

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **RELACIÓN ENTRE EL PERÍODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DEL SUELO Y EL ESPESOR DE SEDIMENTOS EN LA PARTE OESTE DE LA CIUDAD DE CARACAS, MUNICIPIO LIBERTADOR, MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE NAKAMURA A DATOS OBTENIDOS EN UNA MALLA DE MEDICIONES DE 250 METROS.**

**Tutor académico: Dr. Michael Schmitz**  
**Tutor industrial: Ing. Victor Rocabado**

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela para  
optar al título de Ingeniero Geofísico  
Por el Br.  
Moreno Figuera, Francisco Ramón

Caracas, Noviembre de 2004

## DEDICATORIA

A Vidalia y Francisco, por servirme de guía.

A Claudio, Maria y Mayo, por ser la mas grande inspiración.

A mis hermanos Fran y Francis, por estar allí en todo momento.

A mis hermanos de vida, por todo su apoyo y comprensión.

A Jhoanna, simplemente por todo lo que eres.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Fundación venezolana de investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), por permitir la realización de este proyecto.

Al Dr. Michael Schmitz y al ing. Víctor Rocabado, por toda la guía y apoyo brindado.

A Luis Moros por toda la ayuda durante la ejecución de todo el trabajo.

A todos los compañeros y amigos que de una u otra manera pusieron un granito de arena en pro del trabajo realizado. A todas las personas que de manera directa o indirecta contribuyeron con la culminación de este Trabajo especial de Grado

Moreno F., Francisco R.

## **RELACIÓN ENTRE EL PERÍODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DEL SUELO Y EL ESPESOR DE SEDIMENTOS EN LA PARTE OESTE DE LA CIUDAD DE CARACAS, MUNICIPIO LIBERTADOR, MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE NAKAMURA A DATOS OBTENIDOS EN UNA MALLA DE MEDICIONES DE 250 METROS.**

Tutor Académico: Dr. Michael Schmitz. Tutor Industrial: Ing. Víctor Rocabado.  
Tesis. Caracas U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Departamento de Geofísica. 2004, 78.

**Palabras claves:** Periodo fundamental, espesor sedimentario, relación H/V

### **RESUMEN**

La ciudad de Caracas posee gran cantidad de construcciones verticales de considerable tamaño, con permanente actividad comercial y una densidad de población que aumenta año tras año, esto la hace realmente vulnerable a un evento de naturaleza sísmica. Especialmente el Oeste de la ciudad presenta muchas edificaciones realizadas sin ninguna planificación, lo que las hace aun más sensibles a la hora de que ocurra algún evento sísmico.

El principal objetivo de este trabajo es definir la relación entre el periodo fundamental de vibración del suelo y el espesor de sedimentos según el modelo mas reciente (Kantak, 2001). Además de la densificación de la malla con lo cual se obtiene un mayor detalle, para de esta manera poder identificar zonas que presente un alto riesgo sísmico.

Se efectuaron 350 mediciones a lo largo del Oeste de Caracas, se realizo el procesamiento con la aplicación del método de Nakamura, y con el uso del programa Sesame. Los resultados obtenidos arrojan que el área que presenta un mayor riesgo sísmico en el Oeste de Caracas es la zona de San Bernardino, encontrando en sitios con un espesor sedimentario que va de 90 a 140m, periodos que varían entre 0,9 y 1,3s, siendo estos los valores máximos obtenidos en el trabajo. Por otra parte también se encontraron zonas (sur – este del área de estudio) en las cuales el periodo fundamental tenia valores un poco altos en relación al espesor sedimentario, estas zonas presentan una menor compactación de sus sedimentos. Además se obtuvo el mapa de rangos de amplitud y de Velocidades S.

Por último podemos concluir que luego de la integración de los datos obtenidos en este trabajo y los utilizados por Rocabado en el 2000, se obtuvo una información mas detallada sin presentar ninguna variación considerable en el rango de los datos, manteniéndose las tendencias en la relación espesor sedimentario y periodo fundamental de vibración del suelo. Cabe destacar la utilidad del programa Sesame como herramienta de optimización del trabajo, a la hora del estudio de microtremores, mediante su relación H/V.

## INDICE

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
RESUMEN.....	v
Lista de Tablas .....	ix
Lista de Figuras .....	ix
INTRODUCCIÓN .....	1
Objetivo General.-.....	2
Objetivos Específicos.- .....	2
Justificación.- .....	2
CAPITULO I.....	4
MARCO TEÓRICO.....	5
Microsismos y Microtremores .....	5
Historia del Estudio de Microtremores .....	5
Trabajos Previos.....	7
Método de Nakamura.....	11
Espesores de sedimentos en el Valle de Caracas .....	13
CAPITULO II .....	17
METODOLOGÍA .....	18
Diseño de la Investigación .....	18
Metodología de la adquisición .....	18
Población y muestra .....	18
Instrumentos .....	20
Procedimiento .....	22
Metodología del procesamiento .....	22
Programas utilizados .....	22
Procedimiento .....	23
CAPITULO III.....	30
RESULTADOS.....	31

CAPITULO IV .....	46
ANALISIS DE RESULTADOS .....	47
CAPITULO V .....	60
CONCLUSIONES .....	61
Recomendaciones.....	63
APENDICE.....	67

## **Lista de Tablas**

### Tabla

Tabla 1.....	68
Tabla 2.....	74
Tabla 3.....	74
Tabla 4.....	74
Tabla 5.....	75

## **Lista de Figuras**

### FIG.

Fig. N° 1 Ubicación del área de Estudio.....	3
Fig. N° 2. Relación entre período y profundidad de sedimentos (FUNVISIS, 1978)...	8
Fig N° 3. Períodos fundamentales (Abeki et al., 1995).....	9
Fig. N° 4a. Períodos fundamentales (Abeki et al.,1998).....	10
Fig. N° 4b Amplificación de suelo (Abeki et al., 1998).....	10
Fig. N° 5. Mapa de periodos y espesor de sedimentos elaborado a partir de los valores de periodo fundamental obtenidos por ROCABADO (2000) en el Valle de Caracas.....	11
Fig. N° 6a y 6b. Comparación entre los mapas de espesor de sedimentos en el valle de Caracas (Weston 1969) (Kantak, Sanchez 2001).....	16
Fig. N° 7. Separación de zonas A y D.....	19
Fig. N° 8. Secuencia de nomenclatura de puntos de medición .....	20
Fig. N° 9a y 9b. Sismómetro portátil de 3 componentes, marca Guralp, modelo CMG-40T .....	21
Fig. N° 10. Sismógrafo digital portátil, marca Nanometrics, modelo Orion.....	21
Fig. N° 11. Secuencia para conversión de datos a formato ASCII (Rocabado, 2000) 24	
Fig. N° 12. Programa para cambio de formato de ASCII a Formato Sesame.....	25
Fig. N° 13. Configuración de las ventanas de procesamiento. Programa Sesame .....	26
Fig. N° 14. Configuración de los parámetros de procesamiento. Programa Sesame ..	26

Fig. N° 15. Configuración de los parámetros generales.....	27
Fig. N° 16. Representación de las tres componentes (Vertical, N-S y E-O) de la señal adquirida. Programa Sesame.....	28
Fig. N° 17 Selección de las ventanas de procesamiento de las tres componentes de la señal (Vertical, N-S y E-O), mediante la utilización del programa Sesame .....	28
Fig. N° 18. Grafico de la relación H/V.....	29
Fig. N° 19 La imagen de la izquierda muestra el procesamiento de la estación U01 de la zona A realizado con mas de 15 ventanas, la de la derecha se refiere a la misma estación procesada con 2 ventanas. ....	33
	34
Fig. N° 20 La imagen de la izquierda muestra el procesamiento de la estación S24 de la zona D realizado con mas de 15 ventanas, la de la derecha se refiere a la misma estación procesada con 2 ventanas. ....	34
Fig. N° 21. Mapa de periodos y espesor de sedimentos en el Oeste de la ciudad de Caracas.....	35
Fig. N° 22. Distribución de periodos y espesor de sedimentos en la zona A.....	36
Fig. N° 23. Distribución de periodos y espesor de sedimentos en la zona D.....	37
Fig. N° 24. Ubicación de los perfiles en la zona A .....	39
Fig. N° 25. Ubicación de los perfiles en la zona D. ....	40
Fig. N° 26. Función de relación entre el periodo y el espesor de sedimentos.....	41
Fig. N° 27. Función de relación entre el periodo y el espesor de sedimentos obtenida por Rocabado (2000).....	42
Fig. N° 28. Mapa de periodos predominantes y espesor de sedimentos en el Oeste de la ciudad de Caracas. Integración de valores obtenidos por Rocabado (2000) y los valores obtenidos en este trabajo.....	43
Fig. N° 29. Mapa de Rangos de amplitud de la relación H/V en el oeste de Caracas.	44
Fig. N° 30. Mapa de distribución de Velocidades de ondas S en el oeste de Caracas.	45
Fig. N° 31. Perfil A, Relación entre el periodo y espesor sedimentario.....	51
Fig. N° 32. Perfil B Relación entre el periodo y espesor sedimentario.....	52
Fig. N° 33. Relación entre el periodo y espesor sedimentario .....	54

Fig. N° 34. Relación entre el periodo y espesor sedimentario .....	56
Fig. N° 35 Relación H/V de la estación U01 de la zona A .....	76
Fig. N° 36. Relación H/V de la estación S24 de la zona D. ....	77
Fig. N° 37. Relación H/V de la estación AG12 de la zona A.....	78
Fig. N° 38. Relación H/V de la estación O17 de la zona D. ....	79
Fig. N° 39. Relación H/V de la estación F20 de la zona D. ....	80

## INTRODUCCIÓN

La ciudad de Caracas posee gran cantidad de construcciones verticales de considerable tamaño, con permanente actividad comercial y una densidad de población que aumenta año tras año, esto la hace realmente vulnerable a un evento de naturaleza sísmica. En miras a la realización de este trabajo especial de grado, *“Relación entre el período fundamental de vibración del suelo y el espesor de sedimentos en la parte oeste de la ciudad de Caracas, Municipio Libertador, mediante la aplicación del Método de Nakamura a datos obtenidos en una malla de mediciones de 250 metros”*, se fijó como objetivo principal el de: obtener una relación período / espesor de sedimento de alta resolución en la parte oeste del Valle de Caracas.

Debido a la existencia de datos previos en una malla de 500 m con su respectiva interpretación (Enomoto et al., 2001; Rocabado et al., 2000). La finalidad e importancia del presente trabajo es detallar más la información existente y correlacionarla con la nueva información geofísica en la zona para obtener datos que sirvan para la prevención de desastres en la ciudad de Caracas.

La muestra comprendió una malla de 317 estaciones, con una separación de 250m entre ellas aproximadamente. El área de estudio esta ubicada en la zona Oeste de la Ciudad de Caracas, específicamente en el municipio Libertador teniendo como límites, por el NE el municipio Chacao, por el SE el municipio Baruta, hacia el sur se extiende hasta la Rinconada, por el SO se extiende hasta Antimano y por el NO el alcance es hasta la zona de Propatria y el comienzo de la autopista Caracas – La Guaira (Fig. N° 1).

A continuación se describe en forma detallada el desarrollo de este trabajo, abarcando la parte de antecedentes y consideraciones teóricas, de igual manera se describen las etapas de adquisición, procesamiento e interpretación de los resultados obtenidos, durante el desarrollo de este proyecto.

### **Objetivo General.-**

Obtener una relación período / espesor de sedimento de alta resolución en la parte oeste del Valle de Caracas.

### **Objetivos Específicos.-**

- Adquirir datos de ruido ambiental en una malla de 250 m en complemento de los datos existentes en la zona (malla 500 m).
- Obtener valores de períodos fundamentales de vibración del suelo y las amplitudes de la relación H/V
- Definir una relación período / profundidad de sedimentos basado en los modelos de espesor de sedimentos recientes (Kantak, 2001)
- Estimar las velocidades de propagación de las ondas S en los sedimentos.
- Realizar la integración de los datos dentro de un Sistema de Información Geográfico (SIG).
- Analizar la mejora en la respuesta debido a la densificación de la malla de medición (Rocabado, 2001).

### **Justificación.-**

Existen datos previos en una malla de 500 m con su respectiva interpretación (Enomoto et al., 2001; Rocabado et al., 2002). El objetivo del presente trabajo es detallar más la información existente y correlacionarla con la nueva información geofísica en la zona para obtener datos que sirvan para la

prevención de desastres en la ciudad de Caracas. Los resultados serán comparados con los obtenidos en el proyecto de elaboración de Plan Master ante Desastres Naturales en Caracas (Cooperación Japonesa JICA), actualmente en curso.

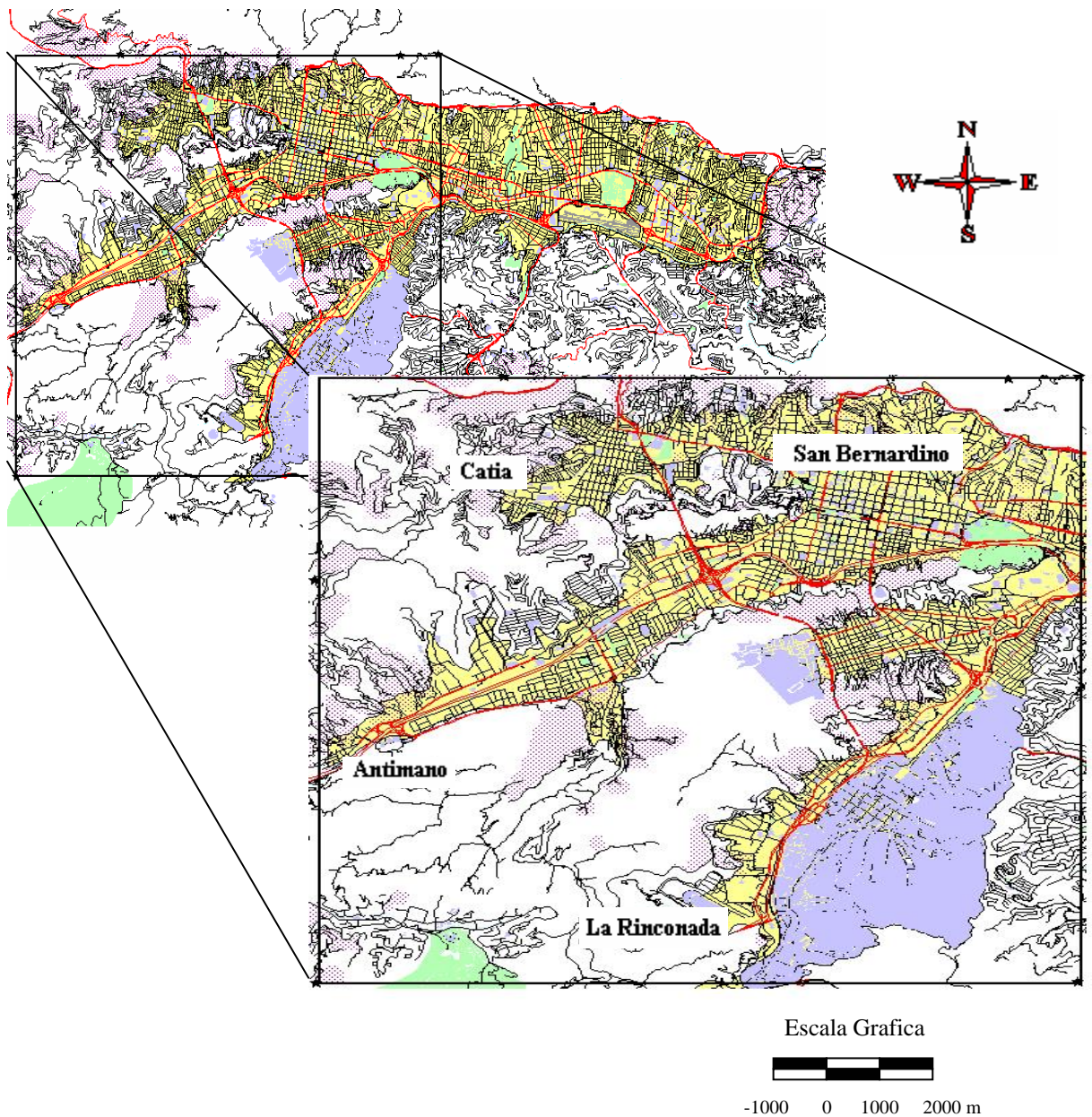


Fig. N° 1 Ubicación del área de Estudio

## **CAPITULO I**

### **MARCO TEÓRICO**

## **MARCO TEÓRICO**

### **Microsismos y Microtremores**

Se entiende por microsismos las oscilaciones naturales y regulares del subsuelo, los cuales no son generados ni por fuentes artificiales ni por terremotos, sino por el contrario son producidos por fuentes naturales como las olas oceánicas, tormentas. Los mismos, están conformados básicamente por ondas Rayleigh siendo de periodos relativamente extensos, 2 a 3 segundos o mas (Alfaro, 2000).

Por otro lado, los microtremores son vibraciones producidas por eventos artificiales consecuencia de la actividad humana, como por ejemplo la maquinaria industrial, el tráfico automotor, explosiones, entro otros. Estos acarrear como ventaja principal frente a los microsismos la estabilidad, los mismos están conformados por ondas Rayleigh y S y en contra posición con los microsismos son de periodos mas cortos (Aki, 1957; Akamatsu y Nogosi, 1961; Nogoshi e Igarashi, 1971). El rango de periodos para la medición de los microtremores oscila de 1 a 2 segundos.

### **Historia del Estudio de Microtremores**

Kanai y Tanaka (1961) fueron los precursores en la utilización de microtremores para determinar efectos en sitio, durante los años 50 y 60. Su metodología se enfoco en observaciones simultáneas de microtremores a diferentes profundidades en distintos tipos de suelo, llevándolos a la conclusión que la distribución de periodos varía con la profundidad y que la curva de distribución de dichos periodos evidencia una forma definida, la cual depende del tipo de suelo. Además concluyeron que la variación de la distribución de amplitudes con la profundidad no es de simple formulación.

Basandose en algunos ejemplos Kanai y Tanaka (1961) concluyeron que el periodo predominante en un movimiento sísmico esta estrechamente relacionado con el periodo mas frecuente observado con los microtemores, a partir de esto se propuso una clasificación de las condiciones de suelo en un sitio, usando solamente registros de microtemores.

Por otra parte Lermo y Chavez Garcia (1994) observaron en su estudio en Ciudad de Mexico, que los periodos coinciden pero que las amplitudes de las relaciones espectrales tomadas de una estación de registro de microtemores no coinciden con los registros de los sismos fuertes como tal. Otros autores también encontraron diferencias en dichas amplitudes (Seo, 1992).

Kagami et al. (1982) trataron, por medio de mediciones simultaneas entre una estación en sedimento y una en roca, de obtener relaciones espectrales de microtemores. En sus resultados no encontraron frecuencias predominantes claras, pero si lograron obtener correlaciones entre las amplitudes y el espesor de sedimentos. Posteriormente junto con Yamanaka, realizó mapas de factor de amplificación (Yamanaka et al., 1993).

En su trabajo, Seo (1992) encontró evidencia de una buena correlación en las comparaciones entre dos sitios sedimentarios con diferentes condiciones geológicas, y además se refirió acerca de la pobre correlación de relaciones espectrales entre sitios sedimentarios y el basamento.

Nakamura (1989,2000) asume la componente vertical de la superficie como sustituta de la señal horizontal del basamento rocoso y su técnica consiste precisamente en la relación espectral de microtemores entre sus componentes horizontal y vertical.

Lermo y Chavez Garcia (1994) concluyeron que la relación H/V (técnica de Nakamura) da una mejor estimación del periodo predominante en un sitio y permite una estimación aproximada del nivel de amplificación, a partir de

comparaciones entre tres tipos de relaciones espectrales, movimientos horizontales fuertes con un sitio de referencia, microtremores con un sitio de referencia, microtremores horizontal (H) y vertical (V).

Por ultimo Bard (1999) resalta la eficacia del estudio de microtremores, especialmente resalta el método de H/V como la mejor técnica para la obtención del periodo fundamental, debido a la buena resolución que presenta la técnica en lugares con baja impedancia entre los medios, además de ser una técnica de bajo costo operacional. Sin embargo, en materia de obtención de la amplitud o del ancho de banda esperado sobre el cual se amplifica la onda, el simple estudio de microtremores no es resolutivo en este aspecto, e indica que es preferible la instalación de estaciones temporales con la finalidad de obtener varias grabaciones de eventos sísmicos de mayor magnitud.

### **Trabajos Previos**

En el año de 1978 el Ministerio de Obras Públicas en conjunto con la Comisión Presidencial para el Estudio del Sismo de Caracas de 1967 a través de la Fundación Venezolana de Investigación Sismológica (FUNVISIS), publicó la "Segunda Fase del Estudio del Sismo ocurrido en Caracas el 29 de Julio de 1967". En este estudio se recopiló información de los daños causados, la distribución geográfica, la relación con las características geofísicas y geológicas de las áreas afectadas, los períodos fundamentales en el área de Altamira y la relación entre profundidad de sedimentos - período fundamental (FUNVISIS, 1978). Para lograr los resultados entre profundidad y período fundamental se realizo aproximadamente 30 mediciones en el área de Altamira.

Los estudios sísmicos contemplados en este estudio comprendieron mediciones de refracción sísmica y mediciones in situ de las velocidades de ondas de corte en el Valle de Caracas y el Litoral Central. Planteándose como objetivo general de los estudios, el determinar las diferentes condiciones de los suelos que

pudieran ser responsables de las diversas intensidades de daño. Y como objetivos específicos el espesor de los sedimentos y los valores de las velocidades sísmicas.

Los resultados recopilados, determinaron que las zonas que presentaron mayor daño eran las que evidenciaban los mayores espesores de sedimentos, lo que condujo a presentar una relación entre número de pisos, porcentaje de daño y período fundamental. Por otro parte también se estimó la relación entre período-profundidad (Fig. N° 2).

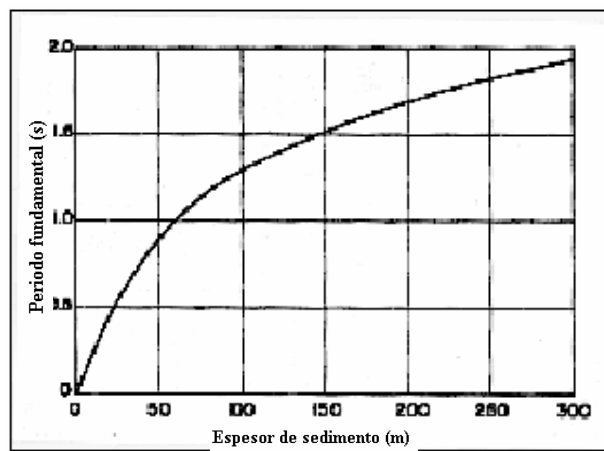


Fig. N° 2. Relación entre período y profundidad de sedimentos (FUNVISIS, 1978)

Abeki et al. (1995), efectuaron mediciones de ruido ambiental en 17 puntos en el área de Los Palos Grandes (zona afectadas por el terremoto de 1967), en septiembre de 1994. Los resultados registrados establecieron que los períodos predominantes del suelo estaban relacionados con el espesor de sedimentos presentes en el subsuelo (Fig. N° 3).

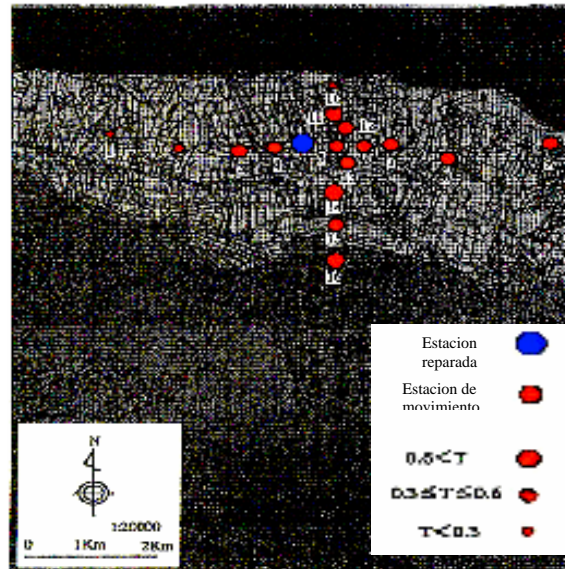


Fig N° 3. Períodos fundamentales (Abeki et al., 1995)

Por su parte Duval et al. (1998), efectuaron mediciones en el área de Los Palos Grandes y en San Bernardino en 1995, áreas afectadas en el terremoto de 1967. Ambas áreas fueron cubiertas con una alta densidad de observaciones, sumando un total de 184 entre las dos áreas, enfocando los resultados a los períodos fundamentales asociados a profundidades de sedimentos, estas observaciones no se correlacionaron con las amplificaciones asociadas, donde los mayores valores se encontraban desplazados hacia el sur del eje de la cuenca.

Nuevamente Abeki et al. (1998), iniciaron nuevas mediciones de microtemores en la ciudad de Caracas en julio de 1997, dividiendo las mediciones en dos etapas: a) mediciones continuas en el área de San Bernardino, en intervalos de una (1) hora; y b) mediciones efectuadas en 68 sitios, seleccionados a partir de una división de la ciudad de Caracas en una malla de 500m x 500m, finalizada en agosto de 1999 (Fig. N° 4a y 4b).

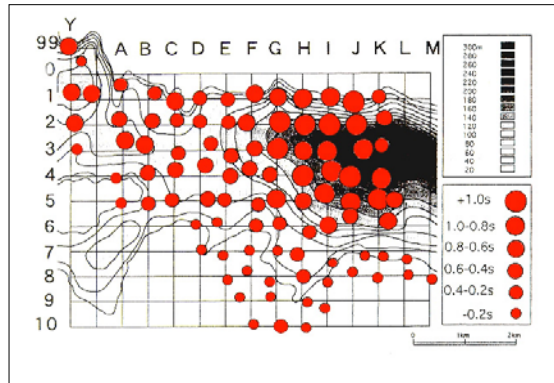


Fig. N° 4a. Períodos fundamentales (Abeki et al.,1998)

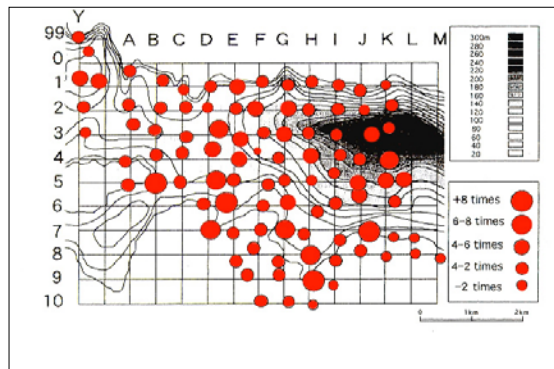


Fig. N° 4b Amplificación de suelo (Abeki et al., 1998)

Por otra parte Rocabado et al. (2000), utilizo el método H/V para procesar 331 estaciones a lo largo de toda la ciudad de Caracas, esto con el fin de determinar periodos fundamentales y amplificación del suelo, para de esta manera determinar su relación con el espesor de sedimentos del área de estudio. Como conclusiones se determinó que los mayores períodos fundamentales se encuentran en el área de San Bernardino, los cuales oscilan entre 0,8 y 1,1 segundos y en la zona de Altamira – Los Palos Grandes con valores que van de 1,0 a 2,1 segundos. También se logró establecer que a mayor espesor en la columna sedimentaria mayor será el valor de período fundamental de suelo obtenido. El mapa de periodos obtenido en este trabajo se muestra a continuación en la Fig. N° 5

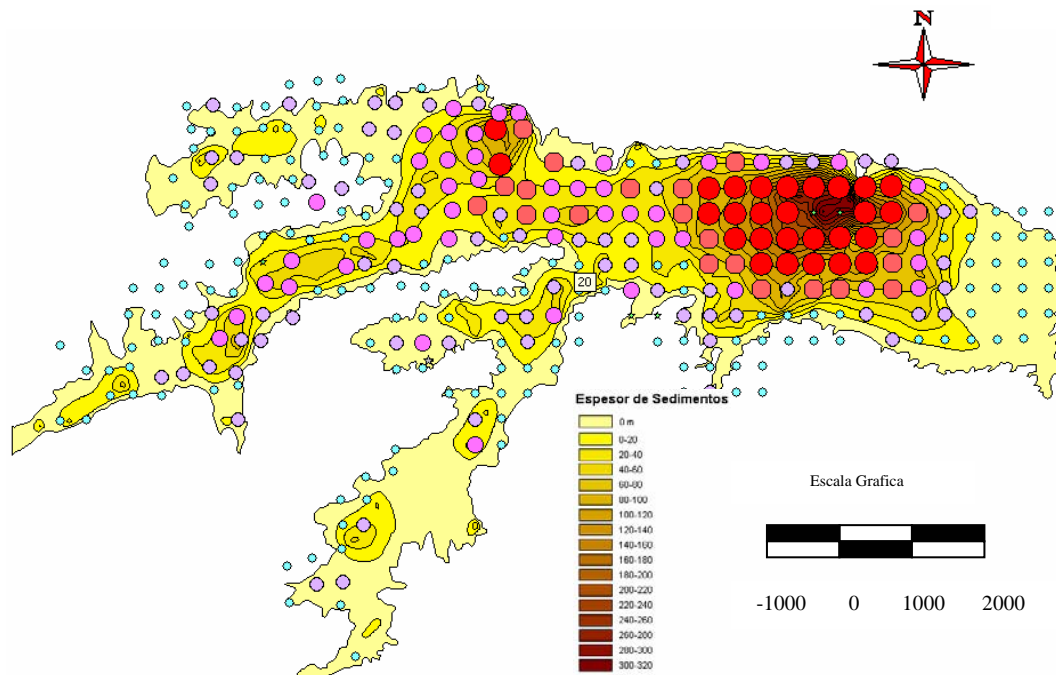


Fig. N° 5. Mapa de periodos y espesor de sedimentos elaborado a partir de los valores de periodo fundamental obtenidos por ROCA BADO (2000) en el Valle de Caracas.

## Método de Nakamura

El método de Nakamura (1989) se basa en la relación entre los espectros de Fourier de las componentes horizontal y vertical de registro de microtremores o microsismos en superficie.

El método propuesto por Nakamura para estimar la respuesta empírica de las capas superficiales de suelo se basa en la suposición de que el ruido de los microtremores esta compuesto por varios tipos de ondas. Con este método se pretende eliminar el efecto de las ondas Raayleigh.

En el método también se considera que las componentes horizontal y vertical son similares en la base rocosa. Dichos registros son amplificados por las capas de suelo blando que yacen sobre el substrato rocoso. Además, se considera que las componentes horizontales se amplifican por multirreflexiones de la onda S en tanto que la vertical lo hace por multirreflexiones de la onda P. En general, la

velocidad de propagación de la onda P es mayor que 100 m/s y los movimientos con frecuencias de aproximadamente 10 Hz o menos pueden no amplificarse, debido a la multirreflexión en las capas superficiales de varias decenas de metros de espesor.

Por otra parte, el efecto de la onda Rayleigh aparece resaltado en el movimiento vertical, su efecto puede conocerse usando dicha componente, haciendo la relación entre la superficie y el estrato suprayacente a la misma. Se ha determinado que normalmente el efecto de la onda Rayleigh es cercano a uno, cuando la relación anterior es aproximadamente uno.

Pero en la medida que esta relación aumenta el efecto ocasionado por las ondas Rayleigh puede volverse crítico, por esto la propuesta de Nakamura pretende eliminar dicho efecto.

A partir de los postulados anteriores se puede definir la función de transferencia: efecto de sitio ( $S_E$ ) y efecto de la onda Rayleigh ( $A_S$ ) en el dominio de Fourier, tal como se presenta a continuación:

$$S_E = \frac{H_s}{H_B} \qquad A_S = \frac{V_s}{V_B}$$

Donde:

- $V_S$  y  $H_S$  son las componentes vertical y horizontal del movimiento en superficie
- $V_B$  y  $H_B$  son las componentes vertical y horizontal del movimiento en la base de la capa sedimentaria
- $V_S$  y  $V_B$  son las amplitudes del espectro de Fourier de la componente vertical de movimiento en la superficie y en la base de la capa sedimentaria respectivamente.

- Donde  $H_S$  y  $H_B$  son las amplitudes del espectro de Fourier de la componente horizontal de movimiento en la superficie y en la base de la capa sedimentaria respectivamente.

Posteriormente se calcula un efecto de sitio que no considere la contribución del espectro de la fuente, con la relación  $S_E$  y  $A_S$ ; éste es llamado  $S_M$  o modificación del efecto de sitio:

$$S_M = \frac{S_E}{A_S} \longrightarrow S_M = \frac{H_S}{V_S} \cdot \frac{V_B}{H_B}$$

Nakamura (1989) demostró que el espectro de la componente vertical ( $V_B$ ) y la horizontal ( $H_B$ ) en la base de los sedimentos son equivalentes, luego:

$$\frac{H_B}{V_B} = 1 \qquad S_E = \frac{H_s}{V_S}$$

### **Espesores de sedimentos en el Valle de Caracas**

El Valle de Caracas ha sido rellenado en mayor parte por material de las montañas que se encuentran a su alrededor y en una menor escala por depósitos fluviales provenientes del río Guaire y sus afluentes.(Kantak, 2001)

Kantak en su trabajo elaboró un mapa del tope de roca el cual consideró el mismo una versión preliminar, debido a que en algunas no encontró suficiente información para dar un resultado confiable. Sin embargo el autor nos muestra información importante con respecto a la geometría de la cuenca. Esta investigación se realizó a partir del estudio geofísico efectuado en el año 1969 por la compañía “Weston Geophysical engineers Internacional, Inc” el cual se basó en 166 datos de pozos y la información obtenida en mediciones de refracción

sísmica, dando una buena cobertura del valle con excepción de las zonas del Country Club y Los Palos Grandes.

El mapa de Topografía del tope de roca indica una disminución del espesor aluvial hacia el norte, debido esto a que se trata de un semi-graben hundido por un solo lado en contacto con la cordillera. Esto trajo como consecuencia una inversión del proceso actual de encajamiento de los ríos en sus propios aluviones, reemplazándose así el mecanismo habitual de formación de terrazas escalonadas por los mantos aluviales.

En el sector de San Bernardino la información de los pozos confirma la existencia de una anomalía, lo cual concuerda muy bien con la geometría indicada por el estudio geofísico (Weston, 1969). La profundidad establecida es de 140 m solo un poco mayor a lo indicado por la geofísica. Por otra parte, se tiene que en esta zona la alineación de la depresión es en dirección NO – SE, por lo que se puede suponer que esta controlado por las fallas transversales del sistema de fallas Tacagua – Avila (Kantak, 2001).

Aunque en el área de los Palos Grandes no se contó con pozos profundos a la hora del estudio se confirmó la presencia de la anomalía con un pozo en el área de Santa Eduvigis, que indica un espesor de sedimentos de por lo menos 340 m (no se alcanzó el tope de roca a esta profundidad). Por faltas en la ubicación de pozos al oeste y SO de la depresión se integraron los valores geofísicos para hacer posible un modelaje más confiable, los cuales también confirman la presencia de la anomalía pero con ciertas diferencias asociadas a la geometría. Se indica que probablemente la depresión muestra una alineación NO – SE y al igual que la depresión en San Bernardino esta controlada por las fallas transversales del sistema de fallas Tacagua – Avila (Kantak, P., 2001).

Como resultados del trabajo de Kantak se tiene la última actualización del mapa de espesor de sedimentos del Valle de Caracas (Fig N° 6).

Por último debe destacarse el trabajo de estimación de espesor de sedimentos en el valle de Caracas realizado por Sanchez en el 2004, en el cual se encuentran variaciones con el mapa de espesores elaborado por Kantak. Estas diferencias se encuentran solo en la parte este de la ciudad, por lo cual para este estudio en la zona oeste será utilizado el mapa elaborado por Kantak.

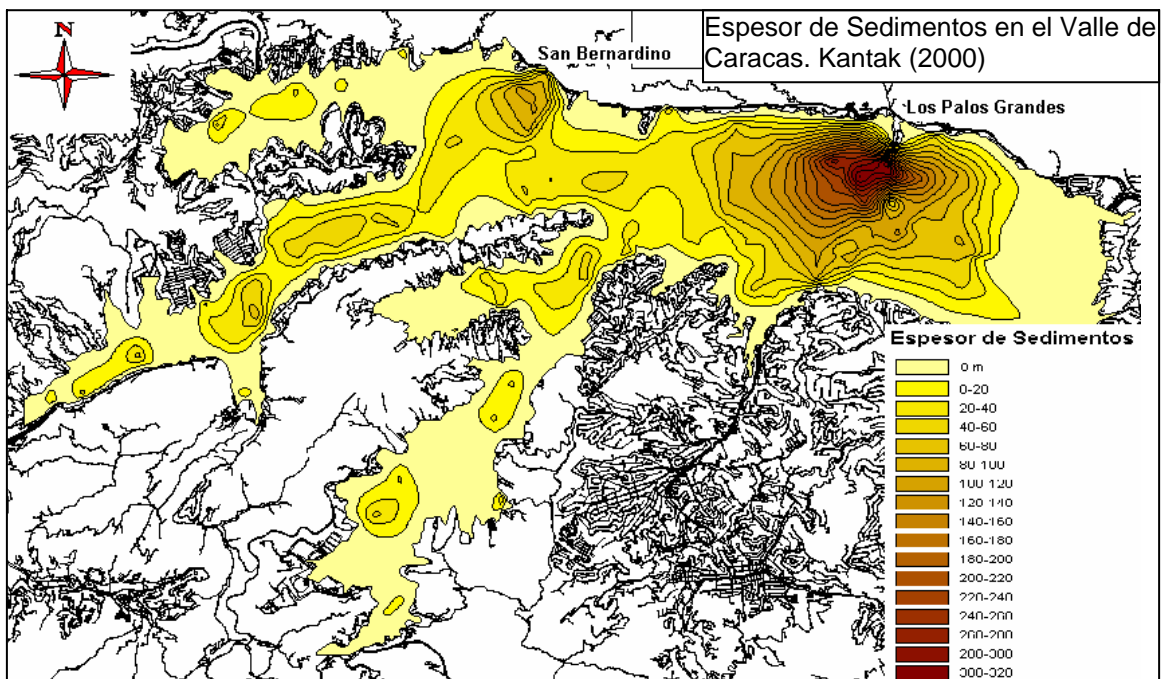
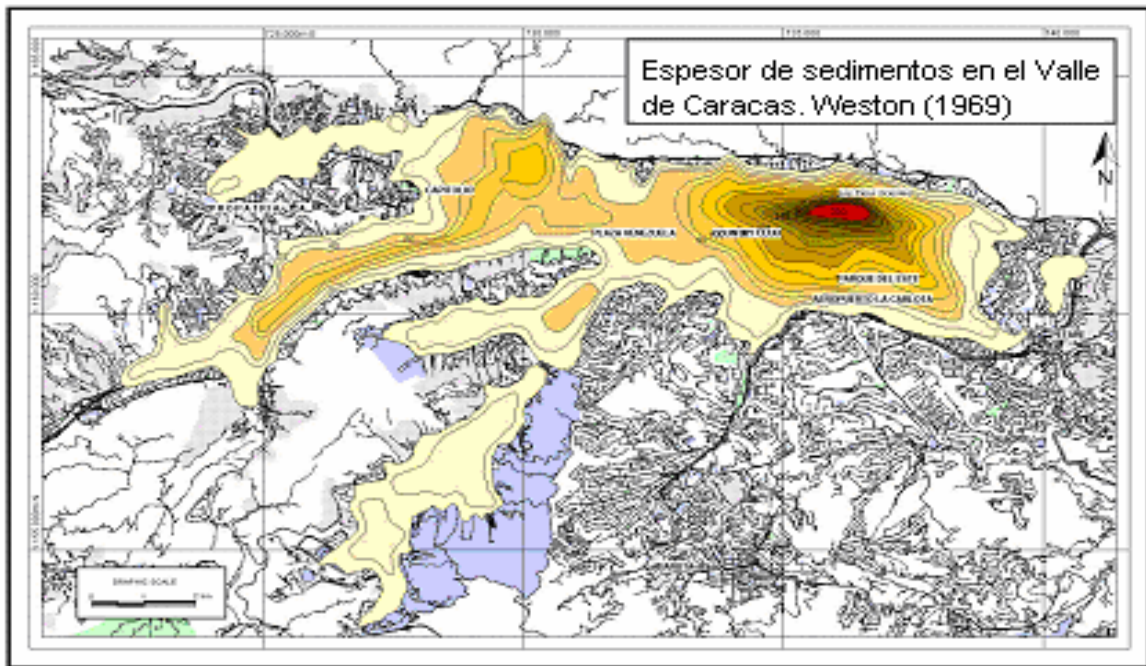


Fig. N° 6ª y 6b. Comparación entre los mapas de espesor de sedimentos en el valle de Caracas (Weston 1969) (Kantak, Sanchez 2001). En lo mismos se notan ciertas diferencias principalmente en la parte Este.

## **CAPITULO II**

### **METODOLOGÍA**

## **METODOLOGÍA**

### **Diseño de la Investigación**

La presente investigación es definida como un trabajo de campo, por presentar un análisis sistémico de ruido sísmico ambiental, tal como lo refiere el Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctoral (UPEL, 1998).

Los datos base del proyecto fueron adquiridos directamente de las zonas ubicadas al oeste de la Ciudad de Caracas, en el Municipio Libertador- Distrito Capital.

Este trabajo de campo se desarrolló en dos etapas, la primera se concentró en la descripción de una serie de pasos que fueron guía para la adquisición u obtención de los datos. La segunda, indica las diferentes etapas referentes al procesamiento de los datos. Ambas etapas serán desarrolladas en este mismo capítulo, en apartados a continuación.

### **Metodología de la adquisición**

#### **Población y muestra**

La muestra comprendió una malla de 350 estaciones, con una separación de 250m entre ellas aproximadamente, esta selección se realizó de acuerdo a la ubicación de las estaciones ya existentes en la malla de 500m x 500m utilizada por Rocabado en el 2000.

El área de estudio se dividió en dos (2) zonas, a manera de planificar el proceso de adquisición, para facilitar la nomenclatura y distinción de las diferentes estaciones. Dichas zonas fueron denominadas Zona A y Zona D (Fig. N° 7), las cuales fueron divididas en una malla, que en su eje horizontal fue

organizado alfabéticamente en dirección oeste-este y en su eje vertical fue dividido numéricamente de manera creciente de sur a norte. (Fig. N° 8)

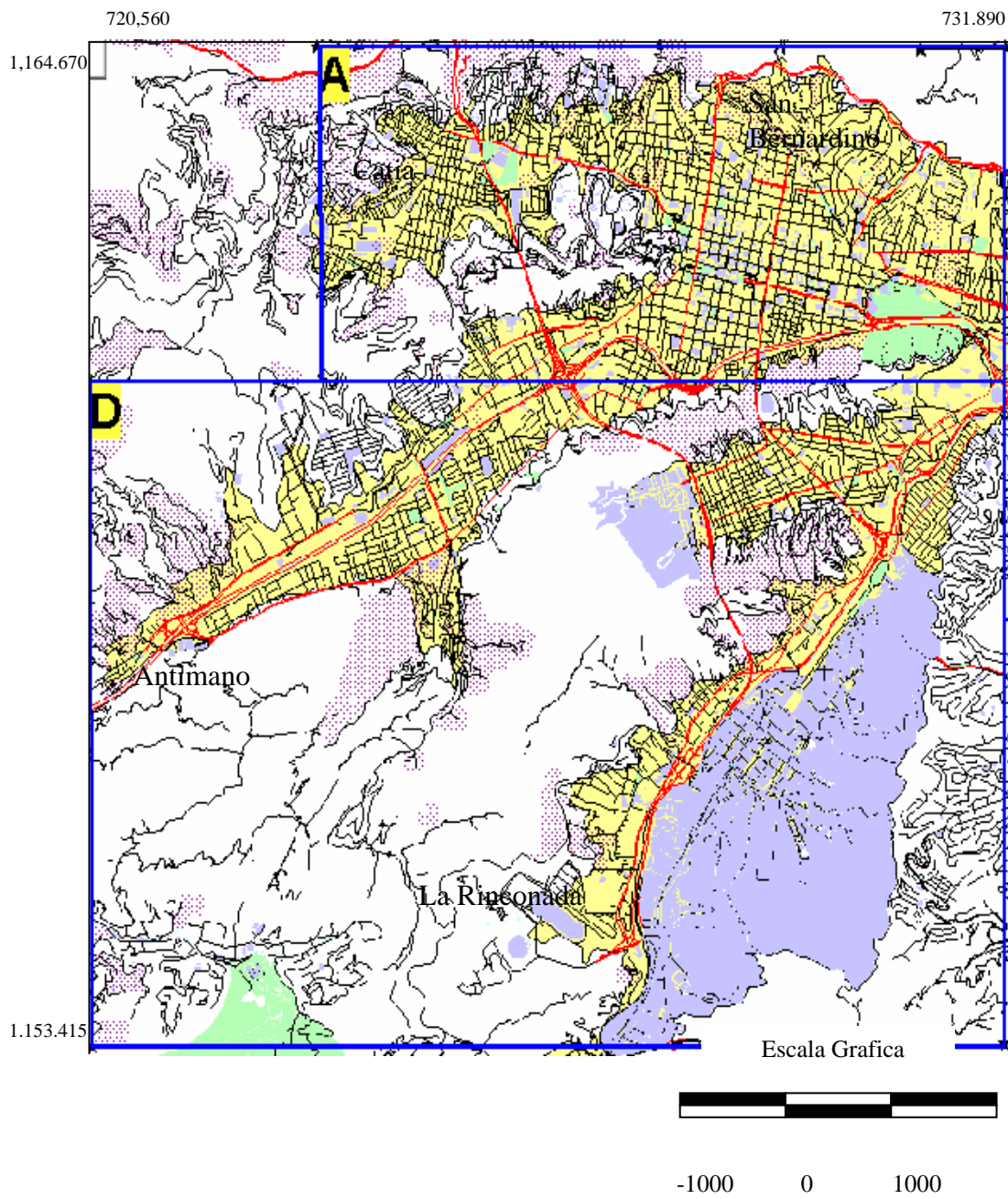


Fig. N° 7. Separación de zonas A y D

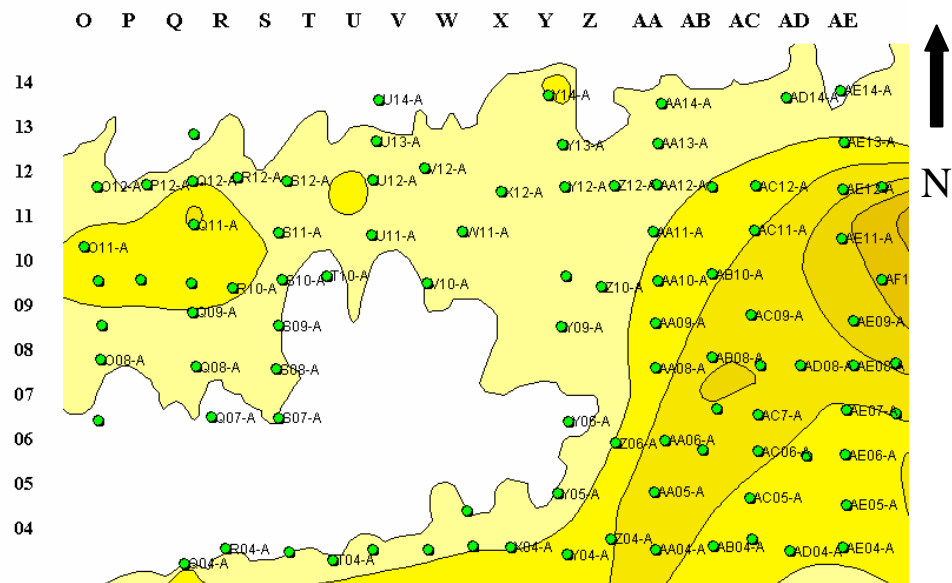


Fig. N° 8. Secuencia de nomenclatura de puntos de medición

## Instrumentos

Los instrumentos utilizados para la adquisición de datos fueron suministrados por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS). Estos fueron:

### 1. Sismómetro portátil 3 componentes (Fig. N° 9<sup>a</sup> y 9<sup>b</sup>)

- Modelo: CMG-40T
- Marca: Güralp
- Tamaño: 159mm x 210mm x 168mm (WxLxD)
- Peso: 5 Kg.
- Frecuencia: 0.03 a 50 Hz.

### 2. Sismógrafo digital portátil (Fig. N° 10)

- Modelo: Orion
- Marca: Nanometrics
- Tamaño: 37cm x 47cm x 19cm (WxLxD)
- Peso: 10,9 Kg
- Resolución: 24 bits

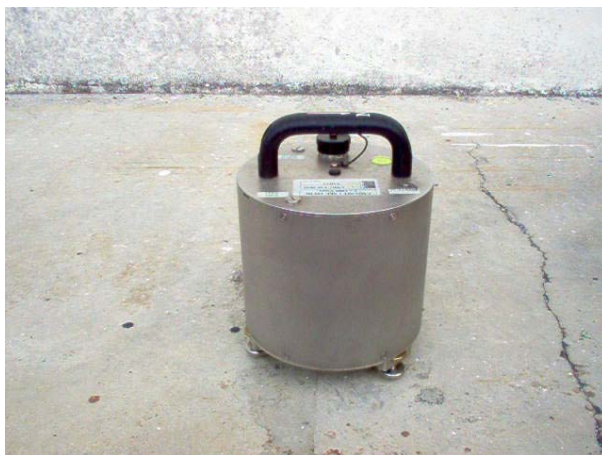


Fig. N° 9a y 9b. Sismómetro portátil de 3 componentes, marca Guralp, modelo CMG-40T



Fig. N° 10. Sismógrafo digital portátil, marca Nanometrics, modelo Orion.

## **Procedimiento**

Para la *adquisición* fueron realizadas mediciones de 10 minutos de grabación de ruido sísmico ambiental (frecuencia de vibración del suelo). Para ello, previamente era colocado el sensor en la superficie seleccionada, aproximadamente a 5 m. de la fuente de ruido. El sensor era nivelado para ubicarlo de manera horizontal, siempre cuidando su orientación hacia el norte. Seguidamente se conecta dicho sensor al Orion y se da un tiempo de aproximadamente 3 minutos para la estabilización y se procede a grabar la señal. Esta señal es registrada por el sensor y transmitida al Orion para la grabación de las tres componentes de la señal en el disco duro del mismo.

Simultáneamente al procedimiento anterior, se realizaron para el control de cada una de las estaciones grabadas, las anotaciones de campo pertinentes.

## **Metodología del procesamiento**

El procesamiento se refiere a la fase posterior a la adquisición de los datos, en esta etapa se realiza la utilización de los programas pertinentes para adecuar la información adquirida en campo y de esta manera llegar a los resultados necesarios como lo es el periodo fundamental de vibración del suelo en cada una de las estaciones adquiridas.

## **Programas utilizados**

- *Mapinfo*: Programa para la definición del área de estudio, diseño de la malla para la adquisición y realización de los diferentes mapas de resultados.
- *Sesame*: Programa para la obtención de la relación H/V de cada uno de los puntos medidos, a partir del espectro de Fourier de cada una de

las tres componentes de las estaciones (vertical y las dos horizontales: norte-sur y este-oeste).

- *Formato Sesame*: Programa que sirve para la conversión de datos en formato ASCII a formato “Saf” (Sesame Ascii Format).

## **Procedimiento**

Para el *procesamiento* de los datos obtenidos con el procedimiento de adquisición anteriormente nombrado, primero se grabó la data de los discos duros provenientes de los sismógrafos utilizados en campo en una computadora. La data se graba en el formato predeterminada por el Orion. Por cada una de las estaciones medidas se obtuvieron tres archivos de importancia, de acuerdo con las tres componentes del movimiento (Vertical, Norte - Sur y Este- Oeste).

Seguidamente se procedió a cambiar el formato de la data, de formato de almacenamiento predeterminado por el sismógrafo digital a formato ASCII, para de esta manera poder ser utilizado por los programas de procesamiento. Primero se realizó la limpieza de los archivos con el uso del comando *rbtrimb*, seguidamente se utilizó el comando *extractp* para la conversión de los datos a un comando X1, luego con el comando *x5decomp* se convirtieron los datos a un formato Y1, por último se utilizó el comando *y5dump* para transformar los datos a formato ASCII. La secuencia que fue utilizada para la conversión de los datos a formato ASCII es mostrada en la Fig. N° 11.

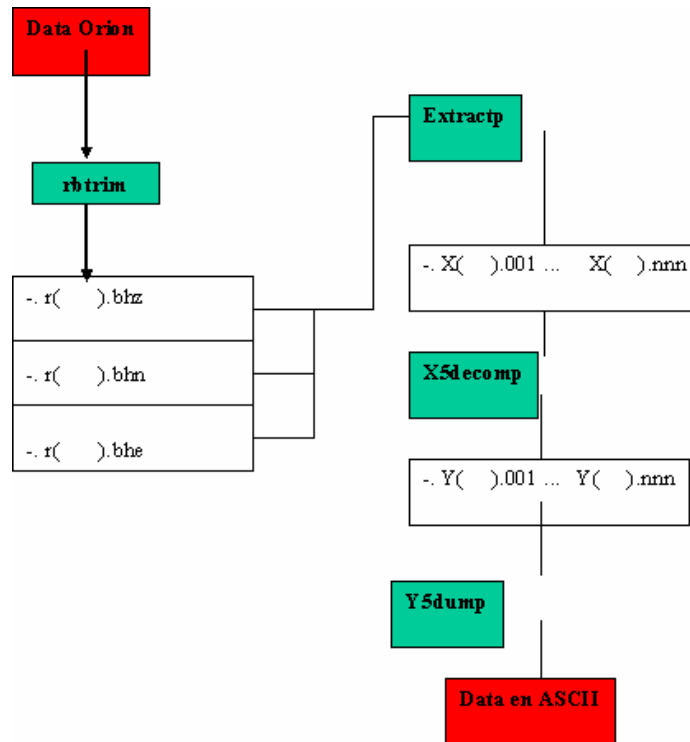


Fig. N° 11. Secuencia para conversión de datos a formato ASCII (Rocabado, 2000)

Luego se procedió a la conversión de los datos de formato ASCII a formato “Saf” (Sesame ascii format), siendo este el Formato necesario para el procesamiento de los datos en el formato Sesame, para esto se utilizó el programa Formato-Sesame, el cual presenta una interfase gráfica en la cual se debe tener en cuenta la duración de la grabación para estimar el numero de datos, con una rata de muestreo de 100 muestras por segundo, al ingresar los datos en formato ASCII se debe tener en cuenta que primero deben ingresarse la componente vertical (bhz) y luego las dos horizontales, este – oeste (bhe) y la norte –sur (bhn), en ese mismo orden (Fig. N° 12).

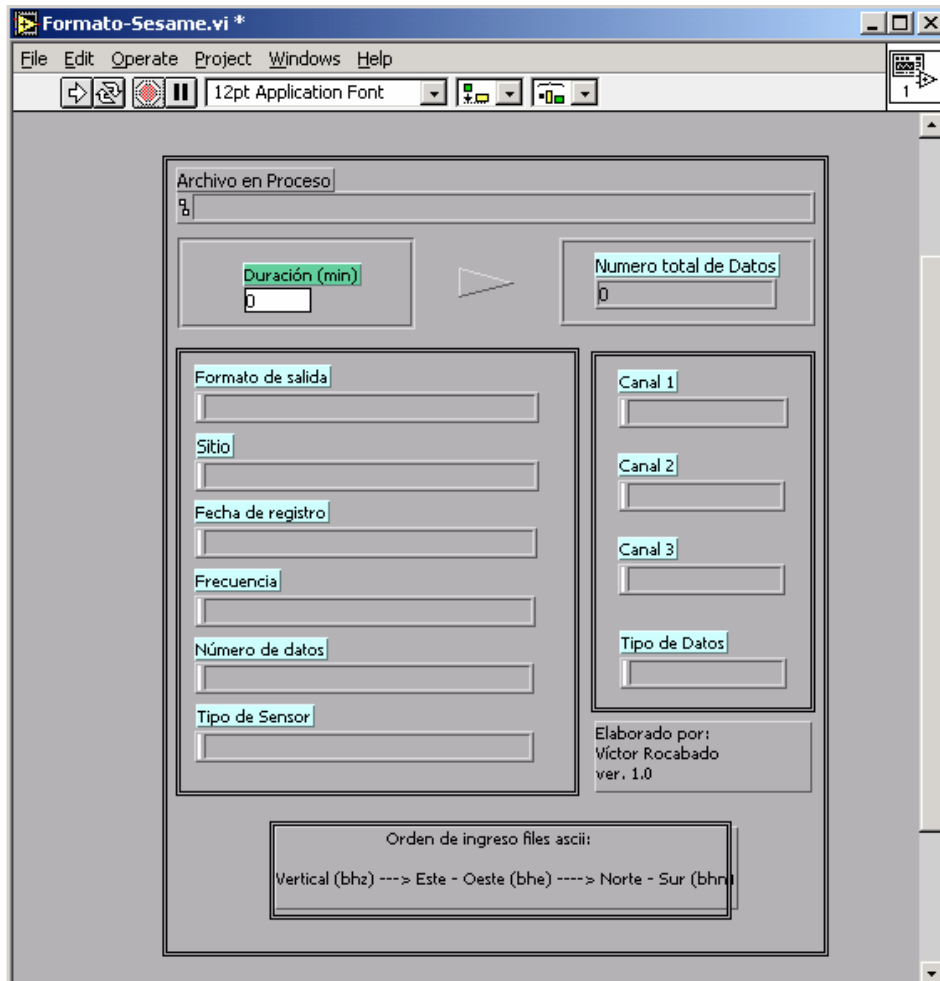


Fig. N° 12. Programa para cambio de formato de ASCII a Formato Sesame, elaborado por Rocabado.

Por último se ingresaron los datos en formato “Saf” al programa Sesame, en el mismo previamente se configuraron los diferentes parámetros necesarios para el procesamiento de los datos, los cuales se enumeran a continuación:

- Primero se configuró el tamaño de las ventanas de procesamiento y el porcentaje de solape de dichas ventanas tanto para la opción de selección automática de ventanas y la de selección manual (Fig. N° 13);

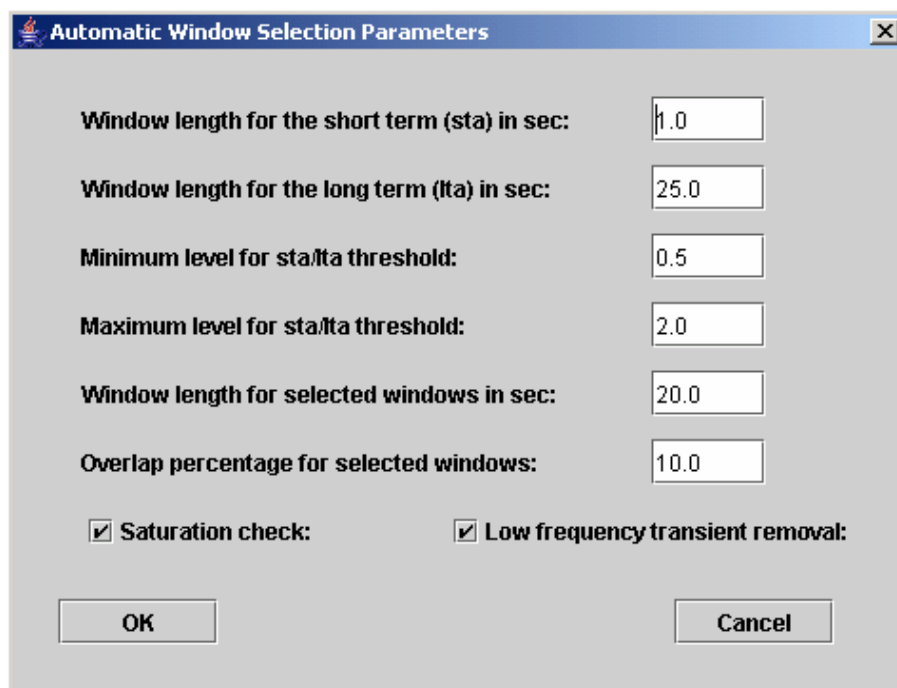


Fig. N° 13. Configuración de las ventanas de procesamiento. Programa Sesame

- Paso seguido, se configuraron los parámetros de procesamiento necesarios (Fig. N° 14), estos parámetros son tomados según las estimaciones y conclusiones emitidas por Bard en 1999, en donde indica los diversos parámetros a tomar en cuenta a la hora del procesamiento de datos de ruido sísmico ambiental mediante el uso del método de Nakamura.;

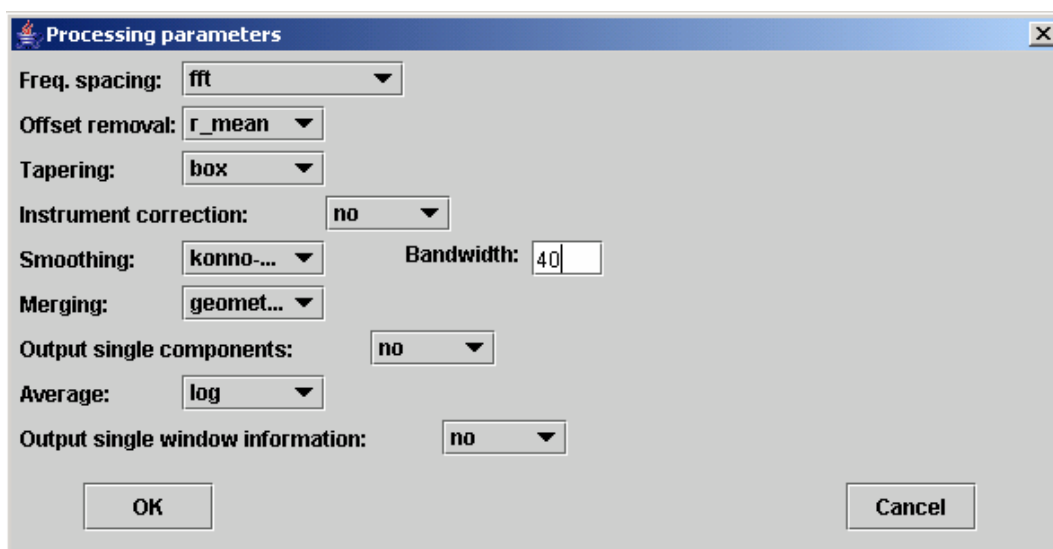


Fig. N° 14. Configuración de los parámetros de procesamiento. Programa Sesame

- Por último se establecieron las diferentes rutas de acceso a las diferentes rutinas del programa y la dirección donde se guardarán los archivos de salida y el número mínimo de ventanas a procesar (Fig. N° 15);

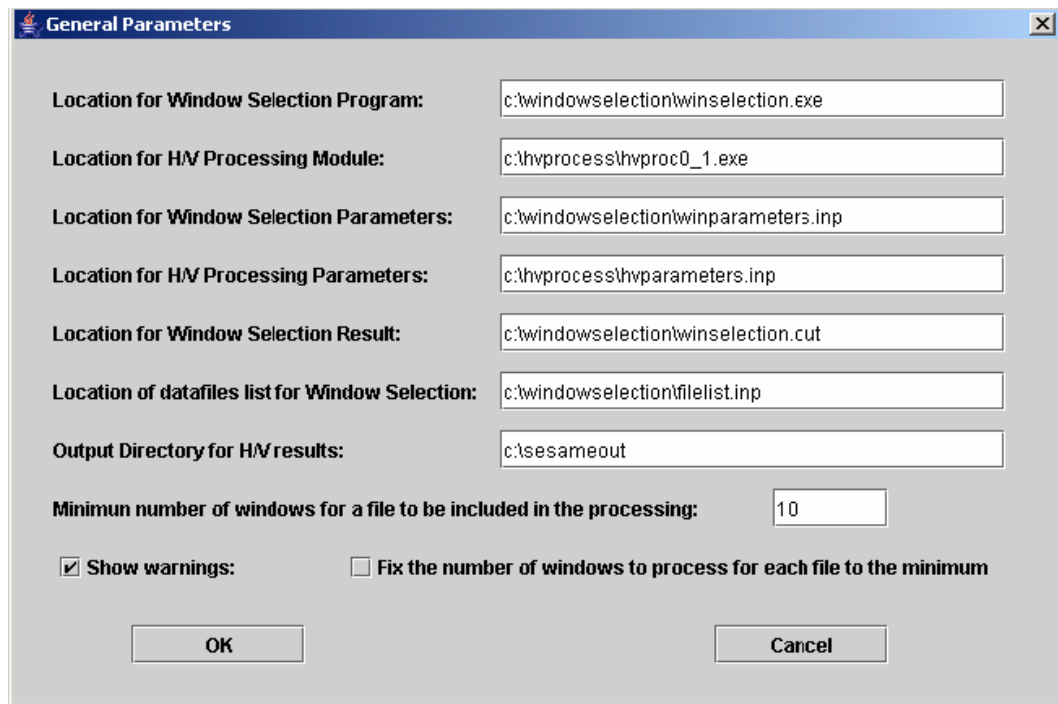


Fig. N° 15. Configuración de los parámetros generales, en donde se indican las direcciones de las diferentes rutinas utilizadas por el programa y la ruta de salida del resultado Programa Sesame.

En el programa Sesame se observaron los registros de las estaciones (Fig. N° 16), luego se realiza la selección de ventanas de procesamiento, y por último se realizó la obtención de la relación H/V, con esto se obtuvo el gráfico de relación H/V (Fig. N° 17).

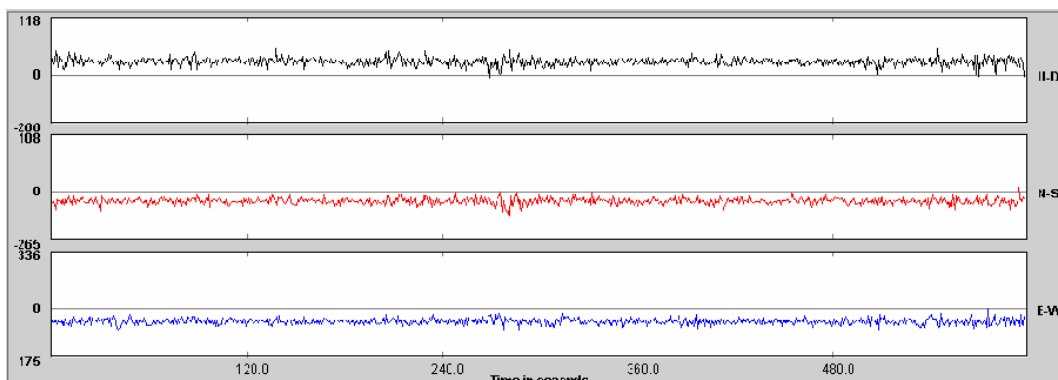


Fig. N° 16. Representación de las tres componentes (Vertical, N-S y E-O) de la señal adquirida. Programa Sesame.

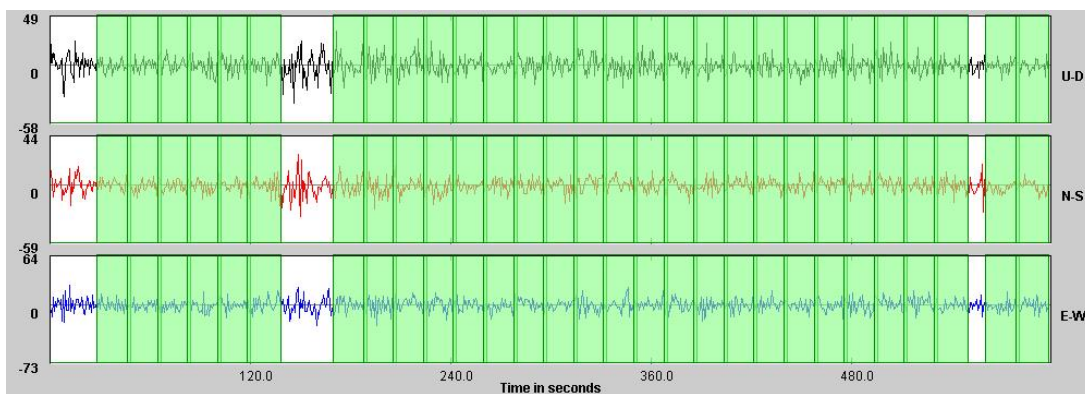


Fig. N° 17 Selección de las ventanas de procesamiento de las tres componentes de la señal (Vertical, N-S y E-O), mediante la utilización del programa Sesame

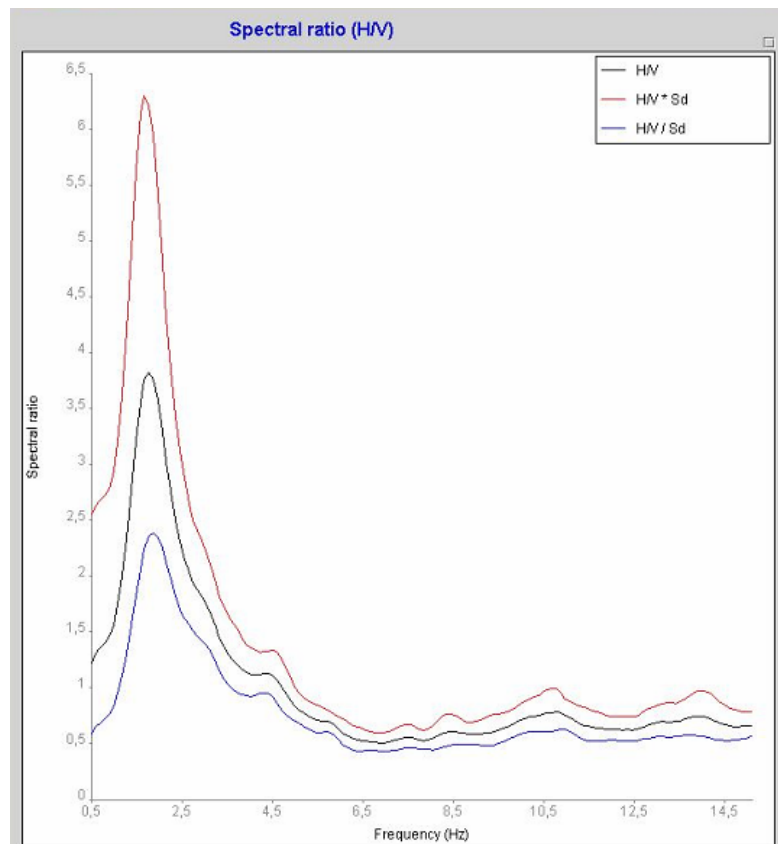


Fig. N° 18. Grafico de la relación H/V. Es aquí donde se selecciona el pico representativo que nos da el valor de periodo fundamental en su eje x y el valor de la amplitud de la relación H/V. Programa Sesame.

Por último se realizó la selección del pico representativo de la frecuencia fundamental de la señal, en esta parte del proceso se debe tener sumo cuidado en las estaciones en las cuales dicha frecuencia fundamental no esta muy clara. En general la frecuencia fundamental se expresa como el impulso con mayor amplitud de la relación H/V observado.

## **CAPITULO III**

### **RESULTADOS**

## RESULTADOS

Luego de culminadas las fases de adquisición y procesamiento de los datos adquiridos, a través de la aplicación del método de Nakamura para la estimación del periodo fundamental del suelo, se obtuvieron los resultados que se muestran a continuación.

Respecto a las graficas de la relación H/V obtenidas, la cuales fueron la base para la selección del periodo fundamental en cada una de las estaciones, se observa que en la mayoría de los casos en los cuales se pudo procesar una cantidad de ventanas mayor a 15 se observa una buena definición del pico en la relación H/V, en comparación con estaciones procesadas con un menor numero de ventanas (Fig. N° 18 y N° 19), lo que facilita la determinación del periodo fundamental, ejemplos de estas graficas se pueden ver en el apéndice N° 3.

Como resultado principal se tiene el mapa de periodo fundamental y el espesor de sedimentos en el área de estudio (Fig. N° 20), realizado según los datos obtenidos en el trabajo (ver Apéndice N° 1), en el mismo se muestra la distribución de los valores de periodo fundamental de vibración del suelo obtenidos en el oeste de Caracas. Esta distribución es mostrada con más detalle en los mapas que muestran la relación entre los periodos fundamentales y el espesor de sedimentos en las zonas A (Fig. N° 21) y D (Fig. N° 22).

Los periodos fundamentales obtenidos fueron relacionados con el mapa de espesor de sedimentos de la ciudad de Caracas (Fig. N° 6), esto con la finalidad de estudiar la correspondencia entre el periodo fundamental y el espesor de sedimento en cada uno de los puntos de medición.

A partir del mapa obtenido se seleccionaron cuatro perfiles (Fig. N° 23 y Fig. N° 24). Estos perfiles fueron usados para realizar un estudio en zonas

específicas de la correspondencia entre el periodo fundamental y el espesor de sedimentos, para de esta manera observar de forma clara dicha relación.

Perfil A: con una longitud de 6000m, ubicado en la zona “A” y se extiende desde Catia hasta San Bernardino (Ver Fig. N° 23). El perfil A comprende desde la estación L11, trazando una línea en dirección Oeste - Este hasta la estación AJ11 (Apéndice N° 2).

Perfil B: ubicado en la zona “A”, específicamente en el área de San Bernardino en dirección Sur – Norte, desde la avenida Bolívar hasta la cota mil (Ver Fig. N° 23), con una longitud de 2250m desde la estación AG04 hasta la AG13 (Apéndice N° 2)

Perfil C: esta ubicado en dirección Sur – Norte en la zona en la parte NE de la zona D, específicamente entre Santa Mónica, Valle Abajo y Los Chaguaramos (UCV) (Ver Fig. N° 24), limitado al sur por la estación AK16 y al norte por la estación AK01 en el limite de la zona A (Apéndice N° 2).

Perfil D: con dirección Sur – Norte, en el oeste de la zona D, específicamente entre el área de La Vega y La Paz (Ver Fig. N° 24), con una longitud de 2000m, se puede observar también la equivalencia de los valores de periodo fundamental con los valores aproximados de espesor de sedimento (Apéndice N° 2).

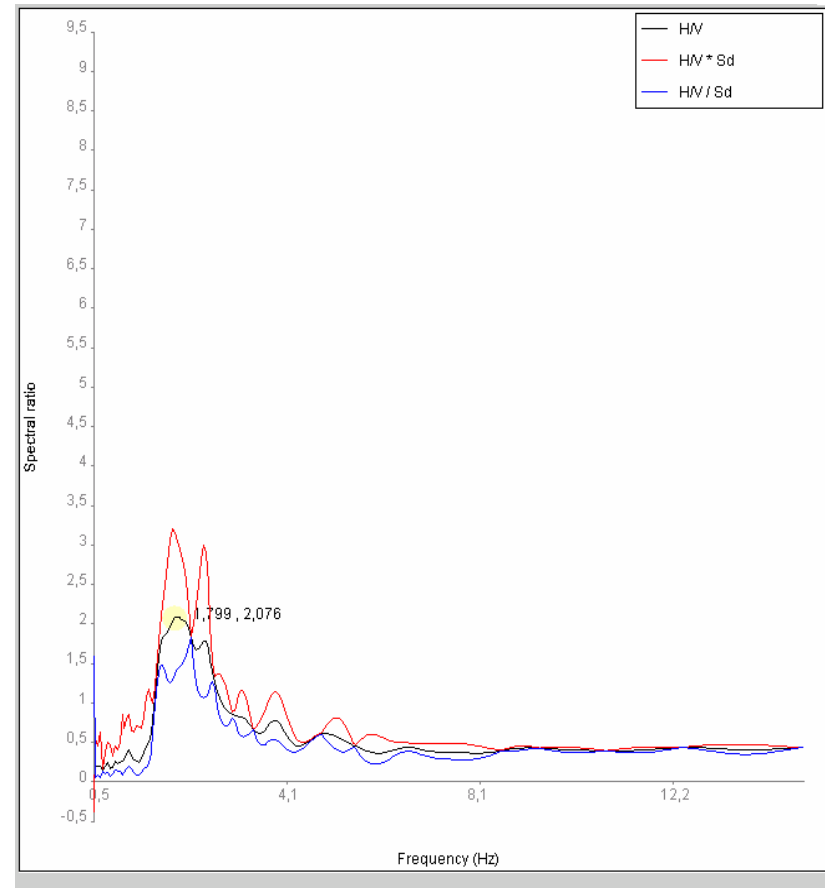
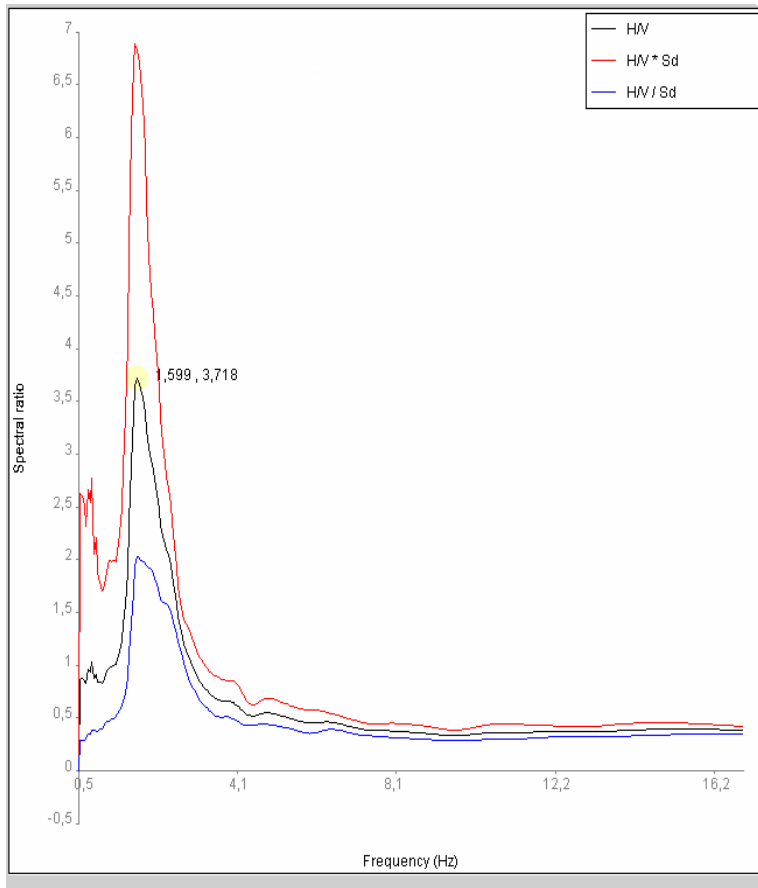


Fig. N° 19 La imagen de la izquierda muestra el procesamiento de la estación U01 de la zona A realizado con mas de 15 ventanas, la de la derecha se refiere a la misma estación procesada con 2 ventanas.

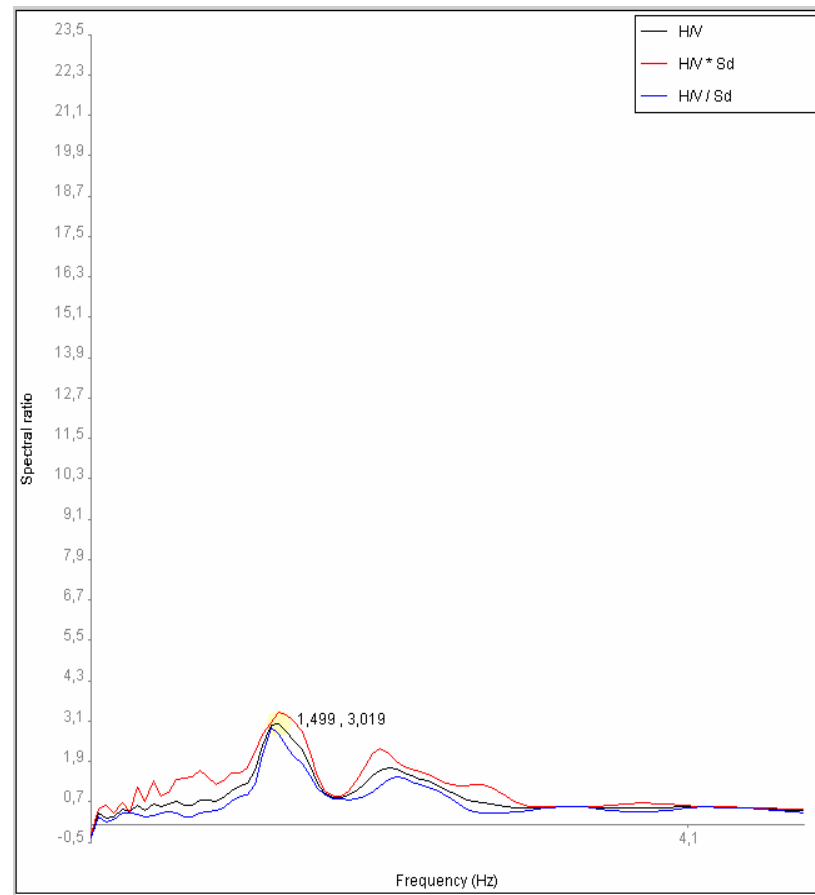
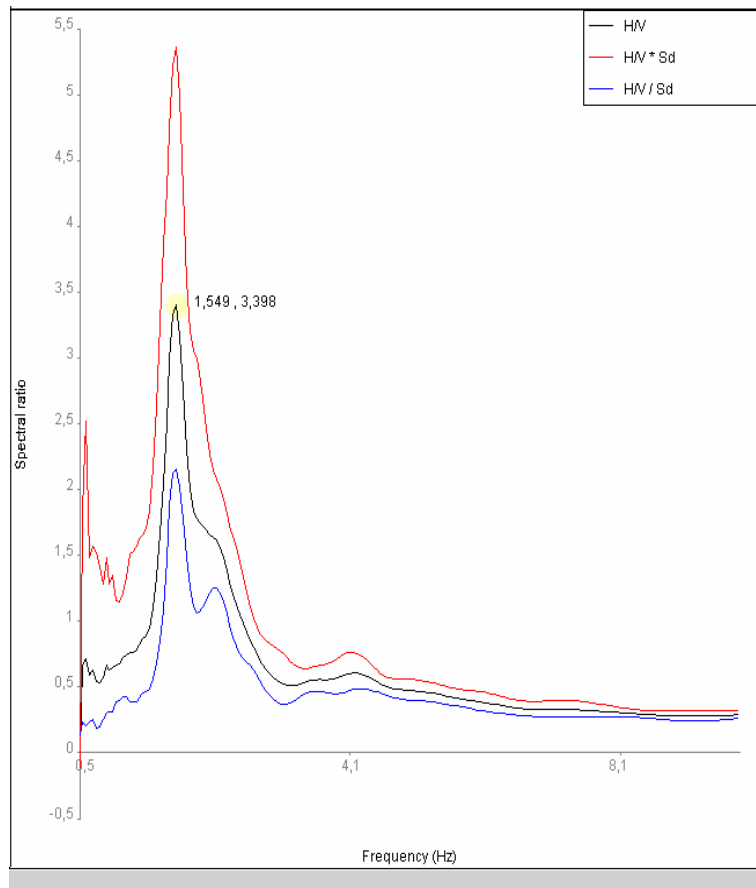
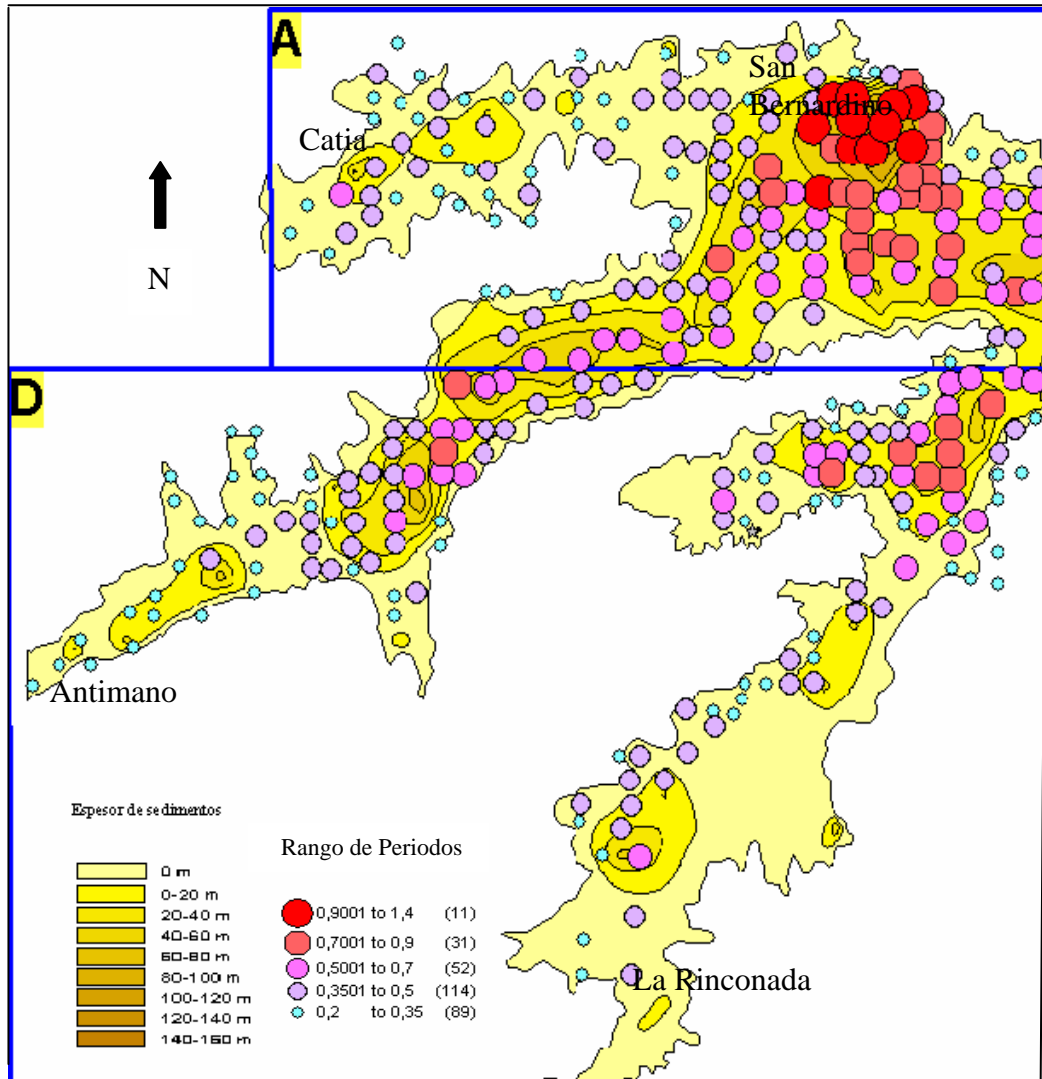


Fig. N° 20 La imagen de la izquierda muestra el procesamiento de la estación S24 de la zona D realizado con mas de 15 ventanas, la de la derecha se refiere a la misma estación procesada con 2 ventanas.

1,164.670



1.153.415

Escala Grafica



-1000 0 1000

Fig. N° 21. Mapa de periodos y espesor de sedimentos en el Oeste de la ciudad de Caracas.

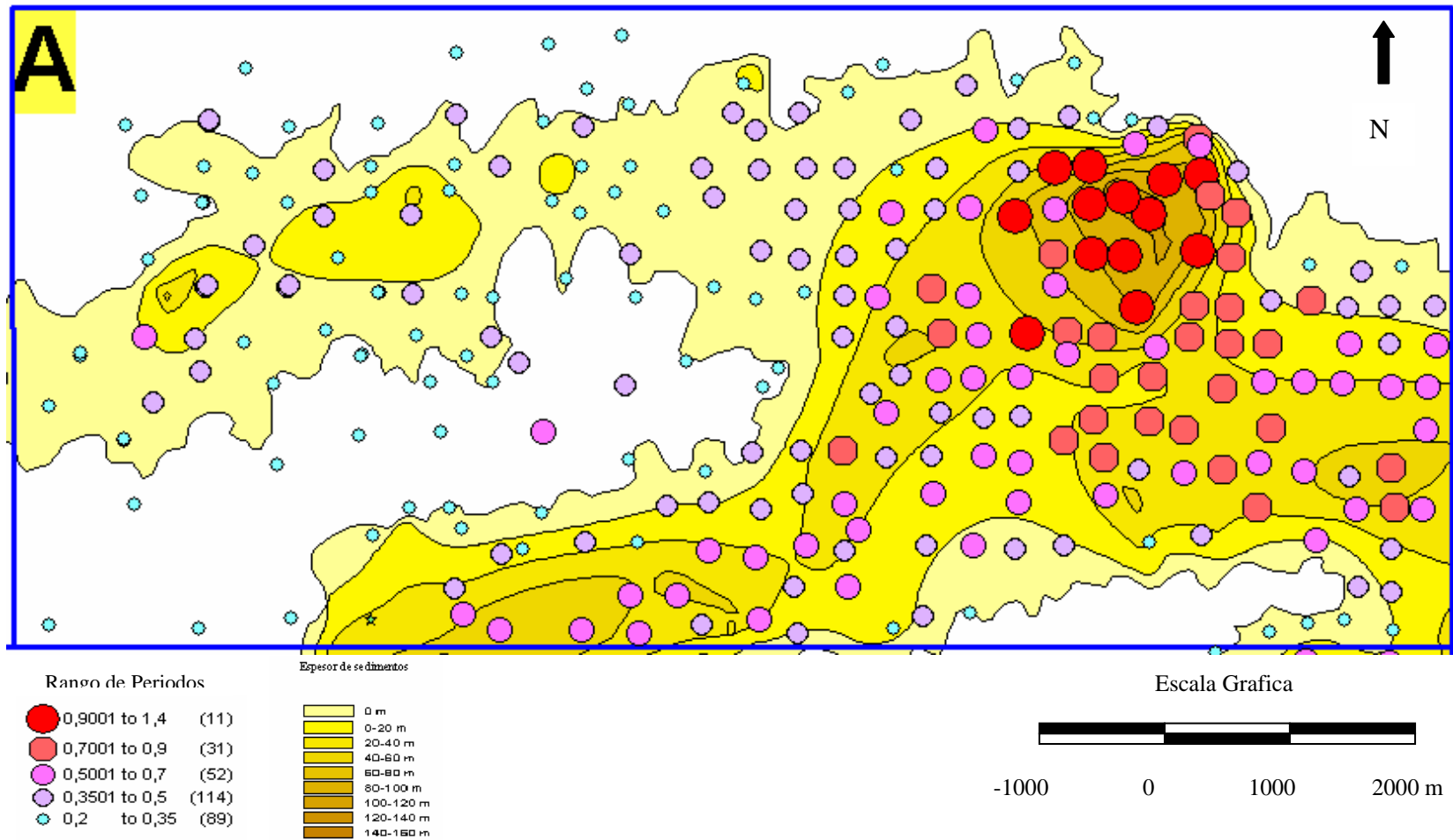
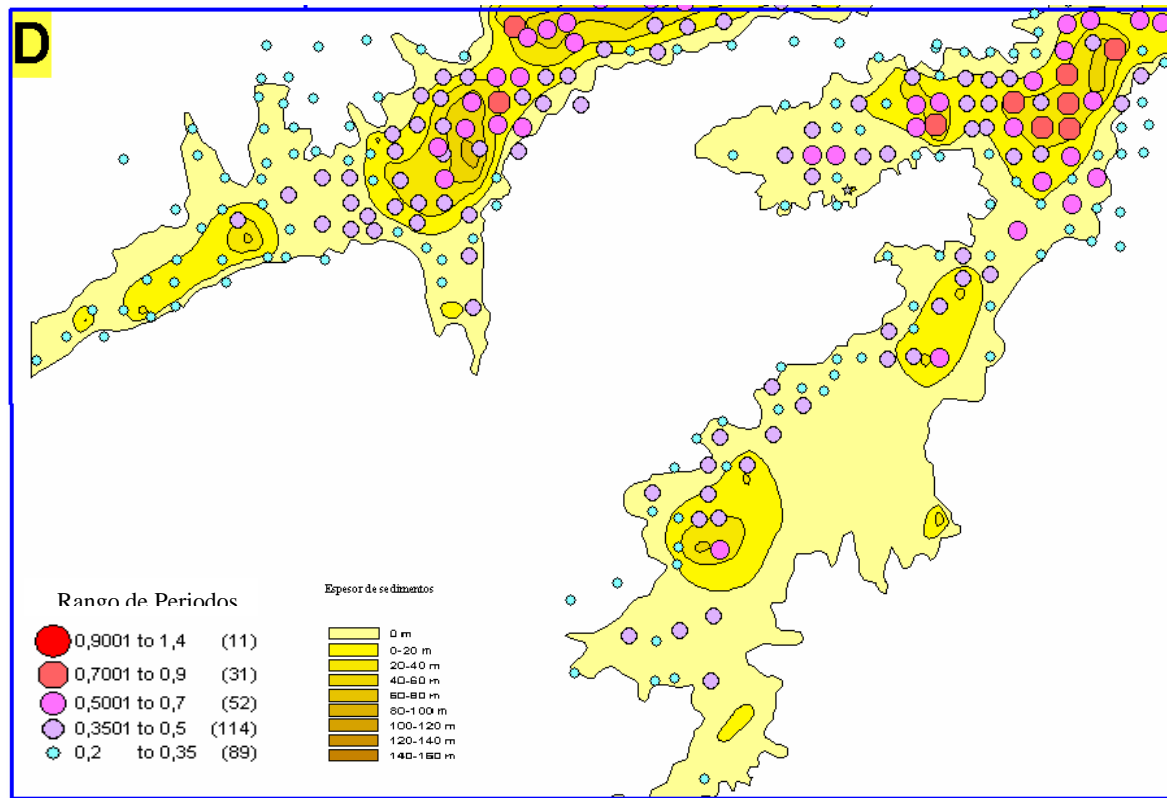


Fig. N° 22. Distribución de periodos y espesor de sedimentos en la zona A.



Escala Grafica



-1000 0 1000 2000 m

Fig. N° 23. Distribución de periodos y espesor de sedimentos en la zona D.

Posteriormente se muestra la relación estudiada entre el periodo fundamental y el espesor de sedimentos, de forma grafica (Fig. N° 25). En esta grafica tiene en su eje “x” el valor de espesor de sedimentos expresado en metros, y en su eje “y” el valor del periodo fundamental en segundos, obteniéndose una función lineal según los datos derivados del oeste de Caracas. Esta correspondencia es comparada con la relación obtenida por Rocabado (2000)(Fig. N° 26).

Seguidamente se muestra la integración entre los valores de periodo fundamental obtenidos por Rocabado en el 2000 y los datos resultados con respecto a los valores de periodo fundamental obtenidos en este trabajo (Fig. N° 27).

Por otra parte se muestra el mapa de rangos de amplitud relativa de la relación H/V (Fig. N° 28), estimados mediante el método de Nakamura, con los datos obtenidos en este trabajo.

Por ultimo, se muestra el mapa de distribución de velocidades de ondas S en el área de estudio (Fig. N° 29), estimada según las relaciones tomadas en cuenta por Nakamura para la estimación de dicha velocidad

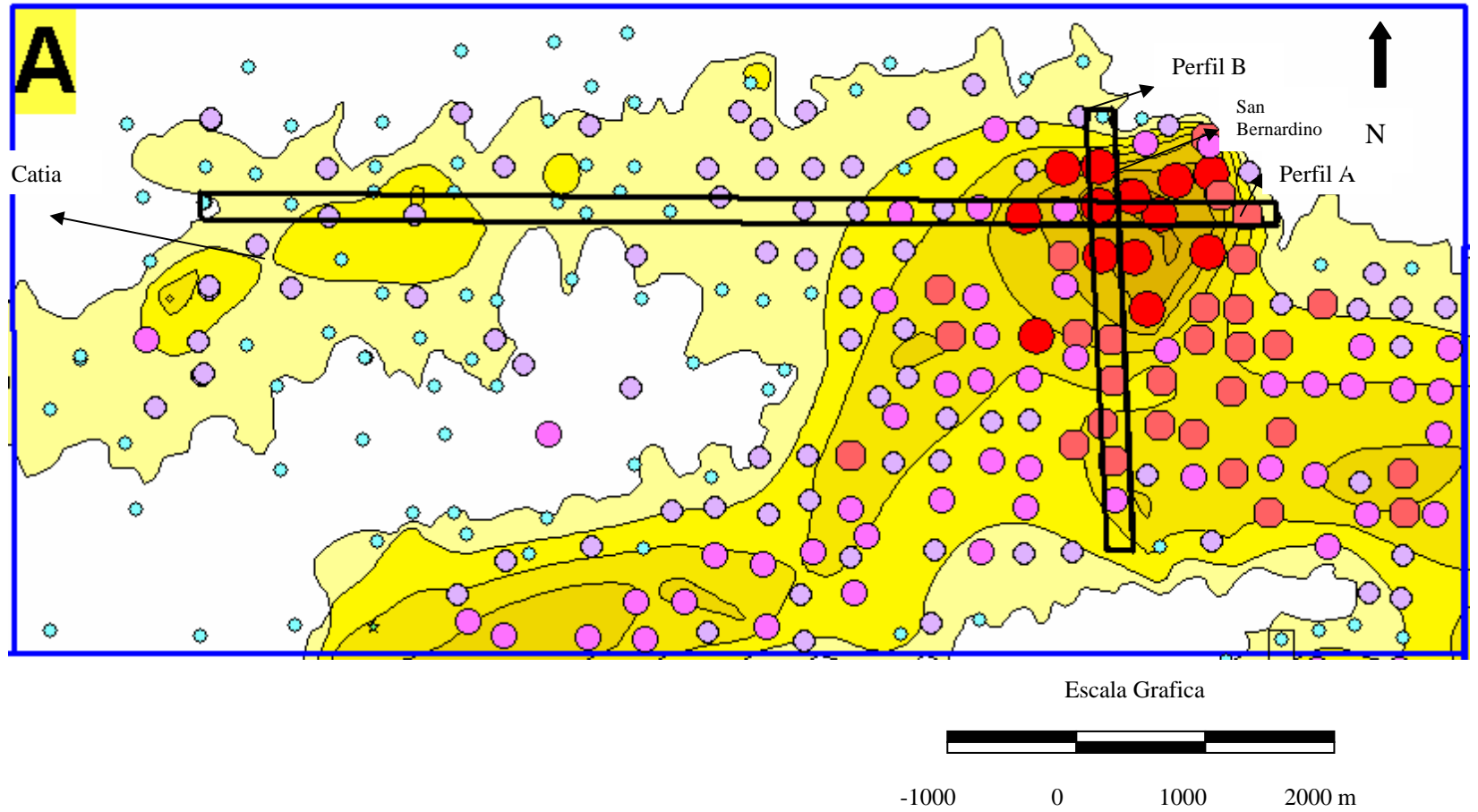


Fig. N° 24. Ubicación de los perfiles en la zona A

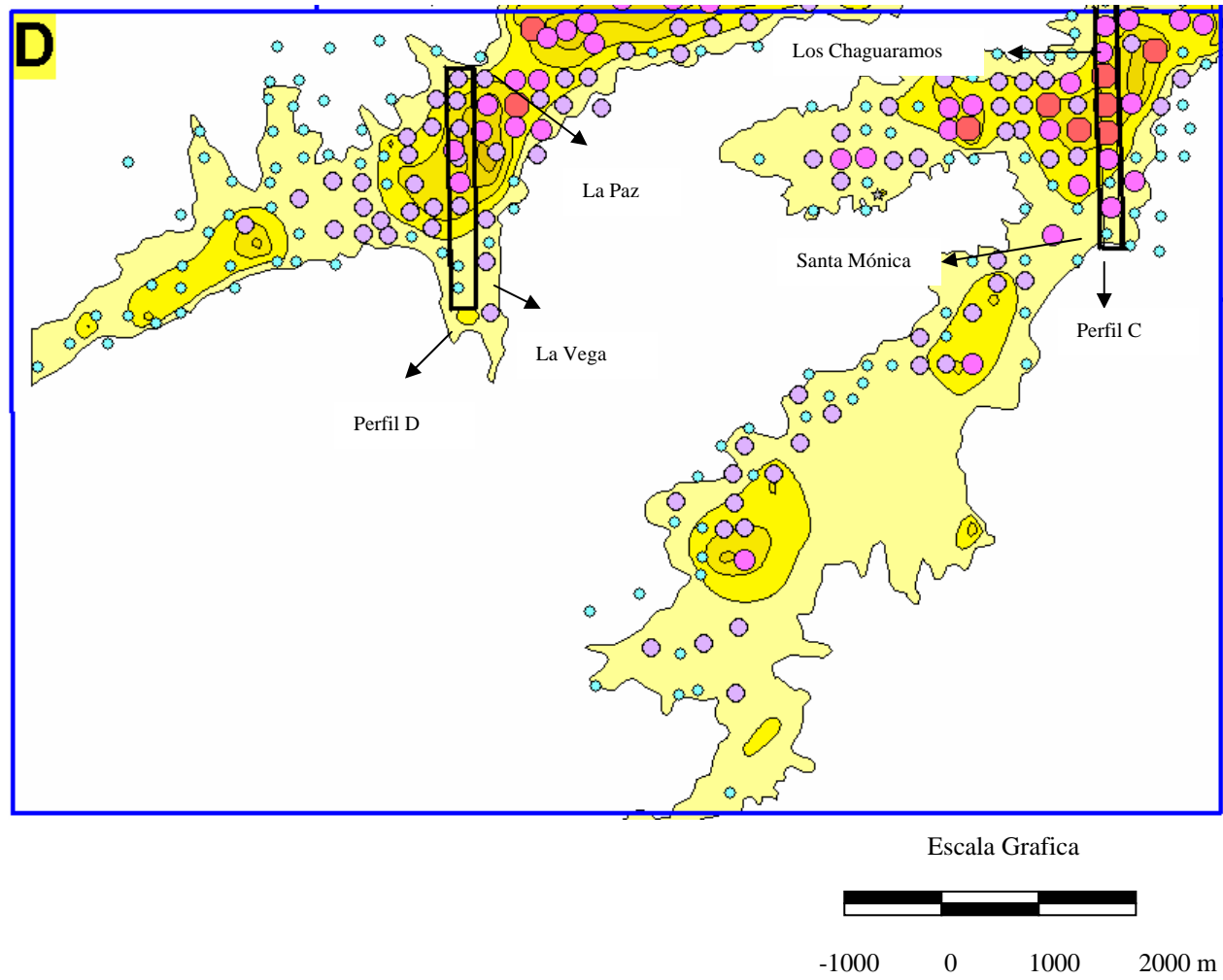


Fig. N° 25. Ubicación de los perfiles en la zona D.

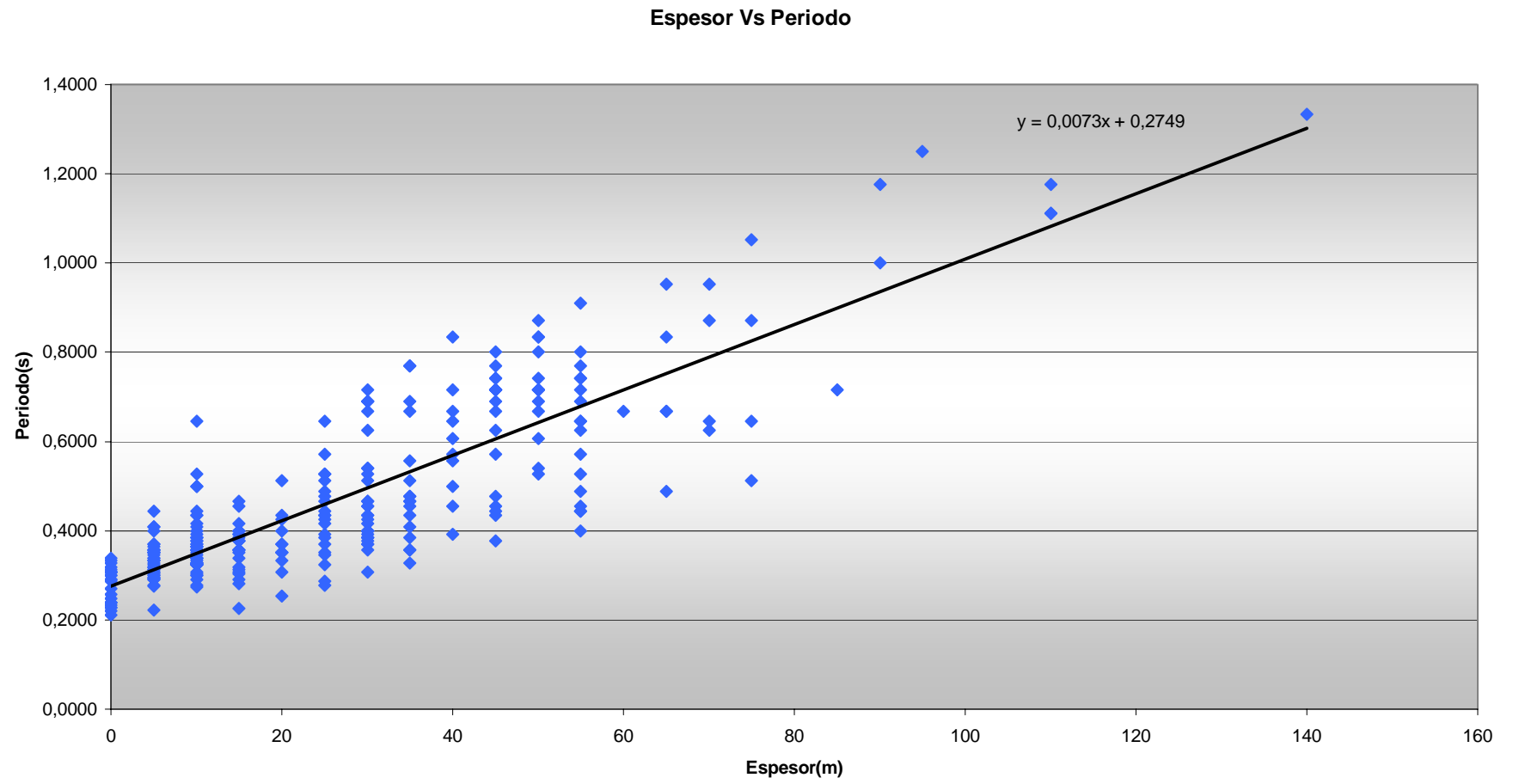


Fig. N° 26. Función de relación entre el periodo y el espesor de sedimentos

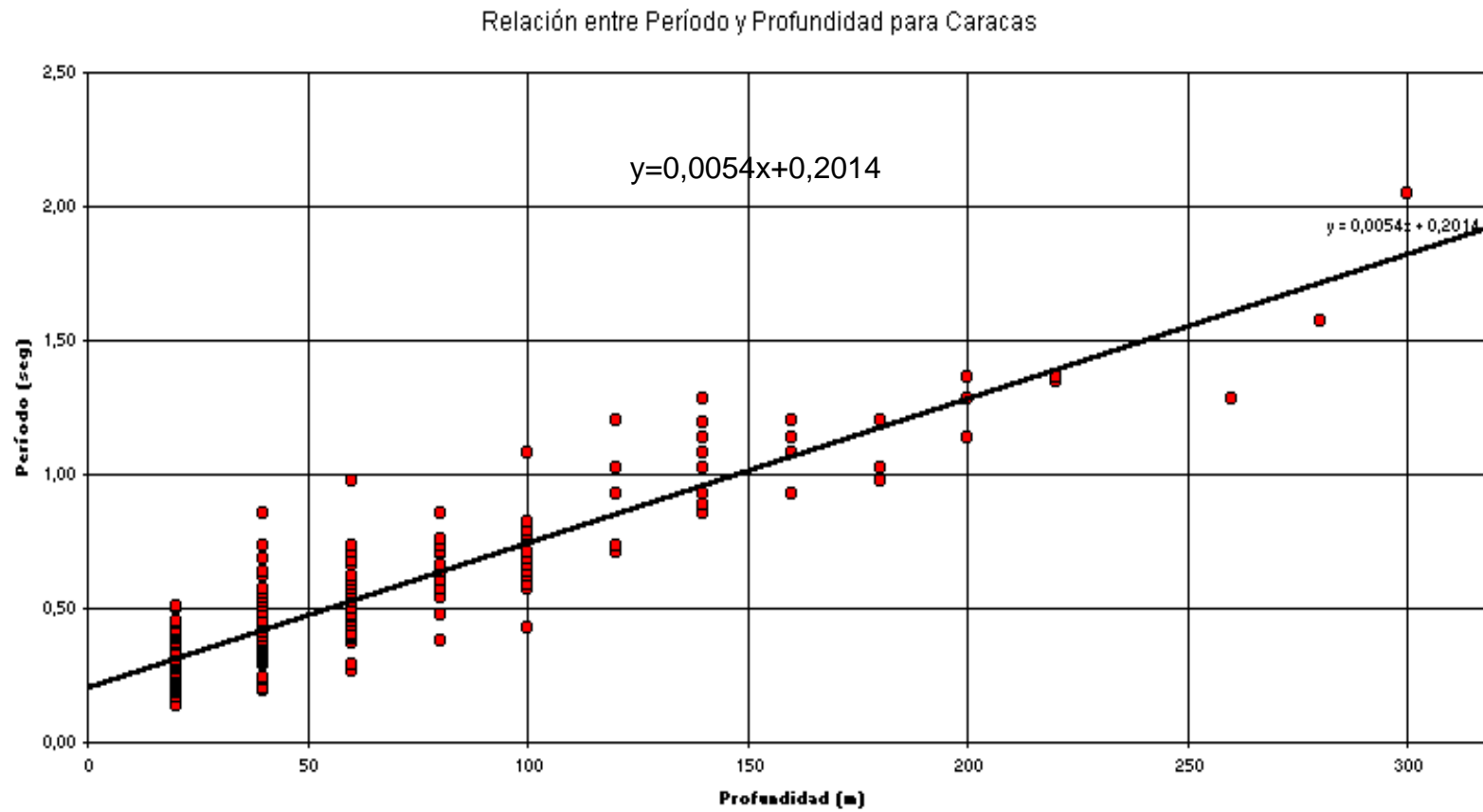


Fig. N° 27. Función de relación entre el periodo y el espesor de sedimentos obtenida por Rocabado (2000)

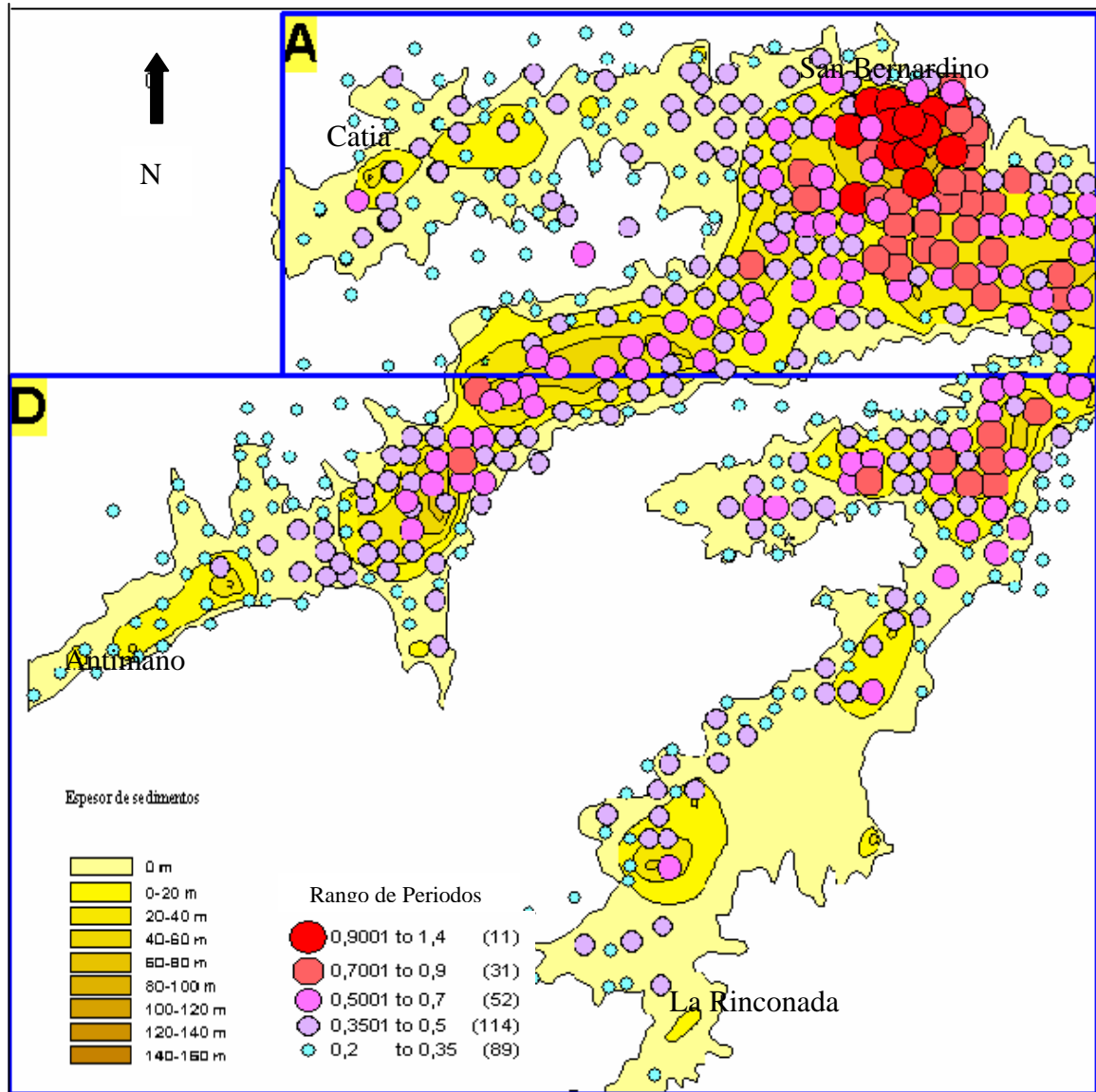


Fig. N° 28. Mapa de periodos predominantes y espesor de sedimentos en el Oeste de la ciudad de Caracas. Integración de valores obtenidos por Rocabado (2000) y los valores obtenidos en este trabajo.

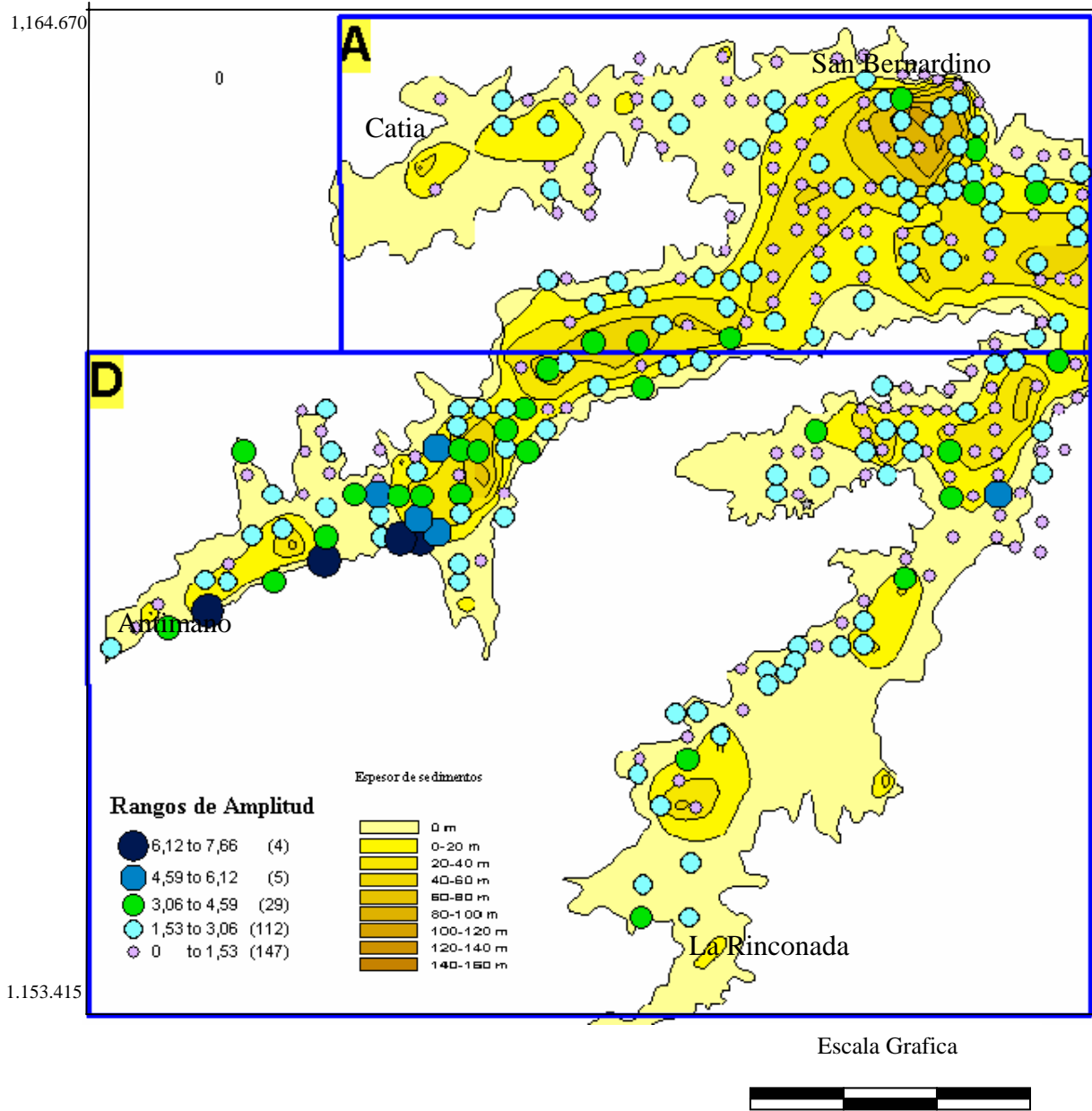
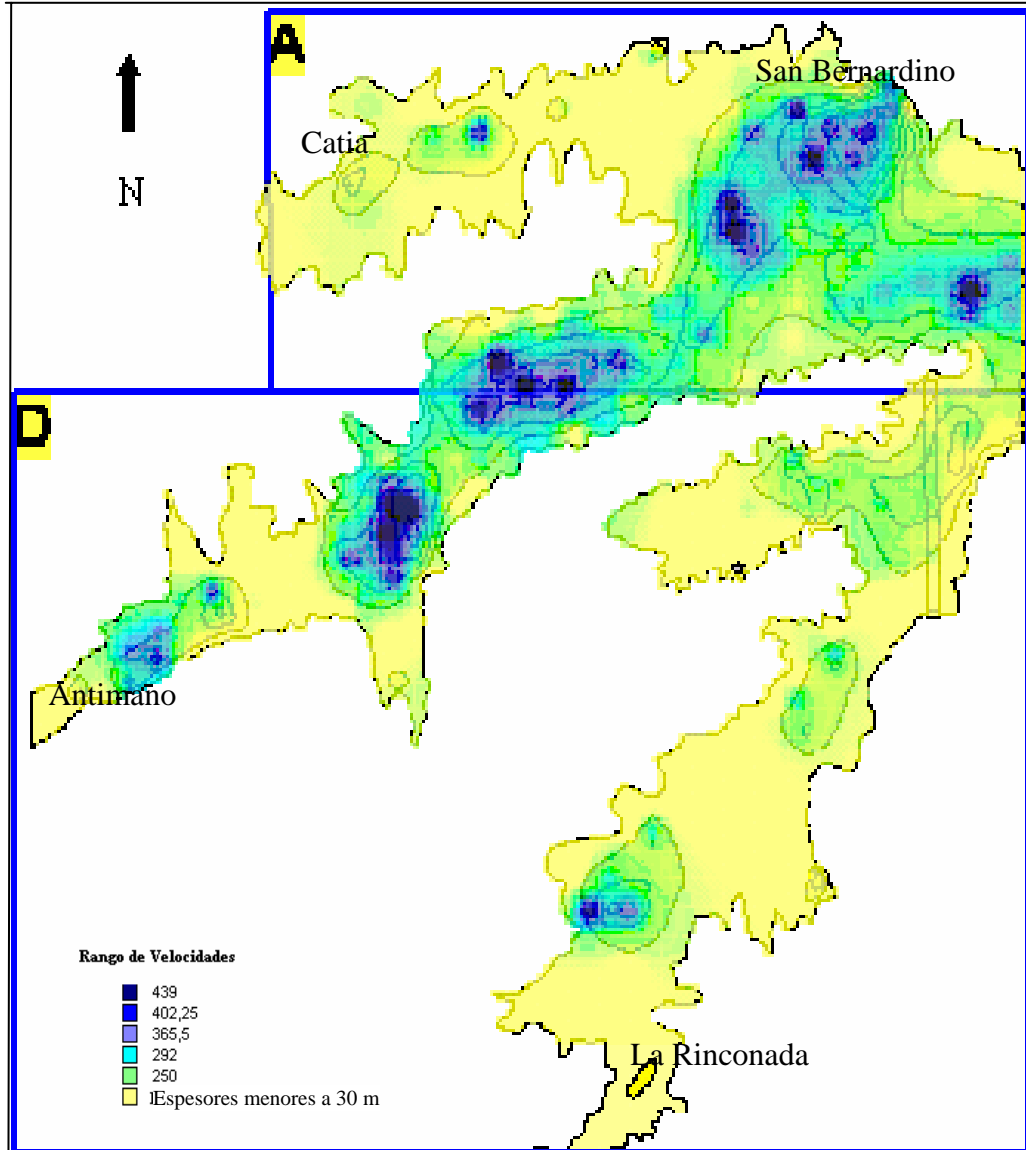


Fig. N° 29. Mapa de Rangos de amplitud de la relación H/V en el oeste de Caracas. Se observa que esta amplitud no presenta una tendencia específica y no muestra ninguna relación con el espesor de sedimentos.

1,164.670



1.153.415

**Escala Grafica**

0 1000 2000 3000 m

Fig. N° 30. Mapa de distribución de Velocidades de ondas S en el oeste de Caracas. \_No se toman valores de velocidad para espesores menores de 30m debido a que la estimación de Nakamura (2000) para la velocidad nos arroja valores muy por debajo de los rangos ( $V_s=4h/P$ )

## **CAPITULO IV**

### **ANALISIS DE RESULTADOS**

## ANALISIS DE RESULTADOS

De acuerdo con los resultados obtenidos luego de culminada la etapa de procesamiento de los datos, se puede realizar la siguiente interpretación y análisis asociado de dichos resultados. Los resultados obtenidos concuerdan en términos generales con las tendencias y los resultados obtenidos por Rocabado (2000) (Fig. N° 5).

En relación al espesor de sedimentos se debe realizar una comparación entre los mapas realizados por Weston (1969) y el mapa actualizado por Kantak (2001), para el oeste de Caracas. Esta comparación es necesaria debido a que Rocabado (2000) utilizó como base para su interpretación y la relación entre períodos y espesores el mapa elaborado por Weston. En el área de estudio se tiene que la tendencia se mantiene es decir se observa un valor máximo de espesor que no sobrepasa los 160m en ambos mapas.

Como diferencia se tiene que en el mapa de Weston, se tiene un menor detalle en zonas como el noroeste de la zona de estudio y en el sur este de la misma, lo que causa que ciertos aumentos de profundidad en sitios específicos no sean observados. Estas diferencias no ocasionan un mayor problema a la hora de analizar las relaciones obtenidas por Rocabado (2000) y las obtenidas en este estudio, debido a que solo en casos muy puntuales se tienen discrepancias de espesor sedimentario mayores a los 30 m.

Por otra parte, la comparación entre los resultados obtenidos con el procesamiento de una sola ventana y el procesamiento de varias ventanas de forma simultánea, específicamente se realizó la comparación entre una y diez o más ventanas (ver apéndice N° 3), arroja que para zonas con distinto espesor sedimentario el análisis de la mayor cantidad de ventanas posibles, favorece la obtención de una señal más clara, para de esta manera poder observar y seleccionar de forma precisa el período fundamental en el espectro H/V.

De los valores de periodo obtenidos se tiene que en términos generales los mismos guardan una estrecha relación con los valores de profundidad de basamento, los periodos obtenidos oscilan en un rango de 0,2s para los valores mínimos y 1,33s para los valores máximos. Los valores de espesor de sedimento varían en el orden de 0m para las estaciones que se encuentran fuera de los límites del valle, hasta valores de 140m como valor máximo de espesor de sedimentos en el área de estudio, según el mapa de sedimentos de Kantak (2001) (Fig. N° 6).

En relación al mapa donde se observan los periodos fundamentales de cada una de las estaciones medidas y el espesor de sedimentos (KANTAK, 2001) en el área de estudio (Fig. N° 20), se observan los valores máximos de periodo en la zona “A” (Fig. N° 21), específicamente en el área de San Bernardino, esto se puede constatar con las estaciones AL12, AL10, AG10, AG11, AH10A, AH12, AH11, todas ubicadas en la zona “A”, las cuales presentan valores de periodos fundamentales que oscilan en el orden de 1s a 1,33s, siendo el valor máximo el de la estación AH11. Cabe destacar que en las estaciones anteriormente nombradas se observan los valores máximos de espesor de sedimentos en el área de estudio, dichos valores se encuentran entre 90m y 140m de espesor de sedimentos, siendo el valor de 140m el valor asociado a la estación AH11.

Los valores mínimos encontrados en la zona A son los valores correspondientes a las estaciones que se encuentran fuera de los límites del Valle. Como un ejemplo podemos nombrar la estación S07 de la zona A de 0m de espesor de sedimentos. Para la estación S07 se tiene que su valor de periodo fundamental es de 0,21s, representando esta cifra el valor mínimo de periodo fundamental encontrado en la Zona “A” y en general en toda el área de estudio.

Por otra parte, en la zona “D” se tienen que el valor máximo encontrado de periodo fundamental del suelo es el de 0,8s presentado en las estaciones AK20 y AK21, dichas estaciones se encuentran ubicadas en al área de Valle Abajo y presentan un espesor de sedimentos aproximado de 45m y 50m respectivamente. En esta área el valor máximo de espesor se encuentra en la estación P20 con 75 m

de espesor de sedimentos, esta estación presenta un periodo fundamental de 0,51s, y esta ubicada en la zona de la Paz.

En términos generales se observa en la zona “D” (Fig. N° 22), que hacia la parte sur los valores de periodo fundamental son mayores a los que presentan estaciones con la misma o mayor profundidad de sedimentos, ubicados hacia el norte de la zona “D” y la zona “A” en su totalidad.

Esta amplificación en los valores de periodo fundamental del suelo observado en el sur de la zona “D”, puede ser causada por un mayor contraste de impedancia entre los medios en esta área (Bard, 1999), debido a que el método se basa en el estudio de las diferentes componentes del movimiento tanto en la superficie como en la base de la capa sedimentaria, sea cual sea dicha base.

Específicamente en el valle de Caracas, se observa hacia la zona norte una mayor contribución de los sedimentos provenientes del Ávila a través de sus conos de deyección, lo cual es la principal causa de una mayor acumulación de sedimentos en la parte norte de la ciudad. Con respecto al sur de la ciudad se tiene que la contribución del Ávila es menor, además de observarse un mayor grado de contribución de las otras elevaciones que limitan el valle por esta área. Esto nos lleva a tener en la parte norte un mayor espesor de sedimentos y en la parte sur una menor acumulación de sedimentos, pero un mayor contraste de impedancia con respecto a la roca base de la capa sedimentaria.

A partir de los valores de periodo fundamental del suelo obtenidos y los valores de profundidad a basamento tomados del mapa de espesores (KANTAK, 2001), se obtuvo una función de relación entre dichos parámetros (Fig. N° 25). Esta función de relación resulto ser una función lineal descrita por la ecuación “ $y=0,0073x+0,2749$ ”. Este resultado concuerda con los obtenidos por Rocabado (2000).

Esta relación no necesariamente debe corresponder a una función lineal (Funvisis 1979; Parolai, 2000), sino que depende de las características presentes en el suelo en la zona estudiada. Para esta zona se obtuvieron periodos que varían entre los 0,21s y los 0,32s para zonas con 0m de espesor sedimentario, periodos que van de 0,22s a 0,51s en zonas entre 5m y 20m de espesor de sedimentos, se tienen periodos de 0,35s a 0,8s en espesores que varían entre 25m y 50m de espesor, periodos de 0,66s a 0,95s para espesores sedimentarios entre 60m y 70m, y periodos que van desde 1s a 1,33s para zonas con espesor sedimentario entre 90m y 140m.

Con los resultados de periodo fundamental obtenidos en este estudio y la utilización del mapa de espesor de sedimentos (Kantak, 2001), se tomaron cuatro perfiles representativos para ser analizados.

Este perfil A (Fig. N° 30) tiene una longitud de 6000m, ubicado en la zona “A” y se extiende desde Catia hasta San Bernardino. El perfil A comprende desde la estación L11, trazando una línea en dirección Oeste - Este hasta la estación AJ11. En este perfil se puede ver de forma clara la relación entre el periodo fundamental y el espesor de sedimentos, debido a que en la zona oeste del mismo, desde los 0m hasta aproximadamente 3000m de longitud, se observan periodos comprendidos entre 0,2s y 0,4s, este valor de 0,4s es alcanzado justo en la zona del perfil donde se alcanza una profundidad de sedimento de 40m. En el perfil se tiene un periodo máximo de 1,33s aproximadamente a los 5500m de longitud del mismo, a esta distancia se tiene un valor de espesor de sedimento de 140m aproximadamente.

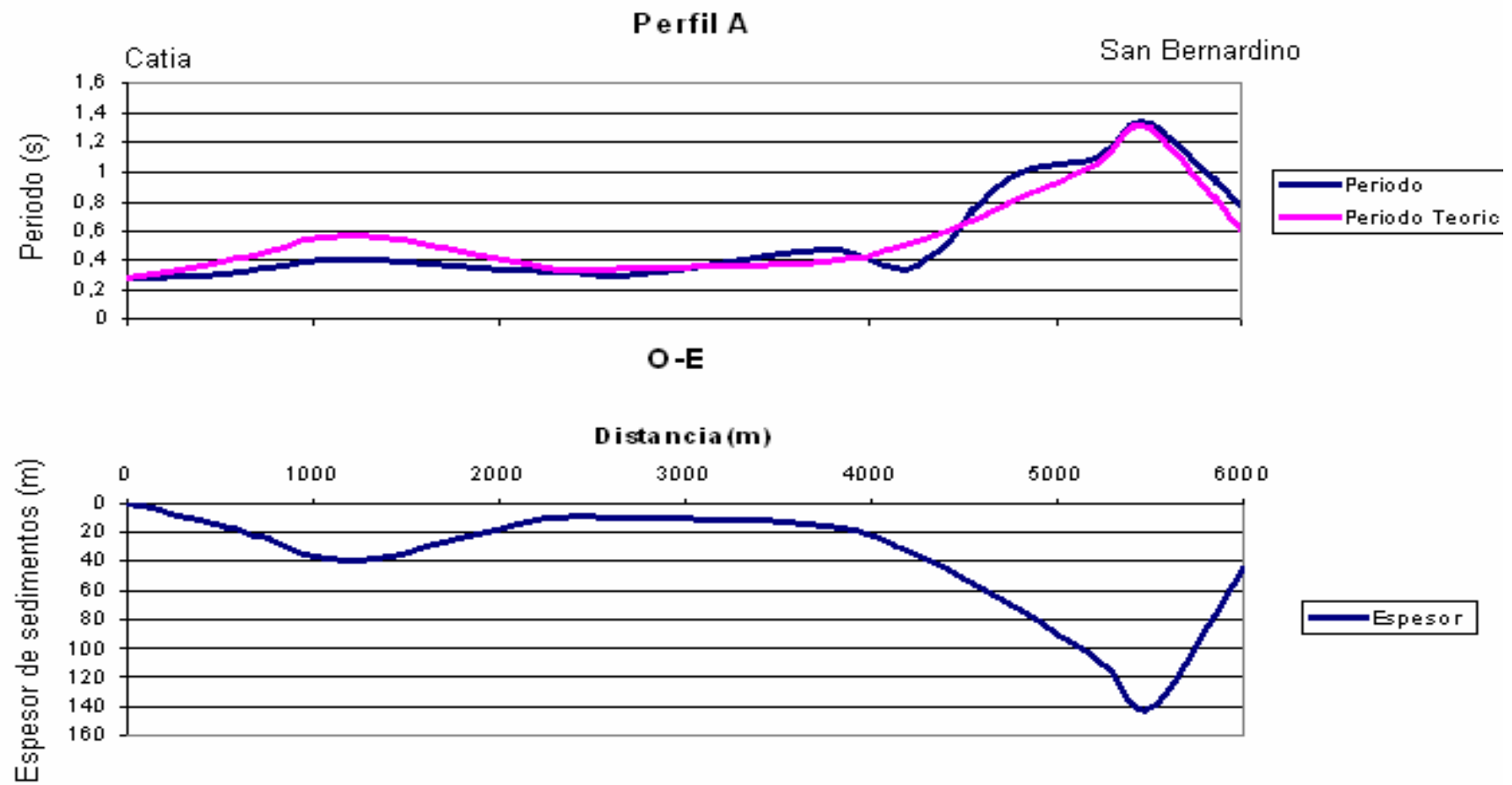


Fig. N° 31. Perfil A, Relación entre el periodo y espesor sedimentario

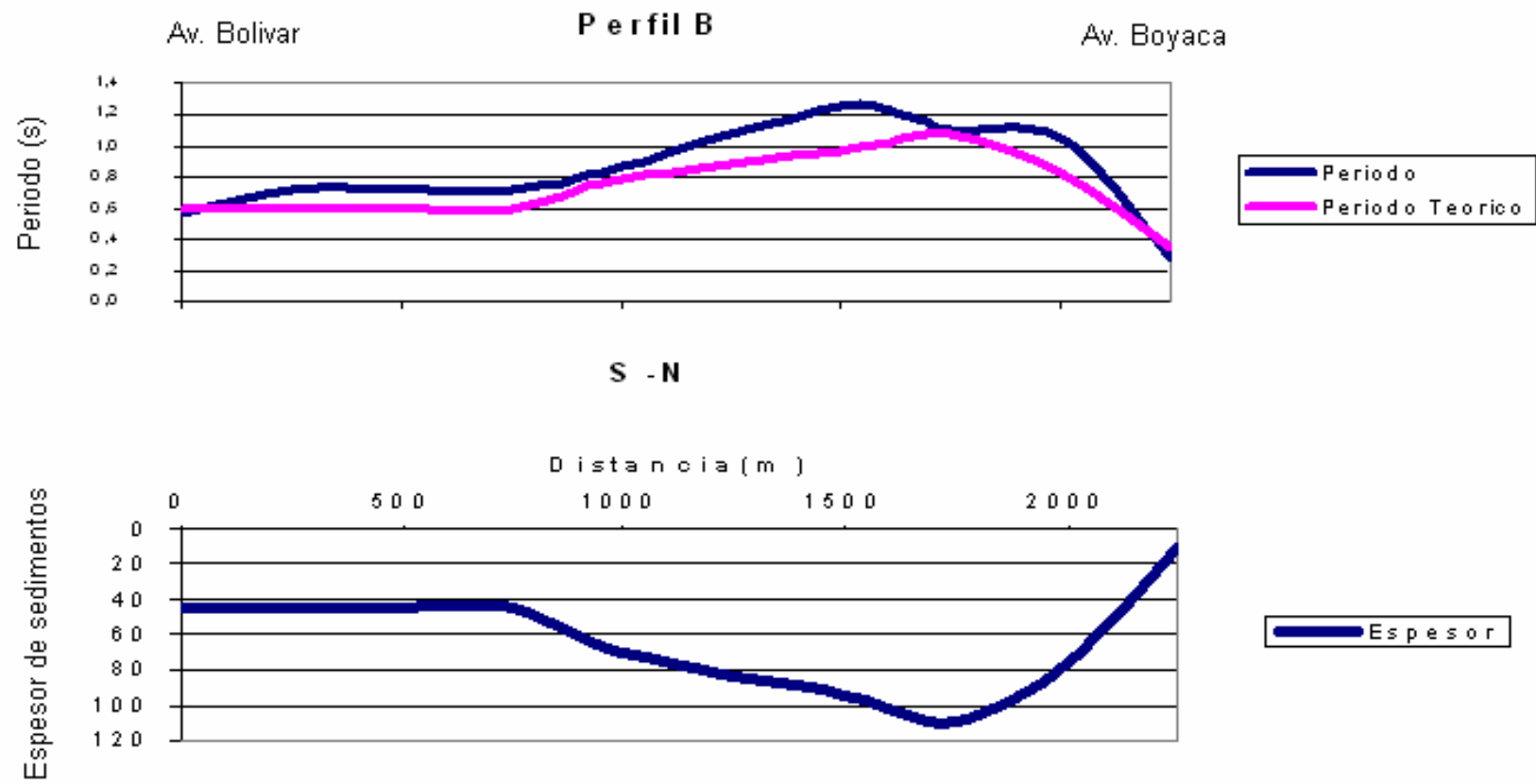


Fig. N° 32. Perfil B Relación entre el periodo y espesor sedimentario

El perfil B (Fig. N° 31) ubicado en la zona “A”, específicamente en el área de San Bernardino en dirección Sur – Norte, desde la avenida Bolívar hasta la cota mil, con una longitud de 2250m desde la estación AG04 hasta la AG13.

Con relación a este perfil, podemos decir que su periodo oscila entre los 0,27s en la estación AG13, hasta los 1,25s en la estación AG10 la cual presenta un espesor de sedimentos aproximado de 95m. El valor mínimo de este perfil, de la estación AG13 lo encontramos en la parte norte cercana a la cota mil, esto es debido a una disminución drástica del espesor, el cual varía de 110m a 10m en 500m de distancia. Esta disminución es ocasionada por variaciones topográficas de la parte norte del área de San Bernardino, en la cual se encuentra el máximo valor de profundidad de la zona de estudio, y la cercanía de la roca competente del Ávila a la parte Norte del perfil, lo cual produce esta rápida variación del espesor sedimentario.

En la parte sur del perfil se nota un espesor mas o menos constante desde el punto inicial del mismo, denotado por la estación AG04, hasta los 750m de longitud en la estación AG07, con una profundidad de espesor aproximada de 45m, presentándose valores de periodo mas o menos constantes los cuales oscilan entre los 0,57s y los 0,7s. A partir de este punto se presenta un aumento de espesor con una pendiente menor a la del lado norte del perfil, variando de 45m a 110m de espesor en una longitud de 1000m.



El perfil C (Fig. N° 32) esta ubicado en dirección Sur – Norte en la zona en la parte NE de la zona D, específicamente entre Santa Mónica, Valle Abajo y Los Chaguaramos (UCV), limitado al sur por la estación AK16 y al norte por la estación AK01 en el limite de la zona A.

En este perfil se encuentran estaciones en la parte central del mismo, como lo son las estaciones AK21 y AK20 que presentan valores de periodo de 0,8s para valores de espesor de sedimentos de 50m y 45m respectivamente. Como se explico anteriormente este aumento de periodo para estaciones con una profundidad entre 45m y 50m, en comparación con otras estaciones con los mismos valores de espesor que presentan valores de periodo entre 0,4s y 0,7s, puede ser ocasionado por una variación en el contraste de impedancia entre la roca base y la capa sedimentaria (Bard, 1999).

En términos generales la tendencia de los periodos en este perfil concuerda con la de los espesores de sedimento en el mismo, teniéndose los valores máximos de periodo en la zona central del perfil, en donde también encontramos los mayores valores de espesor de sedimento en el perfil.

Se debe tener en cuenta que en general los valores de periodo de este perfil, se encuentran por encima de los rangos observados en el resto de las estaciones del área de estudio.

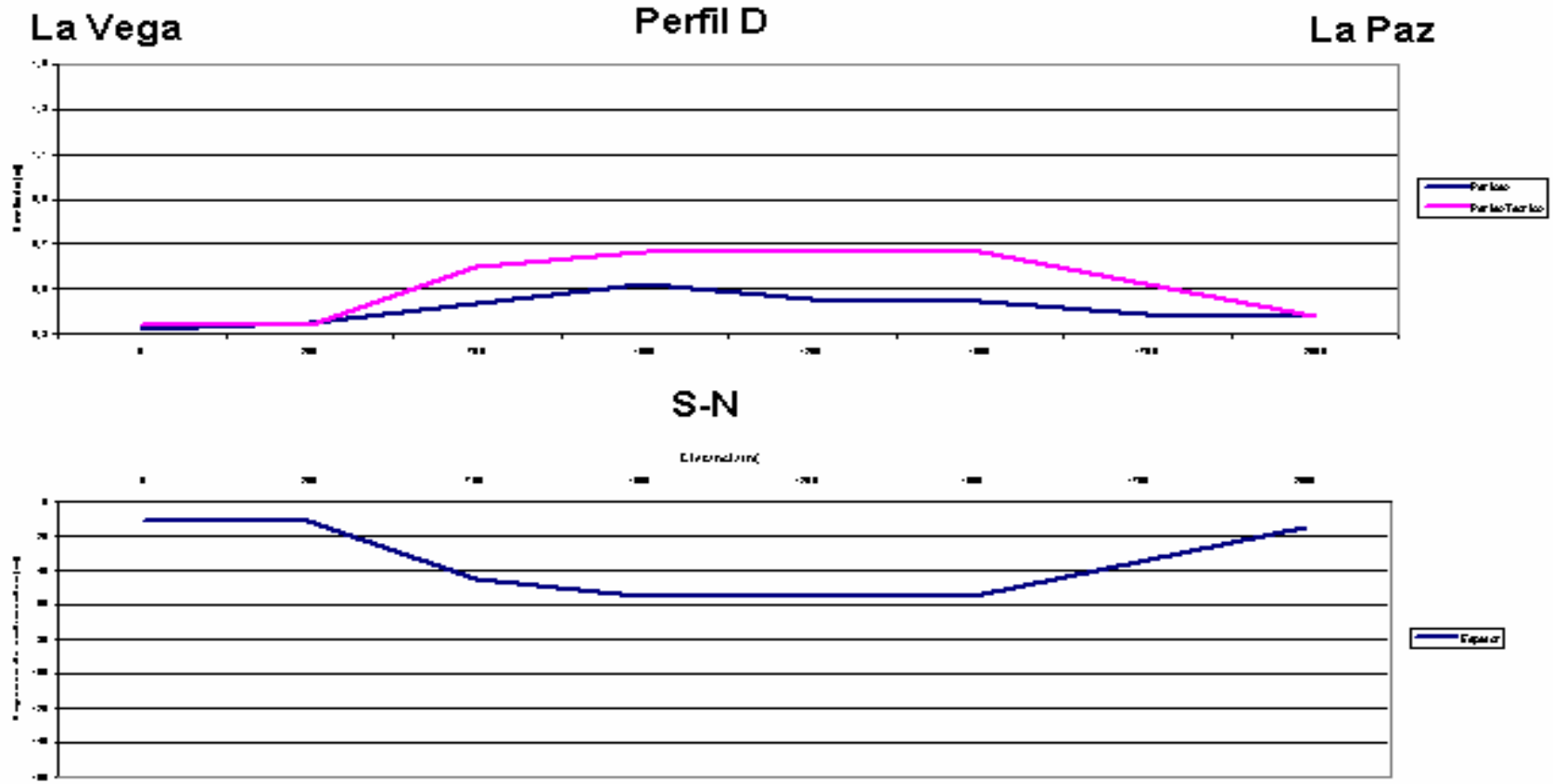


Fig. N° 34. Relación entre el periodo y espesor sedimentario

En el perfil D (Fig. N° 33) con dirección Sur – Norte, en el oeste de la zona D, específicamente entre el área de La Vega y La Paz, con una longitud de 2000m, se puede observar también la equivalencia de los valores de periodo fundamental con los valores aproximados de espesor de sedimento.

Se observa un valor máximo de periodo a los 1000m de longitud del perfil, en la estación O18, la cual presenta un valor de periodo de 0,5s y su correspondiente valor de espesor de sedimentos es de 55m. El valor mínimo lo encontramos en la estación O14, con un valor de periodo de 0,32 para un espesor de 10m.

Observamos en el centro del perfil un aumento del valor de periodo fundamental, relacionado con un aumento de espesor de sedimentos en esta área. En los extremos tenemos periodos de 0,32s en el sur en el área de la Vega, con un espesor de 10m, y 0,37s en el norte en el área de La Paz, con un espesor de 15m.

Por otra parte, en relación con la amplitud de la relación H/V (Fig. N° 28), debe destacarse que el método de procesamiento utilizado no es resolutivo para una buena estimación de la misma. Esto es debido a que a través de esta técnica solo se logra obtener valores relativos de amplitud y no es posible obtener valores absolutos.

De este mapa de amplitudes, lo único que podemos observar como dato relevante, es que hacia el área de la Paz, la Yaguara y Antimano se observan los mayores valores de amplificación, esto puede deberse a una mayor diferencia entre la impedancia de la roca base y la capa sedimentaria, lo cual puede ser ocasionado por una menor compactación del suelo en esta área.

Varios autores concluyen que los valores de amplitud hallados a partir de microtemores, no concuerdan con los valores hallados a partir de terremotos, por el contrario los valores de periodo producto del método H/V si coinciden en

ambos casos (Lermo y Chavez Garcia, 1994; Seo, 1992). Otros autores comentan que el método H/V no arroja ningún estimado del ancho de banda sobre el cual se amplifica la señal con cualquier movimiento sísmico, sea cual sea su magnitud (Bard, 1999).

También se presume que debe existir ciertas relaciones locales, validas para zonas limitadas, derivadas empíricamente mediante observaciones en sitios específicos. Estas condiciones están estrechamente ligadas con marcadas relaciones de impedancia entre los medios, donde los valores de velocidad de corte entre la capa sedimentaria y la roca base, debería corresponder a una relación aproximada de 1/4 respectivamente (Bard, 1999).

Con respecto al mapa de velocidades de ondas S (Fig. N° 29), se tiene que en el mismo se observan los mayores rangos de velocidades justo en las zonas donde se tienen los mayores valores de espesor de sedimentos, y por ende en donde se encuentran los valores máximos de periodo fundamental. En general el comportamiento presenta una relación directa con el espesor de sedimentos. En este mapa se deben descartar los valores obtenidos en un espesor de sedimentos menor a 30 m debido a que la formula utilizada por Nakamura ( $V_s=4h/P$ ) no arroja valores reales para estas profundidades.

Los valores máximos encontrados en este mapa están entre los 270m/s y los 540m/s, valores dentro de este rango se observan en varias zonas del mapa, principalmente en la zona de San Bernardino, como se explico anteriormente en esta zona se alcanzan valores de hasta 140m de espesor de sedimentos. En el Sur Oeste, específicamente en la parte comprendida entre El Paraíso, La Yaguara y La Paz, se nota también valores pertenecientes al rango máximo de velocidades, en esta zona se tienen espesores de hasta 70m.

Hacia la zona Sureste, comprendida por: Los Chaguaramos, Valle Abajo, Santa Mónica, El Valle y Coche, los valores de velocidad se encuentran en un rango menor, en comparación con los valores de periodos fundamentales encontrados en el área, esto puede deberse, como se dijo anteriormente, a una variación entre el contraste de impedancia entre la roca base y la capa sedimentaria.

## **CAPITULO V**

## **CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES

De acuerdo con el trabajo realizado luego de haber recorrido las diferentes etapas requeridas por el mismo se pueden establecer las siguientes conclusiones:

Referente a la fase de adquisición, se puede afirmar que las mediciones con 10 min. de grabación, ofrecen en términos generales una buena muestra de la vibración del suelo en un punto específico, especialmente en las zonas en donde el espesor sedimentario no excede los 200m , lo cual facilita el procesamiento de las mismas, esto es debido a que la grabación de la señal a 10 min. comparada con 5 min. de grabación nos permite seleccionar mayor cantidad de ventanas limpias de la señal..

El método de Nakamura constituye una herramienta económica y de fácil aplicación a la hora de obtener valores de periodos fundamentales y valores relativos del factor de amplitud de la relación H/V.

Se tiene el programa *Sesame* como una herramienta eficaz, la cual ayuda a optimizar la etapa de procesamiento de datos de ruido sísmico ambiental, para la obtención de la relación H/V mediante el método de Nakamura .

Los resultados obtenidos con el uso del programa *Sesame*, nos brindan una mayor precisión debido a que esta se basa en el procesamiento simultáneo de diversas ventanas de la señal obtenida, y del promedio de los resultados de relación H/V obtenido con cada una de las ventanas. Debido q que con una mayor cantidad de ventanas se puede observar el pico de la relación H/V que determina el periodo fundamental de una forma mas clara

El valor máximo encontrado en relación a los periodos fundamentales, en el área de estudio, fue un valor de 1,33s. El área que presenta los mayores valores de periodo fundamental, es el área de San Bernardino, en esta área se observan periodos que oscilan entre los 0,87s y 1,33s.

El valor mínimo de periodo fundamental del suelo fue encontrado en la zona del 23 de Enero, con un valor de 0,21s.

La realización de una malla de 250m de separación entre puntos de medición permite tener una mayor resolución de la distribución de los periodos fundamentales, en comparación con una malla de 500m de separación entre cada uno de los puntos de medición, y a la vez nos permiten observar con mayor claridad la relación directa entre el espesor de sedimentos y los periodos fundamentales.

La relación entre el periodo y el espesor de sedimentos arroja una ecuación lineal ajustada a la profundidad y el periodo fundamental, dando como resultado la siguiente ecuación:  $y=0,0073x+ 0,2749$ .

Los perfiles analizados son una muestra clara de la correspondencia directa, que existe una estrecha relación entre el espesor de sedimentos y el periodo fundamental del suelo, debido a que en los mismos se observa fácilmente la analogía existente entre ambos parámetros.

A través del método de Nakamura no es posible hallar valores absolutos del factor de amplitud de la relación H/V, sino solo valores relativos relacionados con dicho parámetro.

Los valores de Velocidad de ondas S presentan una relación directa con los valores de espesores de sedimentos utilizados (Kantak, 2001).

Los resultados obtenidos concuerdan con los resultados de Rocabado (2000).

## **Recomendaciones**

Por ultimo se describe una serie de sugerencia que deben ser tomadas en cuenta para cualquier otro trabajo, el cual posea lineamientos parecidos a esta investigación.

Se recomienda no tomar mediciones menores a 10 min. de grabación, si es posible, utilizar un espacio de tiempo igual o mayor para las zonas que no excedan un espesor sedimentario de 200m, se recomienda una grabación entre 10 y 20 min.

Se recomienda también la aplicación de otros métodos Geofísicos para el estudio de espesor sedimentario en el oeste de Caracas, con la finalidad de obtener mas detalle respecto al mismo.

Se recomienda una buena logística y planificación a la hora de la adquisición, esto principalmente a la hora de tomar un numero considerable de estaciones, para esto debe tratarse de conformar dos o mas equipos de trabajo, para poder tener un proceso mas dinámico y de esta manera lograr un mejor rendimiento.

Para la medición del factor de amplificación absoluto de la señal, debe realizarse algún otro procedimiento, como puede ser la instalación de una red de estaciones sismologicas, esto con la finalidad de lograr la grabación de la señal de algún evento sísmico de magnitud, ya que por medio de microtemores y su análisis H/V resulta imposible realizar la estimación de este factor.

## REFERENCIAS

- Abeki, N., Enomoto, T., Guevara, T. y Villegas, Z. (1995). Fundamental concept for Seismic microzonation and preliminary surveys of microtremor observatios in Caracas and Cumaná City, Venezuela. II Coloquio Internacional sobre “Microzonificación Sísmica” y V Reunión de Cooperación Iberoamericana, Cumana, Venezuela, 12 al 16 de junio de 1995, Resumen.
- Abeki, N., Seo, K., Matsuda, I., Enomoto, T., Watanabe, D., Schmitz, M., Rendón, H. y Sánchez, A. (1998). Microtremor observations in Caracas city, Venezuela. 2<sup>nd</sup> International Symposium on Effect of Surface Geology on Seismic Motion, 1-3 de diciembre 1998, Yokohama, p 6.
- Akamatsu, K. (1961). On microseisms in frequency range from 1 c/s, Bull. Earthquake.Res. Inst., 39, Resumen.
- Aki, K. (1957). Space and time spectra of stationary stochastic waves with special reference to microtremors, Bull. Earthquake res. Inst. Universidad de Tokio. Japon, 35, Resumen.
- Alfaro, A. (2000). Análisis Multiespectral a Microtemblores en Barcelona. Procc. Segunda Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Barcelona, España. Resumen
- Bard, P. (1999). Microtremor measurements: A tool for site effect estimation?. The Effects of surface Geology on Seismic motion. Balkema, Rotterdam, Francia. P 1251 – 1279.
- Duval, A.-M., Méneroud, J.-P., Vidal, S. and Singen, A. (1998). Relation between curves obtained from microtremor and site effects observed after Caracas 1967 Earthquake. 11<sup>th</sup> European Conference on Earthquake Engieneering, p 1-9.

Enomoto, T., M. Schmitz, I. Matsuda, N. Abeki, K. Masaka, M. Navarro, V. Rocabado and Sanchez, A. Fundamental study on seismic risk assesment using soil dynamic characterestics in Caracas, Venezuela. Taller internacional “ Estudios de metodos y acciones para contrarrestar los efectos producidos por terremotos en Caracas (1999 – 2000). Caracas, Venezuela.

FUNVISIS, 1978. Segunda Fase del Estudio del Sismo ocurrido en Caracas el 29 de Julio de 1967. Ministerio de Obras Públicas, Comisión Presidencial para el estudio de Sismo, FUNVISIS, Caracas, Venezuela, Volumen A, pp 517.

Kagami, H., C. M. Duke, G. Liang. (1982) Observation of 1 to 5 Second Microtremors ad Their Application To Earthquake Engineering. Part II. Evaluation Of Site Effect upon Seismic Wave Amplification Due To extremely Deep Soil Deposits, Bull. Seism. Soc. Resumen

Kanai, K y T. Tanaka, (1961). On microtremors. VIII, Bull Earthquake Res. Inst. Universidad de Tokio. Japon. Resumen.

Kantak, P. (2001). Espesores de los sedimentos y principales unidades geologicas del valle de Caracas. Taller Internacional “ Estudios de metodos y acciones para contrarrestar los efectos producidos por terremotos en Caracas (1999-2000)” – Serie Tecnica N° 1. p 99 – 104. Caracas, Venezuela.

Lermo, J. and F. Chavez-Garcia (1994). Are microtremors useful in site response evaluation?, Bull. Seism. Soc. Am. Resumen.

Nakamura, Y. (1989). A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface. QR of RTRI, Vol 30, No 1, Feb 1989.

Nakamura, Y. (2000). Clear idwntification of fundamental idea of Nakamura’s technique and its applications. 12WCEE 2000. Tokio, Japon.

Nogoshi, M e Igarashi, (1971). On the amplitude characteristics of microtremors (Part 2),  
Jour. Seism. Soc. Japon. Resumen.

Rocabado V. (2000). Períodos fundamentales del suelo de la ciudad de Caracas a partir  
de mediciones de ruido ambiental. Trabajo especial de grado. Universidad Central  
de Venezuela.

Seo, K (1992). A joint work for measurements of microtremors in the Ashigara valley.  
International Symposium on Effect of Surface Geology on Seismic Motion. ESG.  
Odawara, Japon. Resumen.

Yamanaka, H. M. Davrinski and H. Kagami (1993). Continuous Measurement Of  
Microtremors On Sediment and Basement. Los Angeles, California, EEUU. Bull  
Seism. Soc. Resumen

## APENDICE

**Tabla 1**

X	Y	Estación	P(s)	f (1/s)	A	E d S(m)	VS
721458,92	1157765,77	C12-D	0,2199	4,548	3,345	0	0
725748	1161699	Q04-A	0,2274	4,398	1,951	0	0
722323	1159745	F20-D	0,2327	4,298	3,449	0	0
722652,25	1158279,76	G14-D	0,2382	4,198	3,440	0	0
726791	1164198	U14-A	0,2382	4,198	1,023	0	0
725981	1161705	R04-A	0,2470	4,048	1,013	0	0
725271	1159016	Q17-D	0,2704	3,698	1,586	0	0
725872	1162449	Q07-A	0,2859	3,498	0,528	0	0
729579,81	1159485,17	AF19-D	0,2900	3,448	2,140	0	0
723303	1159759,43	I20-D	0,2987	3,348	2,340	0	0
729326,35	1164247,34	AE14-A	0,2987	3,348	0,960	0	0
723847,59	1159766,84	K20-D	0,3079	3,248	0,953	0	0
727827,41	1162423,85	Y06-A	0,3079	3,248	0,617	0	
729535,44	1160507,94	AF23-D	0,3079	3,248	1,661	0	0
731049,06	1158673,31	AL16-D	0,3079	3,248	1,020	0	0
731339	1159762	AM20-D	0,3079	3,248	1,322	0	0
731606	1159780	AN20-D	0,3079	3,248	0,950	0	0
731333	1158951	AM17-D	0,3127	3,198	0,917	0	0
731340	1159508	AM19-D	0,3177	3,148	1,971	0	0
730295	1160460	AI23-D	0,3281	3,048	0,670	0	0
722984,02	1160218,64	H22-D	0,3334	2,999	0,966	0	0
723256,63	1160230,07	I22-D	0,3391	2,949	2,661	0	0
731323,88	1158624,86	AM16-D	0,2274	4,398	1,227	0	0
726238	1162446	S07-A	0,2106	4,748	1,329	0	0
727209	1156797	V08-D	0,2382	4,198	2,323	0	0
731759,03	1160372,28	AO23-D	0,2900	3,448	1,312	0	0
730010	1164013	AH13A-A	0,2565	3,898	1,402	0	0
725525	1163729	P12-A	0,2747	3,64	0,737	5	72,8
722366	1159497	F19-D	0,2779	3,598	1,465	5	71,96
729351	1159487	AE19-D	0,2900	3,448	1,462	5	68,96
730821	1160960	AK01-A	0,2900	3,448	1,520	5	68,96
722631,36	1159275	G18-D	0,2943	3,398	1,873	5	67,96
725788	1162725	Q08-A	0,2943	3,398	2,953	5	67,96
726817	1154477	T01-D	0,2943	3,398	3,075	5	67,96
728338	1164177	AA14-A	0,2987	3,348	1,073	5	66,96
728580,09	1157553,47	AB11-D	0,2987	3,348	2,489	5	66,96
728548,96	1157396	AB10-D	0,3032	3,298	2,132	5	65,96
720806,99	1157542,14	A11-D	0,3079	3,248	1,999	5	64,96
726527	1161672	T04-A	0,3079	3,248	1,534	5	64,96
730836	1158783	AK16-D	0,3127	3,198	1,273	5	63,96
731594,33	1163133,87	AN10-A	0,3127	3,198	0,857	5	63,96
723006,9	1159747,78	H20-D	0,3177	3,148	1,484	5	62,96
726780,22	1156094,16	T05-D	0,3177	3,148	2,002	5	62,96
729811	1160476	AG23-D	0,3177	3,148	1,100	5	62,96
723233	1158524	I15-D	0,3228	3,098	7,652	5	61,96
723202	1159981	I21-D	0,3281	3,048	1,262	5	60,96
722985,94	1159269,28	H18-D	0,3334	2,999	1,301	5	59,98
726238	1162951	S09-A	0,3334	2,999	0,439	5	59,98
730534	1160663	AJ24	0,3334	2,999	1,462	5	59,98

X	Y	Estación	P(s)	f (1/s)	A	E d S(m)	VS
728449,66	1157239,73	AA10-D	0,3449	2,899	2,425	5	57,98
726778	1163968	U13-A	0,3510	2,849	1,181	5	56,98
727329	1156538	V07-D	0,3510	2,849	1,023	5	56,98
727942	1157287	Y10-D	0,3510	2,849	0,601	5	56,98
731338,71	1161229,94	AM02-A	0,3510	2,849	1,256	5	56,98
726786	1156276	TO6-D	0,3573	2,799	0,876	5	55,98
727439,37	1156802,76	W08-D	0,3573	2,799	2,094	5	55,98
727770,24	1162028,41	Y05-A	0,3573	2,799	0,950	5	55,98
727785	1163948	Y13-A	0,3573	2,799	1,240	5	55,98
726227	1162714	S08-A	0,3638	2,749	0,645	5	54,98
723862,7	1158781,53	K16-D	0,3705	2,699	2,516	5	53,98
727053	1163209	V10-A	0,3705	2,699	0,816	5	53,98
731345	1159984	AM21-D	0,4002	2,499	2,107	5	49,98
728252,29	1157109,63	Z09-D	0,4083	2,449	2,886	5	48,98
728338	1159731	AA20-D	0,4083	2,449	1,433	5	48,98
731530	1160246	AN22-D	0,4446	2,249	1,507	5	44,98
731096	1159280	AL18-D	0,5003	1,999	1,439	5	39,98
728816	1157560	AC11-D	0,2741	3,648	1,503	10	145,92
729778	1164021	AG13-A	0,2779	3,598	0,978	10	143,92
727046	1163730	V12-A	0,2900	3,448	2,195	10	137,92
726011	1163749	R12-A	0,2987	3,348	0,622	10	133,92
727248	1163470	W11-A	0,2987	3,348	2,406	10	133,92
728577	1159759	AB20-D	0,3040	3,289	1,089	10	131,56
723834	1159446	K19-D	0,3079	3,248	1,278	10	129,92
721099	1157762,35	B12-D	0,3228	3,098	0,808	10	123,92
724307,62	1158763,96	M16-D	0,3228	3,098	6,305	10	123,92
724743,55	1158279,65	O14-D	0,3228	3,098	2,166	10	123,92
729572	1160252	AF22-D	0,3228	3,098	0,920	10	123,92
726757	1163460	U11-A	0,3281	3,048	1,430	10	121,92
726825	1154859	T02-D	0,3281	3,048	2,899	10	121,92
728581	1159272	AB18-D	0,3281	3,048	1,154	10	121,92
729324	1158051	AE13-D	0,3281	3,048	0,572	10	121,92
727792	1162946	Y09-A	0,3334	2,999	1,204	10	119,96
728617	1163718	AB12-A	0,3391	2,949	0,751	10	117,96
731058	1163151	AL10-A	0,3391	2,949	1,091	10	117,96
731257,75	1161039,01	AM01-A	0,3391	2,949	1,923	10	117,96
724743,55	1158491,58	O15-D	0,3449	2,899	2,025	10	115,96
729808	1158538	AG15-D	0,3510	2,849	0,670	10	113,96
724086	1158768	L16-D	0,3573	2,799	6,199	10	111,96
726279	1163731	S12-A	0,3573	2,799	1,316	10	111,96
727377	1155103	W03-D	0,3573	2,799	1,829	10	111,96
729027,1	1164211,13	AD14-A	0,3573	2,799	1,019	10	111,96
727348	1154488	W01-D	0,3638	2,749	2,834	10	109,96
728084	1163725	Z12-A	0,3638	2,749	1,144	10	109,96
728340	1159287	AA18-D	0,3638	2,749	2,159	10	109,96
723574,99	1159275,01	J18-D	0,3705	2,699	3,239	10	107,96
727959,81	1156829,99	Y08-D	0,3705	2,699	0,560	10	107,96
727812	1163718	Y12-A	0,3775	2,649	1,104	10	105,96
731366,19	1163106,75	AM10-A	0,3775	2,649	1,078	10	105,96
726831,89	1160476,28	V23-D	0,3848	2,599	3,342	10	103,96
727816	1163226	Y10-A	0,3848	2,599	1,079	10	103,96

X	Y	Estación	P(s)	f (1/s)	A	E d S(m)	VS
730633,14	1163700,86	AJ12-A	0,3848	2,599	1,423	10	103,96
723253,25	1159116,33	I18-D	0,3923	2,549	2,612	10	101,96
727474	1163725	X12-A	0,4002	2,499	1,327	10	99,96
725008,37	1158532	P15-D	0,4083	2,449	0,902	10	97,96
725246	1163718	O12-A	0,4168	2,399	1,800	10	95,96
725732,27	1159990,28	S21-D	0,4350	2,299	2,353	10	91,96
728832,76	1159474,19	AC19-D	0,4350	2,299	2,227	10	91,96
729081	1157818	AD12-D	0,4446	2,249	1,046	10	89,96
725524,74	1159760,05	R20-D	0,5003	1,999	3,427	10	79,96
730867	1159029	AK17-D	0,5003	1,999	1,263	10	79,96
730328,24	1158776,19	AI16-D	0,5266	1,899	1,176	10	75,96
728336	1159494	AA19-D	0,6456	1,549	1,565	10	61,96
721344,58	1158016,83	C13-D	0,2818	3,548	1,512	15	212,88
726760	1163738	U12-A	0,3032	3,298	1,403	15	197,88
725267,91	1159279,74	Q18-D	0,3079	3,248	1,036	15	194,88
728801	1159728	AC20-D	0,3127	3,198	0,614	15	191,88
724536	1163735	L12-A	0,3176	3,149	0,939	15	188,94
723260	1158788	I16-D	0,3391	2,949	3,881	15	176,94
727263	1161711	W04-A	0,3510	2,849	1,418	15	170,94
728790	1159978	AC21-D	0,3573	2,799	3,343	15	167,94
729072	1157554	AD11-D	0,3573	2,799	1,680	15	167,94
730068,68	1158355,44	AH14-D	0,3573	2,799	0,921	15	167,94
723856,81	1159033,5	K17-D	0,3775	2,649	2,760	15	158,94
724749,73	1160236,51	O22-D	0,3775	2,649	2,961	15	158,94
725767	1162972	Q09-A	0,3775	2,649	1,136	15	158,94
728775,09	1161053,8	AC01-A	0,3848	2,599	1,791	15	155,94
723839,96	1159273,1	K18-D	0,3923	2,549	5,698	15	152,94
731792	1162904	AO09-A	0,3923	2,549	1,612	15	152,94
728314	1163728	AA12-A	0,4002	2,499	2,144	15	149,94
729320,36	1161460,12	AE03-A	0,4002	2,499	1,676	15	149,94
728049	1163184	Z10-A	0,4168	2,399	2,808	15	143,94
731275,25	1162892,97	AM09-A	0,4548	2,199	1,818	15	131,94
728345	1163474	AA11-A	0,4653	2,149	2,217	15	128,94
730865	1159270	AK18-D	0,2907	3,44	4,795	15	206,4
722410,65	1158801,09	F16-D	0,2248	4,448	2,382	15	266,88
721908,94	1157950,05	D13-D	0,2533	3,948	6,154	20	315,84
730319	1159235	AI18-D	0,3079	3,248	3,426	20	259,84
727722	1164223	Y14-A	0,3334	2,999	0,638	20	239,92
724266,22	1159691,13	M20-D	0,3510	2,849	1,093	20	227,92
727482,08	1160770,83	X24-D	0,3510	2,849	1,560	20	227,92
730165,91	1163972,7	AH13-A	0,3510	2,849	1,243	20	227,92
727513	1161735	X04-A	0,3705	2,699	2,147	20	215,92
730831	1162929	AK09-A	0,3705	2,699	1,098	20	215,92
725970,25	1160248,88	T22-D	0,4002	2,499	1,260	20	199,92
724489	1162709	L08-A	0,4257	2,349	0,860	20	187,92
730253	1160223	AI22-D	0,4350	2,299	1,263	20	183,92
730816	1160739	AK24-D	0,5131	1,949	2,053	20	155,92
721877,56	1158302,68	D14-D	0,2779	3,598	2,171	25	359,8
722164,07	1158489,49	E15-D	0,2859	3,498	0,988	25	349,8
729326	1157834	AE12-D	0,3228	3,098	2,445	25	309,8
724074	1159256	L18-D	0,3449	2,899	3,448	25	289,9
725248	1163434	O11-A	0,3510	2,849	2,674	25	284,9

X	Y	Estación	P(s)	f (1/s)	A	E d S(m)	VS
731532,49	1161199,41	AN02-A	0,3705	2,699	1,737	25	269,9
724504	1159787	N20-D	0,3848	2,599	4,769	25	259,9
727332	1156267	V06-D	0,3923	2,549	4,164	25	254,9
731526	1162673	AN08-A	0,4168	2,399	1,574	25	239,9
729822	1160220	AG22-D	0,4257	2,349	1,162	25	234,9
728321	1163202	AA10-A	0,4350	2,299	1,235	25	229,9
730056	1160211	AH22-D	0,4350	2,299	1,225	25	229,9
730029	1159757	AH20-D	0,4446	2,249	0,905	25	224,9
728795	1161479	AC03-A	0,4653	2,149	0,882	25	214,9
729341,6	1163963,34	AE13-A	0,4764	2,099	1,781	25	209,9
729889,93	1159747,68	AG20-D	0,4880	2,049	1,962	25	204,9
731807	1162663	AO08-A	0,5131	1,949	1,297	25	194,9
731294,4	1162674,4	AM08-A	0,5266	1,899	3,099	25	189,9
731521	1160782	AN24-D	0,5266	1,899	3,669	25	189,9
730484,82	1160203,5	AJ22-D	0,5718	1,749	1,872	25	174,9
729336	1161732	AE04-A	0,6456	1,549	1,394	25	154,9
722141,81	1158277,38	E14-D	0,3079	3,248	2,607	30	389,76
726785	1161501	U03-A	0,3573	2,799	2,301	30	335,88
727822,47	1161690,59	Y04-A	0,3705	2,699	2,051	30	323,88
729798	1158317	AG14-D	0,3705	2,699	3,769	30	323,88
724284,14	1159532,36	M19-D	0,3775	2,649	2,812	30	317,88
727128,12	1160718,27	W24-D	0,3848	2,599	1,860	30	311,88
727703	1156540,99	X07-D	0,3848	2,599	2,251	30	311,88
728311	1162968	AA09-A	0,3848	2,599	0,871	30	311,88
726324,83	1160505,64	U23-D	0,3923	2,549	1,752	30	305,88
724504,81	1158844,76	N16-D	0,4002	2,499	4,700	30	299,88
726290	1161423	S03-A	0,4002	2,499	2,220	30	299,88
728307	1162721	AA08-A	0,4002	2,499	0,844	30	299,88
725752	1160241	S22-D	0,4168	2,399	1,129	30	287,88
724998	1160239	P22-D	0,4257	2,349	2,588	30	281,88
728861	1163721	AC12-A	0,4350	2,299	0,862	30	275,88
729837	1159982	AG21-D	0,4350	2,299	2,440	30	275,88
724291	1158997	M17-D	0,4548	2,199	4,757	30	263,88
730291	1159483	AI19-D	0,4548	2,199	1,338	30	263,88
729322,68	1157576,31	AE11-D	0,4653	2,149	1,740	30	257,88
729352	1162242	AE06-A	0,4653	2,149	0,938	30	257,88
730567	1159244	AJ18-D	0,5131	1,949	1,250	30	233,88
731038	1160783	AL24-D	0,5266	1,899	2,500	30	227,88
728330,85	1161234,34	AA02-A	0,5408	1,849	2,086	30	221,88
729347,27	1159763,48	AE20-D	0,5408	1,849	1,700	30	221,88
730789	1160484	AK23-D	0,6254	1,599	1,198	30	191,88
725498,45	1160233,41	R22-D	0,6671	1,499	3,345	30	179,88
728838,46	1161780,34	AC04-A	0,6901	1,449	1,854	30	173,88
729354	1161968	AE05-A	0,6901	1,449	2,642	30	173,88
730851	1159485	AK19-D	0,6901	1,449	0,707	30	173,88
730803	1162681	AK08-A	0,7148	1,399	2,201	30	167,88
727038	1155757	U04-D	0,3281	3,048	2,550	35	426,72
722754,97	1158874,53	G16-D	0,3573	2,799	1,576	35	391,86
728850	1163479	AC11-A	0,3573	2,799	0,520	35	391,86
724731	1160040	O21-D	0,3848	2,599	2,248	35	363,86
729137	1162239	AD06-A	0,4083	2,449	0,886	35	342,86

X	Y	Estación	P(s)	f (1/s)	A	E d S(m)	VS
728062,55	1161778,69	Z04-A	0,4350	2,299	1,670	35	321,86
728828,69	1162005,09	AC05-A	0,4548	2,199	0,807	35	307,86
727240	1156027	V05-D	0,4653	2,149	0,982	35	300,86
728621	1163237	AB10-A	0,4653	2,149	1,477	35	300,86
728013,84	1161226,15	Z02-A	0,4764	2,099	1,096	35	293,86
729312	1160239	AE22-D	0,4764	2,099	1,106	35	293,86
730298	1159760	AI20-D	0,5131	1,949	3,485	35	272,86
725277	1160232	Q22-D	0,5559	1,799	1,824	35	251,86
731735	1160749	AO24-D	0,6671	1,499	1,391	35	209,86
729355	1162486	AE07-A	0,6901	1,449	0,841	35	202,86
730577,09	1162890,05	AJ09-A	0,7698	1,299	2,334	35	181,86
730582	1162677	AJ08-A	0,7698	1,299	3,891	35	181,86
725760	1163449	Q11-A	0,3923	2,549	2,943	40	407,84
728311	1161441	AA03-A	0,4548	2,199	1,390	40	351,84
725284,09	1159781,91	Q20-D	0,5003	1,999	2,130	40	319,84
727809,95	1161037,41	Y01-A	0,5559	1,799	3,322	40	287,84
731245	1162444	AM07-A	0,5718	1,749	0,833	40	279,84
731753	1162416	AO07-A	0,6064	1,649	1,684	40	263,84
729349,86	1159965,94	AE21-D	0,6456	1,549	1,017	40	247,84
727790,82	1161400,36	Y03-A	0,6671	1,499	1,627	40	239,84
730811	1160262	AK22-D	0,7148	1,399	0,480	40	223,84
730593	1163191	AJ10-A	0,8340	1,199	3,457	40	191,84
726010	1161220	R02-A	0,3775	2,649	1,401	45	476,82
724764,63	1159042,19	O17-D	0,4350	2,299	2,287	45	413,82
724333,86	1159255,33	M18-D	0,4446	2,249	3,508	45	404,82
728873	1162261	AC06-A	0,4548	2,199	1,289	45	395,82
726816,42	1160726,89	V24-D	0,4764	2,099	1,358	45	377,82
729852,53	1161777,42	AG04-A	0,5718	1,749	1,898	45	314,82
729577	1159992	AF21-D	0,6254	1,599	2,075	45	287,82
728309	1161722	AA04-A	0,6671	1,499	0,620	45	269,82
730787	1162451	AK07-A	0,6901	1,449	2,375	45	260,82
725291	1160000	Q21-D	0,7148	1,399	3,527	45	251,82
729781	1162224	AG06-A	0,7148	1,399	1,350	45	251,82
729842	1162474	AG07-A	0,7148	1,399	2,520	45	251,82
729842	1162004	AG05-A	0,7148	1,399	1,559	45	251,82
730112,5	1162214	AH06-A	0,7148	1,399	1,551	45	251,82
730289	1159998	AI21-D	0,7413	1,349	0,874	45	242,82
730750,28	1161701,71	AK04-A	0,7413	1,349	1,014	45	242,82
730623	1163452	AJ11-A	0,7698	1,299	1,879	45	233,82
730834	1159738	AK20-D	0,8006	1,249	0,961	45	224,82
728872	1162460,49	AC7-A	0,5266	1,899	1,081	50	379,8
727437	1155734	W04-D	0,5408	1,849	1,377	50	369,8
730313	1161909	AIO5-A	0,6064	1,649	2,330	50	329,8
728564,3	1162269,79	AB06-A	0,6671	1,499	0,538	50	299,8
729104,14	1162733,29	AD08-A	0,6901	1,449	1,594	50	289,8
725450,01	1160712,98	R24-D	0,7148	1,399	1,128	50	279,8
728830,25	1163009,95	AC09-A	0,7148	1,399	1,739	50	279,8
730318	1162159	AI06-A	0,7148	1,399	1,461	50	279,8
729532,2	1159779,96	AF20-D	0,7413	1,349	1,520	50	269,8
730822	1159988	AK21-D	0,8006	1,249	1,282	50	249,8
730342	1162714	AI08-A	0,8340	1,199	2,371	50	239,8
730574	1159755	AJ20-D	0,8340	1,199	1,008	50	239,8

X	Y	Estación	P(s)	f (1/s)	A	E d S(m)	VS
728303	1162039	AA05-A	0,8703	1,149	1,170	50	229,8
728643	1162495	AB07-A	0,4002	2,499	0,822	55	549,78
724759,72	1159771,29	O20-D	0,4446	2,249	3,147	55	494,78
728621	1162778	AB08-A	0,4446	2,249	1,317	55	494,78
724751,47	1159501,73	O19-D	0,4548	2,199	0,000	55	483,78
729335	1163706	AE12-A	0,4880	2,049	1,286	55	450,78
724764,38	1159269,92	O18-D	0,5266	1,899	4,374	55	417,78
731329,52	1161689,7	AM04-A	0,5718	1,749	1,154	55	384,78
731742	1162167	AO06-A	0,6254	1,599	2,133	55	351,78
730761,01	1161965,49	AK05-A	0,6456	1,549	1,411	55	340,78
731725	1161695	AO04-A	0,6456	1,549	0,754	55	340,78
730154,19	1162653,82	AH08-A	0,6901	1,449	2,489	55	318,78
728887	1162734	AC08-A	0,7148	1,399	1,333	55	307,78
730380,93	1162905,13	AI09-A	0,7413	1,349	1,756	55	296,78
730827,38	1162177,44	AK06-A	0,7413	1,349	1,688	55	296,78
731551,54	1161706,01	AN04-A	0,7698	1,299	0,886	55	285,78
731284	1160506	AM23-D	0,8006	1,249	1,000	55	274,78
729394	1162734	AE08-A	0,9099	1,099	1,426	55	241,78
727056,19	1161181,68	V02-A	0,6671	1,499	2,468	60	359,76
731286,33	1161885,47	AM05-A	0,4880	2,049	1,767	65	532,74
725956	1160756	T24-D	0,6671	1,499	2,120	65	389,74
727331,12	1161179,52	W02-A	0,6671	1,499	1,200	65	389,74
729629	1162745	AF08-A	0,8340	1,199	2,642	65	311,74
729552	1163720	AF12-A	0,9533	1,049	2,646	65	272,74
726768	1160975	U01-A	0,6254	1,599	3,773	70	447,72
725758,33	1160694,39	S24-D	0,6456	1,549	3,398	70	433,72
729833	1162720	AG08-A	0,8703	1,149	1,650	70	321,72
729323	1163438	AE11-A	0,9533	1,049	1,510	70	293,72
724966,3	1159746,14	P20-D	0,5131	1,949	3,188	75	584,7
726279	1160976	S01-A	0,6456	1,549	4,017	75	464,7
730392,25	1163897,25	AI13-A	0,8703	1,149	1,187	75	344,7
729761,19	1163735,19	AG12-A	1,0526	0,95	3,086	75	285
729549	1163209	AF10-A	0,7148	1,399	1,114	85	475,66
730414	1163684	AI12-A	1,0000	1	1,969	90	360
730396,02	1163225,78	AI10-A	1,1765	0,85	2,814	90	306
729766,65	1163210,45	AG10-A	1,2500	0,8	2,303	95	304
729759	1163503	AG11-A	1,1111	0,9	1,818	110	396
729964,88	1163197,1	AH10A-A	1,1111	0,9	1,484	110	396
730206,95	1163646,94	AH12-A	1,1765	0,85	1,837	110	374
730109,74	1163448,71	AH11-A	1,3333	0,75	2,593	140	420

**Tabla 2**

Perfil A			
Estación	Periodo(s)	Espesor(m)	Longitud(m)
L11-A	0,28	0	0
N11-A	0,3	15	500
O11-A	0,3510	25	750
Q11-A	0,3923	40	1250
U11-A	0,3281	10	2250
W11-A	0,2987	10	2750
AA11-A	0,4653	15	3750
AC11-A	0,3573	35	4250
AE11-A	0,9533	70	4750
AG11-A	1,1111	110	5250
AH11-A	1,3333	140	5500
AJ11-A	0,7698	45	6000

**Tabla 3**

Perfil B			
Estación	Periodo(s)	Espesor(m)	Longitud(m)
AG04A	0,5718	45	0
AG05A	0,7148	45	250
AG06A	0,7148	45	500
AG07A	0,7148	45	750
AG08A	0,8703	70	1000
AG10A	1,2500	95	1500
AG11A	1,1111	110	1750
AG12A	1,0526	75	2000
AG13A	0,2779	10	2250

**Tabla 4**

Perfil C			
Estación	Periodo(s)	Espesor(m)	Longitud(m)
AK16D	0,3127	5	0
AK17D	0,5003	10	250
AK18D	0,2907	15	500
AK19D	0,6901	30	750
AK20D	0,8006	45	1000
AK21D	0,8006	50	1250
AK22D	0,7148	40	1500
AK23D	0,6254	30	1750
AK24D	0,5131	20	2000
AK01A	0,2900	5	2250

**Tabla 5**

Perfil D			
Estación	Periodo(s)	Espesor(m)	Longitud(m)
O14D	0,3228	10	0
O15D	0,3449	10	250
O17D	0,4350	45	750
O18D	0,5266	55	1000
O19D	0,4548	55	1250
O20D	0,4446	55	1500
O21D	0,3848	35	1750
O22D	0,3775	15	2000

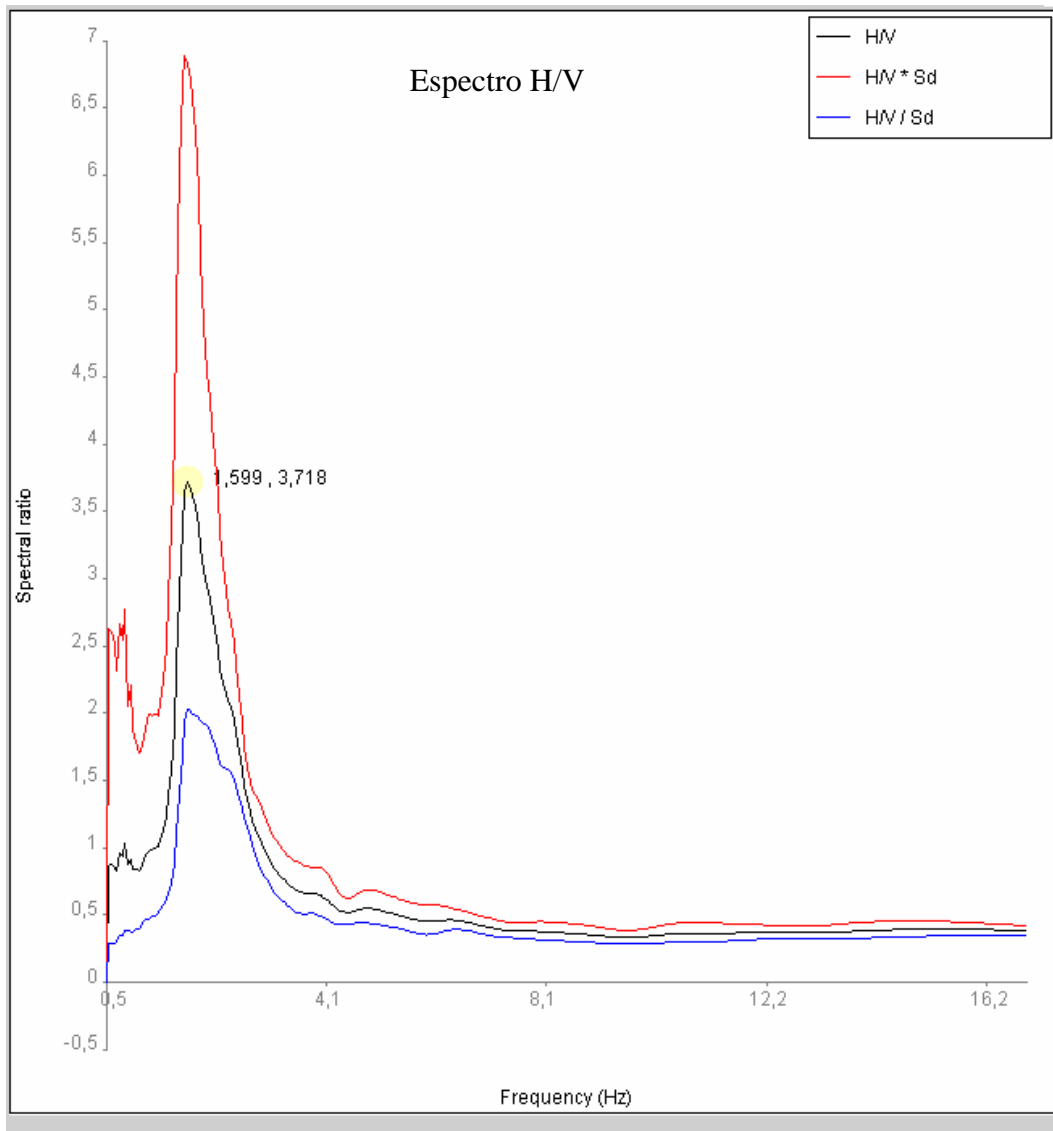


Fig. N° 35 Relación H/V de la estación U01 de la zona A

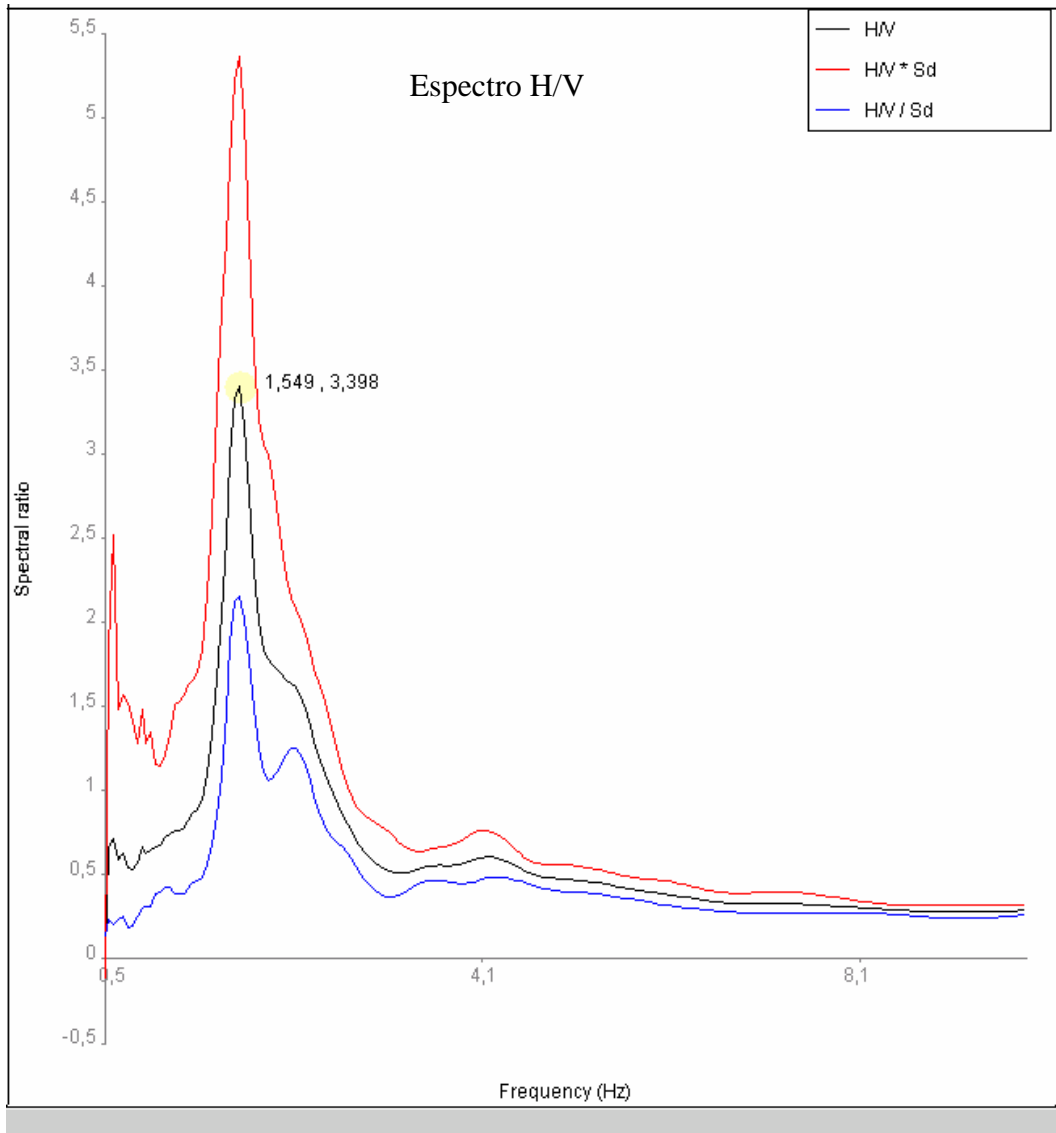


Fig. Nº 36. Relación H/V de la estación S24 de la zona D.

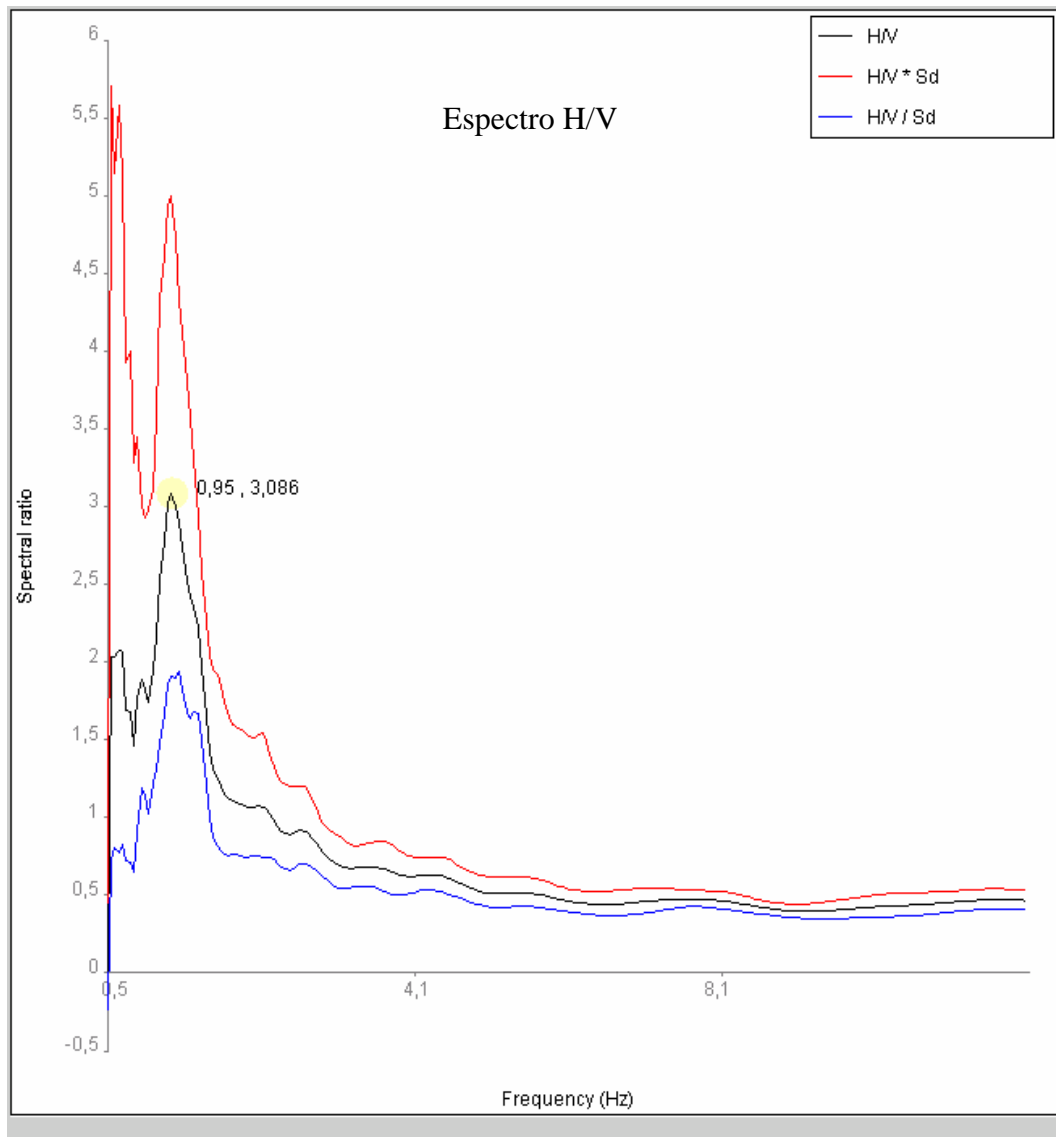


Fig. N° 37. Relación H/V de la estación AG12 de la zona A.

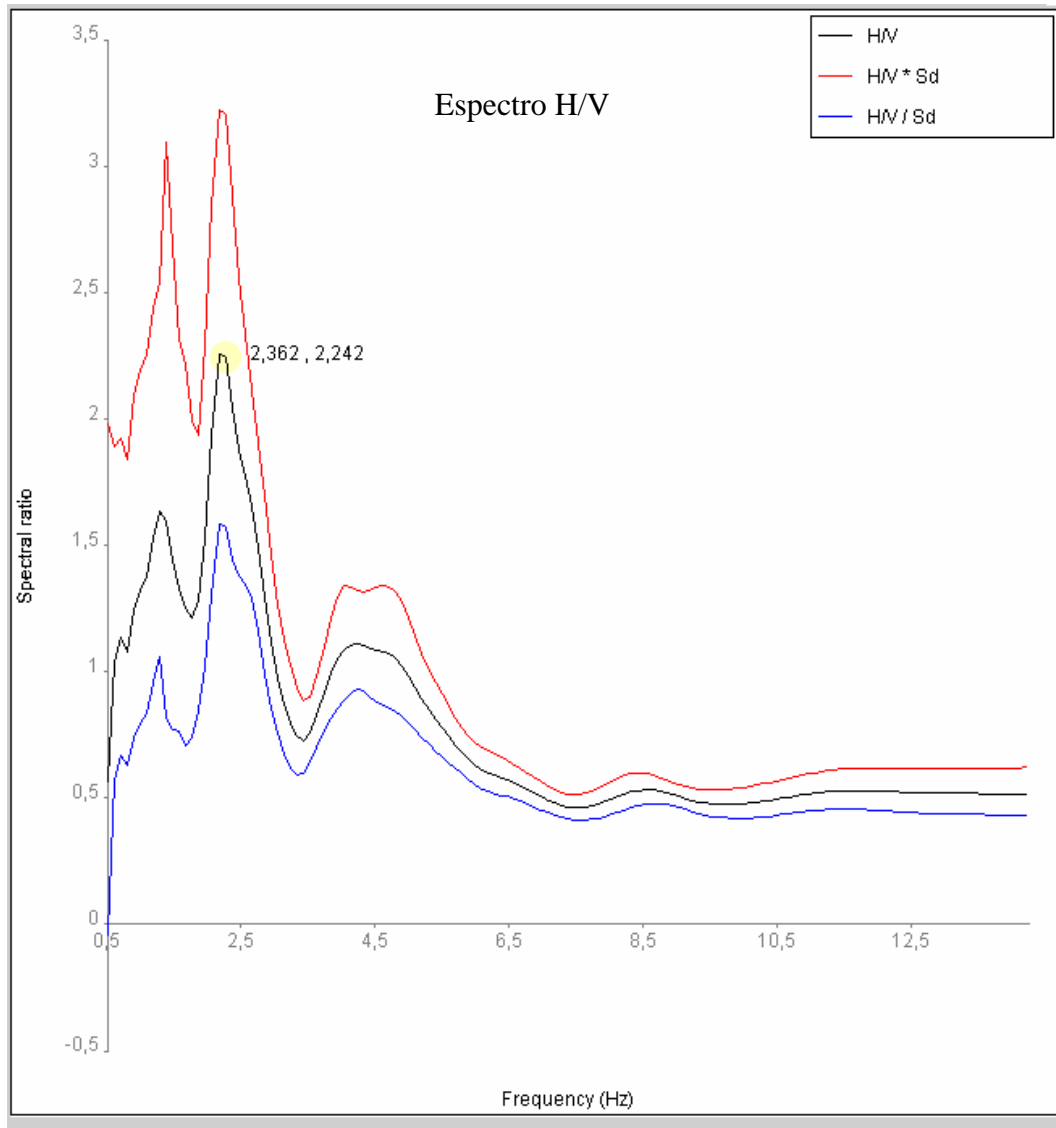


Fig. N° 38. Relación H/V de la estación O17 de la zona D.

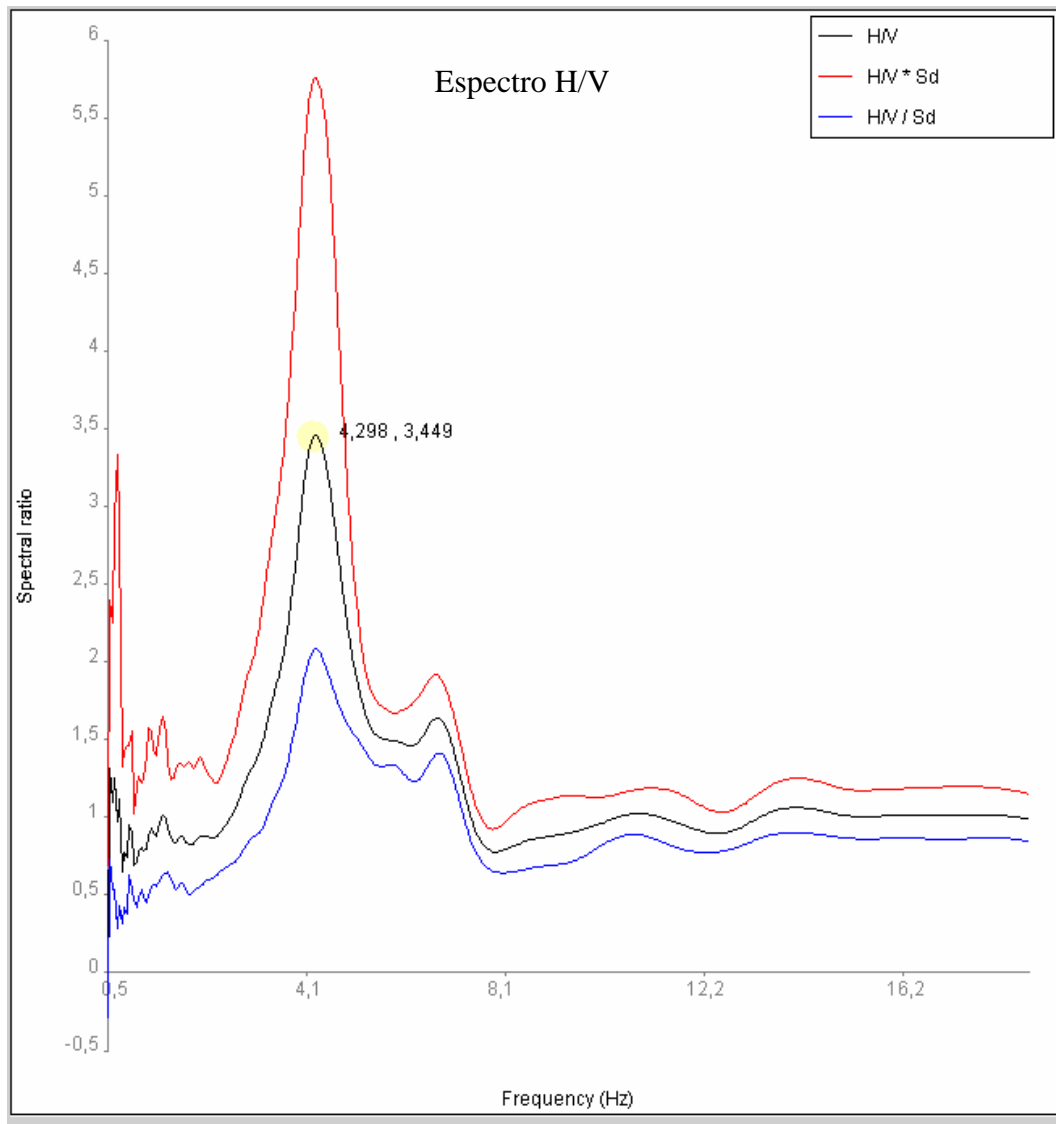


Fig. N° 39. Relación H/V de la estación F20 de la zona D.