

CALCULO DE LOS ESPECTROS DE RESPUESTA EN SANTIAGO DEL SISMO DEL 28 DE MARZO DE 1965

Luis PETIT-LAURENT*

RESUMEN

En el presente trabajo se obtienen los espectros de respuesta de velocidades relativas y aceleraciones absolutas, para el sismo del 28 de marzo de 1965 en Santiago, mediante la integración numérica del registro de aceleraciones. Se describe el método usado y se presentan los resultados para ambas componentes horizontales.

NUESTRO PAIS, a pesar de ser afectado frecuentemente por movimientos sísmicos de gran intensidad, no posee en la actualidad más que los registros de un temblor fuerte que haya podido ser objeto de estudio. Nos referimos al temblor del 13 de septiembre de 1945 en Santiago.

Sobre este registro se han efectuado dos trabajos. El primero de ellos consiste en experiencias hechas mediante un péndulo de torsión de las cuales se obtuvieron los espectros de aceleraciones y desplazamientos¹. El segundo trabajo consistió en calcularle la función de autocorrelación y el espectro de potencia mediante el computador digital².

El 28 de marzo del presente año, Santiago fue removido por un nuevo temblor. Afortunadamente, los registros obtenidos en esta ocasión fueron buenos y pudieron servir de datos para la ejecución del presente trabajo.

OBTENCION Y DIGITACION DE LOS DATOS

Los registros fueron obtenidos en el Departamento de Sismología de la Universidad de Chile, donde existe un acelerógrafo que es una copia fiel del que está instalado en Montana, EE.UU³. Estos registros fueron posteriormente

*Ingeniero del IDIEM. Profesor Auxiliar de Cálculo Numérico en la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile.

fotografiados y proyectados sobre un papel milimetrado donde se marcaron todas las puntas. Para ubicar la proyección dentro del papel milimetrado se aprovechó una línea paralela al registro, la cual se hizo coincidir con una del milimetrado. Se marcaron en seguida los valores extremos del registro. El origen, tanto de los tiempos como de las aceleraciones, fue tomado arbitrariamente. En cuanto al tiempo, el origen es común para las dos componentes. En las aceleraciones, las líneas bases fueron paralelas a la línea que fijó la proyección.

En seguida se leyeron las abscisas y ordenadas para todas estas puntas, partiendo de una línea base arbitraria que fuese horizontal.

Los datos así obtenidos, fueron perforados para procesarlos en el computador digital.

Los factores de escala de los registros fueron proporcionados por el Departamento de Sismología. Se calcularon los factores de escala de la proyección basándose en la amplificación de la escala de los tiempos.

PROCESO DE CALCULO

Posición del eje de referencia

La única restricción que se impuso al registro fue que las velocidades inicial y final fueran nulas o, lo que es lo mismo, que la media de la aceleración fuese nula.

La media de la aceleración, tanto para interpolación lineal como para la sinusoidal queda dada por la fórmula:

$$a = \frac{\sum (a_i + a_{i+1})(t_{i+1} - t_i)}{2 \sum (t_{i+1} - t_i)}$$

a_i es la aceleración en el instante t_i

Calculado este valor, se restó a todas las ordenadas del registro.

Cálculo de la respuesta del oscilador

Para calcular la respuesta del oscilador simple se aplicó el método de integración numérica de Runge-Kutta⁴ para ecuaciones diferenciales de segundo orden a la ecuación:

$$[\ddot{y} + a(t)] + 2n\omega\dot{y} + \omega^2 y = 0$$

dividiendo la abscisa en intervalos $\Delta t = 0,02$ seg

En la ecuación tenemos:

$a(t)$ = aceleración obtenida por interpolación de los valores del registro.

ω = frecuencia angular. Se usaron los valores: 3,0 (1,5) 60,0 rad/seg
 y, \dot{y}, \ddot{y} = desplazamiento, velocidad y aceleración relativa respectivamente,
 del oscilador

$\ddot{y} + a(t)$ = aceleración absoluta.

n = razón de amortiguamiento $\frac{c}{c_c}$ Se calculó con $n = 0; 0,02; 0,10$ y
 0,20.

Para la interpolación que nos da $a(t)$ se usó primeramente interpolación sinusoidal que viene dada por la fórmula:

$$a(t) = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{a_1 - a_2}{2} \cos \pi \frac{t - t_1}{t_2 - t_1} \quad (t_2 \geq t \geq t_1)$$

Con este método se calcularon los espectros para $n = 0$ y $n = 0,02$ de la componente N 10 W

Parte del espectro para $n = 0,02$ se recalculó con interpolación lineal, vale decir, usando la fórmula:

$$a(t) = a_1 + \frac{a_2 - a_1}{t_2 - t_1} (t - t_1) \quad (t_2 \geq t \geq t_1)$$

obteniéndose una diferencia del 5% máximo entre los dos métodos, por lo cual se prefirió este último debido a que el tiempo de proceso en el computador se reducía prácticamente a la mitad. Todos los otros espectros fueron calculados por este método.

Cálculo de los espectros

Al calcular la respuesta, el computador iba tabulando inmediatamente los máximos correspondientes a \dot{y} y a $\ddot{y} + a(t)$ para cada valor de ω , obteniéndose así los espectros de velocidad relativa y aceleración absoluta simultáneamente. No se tabularon los máximos de y , porque la corrección hecha al eje del registro no era suficiente para obtener estos valores.

RESULTADOS Y DISCUSION

El computador nos dio los espectros en función de ω por lo que hubo que calcular los períodos correspondientes para llevarlos a gráficos $\dot{y}_{m\acute{o}x} = f(T)$, $\ddot{y} + a(t)_{m\acute{o}x} = p(T)$ para ambas componentes. (Figs. 1, 2, 3 y 4).

En los gráficos aparecen una serie de puntas para períodos muy pequeños. Esto se debe a que el acelerógrafo estaba colocado en el subterráneo de un edificio de 3 pisos y que además estaba rodeado por construcciones pequeñas.

Probablemente es la influencia que tienen los movimientos de estas cons-

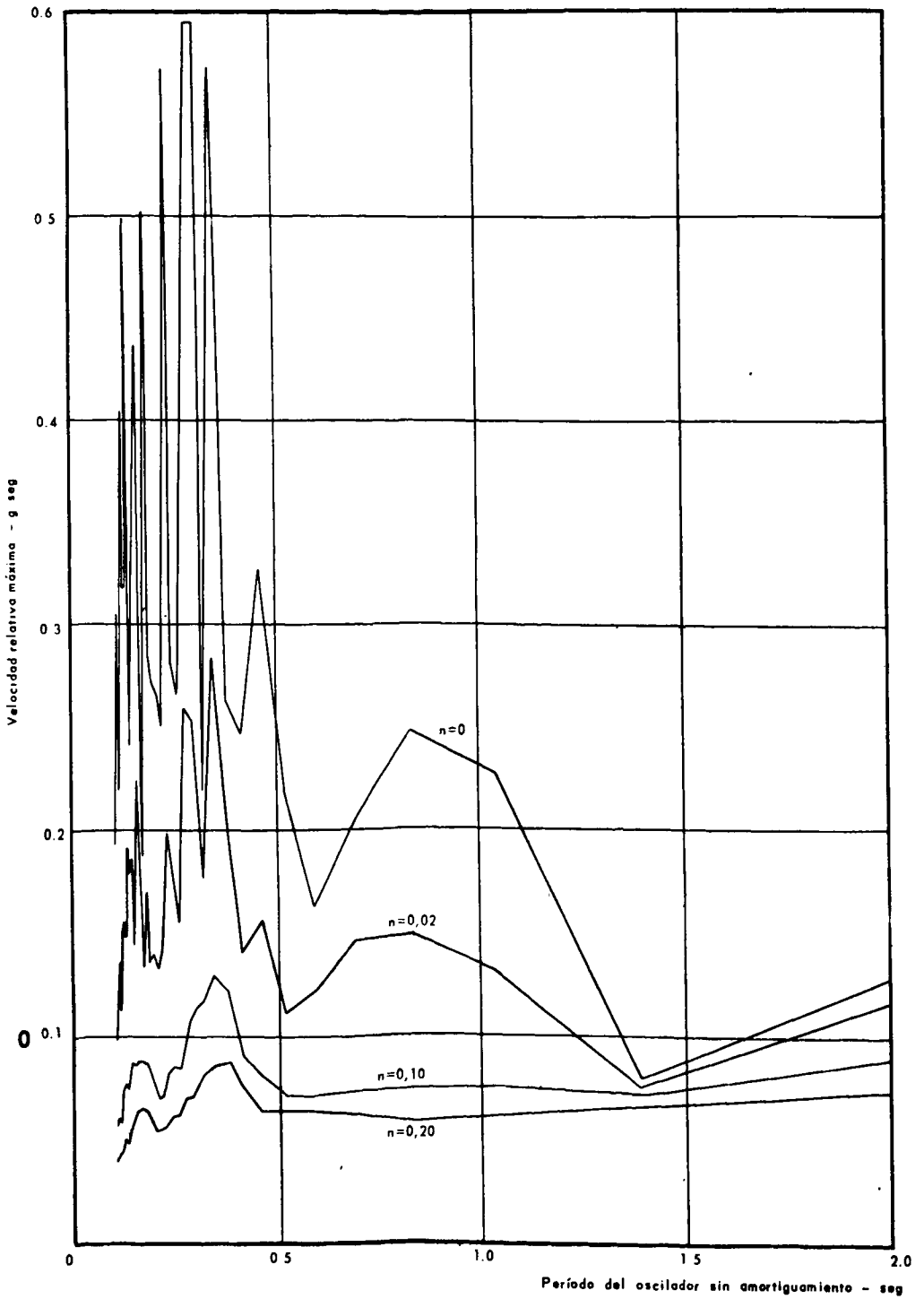


Fig. 1. Espectro de velocidades relativas, Componente S 80° W.

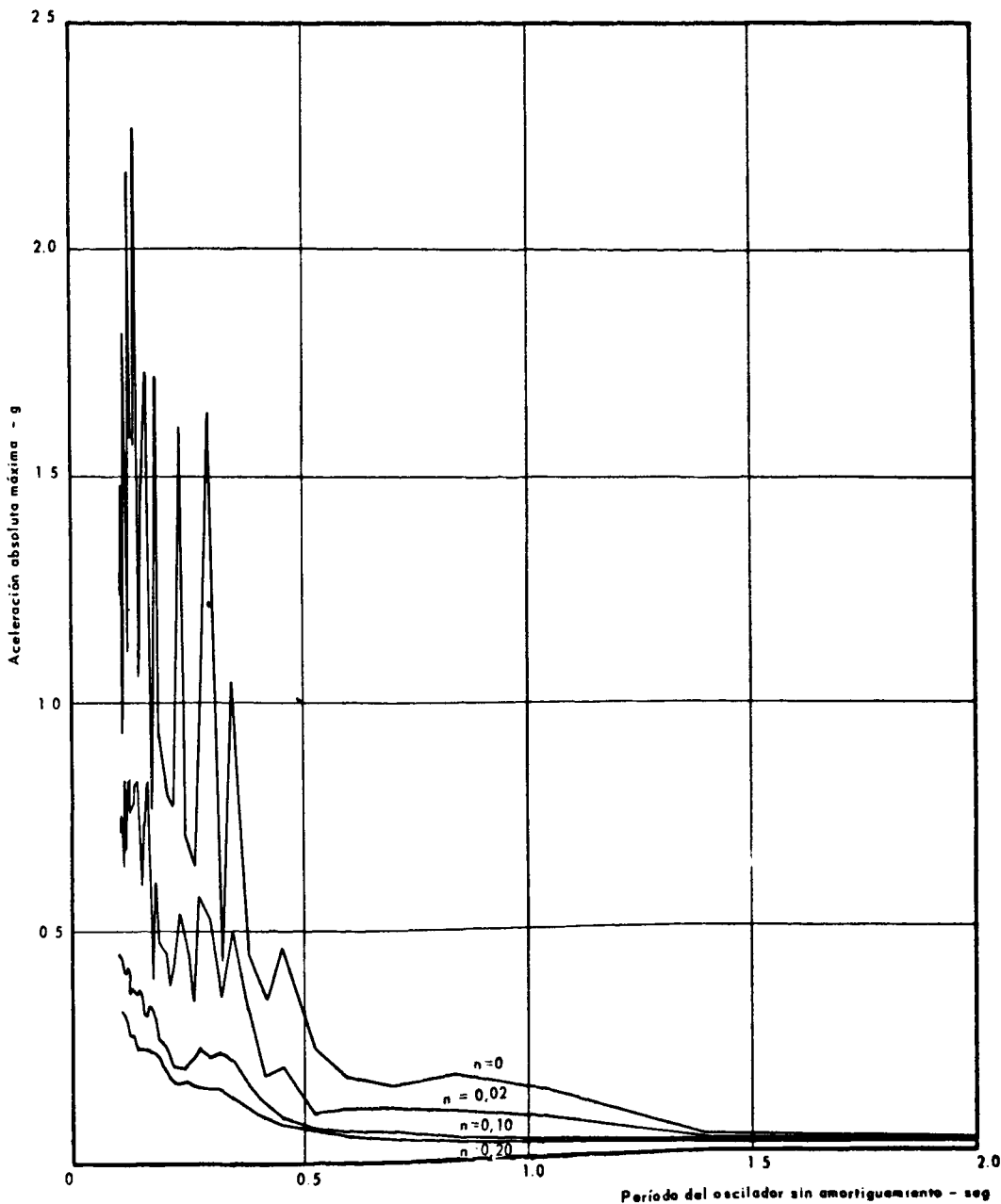


Fig. 2. Espectro de aceleraciones absolutas. Componente S80°W

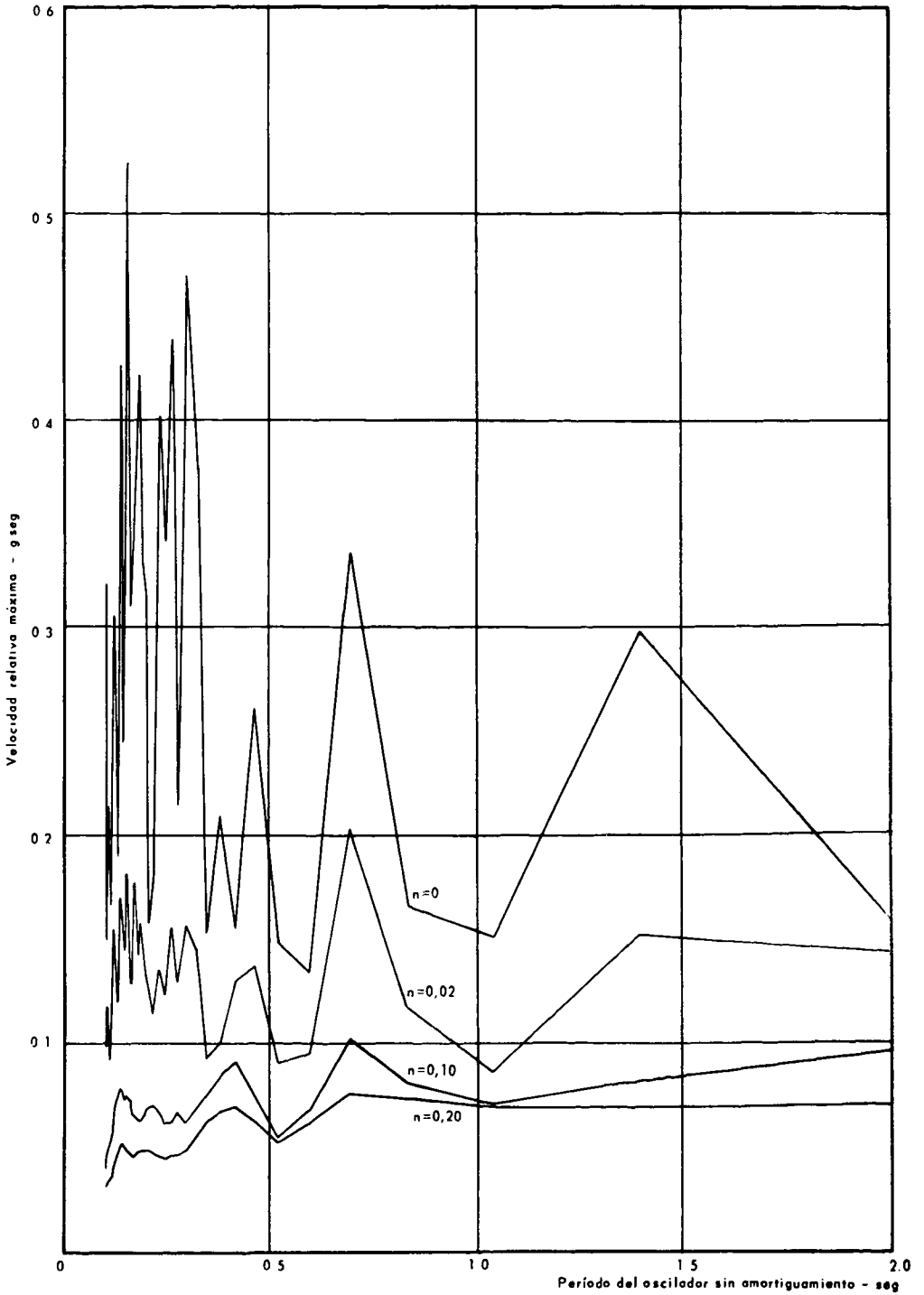


Fig. 3. Espectro de velocidades relativas. Componente N 10° W

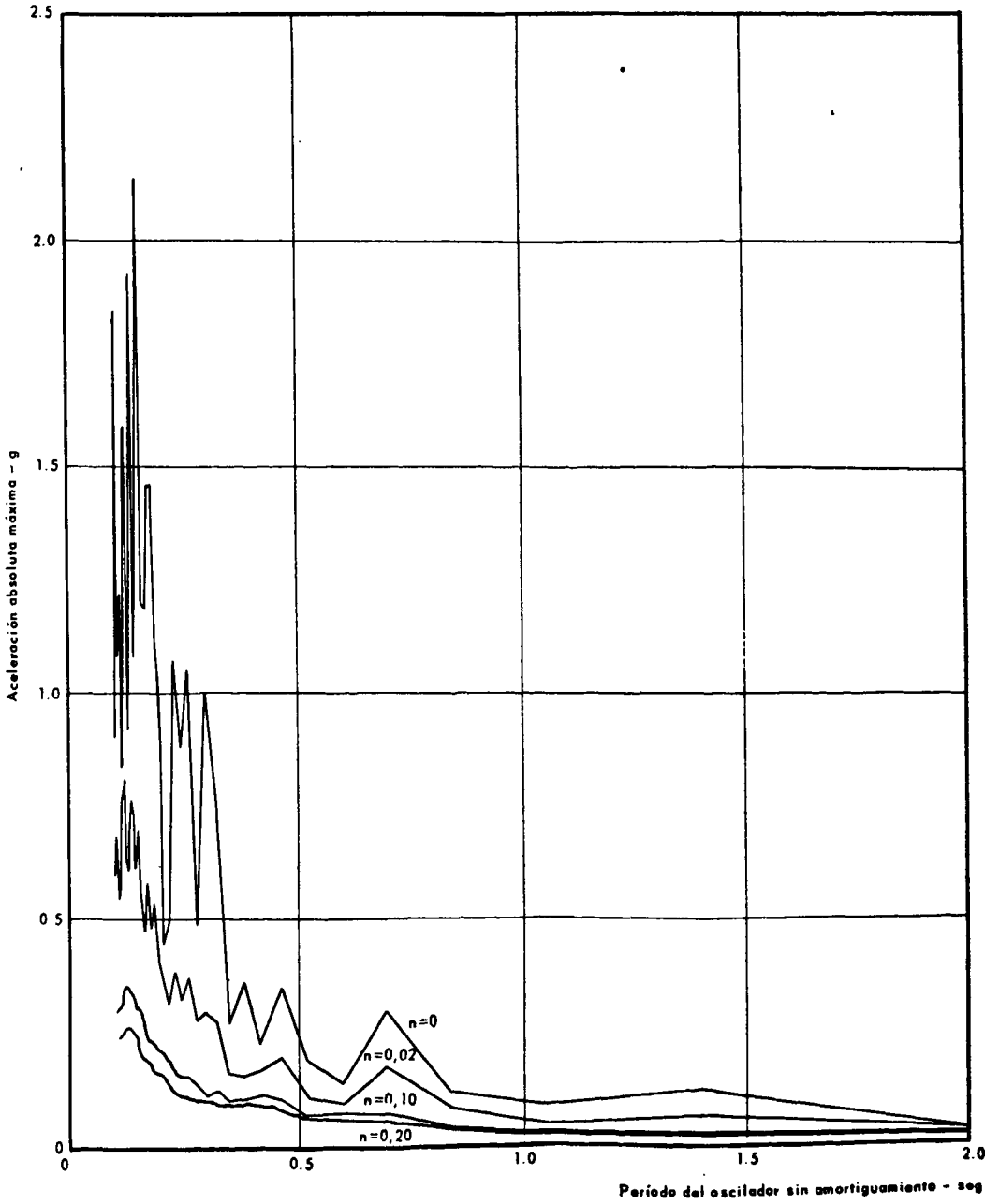


Fig. 4. Espectro de aceleraciones absolutas. Componente N 10° W.

trucciones en las capas superficiales la que modifica el resultado del instrumento.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la guía y colaboración en este trabajo del Prof. Sr. Arturo Arias. También agradece al ingeniero Sr. Fernando Vildósola, Director del Centro de Computación de la Universidad de Chile por la preferencia con que acogió este trabajo.

REFERENCIAS

1. LEPE, J., y TORRES, R. "Péndulo de torsión en el análisis sísmico". Memoria para optar al título de ingeniero civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile, Santiago, 1950.
2. ARIAS, A., y PETIT-LAURENT, L. "Funciones de autocorrelación y densidades de potencia de acelerogramas de movimientos fuertes". Revista del IDIEM, vol 3, nº 3.(noviembre 1964), pp. 147-192.
3. HUDSON, D.E. "The measurement of ground motion of destructive earthquakes". Bulletin of the Seismological Society of America, vol 53, nº 2 (febrero 1963), pp. 419 - 437.
4. ZURMUHL, R. "Praktische Mathematik", capítulo VI, 3.3, Springer-Verlag, Berlin, 1961.

COMPUTATION OF RESPONSE SPECTRA FOR SANTIAGO OF EARTHQUAKE OF MARCH 28, 1965

SUMMARY:

By means of the numerical integration of the digitated accelerogram for Santiago earthquake of March 28, 1965, the response spectra of relative velocity and absolute acceleration has been obtained. The description of the method and the results for the two components are presented in this report.