPICO PARA OBTENER EL VALOR DE C1

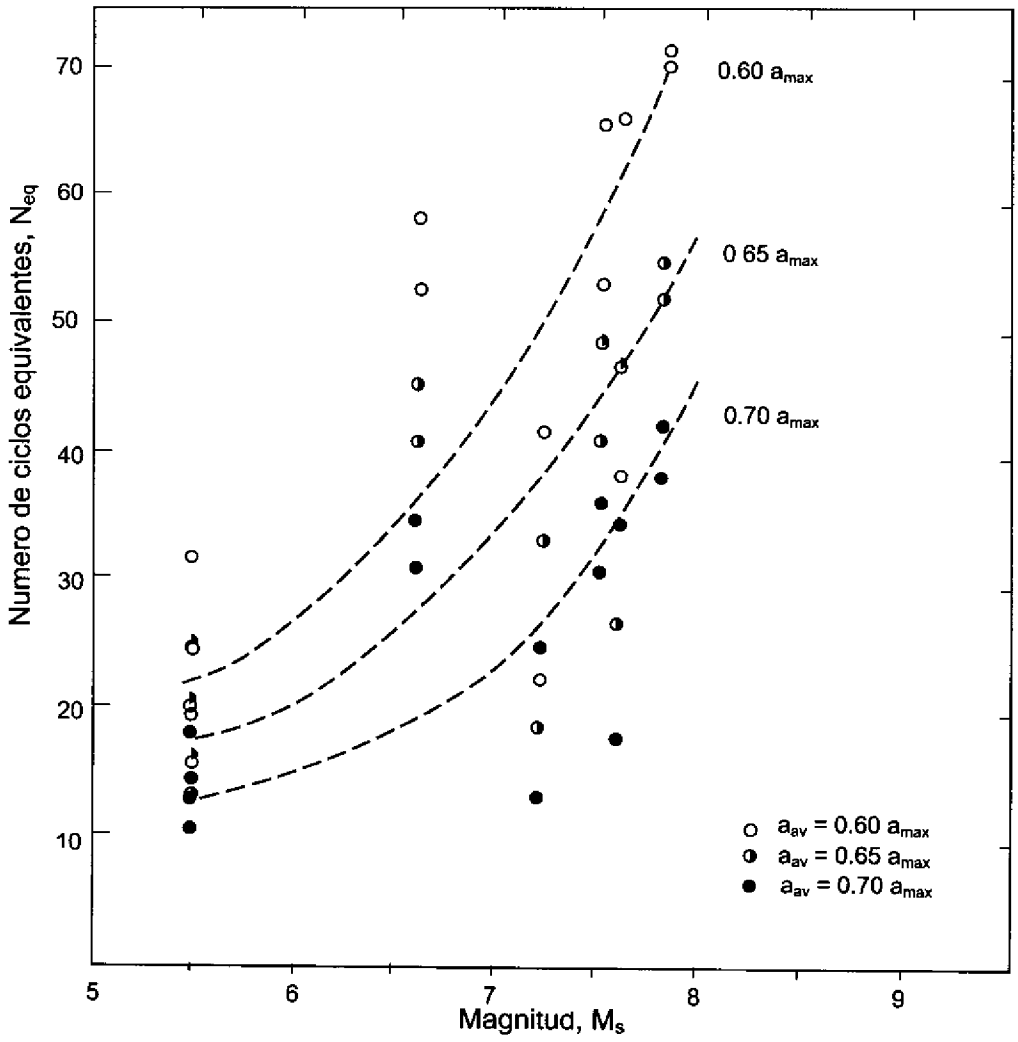


Figura Nº 5.- NUMERO DE CICLOS EQUIVALENTES PARA DIFERENTES NIVELES DE ACELERACION UNIFORME EQUIVALENTE EN FUNCION DE LA MAGNITUD

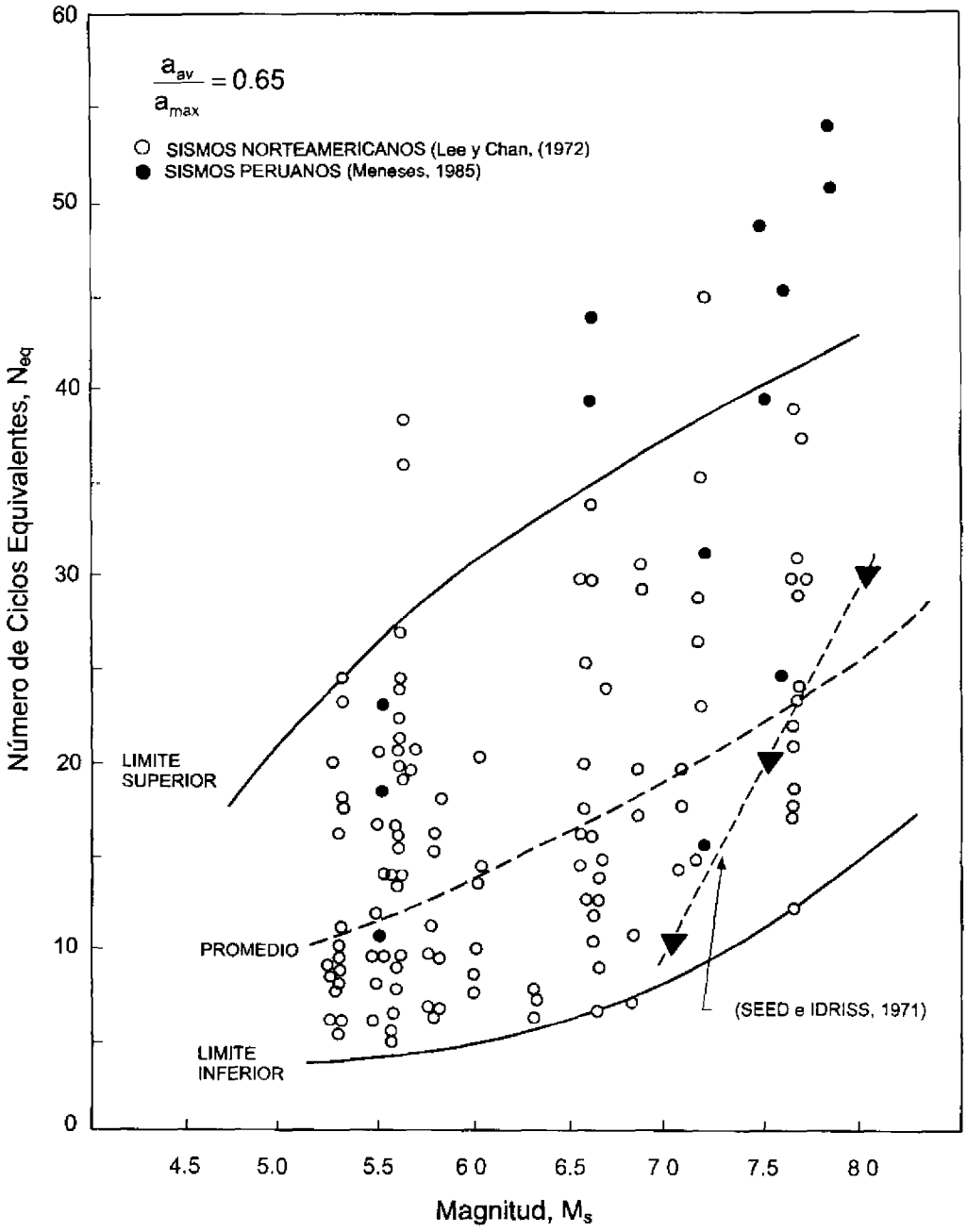


Figura Nº.- 6 COMPARACION DE N_{eq} PARA SISMOS NORTEAMERICANOS Y PERUANOS (Lee y Chan, 1972)

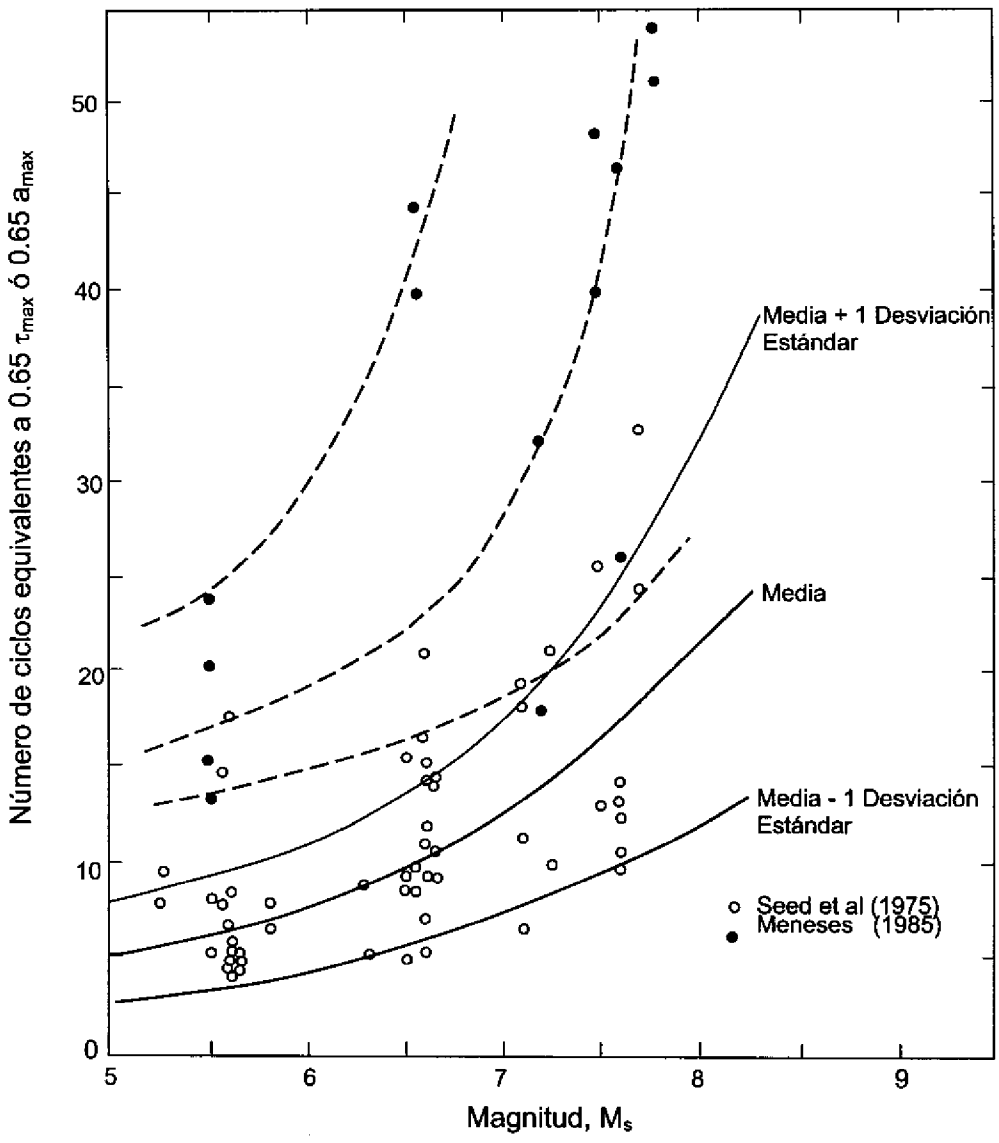


Figura Nº 7.- NUMERO DE CICLOS EQUIVALENTES DE ESFUERZOS UNIFORMES BASADOS EN TODAS LAS COMPONENTES DEL MOVIMIENTO DEL SUELO