

# MICRORREGIONALIZACION SISMICA DE LA CIUDAD DE VALDIVIA, CHILE\*

Eugenio RETAMAL\*

Pedro ORTIGOSA\*\*

Carmen NORAMBUENA\*\*\*

José VEIGA\*\*\*

## RESUMEN

*Se presenta una microrregionalización sísmica de la ciudad de Valdivia, hecha basándose en toda la información disponible sobre el subsuelo, complementada por perfiles sísmicos, medidas en laboratorio de la velocidad de ondas de corte, registros de microtrepidaciones y sondajes. Se usaron tres métodos: amplificación de ondas sísmicas, registros de microtrepidaciones y método soviético.*

*Las principales conclusiones son: 1) la ciudad de Valdivia se dividió en cuatro zonas sísmicas; 2) el período equivalente calculado por el método de la amplificación de ondas sísmicas parece representativo del período fundamental del subsuelo; 3) las zonas sísmicas se pueden definir en forma práctica y con un buen grado de aproximación por el método soviético; y 4) hace falta la instalación de acelerógrafos para verificar los resultados obtenidos.*

## INTRODUCCION

La experiencia mundial recogida en los últimos tiempos evidencia que un mismo terremoto produce efectos muy diferentes en las estructuras según sea

---

\*Este trabajo fue presentado al 1<sup>er</sup> Congreso de Sismología e Ingeniería Antisísmica de Perú, septiembre de 1969.

\*\*Profesor de Mecánica de Suelos en la Escuela de Ingeniería, Universidad de Chile, Jefe de la Sección de Mecánica de Suelos de IDIEM.

\*\*\*Profesor de Mecánica de Suelos en la Escuela de Ingeniería, Universidad de Chile. Profesor de Mecánica de Suelos en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica Federico Santa María, Ingeniero investigador en IDIEM.

\*\*\*Ayudante investigador en IDIEM

el tipo de suelo de fundación. Dos grupos de fenómenos explican este comportamiento:

- a) La amplificación selectiva del movimiento debido a diferencias de rigidez de los estratos y a la reflexión múltiple de las ondas en las fronteras de dichos estratos.
- b) Los efectos que producen los sismos sobre suelos blandos, sensibles o sueltos, sobre todo cuando la napa freática se encuentra cerca de la superficie (asentamientos, licuación, etc.).

Con los conocimientos actuales resulta imposible predecir con exactitud los terremotos, pero se pueden atenuar sus efectos circunscribiendo los daños producidos por ellos. Un medio práctico para lograr este fin es la zonificación sísmica, cuyo objetivo es la división de un territorio en áreas con diferente riesgo sísmico y, por lo tanto, con diferentes requerimientos en el diseño de estructuras antisísmicas. La zonificación misma se logra en dos etapas: El primer paso consiste en compilar mapas que prevean la sismicidad del territorio, es decir, identificar zonas pertenecientes a clases diferentes de energía o magnitud en base a datos sismométricos y geológicos. El segundo paso consiste en compilar mapas de zonificación sísmica en los cuales se prevea la intensidad en las diferentes zonas.

El término microrregionalización involucra este concepto de zonificación, pero aplicado en áreas pequeñas y cuyo objetivo final es la división de un determinado territorio en microzonas de características sísmicas diferentes una de otra y semejantes u homólogas dentro de cada una de ellas.

En mayo de 1960, dos fuertes terremotos afectaron la zona sur de Chile, siendo Valdivia una de las ciudades más afectadas. Los antecedentes geológicos y de mecánica de suelos de esta ciudad establecen la existencia de diferentes tipos de suelos; esta variabilidad en la calidad del suelo de fundación motivó la conveniencia de realizar una microrregionalización sísmica.

Los métodos de microrregionalización utilizados corresponden a técnicas desarrolladas en diferentes países respondiendo a la necesidad ineludible de contar con normas locales de diseño y construcción para proteger las obras del riesgo sísmico.

En Japón, Kanai propuso una teoría de amplificación que fue adoptada y complementada posteriormente por Duke y Matthiesen en Estados Unidos. Esta teoría representa al suelo según el modelo de Voigt, que supone un sistema formado por capas horizontales de materiales homogéneos e isótropos y que se comportan como sólidos viscoelásticos. Al ser excitada la capa inferior o basamento rocoso por vibraciones sísmicas, el movimiento se trasmite a la superficie y sus características en ella dependerán de la naturaleza de tales

vibraciones y de las propiedades de las diversas capas intermedias que actúan como filtro. Este efecto, que cambia según el período de las ondas incidentes, se representa en una curva amplificación - período, denominada espectro de amplificación. Idealmente, la microrregionalización requiere la confección de modelos dinámicos del suelo en diferentes áreas para definir los correspondientes espectros de amplificación y de éstos los espectros de respuesta y los coeficientes que se usarán en el diseño. Sin embargo, esta idealización presenta dificultades prácticas en la determinación de los parámetros que definen el modelo dinámico de un suelo, por lo cual se han desarrollado procedimientos más simples.

Dentro de los procedimientos prácticos de microrregionalización están los de Kanai, Tanaka y Osada en Japón y el de Medvedev en URSS. El primeramente mencionado se basa en la medición de las amplitudes y períodos de los microtemblores, lo que permite ubicar al suelo dentro de una clasificación preestablecida. El método de Medvedev permite comparar las intensidades MSK que un mismo sismo produce en dos suelos adyacentes, a través de una relación semiempírica obtenida como resultado del estudio de 34 terremotos destructivos en URSS, en la que considera la rigidez sísmica de las capas superficiales y la posición del nivel freático con respecto a la superficie.

## MICRORREGIONALIZACION BASADA EN EL METODO DE AMPLIFICACION DE ONDAS SISMICAS

La experiencia mundial en terremotos destructivos, resumida en un informe de Duke<sup>1</sup>, ha demostrado que las condiciones del suelo y la geología local gobiernan en marcado grado el daño que una estructura experimenta durante un sismo.

Desde 1930 ha habido contribuciones a la teoría de amplificación de ondas sísmicas debida a estratos superficiales. Notables entre éstas han sido las de los sismólogos japoneses Sezawa, Kanai y Takahasi<sup>2</sup>.

El caso más general de amplificación de ondas sísmicas por suelos estratificados considera que un tren de ondas planas de tipo sinusoidal pasa verticalmente desde el basamento rocoso a un sistema de suelo estratificado. Este sistema consiste en una sucesión de estratos horizontales semi-infinitos, de espesor, densidad, velocidad de propagación de ondas y viscosidad definidos. Resolviendo las ecuaciones de este movimiento se puede obtener la razón en función de frecuencias entre el movimiento en la superficie del sistema de suelo estratificado y el movimiento en la superficie de un sistema

no estratificado constituido por roca (espectro de amplificación).

El conjunto formado por el sistema de estratos y el basamento rocoso, con las características promedios que lo definen, constituye el modelo dinámico de un lugar. El gráfico de la amplificación del movimiento de ondas sísmicas a través de un sistema de suelo estratificado, en función de la frecuencia o período de la onda sinusoidal incidente, es el espectro de amplificación de una estación representada por su modelo dinámico.

El espectro de amplitudes de Fourier de un registro de desplazamiento, velocidad o aceleración obtenido en un afloramiento de roca para un determinado sismo, puede ser multiplicado por los espectros de amplificación de diversas estaciones para obtener los espectros de Fourier en la superficie correspondientes a las estaciones y al sismo considerados.

En general, el modelo dinámico representa una simplificación de la situación durante la transmisión de ondas sísmicas a través del suelo; en efecto, puede esperarse que durante un sismo, desviaciones no lineales de las características supuestas del subsuelo y la naturaleza transiente de la excitación produzcan una considerable modificación de la solución. Sin embargo, si el modelo dinámico se utiliza en el sentido de comparar el comportamiento del suelo de diferentes estaciones, los errores introducidos por estas desviaciones tendrían una importancia menor; éste ha sido el objetivo perseguido al aplicar la teoría de amplificación a los suelos de la ciudad de Valdivia.

El acelerograma registrado en la roca durante un sismo, previa su digitalización y ajuste, se analiza por medio de su espectro de amplitudes de Fourier, técnica que permite conocer sus componentes de frecuencia y que tiene la ventaja de ser de fácil aplicación. Obtenidos los espectros de amplitud de Fourier de las aceleraciones en la superficie, después de multiplicar el espectro de amplitudes de Fourier del acelerograma en roca por los respectivos espectros de amplificación de las estaciones, puede establecerse su comparación llevándolos a una forma adimensional. La reducción de los espectros de amplitudes de Fourier del movimiento en la superficie a la forma adimensional, se logra utilizando los conceptos de intensidad y frecuencia equivalente.

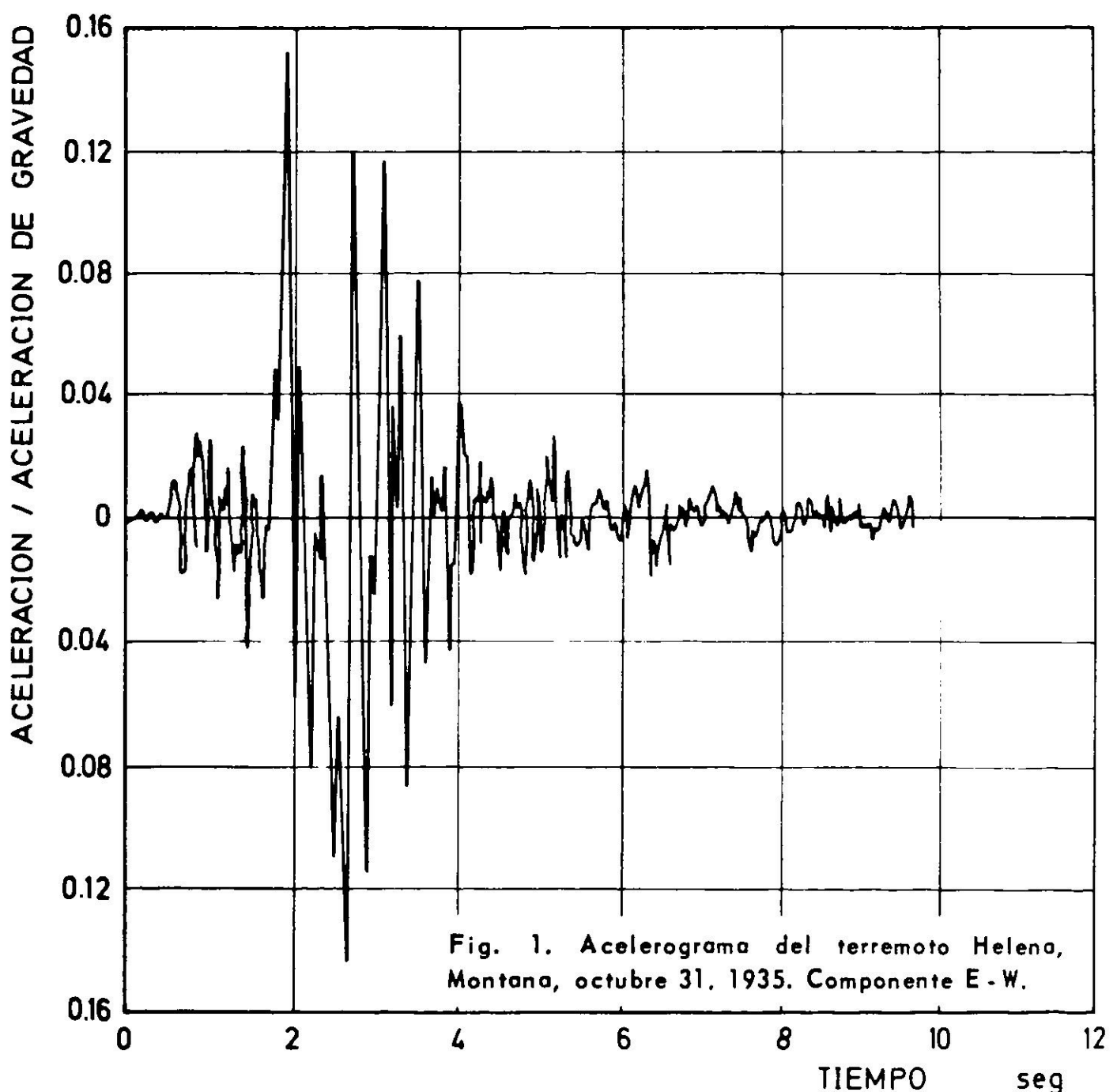
Arias, Lange y Arnold<sup>3</sup> establecieron una nueva medida de intensidad de un sismo definiéndola como el área contenida bajo el espectro de energía disipada, por unidad de peso, por una población de osciladores lineales con amortiguamiento viscoso, cuyas frecuencias están distribuidas uniformemente entre  $0$  e  $\infty$ . Mediante relaciones matemáticas demostraron que esta definición equivale a la integración del cuadrado del espectro de amplitudes de Fourier de un registro de aceleraciones dividido por  $2g$ .

Por otra parte, Lin<sup>4</sup> dio una definición para la frecuencia equivalente de un proceso aleatorio gaussiano de banda estrecha en función del espectro de Fourier. El proceso aleatorio es en este caso el sismo y la frecuencia equivalente corresponde a la frecuencia propia de vibración del suelo.

Si en el espectro de amplitudes de Fourier de las aceleraciones en la superficie se divide respectivamente la ordenada y la abscisa por la intensidad y la frecuencia equivalente así definidas, se obtiene el espectro en la forma adimensional requerida para efectuar las correspondientes comparaciones con otros espectros<sup>5</sup>.

### *Aplicación a la ciudad de Valdivia*

Todos los conceptos aquí establecidos fueron aplicados a 12 estaciones dentro de la ciudad de Valdivia, con el fin de estudiar el comportamiento de su subsuelo frente a un sismo. Al no contar con un registro de aceleraciones de algún sismo en la ciudad de Valdivia, se utilizó en el estudio el registro obtenido en un afloramiento rocoso durante el terremoto de Helena, Montana el 31 de Octubre de 1935, Fig. 1.



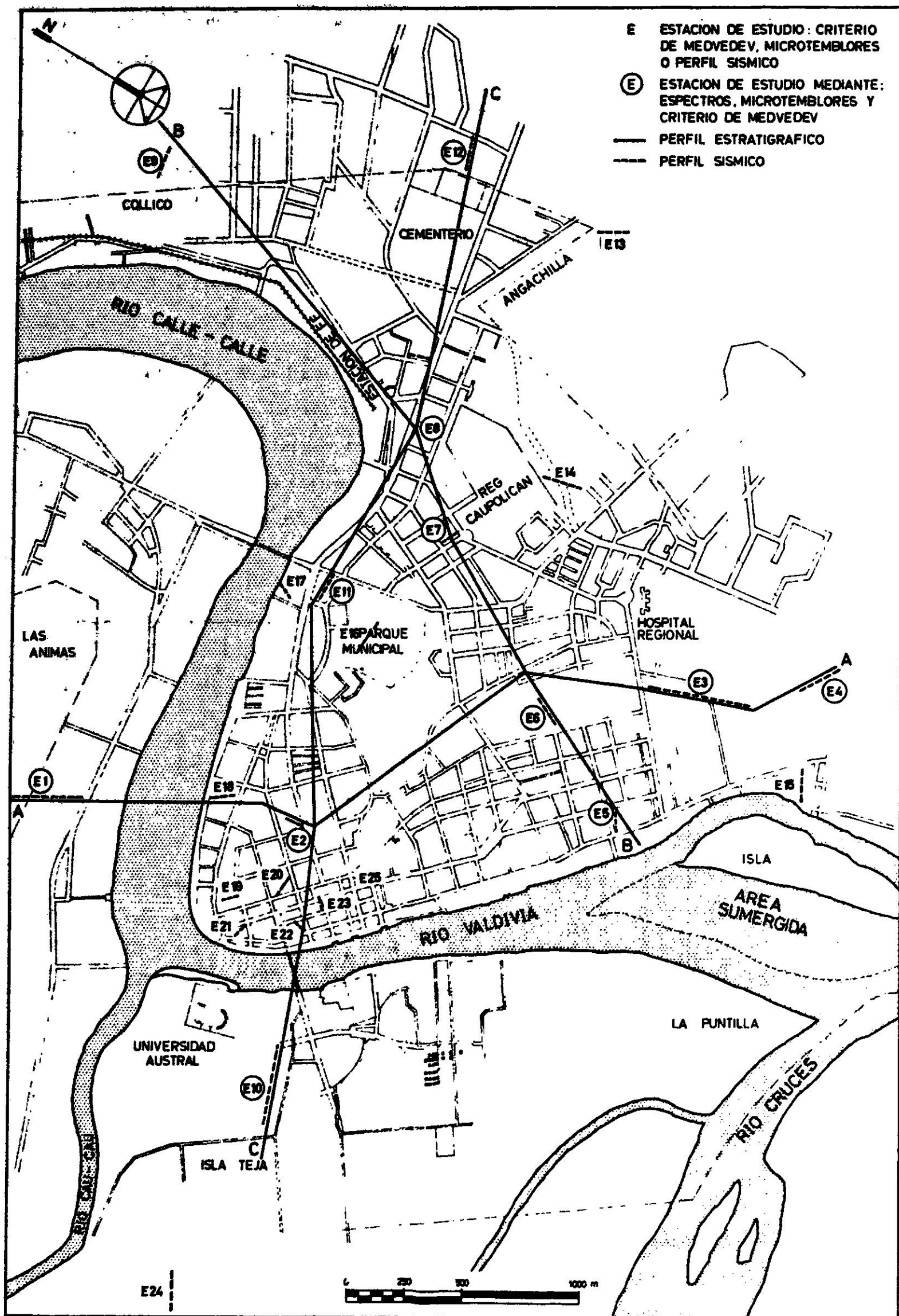


Fig. 2. Plano ubicación de las estaciones.

**Obtención de los modelos dinámicos.** Se seleccionaron 12 estaciones de estudio cuya ubicación en planta se muestra en Fig. 2. Los valores usados para la elaboración de los modelos dinámicos se obtuvieron de la información existente del subsuelo de la ciudad, la que fue complementada con prospecciones sísmicas, determinación de velocidades de propagación de ondas de corte en laboratorio y sondajes.

**Profundidad del basamento rocoso.** La profundidad del basamento rocoso usada, se obtuvo del trabajo realizado por Mena y Rengifo<sup>6</sup>, quienes determinaron la profundidad de la roca en base a una prospección gravimétrica, para diferentes áreas de la ciudad. Esta determinación fue verificada y complementada con las prospecciones sísmicas.

**Espesor de los estratos.** La información existente para el subsuelo de la ciudad, constituida por informes de sondajes realizados por IDIEM, Empresa Nacional de Aguas Subterráneas (ENDAS) e Instituto de Investigaciones Geológicas (IIG) y la prospección gravimétrica<sup>6</sup>, fue complementada con prospecciones sísmicas en diversos lugares de la ciudad y con sondajes poco profundos en las estaciones 7, 10 y 12. Con ello se elaboraron tres perfiles estratigráficos que pasan por las estaciones de estudio, fijando el espesor de los estratos en cada una de ellas. Estos perfiles se indican en la Fig. 3 y su ubicación en planta se muestra en la Fig. 2.

**Densidades.** Las densidades para los primeros 10 a 20 metros se obtuvieron de informes de sondajes realizados por IDIEM<sup>8</sup>, para estudios de fundaciones de estructuras en la ciudad. Para profundidades mayores, las densidades se determinaron fundamentalmente sobre la base de un sondaje ubicado en la estación 2 (60 m de profundidad), realizado por IDIEM con fines de investigación<sup>7</sup>. En los lugares donde no fue posible obtener valores de densidad exactos, éstos se estimaron por mediciones en materiales similares a profundidades comparables.

**Velocidades de ondas de corte.** Hasta la fecha los autores no conocen un método práctico, económico, y de resultados fidedignos, que permita medir las velocidades de propagación de las ondas de corte en el terreno. En consecuencia, fue necesario efectuar una estimación de las velocidades de propagación de estas ondas para los diferentes estratos de suelo. Esta estimación se realizó utilizando como base las velocidades de ondas longitudinales medidas en terreno y determinaciones de la velocidad de ondas de corte en laboratorio<sup>8, 9, 10, 11</sup>.

**Viscosidad.** Debido al poco conocimiento general acerca de la viscosidad de

---

<sup>8</sup>No fue posible utilizar informes de sondajes de ENDAS e IIG, debido a que no proporcionan propiedades índices del suelo.

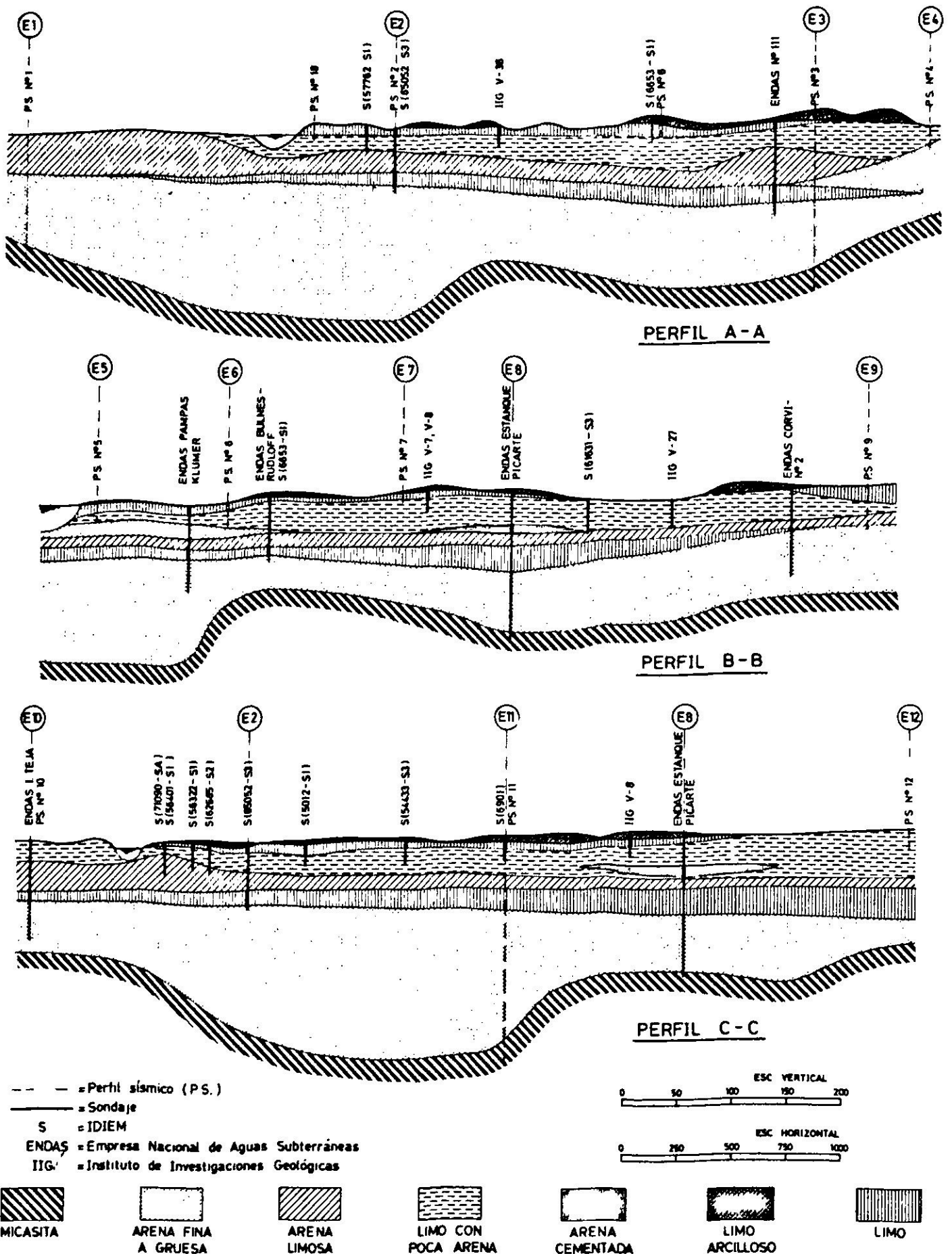


Fig. 3. Perfiles estratigráficos.

un suelo, la determinación de este parámetro para los diferentes estratos se efectuó basándose en valores propuestos por otros investigadores para algunos tipos de suelo. Para realizar una mejor estimación de la viscosidad para los diferentes tipos de suelo de la ciudad se confeccionó un gráfico que representa una variación lineal de la viscosidad con la rigidez sísmica del suelo; dicho gráfico fue obtenido considerando para el basamento rocoso, de alta rigidez sísmica, una viscosidad nula, y, para suelos sueltos, de baja rigidez sísmica, una de 0,60 (ton.seg/m).



Con los parámetros así determinados para todos los estratos de las diferentes estaciones, se elaboraron los modelos dinámicos. En la Fig. 4 se presentan los modelos más representativos.

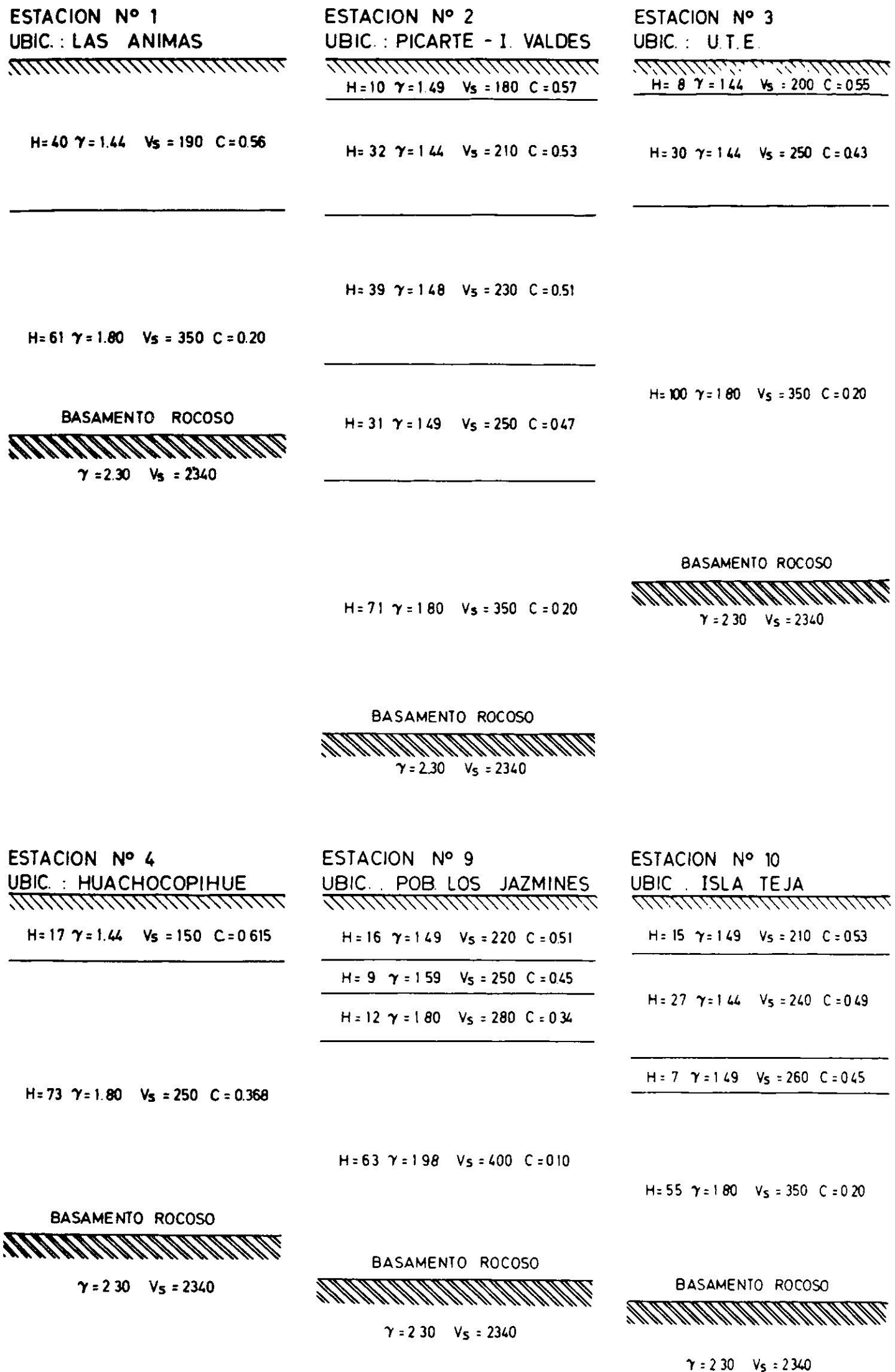


Fig. 4. Modelos dinámicos. H = espesor de estratos, m.  $v_s$  = velocidad de propagación de ondas de corte, m/seg.  $\gamma$  = peso unitario, t/m<sup>3</sup>. c = viscosidad, t.seg/m.

**Resultados.** En las Figs. 5 y 6 se entregan, para las estaciones correspondientes a los modelos dinámicos presentados, los gráficos del espectro de amplificación, el espectro de amplitudes de Fourier para las aceleraciones del movimiento en la superficie y este espectro de Fourier en la forma adimensional. En la Tabla I están tabulados, para todas las estaciones y para el basamento rocoso, la frecuencia equivalente, la intensidad según Lange, y los incrementos de intensidad en grados Mercalli, con respecto a la roca basal (micasita).

**TABLA I**  
**RESULTADOS DE LA APLICACION DEL METODO**  
**DE AMPLIFICACION DE ONDAS SISMICAS**

Estación Nº	Ubicación	Período equivalente seg	Intensidad I m/seg	Intensidad* I m/seg	Incremento** intensidad I.M.M.
1	Las Animas	0.412	0.064	1.39	0.92
2	Picarte-J. Valdés	0.334	0.042	0.91	0.74
3	Terrenos U.T.E.	0.270	0.053	1.13	0.84
4	Huachocopihue	0.415	0.055	1.19	0.86
5	G. Lagos-Domeyko	0.324	0.061	1.33	0.93
6	C. Escobar	0.364	0.088	1.91	1.04
7	Reg. Caupolicán	0.311	0.087	1.89	1.04
8	Estanque Picarte	0.314	0.056	1.23	0.87
9	Pob. Los Jazmines	0.334	0.107	2.34	1.12
10	Isla Teja	0.358	0.067	1.46	0.94
11	Picarte-P. Montt	0.327	0.059	1.28	0.88
12	Pob. G. de Castro	0.395	0.059	1.30	0.89
	Basamento rocoso	0.199	0.006	0.13	0.00

\*Intensidades corregidas a partir del valor calculado por Lange por integración directa del acelerograma. I = intensidad sísmica según Arias, Lange y Arnold.

\*\*Incremento de la Intensidad Mercalli Modificada con respecto a la roca basal (micasita).  
I.M.M.  $\approx 7,25 + 0.89 \log I$ .

## MICRORREGIONALIZACION SISMICA BASADA EN LA MEDICION DE MICROTEMBLORES

El suelo esta siempre vibrando con amplitudes del orden del micrón y períodos que alcanzan a los 2 segundos. Tales vibraciones se llaman microtrepidaciones y son causadas por perturbaciones tales como el viento o excitaciones propias de una ciudad.

Los investigadores japoneses K. Kanai, T. Tanaka y K. Osada<sup>12,13,14</sup> realizaron un gran número de medidas sistemáticas de microtemblores en diversos tipos de suelos. De estas investigaciones se encontró que la distribución de

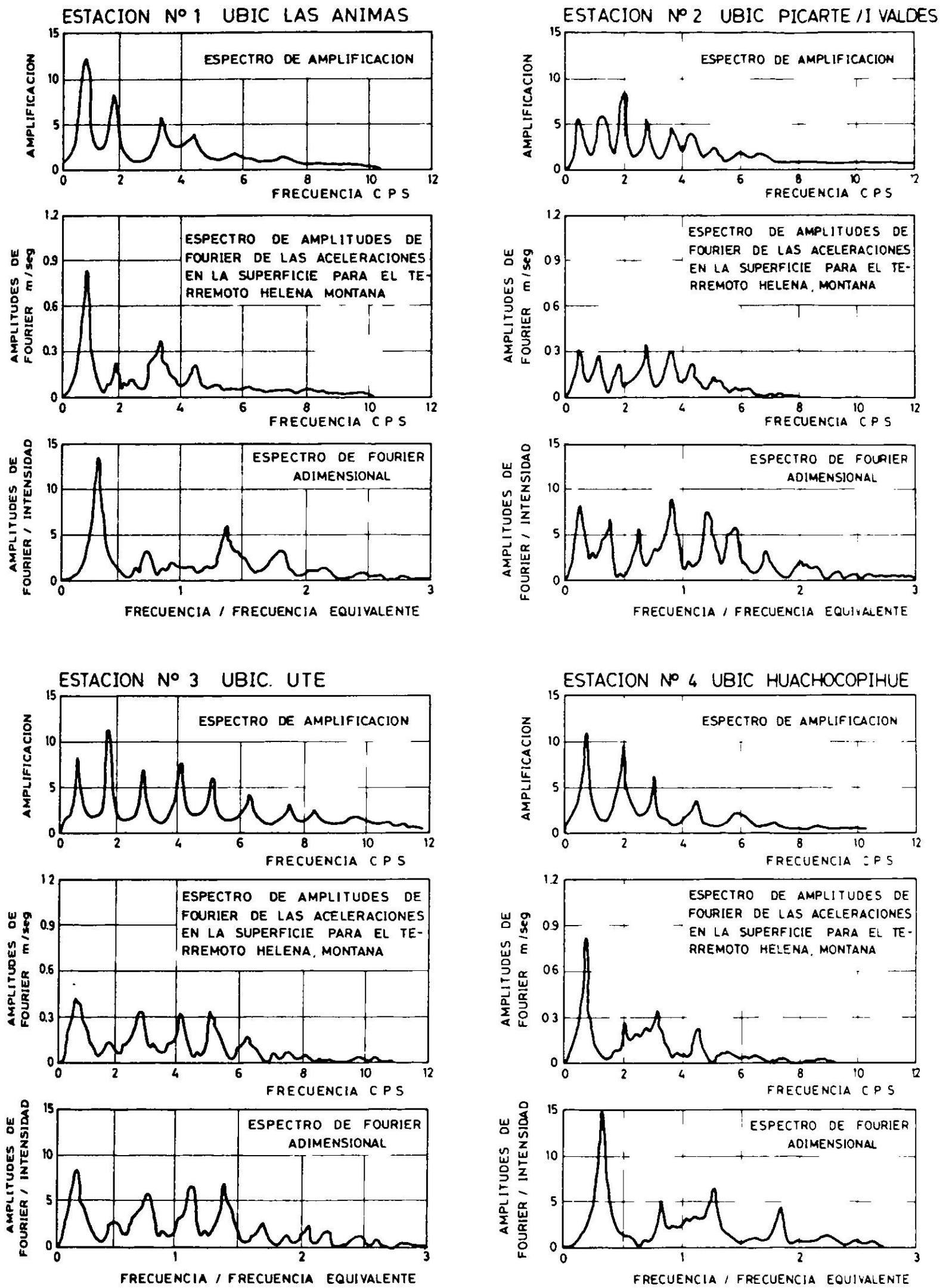


Fig. 5. Espectros de amplificación y de Fourier del sismo Helena, Montana.

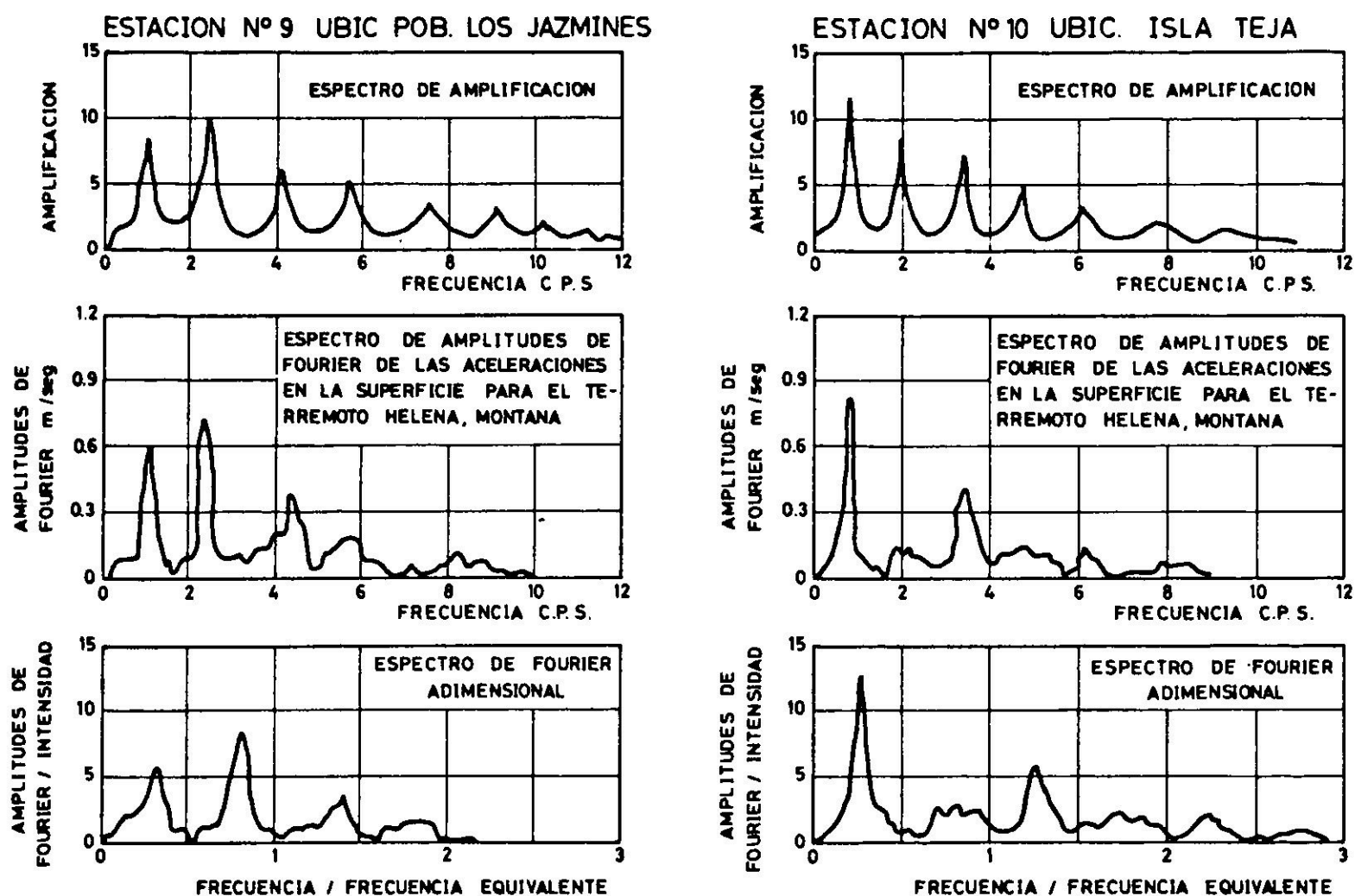


Fig. 6. Espectros de amplificación y de Fourier del sismo Helena, Montana.

los períodos de microtrepidaciones en un diagrama de frecuencias o histograma muestra formas definidas para los respectivos tipos de suelo, y que la forma de dichos histogramas es similar a la que representan los histogramas de frecuencia de sismos (macrovibraciones) registrados en el mismo lugar. De aquí que la medición de macrotrepidaciones se haya constituido en una técnica con dos aplicaciones fundamentales: permite clasificar el suelo de fundación sobre la base de la distribución de períodos y permite elaborar espectros de aceleraciones utilizables directamente en el diseño de estructuras.

Los registros de microtrepidaciones (registros de desplazamientos) se analizan comúnmente con el método de la distribución de intervalos que cruzan la línea cero<sup>12</sup>. Otros análisis de microtrepidaciones se logran a través del espectro de amplitudes de Fourier y el espectro de potencia, para lo cual se utiliza el registro de microtrepidaciones como equivalente a un registro de desplazamiento de un sismo en la superficie del suelo.

**Resultados.** Los parámetros obtenidos de los registros de microtrepidaciones para entrar a los diagramas de clasificación de Kanai se exponen en la Tabla II. En la Tabla III se presentan los resultados obtenidos al introducir los parámetros en los diagramas de clasificación.

TABLA II

PARAMETROS PARA CLASIFICAR EL SUELO DE LA CIUDAD DE VALDIVIA SEGUN EL METODO DESARROLLADO POR KANAI

Estación Nº	Período equivalente seg	Período predominante seg	Período medio seg	Período mayor seg	Mayor amplitud micrones
1	0.283	0.364	0.297	0.823	0.162
2	0.232	0.364	0.284	0.643	2.978
3	0.206	0.298	0.213	0.478	0.336
4	0.200	0.298	0.254	0.867	1.572
5	0.097	0.090	0.125	0.599	7.700
6	0.284	0.364	0.379	0.725	0.458
7	0.082	0.090	0.095	0.385	16.081
8	0.172	0.109	0.178	0.667	5.590
9	0.162	0.200	0.186	0.730	0.817
10	0.135	0.298	0.175	0.998	0.236
11	0.109	0.109	0.126	0.489	2.186
12	0.095	0.090	0.097	0.435	1.316
14	0.189	0.244	0.197	0.628	0.132
25	0.246	0.298	0.311	0.744	0.919

TABLA III

CLASIFICACION DEL SUELO DE LA CIUDAD DE VALDIVIA  
SEGUN EL METODO DESARROLLADO POR KANAI

Estación	Primera clasificación	Segunda clasificación	Clasificación propuesta
1	II	II	III
2	II	IV	III - IV
3	I - II	II - III	II
4	II	III - IV	II - III
5	I - II	IV	II - III
6	II - III	II - III	II - III
7	I	IV	II - III
8	I - II	IV	II - III
9	II	III	II
10	II - III	II	II - III
11	I	III - IV	III - IV
12	I	III	II - III
14	I - II	I - II	II - III
25	II	III	III - IV

### MICRORREGIONALIZACION SISMICA POR EL METODO SOVIETICO

La estimación del efecto producido por las características del subsuelo en la intensidad sísmica tiene especial importancia en la ingeniería antisísmica. E

estudio sistemático de este problema, que ocupó a los investigadores soviéticos desde fines del siglo pasado, demuestra que suelos con propiedades físicas diferentes llevan asociados cambios esenciales de intensidad durante la ocurrencia de un sismo. Estos cambios o incrementos de intensidad sísmica dependen de las características del suelo y son controlados principalmente por la profundidad del estrato y sus propiedades físico mecánicas.

La relación entre la velocidad de propagación de las ondas sísmicas y las propiedades elásticas del medio, permite obtener una dependencia analítica entre los cambios de intensidad sísmica ocurridos durante un sismo y las propiedades físicas del suelo. Esta dependencia, que fue sugerida por S.V. Medvedev<sup>15</sup> sobre la base del análisis de los resultados de 34 terremotos destructivos ocurridos en la U.R.S.S., relaciona el incremento de intensidad sísmica con la impedancia (relación entre la rigidez sísmica de dos estratos de suelo) y la posición del nivel freático. La expresión para el incremento de intensidad sísmica, considerando las propiedades físicas del suelo y la posición del nivel freático, es:

$$\Delta_n = 1.67 (\log v_{po} \cdot \rho_o - \log v_{pn} \cdot \rho_n) + \Delta_{nb}$$

En que

$\Delta_n$  Incremento total de intensidad sísmica MSK.

$v_{po}$  Velocidad de propagación de ondas longitudinales en basamento rocoso.

$v_{po} = 3800$  a  $4200$  m/seg en la micacita.

$v_{pn}$  Velocidad de propagación de ondas longitudinales en un suelo.

$\rho_o$  Densidad de la roca.  $\rho_o = 2,30$  t/m<sup>3</sup> para la micacita.

$\rho_n$  Densidad del suelo.

$\Delta_{nb}$  Incremento de intensidad sísmica MSK debido a la posición del nivel freático.

MSK Intensidad sísmica de la escala Medvedev, Sponheuer y Karnik

El término  $\Delta_{nb}$  corresponde a una corrección introducida por el efecto del agua en las características del suelo y tiene los valores que se dan en la Tabla IV.

TABLA IV

CORRECCION DE LA INTENSIDAD SISMICA, EN FUNCION DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO, h

h, (m)	$\Delta_{nb}$ en unidades de intensidad (M.S.K.)
0 - 1	1.0
4	0.5
10	0.0

La profundidad de suelo total que Medvedev considera que tiene influencia en la determinación de los incrementos de intensidades sísmicas, es de 10 metros.

**Resultados.** los incrementos de intensidad sísmica con respecto a la roca basal (micasita), se determinaron sobre la base de la relación anterior y se indican en la Tabla V.

TABLA V

INCREMENTOS DE INTENSIDAD SISMICA CON RESPECTO A LA ROCA BASAL, SEGUN LA EXPRESION SEMI EMPIRICA DE MEDVEDEV

Estación Nº	$b$ m	$\rho_n$ ton/m <sup>3</sup>	$v_{pn}$ m/seg	$H$ m	$\Delta_{na}$ MSK	$\Delta_{nb}$ MSK	$\Delta_n$ MSK
1	1.0	1.44	1000	> 10	1.5	1.0	2.5
2	3.0	1.50	220	2.5	-	-	-
	-	1.55	850	7.5	2.5	0.5	3.0
3	10.0	1.44	900	> 10	1.5	0.0	1.5
4	0.0	1.44	1350	> 10	1.2	1.0	2.2
5	3.0	1.40	500	> 10	2.0	0.5	2.5
6	2.0	1.40	1280	> 10	1.3	1.0	2.3
7	3.0	1.40	1150	> 10	1.4	0.5	1.9
8	4.0	1.49	1400	> 10	1.2	0.5	1.7
9	10.0	1.49	700	> 10	1.6	0.0	1.6
10	3.0	1.48	1000	> 10	1.4	0.5	1.9
11	4.0	1.48	400	> 10	2.1	0.5	2.6
12	3.0	1.42	1500	> 10	1.2	0.5	1.7
20	4.0	1.56	1100	> 10	1.3	0.5	1.8
22	5.0	1.36	280	> 10	-	-	-
	-	1.70	1000	> 10	1.5	0.5	2.0
23	5.0	1.42	270	2.0	-	-	-
	-	1.31	1000	8.0	1.6	0.5	2.1

$b$ , profundidad del nivel freático;  $\rho_n$ , densidad del suelo;  $v_{pn}$ , velocidad de ondas longitudinales en el suelo;  $H$ , espesor de estrato;  $\Delta_{na}$ ,  $\Delta_{nb}$ ,  $\Delta_n$  incrementos de intensidad MSK.

## CONCLUSIONES

1. Para la determinación de un modelo dinámico debe tenerse en cuenta que el número de estratos no influye apreciablemente en el espectro de amplificación cuando hay pequeñas diferencias entre los parámetros que definen dos o más estratos contiguos, y que la profundidad del basamento rocoso y la velocidad de propagación de las ondas de corte especialmente en los estratos superficiales deben conocerse con la mayor exactitud posible. Con respecto a la viscosidad, es necesario encontrar métodos que posibiliten su determinación.

La profundidad del basamento rocoso determinada por la prospección

gravimétrica coincidió con la determinada mediante las prospecciones sísmicas.

2. El período equivalente calculado por el método de amplificación de ondas sísmicas parece representar, en buena medida, el período fundamental de vibración del sistema de suelo.
3. La intensidad sísmica definida por Arias y Lange, calculada mediante el método de amplificación de ondas sísmicas, no dio resultados acordes con los otros métodos utilizados. Esta discrepancia se debería fundamentalmente al error involucrado en la estimación de la viscosidad del suelo, a que los parámetros del modelo dinámico no son suficientes para considerar las fallas locales de estratos superficiales (por ejemplo, licuación, deslizamientos, etc.) y a la influencia de los posibles errores inherentes al método de amplificación de ondas sísmicas<sup>11</sup>. Por otra parte, el sismo utilizado no corresponde a uno registrado en la ciudad de Valdivia.
4. El método desarrollado por Kanai da una clasificación del suelo coincidente con la obtenida por el método soviético.
5. Para la ciudad de Valdivia los suelos de topografía baja, asociados a la menor profundidad del nivel freático y a los mayores espesores de los rellenos artificiales, tienen un comportamiento peor frente a los suelos de topografía alta.
6. La ciudad de Valdivia se divide en cuatro microzonas, Fig. 7, para las cuales se entregan los períodos fundamentales de vibración del suelo, los incrementos de intensidad sísmica con respecto al tipo de roca local (micasita) y la clasificación de acuerdo a la norma japonesa. Estas microzonas concuerdan con los daños ocasionados por los sismos de mayo de 1960.
7. Con el fin de verificar la validez del método de amplificación de ondas sísmicas es esencial la instalación de un acelerógrafo en roca y un mínimo de dos en la superficie del sistema de suelo; los acelerógrafos en la superficie deberían ubicarse en las vecindades de dos estaciones que tengan modelos dinámicos con marcadas diferencias entre sí. La colocación de dos o más acelerógrafos en la superficie permitiría establecer el grado de validez del método usado; en caso de desviaciones permitiría determinar una nueva función de transferencia (espectro de amplificación) entre el movimiento en el basamento rocoso y el movimiento en la superficie del sistema de suelo.



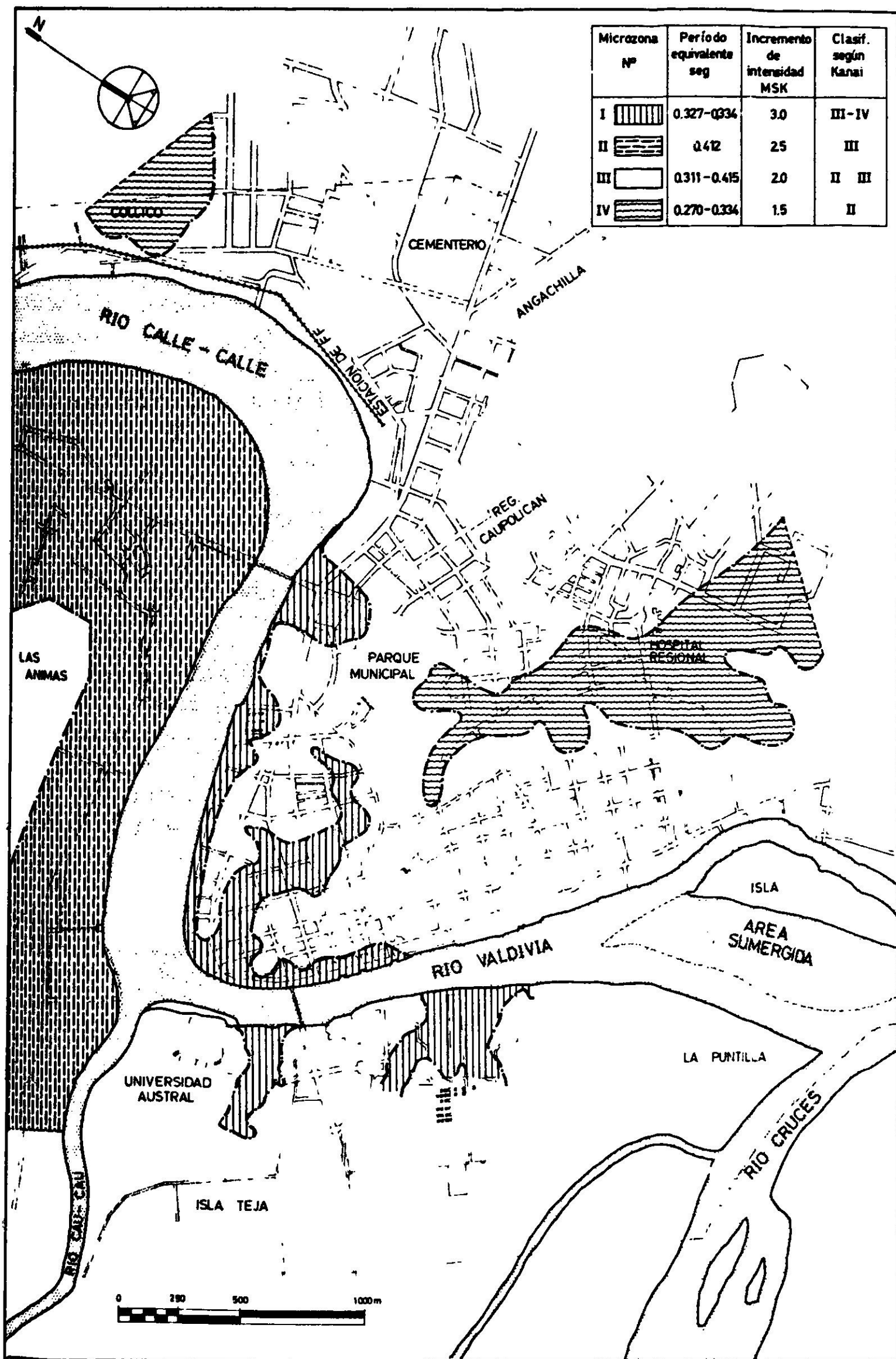


Fig. 7. Microzonas sísmicas de Valdivia.

## REFERENCIAS

1. DUKE, C.M. Effects of ground on destructiveness of large earthquakes. *Proceedings A.S.C.E. Paper 1730*, 1958.
2. DUKE, C.M. Bibliography of effects of soil conditions on earthquake damage. *E.E.R.I.*, California, E.U.A., 1958.
3. ARIAS, A., LANGE, G., y ARNOLD, P. *Una medida de intensidad sísmica*. Primer Congreso Peruano de Ingeniería Antisísmica, Lima, Perú, septiembre, 1969.
4. LIN, Y.K. *Probabilistic theory of structural dynamics*. McGraw Hill, Inc., 1967.
5. ARIAS, A. *Curso de diseño antisísmico*, Escuela de Ingeniería, Universidad de Chile.
6. MENA, I., y RENGIFO, I. *Estudio de una posible consolidación por vibración en el subsuelo de Valdivia durante el terremoto de 1960*. Memoria para optar al título de ingeniero civil, U. de Chile, Santiago, 1967.
7. ACEVEDO, P. *Algunas propiedades físico-químicas del subsuelo de Valdivia*. Memoria para optar al título de ingeniero civil, U. de Chile, Santiago, 1967.
8. CESPEDDES, B. *Método de laboratorio para medir velocidades de ondas de corte en suelos*. Memoria para optar al título de ingeniero civil, Universidad de Chile, Santiago, 1968.
9. HARDIN, B.O. y RICHARDT, F.E. Elastic wave velocities in granular soils. *Proceedings A.S.C.E.*, vol. 89, SM-1, 1963.
10. LAWRENCE, F. Ultrasonic shear wave velocities in sand and clay. *Report 23*, M.I.T. 1965.
11. NORAMBUENA, C., y VEIGA, J. *Microrregionalización sísmica de la ciudad de Valdivia*. Memoria para optar al título de ingeniero civil, Universidad de Chile, Santiago, 1969.
12. TANAKA, T. Period distribution analyser for irregular motions. *Bulletin E.R.I.*, vol. 40, 1962.
13. KANAI, K., TANAKA, T., y OSADA, K. Measurements of the micro-tremor. *Bulletin of the E.R.I.*, vol. 32, Part 2, 1954.
14. KANAI, TANAKA, T. On Microtremors VIII. *Bulletin of the E.R.I.*, vol. 39, 1961.
15. MEDVEDEV, S.V. *Engineering seismology*. Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 1965.
16. BAROZZI, R., y LEMKE, R. *El suelo de fundación de Valdivia*. I.I.G., 1966.
17. LASTRICO, R. *Relación entre los daños en los terremotos de 1960 y los suelos de fundación de Valdivia*. Memoria para optar al título de ingeniero civil, Universidad de Chile, Santiago, 1967.

## BIBLIOGRAFIA

18. POBLETE, M. *El subsuelo del centro de Concepción en relación con el diseño antisísmico*. Memoria para optar al título de ingeniero civil, Universidad de Chile, Santiago, 1967.
19. OPPLIGER, G.M. *Microrregionalización sísmica de la ciudad de Concepción*. Memoria para optar al título de ingeniero civil, Universidad de Chile, Santiago, 1968.
20. KANAI, K. Semi-empirical formula for the seismic characteristics of the ground. *Bulletin of the E.R.I.*, vol. 35, part 2, 1957.
21. MATTHIENSEN, DUKE, LEEDS, FRASER. Site characteristics of Southern California strong-motion earthquake stations, *Report nº 64-15*. Department of Engineering, U.C.L.A., 1964.
22. BRADY, A. *Studies of response to earthquake ground motion*. California Institute of Technology, 1968.

23. PIPES, L. *Matemáticas aplicadas para ingenieros y físicos*. McGraw Hill, Inc. 2da. edición, 1963.

#### MICROSEISMIC REGIONALIZATION OF THE CITY OF VALDIVIA

##### SUMMARY:

*A microseismic regionalization of the city of Valdivia was performed using all the available subsoil information, which was complemented by seismic profiles, laboratory measurements of shear wave velocities, microtremor records and borings. Three methods were used: seismic waves amplification, microtremor records and the Soviet method.*

*The main conclusions are: 1) The City of Valdivia was divided into four seismic microzones; 2) the equivalent period computed by using the seismic waves amplification method seems to be representative of the subsoil fundamental period; 3) seismic zones can be defined in a practical way and with a good degree of approximation using the Soviet method; and 4) an accelerograph installation is necessary to check the obtained results.*