

ANALISIS DE TERREMOTOS NORTEAMERICANOS Y JAPONESES

Raúl HUSID*

Hernán MEDINA**

Jorge RIOS**

RESUMEN

Se presentan y discuten resultados de espectros de respuesta, intensidades de Housner y de Arias, aceleración cuadrática media y funciones de autocorrelación de varios acelerogramas registrados en Estados Unidos y en Japón.

INTRODUCCION

En este trabajo los autores presentan un resumen de los resultados más importantes obtenidos en el estudio detallado de 28 acelerogramas registrados en Estados Unidos*** y 4 registrados en Japón. Los primeros fueron digitalizados por los autores mediante el procedimiento descrito por Husid¹, y los registros digitalizados de los terremotos japoneses se copiaron de la publicación de Muto².

Para todos los acelerogramas se hizo el análisis prescrito por Husid¹. Los cálculos numéricos necesarios fueron realizados con la ayuda del computador IBM 360/40 de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

*Profesor de Dinámica Avanzada y Jefe de la Sección Ingeniería Antisísmica del Departamento de Geofísica, Sismología y Geodesia de la Universidad de Chile. Profesor de Ingeniería Antisísmica, Universidad F. Santa María, Valparaíso.

**Ingeniero Civil, Universidad de Chile.

***Roberto Guiloff, Saúl Roizen y el primero de los autores del presente trabajo realizaron un estudio análogo para otros 27 acelerogramas de terremotos de E.U.A.

En la Tabla I aparecen todos los terremotos que se analizan en este trabajo.

TABLA I
TERREMOTOS ANALIZADOS

Nº Terremoto*	Comp.	Fecha	Digitalización	Acelerógrafo	Referencia
4 Olympia, Wash.	S86°W	13 IV 49	Medina-Rios	USCGS	3,6
3 Olympia, Wash.	S 4°E	13 IV 49	Medina-Rios	USCGS	3,6
31 Eureka, Calif.	N79°E	21 XII 54	Medina-Rios	USCGS	----
32 Eureka, Calif.	S11°E	21 XII 54	Medina-Rios	USCGS	----
45 Ferndale, Calif.	S44°W	21 XII 54	Medina-Rios	USCGS	----
46 Ferndale, Calif.	N46°W	21 XII 54	Medina-Rios	USCGS	----
5 Olympia, Wash.	S 4°E	29 IV 65	Medina-Rios	USCGS	7,6
6 Olympia, Wash.	S86°W	29 IV 65	Medina-Rios	USCGS	7,6
90 Sendai, Japón	501 NS	30 IV 62	SERAC	SMAC	8
92 Akashi, Japón	804 EW	27 III 63	SERAC	SMAC	9

*La numeración de los terremotos corresponde a la empleada en la investigación completa sobre el tema que los autores del presente trabajo y los ingenieros Saúl Roizen, Alejandro Santolaya, Nagly Gómez y Roberto Guiloff realizaron en el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile y que será publicada en un volumen especial.

A continuación se analizan los siguientes puntos de acuerdo a lo descrito por Husid¹.

- a) Espectro de respuesta. Comparación con otros autores.
- b) Intensidad espectral de Housner.
- c) Determinación de la duración del sismo.
 - Tiempos de espectro
 - Intensidad de Arias
 - Aceleración cuadrática media
- d) Influencia de la duración elegida del terremoto.
 - Espectro de respuesta
 - Corrección de la línea de aceleración cero en el acelerograma
 - Desplazamiento del suelo
 - Intensidad de Housner
- e) Funciones de autocorrelación.
- f) Digitalización del acelerograma. Influencia en los resultados.
- g) Conclusiones.

ESPECTROS DE RESPUESTA

De acuerdo al desarrollo presentado por Husid¹ se calcularon en forma exacta

los espectros de desplazamiento relativo, pseudo velocidad, velocidad relativa y aceleración absoluta para cada uno de los acelerogramas mencionados.

Debido al gran número de gráficos que incluye este trabajo, sólo se muestran los correspondientes a los espectros de aceleración absoluta. Se dio preferencia a este espectro por ser utilizado frecuentemente en análisis sísmico de estructuras.

El cálculo de estos espectros se hizo considerando el largo total del registro digitalizado. Para este efecto los acelerogramas se digitalizaron hasta un punto en el cual las aceleraciones eran francamente pequeñas, permitiendo esto procesar el terremoto con distintas duraciones y estudiar su influencia en los resultados.

Las ordenadas de los espectros se calcularon para los períodos comprendidos entre 0.1 y 3.0 seg, en los terremotos de E.U.A. y entre 0.1 y 4.75 seg en los terremotos japoneses.

Comúnmente el cálculo se hacía para 48 períodos, como mínimo, y una vez dibujados los resultados, se calculaban las ordenadas de los espectros para aquellos períodos en que la forma de al menos una curva, podría sufrir variaciones importantes.

Para conocer la influencia del amortiguamiento en la respuesta de la estructura, se calcularon los espectros para amortiguamientos 0.0, 0.02, 0.05, 0.10 y 0.20 del amortiguamiento crítico.

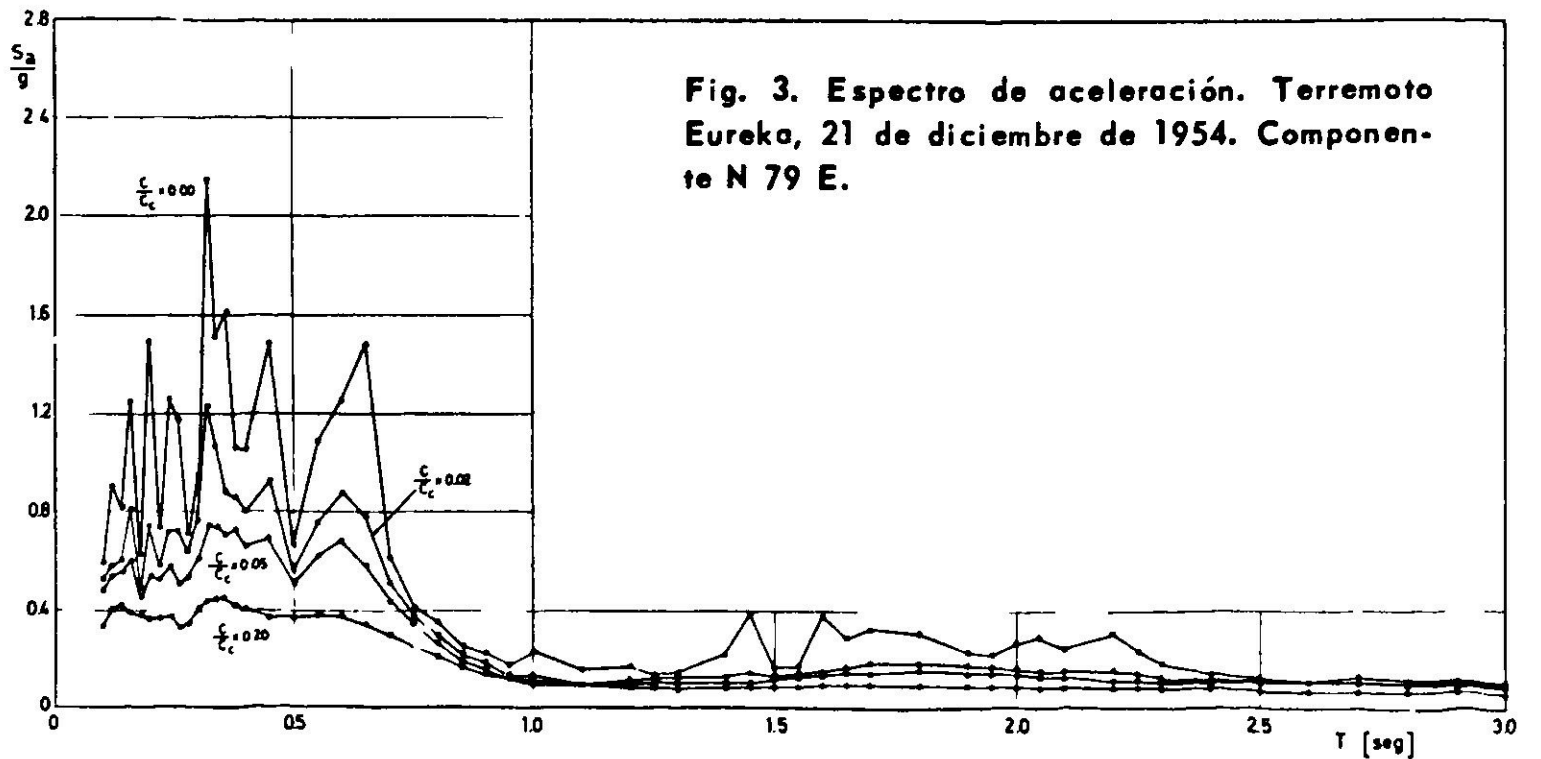
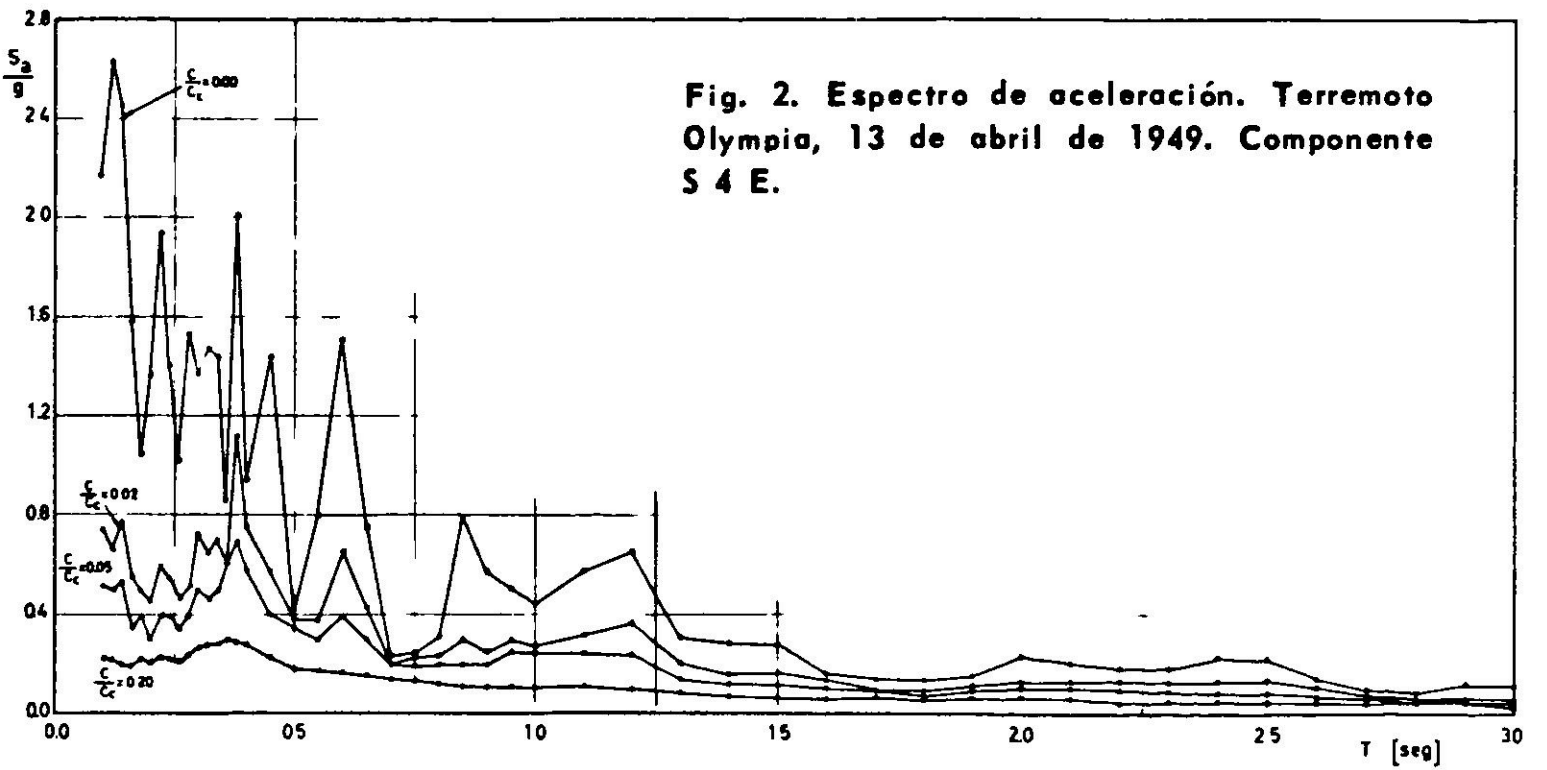
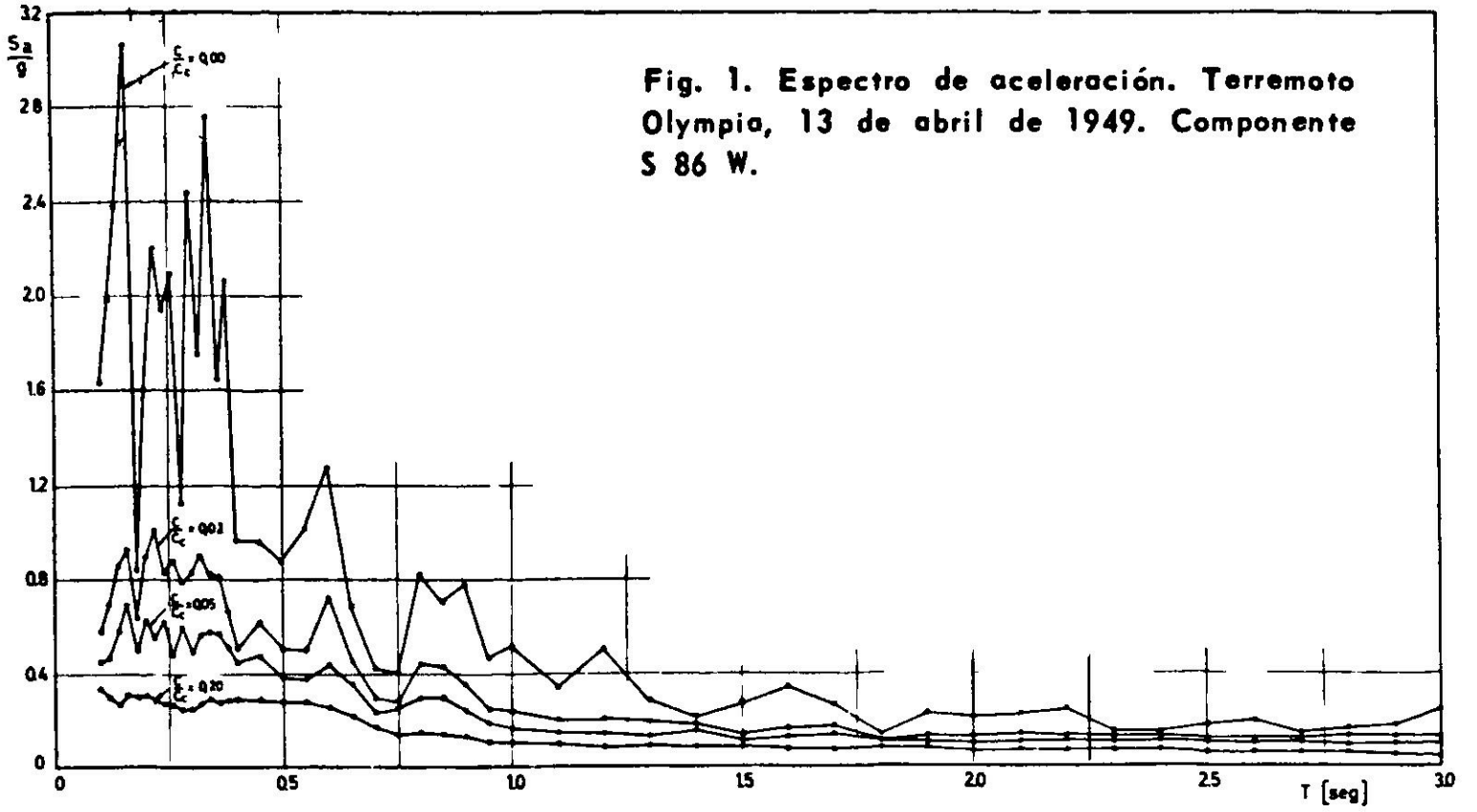
Por razones de espacio, en el dibujo se omitieron las curvas para amortiguamiento 0.10 del crítico en los gráficos correspondientes a terremotos norteamericanos.

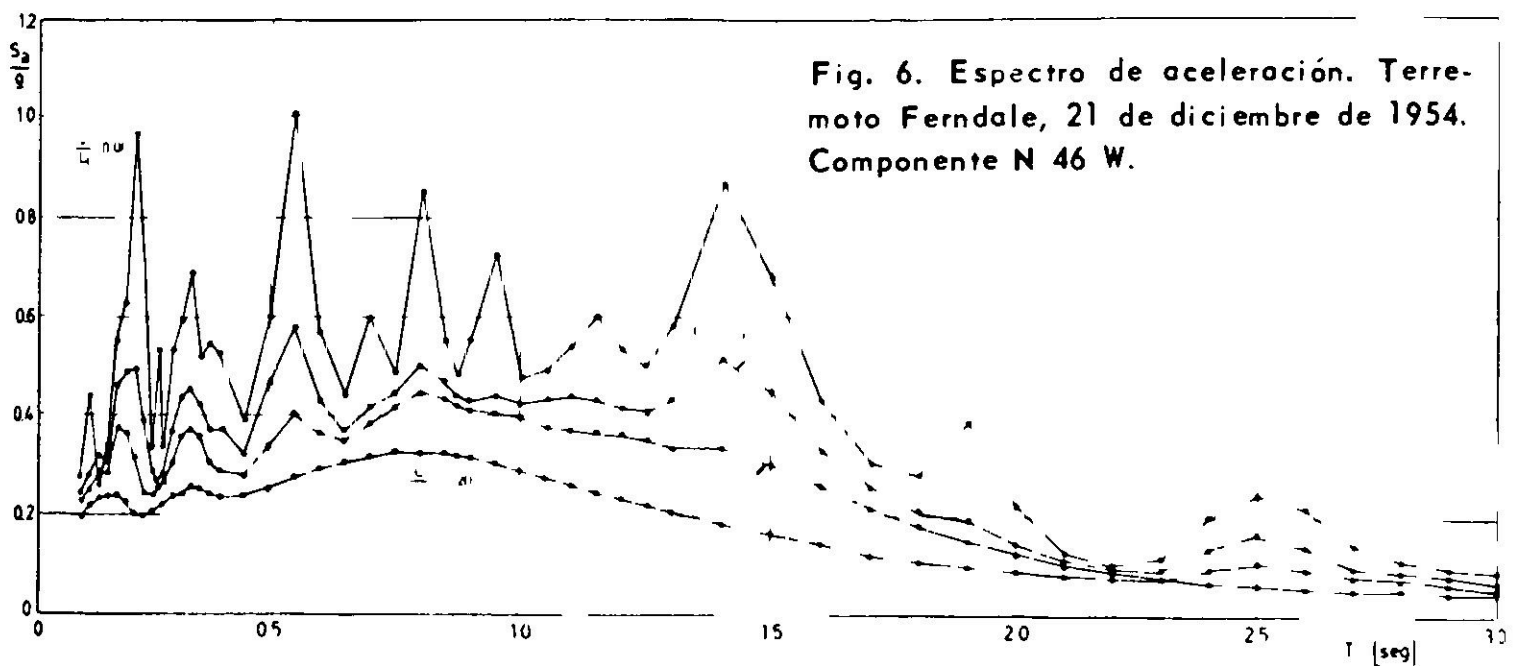
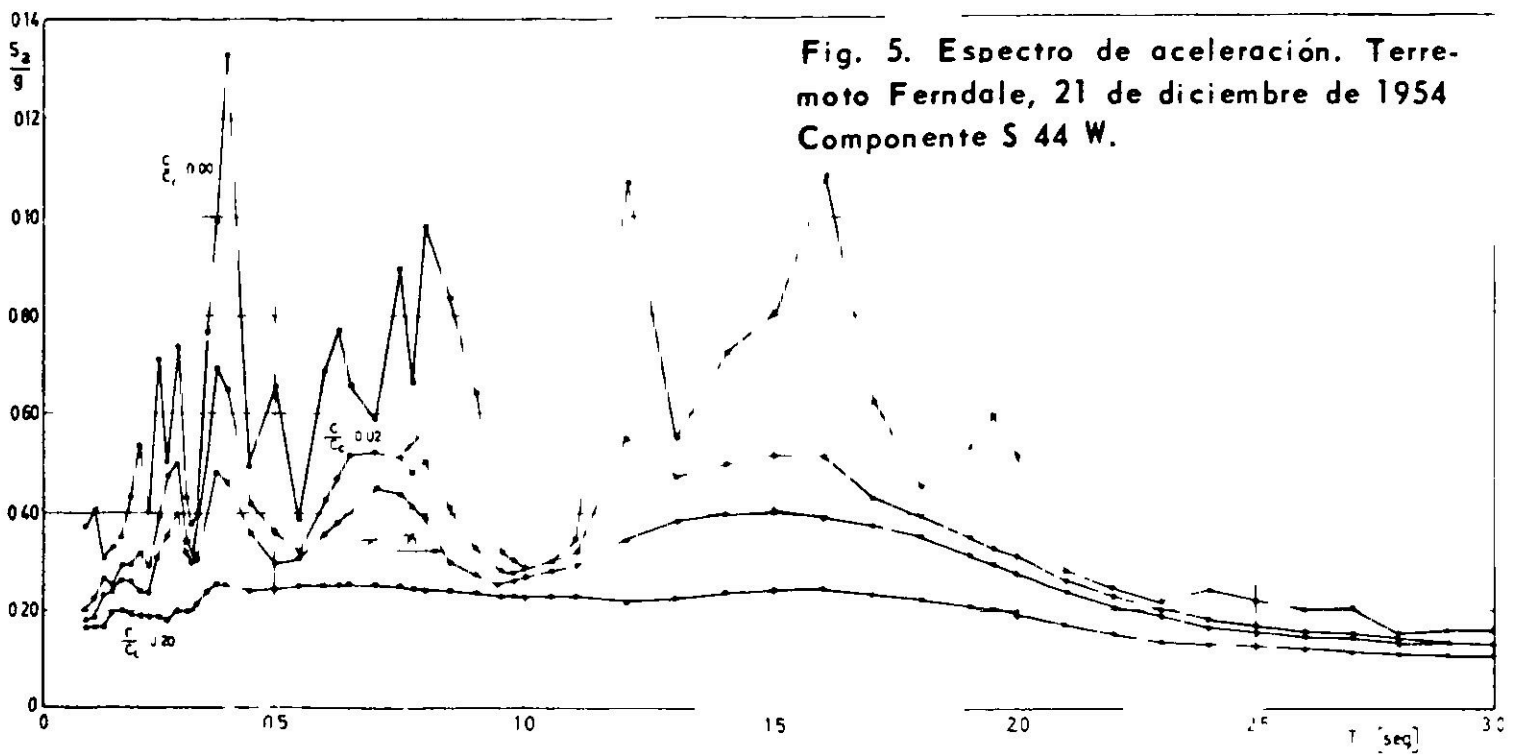
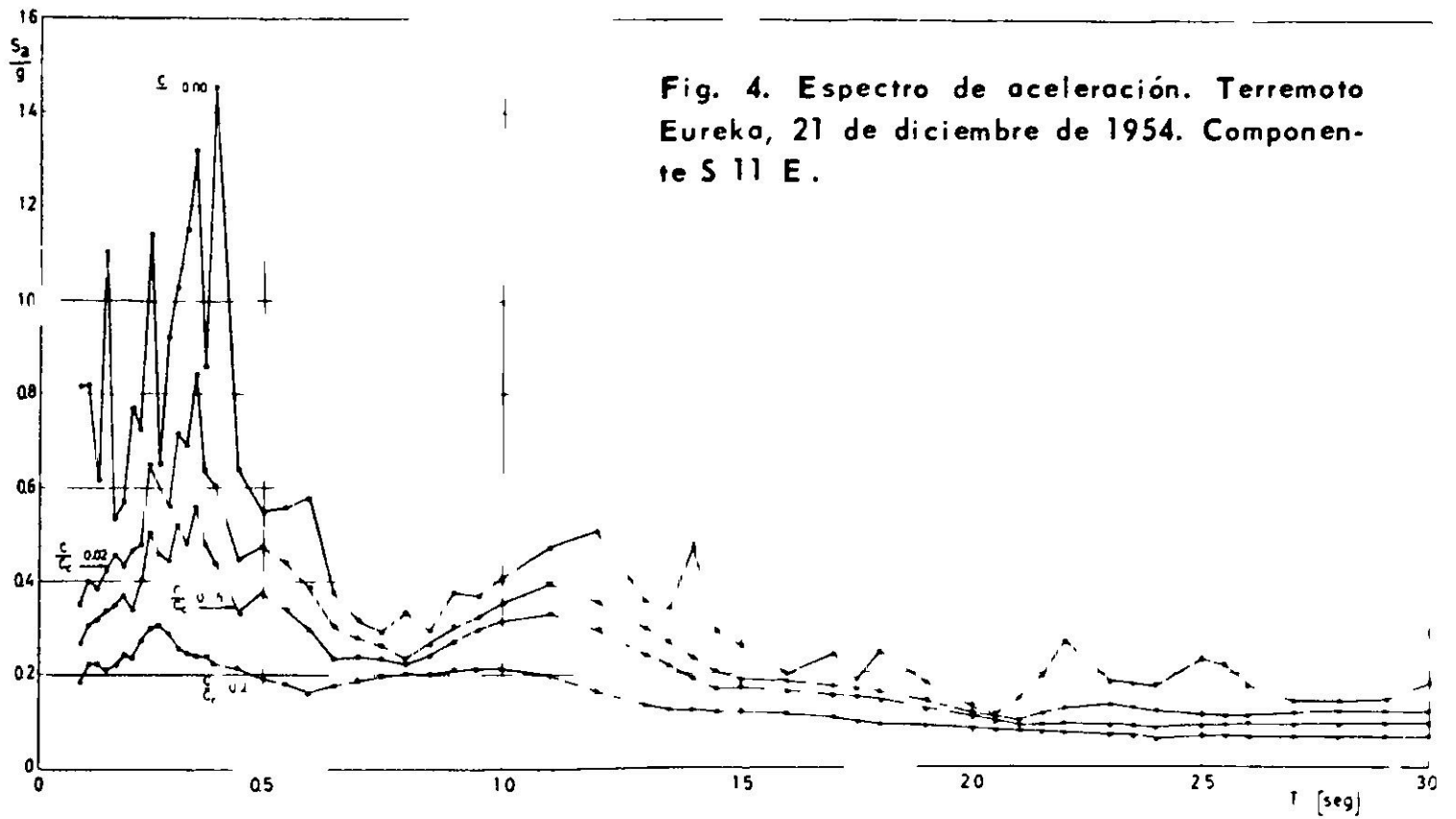
Los espectros de aceleración para todos los terremotos analizados aparecen en las Figs. 1 a 10. En los gráficos de los terremotos japoneses, el número que acompaña al símbolo de la componente, corresponde a la numeración de los acelerógrafos en el Japón.

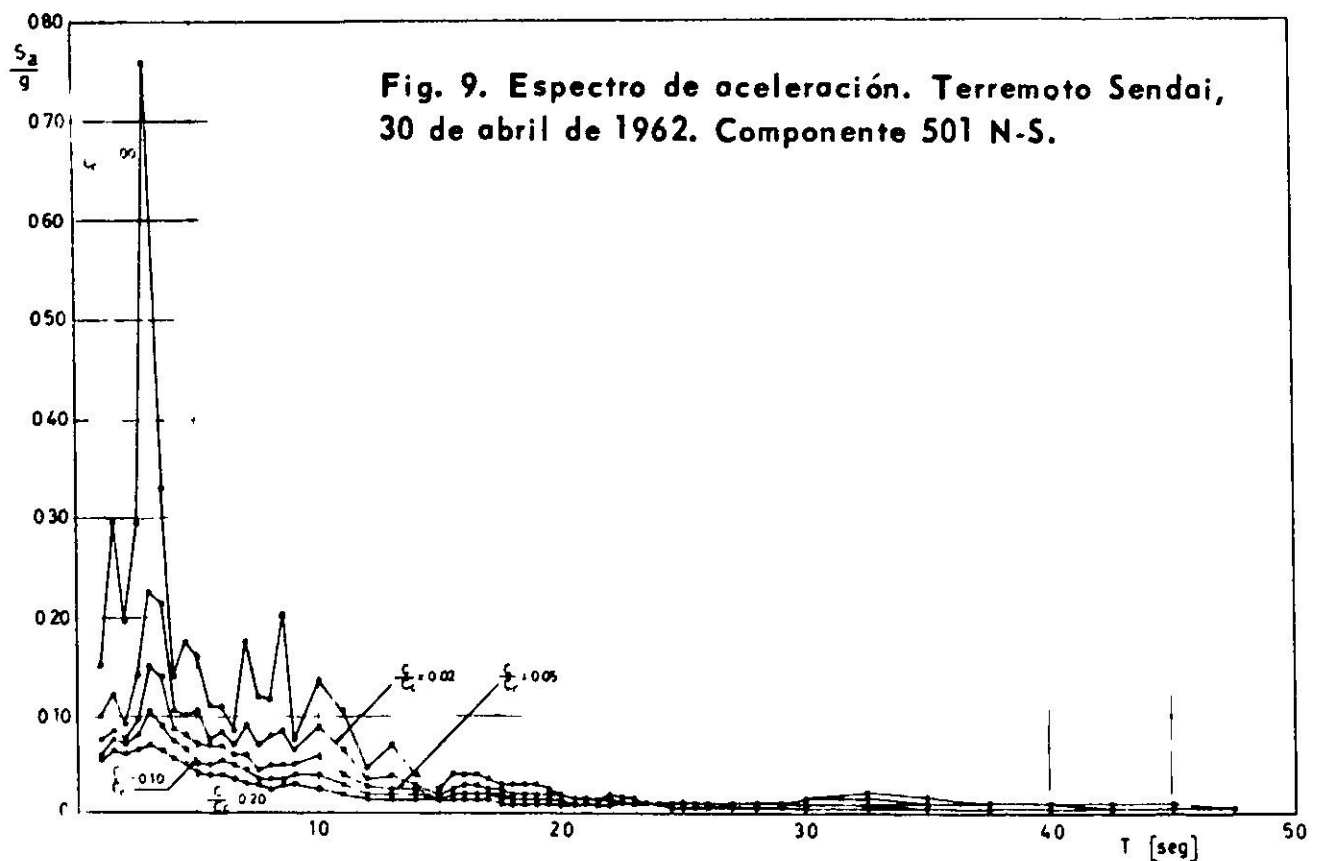
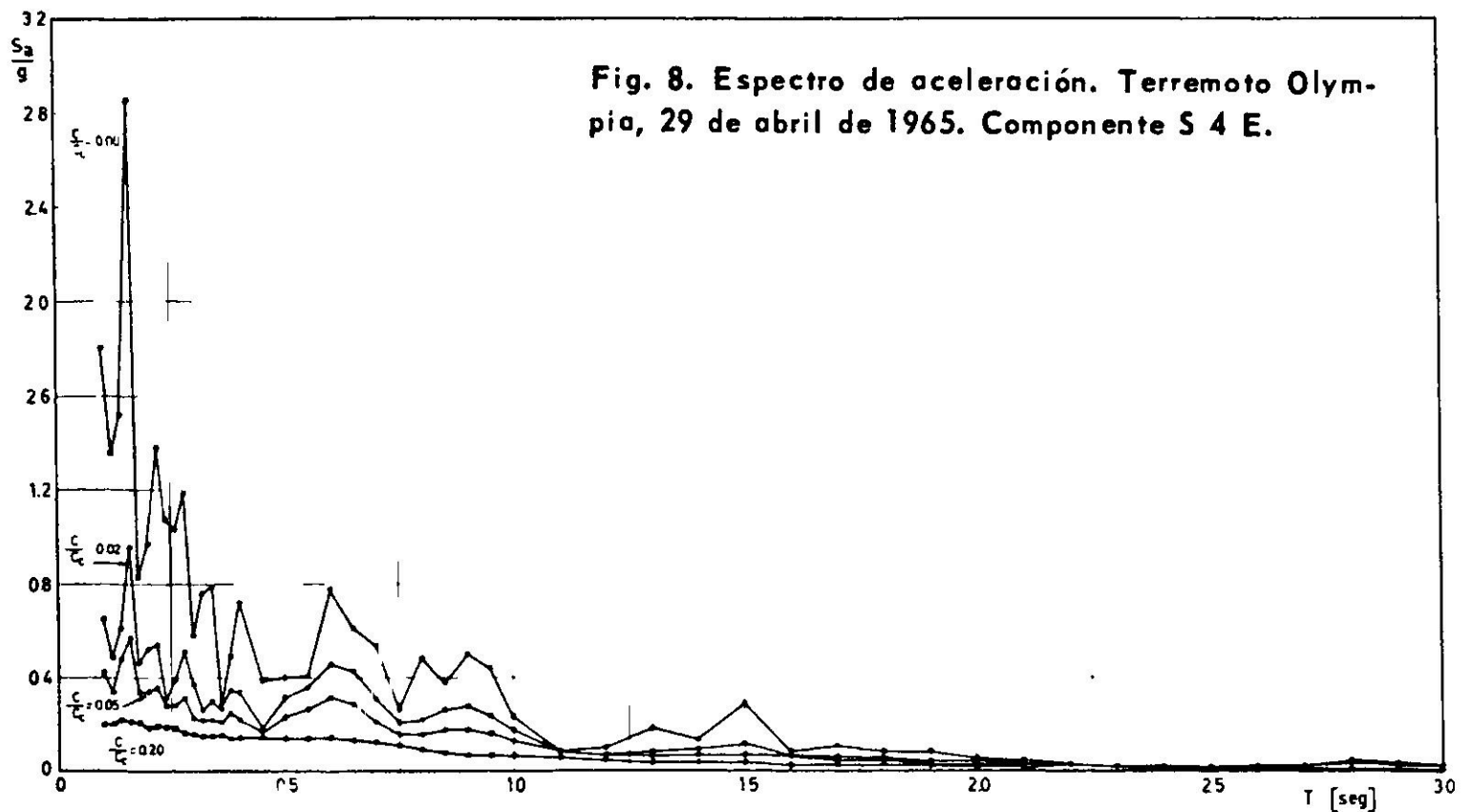
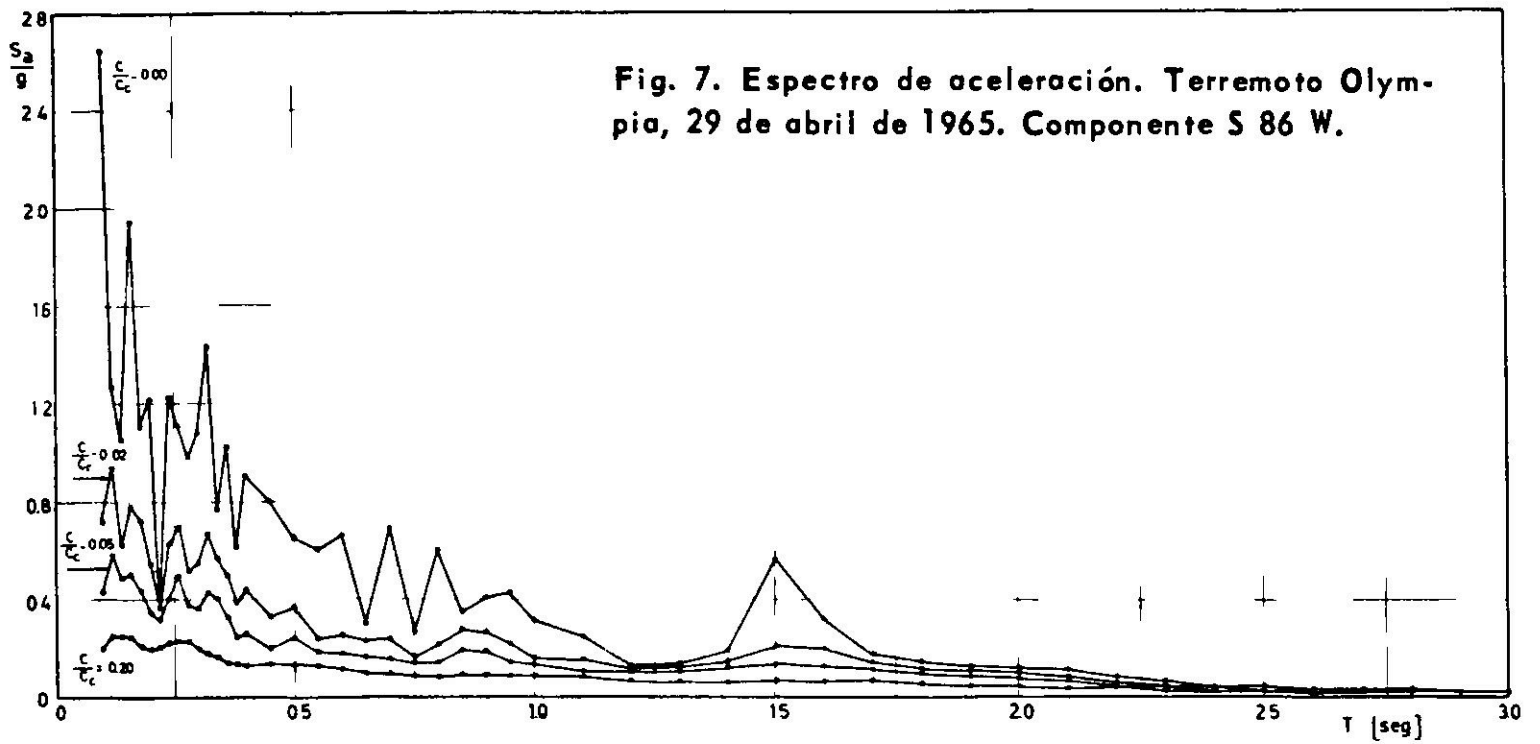
De los terremotos que se presentan en este trabajo, todos los espectros correspondientes a los acelerogramas del sismo de Olympia del 13 de abril de 1949 habían sido publicados anteriormente por Housner et al³. Se observa que las figuras nº 1 y 2 son bastante parecidas a las publicadas por Housner en cuanto a forma, pero con diferencia en el valor de las ordenadas hasta 40%, debiéndose notar que los espectros de Housner tienen ordenadas mayores.

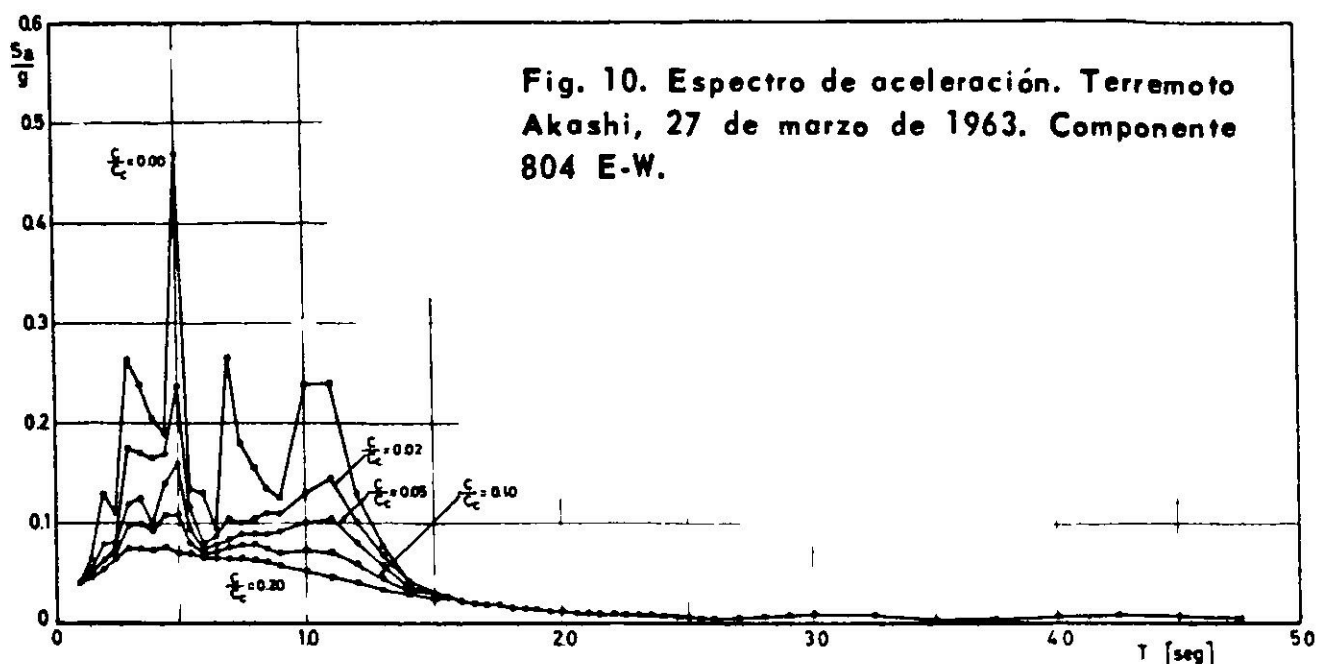
Estas diferencias y otras observadas en el análisis del resto de los terremotos pueden atribuirse a varias razones:

1. Los espectros publicados por Housner et al³ fueron obtenidos sin corregir la línea base y utilizando un computador análogo.
2. Tanto el comienzo del registro para algunos casos como el término del ace-









lerograma para casi todos los casos es distinto al considerado por los autores.

3. Brady⁴ encontró que un mismo acelerograma digitalizado por varias personas conduce a espectros de respuesta que difieren hasta en un 20%.

INTENSIDAD ESPECTRAL DE HOUSNER

Con el propósito de conocer la severidad relativa de diferentes terremotos, Housner propone el uso de la intensidad definida por él para un grado de amortiguamiento determinado. Utilizando la definición dada por Husid¹ se calculó la intensidad de Housner para diferentes grados de amortiguamiento y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla II.

A fin de comparar los resultados obtenidos con los que aparecen en publicaciones extranjeras, los valores de la Intensidad de Housner se han expresado en pies. Se puede observar en la Tabla II que los valores de I_H varían fuertemente con el grado de amortiguación viscosa considerado.

TABLA II

INTENSIDAD DE HOUSNER DE VARIOS TERREMOTOS

Terr. nº	t_f [seg]	INTENSIDADES DE HOUSNER [pies]				
		$c=0.0 c_c$	$c=0.02 c_c$	$c=0.05 c_c$	$c=0.10 c_c$	$c=0.20 c_c$
3	50.2	5.22	3.03	2.25	1.67	1.13
4	50.7	5.57	3.22	2.51	1.93	1.35
5	51.5	2.48	1.48	1.09	0.84	0.58
6	51.1	3.60	2.19	1.67	1.26	0.87
31	40.2	4.89	3.22	2.64	2.19	1.64
32	39.9	4.60	3.32	2.74	2.22	1.67
45	40.1	8.18	5.60	4.67	3.83	2.90
46	35.2	6.05	4.31	3.48	2.83	2.13

La comparación de los valores de intensidad de Housner con los publicados por otros autores muestran algunas discrepancias importantes en algunos casos⁵.

Estas discrepancias pueden atribuirse a tres razones principales:

- Diferente digitalización del acelerograma.
- Diferente duración del registro utilizado en el cálculo de los espectros.
- Distinto número y distribución de los períodos para los cuales se determinaron las ordenadas del espectro, especialmente cuando se consideran amortiguamientos pequeños.

Los factores enumerados pueden ser responsables de variaciones apreciables en los espectros de pseudo velocidad y en consecuencia podrían esperarse diferencias importantes en los valores de I_H definida a base de dichos espectros.

DETERMINACION DE LA DURACION DEL SISMO

Al calcular los espectros de respuesta se determinó además el tiempo para el cual ocurría cada una de las ordenadas del espectro. A este tiempo se le designará tiempo de espectro.

Estudiando la distribución de estos tiempos de espectro, a través de todos los terremotos analizados, se vio claramente que para valores pequeños del grado de amortiguamiento, los tiempos de espectro de desplazamiento relativo, pseudo velocidad, velocidad relativa, y aceleración absoluta, se producían generalmente cerca del término del registro. Para el caso especial de amortiguamiento nulo, los tiempos de espectro se producían aun después del término del registro, cuando la estructura de un grado de libertad vibraba libremente, es decir, cuando la aceleración del suelo se suponía idénticamente nula.

Los resultados obtenidos indican que para amortiguamientos del tipo considerado o mayores, una parte bien definida del registro digitalizado, determina la casi totalidad de los tiempos de espectro. Esto hace ver que es posible elegir un largo de registro tal, que dentro de éste se produzcan los máximos valores de la respuesta, y que no se puede tomar una duración arbitraria del acelerograma cuando se estudia la respuesta de estructuras a terremotos, sin correr el riesgo de obtener resultados muy alejados de los verdaderos!

Esto es de importancia, como también de actualidad si se considera que hasta la fecha en que se terminó este trabajo no existía en la literatura especializada criterio alguno para decidir la duración del registro a digitalizar y además por ser corriente en el extranjero la utilización de los primeros 4 o 5

segundos del terremoto al estudiar la respuesta de estructuras complejas sometidas a sismo.

Es claro que si se dispone de los tiempos de espectro, para un grado de amortiguamiento determinado, se puede decidir con bastante propiedad el largo mínimo del terremoto que es posible considerar, sin introducir errores importantes en la respuesta. Para ello bastaría elegir una duración de sismo superior al máximo tiempo de espectro para el grado de amortiguamiento considerado.

Sin embargo, este método no reduce los cálculos, ya que para conocer los tiempos de espectro, es necesario calcular todas las ordenadas de los espectros de respuesta para la digitalización completa del acelerograma.

Para determinar la parte importante del acelerograma antes de calcular los espectros, conviene analizar algunas características de las aceleraciones del suelo. Con este objeto se calcularon la intensidad de Arias y la aceleración cuadrática media en función del tiempo, para cada acelerograma de acuerdo a lo expuesto por Husid¹.

La intensidad de Arias tal como fue definida, supone conocida la duración del temblor. Los valores de dicha intensidad calculados por Lange¹¹ corresponden a una duración del temblor elegida arbitrariamente partiendo de la base que la función no variaba considerablemente con el tiempo.

En la Tabla III se presentan las intensidades de Arias para todos los terremotos enumerados en Tabla I para distintas duraciones del registro. Esta tabla confirma plenamente la importancia que debe darse a la elección de la duración del acelerograma cuyos espectros de respuesta se desea determinar.

En las Figs. 11 a 20 se dibujaron la intensidad de Arias y la aceleración cuadrática media en función del tiempo para todo el acelerograma digitalizado.

La inspección de los gráficos de la intensidad de Arias muestra claramente la fuerte variación de la función con el tiempo y además se observa que en la mayoría de los casos, a partir de un cierto instante, tienden a hacerse independientes del tiempo. Recordando la definición de la intensidad de Arias, lo anterior indica que el terremoto se hace más débil y la tendencia de la función a la horizontal puede tomarse como un criterio para determinar la parte importante del sismo¹. Cortando el acelerograma en la zona donde la curva se hace paralela al eje de los tiempos se desearía la parte más débil del terremoto.

Análogamente la parte importante del registro queda reflejada en la curva de la aceleración cuadrática media en toda la zona antes del instante en que la función comienza a decrecer suavemente y sin alteraciones hasta el término del terremoto. De acuerdo a la definición de aceleración cuadrática media, cuando las aceleraciones del suelo durante el temblor se hacen muy débiles, la función tiende a una constante dividida por la raíz cuadrada del tiempo.

La aceleración cuadrática media en función del tiempo proporciona otro criterio simple que requiere cálculos análogos a los ejecutados para evaluar I_A , para decidir la duración mínima del sismo a considerar.

TABLA III

INTENSIDADES DE ARIAS DE VARIOS TERREMOTOS

Nº	$\frac{I_A}{g}$ [seg]			
	t = 10 seg	t = 20 seg	t = 30 seg	t = 40 seg
4	0.0430	0.1033	0.1107	0.1119
3	0.0321	0.0685	0.0752	0.0772
31	0.0622	0.0643	0.0654	0.0661
32	0.0314	0.0332	0.0343	0.0348
45	0.0356	0.0492	0.0529	0.0535
46	0.0266	0.0339	0.0374	----
6	0.0335	0.0449	0.0481	0.0488
5	0.0248	0.0341	0.0353	0.0361
90	0.00227	----	----	----
92	0.00223	0.00261	----	----

INFLUENCIA DE LA DURACION ELEGIDA DEL TERREMOTO

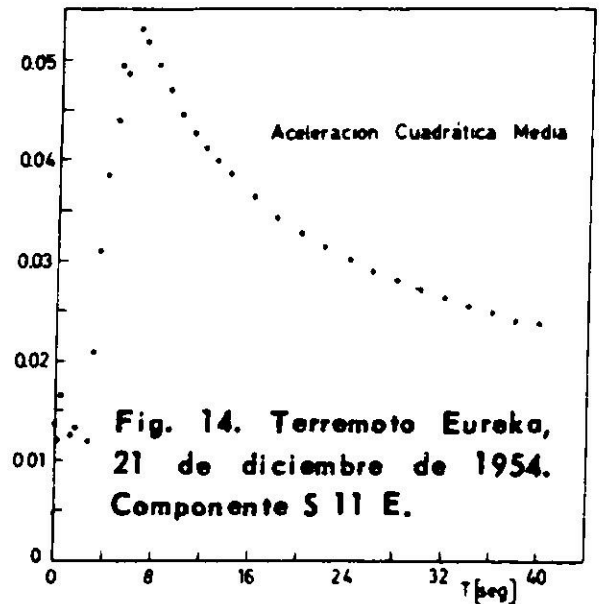
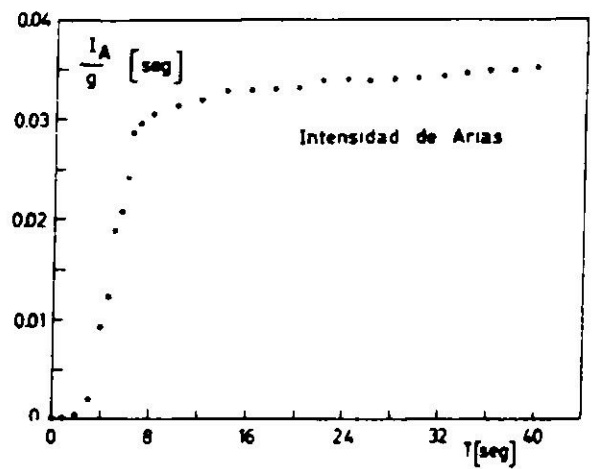
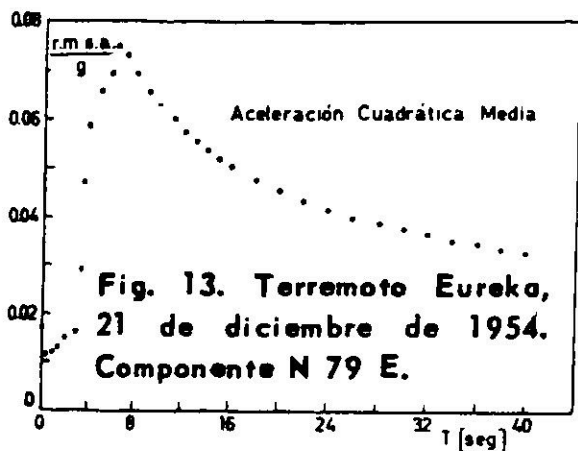
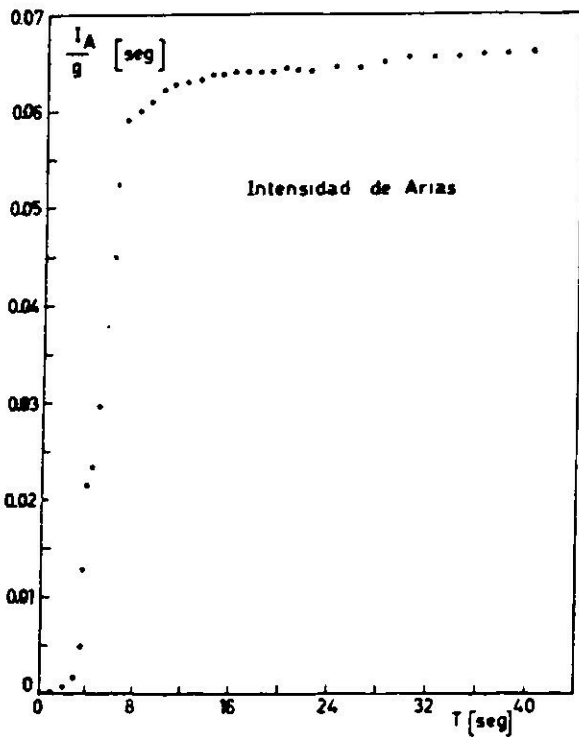
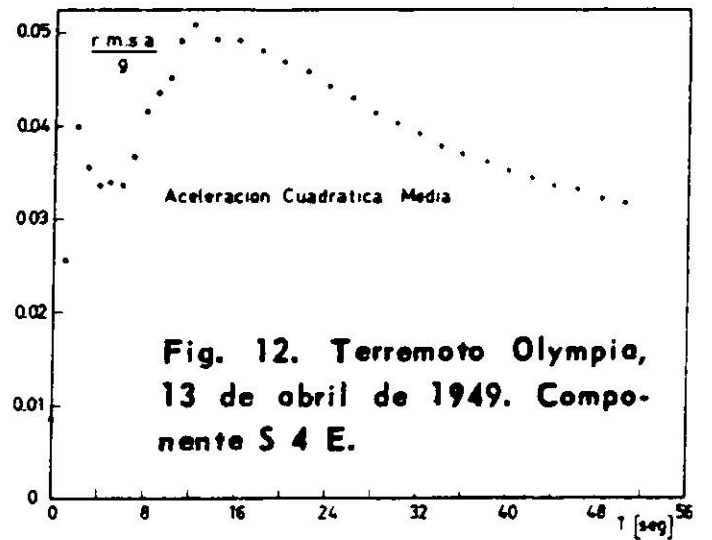
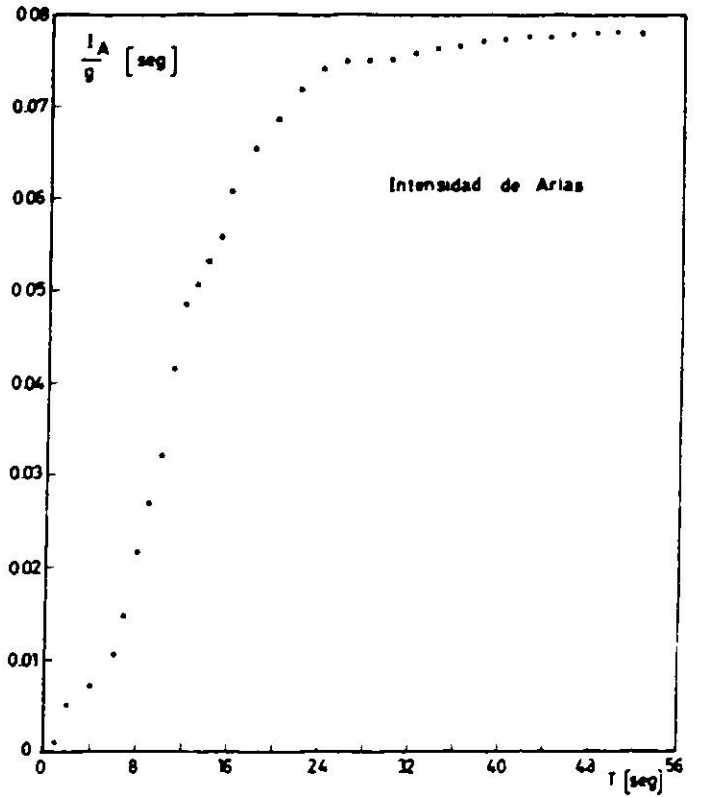
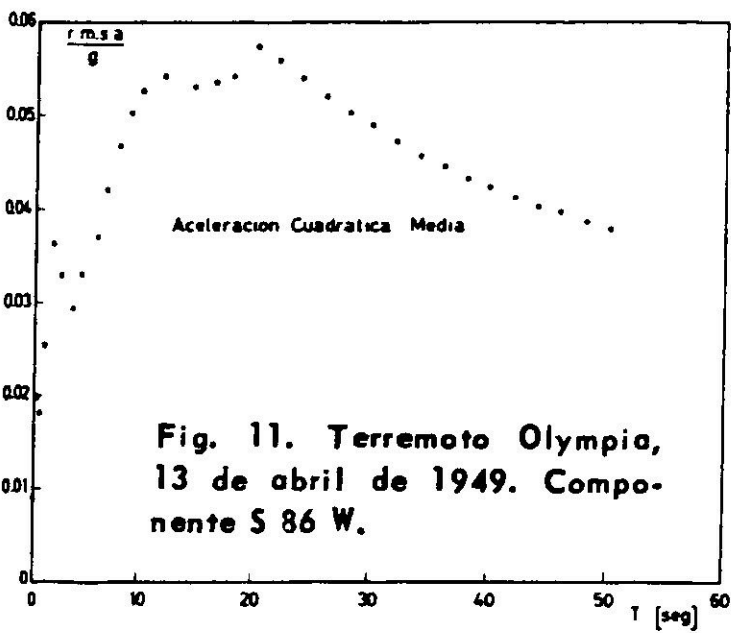
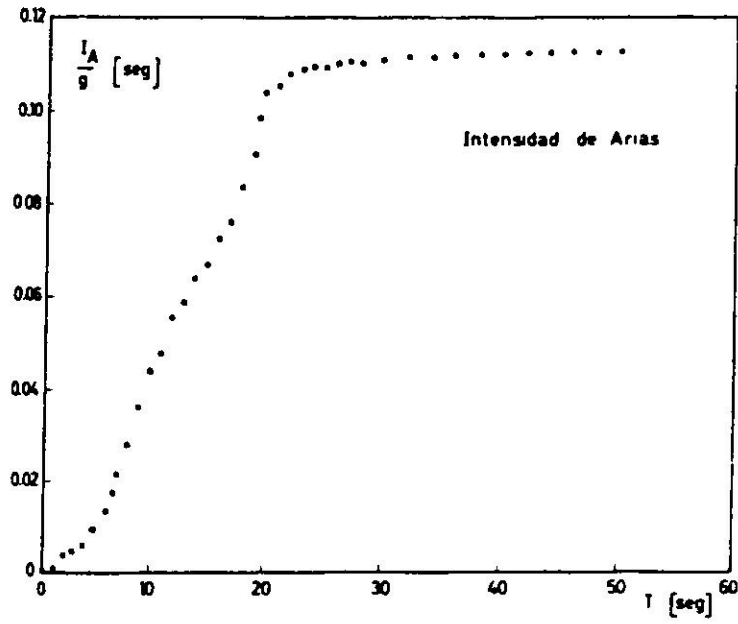
Espectros de respuesta

Se calcularon los espectros de respuesta de todos los terremotos analizados con diferente duración del registro, para poder conocer las diferencias que se producen, evaluar discrepancias y decidir si el criterio adoptado para hacer los cortes es conveniente.

Se dibujaron todos los espectros de aceleración absoluta para amortiguamiento nulo y también para aquellos grados de amortiguamiento mayores cuando se obtenían diferencias superiores al 15% entre las curvas correspondientes al largo total del registro, y aquellas para duraciones menores.

Los resultados de estas comparaciones, en que se han considerado dos o tres duraciones diferentes del registro, se presentan en las Figs. 21 a 32.

Considerando los mismos largos del registro que en los espectros de aceleración, se procesaron los espectros de velocidad relativa que no se han reproducido en esta publicación. Las variaciones para estos espectros resultan análogas a las observadas en los espectros de aceleración absoluta, siendo algo mayores las discrepancias encontradas para los espectros de velocidad.



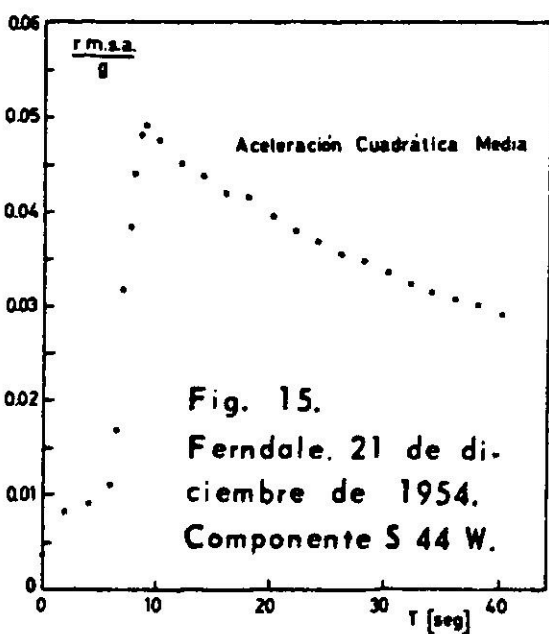
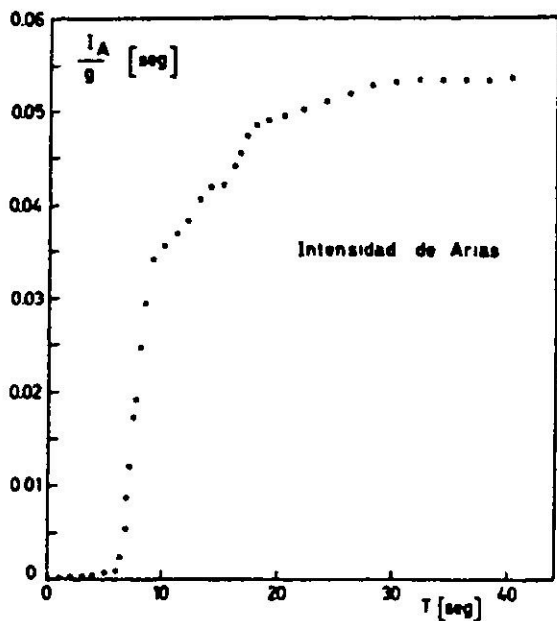


Fig. 15.
Ferndale, 21 de diciembre de 1954.
Componente S 44 W.

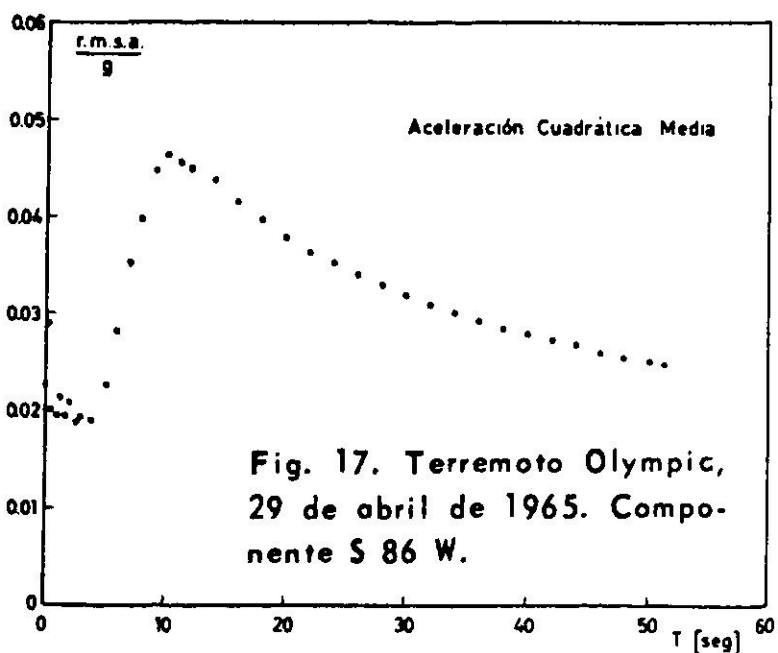
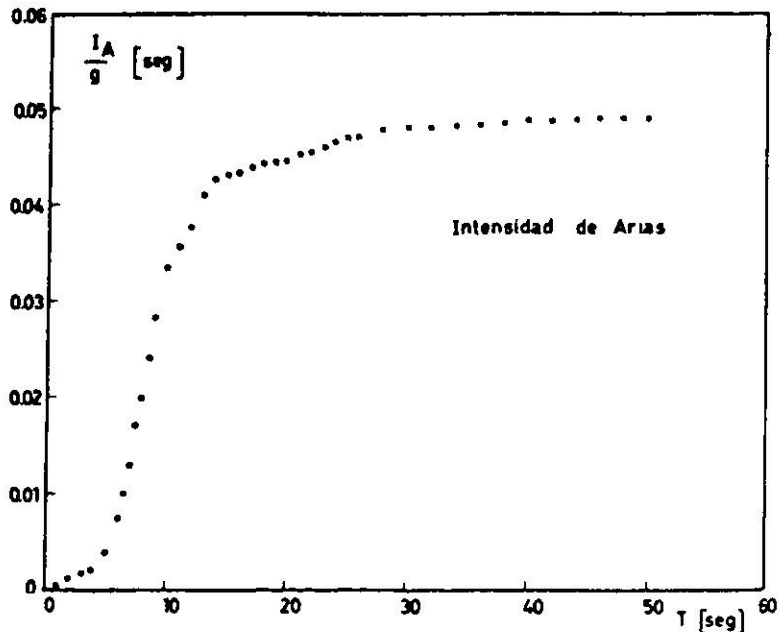


Fig. 17. Terremoto Olympic,
29 de abril de 1965. Componente S 86 W.

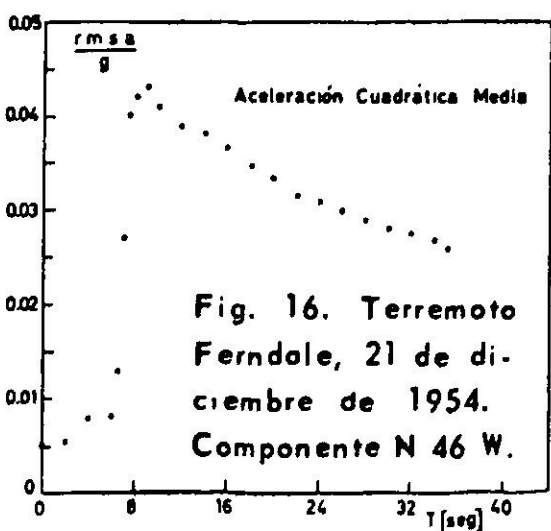
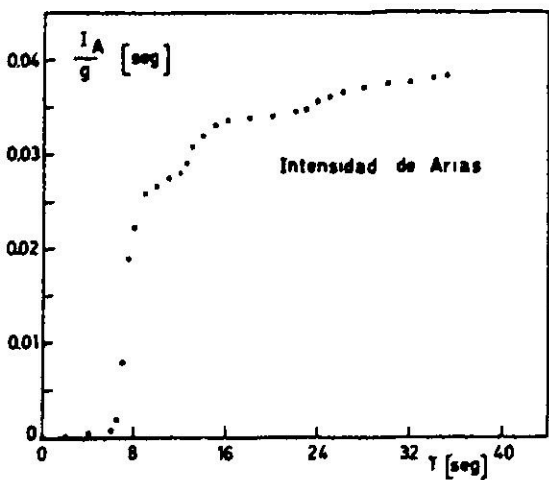


Fig. 16. Terremoto Ferndale, 21 de diciembre de 1954.
Componente N 46 W.

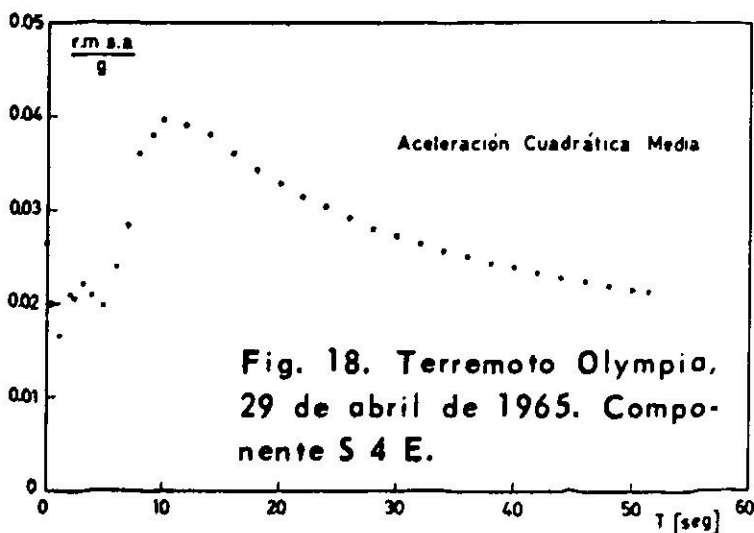
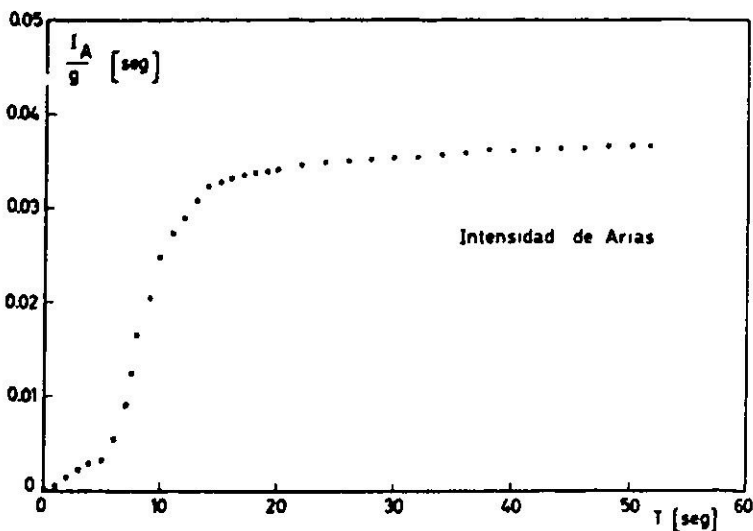
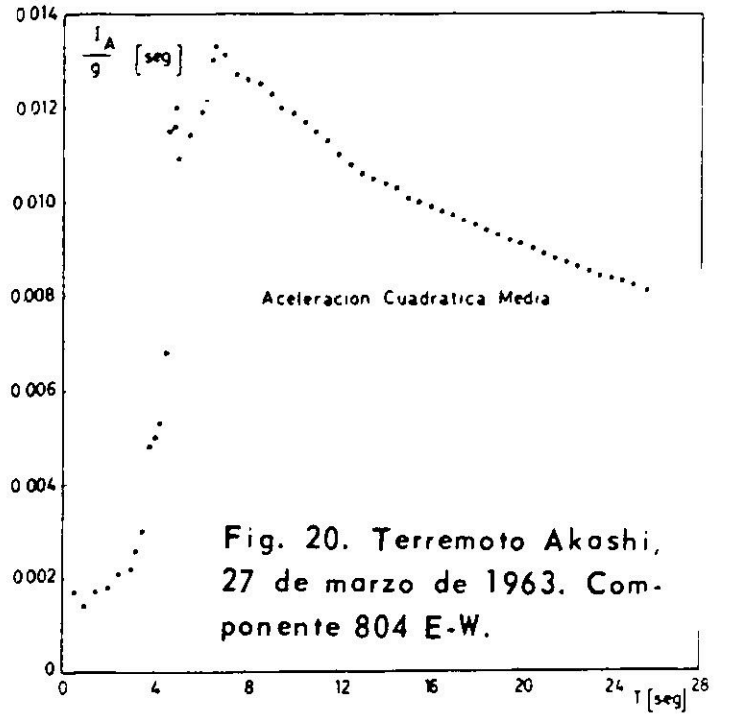
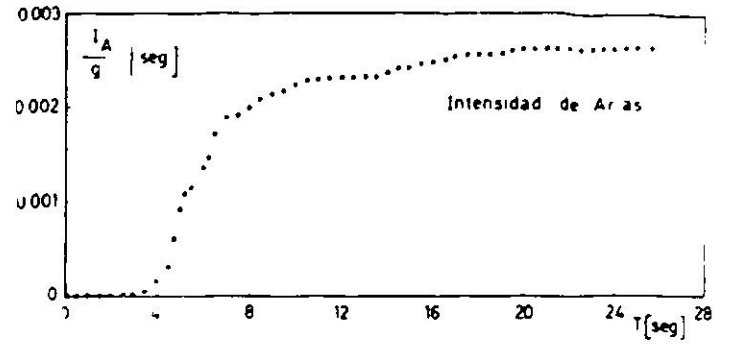
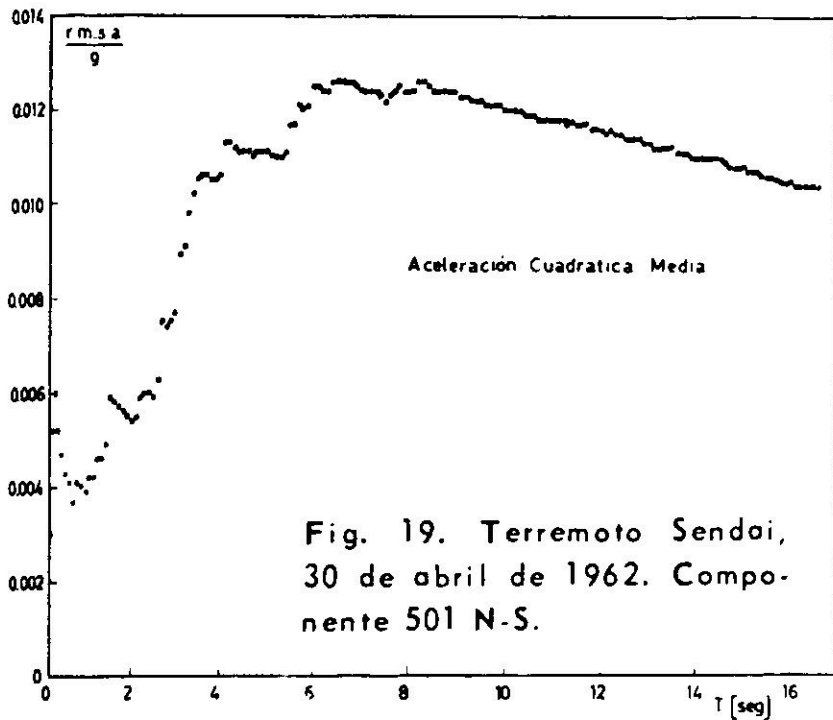
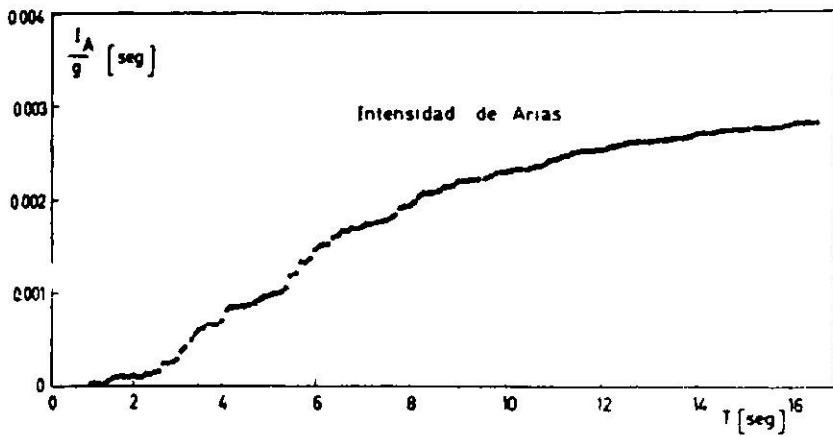


Fig. 18. Terremoto Olympia, 29 de abril de 1965.
Componente S 4 E.



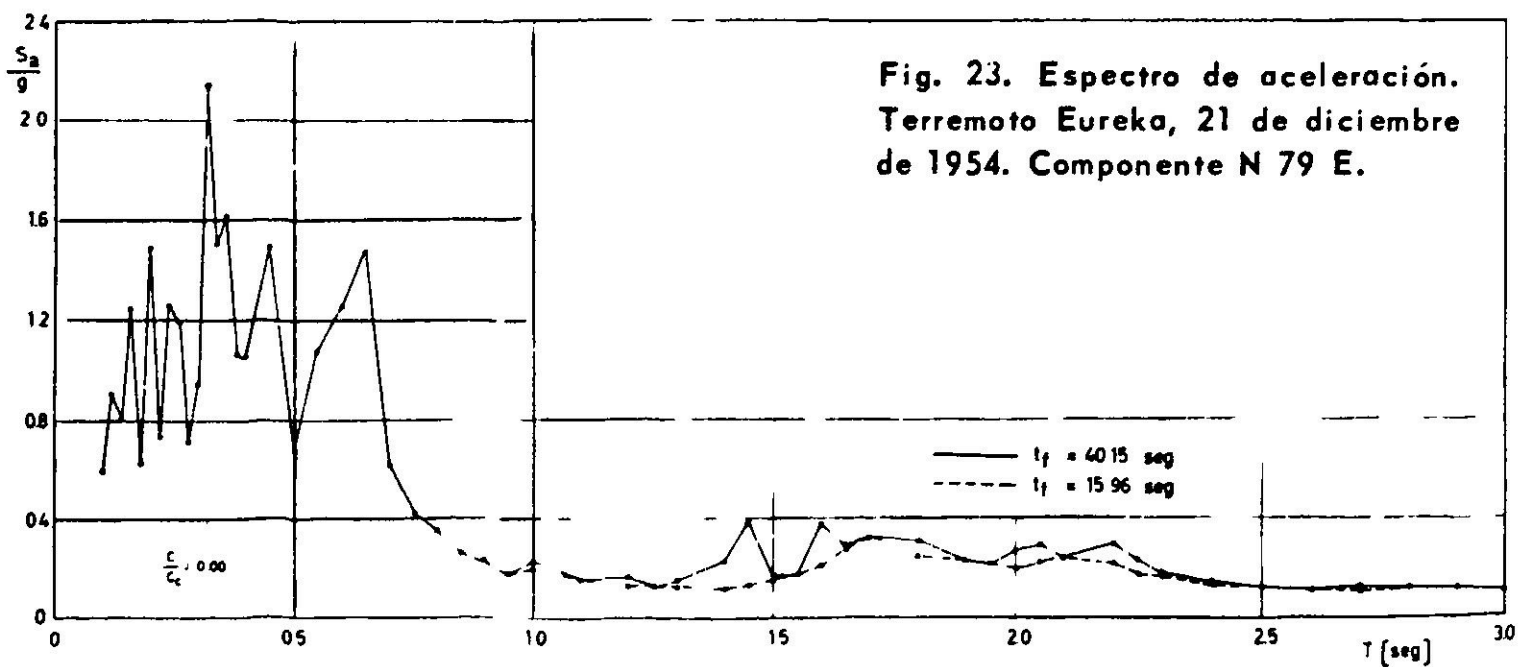
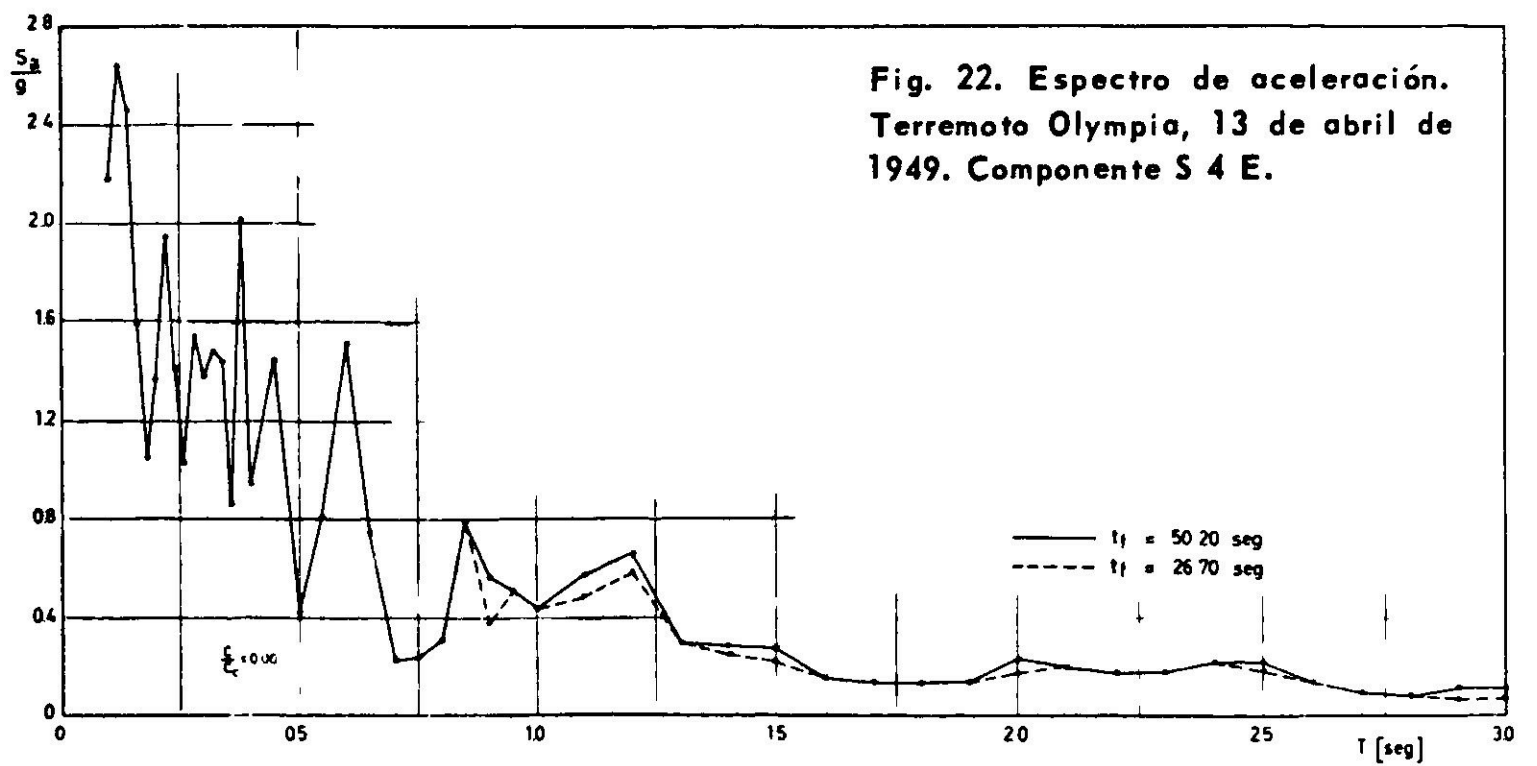
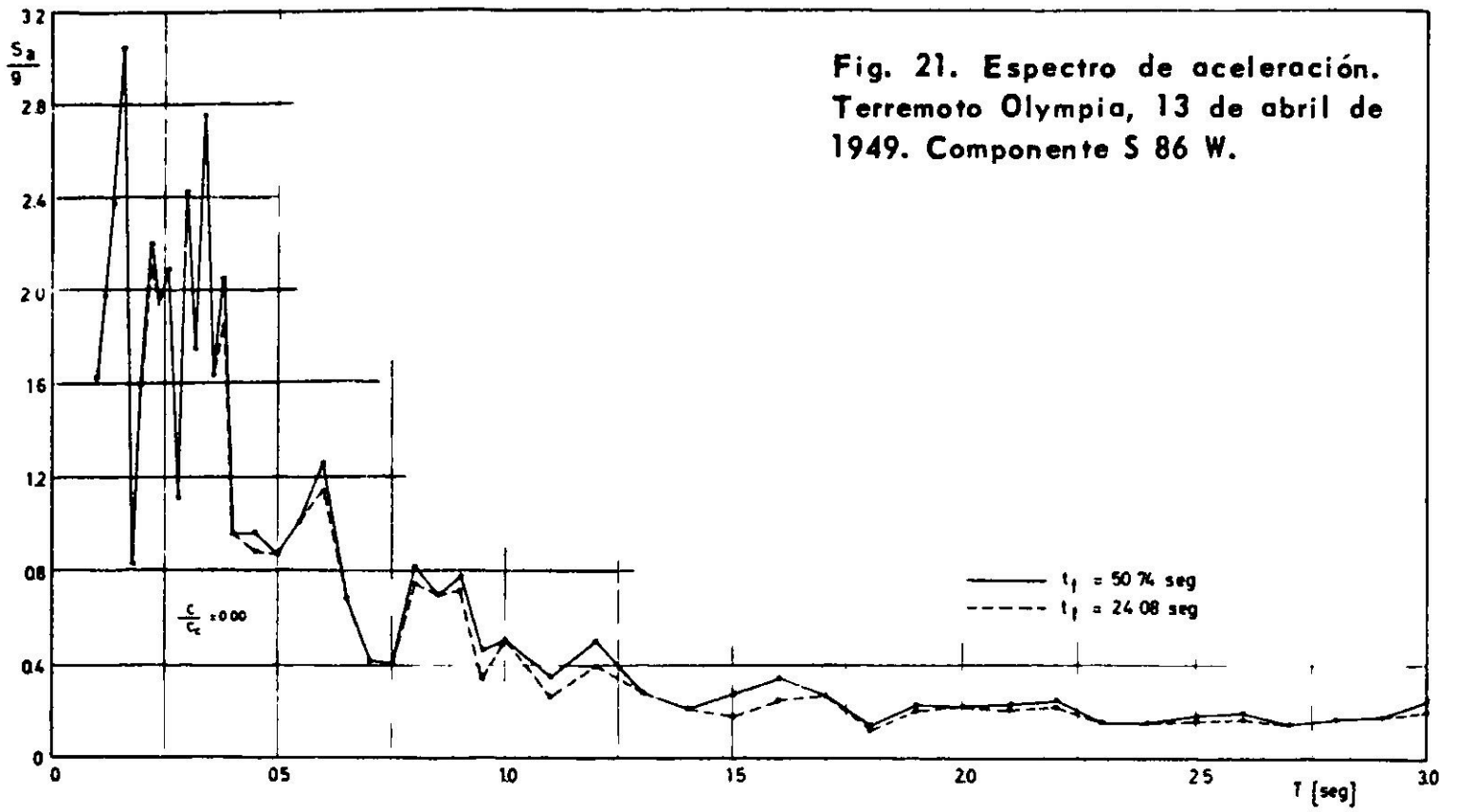
Dicho sea de paso, la mayor sensibilidad de estos espectros al limitar el largo del registro procesado, refuerza la idea de dar preferencia a los espectros de aceleración en los estudios de ingeniería antisísmica.

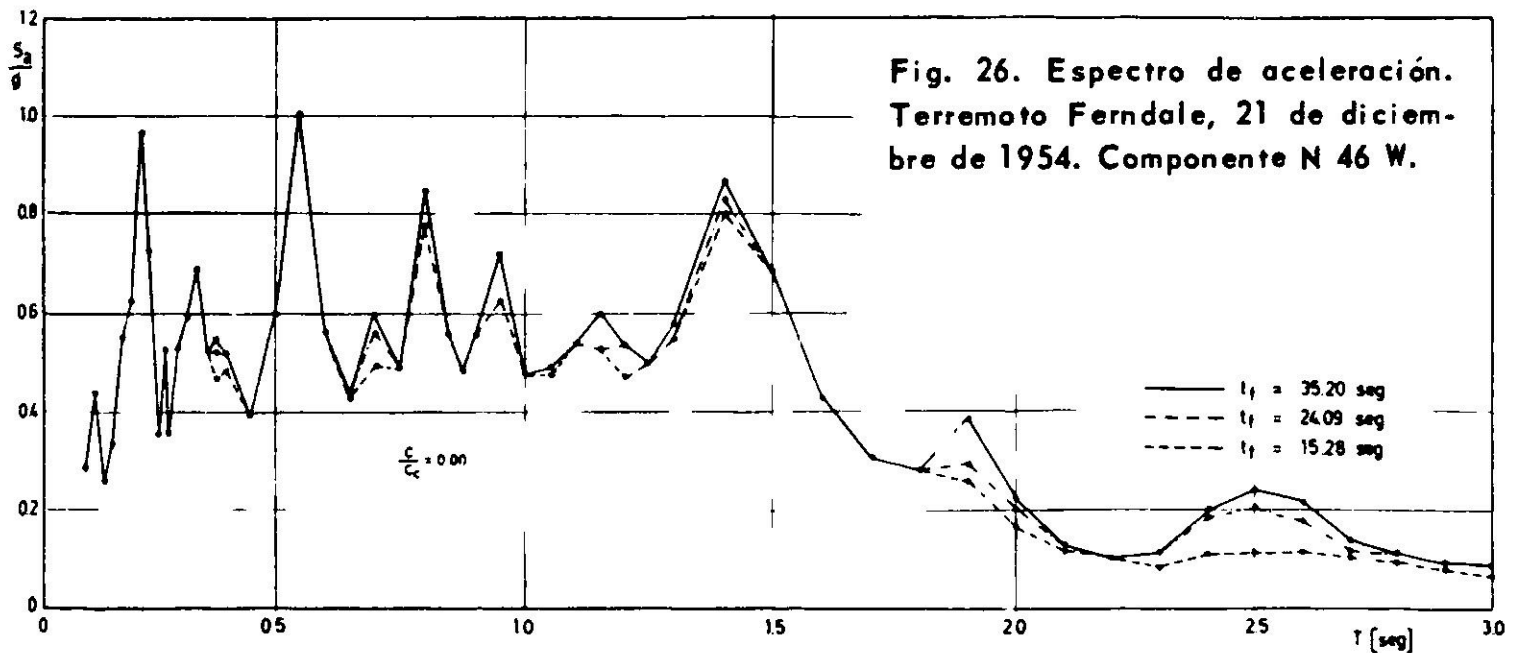
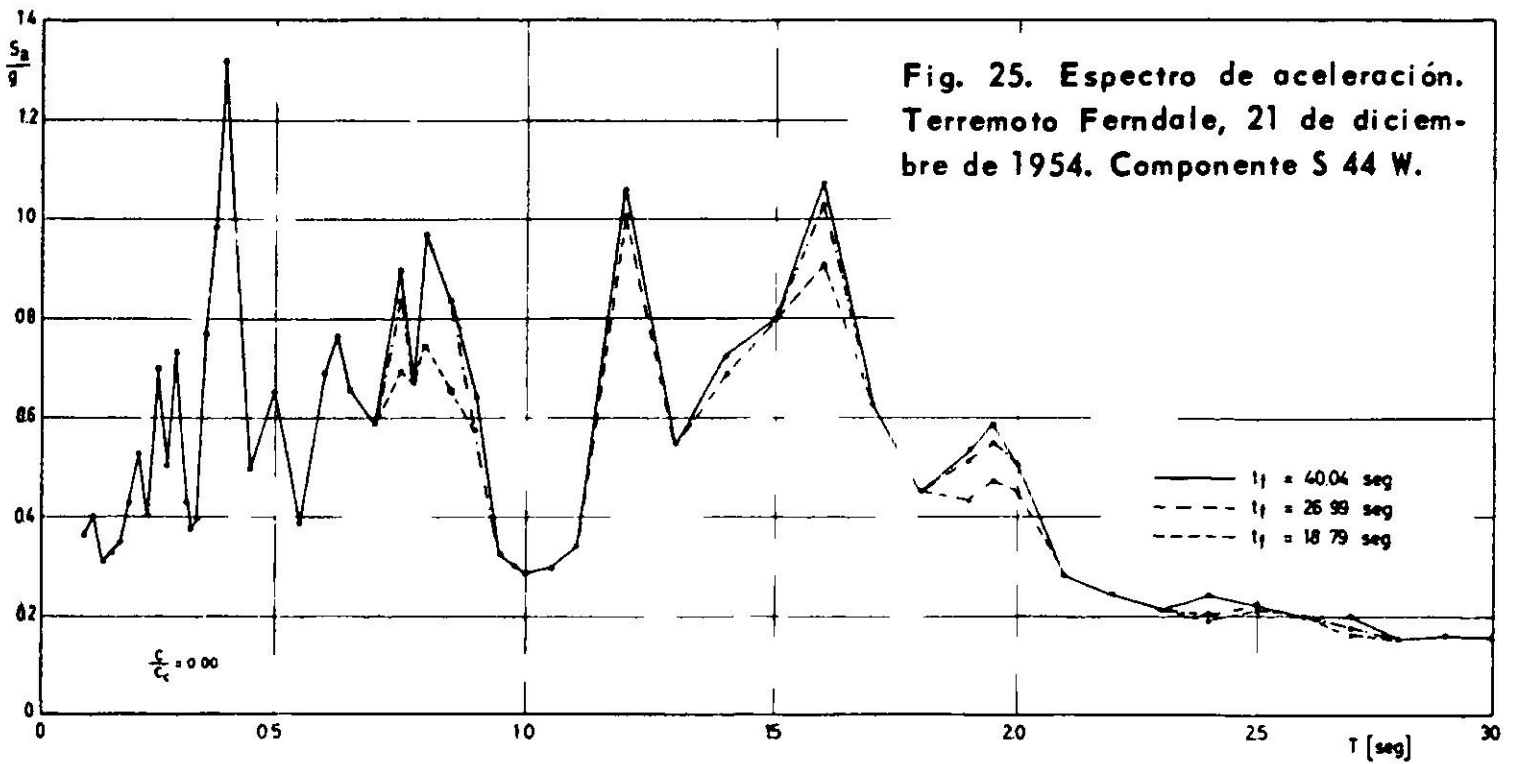
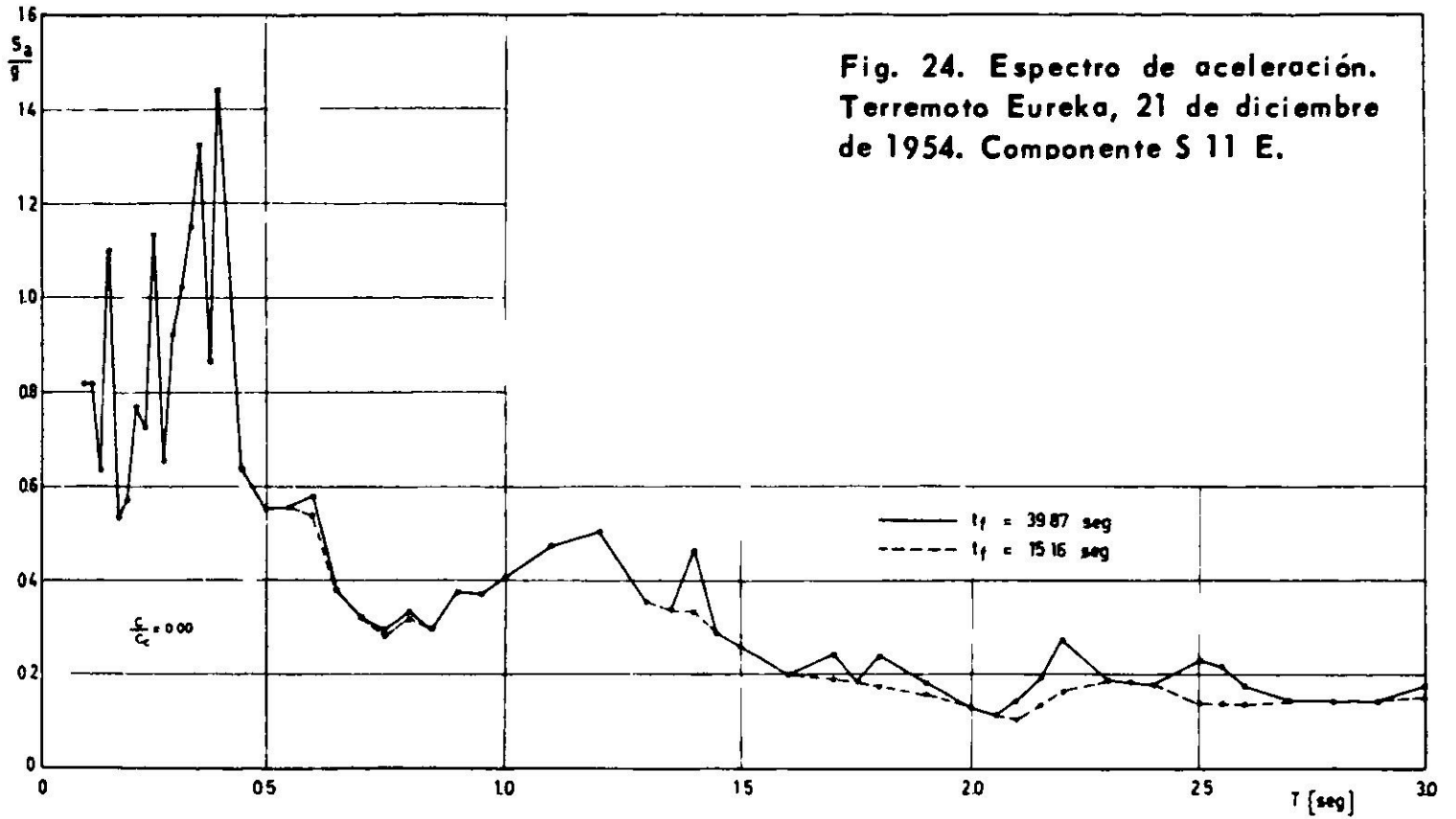
Los resultados obtenidos en las comparaciones hechas para ambos tipos de espectro, muestran que el criterio elegido es adecuado para decidir la duración mínima del acelerograma que debe procesarse. Se hace presente que en algunos casos, como el terremoto de Sendai, se efectuaron cortes aun cuando el criterio antes expuesto no los recomendaba, con el propósito de señalar los errores resultantes.

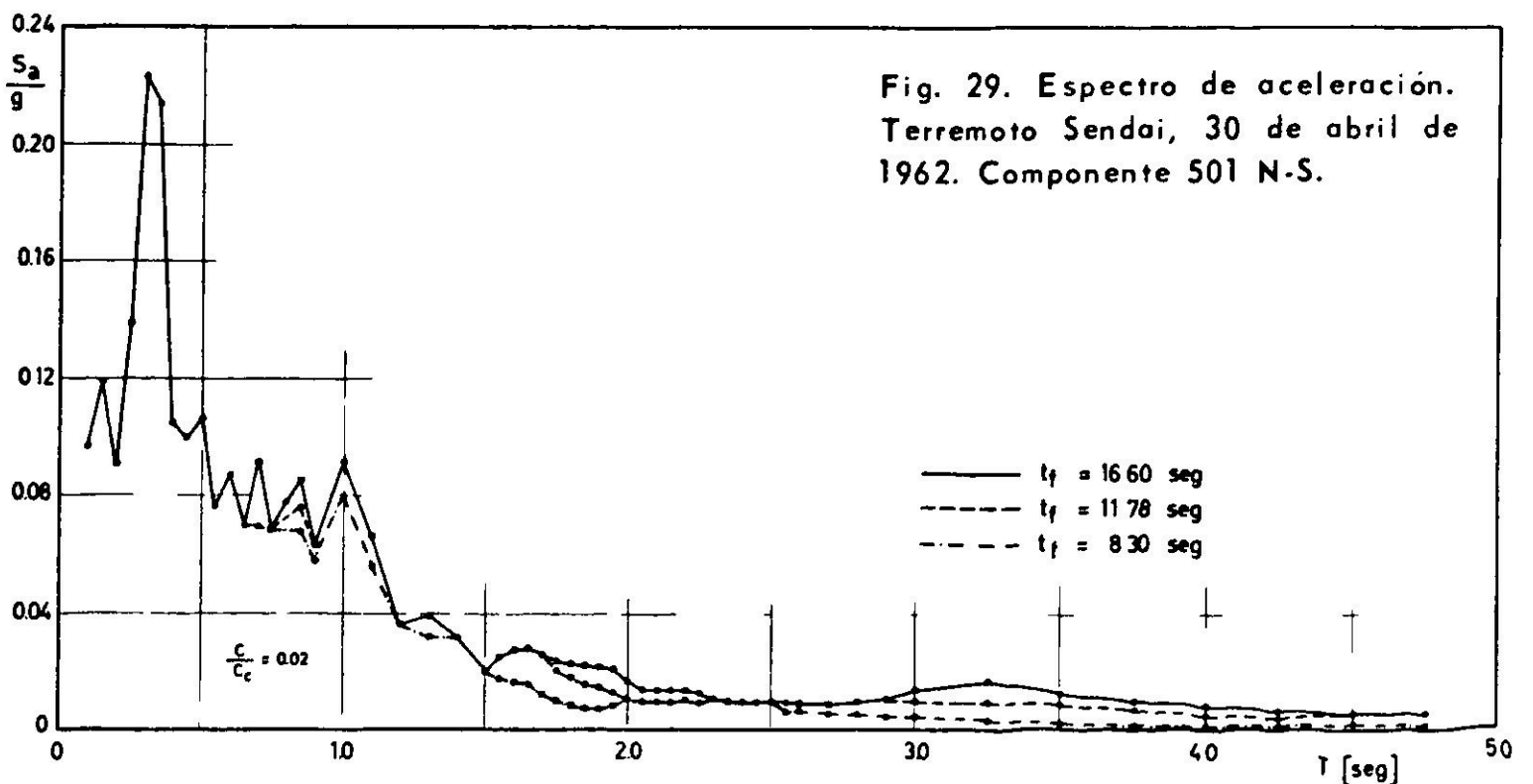
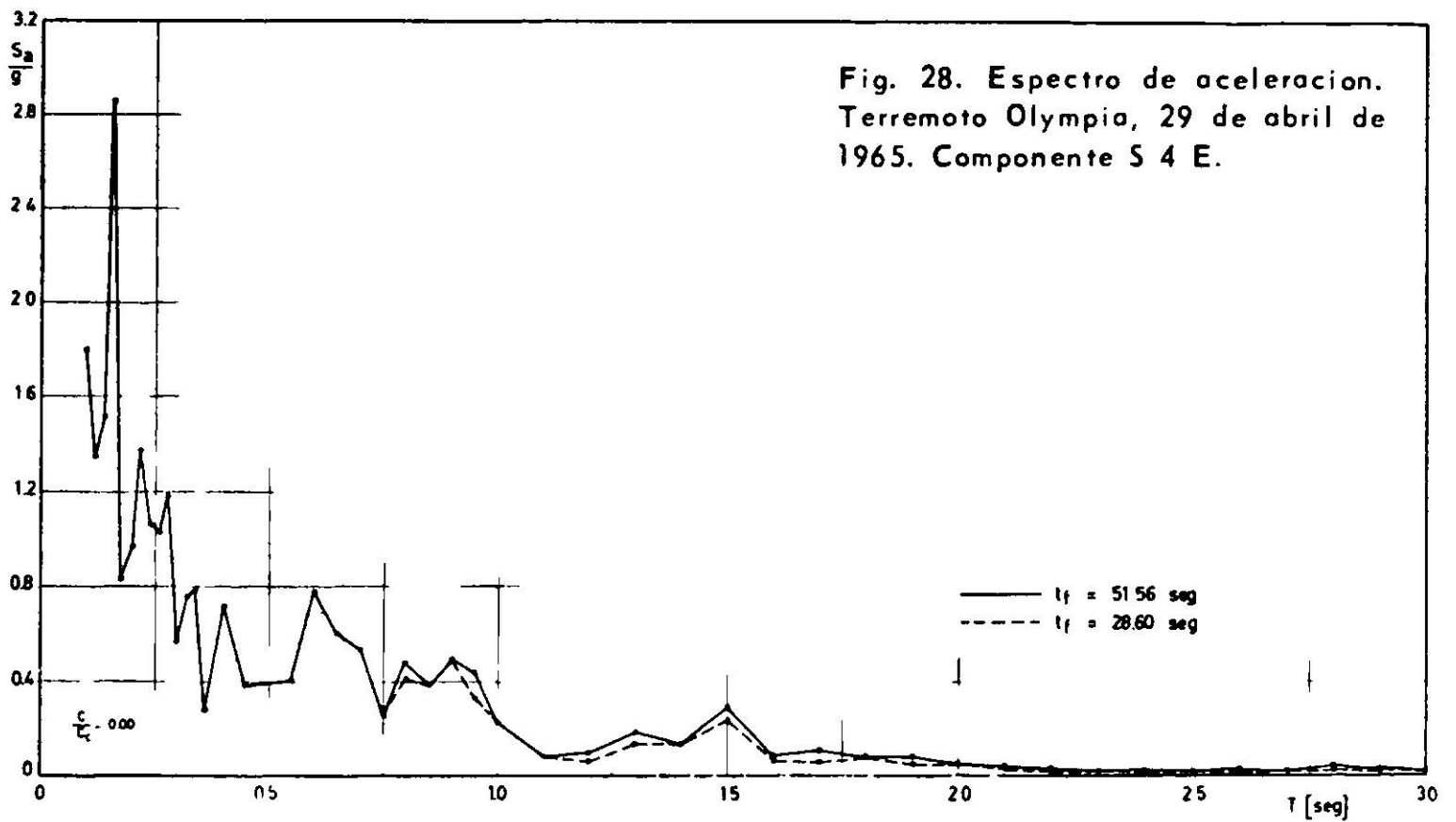
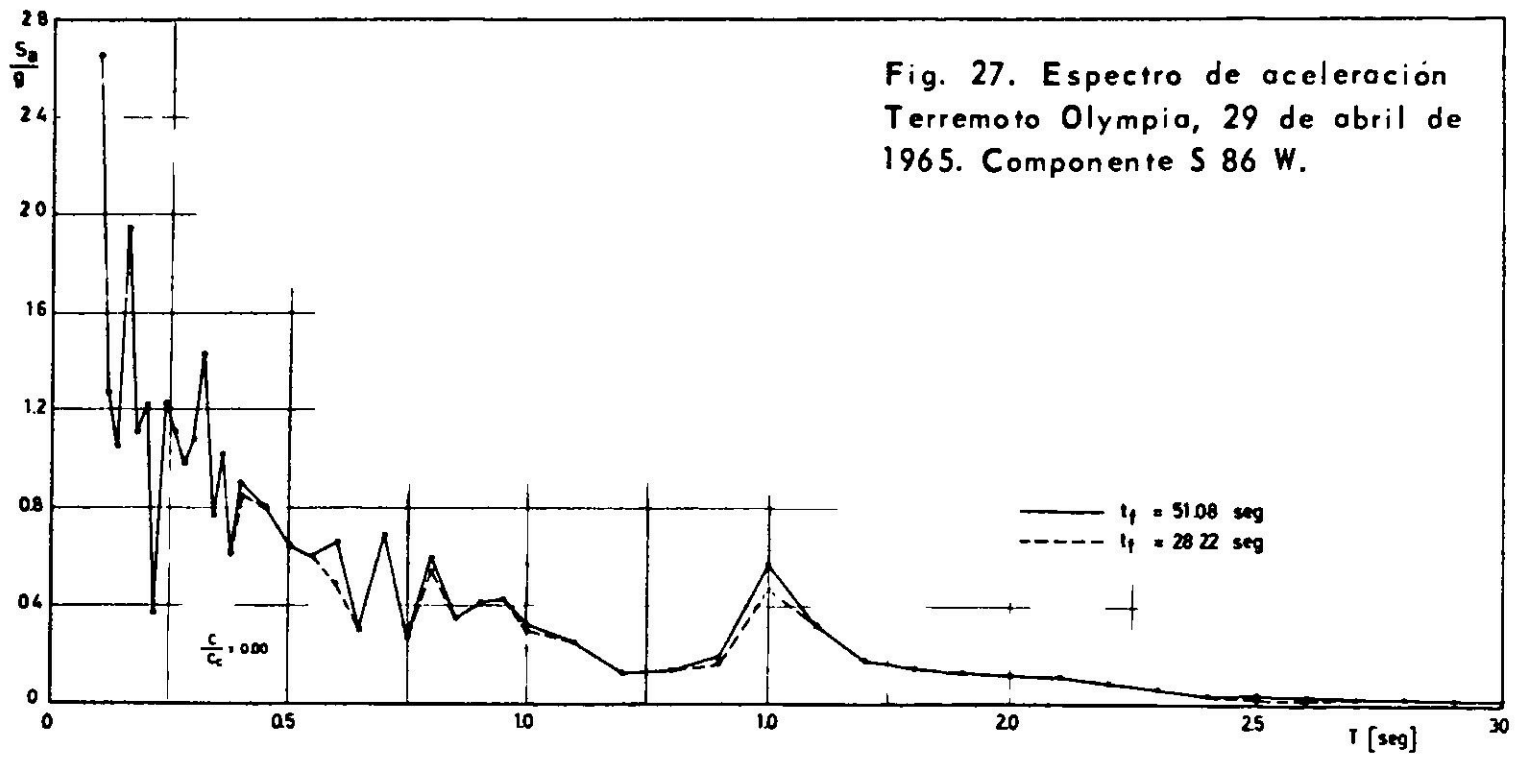
Las diferencias obtenidas entre los espectros calculados con todo el registro del terremoto y los calculados con un largo menor, cuya duración se determinó usando en buena forma el criterio de corte, son inferiores a las diferencias encontradas al procesar acelerogramas digitalizados por distintos operadores⁴. Esto es analizado por los autores más adelante.

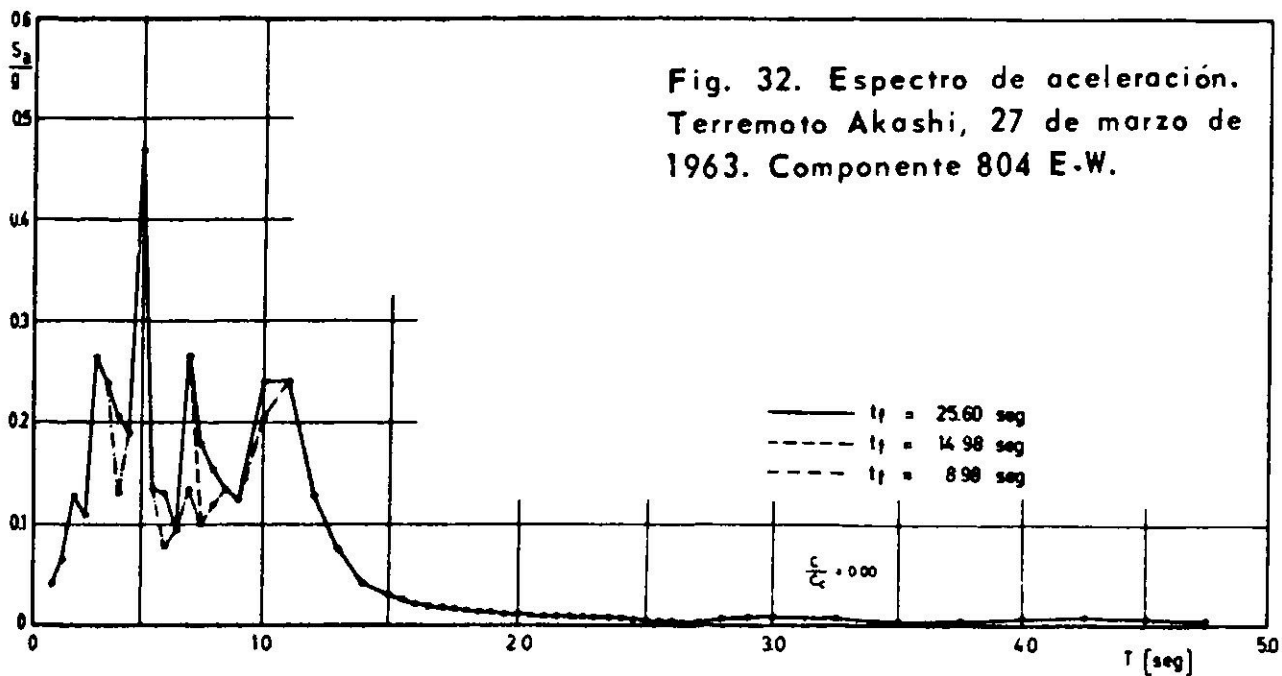
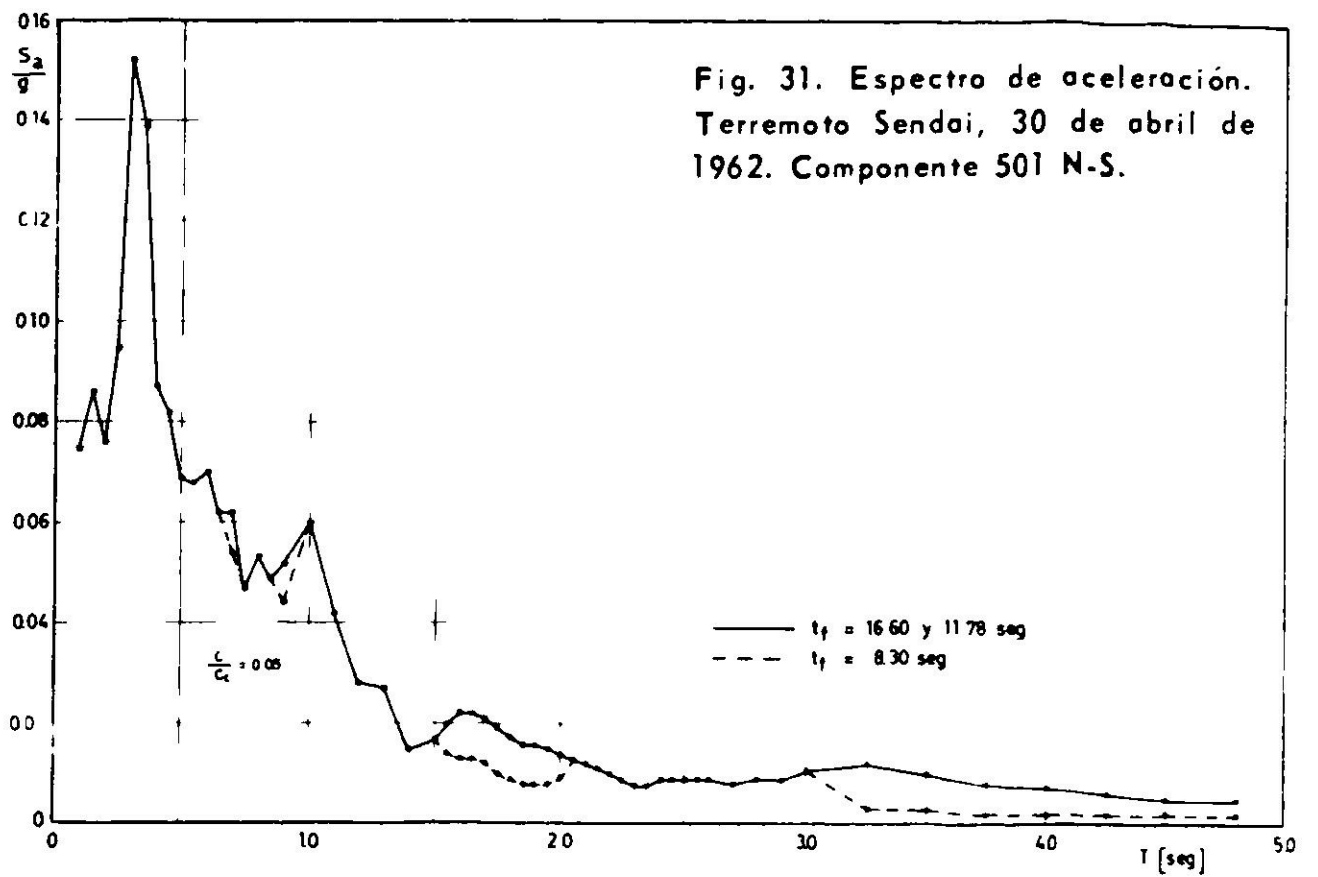
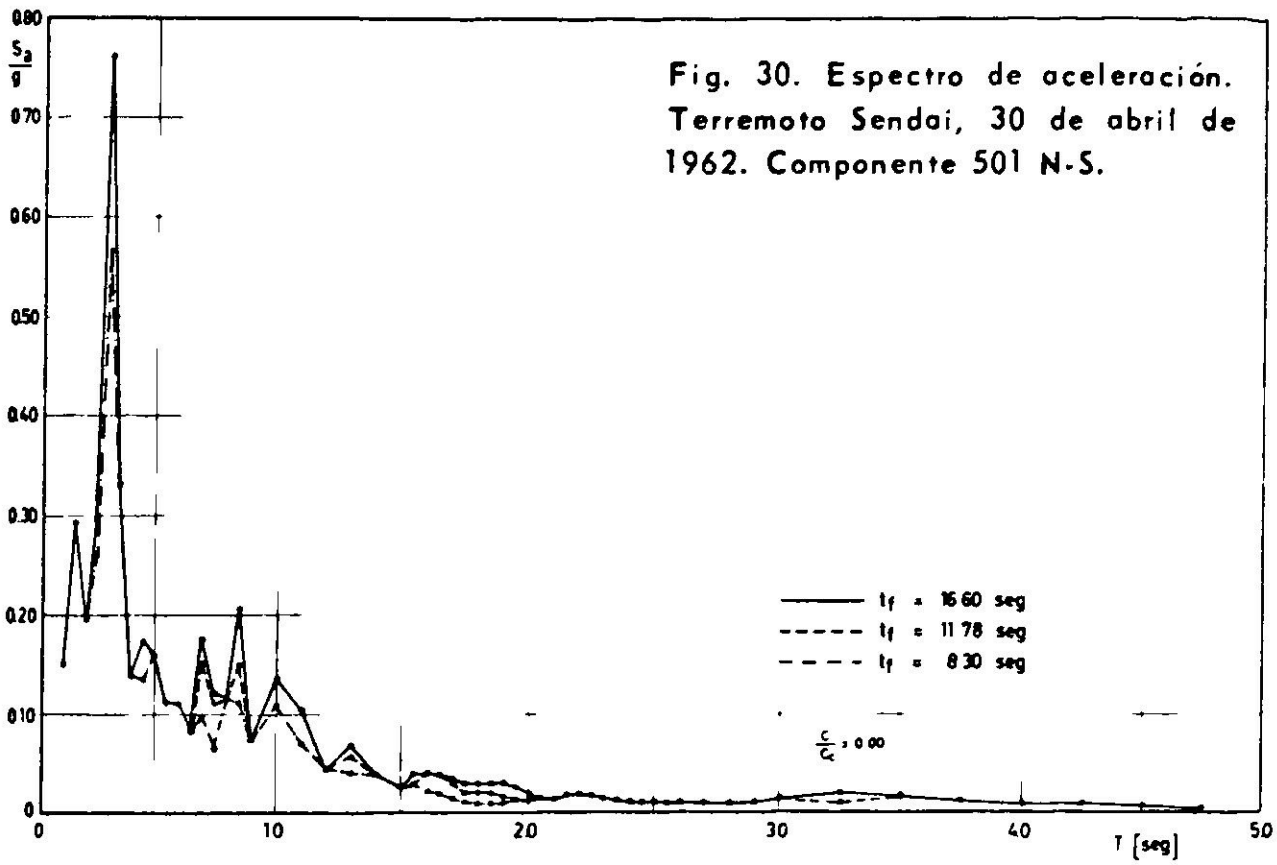
Desplazamiento del suelo

Partiendo de las aceleraciones corregidas del suelo, se calcularon por integración directa la velocidad y el desplazamiento del suelo, según lo expuesto por Husid.¹









Con el objeto de determinar la influencia de la duración del sismo sobre los valores del desplazamiento del suelo durante el terremoto, los cálculos se repitieron para diferentes duraciones del acelerograma, haciendo una corrección independiente de la línea base para cada duración elegida.

En las Figs. 33 y 34 se presentan los resultados del estudio realizado para el desplazamiento del suelo para los terremotos nº 90 y nº 92 (Tabla I).

Las figuras mencionadas indican que la influencia de la duración del sismo sobre las curvas de desplazamiento del suelo es bastante fuerte. Se aprecia que aun cuando, en general, se mantiene la forma de las curvas para distintas duraciones, la magnitud de los desplazamientos varía de manera importante. Es recomendable utilizar la duración completa del acelerograma cuando se realiza un estudio de los desplazamientos del suelo durante un terremoto.

La variación en el desplazamiento del suelo, antes mencionada, sólo puede ser consecuencia de la modificación de las ordenadas del acelerograma durante el proceso de corrección del registro, es decir, que para distintas duraciones del sismo, se obtienen diferentes ejes de aceleración nula. Por otra parte las variaciones del acelerograma son amplificadas en el proceso de doble integración.

Con el objeto de mostrar las diferencias que experimenta la corrección del registro al considerar distintas duraciones de terremoto, se determinaron las ecuaciones de la línea base para cada duración del acelerograma. Para todos los terremotos de la Tabla I se dibujaron las parábolas referidas a la línea arbitraria de aceleraciones no corregidas utilizada en la digitalización. Algunas de estas parábolas se presentan en las Figs. 35 a 37.

Entre estos gráficos resultan especialmente interesantes los correspondientes a los terremotos japoneses, ya que demuestran lo dicho sobre la variación resultante en las curvas de desplazamiento del suelo.

Intensidad de Housner

Se realizó un estudio con la finalidad de determinar la influencia que tiene la duración elegida del sismo en el valor de la intensidad espectral de Housner I_H .

Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla IV donde se presentan los valores de I_H para diferentes duraciones de cada terremoto analizado y para 5 valores del grado de amortiguamiento.

Se observa que las diferencias mayores se producen para un grado de amortiguamiento nulo.

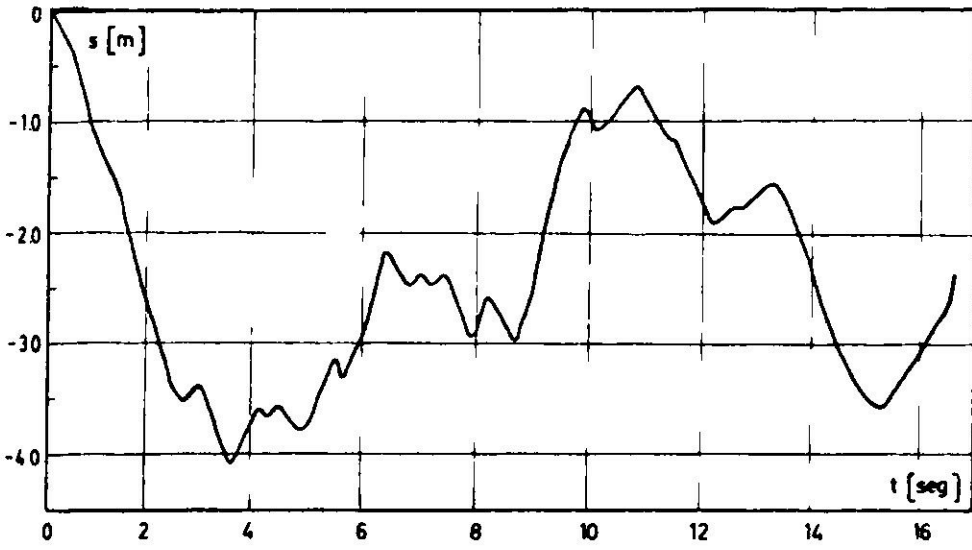


Fig. 33. Desplazamiento del suelo. Terremoto Sendai, 30 de abril de 1962. Componente 501 N-S.

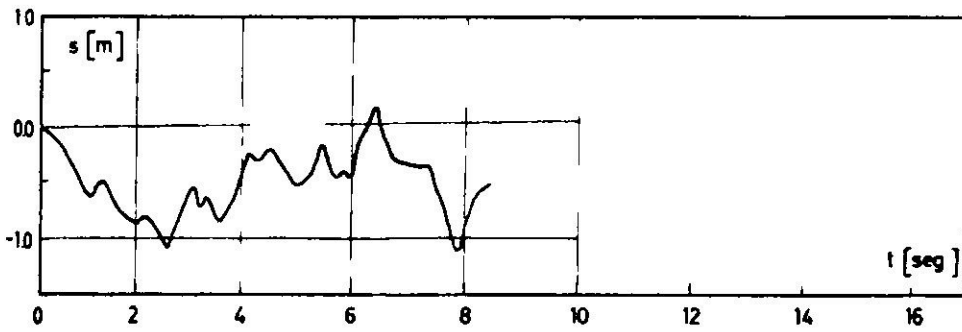
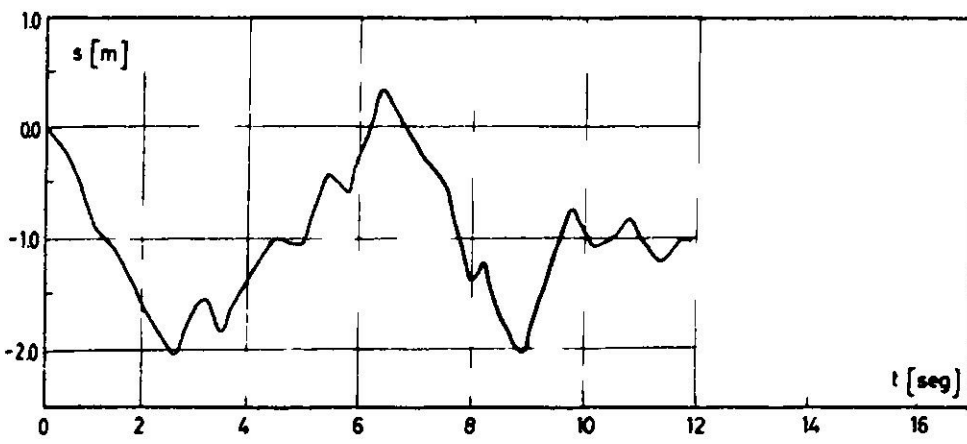
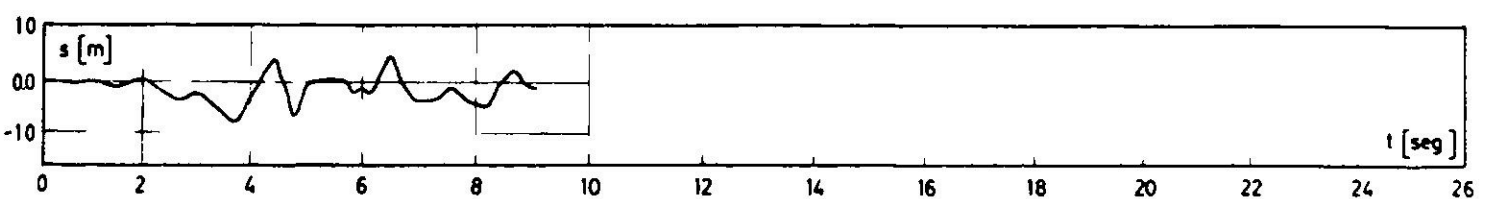
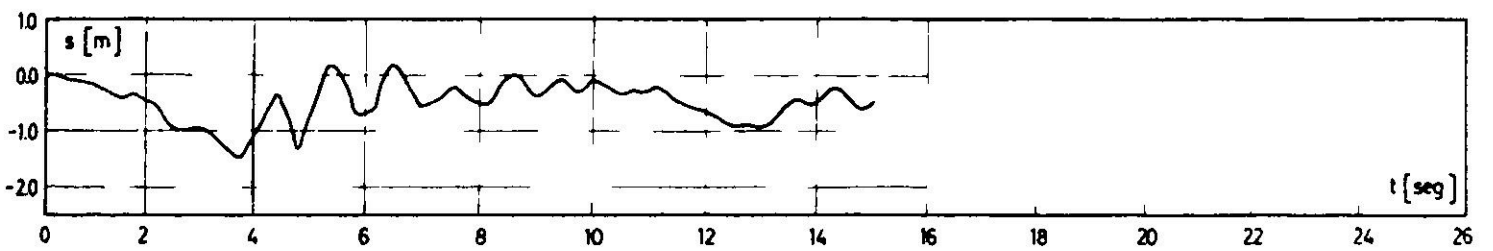
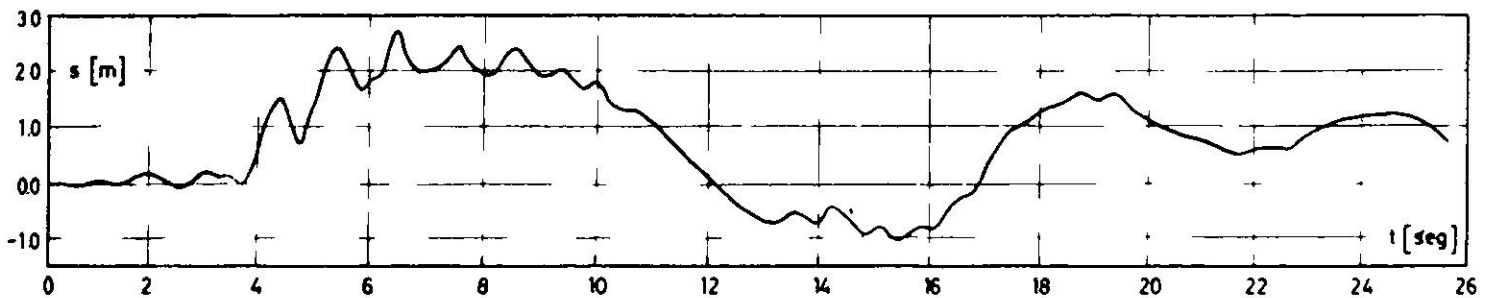


Fig. 34. Desplazamiento del suelo. Terremoto Akashi, 27 de marzo de 1963. Componente 804 E-W.



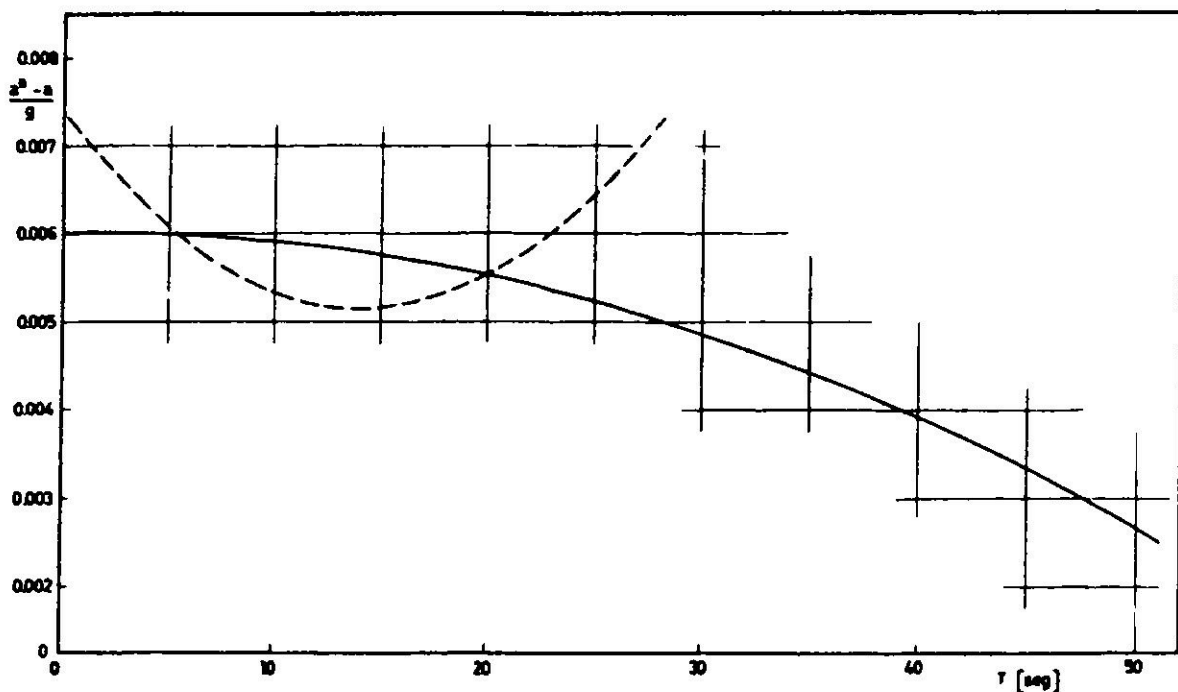


Fig. 35. Corrección de la línea base. Influencia de la duración. Terremoto Olympia, 29 de abril de 1965. Componente S 86 W.

Fig. 36. Corrección de la línea base. Influencia de la duración. Terremoto Sendai, 30 de abril de 1962. Componente 501 N-S.

Fig. 37. Corrección de la línea base. Influencia de la duración. Terremoto Akashi, 27 de marzo de 1963. Componente 804 E-W.

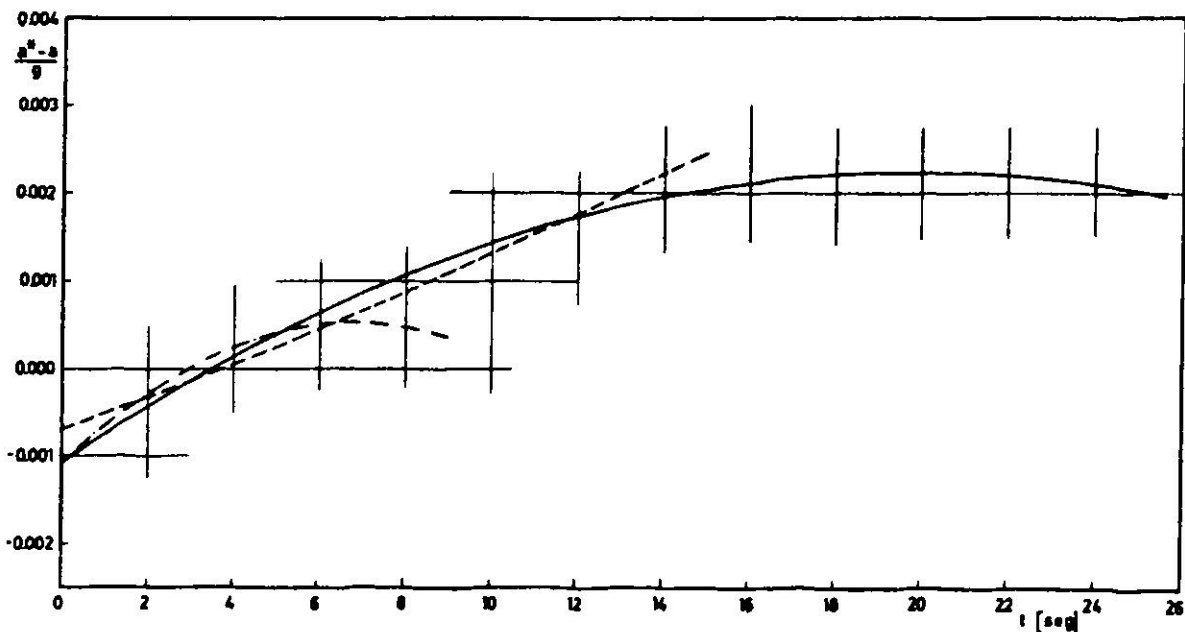
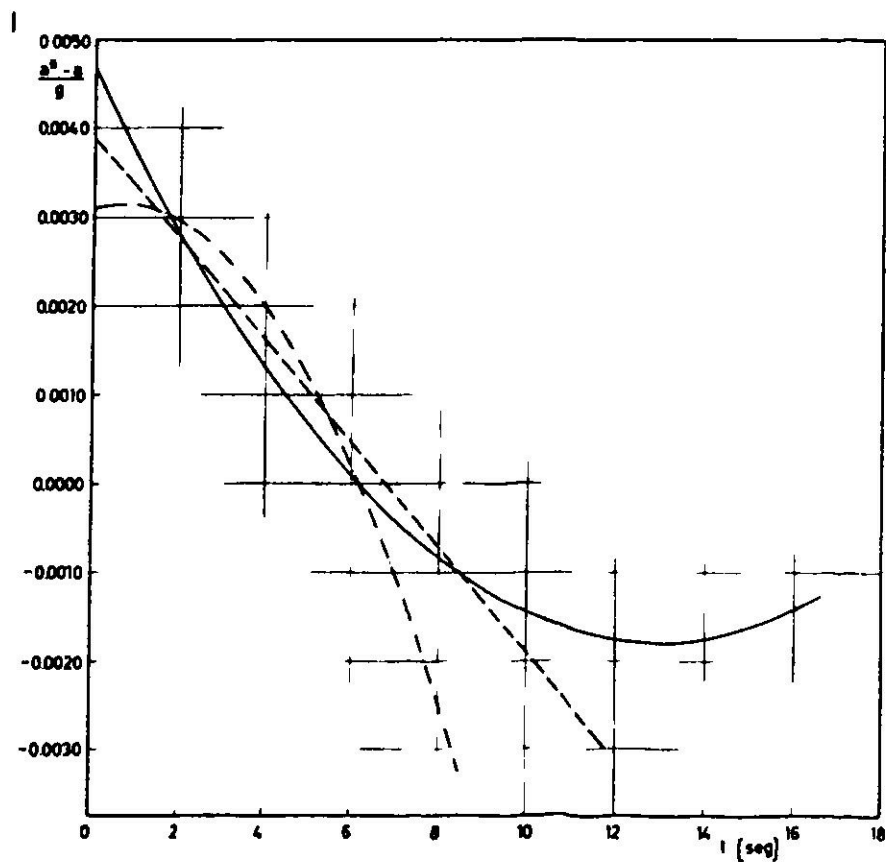


TABLA IV

INFLUENCIA DE LA DURACION ELEGIDA DEL SISMO,
EN LA INTENSIDAD DE HOUSNER

Terr. nº	t_f [seg]	INTENSIDADES DE HOUSNER [pies]				
		$c=0.0 c_c$	$c=0.02 c_c$	$c=0.05 c_c$	$c=0.10 c_c$	$c=0.20 c_c$
3	50.2	5.22	3.03	2.25	1.67	1.13
4	50.7	5.57	3.22	2.51	1.93	1.35
3	26.7	4.89	3.03	2.25	----	----
4	24.1	5.15	3.22	2.51	----	----
5	51.5	2.48	1.48	1.09	0.84	0.58
6	51.1	3.60	2.19	1.67	1.26	0.87
5	28.6	2.25	1.45	1.09	----	----
6	28.2	3.41	2.19	1.67	----	----
31	40.2	4.89	3.22	2.64	2.19	1.64
32	39.9	4.60	3.32	2.74	2.22	1.67
31	16.0	4.38	3.19	2.64	----	----
32	15.2	4.19	3.32	2.74	----	----
45	40.1	8.18	5.60	4.67	3.83	2.90
46	35.2	6.05	4.31	3.48	2.83	2.13
45	27.0	8.01	5.60	4.67	----	----
46	24.1	5.86	4.31	3.48	----	----
45	18.8	7.63	5.60	4.67	----	----
46	15.3	5.47	4.22	3.45	----	----

FUNCIONES DE AUTOCORRELACION

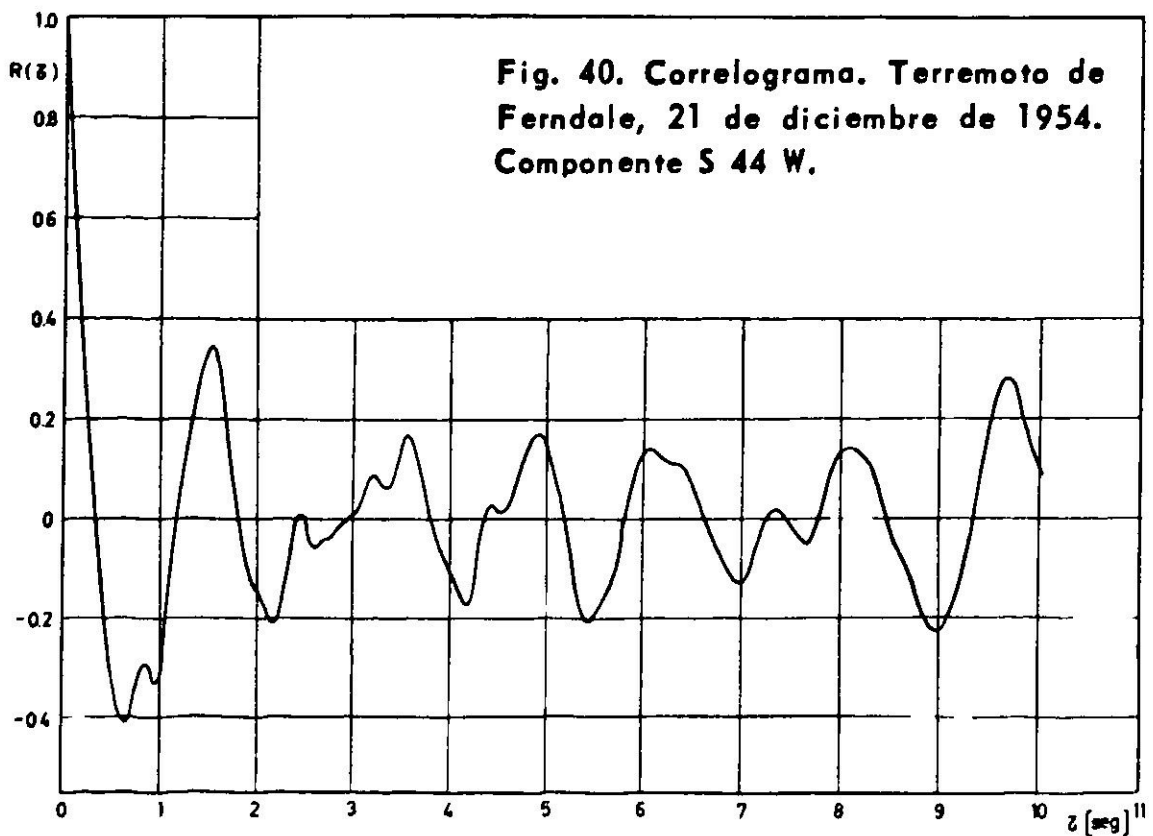
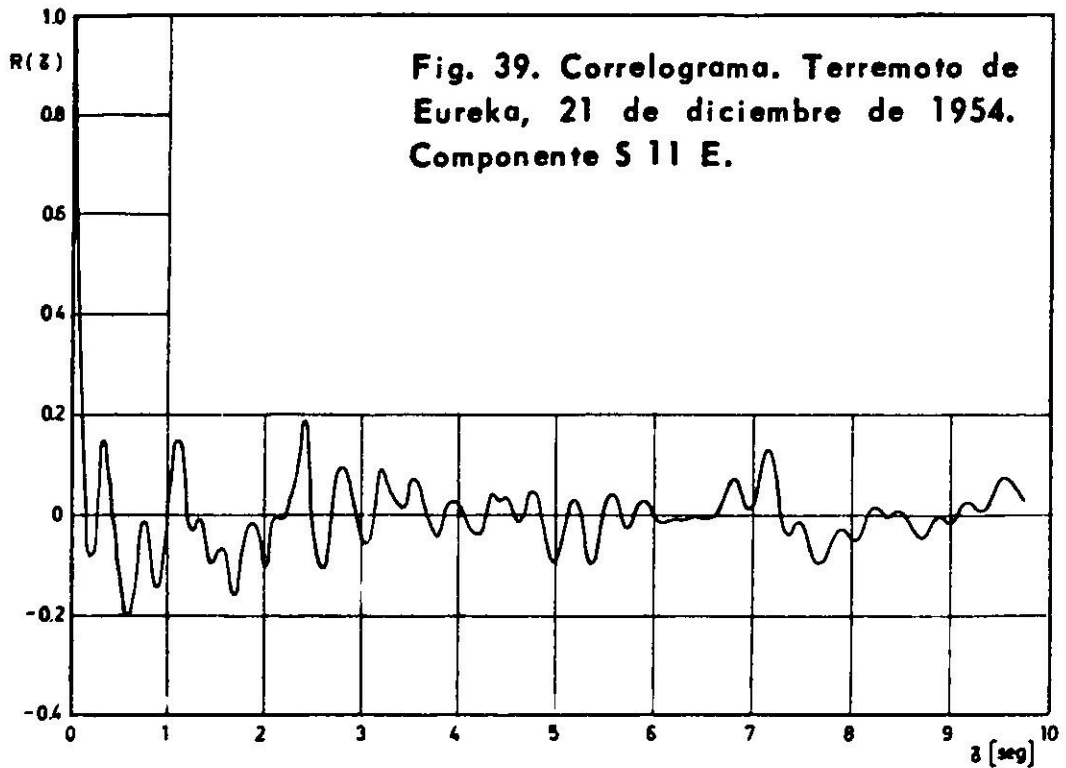
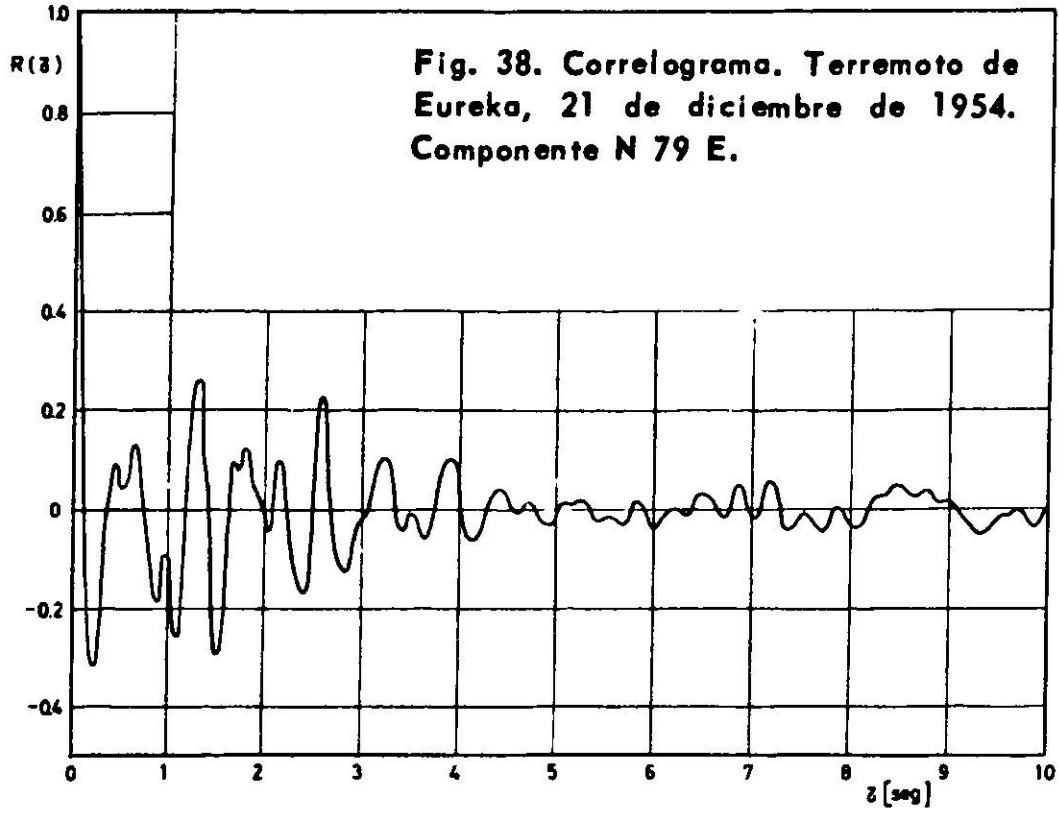
Con la finalidad señalada por Husid¹ se calcularon las funciones de autocorrelación para todos aquellos acelerogramas que hasta la fecha no habían sido estudiados. En las Figs. 38 a 45 se presentan las funciones calculadas para los terremotos de la Tabla I.

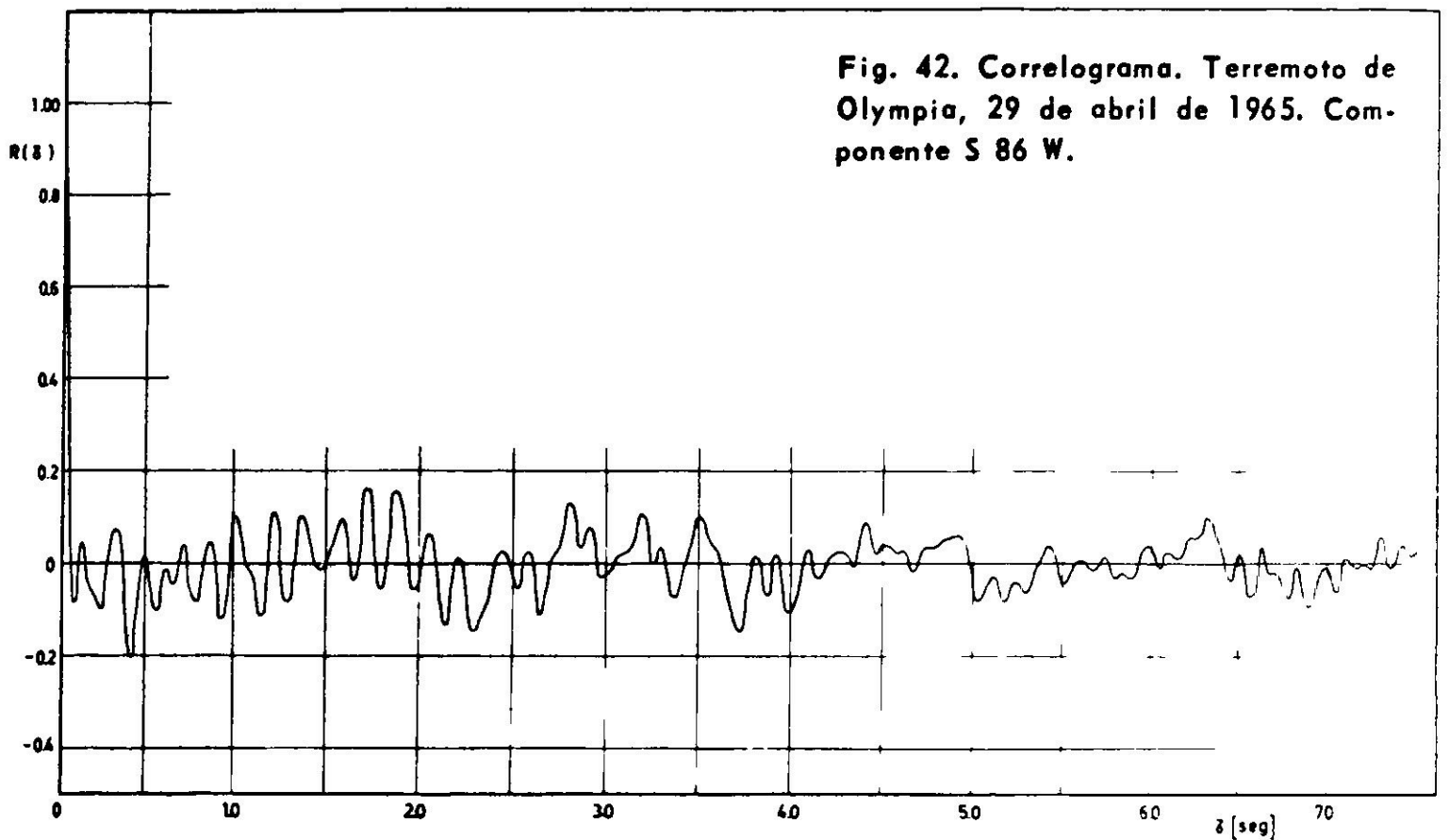
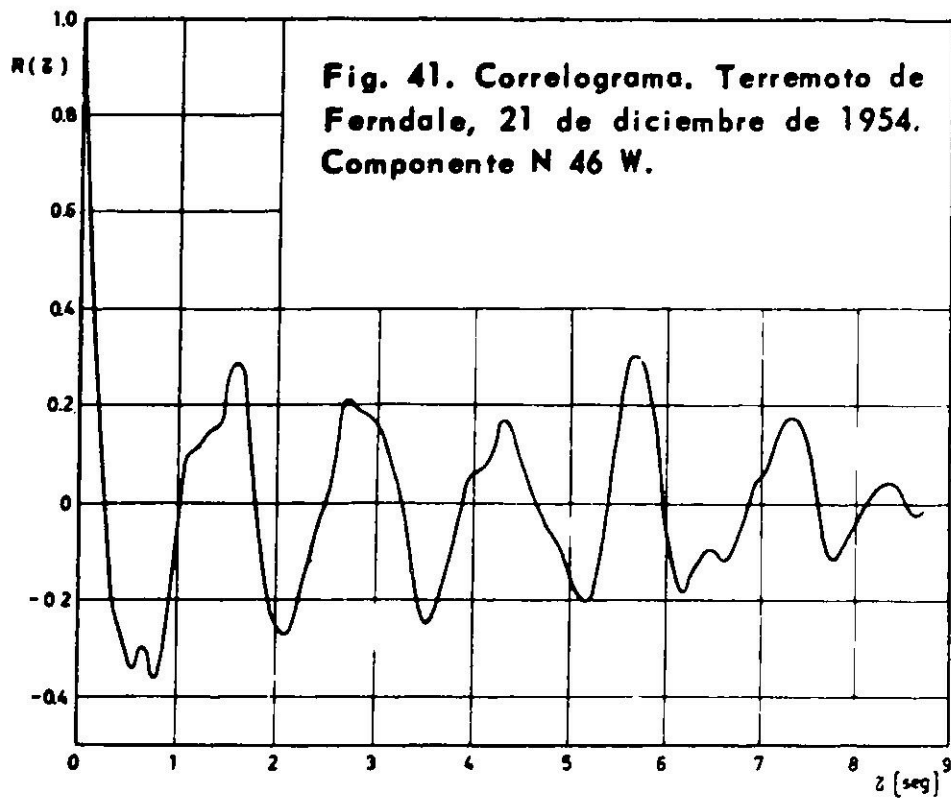
Se puede destacar que dichas funciones resultan bastante amortiguadas para los terremotos nºs 31, 32, 6 y 5.

DIGITALIZACION DE ACELEROGRAMAS: SU INFLUENCIA EN LOS RESULTADOS

Varios investigadores han encontrado que la diferente digitalización de un mismo acelerograma es la causa de diferencias de hasta 20% en los espectros de respuesta obtenidos. Entre estos estudios vale la pena destacar el realizado en CALTECH⁴ y Michigan¹⁰.

En el presente trabajo se compararon los resultados obtenidos, a partir de



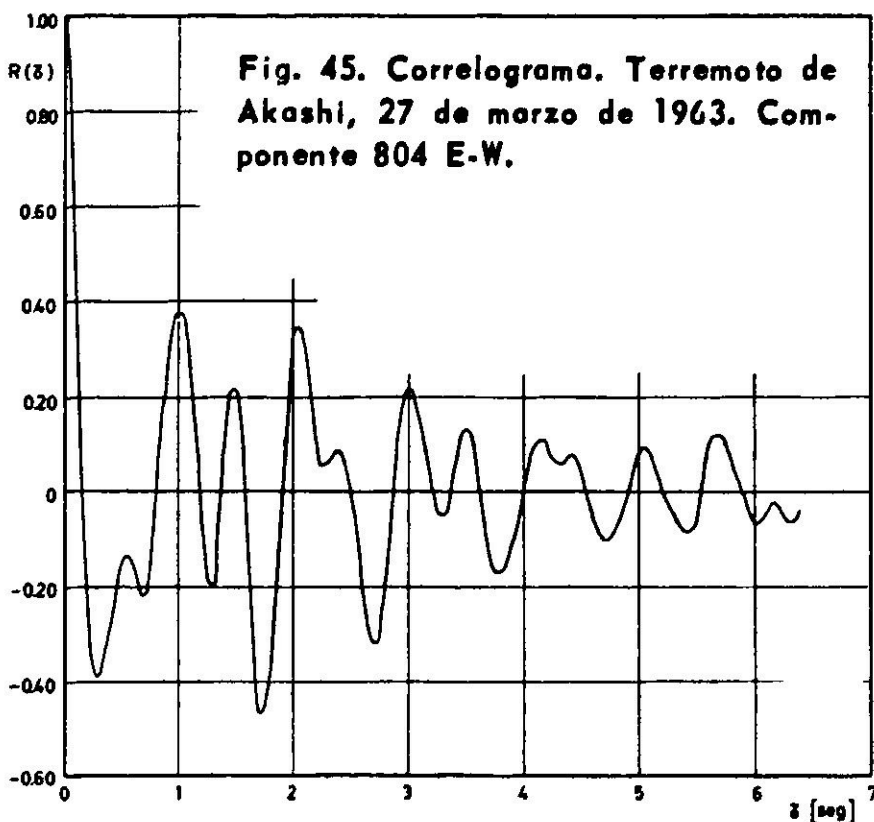
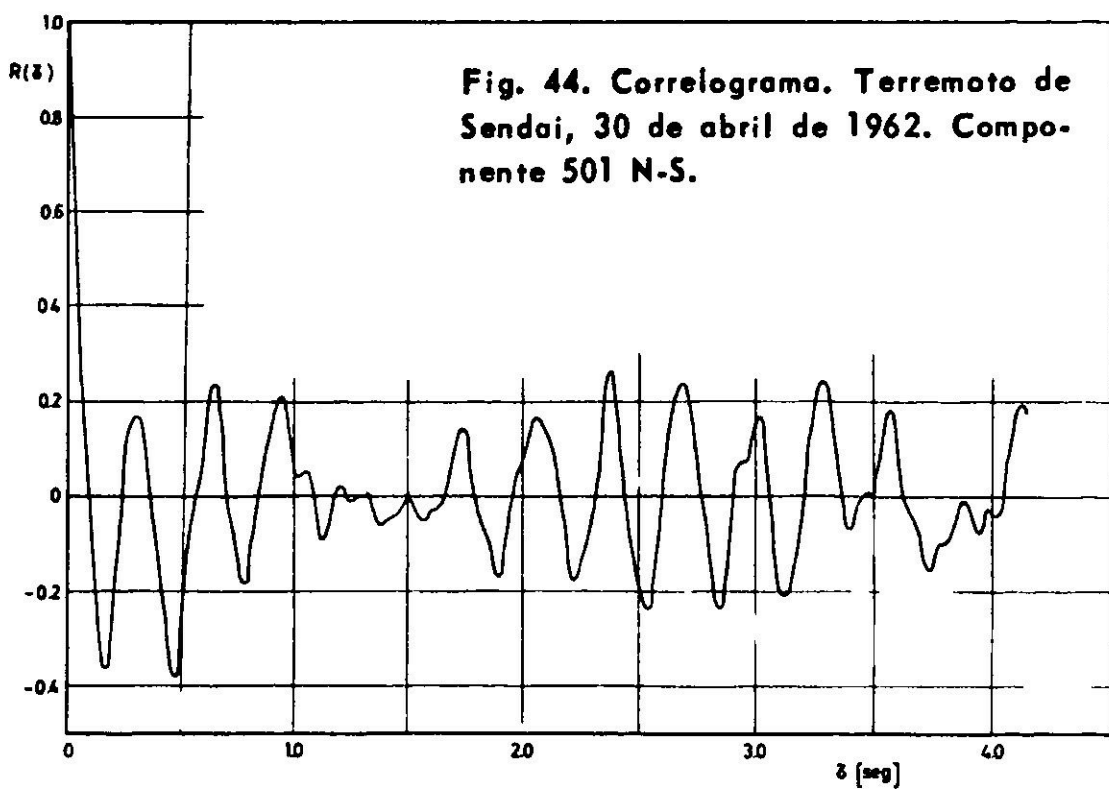
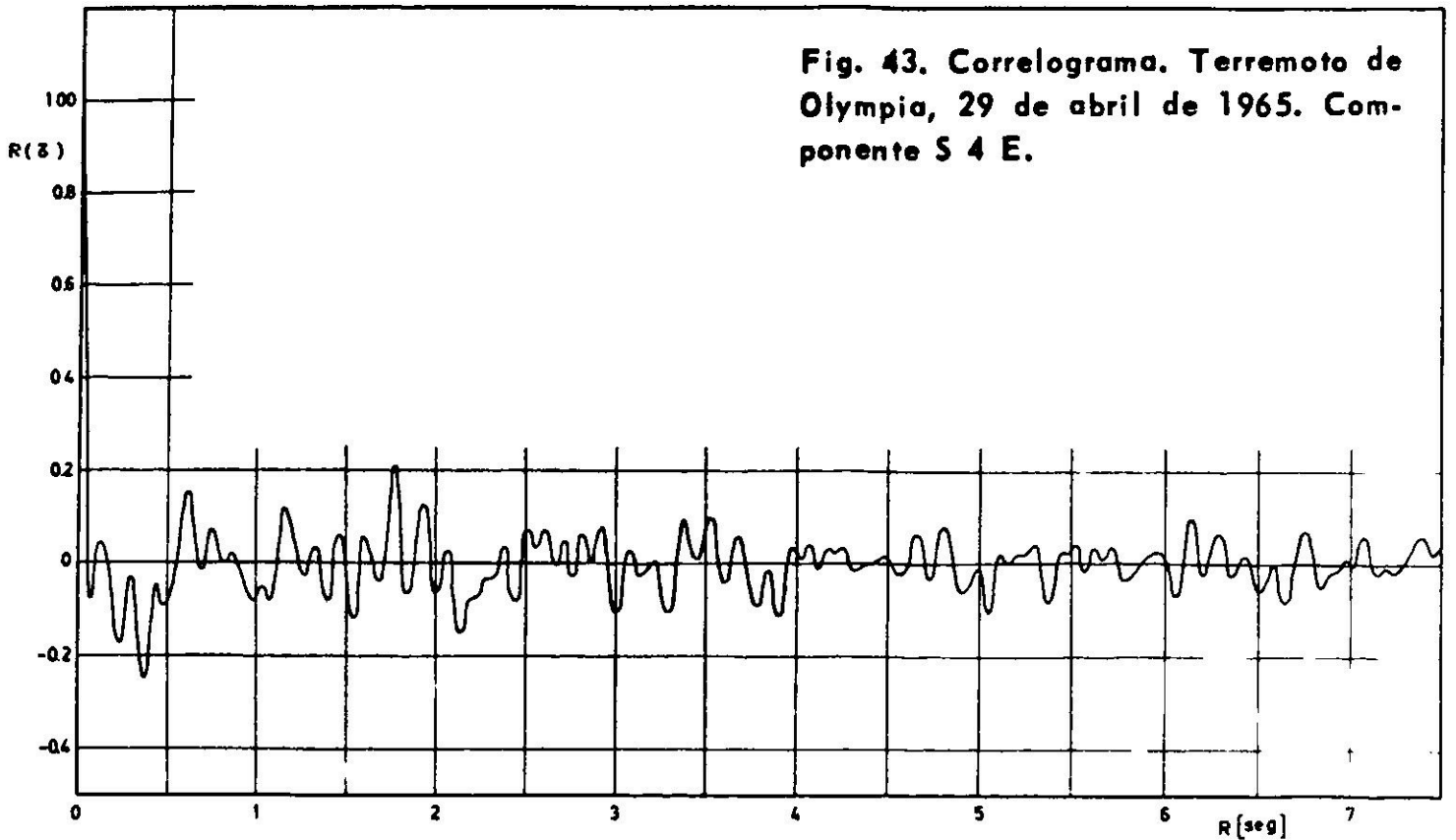


digitalizaciones hechas por G. Lange¹¹ y los autores, utilizando el mismo equipo de digitalización, ya descrito¹

En la Fig. 46 se han dibujado las intensidades de Arias para los terremotos de Parkfield, Est. 5, 27/VI/1966 N85°E y N 5W, considerando la misma duración de los registros en ambas digitalizaciones. Se puede apreciar que la diferente digitalización es responsable de diferencias de hasta un 10%.

En Figs. 47 y 48 se presentan para los terremotos antes mencionados y para las mismas digitalizaciones, los espectros de aceleraciones absolutas correspondientes para amortiguamiento nulo.

A la luz de los resultados conseguidos se puede observar que la diferente digitalización puede conducir a diferencias porcentuales importantes en los es-



pectros de respuesta para grados de amortiguamiento pequeños en zonas donde sus ordenadas son relativamente chicas.

Es importante destacar que aun cuando el método de digitalización empleado en el presente trabajo es más simple y de mayor precisión que el usado en estudios anteriores, las diferencias en los resultados siguen siendo de consideración.

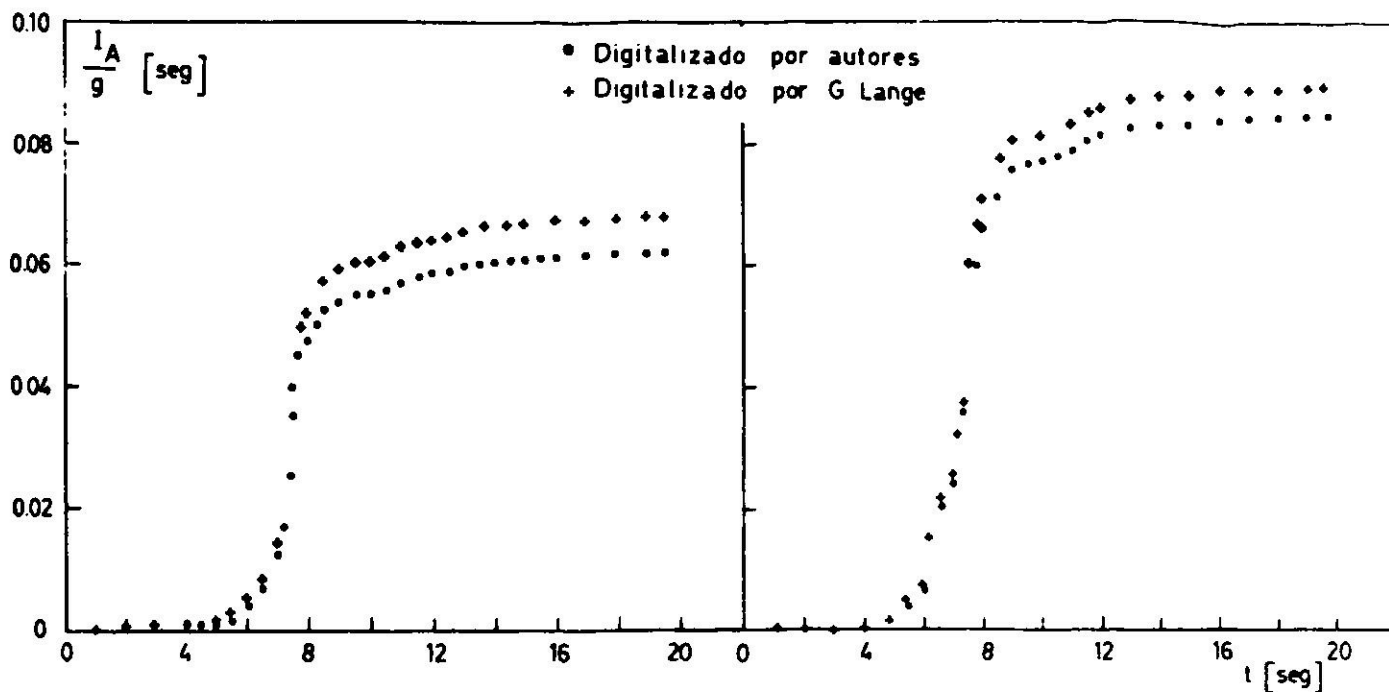


Fig. 46. Intensidad de Arias. Terremoto Parkfield, 27 de junio de 1966. Izquierda, Estación 5, N5W; derecha, Estación 5, N85E.

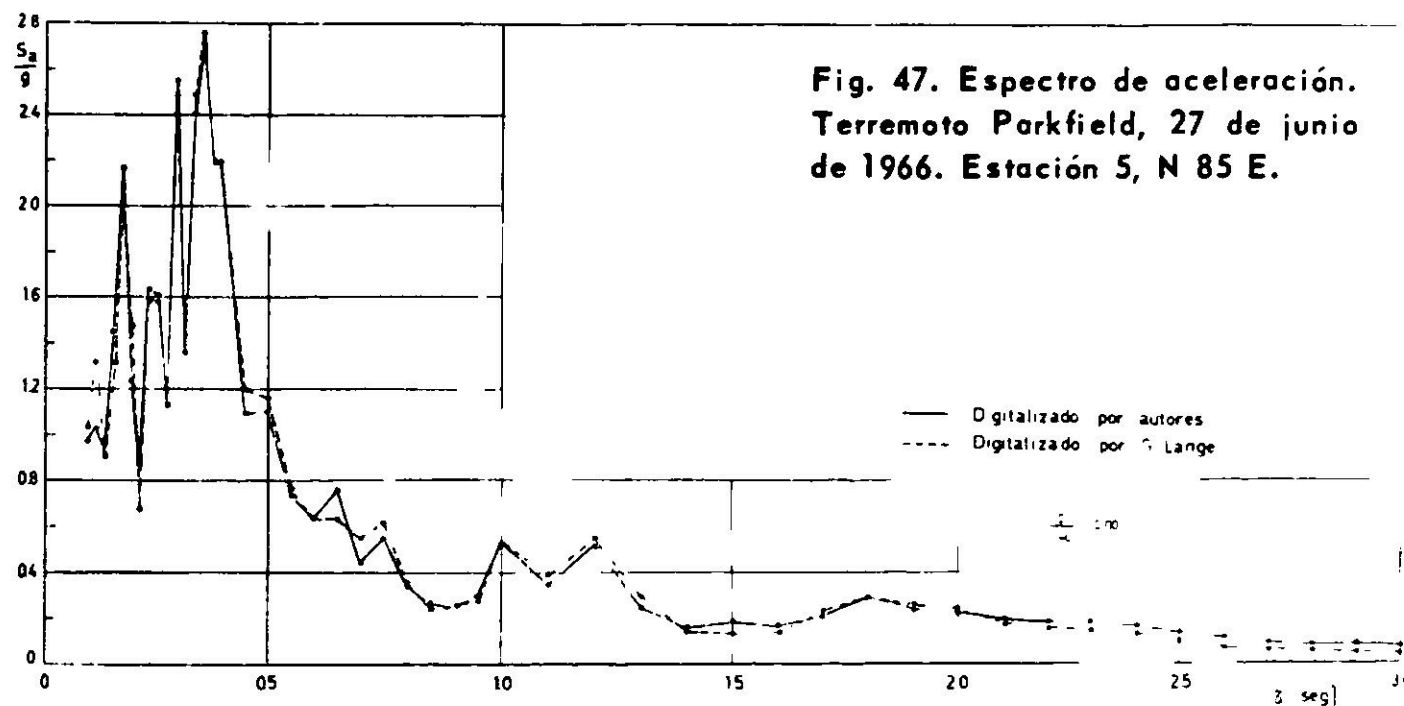


Fig. 47. Espectro de aceleración. Terremoto Parkfield, 27 de junio de 1966. Estación 5, N 85 E.

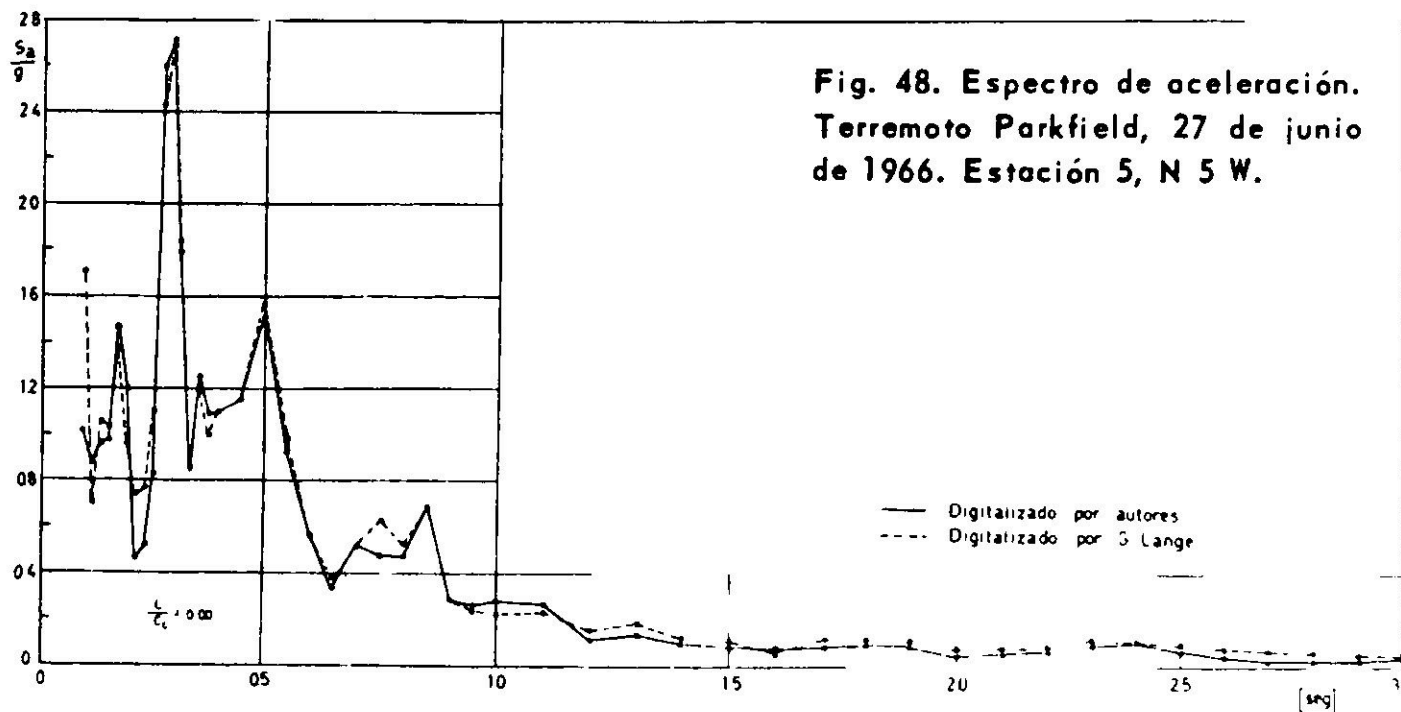


Fig. 48. Espectro de aceleración. Terremoto Parkfield, 27 de junio de 1966. Estación 5, N 5 W.

CONCLUSIONES

A través del desarrollo de este estudio se obtuvieron las siguientes conclusiones principales:

1. Los espectros de respuesta resultan muy sensibles a la distribución y número de los períodos considerados, en especial para grados de amortiguamiento pequeños.

Una elección poco afortunada de los períodos se traduce en la pérdida de máximos importantes en los espectros de respuesta.

2. Para la mayor parte de los terremotos de EUA, los valores máximos de los espectros de aceleración absoluta se producen para períodos menores que 0.5 segundos.
3. Con el fin de determinar la duración mínima del terremoto que es posible considerar, sin introducir errores importantes en la respuesta, se comprueban dos criterios de corte del acelerograma que permiten hacer la elección de la duración, antes del cálculo de los espectros. Estos criterios se basan en:
 - a) Intensidad de Arias
 - b) Aceleración cuadrática media

De estos criterios se recomienda la intensidad de Arias, por su mayor facilidad de empleo y por el significado físico que posee.

4. Se comprueba que la intensidad de Arias es bastante sensible a los cambios en la duración del terremoto. Los gráficos I_A-t señalan una brusca variación durante la zona importante del sismo.
5. Al procesar un acelerograma determinado con distintas duraciones del registro, se observa que la influencia de dichas duraciones en los espectros de respuesta es importante. Se puede constatar que las mayores diferencias se producen en el espectro de velocidad y generalmente para períodos largos.

Se comprueba además, que si la duración del sismo se determina usando en buena forma el criterio de corte recomendado, las diferencias en los espectros de respuesta, en relación a los obtenidos con la duración total del registro, son bastante pequeñas.

6. Debido a la menor sensibilidad de los espectros de aceleración absoluta a las variaciones en la duración del registro y por las razones dadas durante el desarrollo de la teoría, se recomienda el uso de estos espectros en ingeniería antisísmica.

7. En el cálculo del desplazamiento del suelo se encontró que la influencia de la duración del sismo en los resultados es bastante fuerte, modificando apreciablemente las curvas de desplazamiento. Es recomendable utilizar la duración total digitalizada del acelerograma cuando se realiza un estudio de desplazamiento del suelo durante un terremoto.
8. La corrección de la línea base del acelerograma resulta bastante diferente cuando se consideran distintas duraciones del sismo, modificándose el valor de las aceleraciones en cada caso. Estas modificaciones en el acelerograma son la causa de la fuerte variación del desplazamiento del suelo antes mencionada.
9. La intensidad de Housner también es afectada por las diferentes duraciones del sismo. Sin embargo, si se elige la duración de la parte del acelerograma a procesar con el criterio de la intensidad de Arias, los resultados obtenidos difieren poco de los correspondientes a todo el registro digitalizado.
10. Las funciones de autocorrelación estudiadas resultan en general bastante amortiguadas.

REFERENCIAS

1. HUSID, R. Características de terremotos. Análisis general; *Revista del IDIEM*, vol. 8, nº 1, (mayo 1969), pp. 21 - 42.
2. MUTO, K. Digital Values used for Analog Computation by SERAC, *Preprints of Serac Report nº 6, Engineering Research Institute, University of Tokyo*. Tokyo, Japan, October 1964.
3. ALFORD, J.L , HOUSNER, G.W., y MARTEL, R.R. *Spectrum Analysis of Strong-Motion Earthquakes*, Earthquake Engineering Research Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, California, August 1951 (Revised August 1964).
4. BRADY, A.G. *Studies of Response to Earthquake Ground-Motion*, Earthquake Engineering Research Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, California, 1966.
5. HOUSNER, G.W. Vibration of Structures Induced by Seismic Waves, *Shock and Vibration Handbook*, edited by Harris and Crede, vol. 3.
6. STEINBRUGGE, K.V. y CLOUD, W.K., The Puget Sound, Washington Earthquake of April 29, 1965, *Preliminary Engineering Report, U.S. Coast and Geodetic Survey*. Washington, 1965.
7. CLOUD, W.K. y PEREZ, V., Strong Motion-Records and Acceleration, *Proceedings Fourth World Conference on Earthquake Engineering*, Chile, enero 1969.
8. EARTHQUAKE RESEARCH INSTITUTE, STRONG-MOTION EARTHQUAKE OBSERVATION COMMITTEE, *Strong-Motion Earthquake Records in Japan*, vol. 2, (julio 1965), Japon.
9. EARTHQUAKE RESEARCH INSTITUTE, STRONG-MOTION EARTHQUAKE OBSERVATION COMMITTEE, *Strong-Motion Earthquake Records in Japan*, vol. 3, octubre 1965, Japon.

10. BERG, G.V., A Study of error in Response Spectrum Analyses, *1^{ra}s Jornadas Chilenas de Ing. Antisísmica*, Santiago, julio 1963.
11. LANGE, G., *Una Medida de Intensidad Sísmica*, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile, 1968.

ANALISYS OF NORTHAMERICAN AND JAPANESE EARTHQUAKES

SUMMARY:

The results for response spectra, Housner intensity, Arias intensity, root mean square acceleration and autocorrelation functions for several accelerograms recorded in U.S.A. and Japan are presented and discussed.