

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SALTA

FACULTAD DE INGENIERÍA



“Correlación entre el Período Fundamental de suelos y el Parámetro V_{s30} , en la Ciudad de Salta, para definir la acción sísmica, según la Norma

INPRES-CIRSOC 103”

PROYECTO FINAL DE GRADO – INGENIERÍA CIVIL

ALUMNOS:

- **AGUILERA, IGNACIO GUILLERMO**
- **BIANCO, TOMÁS GABRIEL**

PROFESOR GUÍA:

- **DRA. ING. LÍA ELIZABET OROSCO SEGURA**

ÍNDICE

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
CAPÍTULO I	6
Introducción	6
Generalidades del Problema	6
Objetivos del Proyecto	7
Metodología	8
Organización del Informe	8
CAPITULO II	9
Estado de la Cuestión	9
CAPÍTULO III	11
Definición de la acción sísmica en base a las características del sitio – Vs30	11
Clasificación Sísmica de un Sitio	11
Determinación de Vs30	13
Microtremor Array Measurements – MAM	13
CAPÍTULO IV	16
Determinación del período de suelos por el método de Nakamura	16
Registro de Vibraciones Ambientales	18
Zona Norte	18
Zona Centro	19
Zona Sur	25
Todas las Zonas medidas de la Ciudad	28
CAPÍTULO V	31

Relación entre Vs30 y To	31
Regresión entre VS30 y el Período	33
Regresión (T en función de Vs30)	33
Regresión: Vs30 en función de T	35
Mapas Determinados en GIS	35
CAPÍTULO VI	38
Conclusiones	38
BIBLIOGRAFÍA	40
Referencias	40
ANEXOS	45
Anexo I: Sismicidad de la Ciudad de Salta	45
Anexo II: Métodos para estudiar las características dinámicas de capas superficiales de suelos	48
Microtrepidaciones	48
Naturaleza de las microtrepidaciones	48
Métodos de Onda de Superficie	50
Métodos Pasivos	52
La técnica de Nakamura	52
Métodos f-k	53
Método ReMi (Refraction Microtremor)	54
SPAC – Autocorrelación Espacial	56
Anexo III: Herramientas y Software Utilizados	59
Guía de Uso Geopsy Función H/V	59
Método H/V en GEOPSY	59
Configuración de Parámetros	59
Selección de Ventanas	61
Inicio de Procesamiento	62
Resultados	63
Inversión de H/V en GEOPSY	64

Ejemplos de análisis realizados	64
<i>Anexo IV: Tabla Valores de Regresión Vs30 en función del período fundamental</i>	78
<i>Anexo V: Sistema de Información Geográfica</i>	83
¿Qué es un SIG?	83
FUNCIONES BÁSICAS DE UN SIG	86
Conceptos básicos de visualización	86
Las variables visuales	86
Posición, forma, tamaño, textura, color y orientación.	87
Tipos de mapas temáticos	88
La visualización en un SIG	90

RESUMEN

El reglamento IC103, define la acción sísmica en término de espectros de respuesta elásticos, considerando tres formas espectrales que dependen del tipo de suelo donde se fundará la estructura.

Cada forma espectral, queda determinada según tres parámetros fundamentales: el promedio de la velocidad de onda de corte en los 30 metros superiores del subsuelo en el sitio de fundación, el número de golpes SPT y/o la resistencia al corte no drenada.

El reglamento acepta clasificar el suelo en base a la evidencia geológica o estudios anteriores en el sitio o cercanías. Se realizaron mediciones del parámetro V_{s30} en algunos sitios de la ciudad de Salta, aplicando el método MAM/MASW; las velocidades de onda de corte medidas corresponden a la forma espectral I, en sus tres subdivisiones.

Por otro lado, se cuenta con registros de señales de vibraciones ambientales tomadas en campañas anteriores con una estación móvil de tres componentes. Estos registros son analizados en este trabajo con GEOPSY, un software de uso libre desarrollado en el marco del programa SESAME de la Unión Europea y aplicando la técnica Nakamura, se determinaron los períodos fundamentales en varios sitios de la Ciudad.

Se consideraron para tal análisis los datos de pozos para extracción de agua cercanos a los sitios de medición. Los resultados se presentan en un SIG, actualizando de esta manera la zonificación sísmica en varios sitios de la Ciudad de Salta según el período fundamental de los suelos.

Teniendo en cuenta que la determinación del período fundamental (T_0) reviste mayor sencillez y economía que los métodos de medición de V_{s30} , se realizó una regresión entre ambos parámetros (V_{s30} - T_0) en los pocos sitios donde se cuentan con ambas mediciones, a fin de analizar la posible correlación entre ambos.

Se obtuvo una relación que permitió obtener valores de V_{s30} partiendo de los valores de frecuencia determinados.

Aplicando esta relación, se mapeó la distribución de los valores V_{s30} encontrados.

ABSTRACT

The seismic code INPRES-CIRSOC 103, defines the seismic action as elastic response spectra, considering three patterns of spectral shapes which depend on the type of soil where the structure will be based.

Each spectral shape is determined according to three fundamental parameters: the average of the shear wave velocity in the upper 30 meters of the subsoil at the foundation site, the number of SPT blows and / or the undrained shear strength.

The code accepts to classify the soil based on geological evidence or previous studies on the site or nearby. There are measures of Vs30 in some sites of Salta City, obtained by the use of MAM / MASW methods. Mostly, the parameters show that those sites correspond mainly to spectral shape I°.

On the other hand, there are records of environmental vibration signals taken in previous campaigns with a three-component mobile station. These records are analyzed in this work with GEOPSY, a free-use software developed within the framework of the SESAME program of the European Union; applying the Nakamura technique, the fundamental periods were determined in several sites of the City. The data from wells for water extraction near the measurement sites were considered for such analysis. The results are presented in a GIS framework, updating in this way the microzonation of Salta City, taking into account the fundamental period of the soils.

The empirical determination of the fundamental period (T_0) is more simple and economical than the methods of measuring Vs30; considering that the fundamental period was measured in more sites than Vs30, a regression was made between both parameters (Vs30- T_0), in order to analyze the possible correlation between them.

The relation found, allowed to obtain values of Vs30 in function of T_0 .

Applying this relation, the distribution of the Vs30 values was mapped.

CAPÍTULO I

Introducción

Generalidades del Problema:

La actividad sísmica de Argentina está concentrada principalmente en el noroeste y centro-oeste, a lo largo de la cordillera de los Andes. Esta región se encuentra en un ambiente tectónico producto del choque entre la Placa de Nazca que se desplaza hacia el Este, y la placa Sudamericana que se desplaza hacia el oeste, con una velocidad relativa entre ambas placas de aproximadamente 8,0 cm/año.

La provincia de Salta presenta actividad sísmica tanto a niveles de corteza continental (<20 km de profundidad) como dentro de la placa oceánica subducida con un ángulo “normal” por debajo de Sudamérica e hipocentros localizados hasta unos 300 km de profundidad (Schurr et al., 2006). Esta sismicidad es el resultado de la convergencia entre la placa de Nazca y Sudamérica y la deformación que se produce como consecuencia de la interacción entre la Puna Austral, la Cordillera Oriental y más hacia el este, el Sistema Santa Bárbara de fajas plegadas y corridas que incluye al basamento (Kley y Monaldi, 1998).

El reglamento argentino INPRES CIRSOC 103 define la acción sísmica en término de espectros de respuesta y clasifica los suelos en base a seis características de los mismos comprendidos en una profundidad de 30 m desde la superficie de terreno natural. La clasificación está en función de la velocidad media de la onda de corte V_{sm} según Tabla 2.2 del reglamento (Pag. 11).

Como puede apreciarse en el reglamento IC103, los sitios SA, SB, y SC, son suelos “duros” se corresponden con el Tipo Espectral 1. Las construcciones emplazadas en sitios clasificados como SD, deben diseñarse con el Espectro Tipo 2. A los sitios SE les corresponde el Espectro Tipo 3.

En base a algunas mediciones realizadas utilizando el método MAM/MASW en algunos sitios de la ciudad, en general las velocidades de onda de corte los ubican en la forma espectral I, en sus tres subdivisiones. Pero los métodos mencionados poseen la gran desventaja de que requieren un elevado costo para poder realizarlos, y una gran cantidad de tiempo para tomar todas las mediciones que los mismos requieren, es por eso que se debe

buscar una solución alternativa que optimice dichos factores que son de gran importancia para poder determinar las propiedades de un suelo en particular (Lesser, 2019).

Los profesionales del cálculo estructural demandan a los profesionales que realizan estudios de suelos una clasificación más detallada del tipo de suelo, para determinar la forma espectral que define la acción sobre la estructura a calcular ya que los estudios de suelos que se realizan llegan hasta la cota de fundación de la estructura, que en el mejor de los casos puede representar hasta 15 metros aproximadamente. Sería mucho mejor contar con un método que permita obtener las propiedades de un suelo a lo alto de su estratigrafía completa, para poder evitar posibles incertidumbres en el cálculo y diseño estructural optimizando la elección y ejecución del tipo de fundación de una estructura incluyendo un análisis dinámico de interacción Suelo-Estructura, y poder realizar correlaciones con la geología entre otras cosas.

Uno de los grandes problemas es que tampoco se cuenta con datos numerosos y accesibles para los profesionales respecto a lo mencionado anteriormente, es decir que no se tienen herramientas para definir con alguna certeza el tipo de forma espectral, y cabe destacar también que el mismo puede variar con respecto a las estaciones del año, por ejemplo, ya que se encuentra íntimamente condicionado por el estado de humedad del suelo.

Se han realizado mediciones de período fundamental de suelos, utilizando la técnica NAKAMURA. Estas mediciones son más simples, por lo que en varias urbes del mundo situadas en zonas sísmicas, se están realizando correlaciones entre velocidades de onda y períodos fundamentales, con la idea de clasificar los suelos en base a sus períodos, alternativamente al de los parámetros antes citados.

Objetivos del Proyecto:

1. Actualizar el mapa de microzonificación sísmica de la Ciudad de Salta según el periodo fundamental denominado T_0 .
2. Estimar una relación entre los parámetros V_{s30} (promedio de velocidad de onda de corte en los últimos 30 metros) y el período fundamental del suelo T_0 , para la Ciudad de Salta.
3. Proponer un mapa de microzonificación sísmica de la Ciudad de Salta según las V_{s30} determinadas en base a la relación obtenida con el periodo fundamental.

Metodología:

Para el logro de los objetivos se llevaron a cabo diferentes tareas que iniciaron con el uso de la técnica de Nakamura a través del software Geopsy, ingresando todas las mediciones anteriormente realizadas en la ciudad de Salta. Con los resultados obtenidos se llevó a cabo mediante programas matemáticos la correlación entre velocidad de onda de corte a los 30 metros de profundidad (V_{s30}) y el periodo fundamental de suelo (T_0). A partir de la correlación V_{s30} - T_0 se determinó para cada sitio su respectiva velocidad de onda de corte.

Por último se propuso un mapa de microzonificación sísmica representado en software QGIS, lo cual es un gran aporte para los profesionales calculistas de la ciudad de Salta; ya que se les brinda una herramienta más para determinar la acción sísmica sobre la estructura que calcularán y diseñarán.

Organización del Informe:

En el primer capítulo se realiza una breve introducción del proyecto, se plantean las generalidades del problema, los objetivos y las metodologías utilizadas.

En el segundo, se plantea el estado de la cuestión, los antecedentes respecto a la temática abordada en el proyecto.

Mientras que en el tercero, se presenta la acción sísmica en base a las características de un sitio, la clasificación sísmica de un sitio según CIRSOC 103, la determinación de V_{s30} , y una breve descripción del Método MAM.

En el cuarto capítulo, se detalla la determinación del período de suelo por el método de Nakamura, y se adjunta el registro de vibraciones ambientales determinado en la Ciudad de Salta. También se presenta en este capítulo una breve descripción de la metodología de trabajo en Geopsy con cada medición.

En el quinto capítulo se analiza y explica la relación entre Período y V_{s30} , y la regresión que se obtuvo entre dichos parámetros. Se presentan también mapas realizados en GIS.

Y por último, en el sexto capítulo, se establecen las conclusiones a las que se arribaron a la hora de desarrollar el siguiente proyecto.

CAPITULO II

Estado de la Cuestión

La sísmica de microtemores, definida como vibraciones generadas principalmente por fuentes artificiales como producto de la actividad humana, utiliza el ruido ambiental (de origen natural y artificial), los cuales pueden ser detectados por sismógrafos de gran amplificación y se los considera como una superposición aleatoria de ondas superficiales con diferentes contenidos de frecuencia. La naturaleza de este tipo de ruido, degradarían la calidad de los métodos sísmicos activos ya que producen interferencias generando picos en las señales y que no corresponden a respuestas naturales del suelo, pero es propicio para la sísmica de microtemores en ambientes urbanos. Generalmente, estas oscilaciones ambientales son generadas de forma natural por elementos como el viento, la lluvia, el oleaje o movimientos telúricos, y se denominan microsismos o microtemblores, y las de origen artificial, basadas en el ruido urbano (actividades humanas), se denominan microtempidaciones o microtemores (Nakamura, 1989).

Dentro de los métodos pasivos basados en el concepto de microtemores se encuentra ReMi (por sus siglas en inglés de Refraction Microtemor) (Louie, 2001), el método f-k (frecuencia – número de onda) (Capon, 1969), el método de Nakamura (cociente espectral H/V o HVSR) (Nakamura, 1989 y 1996) y la técnica MAM (por sus siglas en inglés de Microtemor Array Measurements).

Como para citar algunos casos, la sísmica de microtemores se ha aplicado para evaluar la respuesta de sitio de suelos blandos en ciudades de México (Lermo y Chávez-García., 1994), determinación del período fundamental de sitio de Mayagüez en Puerto Rico, estudios de amenaza y microzonificación sísmica de la ciudad de Barrancabermeja, Colombia (Castillo et al., 2000), microzonificación sísmica en las ciudades de Talca y Curicó, en Chile Central (Leyton et al., 2013). En Argentina, los estudios de microzonificación sísmica y el uso de la sísmica de microtemores están recientemente tomando relevancia. Se reportan algunos estudios en la ciudad de Salta (Orosco et al., 2013) y en la ciudad de Córdoba (Rocca et al., 1996; Modenesi, C., 2015; Hubert, C., 2016). Quedando en evidencia que es un método recientemente utilizado y que merece estudios más profundos.

En nuestro país contamos con una gran variedad de suelos cuyas respuestas dinámicas no son semejantes debido a las diversas unidades litológicas, además la historia de estudios de

microzonificación sísmica por microtemores es incipiente y sólo se cuenta con unos pocos casos históricos. A ello se debe agregar que su aplicación en exploración ha sido escasamente documentada y que, por tratarse de técnicas muy recientes, aún no se han definido claramente cuáles son las sensibilidades de las distintas metodologías que se pueden aplicar.

CAPÍTULO III

Definición de la acción sísmica en base a las características del sitio – Vs30

Los efectos del sitio definidos como la amplificación sísmica esperada dadas las condiciones geológicas superficiales en el sitio de interés, condicionan las características del movimiento debido a terremotos y afectan notablemente la respuesta sísmica de las estructuras. El nuevo reglamento Argentino de Construcciones Sismorresistentes INPRES-CIRSOC 103, Parte I (2013) requiere para la determinación de las acciones sísmicas de diseño clasificar un sitio en función de la respuesta dinámica que éste puede presentar ante un terremoto. La clasificación se basa en parámetros geotécnicos existentes en los primeros 30 metros del sustrato; los parámetros utilizados son la velocidad media de las ondas de corte (velocidad promedio de las ondas de corte hasta una profundidad de 30 metros), el número de golpes del ensayo SPT o la resistencia media al corte en condición drenada.

Por otro lado, en los últimos años ha habido un importante desarrollo de las técnicas de auscultación de no invasivas, entre ellas la técnica del cociente espectral H/V o de “Nakamura”, un cociente entre amplitudes espectrales de las componentes horizontales y verticales del movimiento ha demostrado ser eficaz para caracterizar un sitio determinado con el fin de evaluar las acciones sísmicas correspondientes.

El procedimiento consiste en medir el registro de vibraciones ambientales con un acelerómetro y el posterior cálculo del cociente espectral H/V que permite obtener la frecuencia fundamental del lugar en dirección horizontal. Además, mediante regresiones desarrolladas por distintos investigadores permite correlacionar los parámetros del cociente espectral H/V con la velocidad media de la onda de corte.

Clasificación Sísmica de un Sitio:

El reglamento IC103 establece que, para la determinación de las acciones sísmicas de diseño, el sitio del emplazamiento se clasifica en seis características de los suelos comprendidos en una profundidad de 30 m desde la superficie de terreno natural. La clasificación se basa en la velocidad media de la onda de corte V_{sm} . A los efectos de la clasificación del sitio es suficiente la evidencia geológica, la información existente de estudios preliminares o de los realizados con motivo de la construcción en estudio. Es aceptable utilizar la correlación entre la velocidad de la onda de corte y el ensayo de penetración normalizado (SPT) o la resistencia al corte no drenado.

Como puede apreciarse los sitios SA, SB, y SC, son suelos “duros”, o sea gran resistencia y rigidez, con velocidades de onda de corte mayores a 360m/s y se corresponden con el Tipo Espectral 1. Las construcciones emplazadas en sitios clasificados como SD, con V_{sm} comprendida entre 180 y 360m/s, deben diseñarse con el Espectro Tipo 2. A los sitios con $V_{sm} < 180m/s$ se los clasifica como SE y les corresponde el Espectro Tipo3. Por último, a los suelos dinámicamente inestables se les debe realizar estudios especiales para determinar la demanda sísmica, esto ocurre en el caso que se determine que los suelos de fundación presenten deformaciones permanentes, licuefacción, perdida temporaria de la capacidad portante, etc. ante los niveles de excitación sísmica.

Clasificación de sitios según el Reglamento (Tabla 2.2) INPRES-CIRSOC 103-I (2013):

Tipo espectral	Símbolo	DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELOS	PROPIEDADES DE SUELO PROMEDIO		
			Velocidad media de la onda de corte, V_{sm} (m/s)	Nº de golpes medio del ensayo de penetración normalizado N_{60}	Resistencia media al corte no drenado $S_{u(m)}$ (kPa)
Tipo 1	SA	Formación de roca dura, con presencia superficial y en las subestructuras	>1500	-	-
	SB	Formación de roca dura con pequeño capa de suelo debajo y/o roca fracturada $< 2m$	760 a 1500	-	-
	SC	Formación de roca blanda o fracturada que cumple con R_{u1} y R_{u2} Gravas y arenas muy densas Suelos cohesionados, no consolidados, muy firmes Gravas y arenas de densidad media	360 a 760	>60	>100
Tipo 2	SD	Suelos cohesionados, de baja plasticidad. Gravas y arenas de baja densidad.	180 a 360	15 a 50	50 a 100
Tipo 3	SE	Suelo cohesionado blando de baja plasticidad	< 180	< 15	< 50
	SF	Suelos dinámicamente inestables. Requieren estudios especiales.			

Determinación de Vs30

En la actualidad, el principal uso de los estudios de ondas de superficie es determinar el perfil de velocidad de ondas de corte con fines de caracterización del medio.

La velocidad de ondas de corte en función de la profundidad es de principal interés en estudios de respuesta sísmica de sitios para estudios de vibraciones de fundaciones y para transmisión de vibraciones en suelos.

Muchos códigos sísmicos de construcción utilizan el promedio de la velocidad de onda de corte en los primeros 30 metros del perfil del suelo (V_{s30}) para discriminar tipos de suelos que tienen similares características de amplificación. Esta velocidad V_{s30} se calcula como se indica en la siguiente ecuación, donde d_i es el espesor de cada capa de suelo del perfil hasta alcanzar los 30 m de profundidad, V_{si} la velocidad de onda de corte de cada capa i en m/s y N el número de capas en dichos 30 m.

$$V_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^N d_i}{\sum_{i=1}^N \frac{d_i}{V_{si}}}$$

Debido a que es una media de las propiedades del suelo en los 30 metros superiores, V_{s30} puede ser evaluada de forma eficiente con métodos de ondas de superficie, ya que no requiere de la elevada precisión que se puede obtener de métodos invasivos. Se usa en las Provisiones NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program, BSSC, 1994) y en el Código Uniforme de Construcción (Uniform Building Code - UBC) de 1997 para separar sitios en diferentes clases para diseños ingenieriles, con la expectativa que responda de manera similar ante un determinado sismo. El Código Internacional de Construcción (International Building Code - IBC).

Microtremor Array Measurements – MAM

El método MAM (siglas en inglés de Microtremor Array Measurements) es una manera eficiente de caracterizar sitios en ambientes con altos niveles de ruido tales como las zonas urbanas. Durante las mediciones, los sismógrafos registran vibraciones ambientales, o microtremores, generadas por el ruido cultural, tráfico, fábricas, viento, oleaje, etc.

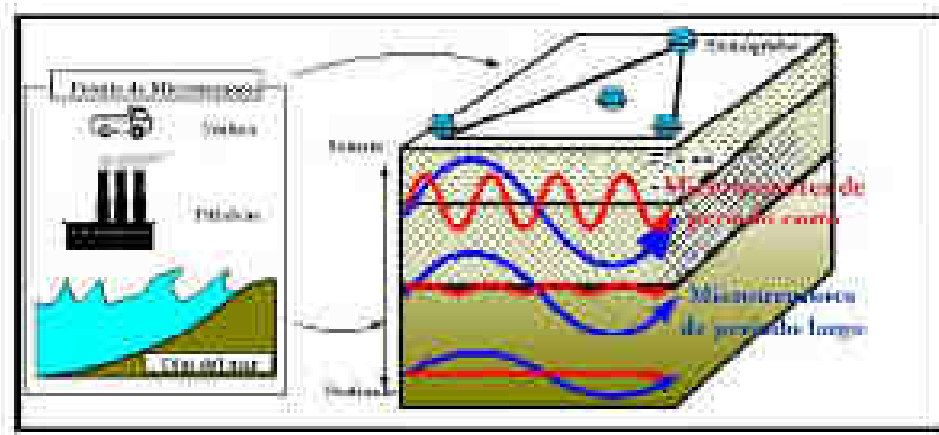


Figura N°1 – Diagrama esquemático del método de onda de superficie utilizando microtrepidaciones
<http://www.dokumen.tips/documents/metodo-de-medicion-de-microtrepidacion-mam.html>

Este método se basa en la técnica SPAC (del inglés, spatial autocorrelation) o de autocorrelación espacial para la detección de ondas Rayleigh en los registros de microtremores. Los datos de campo se procesan mediante ésta técnica para estimar los parámetros de propagación de las ondas de superficie, típicamente la curva de dispersión. Los procedimientos dependen de la transformada de Fourier para descomponer el tiempo del movimiento de partículas en la dirección vertical en sus componentes de frecuencia. De hecho, usando el análisis de Fourier es posible separar las diferentes frecuencias componentes de las señales que son subsecuentemente procesadas para estimar la velocidad de fase, de acuerdo a la configuración del arreglo y la cantidad de sensores. La curva de dispersión es luego obtenida seleccionando los picos de amplitud en la imagen espectral.

El paso final en la interpretación es la solución del problema inverso. Asumiendo un modelo para los depósitos del suelo, los parámetros del modelo son identificados al minimizar una función objetiva que la distancia entre las curvas de dispersión experimentales y las teóricas. La función es expresada en términos matemáticos mediante la raíz media cuadrática (RMS, del inglés root mean square). El método que MAM utiliza para el modelado inverso se denomina “Método no lineal de los mínimos cuadrados” (non linear least square method).

Al ser técnicas “no invasivas”, las ventajas de este método son: el costo de exploración baja considerablemente; la posibilidad de efectuar mediciones en lugares densamente poblados, en áreas ecológicamente sensibles o en donde no es recomendable realizar una perforación (por ejemplo, zona de desechos de alto riesgo, vertederos urbanos, entre otros); grandes profundidades de investigación (al tener bajo contenido de frecuencias empleando microtremores); y mínimos tiempos requeridos para obtener datos, lo cual es importante al planificar un proyecto ya que una vez desplegado el arreglo, es decir colocado los receptores

en sus respectivas posiciones como se muestra en la Figura N°2, en poco más de 10 minutos, ya se obtienen registros suficientes para procesar. En cuanto a las limitaciones, el nivel de detalle próximo a la superficie es típicamente bajo ya que los microtremores no tienen energía de alta frecuencia, y se trata de una técnica donde las mediciones a realizar requieren de mucha precisión y experiencia por parte del usuario. (Park et al., 1999) citado por Lesser (2019).

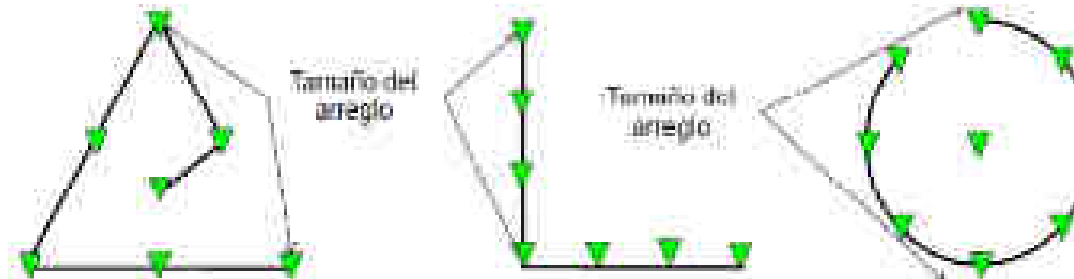


Figura N°2 – Arreglo instrumental bidimensional de los receptores sobre la superficie
<http://www.dokumen.tips/documents/metodo-de-medicion-de-microtrepidacion-mam.html>

Se adjunta a continuación, Tabla de Velocidades de onda de Corte de la Ciudad de Salta, nuestro sitio de estudio; con el fin de poder correlacionar dichas velocidades con los períodos fundamentales y frecuencias determinadas en el proyecto: (Lesser et al., 2017)

Lugar	Config.	Vs30 [m/s]	Clasificación UBC	
			Clase de sitio	Tipo de suelo
Aeropuerto	Lineal	664.8	C	Suelo muy denso o roca blanda
Barrio Autódromo	Lineal	509.5	C	Suelo muy denso o roca blanda
Barrio El Huaico	Circular	550.9	C	Suelo muy denso o roca blanda
Camino a Lesser	Lineal	561.8	C	Suelo muy denso o roca blanda
Casona Finca Castañares	Circular	595.6	C	Suelo muy denso o roca blanda
Casona Finca Castañares	Lineal	600.0	C	Suelo muy denso o roca blanda
Centro de Convenciones	Circular	330.0	D	Suelo Rígido
Loteo Eucaliptus	Lineal	373.3	C	Suelo muy denso o roca blanda
Loteo Pereyra Rozas	Lineal	627.9	C	Suelo muy denso o roca blanda
Mercado Artesanal	Circular	676.5	C	Suelo muy denso o roca blanda
Municipalidad	Circular	267.2	D	Suelo Rígido
Obra en Camino a La Isla	Lineal	273.0	D	Suelo Rígido
Parque San Martín 1	Lineal	419.6	C	Suelo muy denso o roca blanda
Parque San Martín 2	Lineal	370.8	C	Suelo muy denso o roca blanda
Plaza Alvarado	Circular	385.3	C	Suelo muy denso o roca blanda
Plaza Gurruchaga	Circular	353.6	D	Suelo Rígido
Rotonda Parque Industrial	Circular	383.9	C	Suelo muy denso o roca blanda
Rotonda Parque Industrial	Lineal	370.4	C	Suelo muy denso o roca blanda
Segunda Rotonda	Lineal	540.2	C	Suelo muy denso o roca blanda
Sporting Club	Lineal	571.5	C	Suelo muy denso o roca blanda
Universidad Católica	Circular	454.6	C	Suelo muy denso o roca blanda
Universidad Católica	L11	490.3	C	Suelo muy denso o roca blanda

CAPÍTULO IV

Determinación del período de suelos por el método de Nakamura

Esta técnica se basa en la interpretación de microtremores como ondas Rayleigh que se propagan en una capa blanda de sedimentos que yace sobre un medio rocoso. En el dominio de Fourier se tendrán entonces cuatro espectros de amplitud implicados:

- Componentes vertical y horizontal del movimiento en la superficie (VS y HS).
- Componentes vertical y horizontal del movimiento en la base de la capa sedimentaria (VB y HB).

Una amplia suposición es que el movimiento de microtremores se debe a fuentes de ruido blanco, tales como tráfico en las cercanías del sensor, sin considerar cualquier contribución de fuentes profundas. De acuerdo con Nakamura, se debe suponer que la componente vertical del movimiento no es amplificada por la capa sedimentaria. Asumiendo que las fuentes muy locales no afectarán el movimiento de microtremores en la base de la capa sedimentaria, es posible estimar la relación espectral de la fuente del movimiento de microtremores, A_S , como una función de la frecuencia ω , según la relación:

$$A_S(\omega) = \frac{V_S(\omega)}{V_B(\omega)}$$

donde 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. Asumiendo ahora que un estimado del efecto de sitio está dado por:

$$S_E(\omega) = \frac{H_S(\omega)}{H_B(\omega)}$$

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. Para compensar S_E por el espectro de la fuente, se calcula una relación modificada del efecto en sitio, S_M , de la siguiente manera:

$$S_M = \frac{S_E(\omega)}{A_S(\omega)} = \frac{\frac{H_S(\omega)}{V_S(\omega)}}{\frac{H_B(\omega)}{V_B(\omega)}}$$

Una suposición final es que para todas las frecuencias de interés se cumple la relación:

$$\frac{H_B(\omega)}{V_B(\omega)} = 1$$

Finalmente, la relación queda de la siguiente forma, donde un estimado del efecto de sitio está dado por la relación entre las componentes horizontales y verticales del movimiento en la superficie de la capa sedimentaria:

$$S_M(\omega) = \frac{H_S(\omega)}{V_S(\omega)}$$

Esta expresión fue verificada de manera experimental por Nakamura en 1989 mediante registros de microtemores obtenidos en perforaciones de pozos.

Uno de los posibles usos de esta técnica es para la estimación de riesgo. Es bien conocido que la ocurrencia de daño sísmico depende principalmente de tres factores: magnitud, período y duración de los movimientos sísmicos. A su vez, estos parámetros están fuertemente influenciados por la respuesta sísmica y características del subsuelo y sus estructuras. Esto hace que investigar las vulnerabilidades del suelo, como una mala composición del subsuelo que implica una mala respuesta, y las estructuras sea muy importante antes de que ocurra el sismo.

La técnica de Nakamura, en la actualidad, constituye una poderosa herramienta para determinar los espesores de los sedimentos y ha demostrado ser una de las técnicas más económicas y convenientes para estimar confiablemente las frecuencias predominantes de los depósitos de suelos blandos.

Registro de Vibraciones Ambientales:

En primera instancia para llevar a cabo el siguiente proyecto se partió de mediciones previamente realizadas en la Ciudad de Salta, cubriendo la zona de Micro y Macrocentro, una gran cantidad de mediciones con el fin de realizar un trabajo preciso y detallado.

Este proceso de medición fue aportado al proyecto por la Dra. Ing Lía Orosco, en formato de archivos adecuado para su lectura y posterior procesamiento en Geopsy.

Se citan a continuación, las zonas en donde se realizaron las mediciones con las cuales se trabajó en el proyecto y que se denominaron como líneas de medición, se detalla también su designación con la cual se identificará posteriormente el espectro H/V realizado en Geopsy de cada medida:

Zona Norte:

Linea Castaños		
Final de barrio Belgrano-colinda con el universitario		08120449
Final Bº Universitario		08120511
A 50 metros via de FF- hay interferencia- No sabe de donde (líneas NS y EW)		08120526
Final Bº (muy Calmo)		08120537
Con inerferncia los últimos 15		08120552
No hay problema		08120607
Hay interferncia de una bomba de agua		08120625
Limites barrio Universitario y Belgrano		08120637
Último Bº Belgrano		08120646

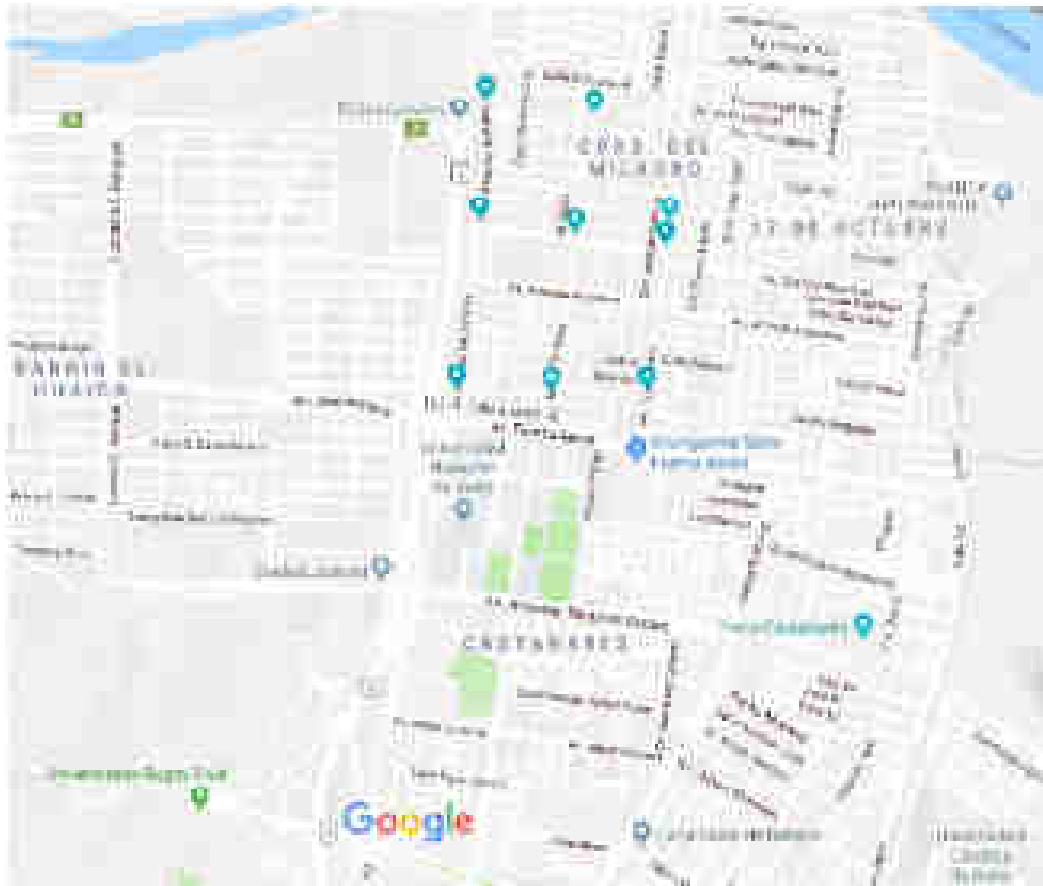


Figura N°3 – Mapa zona norte de la Ciudad de Salta

Zona Centro:

Linea Balcarce		
Av. Bolivia	Av. Constitución	07070526
		07070529
Balcarce	Mariano Benitez	07070516
	Tamayo	07070507
	Stgo Morales	07070459
	Gral. Arenales	07070445
		07070450
	12 de Octubre	07010604
	Necochea	07010550
	Rivadavia	07010539
	Gral. Guemes	07010527
Florida	Caseros	07010518
	San Martin	07010503

Linea Dean Funes		
Deán Funes	Superi	07080518
	Díaz Velez	07080505
	Matienzo	07080456
		07080452
	P.A Velásquez	07080444
	J.M. de López	07080435
	Santiago Morales	07080426
	Gral. Arenales	07080417
		07080413
	12 de Octubre	06300414
		06300414
	Necochea	06300435
		06300439
	Rivadavia	06300448
		06300451
Deán Funes	Gral. Güemes	06300501
		06300505
Córdoba	Caseros	06300514
		06300518
	San Martin	06300527

Linea El Milagro		
Héroes de la Patria	Sánchez	08060418
	Ejercito Argentino	08060428
		08060433
	Quintana	08060442
Batalla de Salta	C. Espejo	08060453
	Ejercito Argentino	08060503
	Sánchez	08060513
Avda. 17 de Junio	Betbeder	08060524
	Ejercito Argentino	08060533
	Casi al final	08060541
Lectura 1	Al lado de escuela	08100429
Lectura 2		08100440
Lectura 3		08100448
Lectura 4		08100458
Lectura 5		08100511
Lectura 6		08100522

Linea Juramento		
Juramento	Avda. YPF	07130554
	Saperi	07130545
		07130540
	Dorrego	07130527
		07130521
	Guzmán	07130512
	Tejada	07130501
	Araucaria	07130448
	Los Pacaras	07130437
	Gral. Arenales	07130428
	12 de Octubre	06100457 (4)
	Necochea	06100507(5)
	Rivadavia	06100515 (6)
Calle Leguizamón, vuelve por Vicente López desde 12 de octubre		06100445
	Gral. Güemes	06100435(3)
Santa Fe	Caseros	06100425(2)
	San Martín	06090419 (1)

Linea1 Tres Cerritos		
Los Juncos	Los Alamos	07200422
	Los Pinos	07200437
	Los Crisantemos	07200501
	Los Ombues	07200515
	Los Carolinos	07200527
Los Jazmines	Los Azahares	07200541
Los ceibos	Los Paraísos - Las Retamas	07200602
Linea 2 Tres Cerritos		
Los Naranjos	Los Alamos	07210430
Los Manzanos	Los Pinos	07210440
	Los Crisantemos	07210451
	Los Ombues	07210503
	Los Carolinos	07210515
Los Eucaliptos esq. VEA	Los Abedules o Los Ceibos	07210524
Los Saucos	Los Paraísos	07210537

Linea 3 Tres Cerritos		
Los Carolinos	Entre los Crespones y Los Timbues	07290530
	Los Parrales	07290549
	Los Nogales	07290558
Guayacanes	Los Fresnos	07290607
	Los Piquillines	07290616

Linea Ibazeta		
Ibazeta	Gral. Arenales	04020402
	12 de Octubre	04020411
	Necochea	04020419
	Rivadavia	04020427
	Gral. Güemes	04020435
	Caseros	04020441
		0402449
Laprida	San Martin	04020458
	San Luis	04020506

Linea Bolivar		
Bolivar	Gral. Arenales	04070516
	12 de Octubre	04070506
	Necochea	04070459
	Rivadavia	04070450
		04070448
	Gral. Güemes	04070441
Gral. Paz	Caseros	04070434
	San Martin	04070426
	San Luis	04070418

Linea Autodromo		
Estefano	Extremo NE	02080449
Estefano	Extremo NO	02080456
Angel de la Rosa	Juan Galvez	02080504
*1 Pastore	Mendieta	02080517
Mendieta	riganti	02080524
*2 Riganti	Galvez	02080534
*3 Galvez	D. Marmon	02080543
*4 D. Marmon	Casi esq. Zutti	02080552
*5 Segura	CERCA del Mao	02080606
Washington	J.M Zuviría	02080619
*6 Bº Mirador		02080630
Bº Mirador		02080638

Linea Flores-Mitre		
Sobre Raimundin		02150503
Sobre Raimundin a 400 de 1		02150511
Delgadillo	Centeno	02150520
Delgadillo	Castro	02150530
A 100 delgadillo		02150540
Zorzales		02150552
Bº Jardín a 100 m Cementerio		02150607
Avda. Canadá	Río de la Plata	02150618
C. Salas	Venezuela (c. A. Mitre)	02150630
Colombia	Venezuela	02150638

Linea Seccional 2da		
Saavedra	A 100 m Avda. Bélgica	02010405
A . Cornejo	Laprida	02010417
A Cornejo	Lamadrid	02010428
Corrientes	Talcahuano	02010443
Ayacucho	Pje Castro (a 50 mts de S Luis)	02010452
Laprida	Pje Anta (a 50 mts de S Luis)	02010502
Laprida	Pje. Guachipas (a 50 mts de Corrientes)	02010513
Lamadrid	A 50 metros de Corrientes	02010524
Gral Paz	Pje Machi	02010535
Esteco	San Luis	02010543
Sobre la Corrientes	Casi Jujuy	02010551
De los Partidarios	Casi J. Castellanos	02010559
Los Lanceros	Damián Torino	02010610
La Florida	Damián Torino	02010617
La Florida	Casi J. Castellanos	02010625
La Florida	Corrientes	02010633
La Florida	San luis	02010641
Gral. Pizarro	Medeira	02020420
Santa Fe al final cerca de cancha		02020429
Damián Torino		02020437(*)
Damián Torino	Córdoba	02020445(*)
V. Tedin	Córdoba	02020459(*)
		02020509(*)

Santa FE	Corrientes	02020517
Cordoba	Corrientes	02020530
Pje. Linares y San Luis		02020540
Lavalle y San Juan	(equivalente a la San Luis y Santa Fe)	02020550

Línea Seccional 9na		
Lado oeste del Cº 20 de Febrero		02030338
Lado este del Cº 20 de Febrero		02030349
Entre los Cº 20 de Febrero y San Bernardo		02030401
1ra Curva		02030414
Otra curva		02030425
Lado del Cementerio Lado N		02030436
A 100 m. Del Oñativia aprox.		02030458
Playa del Museo Antropológico		02030507
Los Gladiolos casi esquina Los Olivos - Bº Las Rosas		02030526
Las Calas, casi en Neuquen		02030534
C y Abreu, a 50 metros de J. A Padilla		02030549
Sobre Calle Libertad (continuación D. Torino)		02030557
Sobre Dávalos (continuación V. Tedin		02030606
Sobre Toscano _ Continuación de Corrientes		02030615
Pasaje M. Tedin, a 50 metros de Pedro Pardo		02030624

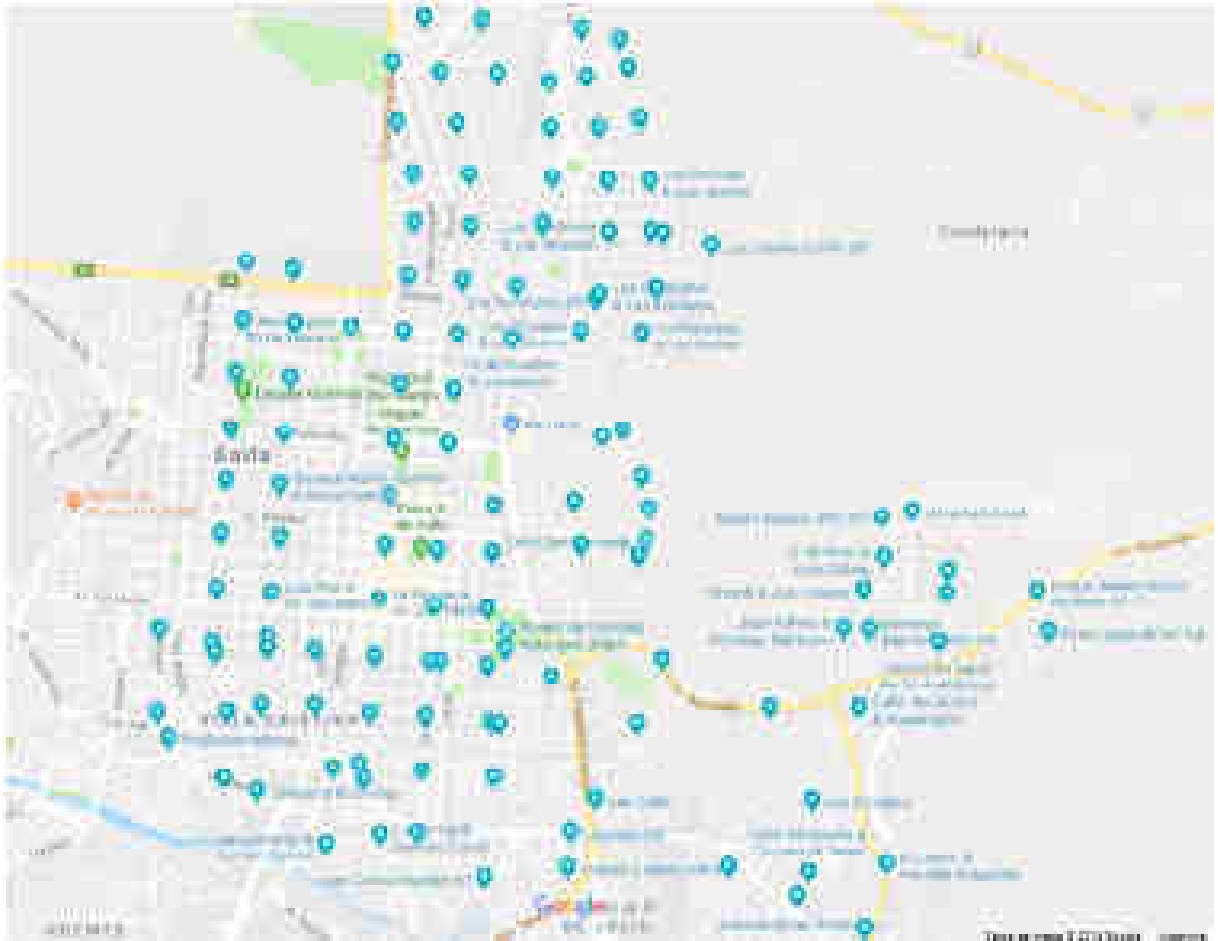


Figura N°4 – Mapa zona centro de la Ciudad de Salta

Zona Sur:

Linea Limache - San Carlos		
1	1ra esquina barrio (SE)	10200433
2		10200444
3		10200457
4		10200507
5 y 6	Esquina NE del Barrio	10205017
		10200521
7	Calle San Roque	10200534
8 y 9	San Roque y Gallareta	10200543
		10200547
10	Atrás edificios	10200556
		10200600
11	Frente Cancha GyT (limache)	10200609
12	Atrás constr. Ampliación barrio	10200624
13	Línea última a 100 m ruta	10210453
14		10210503
15	Al lado predio ex baradero	10210517

16	San Carlos	10210535
17		10210550
18		10210600
19		10210609
20		10210619
21		10210628

Linea Intersindical - Tribuno		
1 M. Gregnes	R. Lista	10260439
2	Peñalosa	10260450
3 M Ghbara (Acasubi)	Voz del Interior (continuación)	10260501
4- Acasubi		10260511
5 V. Aban	El Diario de Cuyo?	10260523
6 V. Aban		10260532
7 Diario Clarin		10260542
8 Diario Clarin	Yunca	10260557
9 Clarin	El Diario de Cuyo	10260611
10 Clarin	Voz del Interior	10260620

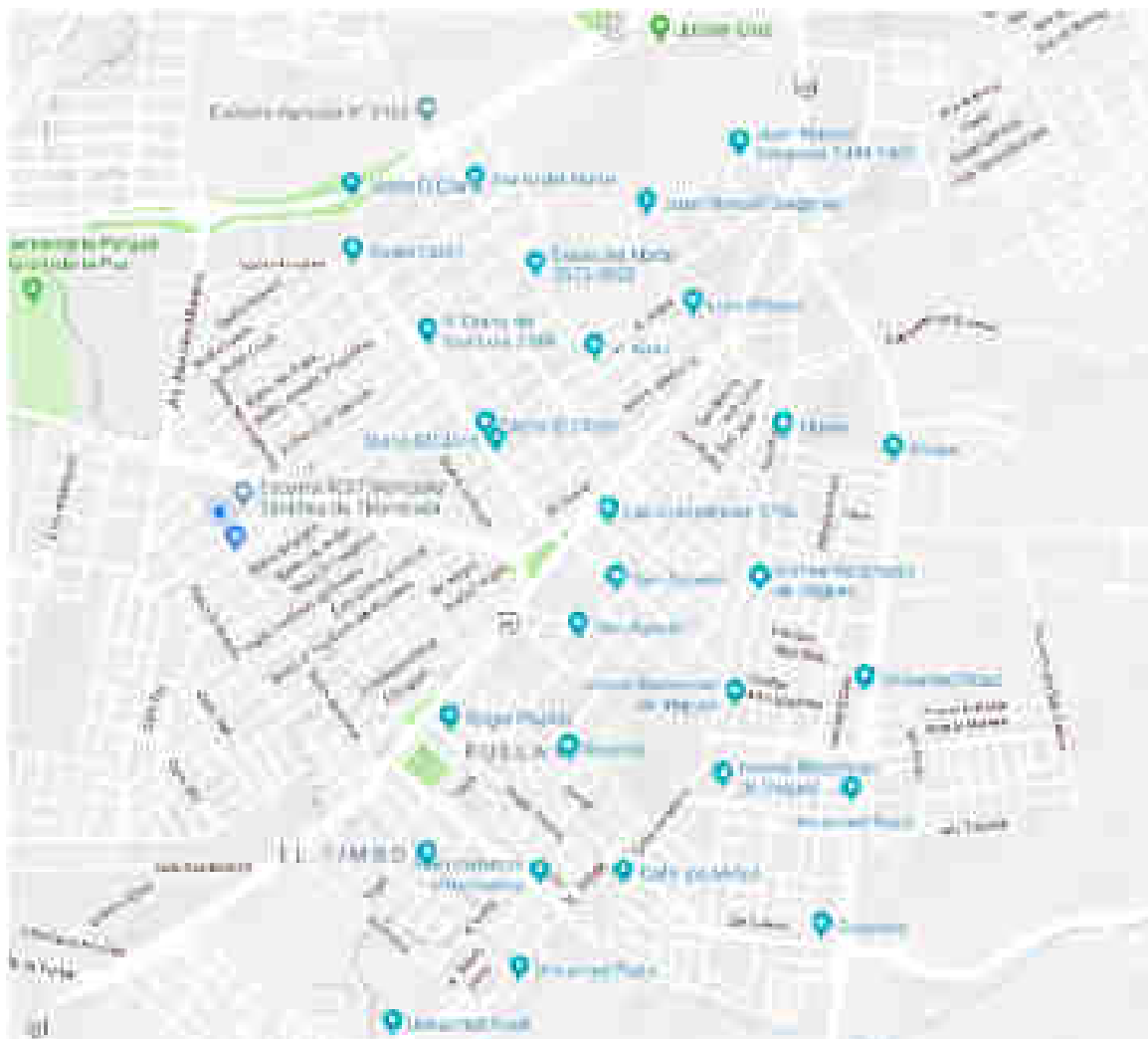


Figura N°5 – Mapa zona sur de la Ciudad de Salta

Todas las Zonas medidas de la Ciudad:

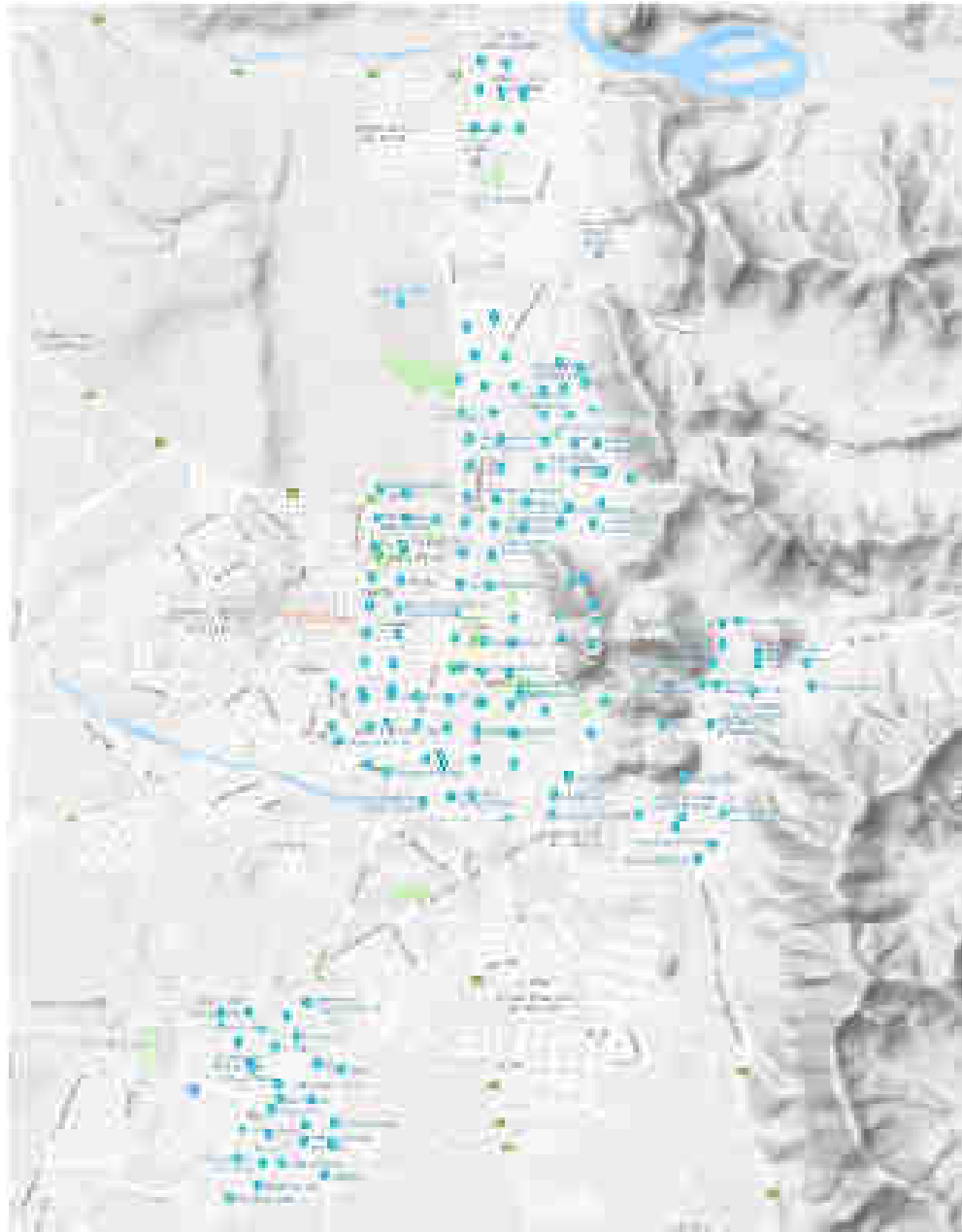


Figura N°6 – Mapa de la Ciudad de Salta con puntos medidos

Cada una de las mediciones se diferencian en 50Hz y 100Hz, contienen un número de identificación donde especifica la fecha y hora en la que se realizó, todas las mediciones fueron realizadas fuera de la época de lluvias (abril a noviembre) lo que permite un bajo porcentaje de humedad en el suelo por lo tanto mayor resistencia.

A través de la plataforma de Google Maps se controló que las Líneas que se tomaron estén completas, llevando a cabo un mapeo de Norte a Sur de la ciudad de Salta Capital

contando también aquellas tomas que se realizaron en los cerros San Bernardo y 20 de Febrero.

Las mediciones fueron realizadas entre las 2 y 5 de la mañana, a fin de evitar el excesivo ruido ambiental y problemas para la toma de datos. Se constataron las perturbaciones de las medidas en las planillas de anotación.

Posteriormente que se llevó a cabo el mapeo de los puntos se empezó a ingresarlos en uno de los principales softwares de este proceso denominado Geopsy (Anexo III). Al ingresarse por el código de cada uno de ellos y en un orden de horarios, se lleva a cabo el primer paso que consiste en abrir las señales que contiene la medición cruda en un diagrama de ejes Tiempo-Amplitud, el programa por defecto muestra las 3 componentes, Horizontal Norte - Sur, Horizontal Este – Oeste y Vertical (Figura N°7).

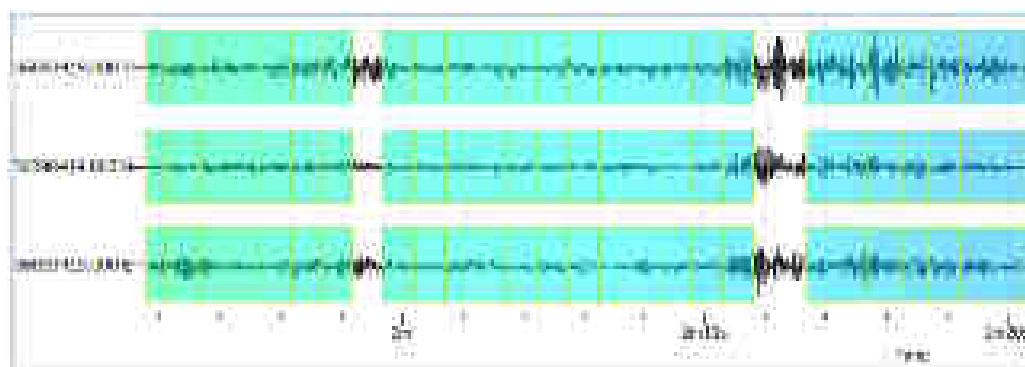


Figura N°7 – Señales en Geopsy

En el siguiente paso se eliminaron de la señal todos aquellos picos que podían interferir en una correcta apreciación de los datos. Luego se ajustó la longitud de las ventanas en las que se subdividen las señales a un valor de 1 segundo, y se eliminaron todas aquellas ventanas en las cuales se componen por picos altos o extraños debidos a interferencias de fuentes externas produciendo una variación en los resultados, ya que por cada ventana el programa realiza una curva en el diagrama y el promedio de esas curvas es el valor que se requiere para proseguir de una buena manera esta etapa del proyecto. Por lo tanto, el programa muestra el diagrama H/V de cada señal que se ingresó (Anexo III) y de donde se obtuvieron las frecuencias y las amplificaciones máximas de cada medición.

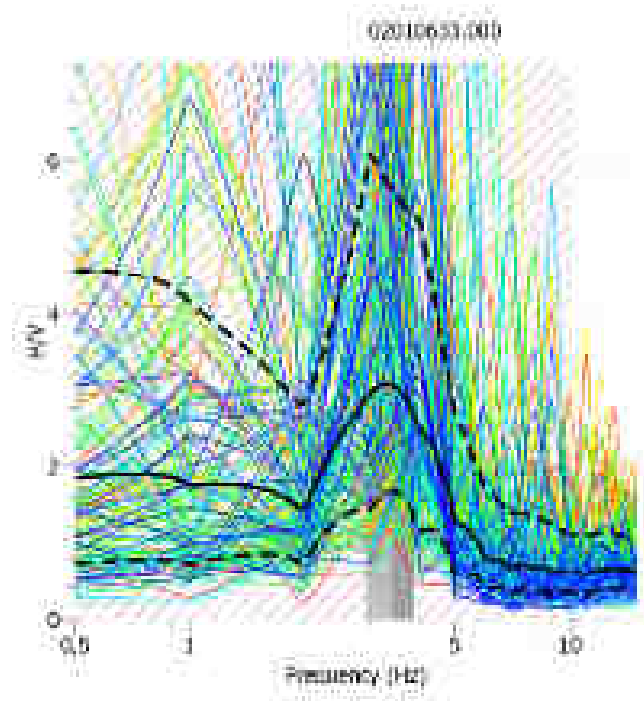


Figura N°8 – Espectro H/V Tipo

CAPÍTULO V

Relación entre Vs30 y To

Una vez finalizado el proceso de cálculo de frecuencias y períodos fundamentales de cada sitio medido se mapearon los datos en un Sistema de Información Geográfica, SIG, de la Ciudad de Salta, juntamente con datos de pozos para extracción de agua y los sitios donde se cuenta con mediciones de la Vs30.

Se utilizó QGIS, un software sumamente útil para el proyecto, que permite localizar cada sitio en particular y analizar en detalle sus atributos a través de tablas y diagramas.

El objetivo final del proyecto es realizar un análisis de los valores obtenidos de frecuencia y período calculados a través del método de Nakamura, y los valores de Vs30; si existe algún tipo de correlación entre los mismos, es posible determinar de manera analítica los valores de Vs30 en función del período de suelo, aprovechando el hecho que se tienen más medidas del período que de Vs30 en la Ciudad.

Se realizó también un análisis de la estratigrafía de una serie de pozos profundos que se encuentran en la ciudad, con el fin de aportar información para corroborar si los resultados obtenidos coinciden con lo que se observa en dichos pozos.

De los resultados obtenidos se puede hacer el siguiente análisis:

En Barrio Autódromo se obtuvo una frecuencia de 6,33; es decir un período relativamente bajo, lo cual es acorde a los valores analizados de pozos profundos, en donde se pudo observar una estratigrafía muy variada en su altura, pero variando entre arenas finas y medias, con un porcentaje de arcilla, lo cual significa que es un suelo blando, flexible en donde acorde a lo calculado su período es de 0,158 segundos, período relativamente bajo.

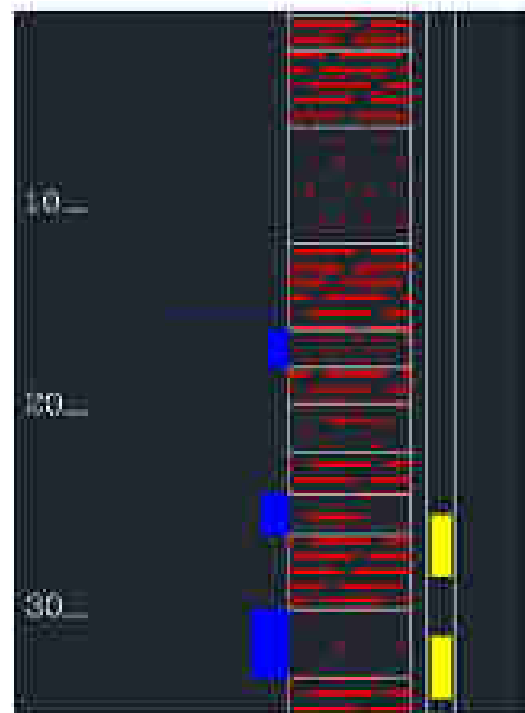


Figura N°10 - Estratigrafía de Pozo Profundo Realizado en Barrio Autódromo

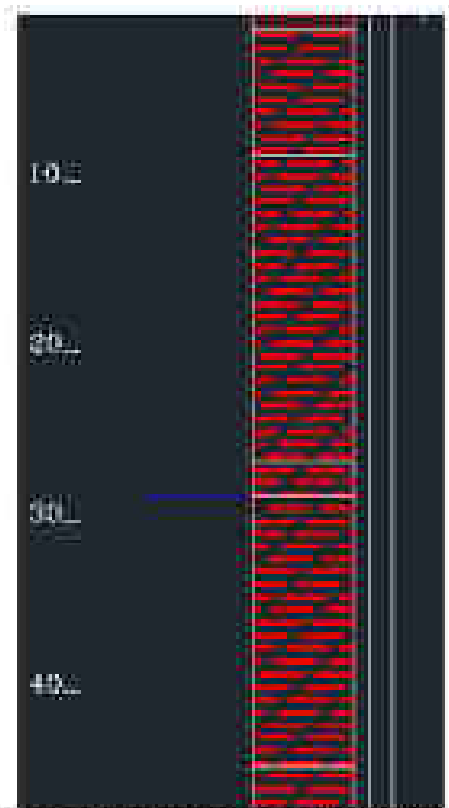


Figura N°11 – Estratigrafía de Pozo Profundo
Realizado en zona cercana
al Centro de Convenciones

Siguiendo el análisis realizado, en Barrio el Huaico, se obtuvo un período de 0,44 segundos, mucho mayor al anterior, habiendo analizado en profundidad el pozo profundo más cercano a la zona, se encontró una estratigrafía constante en su altura pero heterogénea, ya que se encuentra conformada en su mayoría por gravas medias y gruesas, en conjunto con un porcentaje de limo. Es fundamental decir que el período determinado coincide con dicho análisis ya que la presencia de grava en mayor porcentaje indica que estamos en presencia de un suelo más rígido lo que es positivo en relación al período determinado para dicha zona.

Si se realiza un análisis del suelo en el Centro de Convenciones al frente de Rotonda Limache, se podría encontrar una estratigrafía muy similar a la de la Figura N°10, lo que coincide ampliamente con el análisis debido a que el valor de período determinado para dicha zona es sumamente similar al determinado para el Barrio Autódromo.

En cambio a la hora de analizar el comportamiento y la conformación del suelo en una zona céntrica como lo es la Plaza Alvarado, se arribó a valores bastante elevados de períodos, dando a entender que es una zona con un suelo bastante rígido.

Al observar detalladamente como se encuentran compuestos sus estratos a través del análisis de un pozo profundo encontrado justamente en la misma plaza, se encontró que su conformación es totalmente arcilla sin poseer una variación significativa en la altura del pozo. Sabiendo también que las mediciones que fueron brindadas para nuestro proyecto debieron ser tomadas en temporadas donde el suelo se encuentre con la menor cantidad de humedad posible, por lo tanto en dicha temporada, la arcilla adquiere una resistencia y rigidez mucho más elevada que la que posee al entrar en contacto con el agua.

En fin se puede decir con certeza que los valores obtenidos se pudieron confirmar al analizar el pozo y concluir que dicha zona sobre todo en épocas de suelo seco, se vuelve muy rígido, pero muy sujeto a su variación de volumen y resistencia en presencia de agua.

Ahora en cambio si se toma como referencia pozos situados en la Municipalidad de Salta, se encontró una composición del suelo en su mayoría por arenas finas y gruesas, y un pequeño porcentaje de arcilla, en donde se obtuvo en nuestra medición, valores de períodos bastante elevados a lo que se concluye de que es un suelo sumamente flexible.

Por último se analizaron los estratos a través de pozos ubicados en la Universidad Católica de Salta, y se pudo observar que su conformación es en una mayor proporción de gravas medias y gruesas, es decir un suelo rígido. En las mediciones tomadas de zonas cercanas se determinaron valores de períodos cercanos a los 0,22 segundos, es decir relativamente elevados, definiendo un suelo rígido.

La correlación entre frecuencia/período y Vs30 mencionada se llevó adelante a través de una herramienta estadística como lo es la regresión, y variando las líneas de tendencia a aquella que se ajuste más a nuestro modelo según los valores con los que se diseñó:

Regresión entre VS30 y el Período

Sitio de Estudio	Frecuencia F0	Período Fundamental	Vs30	Frecuencia F0	Período Fundamental	Medición para Nakamura	Pozo Utilizado
Municipalidad	2.4980	0.400	267.2	2.23	0.448	02010428	ASP1480
Centro de Convenciones	6.4669	0.155	330.0	4.81	0.208	10260450	ASP1469
Plaza Gurruchaga	4.6276	0.216	353.6	3.52	0.284	04020506 (100 Hz)	AS0060
Loteo Eucaliptus	2.1456	0.466	373.3	4.22	0.237	10260620	ASP1384
Plaza Alvarado	7.1553	0.140	385.3	6.24	0.160	04020449 (100 Hz)	AS0732
Parque San Martín 1	3.4314	0.291	395.2	3.32	0.301	06090419	AS0132
Universidad Católica	4.5562	0.219	472.5	3.79	0.000	08120511	AS0146
Barrio Autódromo	6.3286	0.158	509.5	6.46	0.155	02080504	AS0531
Segunda Rotonda	13.1300	0.076	540.2	7.35	0.136	07210451	AS0132
Barrio El Huaico	2.2355	0.447	550.9	7.47	0.134	08060418	ASP1068
Sporting Club	2.4282	0.412	571.5	2.38	0.420	07200602	AS0242
Casona Finca Castañares	4.8630	0.206	597.8	5.08	0.197	08120526	AS0360
Loteo Pereyra Rozas	3.8897	0.257	627.9	3.83	0.261	08120537	ASP1087

Las segunda y tercera columna, muestran la frecuencia y período obtenido con GEOPSY. La cuarta y quinta, las obtenidas por Spectra (Haarala, 2017).

Regresión (T en función de Vs30)

La señal “Sporting Club”, ubicada en el respectivo club del barrio Tres Cerritos considerada un outlier (parte aislada), no fue incluida en la muestra para el análisis.

Los mejores resultados se obtuvieron con el siguiente modelo:

$$T = \frac{19304}{(Vs_{30})^2} + 0.1165$$

Nótese que la constante muestra que la máxima frecuencia considerada es aproximadamente 10 Hz (si $V_{s30} \rightarrow \infty$ entonces $T = 0.1165 > 0.10 \Leftrightarrow f = T^{-1} < 10$). Se obtuvo un valor de $F= 10,95$, $p=0,79\%$ y $R^2= 0,52$. El modelo tiene varianza constante.

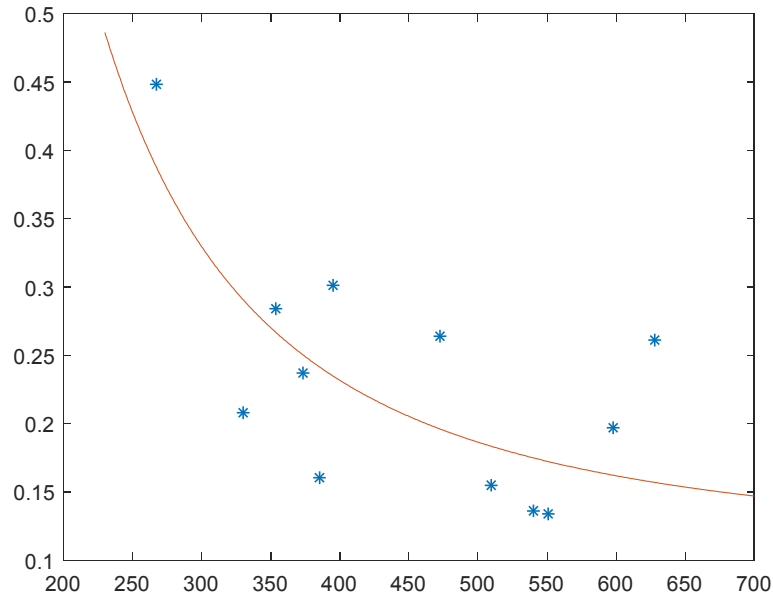


Figura N°11 – Representación gráfica de regresión T en función de Vs30

La curva de la regresión encontrada se muestra en la Figura N°11 donde se tiene en abscisas Vs30 (m/seg) y en ordenadas el periodo (seg).

Se observa que si no se usa el par de valores ($f = 3.83$ y $V_{s30} = 627.9$) en la regresión, los valores del modelo no cambian significativamente, pero $R^2 = 0.65$. Esto lleva a concluir que es necesario contar con más datos.

Regresión: Vs30 en función de T

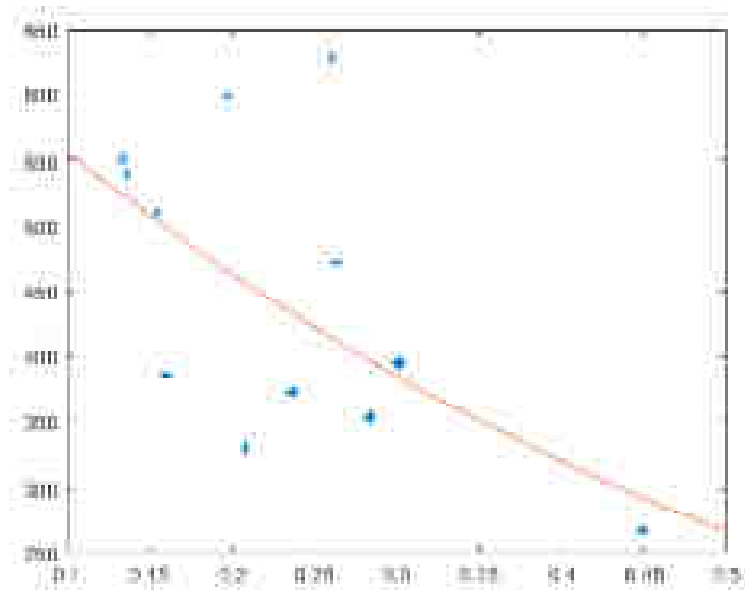


Figura N°12 – Representación gráfica de regresión Vs30 en función de T0

$$Vs_{30} = e^{-1.85 T + 6.51}$$

La Figura N°12 muestra la regresión encontrada; R2= 0,39; F=6,31 y p=3,08.

Si no se considera el par ($f = 3.83$ y $Vs_{30} = 627.9$), F=0,56 y p=0,89%.

Mapas Determinados en GIS:

A continuación se presentan mapas de flujo tanto de período, amplitud como de los valores obtenidos de la regresión determinada anteriormente. Los mapas fueron realizados utilizando la totalidad de los puntos con los que se cuenta con la información necesaria, y la interpolación fue llevada a cabo utilizando el método de Krigging.

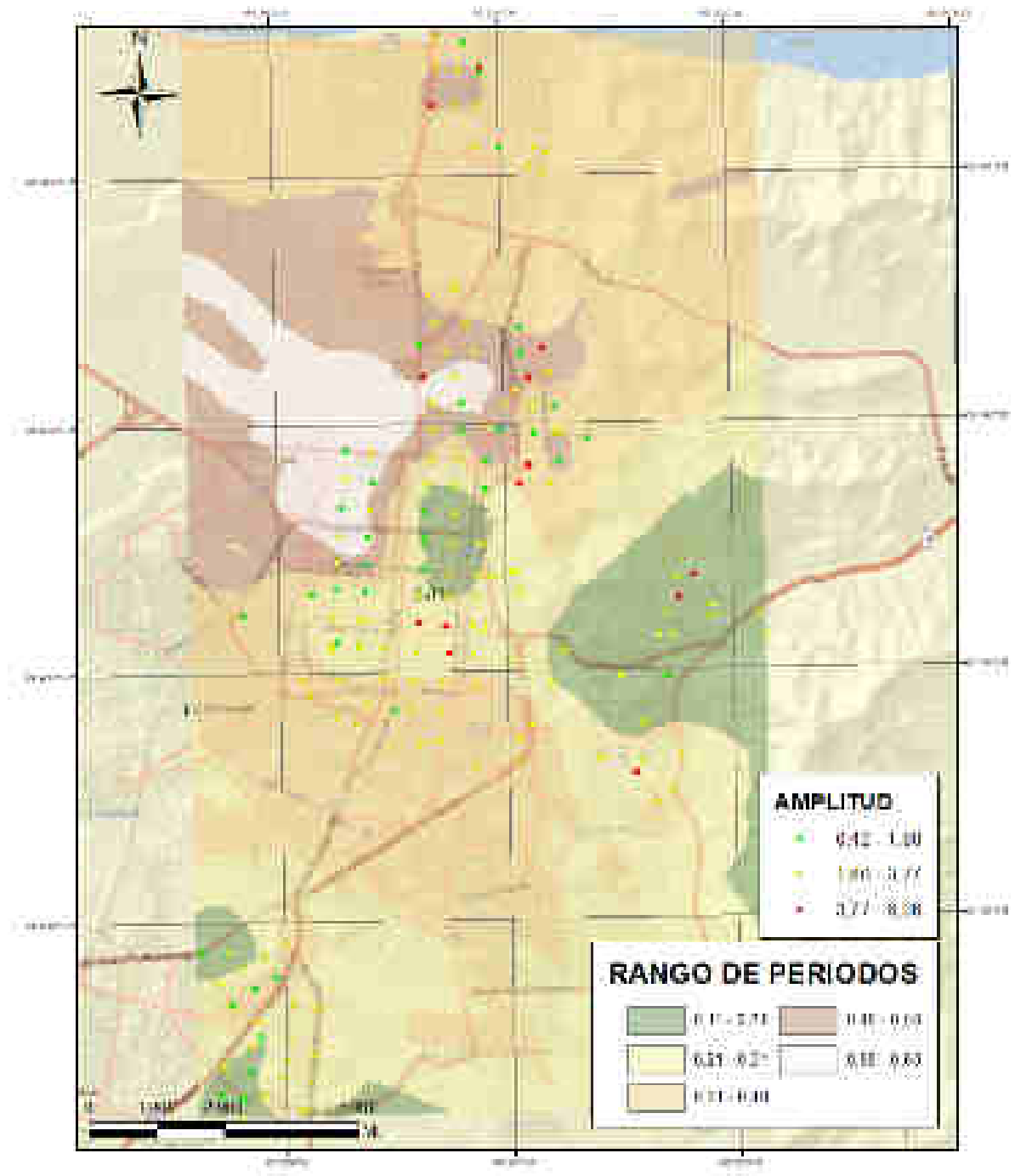


Figura N°13 – Mapa de Período realizado utilizando Método de interpolación Krigging - Amplificación representada con bolillas

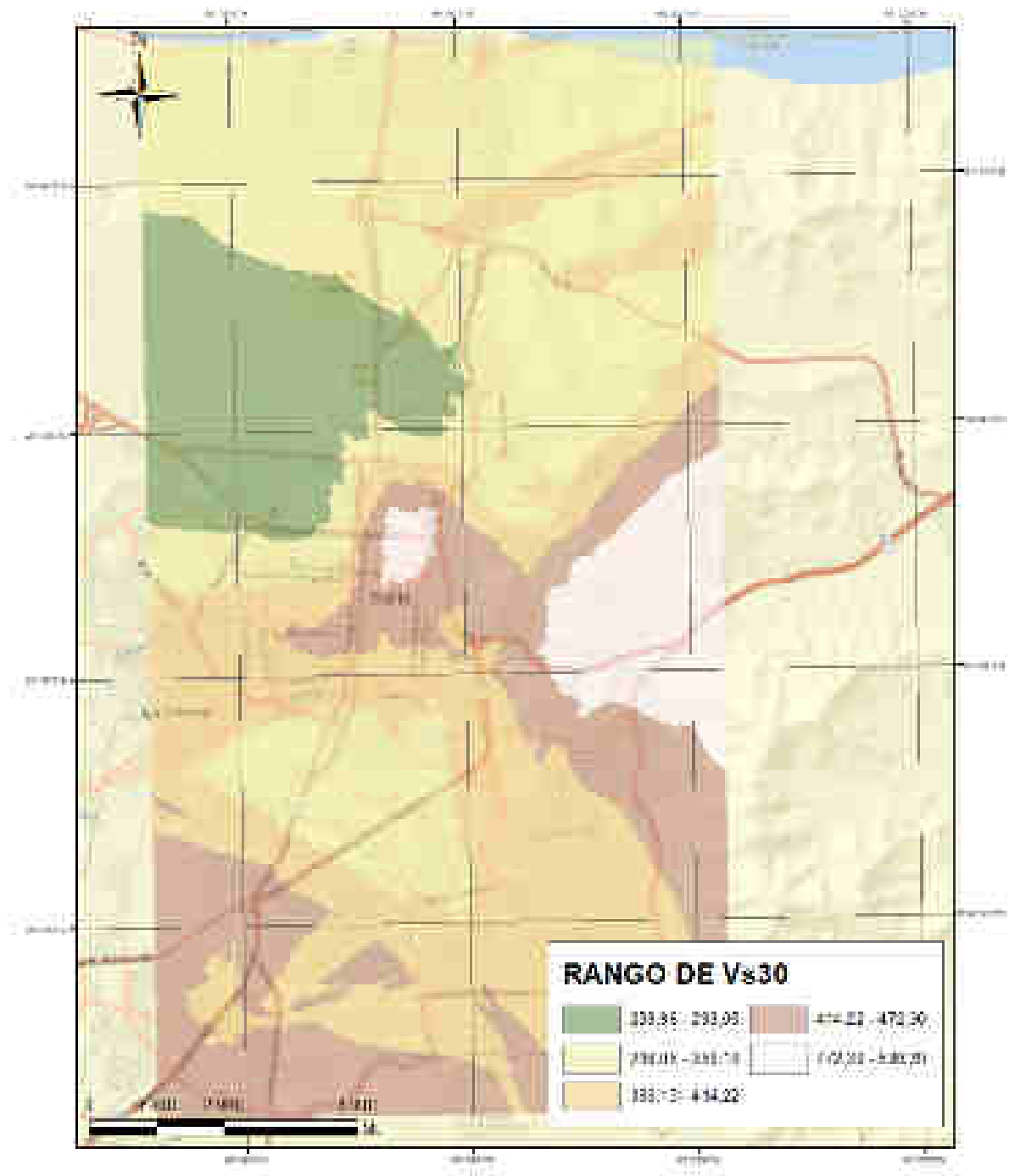


Figura N°14 – Mapa de Parámetro Vs30 (realizado mediante interpolación de Krigging)

CAPÍTULO VI

Conclusiones

El subsuelo de la Ciudad de Salta, por ser un valle sedimentario presenta una heterogeneidad tanto horizontal como vertical, lo que se desprende del análisis realizado a la descripción de pozos realizados en la Ciudad para la provisión de agua potable.

Se contaba con registros de microvibraciones ambientales, tomados en campañas realizadas entre los años 2004 y 2005, con una estación de tres componentes compuesta por geófonos MARK L4 de 1 segundo de frecuencia. Con el objetivo de determinar el período fundamental de cada sitio medido, se aplicó el método de Nakamura.

Se reanalizaron las señales con un software reciente (GEOPSY) ampliamente utilizado para aplicar el método de Nakamura. Debido a las limitaciones del instrumental utilizado en las mediciones, las señales son relativamente cortas y de mala calidad, por lo que la interpretación se dificulta. A tal fin, se realizó el análisis con el auxilio de la información dada por los pozos para extracción de agua, además del software mencionado. Se obtuvo así una actualización del mapa de microzonificación sísmica de gran parte de la Ciudad de Salta, considerando el período fundamental del suelo.

En general, los períodos menores se dan en la parte este de la ciudad, en cercanías de las serranías, donde el manto cuaternario es de poco espesor, y van aumentando de valor hacia el centro del valle y hacia el oeste, con algunas zonas locales donde se observan variaciones a la tendencia general, pero que reflejan la heterogeneidad del manto.

Este es un parámetro de gran importancia para la profesión, ya que al conocer las características dinámicas del suelo de fundación, se podrá valorar mejor el comportamiento esperado de la estructura que allí se funda, ya que en la interacción con el suelo pueden darse amplificaciones en la respuesta de la estructura.

El reglamento sismorresistente en vigencia en el país, define la acción sísmica en función de las características del sitio dadas principalmente por el parámetro V_s30 . Se tomaron los pocos sitios donde se tienen ambas mediciones y se realizó una regresión para buscar una relación entre ambos parámetros. Tienen mediciones de este parámetro en algunos sitios de la ciudad.

Aplicando esta relación, se determinó el parámetro V_{s30} para el resto de los sitios. Los valores de V_{s30} obtenidos han sido representados en un mapa de flujo a través del Software QGIS, mediante métodos de interpolación, obteniendo así la microzonificación de la Ciudad de Salta en función del parámetro V_{s30} .

BIBLIOGRAFÍA

Referencias

Akamatsu, K. On microseisms in frequency range from 1 c/s to 200 c/s. Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ. Vol. 39. (1961); p. 23-75.

Aki, K., 1957, Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to micro-tremors: Bull. Earthq. Res. Inst., v. 35, p. 415-456.

Allam A. & E. Shima. An investigation into the nature of microtremor ground motion in El Centro, California. Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 63. (1967); p. 1227 – 1253.

Arreglo instrumental bidimensional de los receptores sobre la superficie (Figura N°2) - <http://www.dokumen.tips/documents/metodo-de-medicion-de-microtrepidacion-mam.html>

Bard, P.-Y., and SESAME-Team (2005). Report D23.12, Guide-lines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation in European Commission: Research General Directorate, Project No. EVG1-CT-2000-00026, SESAME, 62 pp.: available online at <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr> (last accessed January 2008).

Borcherdt, R. D. (1994). Estimates of site-dependent response spectra for design (methodology and justification), Earthquake Spectra, 10, 617-653.

Calderon, F.A., Giolo, E.G., Frau, C.D., Guevara, M.G.J., Rodriguez, H. Tornello, M., Lujan, F. and Gallucci, R. (2017). Seismic Microzonation and Site Effects Detection Through Microtremors Measures: A Review. Chapter 9 Handbook of Research on Trends and Digital Advances in Engineering Geology Edited by Nurcihan Ceryan. pp 326-349. DOI: 10.4018/978-1-5225-2709-1.ch009.

Capon, J., 1969, High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis: Proc. IEEE, v. 57, p. 1408-1418.

Castillo, A. J., Torres Macías, A., 2000. Microzonificación sísmica preliminar de Barrancabermeja, Estudios de amenaza y microzonificación sísmica, Vulnerabilidad estructural y Evaluación de escenarios de daño. Instituto Geofísico Universidad Javeriana. Consultoría Colombiana. Colombia.

Chopra, A.K. Dynamics of Structures. Theory and application to earthquake engineering.

Código Uniforme de Construcción (Uniform Building Code - UBC) de 1997

Diagrama esquemático del método de onda de superficie utilizando microtrepidaciones (Figura N°1) <http://www.dokumen.tips/documents/metodo-de-medicion-de-microtrepidacion-mam.html>

Dobry, R., R.D. Borcherd, C.B. Crouse, I. M. Idriss, W. B. Joyner, G. R. Martin, M. S. Power, E. E. Rinne and R. B. Seed. (2000). New site coefficients and site classifications system used in recent building seismic code provisions, Earthquake Spectra, 16, 41-67.

Ghofrani, H., Atkinson, G. M. (2014). Site condition evaluation using horizontal-to-vertical response spectral ratios of earthquakes in the NGA-West 2 and Japanese database. Soil Dynamic and Earthquake Engineering 67, 30-43.

Geopsy (2014). Manual de uso del programa - <http://www.geopsy.org/documentation/geopsy/>

Horike, M., 1985. Inversion of phase velocity of long period microtremors to the S wave velocity structure shown to the base ment in urbanized areas. Jour. Phys. Earth, Vol. 33.; p. 59-96.

Hubert, C., 2016. Caracterizaciones dinámicas del suelo utilizando la técnica de MASW y microtremor en zonas urbanas. Trabajo de grado para optar por el título de geólogo. Universidad Nacional de Córdoba.

INPRES – CIRSOC 103 – Parte 1 Edición 2013.

Kanai, K. & T. Tanaka, 1961. On Microtremors VIII. Bulletin of the Earthquakes Research Institute, Vol. 39, University of Tokyo.; p. 97-114.

Kley, J. y Monaldi, C., 1998. Tectonic shortening and crustal thickness in the central Andes: how good is correlation? Geology 26, 723–726.

Lachet C. & P-Y Bard, 1994. Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura’s technique. Jour. Phys. Earth, Vol. 42. p. 377-397.

Lesser, F., 2019, Tesis de Maestría: Determinación de Perfiles de Velocidades de Onda de Corte en la Ciudad de Salta, a partir de Mediciones de Microtrepidaciones en Arreglos Multicanal

Lesser F., Astorga H., Sastre J., Molina R., Orosco L., Nievas F., Viramonte J., X EIPAC 2017, Determinación del parámetro Vs30 para la Ciudad de Salta, aplicando método MAM (2017). San Salvador de Jujuy, 15 al 17 de Noviembre de 2017 ISBN: 978-950-623-131-6. CDD 624-17. Editorial EUCASA- Compiladora: Lía Orosco-

Lermo, J. and Chávez-García, F.J., 1994. Are microtremors useful in site response evaluation?, Bulletin of the Seismological Society of America.

Leyton, F., Ruiz, S., Sepúlveda, S., Contreras, J., Rebolledo, S. & Astroza, M., 2013. Microtremors' HVSR and its correlation with surface geology and damage observed after the 2010 Maule earthquake (Mw 8.8) at Talca and Curicó, Central Chile. Engineering Geology, 161: 26-33.

Louie, J.N., 2001, Faster, better: shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays; Bulletin of the Seismological Society of America, v. 91, n.2, p. 347-364.

Modenesi, C.I., 2015. Estudio de sensibilidad de técnicas de microtremores y su aplicación para caracterización de geología urbana. Trabajo de grado para optar por el título de geólogo. Universidad Nacional de Córdoba.

Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristic estimation of subsurface using microtremors on the ground surface. Quarterly Report of Railway Technical Research Institute, Vol 30, pp 25-33.

Nakamura Y. (2000). Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications, Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, paper 2656, 2000.

National Earthquake Hazards Reduction Program, BSSC, 1994

Nogoshi, M., Igarashi, T., 1971. On the amplitude characteristics of microtremor (part 2). Journal of Seismological Society of Japan 24, 26–40 (In Japanese with English abstract).

Ohmachi, T & T. Umezono, 1998. Rate of Rayleigh waves in microtremors. En : The effects of surface geology in seismic motion. En : 2nd International Symposium On Esg. Vol. 2. Rotterdam; p. 587 – 592.

Okada, H., 2003. The Microtremor Survey Method. Geophysical Monograph Series no. 12. Society of Exploration Geophysics.

Olaya Victor (2016). Introducción a los Sistemas de Información Geográfica.

Pitilakis, K., Riga, E., Anastasiadis, A. (2013). New code site classification, amplification factors and normalized response spectra based on a worldwide ground-motion database. *Bulletin of Earthquake Engineering*, Vol. 11 pp. 925-966.

Ritta R., Suarez L., Pando M. (2012). Determinación del periodo fundamental del suelo usando vibración ambiental y el cociente espectral Horizontal/Vertical. *Asociación Argentina de Mecánica Computacional Vol. XXXI*. Págs. 1399-1419.

Rocca R.J., Quintana Crespo E. y Abril E.G., 1996. Avances en la microzonificación sísmica de la ciudad de Córdoba. *Memorias del Encuentro de Geotécnicos Argentinos GT'96*. S.A.M.S. Córdoba, Argentina.

Rodriguez-Marek, A., J. D. Bray and N. A. Abrahamson. (2001). An empirical geotechnical, seismic site response procedure, *Earthquake Spectra*, 17, 65-87.

Schurr, B., Rietbrock, A., Asch, G. Kind, R. y Oncken, O., 2006. Evidence for lithospheric detachment in the central Andes from local earthquake tomography. *Tectonophysics* 415, 203-223.

Seed, H. B. and I. M. Idriss. (1982). Ground motions and soil liquefaction during earthquakes, *Monograph Series, 5*, Earthquake Engineering Research Institute.

SESAME (2004). European Research Project Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations. Measurements, processing and interpretation, December 2004.

Stewart, J.P., A.H. Liu and Y. Choi (2003c). Amplification factors for spectral acceleration in tectonically active regions, *Bull Seism. Soc. Am.*, 93,332-352.

Udwadia. F. E & M. D. Trifunac. Reply. *Bull. Seism. Soc. Am.* Vol. 64. (1974); p. 496.

Wakamatsu, K. & Y. Yasui, 1995. Possibility Of Estimation For Amplification Characteristics Of Soil Deposits Based On Ratio Of Horizontal To Vertical Spectra Of Microtremors. *En : Jour. Struc. Constr. AIJ*. Vol. 471; p. 61-70.

Wald, D. J., and T. I. Allen (2007). Topographic slope as a proxy for seismic site conditions and amplification, *Bull., Seism. Soc. Am*, Vol97, No. 5, 1379-1395.

Yoon, S., and Rix, G., 2004, Combined active-passive surface wave measurements for near-surface site characterization; Proceedings of the SAGEEP 2004, Colorado Springs, CO, SUR03, Proceedings on CD ROM.

ANEXOS

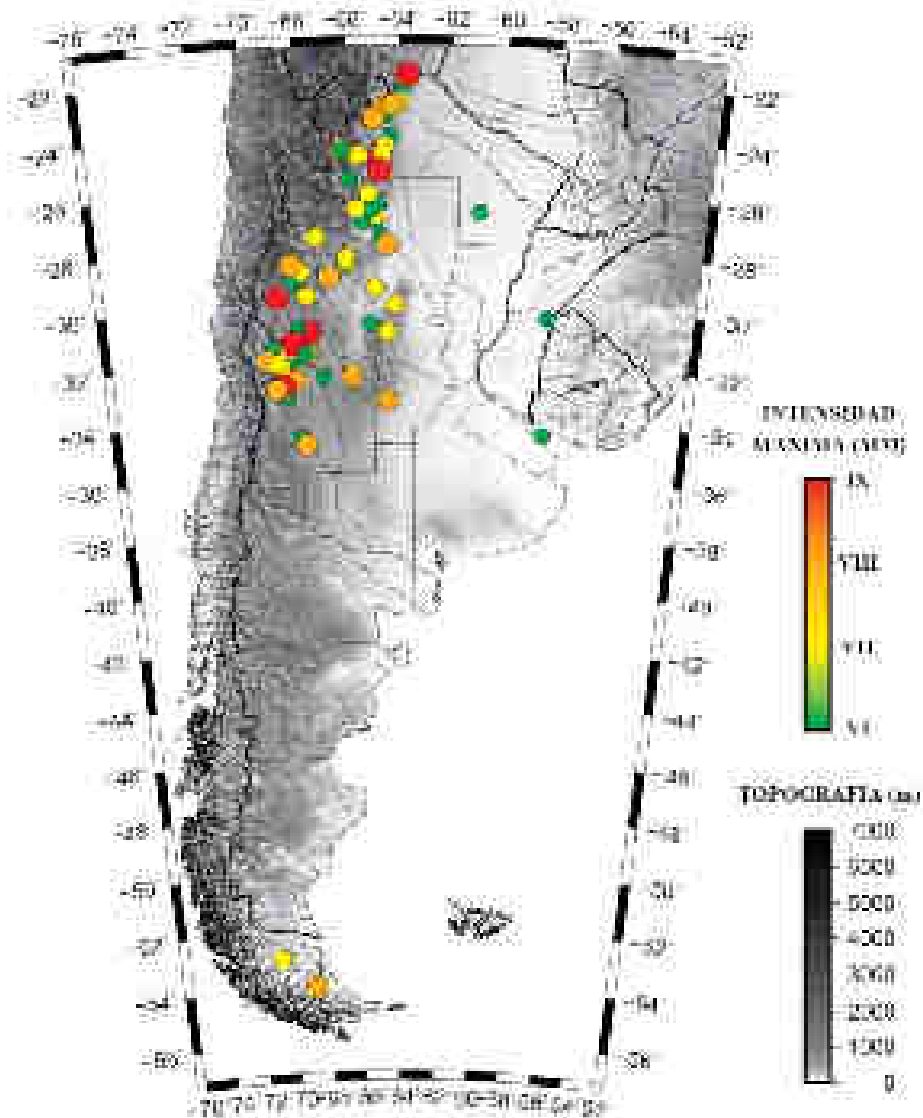
ANEXO I: SISMICIDAD DE LA CIUDAD DE SALTA

La actividad sísmica de Argentina está concentrada principalmente en el noroeste y centro-oeste, a lo largo de la cordillera de los Andes. Esta región se encuentra en un ambiente tectónico producto del choque entre la Placa de Nazca que se desplaza hacia el Este, y la placa Sudamericana que se desplaza hacia el oeste, con una velocidad relativa entre ambas placas de aproximadamente 8,0 cm/año. Ese choque produce el hundimiento, en forma de cuña, de la Placa de Nazca por debajo de la Sudamericana, proceso que se denomina “subducción” (INPRES).

La provincia de Salta presenta actividad sísmica tanto a niveles de corteza continental (<20 km de profundidad) como dentro de la placa oceánica subducida con un ángulo “normal” por debajo de Sudamérica e hipocentros localizados hasta unos 300 km de profundidad. Esta sismicidad es el resultado de la convergencia entre la placa de Nazca y Sudamérica y la deformación que se produce como consecuencia de la interacción entre la Puna Austral, la Cordillera Oriental y más hacia el este, el Sistema Santa Bárbara de fajas plegadas y corridas que incluye al basamento (Kley y Monaldi, 1998).

A continuación se representan los sismos históricos ocurridos en la República Argentina desde 1692 hasta 2015, que han provocado daños y/o víctimas, con intensidades comprendidas entre los grados VI a IX de la escala Mercalli Modificada.

En base al estudio de la distribución de la actividad sísmica, INPRES elaboró el mapa de zonificación sísmica de la República Argentina. En dicho mapa se están identificadas cinco zonas de peligrosidad sísmica, las cuales están asociadas, a su vez, a diferentes grados estimados de la aceleración máxima del suelo que puede provocar un terremoto; valores considerados en los cálculos de las construcciones sismorresistentes.



.Figura N°15 - Epicentros de 79 terremotos históricos (1692-2015), con intensidades MM entre VI y IX (catálogo de INPRES)

Según el mapa de zonificación sísmica de INPRES CIRSOC 103, la ciudad de Salta presenta una sismicidad de orden 3, que se caracteriza por tener peligrosidad elevada. Tal es así que la ciudad de Salta ha sufrido terremotos intensos, en los que se puede citar los registrados en los años 1692 (Ms 7), 1844 (Ms 6,5), 1948 (Ms 6,8) y 1973 (Ms 5,4), todos ellos originados aproximadamente a 100 km de la ciudad, en el frente de deformación de la Sierra Oriental. Sin embargo, el sismo más reciente, ocurrido el 27 de Febrero de 2010, registró una magnitud de 6,1 grados en la escala de Richter, (registrado en San Lorenzo) y se

originó en el sistema Calama-Olacapato-Toro al oeste de la ciudad, aproximadamente a 35 km de distancia y una profundidad de 10 km.

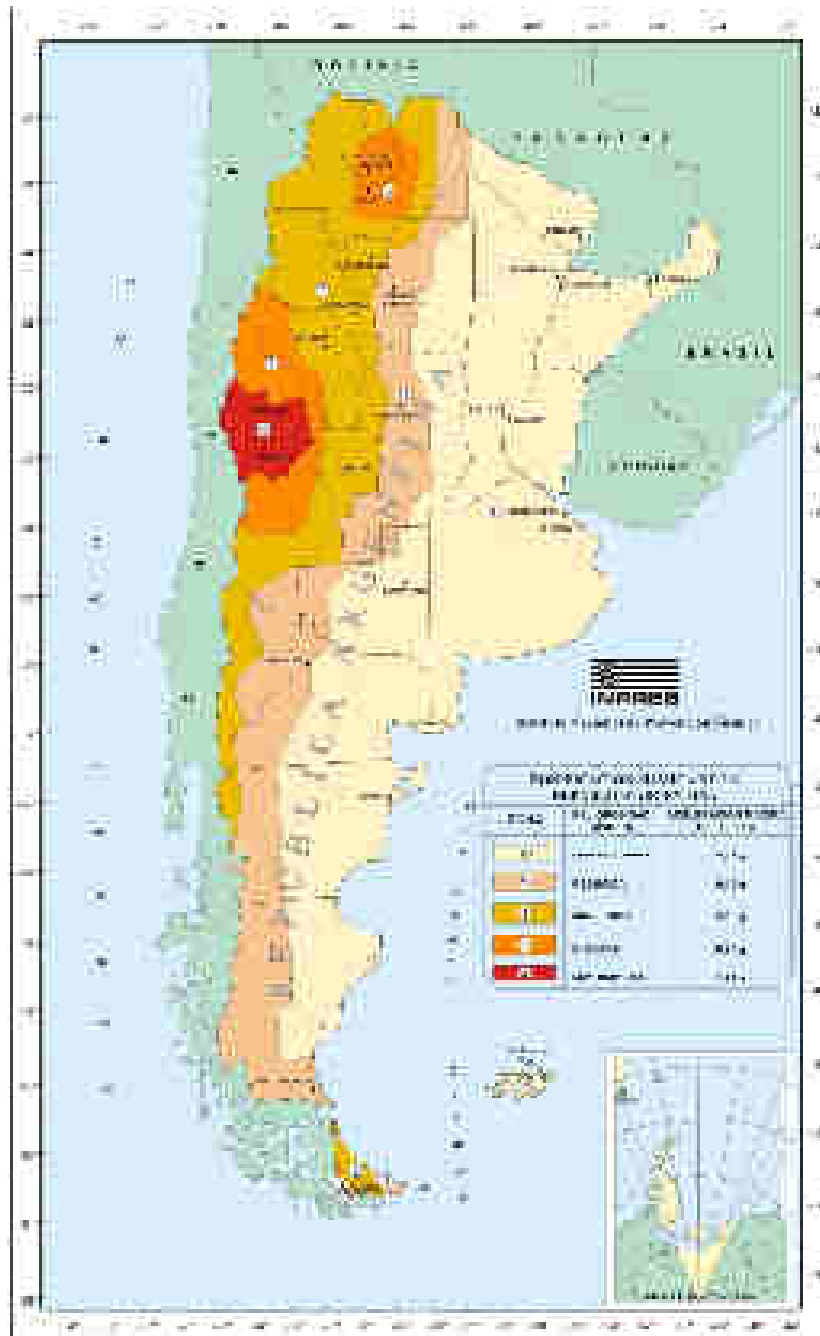


Figura N°16 - Mapa de Zonificación Sísmica de la República Argentina

ANEXO II: MÉTODOS PARA ESTUDIAR LAS CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DE CAPAS SUPERFICIALES DE SUELOS

Microtrepidaciones

Okada (2003) explica que, aunque no ocurran sismos, la superficie de la Tierra está siempre en movimiento a frecuencias sísmicas. Estas constantes vibraciones de la superficie terrestre dependiendo de su naturaleza, se denominan microsismos.

Las vibraciones de origen natural, microsismos, son oscilaciones inducidas por fuentes naturales internas y externas como las olas oceánicas, tormentas, vientos, presión atmosférica, lluvias, geysers, actividad volcánica, etc. Los microsismos se caracterizan principalmente por su inestabilidad debido al tipo de fuente que los genera y son afectadas principalmente por las condiciones climáticas, llegando a presentar algunas amplitudes y periodos que varían entre 2 a 3 o más segundos (microtremores de periodo largo). Este tipo de vibraciones está compuesto principalmente por ondas Rayleigh.

Las vibraciones de origen artificial, microtremores o microtrepidaciones, son vibraciones generadas principalmente por fuentes artificiales internas y externas, como producto de la actividad humana. Lermo y Chávez-García (1994) definieron este tipo de ondas como ambientes sísmicos ruidosos. Kanai y Tanaka (1961) las definieron como vibraciones de suelo con amplitudes entre 0,1 y 1 micrones y con periodos entre 0,05 y 2 segundos, causados por eventos artificiales como el tráfico, maquinaria industrial y otros. Este tipo de fenómenos están compuestos principalmente por ondas S y Rayleigh (Bard et al., 2004).

El término microtrepidaciones corresponde a una traducción del inglés de microtremor, pero que solo involucra las vibraciones ambientales; algunos autores usan el término microtemblores para definir a este tipo de ondas. En este trabajo se utilizará el término de microtrepidaciones.

Naturaleza de las microtrepidaciones

La naturaleza de las microtrepidaciones ha sido objeto de algunas investigaciones teóricas – no tantas como investigaciones aplicadas – que han incluido el desarrollo de diversas mediciones de campo para investigar los tipos de ondas que las componen y simulaciones numéricas de propagación del ruido en modelos geológicos simplificados. Aún

no hay un consenso al respecto, se ha considerado que las microtrepidaciones están compuestas por ondas internas y ondas superficiales; o que están compuestas principalmente por ondas de superficie dispersas; o que están compuestas por ondas Rayleigh.

Aki (1957) analizó las microtrepidaciones estadísticamente en el espacio y en el tiempo como ondas estocásticas estacionarias y las consideró como ondas de superficie dispersas. Akamatsu (1961) y Nogoshi (1970, 1971) también consideraron que las microtrepidaciones se componen principalmente de ondas superficiales.

Kanai y Tanaka (1961) consideraron que las amplificaciones de las microtrepidaciones en capas del subsuelo se deben a múltiples reflexiones de ondas S incidentes verticalmente, en forma similar a los movimientos fuertes.

Después de detallados estudios de microsismos Allam (1967) concluyó que las microtrepidaciones podrían ser explicadas como ondas Love y Rayleigh en los sitios donde las interfaces entre los estratos de suelo están claramente definidas.

Udwadia y Trifunac (1973) mostraron la existencia de movimiento vertical en las microtrepidaciones que puede ser explicado por la multireflexión de las ondas SH en las capas de subsuelo. Sin embargo Udwadia y Trifunac (1974) mostraron la posible aplicabilidad de las microtrepidaciones en un área donde se encuentra resonancia fuerte durante movimientos sísmicos.

Con base en mediciones de campo y análisis de dispersión de velocidades, Horike (1985) postuló que las microtrepidaciones verticales consisten en ondas Rayleigh.

Nakamura (1989, 2000), basado en que las fuentes artificiales de vibración tienen principalmente movimiento vertical, consideró que las microtrepidaciones están compuestas por diferentes tipos de ondas que incluye tanto ondas de superficie como ondas internas, y que el efecto de las ondas Rayleigh aparece en las componentes H y V de las microtrepidaciones, pero más acentuado en la componente V. Esto fue confirmado por simulaciones numéricas de Lermo & Chavez-Garcia (1994) y Lachet & Bard (1994) que establecieron que las microtrepidaciones consisten en ondas Rayleigh propagándose en un semiespacio de una sola capa. Por su parte las simulaciones realizadas por Wakamatsu & Yasui (1995) encontraron que en las microtrepidaciones predominaban las ondas Rayleigh y Love.

Toshinawa et al (1994) anotaron que los problemas entre la teoría y la práctica en relación con el estudio de las microtrepidaciones se debe a que las ondas inducidas provienen de muchas clases de fuentes desconocidas.

Ohmachi & Umezono (1998) encontraron que la proporción de ondas Rayleigh en las microtrepidaciones varía entre el 10 y el 90% entre diferentes lugares según la hora del día, y que la proporción más frecuente es 40%. Según esto determinaron que el análisis de microtrepidaciones debe incluir, adicionalmente, un estudio del porcentaje de ondas R al momento de medición.

Métodos de Onda de Superficie

En los últimos años se ha visto el gran interés de la clasificación de los territorios, o lo que se denomina efectos de sitio, desde un punto de vista sísmico, sobre todo en zonas urbanas, a escala local, y según los tipos de suelos. El resultado de estos estudios es lo que se denomina frecuentemente como microzonificación sísmica. Los estudios de microzonificación sísmica se han desarrollado fuertemente en el mundo con el objetivo de conocer las propiedades de los suelos de fundación, y cómo estos reaccionarían en conjunto con las estructuras ante un eventual evento sísmico.

Dentro de las herramientas actuales para los estudios de microzonificación sísmica se pueden diferenciar los métodos sísmicos invasivos y no invasivos. Entre los métodos sísmicos invasivos más comunes se pueden mencionar los ensayos Down-Hole, Up-Hole y Cross-Hole, los cuales requieren de perforaciones para llevar a cabo la prospección. Los métodos no invasivos, es decir, que no tienen necesidad de penetración directa en el medio a investigar, se basan en el uso de la propagación de ondas de superficie (Park et al., 1999).

Los métodos de ondas superficiales se dividen de acuerdo a la fuente de energía que se emplee. Si una medición es activa o pasiva depende de la habilidad de controlar tres características de la fuente sísmica: el tiempo de excitación, la localización relativa con respecto al arreglo y la energía del impacto. Cuando todas se encuentran estrictamente controladas, es una medición activa; de lo contrario, si se registra ruido ambiental sin conocer sus particularidades, el método es pasivo.

En los métodos activos, una fuente transitoria o continua se usa para generar ondas Rayleigh con un rango de frecuencias de casi 4 a 100 Hz, y además se usa un arreglo lineal de

receptores para monitorear la respuesta del suelo causado por la propagación de las ondas. Estos métodos están limitados en su habilidad para muestrear suelos profundos, debido a la dificultad de generar energía de baja frecuencia con fuentes razonables (Yoon y Rix, 2004). Esta técnica incluye los métodos de Análisis Espectral de Ondas Superficiales (SASW) y de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW).

Los métodos que utilizan fuentes pasivas como la sísmica de microtremores (Park et al., 2004; 2005) han sido usados como alternativas para superar esta limitación, debido a que las ondas pasivas típicamente contienen más energía de baja frecuencia y por lo tanto, penetran a mayores profundidades. El rango de frecuencias medido durante las pruebas pasivas está frecuentemente en el orden de 1 a 10 Hz. Para adquirir datos pasivos de ondas, se requiere un arreglo de sensores de dos dimensiones (2-D), debido a que la localización de la fuente es desconocida, es decir, no se conoce la dirección de propagación de las ondas en el tiempo de prueba (Yoon y Rix, 2004).

Dentro de los métodos pasivos basados en el concepto de microtremores se encuentra ReMi (por sus siglas en inglés de Refraction Microtremor) (Louie, 2001), el método f-k (frecuencia – número de onda) (Capon, 1969), el método de Nakamura (cociente espectral H/V o HVSR) (Nakamura, 1989 y 1996) y la técnica MAM (por sus siglas en inglés de Microtremor Array Measurements).

Dentro de los métodos MAM, ReMi y el método f-k, nos es posible obtener el perfil de velocidad de onda de corte V_s (muchas veces referida a los primeros 30m como V_{s30}), ampliamente utilizada para caracterización sísmica de sitio y obtención de perfiles geotécnicos, según los reglamentos de la UBC (por sus siglas en inglés de Uniform Building Code). El Código Internacional de Construcción (International Building Code - IBC) tiene un similar enfoque, pero mediante la velocidad promedio de onda de corte hasta los 100m de profundidad o V_{s100} (NEHRP, 1977; UBC, 2000; IBC, 2000).

Por otro lado el método de Nakamura y los mencionados anteriormente nos permiten obtener también parámetros de vibración como el periodo fundamental de vibración y estimar las amplificaciones sísmicas.

Métodos Pasivos

Los métodos pasivos difieren de los activos en la información obtenida y, consecuentemente, en los análisis de dispersión.

A continuación se describen cuatro métodos de exploración sísmica pasiva:

- ✓ Métodos f-k
- ✓ ReMi (Refraction Microtremor)
- ✓ Método de Nakamura (cociente espectral H/V o HVSR)
- ✓ MAM (Microtremor Array Measurements)

La técnica de Nakamura:

Nakamura propuso en el año 1989 que el cociente entre la componente horizontal y la componente vertical en el dominio frecuencial era un buen estimador de la respuesta de sitio. Esta técnica se aplicó por primera vez a microtemblores de zonas urbanas de Japón.

Nakamura supone que la razón H/V o ratio espectral corresponde a la función de transferencia de los niveles superficiales sometidos a movimientos horizontales. Basa su trabajo en la hipótesis de que un microtemblor está compuesto por un cuerpo principal de ondas y por ondas superficiales Rayleigh, inducidas por fuentes artificiales (trenes, tráfico, etc). Estas ondas superficiales se consideran perturbaciones que es necesario eliminar.

Para lograrlo, Nakamura realizó los siguientes postulados:

- Las ondas Rayleigh sólo afectan a la parte superior del nivel y en cambio no afectan a la base del nivel de suelo.
- El efecto de las ondas Rayleigh es visible principalmente en el movimiento vertical.

El fundamento teórico de esta técnica se ha cuestionado pero estudios experimentales muestran que, utilizando esta técnica, para suelos blandos se muestra un pico claro que está correlacionado con la frecuencia de resonancia fundamental. Otros estudios, sin embargo, concluyen que la amplitud en este pico no está bien correlacionada con la amplificación de la

onda S en la frecuencia de resonancia, sino que depende también del ratio de Poisson cerca de la superficie. Salvo estas limitaciones, la técnica de Nakamura es una técnica sencilla y de bajo costo que permite estimar las frecuencias fundamentales de suelos blandos.

Métodos f-k

El método frecuencia–número de onda adquiere datos de microtremores usando un arreglo cuyo tamaño es apropiado para la profundidad de investigación deseada y luego calcula el espectro f–k. Las ondas de superficie contenidas en los microtremores son detectadas como una función de la velocidad de fase y de la frecuencia (o período). El método de detectar las ondas de superficie mediante el parámetro del espectro f–k tiene sus orígenes en las investigaciones para LASA por Capon (1969).

La técnica (f-k) utiliza el espectro f-k y su principio es detectar una onda relativamente fuerte dentro de un complejo ensamblaje de microtremores.

En la mayoría de los casos, los métodos f-k son utilizados en exploración geofísica pasiva para análisis de la componente vertical del movimiento. Se trata de técnicas muy flexibles en cuanto a su aplicación en el campo pues permiten utilizar arreglos con geometrías arbitrarias.

En general, un fenómeno que se considera un proceso estocástico, tanto espacial como temporalmente, puede ser caracterizado por su función de densidad de poder espectral de frecuencia – número de onda (frequency – wavenumber power spectral density function). Esta función define la composición en frecuencia y el vector velocidad de propagación del fenómeno. Como los microtremores son considerados un proceso estocástico, en espacio y tiempo, el espectro f–k puede ser obtenido.

En el método f-k, se busca calcular la velocidad de fase de la onda más dominante del espectro f-k. La velocidad de fase (c_0) puede ser obtenida mediante la expresión:

$$c_0 = \frac{2\pi f_0}{|k_0|} = \frac{2\pi}{T_0 \sqrt{k_{x0}^2 + k_{y0}^2}}$$

Donde k_0 es el vector número de onda, obtenido del pico del espectro f-k, que tiene coordenadas k_{x0} y k_{y0} , de frecuencia f_0 (o período T_0).

El método SPAC presenta dos ventajas sobre el método frecuencia-número de onda:

Requiere de un menor número de estaciones de medición y arreglos más pequeños que el método f–k para alcanzar resultados similares.

Al registrar las componentes horizontales y verticales de una señal de microtremores, no sólo la onda Rayleigh, sino también la onda Love puede ser detectada (Okada y Matsushima, 1989).

Método ReMi (Refraction Microtremor)

El método ReMi (Refraction Microtremor) propuesto por Louie (2001) es uno de los más recientes métodos geofísicos para caracterizar sitios. Al registrar microtremores urbanos en un arreglo lineal de múltiples sismómetros, el método consigue, de manera rápida y sencilla, una gran cantidad de información sin necesidad de aplicar técnicas SASW o MASW, que demandan mucho tiempo y emplean fuentes sísmicas de gran peso.

De acuerdo a Louie (2001), la técnica está basada en dos ideas fundamentales. La primera, es que el equipamiento de Sísmica de Refracción puede efectivamente registrar ondas de superficie a frecuencias tan bajas como 2 Hz. La segunda idea plantea que una simple transformada bidimensional lentitud-frecuencia (slowness-frecuency) de un registro de microtremores puede separar ondas Rayleigh de los restantes arribos sísmicos y permite reconocer la verdadera velocidad de fase de las velocidades aparentes.

Los dos factores esenciales que favorecen el uso equipamiento de refracción para registrar ondas de superficie con un mínimo de esfuerzo en el campo son:

El uso de un sensor (geófono) en cada canal. Son los tipos más comunes y disponibles y son habitualmente usados en refracción. El empleo de un arreglo lineal de 12 o más canales sensores.

El equipamiento necesario para la técnica ReMi es muy sencillo y común: un sismógrafo digital de 24 canales, con geófonos verticales con una frecuencia de resonancia entre 8 y 12 Hz. En el caso de querer llegar a una mayor profundidad de investigación, con buena resolución, se recomienda emplear geófonos de 4,5 Hz. Un sondeo ReMi puede realizarse con 12 canales, pero puede que la precisión no sea del 15% en la velocidad. El

arreglo de geófonos debe ser de 200 m. de largo o, como mínimo, mayor a 100 metros. Un cable sísmico de 24 canales, con intervalo de geófonos entre 8 y 10 metros es lo ideal.

Además, aconseja no desplegar el arreglo sobre losas de concreto; el pavimento no presenta problemas, siempre y cuando se puedan colocar los sensores sobre él. Se debe evitar disponer geófonos en superficies con agua cuya profundidad sea mayor a 15 cm. Una forma fácil de desplegar el tendido en un ambiente urbano es al costado de las veredas, con los geófonos plantados sobre la tierra o en las grietas del pavimento. Los geófonos pueden estar desviados de la verticalidad hasta 15°, sin comprometer la calidad de los datos.

Para la obtención de los registros, en primer lugar, se deben activar los 24 canales, o más, si el sismógrafo los dispone. Luego se establece el tiempo de intervalo de muestro entre 2 y 10 ms, y se configura la longitud del registro entre 20 y 30 s (el mínimo es 4 s, ya que registros más largos de 30 s. pueden traer dificultades entre formato y configuración para el procesado). Se debe desactivar cualquier filtro antes de digitalizar los datos. Si el lugar de mediciones es muy tranquilo, se puede utilizar algún tipo de fuente durante los registros: correr paralelo al tendido, manejar un auto, levantar objetos pesados y dejarlos caer. No se necesita especificar localización o tiempo de la fuente.

Para cada línea sísmica montada se graban varios eventos de muestreo (para tendidos cortos, cuatro eventos y para tendidos más largos, seis a diez).

En el procesamiento de los datos se aplica una transformada bidimensional lentitud-frecuencia (p-f) a los registros de campo que permitirá la separación, identificación y selección de la curva de dispersión de las ondas Rayleigh (con velocidades de fase verdaderas) de entre todos los eventos registrados (segunda idea fundamental del método (Louie, 2001)). Generándose una imagen espectral, que sirve para “picar” la curva de dispersión de onda Rayleigh, eligiendo para ello la velocidad de fase mínima de la envolvente de energía de onda Rayleigh que, se ha demostrado, se correlaciona con ondas que viajan paralelas al arreglo. Luego, se crea un modelado directo para generar un perfil óptimo “VS vs. profundidad” que dará lugar a la curva de dispersión. El producto final de la técnica ReMi es un perfil unidimensional de velocidad de la onda de corte para cada línea sísmica realizada.

Las ventajas de la técnica ReMi rapidez y bajo costo, no requiere trigger y funciona bien en ambiente urbano, donde otras técnicas suelen estar limitadas. Al ser técnica no invasiva abarca un mayor volumen de material estudiado, lo que permite que el perfil de

velocidades sea más representativo y detallado. Adicionalmente, el método es útil para delineaciones estratigráficas en ambientes geológicos complejos, donde la sísmica de refracción, por lo general, falla. Entre otras aplicaciones, permite, en forma práctica y segura, determinar la velocidad promedio de las ondas de corte en los primeros 30 m. (VS30) y la clasificación de los suelos según los reglamentos tipo NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program) e IBC 2000 (International Building Code). Fue aplicado, además, para evaluación del riesgo sísmico de un área, análisis de licuefacción, control de compactación de suelos, mapeo del subsuelo y estimación de los parámetros dinámicos de los materiales, entre otros.

SPAC – Autocorrelación Espacial

La metodología SPAC es una aplicación de observación con arreglos de diferentes geometrías combinada con una metodología de análisis de datos y se utiliza para entender las propiedades del medio de propagación de una variedad de ondas generadas por un evento sísmico. Está basada en una teoría del proceso estocástico desarrollada por Aki (1957), que intentó estimar la estructura del subsuelo mediante registros de microtremores, asumiendo que estos son ondas isotrópicas provenientes de todas las direcciones.

Los principios básicos del método SPAC son:

- Asume que el complejo movimiento de ondas de los microtremores es un proceso estocástico en tiempo y espacio.
- Se puede definir un coeficiente de autocorrelación espacial para datos de microtremores cuando las ondas que los componen son dispersivas; por consiguiente,
- El coeficiente de autocorrelación espacial es función de la velocidad de fase y la frecuencia.

De manera sencilla, se puede decir que SPAC está basado en teorías para detectar y separar señales del ruido. Esta técnica es considerada un método excelente para separar ondas de superficie de los microtremores, y a través de la aplicación de esta técnica se obtiene la curva de dispersión del subsuelo ubicado inmediatamente por debajo del arreglo.

Una forma simple de entender el método se explica a continuación. Los registros de microtremores pueden ser divididos en varios bloques y cada uno de ellos consiste en 16000

muestras con una longitud de registro de 32 segundos. Si $f(i,t)$ y $g(i,t)$ son dos trazas dentro del bloque i obtenidos en dos receptores con una separación Δx , entonces la Transformada de Fourier (FFT) de estas dos funciones (ondas) para cada bloque puede ser expresada en el dominio de la frecuencia como $f(i,\omega)$ y $g(i,\omega)$. Entonces, la coherencia (COH) para el bloque i es calculada mediante la relación:

$$CC_{fg}(\omega) = f(i,\omega)g(i,\omega) = A_f(\omega)A_g(\omega)\exp^{i\Delta\phi(\omega)}$$

La diferencia de fase entre las dos funciones, queda expresada mediante la siguiente relación:

$$\Delta\phi(\omega) = \frac{\omega\Delta x}{c(\omega)}$$

Sustituyendo:

$$CC_{fg}(\omega) = f(\omega)g(\omega) = A_f(\omega)A_g(\omega)\exp^{i\frac{\omega\Delta x}{c(\omega)}}$$

$$CC_{fg}(\omega) = A_f(\omega)A_g(\omega) \cos\left(\frac{\omega\Delta x}{c(\omega)}\right)$$

Finalmente, la coherencia para el bloque i se obtiene como:

$$COH_{fg}(i,\omega) = \frac{CC_{fg}(i,\omega)}{A_f(i,\omega)A_g(i,\omega)}$$

La autocorrelación espacial (SPAC) es definida como la parte real de un promedio complejo de coherencias.

$$SPAC(\Delta x, \omega) = \sum_{i=1}^n \text{Re}(COH_{fg}(i,\omega))$$

Donde n denota el número de bloques. La coherencia (COH) fue calculada para cada bloque y luego todos los bloques de componente real fueron promediados como el SPAC. Si se asume que los microtemores se propagan en todas las direcciones de igual forma, SPAC define una función Bessel (Aki, 1957).

$$SPAC(\Delta x, \omega) = J_0\left(\frac{\omega}{c(\omega)}\Delta x\right)$$

Donde c es la velocidad de fase a una determinada frecuencia y J_0 es la función Bessel de primer tipo y de orden cero. La velocidad que minimiza el error en la ecuación puede ser considerada la velocidad de fase a la frecuencia angular.

ANEXO III: HERRAMIENTAS Y SOFTWARE UTILIZADOS

Guía de Uso Geopsy Función H/V:

GEOPSY es un software de código abierto y gratuito, desarrollado a partir del proyecto SESAME, su funcionamiento es en base a este. Es una herramienta útil y reconocida para el procesamiento de diversos métodos de ondas superficiales.

Para más detalle (descarga e instalación del software y uso de los métodos HVSR y MASW) descargar guía GEOPSY realizada por SARA electronic instruments s.r.l.:

http://www.sara.pg.it/d_know_how/GEOPSY_GUIDA_PRATICA.PDF

Naturalmente, también, la página del software:

<http://www.geopsy.org/>

Método H/V en GEOPSY

Se resume el procesamiento de H/V en GEOPSY como sigue:

1. Cargar grabación de vibraciones ambientales.
2. Ejecutar opción H/V.
3. Configuración de parámetros.
4. Selección de Ventanas.
5. Inicio de procesamiento.
6. Resultados.

Se detallarán los puntos 3 a 6, ya que los primeros dos no tienen mayor complejidad.

Configuración de Parámetros

Al ejecutar la opción H/V se abrirá la ventana de parámetros, mostrada en la Imagen, la cual consta de tres pestañas: Time, Processing y Output. Las dos últimas se utilizaron de forma automática, configurada por el software (Tipo de Suavizado: Konno & Ohmachi, Frecuencia de muestra: 0.5 - 15 Hz).

En la pestaña Time (Tiempo) se modifican los parámetros que son relevantes para el análisis H/V.

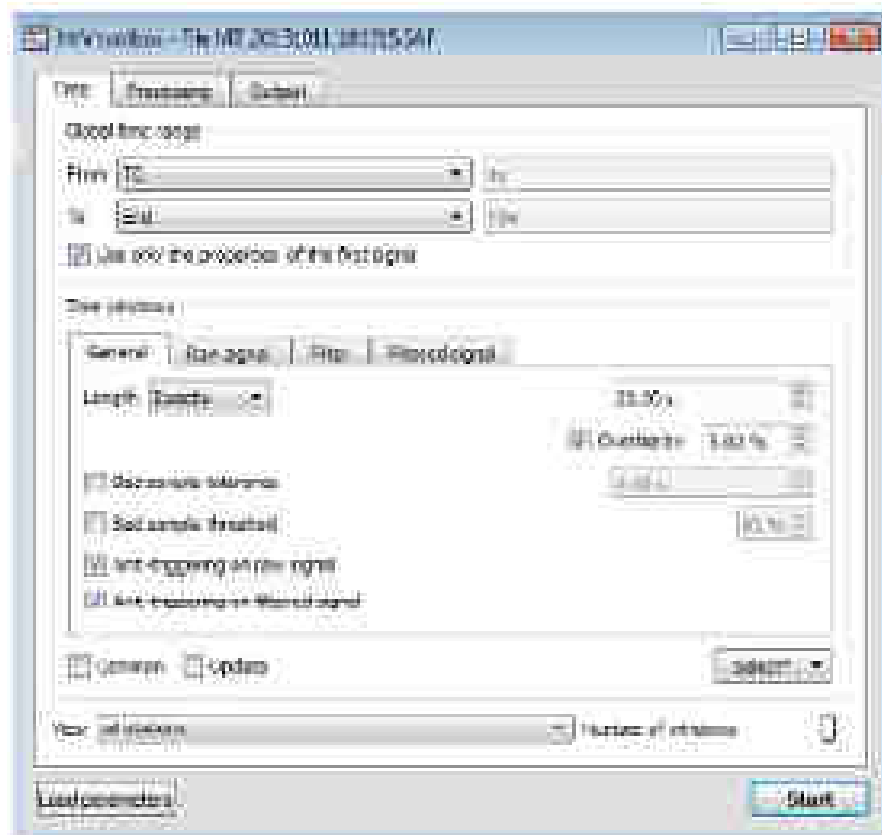


Figura N°17 – Ventana de Parámetros para análisis H/V.

En la sección Global time range (Rango global de tiempo) se puede elegir la duración total de la grabación a analizar, o modificarla según sea necesario. Este punto se dejó de forma automática, tomando la duración total de las grabaciones.

La sección Time Windows (Ventanas de Tiempo) contiene tres subpestañas, las cuales tienen directa relación con la duración total de grabación.

En la subpestaña General se encuentra:

- Length (Longitud): se elige la forma de selección y duración de cada ventana en la señal. Particularmente se utilizó la longitud exacta y la duración de las ventanas (en segundos), este último, depende del tiempo total de grabación de la señal.

- Overlap: superposición o traslapeo máximo que puede existir entre ventanas seleccionadas.
- Bad Sample Tolerance: Tolerancia de error de la muestra, en segundos. No se activó.
- Bad Sample threshold: Umbral de error de la muestra, en porcentaje. No se activó.
- Anti-triggering on raw signal: opción que evita alteraciones transitorias en la señal original.
- Anti-triggering on filtered signal: opción que evita alteraciones transitorias en la señal suavizada. Raw signal (Señal Original o en Bruto) y Filtered signal (Señal Suavizada):
- STA (Short Term Average): amplitud de la señal en un período corto de tiempo, denotado como tSTA, con valores entre 0.5 a 2.0 segundos. Para todas las señales se utilizó STA=1.0s.
- LTA (Long Term Average): amplitud de la señal en un período de tiempo mayor, denotado como tLTA, con valores entre 20 a 60 segundos. Para todas las señales se utilizó LTA = 30.0s.
- Mín STA/LTA: valor umbral que evita ventanas de tiempo con amplitudes anormalmente bajas, denotado como Smín. Para todas las señales se utilizó Smín = 0.25.
- Máx STA/LTA: valor umbral que evita ventanas de tiempo con amplitudes transitorias energéticas, denotado como Smáx, típicamente alrededor de 1.5 a 2.0.

Selección de Ventanas

Este apartado se puede hacer manual o automáticamente. De cualquier forma el software seguirá la configuración hecha en los parámetros, por lo que de una u otra forma se obtendrán los mismos resultados. La ventaja está en que si se tienen tiempos largos de grabación, la forma automática es más rápida y sencilla.

En la subpestaña General se selecciona “Select*” que despliega varias opciones, las más importantes: Auto (selección de ventanas de forma automática), Add (selección de ventanas de forma manual), Remove (deseleccionar una ventana manualmente). Para más detalle revisar enlace de Guía para el uso de GEOPSY.

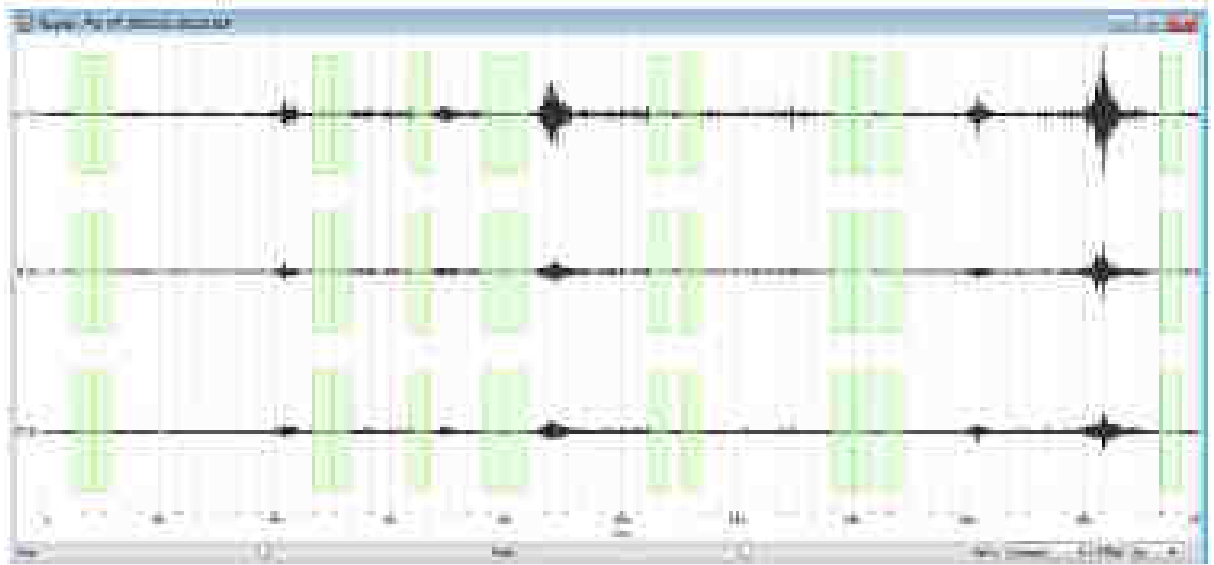


Figura N°18 – Ventanas seleccionadas de la señal, según parámetros configurados.

Inicio de Procesamiento

Al presionar “Start”, el software calcula automáticamente las transformadas rápidas de Fourier de las ventanas seleccionadas de cada señal (Norte-Sur, Oeste-Este y Vertical) y realiza con ellas la razón H/V. Luego, se muestra en la gráfica la superposición de los espectros de Fourier (líneas de colores), la curva H/V media resultante (línea continua remarcada en negro), y las curvas de confianza (líneas punteadas) las que reflejan la multiplicación y división de la curva media H/V por la desviación estándar de la amplitud. En la misma gráfica aparecen dos bandas grises, las cuales indican que en su intersección, se encuentra la frecuencia natural (f_0), sumada y restada por la desviación estándar de las frecuencias (extremos de las bandas en gris. La frecuencia natural (f_0), generalmente se encuentra en la amplitud máxima de la curva media H/V.

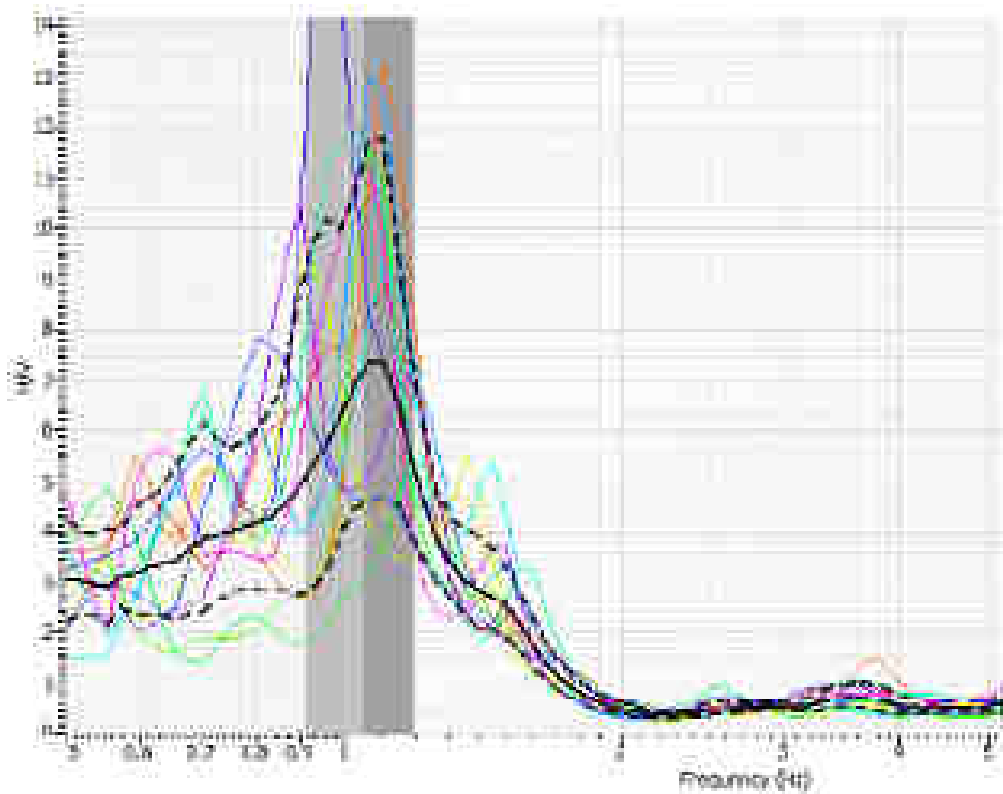


Figura N°19 – Gráfico H/V vs Frecuencia.

Otras opciones, tales como seleccionar curvas de ventanas que se escapan a las demás (por efecto de ruidos transitorios), quitarlas del análisis y poder obtener resultados más representativos del suelo, así como otras opciones para este mismo propósito, se pueden encontrar en el enlace de la Guía para el uso de GEOPSY.

Resultados

Como se explicó en el punto anterior, en la gráfica resultante se obtienen los siguientes datos:

- f_0 : Frecuencia natural del suelo en estudio.
- A_0 : Amplitud de la frecuencia natural (f_0).
- s_0 : Desviación estándar de la Amplitud A_0 .
- s_f : Desviación estándar de la frecuencia peak.

Algunos de estos datos se pueden obtener del gráfico o utilizando la herramienta Dinver de GEOPSY.

También, al tener la gráfica final, se tienen los datos configurados en los parámetros y que son necesarios para el Criterio SESAME:

- lw: longitud de la ventana en segundos.
- nw: número de ventanas seleccionadas.

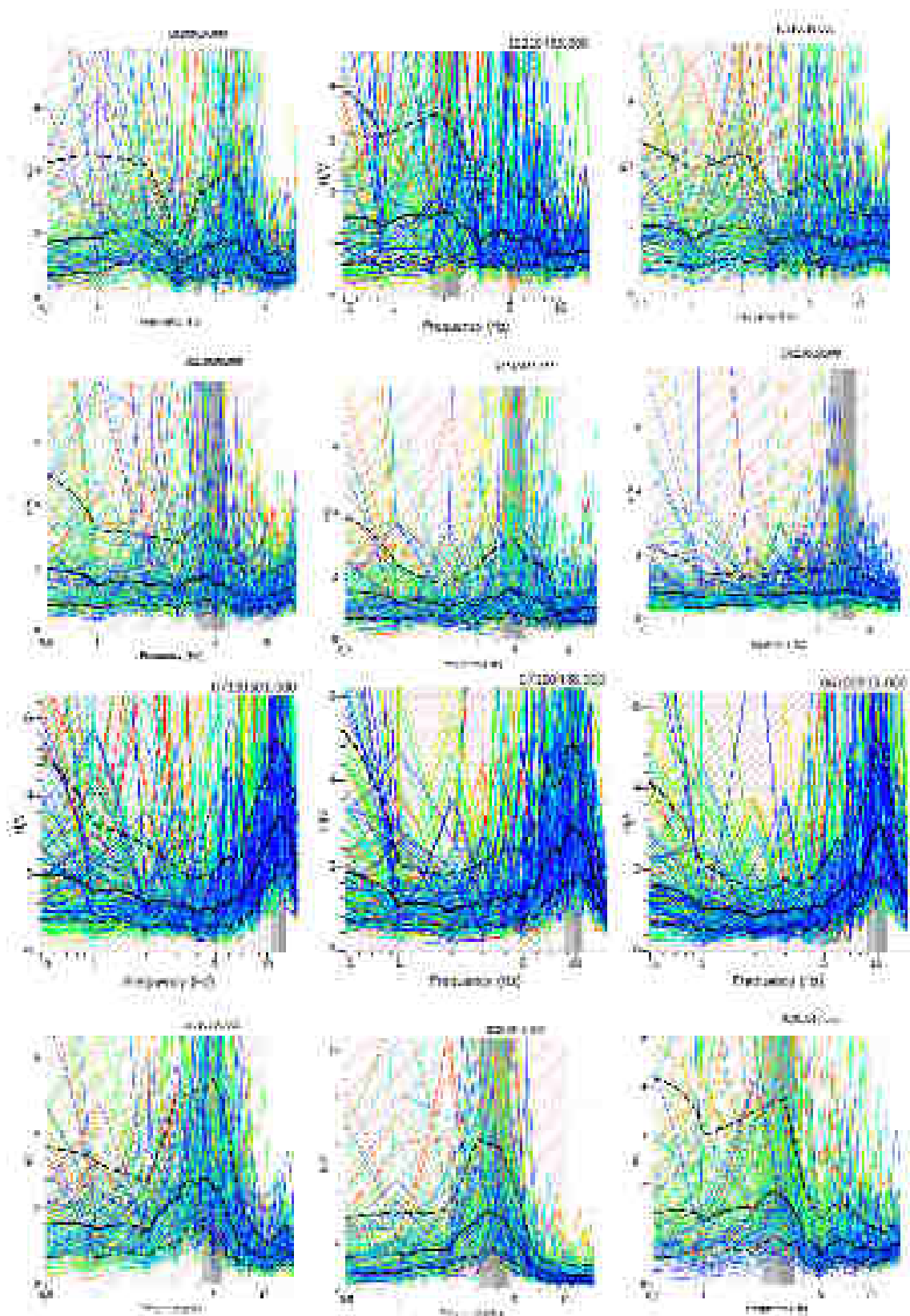
Con estos datos podemos verificar los 9 criterios SESAME y determinar si los resultados son o no confiables. Aunque es importante señalar que el cumplimiento o no de los Criterios SESAME no implican tener resultados correctos. La veracidad de los resultados dependerá mucho de las condiciones en terreno, el análisis en software y el propio criterio de cada investigador.

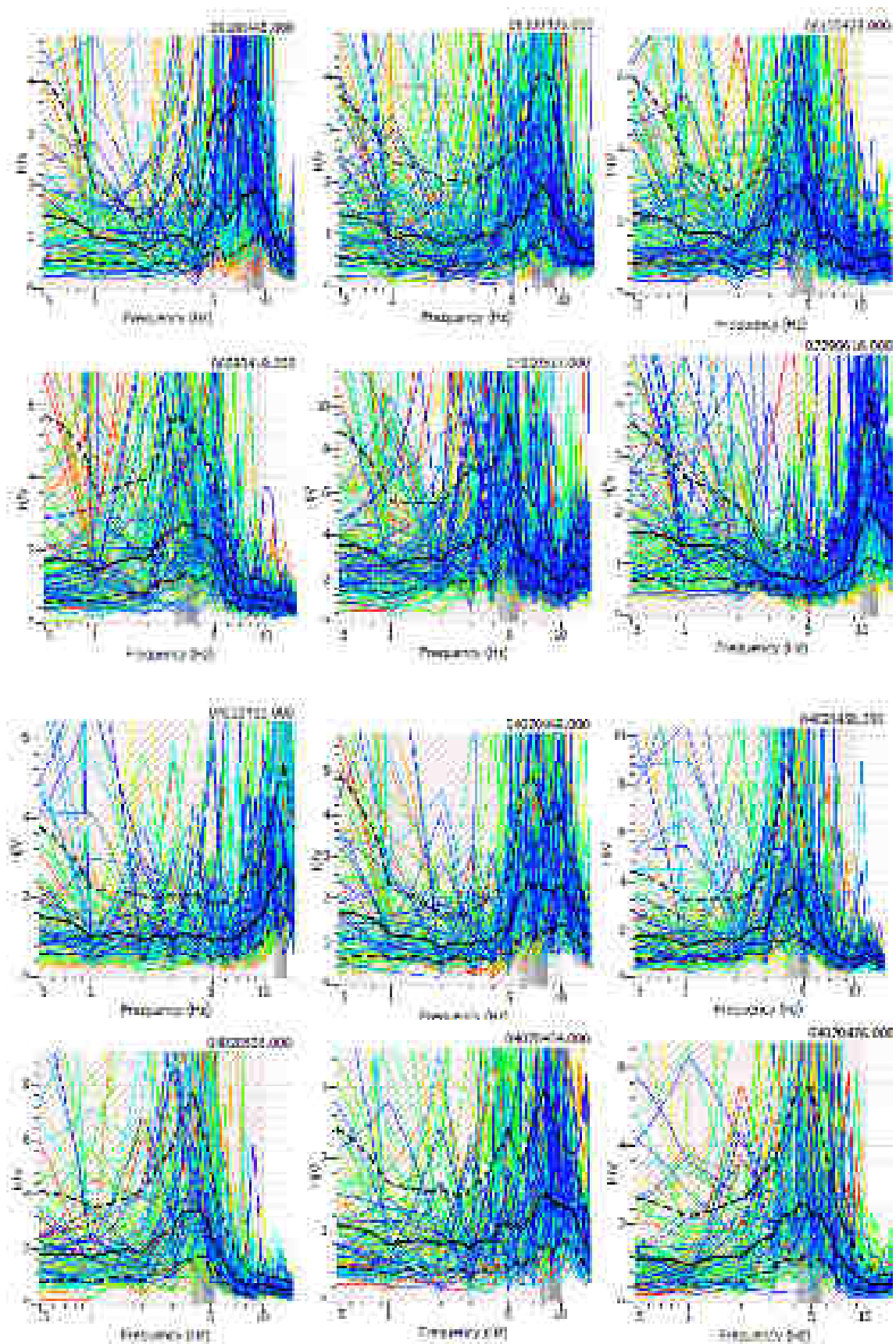
Inversión de H/V en GEOPSY

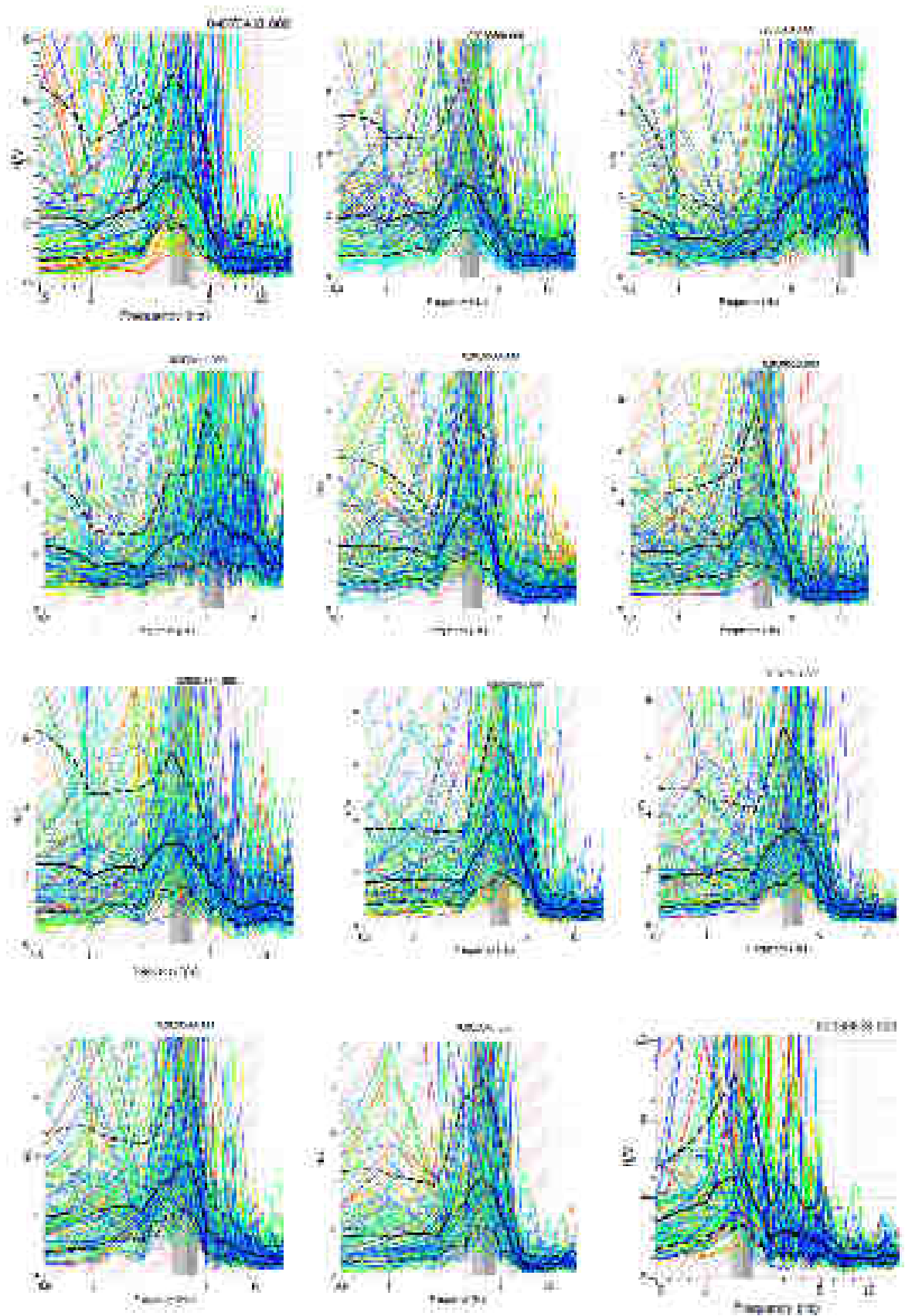
La inversión de los datos, obtenidos a partir del procesamiento de H/V, en el Software GEOPSY Dinver, puede dar una idea general del perfil estratigráfico del suelo, donde se tomaron las grabaciones de vibración ambiental. Los datos, para este propósito, se guardan previamente desde la gráfica final del análisis anterior, en formato “.hv”, el cual es cargado desde Dinver, a través de la opción Curva de Elipticidad.

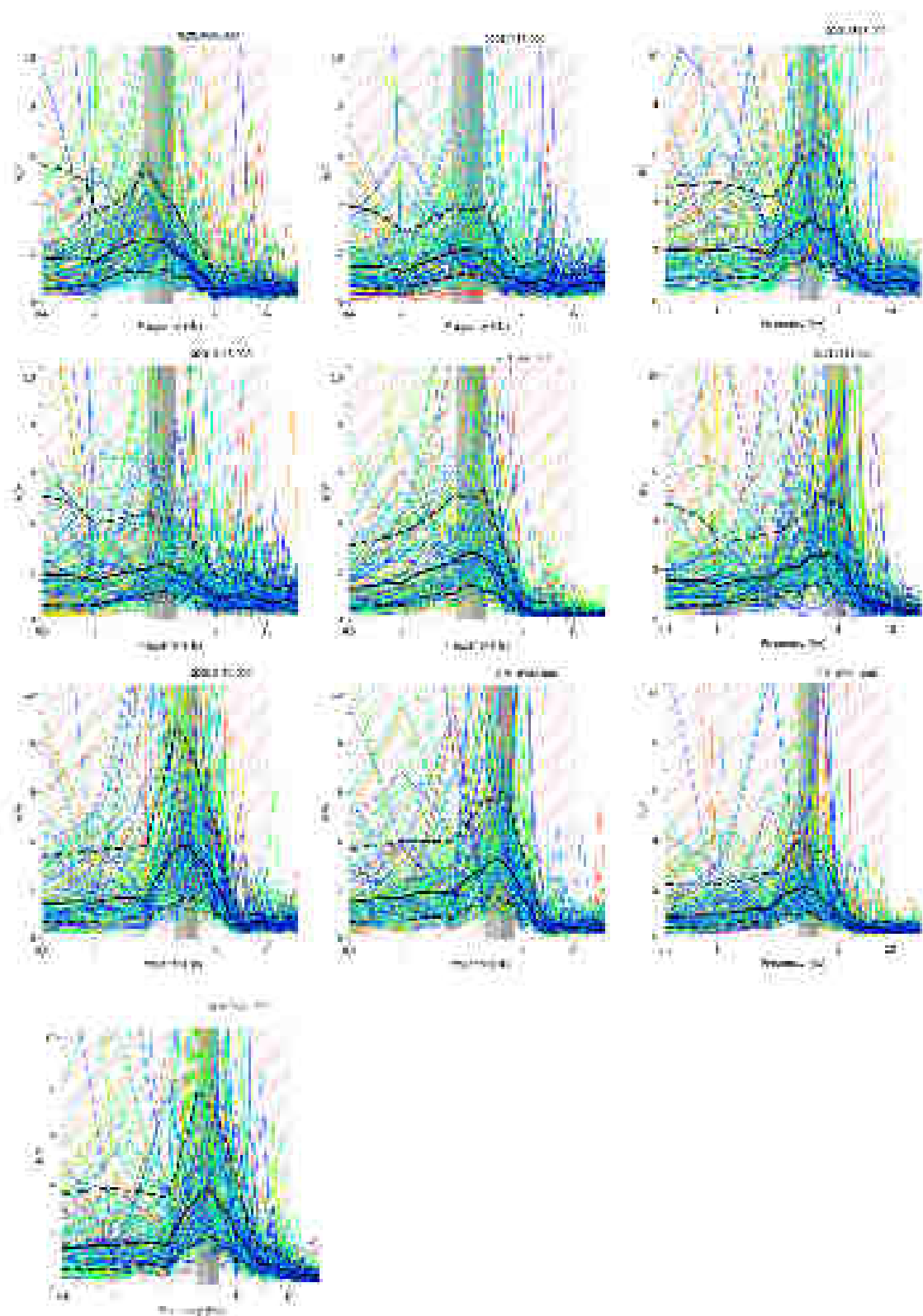
Ejemplos de análisis realizados:

A continuación se muestran una serie de Espectros H/V identificados por su número de señal, en donde se observa cual fue el resultado obtenido del análisis realizado, y los valores de frecuencia y período:









Se adjuntan a continuación la totalidad de las mediciones realizadas anteriormente, cada una de ellas con su respectiva frecuencia y período fundamental determinado a partir de los espectros H/V obtenidos con la ayuda del Software Geopsy, valores indispensables para la clasificación de suelos que se busca en el siguiente proyecto:

Linea Balcarce			Frecuencia Natural del Suelo			Período Fundamental del Suelo (seg)
			Frecuencia f0	Desviación Estándar	Amplitud A0	
Av. Bolivia	Av. Constitución	07070526	11,5641	1,22	1,73	0,086
		07070529	9,58454	1,19	1,93	0,104
Balcarce	Mariano Benitez	07070516	11,6149	1,20	3,78	0,086
	Tamayo	07070507	13,2379	0,74	2,75	0,076
	Stgo Morales	07070459	13,2629	0,67	2,11	0,075
	Gral. Arenales	07070445	12,5587	1,09	2,64	0,080
		07070450	12,6345	1,11	2,84	0,079
	12 de Octubre	07010604	12,0114	1,29	2,67	0,083
	Necochea	07010550	11,6986	1,26	0,69	0,085
	Rivadavia	07010539	9,55985	1,14	0,96	0,105
	Gral. Guemes	07010527	9,80412	1,27	1,78	0,102
Florida	Caseros	07010518	5,38637	0,97	2,45	0,186
	San Martin	07010503	3,94189	0,74	4,72	0,254
Linea Dean Funes						
Deán Funes	Superi	07080518	12,7325	1,01	3,58	0,079
JULIO	Díaz Velez	07080505	10,7994	1,32	2,06	0,093
		07080456	11,9464	1,31	2,86	0,084
	Matienzo	07080452	11,5071	1,13	2,73	0,087
		07080444	11,9634	1,30	2,63	0,084
	P.A Velásquez	07080435	0,9565	0,01	1,46	1,045
	J.M. de López	07080426	1,42582	0,47	1,38	0,701
	Santiago Morales	07080417	11,9593	1,32	2,73	0,084
07080413		12,3433	1,09	2,82	0,081	
JUNIO	12 de Octubre	06300414	13,2886	0,70	2,05	0,075
		06300414	13,2886	0,70	2,05	0,075
	Necochea	06300435	11,8316	1,26	2,56	0,085
		06300439	11,8695	1,35	2,29	0,084
	Rivadavia	06300448	11,9481	1,28	2,61	0,084

		06300451	11,8733	1,32	2,41	0,084
Deán Funes	Gral. Güemes	06300501	7,74236	1,04	3,21	0,129
		06300505	5,63299	0,95	3,47	0,178
Córdoba	Caseros	06300514	4,91915	0,71	3,17	0,203
		06300518	4,85193	0,75	3,34	0,206
	San Martin	06300527	3,9096	0,72	4,19	0,256
Linea El Milagro						
Héroes de la Patria	Sánchez	08060418	2,23552	0,44	6,06	0,447
	Ejercito Argentino	08060428	1,9845	0,02	3,23	0,504
		08060433	1,82568	0,03	3,58	0,548
	Quintana	08060442	6,37928	1,04	3,12	0,157
Batalla de Salta	C. Espejo	08060453	3,26788	0,45	1,00	0,306
	Ejercito Argentino	08060503	1,98288	0,02	2,07	0,504
	Sánchez	08060513	2,41241	0,55	2,25	0,415
Avda. 17 de Junio	Betbeder	08060524	1,98448	0,02	3,96	0,504
	Ejercito Argentino	08060533	2,49526	0,51	1,50	0,401
	Casi al final	08060541	7,83523	1,30	3,41	0,128
Lectura 1	Al lado de escuela	08100429	1,9822	0,02	1,88	0,504
Lectura 2		08100440	1,98212	0,02	2,02	0,505
Lectura 3		08100448	1,98406	0,02	2,75	0,504
Lectura 4		08100458	1,99214	0,03	2,08	0,502
Lectura 5		08100511	1,98604	0,02	1,67	0,504
Lectura 6		08100522	4,8309	0,67	2,16	0,207
Linea Juramento						
Juramento	Avda. YPF	07130554	13,041	0,85	2,04	0,077
	Superí	07130545	11,4638	1,18	2,54	0,087
		07130540	11,4445	1,15	3,40	0,087
	Dorrego	07130527	11,9368	1,26	3,37	0,084
		07130521	12,0829	1,26	3,87	0,083
	Guzmán	07130512	10,0755	1,31	2,02	0,099
	Tejada	07130501	11,7955	1,18	3,48	0,085
	Araucaria	07130448	9,89518	1,18	2,80	0,101
	Los Pacaras	07130437	1,89796	0,28	0,68	0,527
	Gral. Arenales	07130428	1,42784	0,49	0,55	0,700

	12 de Octubre	06100457 (4)	0,995843	0,00	0,84	1,004
	Necochea	06100507	5,59611	0,90	1,26	0,179
	Rivadavia	06100515	10,0579	1,27	3,00	0,099
Calle Leguizamón	Vicente López desde la 12 de octubre	06100445	8,71539	1,20	1,93	0,115
	Gral. Güemes	06100435	7,74911	1,23	1,87	0,129
Santa Fe	Caseros	06100425	4,76578	0,65	2,80	0,210
	San Martin	06090419	3,43143	0,50	2,71	0,291
Linea1 Tres Cerritos						
Los Juncos	Los Alamos	07200422	5,07071	0,72	1,80	0,197
	Los Pinos	07200437	1,42068	0,49	3,82	0,704
	Los Crisantemos	07200501	2,2606	0,44	2,18	0,442
	Los Ombues	07200515	9,88208	1,20	1,45	0,101
	Los Carolinos	07200527	1,98463	0,02	1,87	0,504
Los Jazmines	Los Azahares	07200541	2,06154	0,42	1,76	0,485
Los ceibos	Los Paraísos - Las Retamas	07200602	2,4282	0,50	1,95	0,412
Linea 2 Tres Cerritos						
Los Naranjos	Los Alamos	07210430	11,815	1,34	3,73	0,085
Los Manzanos	Los Pinos	07210440	1,81733	0,03	1,18	0,550
	Los Crisantemos	07210451	13,13	0,72	4,10	0,076
	Los Ombues	07210503	13,0414	0,81	2,61	0,077
	Los Carolinos	07210515	12,2009	1,00	3,77	0,082
Los Eucaliptos esq. VEA	Los Abedules o Los Ceibos	07210524	12,0563	1,06	5,09	0,083
Los Saucos	Los Paraísos	07210537	4,99887	0,66	4,63	0,200
Linea 3 Tres Cerritos						
Los	Entre los	07290530	0,808827	0,00	0,89	1,236

Carolinos	Crespones y Los Timbues					
	Los Parrales	07290549	1,98777	0,03	2,16	0,503
	Los Nogales	07290558	0,997456	0,01	1,64	1,003
Guayacanes	Los Fresnos	07290607	0,903662	0,01	1,75	1,107
	Los Piquillines	07290616	11,1895	1,27	2,06	0,089
Linea Ibazeta						
Ibazeta	Gral. Arenales	04020402	13,1912	0,69	1,12	0,076
	12 de Octubre	04020411	12,5338	1,05	2,67	0,080
	Necochea	04020419	1,3659	0,23	0,91	0,732
	Rivadavia	04020427	13,2188	0,70	2,19	0,076
	Gral. Güemes	04020435	12,6726	1,04	2,71	0,079
	Caseros	04020441	12,4672	1,09	1,43	0,080
		0402449	7,15533	1,29	2,29	0,140
Laprida	San Martin	04020458	4,74003	0,71	3,43	0,211
	San Luis	04020506	4,62757	0,75	3,17	0,216
Linea Bolivar						
Bolivar	Gral. Arenales	04070516	10,9566	1,12	2,95	0,091
	12 de Octubre	04070506	13,4926	0,64	1,15	0,074
	Necochea	04070459	12,3926	1,13	2,17	0,081
	Rivadavia	04070450	1,49912	0,50	0,42	0,667
		04070448	9,19267	1,35	0,44	0,109
	Gral. Güemes	04070441	9,09969	1,36	1,12	0,110
Gral. Paz	Caseros	04070434	8,88018	1,23	1,38	0,113
	San Martin	04070426	4,90092	0,76	2,29	0,204
	San Luis	04070418	3,41232	0,49	3,49	0,293
Linea Limache - San Carlos						
1	1ra esquina barrio (SE)	10200433	6,15268	1,03	2,46	0,163
2		10200444	6,40601	1,05	2,54	0,156
3		10200457	8,45498	1,10	3,53	0,118
4		10200507	2,36359	0,49	2,49	0,423

5 y 6	Esquina NE del Barrio	10205017	7,65956	1,15	2,53	0,131
		10200521	7,85094	1,22	2,30	0,127
7	Calle San Roque	10200534	6,96169	1,03	2,37	0,144
8 y 9	San Roque y Gallareta	10200543	1,98016	0,02	2,21	0,505
		10200547	1,98494	0,02	1,91	0,504
10	Atrás edificios	10200556	2,20308	0,44	2,20	0,454
		10200600	2,19364	0,44	2,32	0,456
11	Frente Cancha GyT (limache)	10200609	5,55611	1,02	1,55	0,180
12	Atrás constr. Ampliación barrio	10200624	1,98235	0,02	1,97	0,504
13	Línea última a 100 m ruta	10210453	2,07612	0,42	1,62	0,482
14		10210503	5,70378	1,05	1,85	0,175
15	Al lado predio ex baradero	10210517	5,67739	1,06	1,80	0,176
16	San Carlos	10210535	5,53431	0,97	1,87	0,181
17		10210550	1,98611	0,02	1,93	0,503
18		10210600	4,84396	0,79	1,55	0,206
19		10210609	4,92237	0,71	1,51	0,203
20		10210619	1,98736	0,03	2,05	0,503
21		10210628	7,02908	1,21	0,91	0,142
Linea Intersindical - Tribuno						
1 M. Gregnes	R. Lista	10260439	12,6227	1,05	2,19	0,079
2	Peñalosa	10260450	6,46691	1,01	2,30	0,155
3 M Ghbara (Acasubi)	Voz del Interior	10260501	1,9891	0,03	1,23	0,503
4- Acasubi		10260511	1,98463	0,02	1,25	0,504
5 V. Aban	El Diario de Cuyo	10260523	7,97342	1,24	2,46	0,125
6 V. Aban		10260532	7,93836	1,24	2,18	0,126
7 Diario Clarin		10260542	6,52572	1,10	1,61	0,153
8 Diario Clarin	Yunca	10260557	6,87792	1,22	2,57	0,145
9 Clarin	El Diario de Cuyo	10260611	1,98478	0,38	1,18	0,504
10 Clarin	Voz del Interior	10260620	2,14562	0,43	1,93	0,466

Linea Castaños						
Final de barrio Belgrano		08120449	12,5307	1,07	1,96	0,080
Final Bº Universit.		08120511	12,4186	1,14	1,81	0,081
A 50 metros via de FF-Interferencia		08120526	4,86301	0,78	3,52	0,206
Final Bº (muy Calmo)		08120537	3,88968	0,70	3,06	0,257
Con inerferencia los últimos 15		08120552	2,92616	0,71	1,99	0,342
No hay problema		08120607	13,2966	0,68	1,37	0,075
Bomba de Agua		08120625	1,97975	0,02	36,92	0,505
Limites barrio Universitario y Belgrano		08120637	13,2894	0,69	2,57	0,075
Último Bº Belgrano		08120646	2,46267	0,50	0,86	0,406
Linea Autodromo						
Estefano	Extremo NE	02080449	6,7641	1,14	4,36	0,148
Estefano	Extremo NO	02080456	9,72098	1,22	3,46	0,103
Angel de la Rosa	Juan Galvez	02080504	6,32855	0,93	3,85	0,158
*1 Pastore	Mendieta	02080517	12,4633	1,15	2,65	0,080
Mendieta	riganti	02080524	9,6867	1,24	3,00	0,103
*2 Riganti	Galvez	02080534	7,87843	1,28	3,42	0,127
*3 Galvez	D. Marmon	02080543	3,4056	0,49	3,40	0,294
*4 D. Marmon	Casi esq. Zutti	02080552	10,3589	1,60	2,89	0,097
*5 Segura	Mao Mao	02080606	7,59526	1,16	2,84	0,132
Washington	J.M Zuviría	02080619	8,826	1,29	1,19	0,113
*6 Bº Mirador		02080630	3,23055	0,43	3,22	0,310
Bº Mirador		02080638	12,5904	1,09	2,28	0,079

Linea Flores-Mitre						
Sobre Raimundin		02150503	2,23954	0,44	2,71	0,447
Sobre Raimundin a 400 de 1		02150511	4,98985	0,69	4,18	0,200
Delgadillo	Zenteno	02150520	5,47745	1,01	2,19	0,183
Delgadillo	Castro	02150530	3,22929	0,43	3,70	0,310
A 100 delgadillo		02150540	2,42077	0,50	2,24	0,413
Zorzales		02150552	4,9661	0,71	3,48	0,201
Bº Jardín a 100 m Cementerio		02150607	5,60046	1,05	2,07	0,179
Avda. Canadá	Río de la Plata	02150618	1,30328	0,45	2,07	0,767
C. Salas	Venezuela (c. A. Mitre)	02150630	4,8738	0,73	2,78	0,205
Colombia	Venezuela	02150638	1,68849	0,24	4,99	0,592
Linea Seccional 2da						
Saavedra	A 100 m Avda. Bélgica	02010405	2,39571	0,49	2,46	0,417
A . Cornejo	Laprida	02010417	2,44006	0,49	2,07	0,410
A Cornejo	Lamadrid	02010428	2,49797	0,50	2,25	0,400
Corrientes	Talcahuano	02010443	2,577	0,49	2,71	0,388
Ayacucho	Pje Castro (a 50 mts de S Luis)	02010452	3,41336	0,50	3,76	0,293
Laprida	Pje Anta (a 50 mts de S Luis)	02010502	3,76222	0,70	3,16	0,266
Laprida	Pje. Guachipas (a 50 mts de Corrientes)	02010513	3,4273	0,51	3,28	0,292
Lamadrid	A 50 metros de Corrientes	02010524	3,43899	0,50	3,73	0,291
Gral Paz	Pje Machi	02010535	4,88428	0,75	2,37	0,205
Esteco	San Luis	02010543	3,84949	0,77	3,10	0,260
Sobre la Corrientes	Casi Jujuy	02010551	3,39754	0,49	2,02	0,294
De los Partidarios	Casi J. Castellanos	02010559	2,5142	2,50	1,57	0,398
Los	Damián	02010610	2,42737	0,50	2,10	0,412

Lanceros	Torino					
La Florida	Damián Torino	02010617	2,86378	0,65	1,81	0,349
La Florida	Casi J. Castellanos	02010625	2,59496	0,49	2,19	0,385
La Florida	Corrientes	02010633	3,41121	0,49	3,07	0,293
La Florida	San luis	02010641	3,44198	0,50	3,41	0,291
Gral. Pizarro	Medeira	02020420	2,46297	0,50	2,21	0,406
Santa Fe	San Luis	02020429	2,49006	0,50	1,91	0,402
Damián Torino		02020437	1,99017	0,03	2,35	0,502
Damián Torino	Córdoba	02020445	2,4453	0,50	2,14	0,409
V. Tedin	Córdoba	02020459	2,52328	0,50	2,56	0,396
		02020509	2,44507	0,50	1,98	0,409
Santa FE	Corrientes	02020517	3,41323	0,49	2,60	0,293
Cordoba	Corrientes	02020530	3,75057	0,64	3,75	0,267
Pje. Linares y San Luis		02020540	3,96151	0,69	4,04	0,252
Lavalle y San Juan	(equivalente a la San Luis y Santa Fe)	02020550	4,9435	0,72	2,51	0,202
Linea Seccional 9na						
Lado oeste del Cº 20 de Febrero		02030338	3,51416	0,67	2,94	0,285
Lado este del Cº 20 de Febrero		02030349	3,57711	0,69	2,59	0,280
Entre los Cº 20 de Febrero y San Bernardo		02030401	1,98711	0,03	3,30	0,503
1ra Curva		02030414	5,53856	0,97	3,68	0,181
Otra curva		02030425	10,8085	1,49	2,76	0,093
Lado del Cementerio		02030436	10,909	1,30	2,76	0,092
A 100 m. Del Oñativia aprox.		02030458	3,41138	0,50	3,15	0,293
Playa del Museo Antropológico		02030507	4,94362	0,70	1,81	0,202
Los Gladiolos casi esquina Los Olivos - Bº Las Rosas		02030526	9,03305	1,27	2,68	0,111
Las Calas, casi en Neuquen		02030534	3,36926	0,48	2,91	0,297
C y Abreu, a 50 metros de J. A Padilla Bº		02030549	2,5606	0,50	2,22	0,391
Sobre Calle Libertad (continuación D. Torino)		02030557	2,48666	0,50	2,19	0,402
Sobre Dávalos		02030606	3,34133	0,46	2,94	0,299

(continuación V. Tedin					
Sobre Toscano _ Continuación de Corrientes	02030615	3,31658	0,46	3,25	0,302
Pasaje M. Tedin, a 50 metros de Pedro Pardo	02030624	3,43326	0,51	3,68	0,291

ANEXO IV: TABLA VALORES DE REGRESIÓN VS30 EN FUNCIÓN DEL PERÍODO FUNDAMENTAL

Los valores de la siguiente tabla, han sido utilizados para la confección de los mapas tanto de período y amplificación, como de Vs30.

Nº SEÑAL	PERÍODO [seg.]	VS30 REGRESIÓN [m/s]
02030549	0,39	326,20
02030606	0,38	333,37
02010617	0,35	352,13
02020437	0,49	273,68
02020445	0,41	315,28
02010610	0,41	313,52
02010625	0,39	329,34
02020459	0,40	322,73
02020509	0,41	315,25
02010559	0,40	321,88
02010428	0,40	320,35
10260439	0,53	251,13
02010417	0,41	314,76
10260450	0,14	519,23
10260532	0,13	532,17
02010405	0,42	310,38
10260542	0,15	505,98
02030557	0,40	319,27
10260523	0,13	532,71
02030534	0,39	325,22
10260501	0,50	265,05
10200457	0,19	470,70
02030436	0,15	510,57
10260511	0,50	264,50
02030526	0,17	488,89
10260620	0,47	283,66
10260611	0,50	264,52
02020517	0,29	390,72
10260557	0,15	513,38
02020530	0,27	410,24
10200517	0,14	521,79
10200521	0,13	530,79
10210503	0,18	485,73
02010524	0,29	392,31
10200543	0,16	496,07

10210517	0,18	485,00
10210550	0,17	488,35
02010633	0,29	390,59
02010551	0,29	389,74
02010513	0,29	391,59
02010443	0,39	327,70
02030624	0,29	391,96
02020540	0,25	421,16
10200556	0,18	485,63
02020429	0,35	352,62
02020550	0,20	462,10
10200600	0,46	289,07
02010641	0,29	392,49
10210628	0,14	516,36
02010543	0,26	415,47
10200507	0,16	503,17
04070418	0,29	390,66
10200547	0,50	264,54
02010535	0,20	460,00
10200433	0,16	497,36
02010502	0,27	410,87
02010452	0,29	390,73
10200609	0,18	481,56
10210535	0,18	480,93
06090419	0,29	391,84
06300527	0,26	418,55
07010503	0,25	420,18
10210609	0,20	461,35
04070426	0,20	460,60
10210619	0,20	460,56
04020458	0,21	454,73
10200624	0,16	501,34
10210600	0,21	458,56
02080449	0,15	511,07
02030458	0,24	429,72
02080456	0,10	555,40
02080504	0,16	501,54
02080534	0,13	531,22
02030338	0,28	396,85
02080543	0,19	476,95
02030401	0,50	264,81
02080517	0,10	558,36
02080524	0,10	555,03

02080552	0,12	542,60
02080630	0,14	519,04
02080638	0,13	523,40
06300514	0,20	461,24
06300518	0,21	458,84
02080606	0,13	526,59
02080619	0,11	544,79
02150530	0,31	378,84
02150552	0,20	462,88
02150618	0,24	432,47
02150638	0,24	432,47
02150520	0,18	479,26
02150630	0,21	459,63
02150540	0,42	306,77
08060418	0,45	293,67
06100425	0,21	455,69
07010518	0,19	476,53
04070434	0,17	490,54
04020441	0,17	488,35
0402449	0,14	518,77
02030507	0,20	461,27
02030349	0,28	400,54
06100435	0,13	529,15
06300501	0,13	529,04
06300505	0,18	483,75
07010527	0,31	376,18
04070441	0,56	237,62
04020435	0,61	217,45
06300448	0,14	518,53
06300451	0,08	574,90
06100515	0,13	533,12
07010539	0,10	553,62
04070450	0,67	195,57
04070448	0,11	549,36
04020427	0,45	289,77
06300435	0,13	529,97
07010550	0,12	536,14
04070459	0,42	310,81
04020419	0,73	173,40
07200602	0,41	313,60
07210537	0,20	464,01
06100457	0,25	423,05
06300414	0,15	505,42

04070506	0,57	233,42
07010604	0,12	539,31
04070516	0,59	225,54
04020411	0,47	279,56
04020402	0,61	217,45
07210515	0,34	358,17
07200541	0,49	273,86
07210524	0,36	345,16
07130428	0,70	183,89
07080417	0,22	445,36
07070445	0,54	248,48
07070450	0,08	580,32
07290549	0,50	264,89
07290530	0,25	423,05
07200527	0,50	264,50
07290558	0,38	332,62
07130448	0,50	266,40
07290607	0,49	271,37
07080426	0,24	427,85
07070459	0,51	261,52
07200515	0,20	460,56
07210503	0,11	547,00
07290616	0,50	266,40
07080435	0,67	195,72
07200501	0,60	220,42
07070507	0,50	266,40
07210451	0,42	308,89
07080444	0,52	256,72
07070516	0,50	266,40
07200437	0,59	224,83
07210440	0,55	242,75
07080456	0,46	286,86
07070526	0,48	276,44
07070529	0,10	553,90
07200422	0,21	453,22
07130527	0,41	314,66
07130521	0,42	308,89
07130545	0,33	362,61
07130540	0,40	320,54
07080518	0,40	320,54
07130554	0,37	337,74
08120511	0,28	398,38
08120637	0,51	262,67

08120449	0,28	400,21
08120526	0,21	459,24
08120646	0,38	333,37
08120537	0,28	402,44
08060541	0,31	378,61
08060513	0,41	312,04
08060533	0,40	320,09
08060524	0,50	264,48
08060503	0,50	264,28
08060428	0,50	264,48
08060433	0,55	243,88
08060453	0,31	378,89
08060442	0,16	502,70
07210430	0,33	364,85
07130501	0,55	241,07
07130437	0,53	253,48
06100507	0,18	482,71
10200534	0,14	515,05
10200444	0,16	503,31
10210453	0,48	275,59
04020506	0,22	450,44
02020420	0,41	316,99
02030414	0,18	481,05
02030425	0,09	566,14
02030615	0,30	384,60
02150503	0,45	294,11
02150511	0,20	463,70
02150607	0,18	482,83
06100445	0,11	543,34
08100429	0,50	264,20
08100440	0,50	264,19
08100448	0,50	264,43
08100458	0,50	265,43
08100511	0,50	264,67
08100522	0,21	458,08
08120552	0,34	357,01
08120607	0,08	584,56
08120625	0,51	263,89

ANEXO V: SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

¿Qué es un SIG? (Olaya et al., 2016)

La mayor parte de la de la información que manejamos en cualquier tipo de disciplina está georreferenciada. Es decir, se trata de información a la cual puede asignarse una posición geográfica, y es por tanto información que viene acompañada de otra información adicional relativa a su localización.

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una herramienta para trabajar con información georreferenciada. En particular, un SIG es un sistema que permite la realización de las siguientes operaciones:

Lectura, edición, almacenamiento y, en términos generales, gestión de datos espaciales.

Análisis de dichos datos. Esto puede incluir desde consultas sencillas a la elaboración de complejos modelos, y puede llevarse a cabo tanto sobre la componente espacial de los datos (la localización de cada valor o elemento) como sobre la componente temática (el valor o el elemento en sí). Generación de documentos tales como mapas, informes, gráficos, etc.

Un SIG representa un paso más allá de los mapas clásicos. Mientras que un mapa es una representación de un conjunto de datos espaciales, y aunque esta representación resulta de enorme importancia, en el entorno de un SIG no es sino un elemento más de un conjunto de ellos. El SIG no incluye solo los datos y la representación, sino también las operaciones que pueden hacerse sobre el mapa, que no son ajenas a este sino partes igualmente de todo ese sistema.

Un SIG es una herramienta versátil y de amplio alcance, y hoy día la gran mayoría de disciplinas se benefician del uso de SIG de uno u otro modo. Una de las principales razones por las que esto sucede es el carácter integrador de los SIG. Los siguientes son algunos de los contextos principales en los que un SIG ejerce tal función integradora.

SIG como integrador de información. Un nexo común entre la mayoría de las disciplinas es el hecho de que sus objetos de estudio están asociados a una localización en el espacio. Esto va a permitir combinarlas y obtener resultados a partir de un análisis común. El

SIG es, en este contexto, el marco necesario en el que incorporar esa información georreferenciada y trabajar con ella.

SIG como integrador de tecnologías. Una gran parte de las tecnologías que han surgido en los últimos años (y seguramente de las que surjan en los próximos) se centran en el aprovechamiento de la información espacial, y están conectadas en mayor o menor medida a un SIG para ampliar su alcance y sus capacidades. Por su posición central en el conjunto de todas las tecnologías, los SIG cumplen además un papel de unión entre ellas, conectándolas y permitiendo una relación fluida alrededor de las funcionalidades del propio SIG.

SIG como integrador de personas. Las funciones básicas que un SIG ha de cumplir cubren en realidad un rango amplio de trabajo, y engloban las necesidades de usuarios que con anterioridad no tenían entre sí un marco de trabajo común tan definido. Esto tiene como consecuencia que existe una mejor coordinación entre ellos, pues es la propia herramienta quien establece las características de las relaciones existentes, y estas no dependen ya únicamente del propio ámbito de aplicación.

SIG como integrador de teorías y fundamentos. En un principio, podemos entender un SIG como la unión de dos ciencias: la geografía y la informática. Sin embargo, un análisis más detallado nos revela que un SIG incorpora elementos de muchas ciencias distintas, como pueden ser las disciplinas relacionadas con la tecnología y el manejo de información (informática, diseño de bases de datos, tratamiento digital de imágenes), las dedicadas al estudio de la Tierra desde un punto de vista físico (geología, la oceanografía, la ecología), las dedicadas al estudio de la Tierra desde un punto de vista social y humano (antropología, geografía, sociología), las dedicadas al estudio del entendimiento humano (ciencias del conocimiento, psicología) o las disciplinas que tradicionalmente han realizado una integración de conocimientos de otros ámbitos distintos, entre las que cabe destacar la geografía.

El término **geomática**, formado a partir de los vocablos geografía e informática, se emplea con frecuencia para hacer mención a todo ese grupo de ciencias relacionadas con los SIG.

Con todo lo anterior, se tiene que SIG es un sistema que integra tecnología informática, personas e información geográfica, y cuya principal función es capturar, analizar, almacenar, editar y representar datos georreferenciados.

Desde otro punto de vista, un SIG puede considerarse compuesto de cinco bloques fundamentales:

Datos. Los datos son necesarios para hacer que el resto de los componentes de un SIG cobre sentido y puedan ejercer su papel en el sistema. La información geográfica, la verdadera razón de ser los SIG, reside en los datos, y es por ello que el conocimiento exhaustivo de los datos, su naturaleza, su procedencia, su calidad, así como su gestión y almacenamiento, resulta obligado para una buena comprensión los propios SIG.

Análisis. El análisis es una las funcionalidades básicas de los SIG, y una de las razones fundamentales que llevaron al desarrollo de estos. Un ordenador es una herramienta con enorme capacidad de cálculo, y esta puede aplicarse a los datos espaciales para obtener resultados de muy diversa índole. En mayor o menor medida, un SIG siempre incorpora una serie de formulaciones que permiten la obtención de resultados y el análisis de los datos espaciales. Las ventajas de la incorporación de todos estos procesos en una única herramienta, el SIG, van desde la automatización de tareas a la aparición de nuevos procesos que producen resultados que no podrían ser obtenidos de otro modo.

Visualización. Cualquier tipo de información puede ser representada de forma gráfica, lo cual facilita la interpretación de dicha información o parte de esta. En el caso particular de la información geográfica, la visualización no solo es una forma más de trabajar con esa información, sino que resulta la forma principal, por ser aquella a la que estamos más acostumbrados gracias al uso de mapas. Al contrario que un mapa, que de por sí es de naturaleza gráfica, en un SIG trabajamos con datos de tipo puramente numérico. Para poder presentar una utilidad similar a la de un mapa, un SIG debe incluir capacidades que generen representaciones visuales a partir de esos datos numéricos. La visualización de la información geográfica se rige por los mismos conceptos y principios que se emplean para la confección de cartografía impresa, y estos deben ser conocidos por el usuario de SIG, ya que una de las tareas de este es el diseño cartográfico y la preparación de los elementos de visualización para poder realizar su trabajo sobre las representaciones creadas.

Tecnología. Se incluyen en este elemento tanto el hardware sobre el que se ejecutan las aplicaciones SIG, como dichas aplicaciones, es decir el software SIG. Además de la propia plataforma, el hardware incluye una serie de periféricos habituales en el trabajo con SIG, como son los periféricos para entrada de datos geográficos y creación de cartografía.

Factor organizativo. Engloba los elementos relativos a la coordinación entre personas, datos y tecnología, o la comunicación entre ellos, entre otros aspectos. Con la creciente complejidad de los SIG, la gestión de las relaciones entre sus elementos es cada vez más importante.

FUNCIONES BÁSICAS DE UN SIG

Podemos dividir las funciones básicas de un SIG de escritorio en cinco bloques: entrada y salida de datos, visualización, edición, análisis y generación de cartografía.

Conceptos básicos de visualización

Cuando visualizamos cualquier tipo de información geográfica, ya sea a través de un mapa clásico o de algún elemento gráfico en la pantalla de un ordenador, estamos utilizando un lenguaje visual para transmitirla.

Del mismo modo que al hablar empleamos un lenguaje oral y al escribir un lenguaje escrito, siempre que plasmemos la información geográfica en una serie de elementos visuales estaremos empleando este lenguaje visual.

El estudio de los signos de un lenguaje constituye lo que se conoce como semiología. En el caso de los elementos del lenguaje visual, encontramos una semiología gráfica. Esta semiología trata los signos del lenguaje visual y la gramática de estos, definiendo una lingüística visual que nos ayuda a comprender cómo una representación gráfica dada cumple su propósito de transmitir la información en base a la cual se crea.

Las variables visuales

Existen diversas propiedades de los elementos visuales que podemos emplear para transmitir una información, siendo más adecuadas unas u otras según sea la circunstancia.

Estas propiedades conforman lo que se conoce como variables visuales, y se aplican a los elementos básicos de la representación, que son aquellos objetos geométricos de que se compone esta. Las variables visuales permiten diferenciar unos de otros y asignarles unas ciertas características, susceptibles a su vez de ser interpretadas junto al propio significado que el objeto pueda tener. Dados dos elementos, estos pueden diferenciarse por las siguientes variables: Posición, forma, tamaño, textura, color y orientación.

El uso de la posición está muy restringido en el caso de un mapa, por deber respetarse el emplazamiento real en el espacio del elemento representado, y por ello y no se emplea.

La forma viene definida por el perímetro exterior del objeto. La forma se aplica fundamentalmente a los símbolos puntuales, situando un símbolo de una forma dada sobre las coordenadas exactas del punto a representar. Su aplicación a símbolos lineales es difícil y no se da, mientras que en el caso de aplicarse sobre símbolos de superficie requiere la alteración de los polígonos representados (por ejemplo, que tracen los límites de países), dando lugar a una representación imprecisa, al menos en lo que al contorno del polígono respecta.

El tamaño se refiere a la dimensión del símbolo. Para el caso de símbolos puntuales, puede aplicarse sin más que hacer más grande o pequeño el símbolo en sí. En el caso de líneas, el grosor de estas constituye la forma de aplicar la variable tamaño. No se usa en símbolos superficiales, salvo aplicándolo sobre la textura de relleno.

Posición, forma, tamaño, textura, color y orientación.

El uso de la posición está muy restringido en el caso de un mapa, por deber respetarse el emplazamiento real en el espacio del elemento representado, y por ello y no se emplea.

La forma viene definida por el perímetro exterior del objeto. La forma se aplica fundamentalmente a los símbolos puntuales, situando un símbolo de una forma dada sobre las coordenadas exactas del punto a representar. Su aplicación a símbolos lineales es difícil y no se da, mientras que en el caso de aplicarse sobre símbolos de superficie requiere la alteración de los polígonos representados (por ejemplo, que tracen los límites de países), dando lugar a una representación imprecisa, al menos en lo que al contorno del polígono respecta.

El tamaño se refiere a la dimensión del símbolo. Para el caso de símbolos puntuales, puede aplicarse sin más que hacer más grande o pequeño el símbolo en sí. En el caso de líneas, el grosor de estas constituye la forma de aplicar la variable tamaño. No se usa en símbolos superficiales, salvo aplicándolo sobre la textura de relleno.

La textura hace referencia al relleno de un símbolo mediante algún patrón. Se aplica en líneas mediante el uso de guiones y espacios en blanco que dan lugar a un patrón de discontinuidad, aunque su uso principal es en el caso de símbolos de superficie.

El color es la más importante de todas las variables visuales, debido a las posibilidades que ofrece. Dos son las componentes de un color que se utilizan como variables visuales, y que pueden entenderse como tales por sí mismas: el tono y el valor.

El **tono** es lo que en el lenguaje común denominaríamos color, es decir el nombre del color, por ejemplo, verde, rojo o amarillo. El tono puede verse alterado por los tonos del entorno, especialmente en símbolos de pequeño tamaño. Aunque es una variable para la que la percepción humana tiene gran sensibilidad, en los símbolos pequeños puede ser difícil de identificar y pueden producirse una falsa percepción si comparten espacio con otras más grandes de un tono distinto.

Por su parte, el valor indica la claridad del color. Un tono azul puede ser más claro u oscuro sin dejar de ser azul. Esa variación que se produce es una variación del valor del color.

La capacidad de diferenciar dos símbolos con valor distinto varía en función del tipo de símbolo. Así, es mayor en el caso de símbolos de superficie, mientras que en el caso de símbolos puntuales y lineales está relacionada con el tamaño. Si el punto es muy pequeño o la línea muy delgada, es más difícil apreciar el valor y, por tanto, comparar este con otro o extraer la información que mediante esa variable visual se intenta transmitir.

Por último, la orientación se aplica sobre los símbolos puntuales, siempre que estos no presenten simetrías que impidan percibir correctamente la orientación. Para los símbolos de superficie, se aplica a través de la textura, variando la orientación de esta. No se aplica en el caso de líneas.

Tipos de mapas temáticos



Figura N°20 – Mapas de Puntos

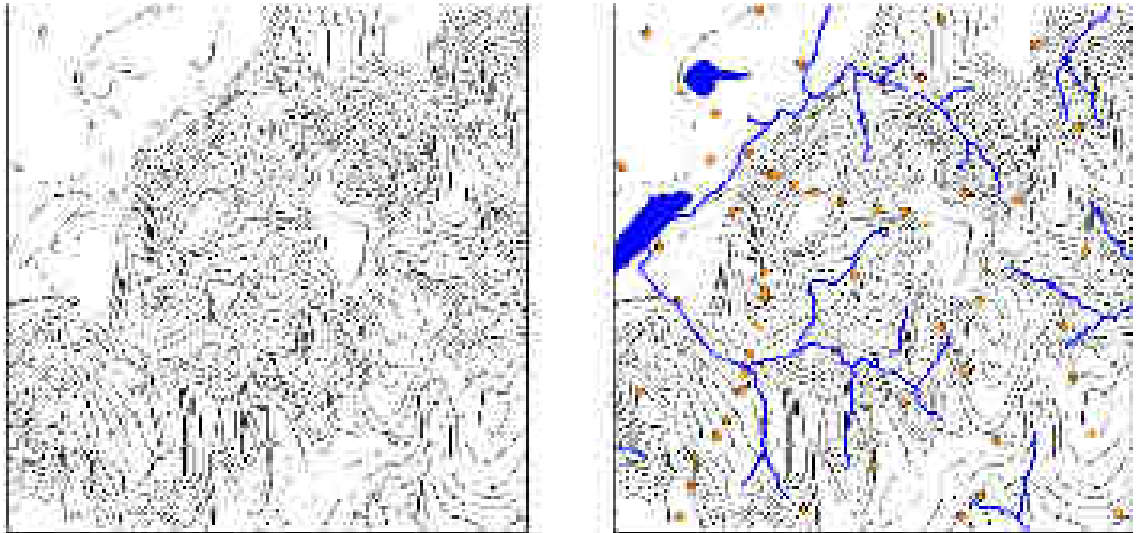


Figura N°21 – Mapa con jerarquía correcta e incorrecta

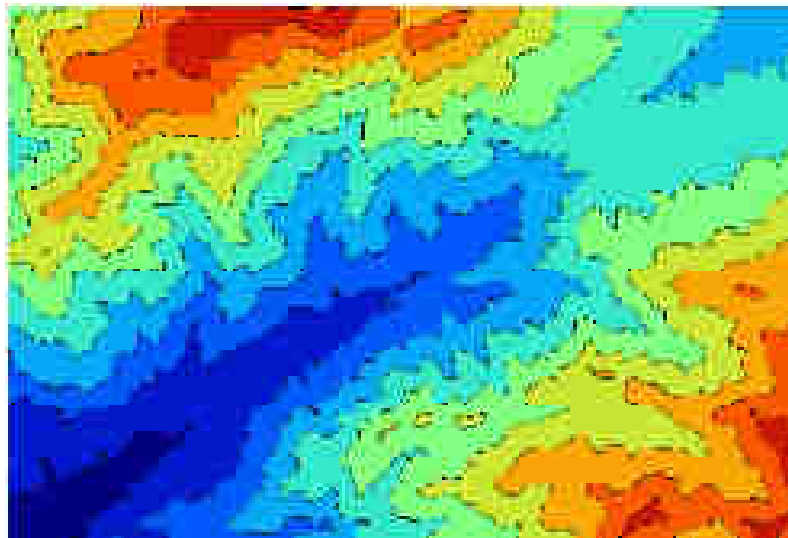


Figura N°22 – Mapa con Isolíneas

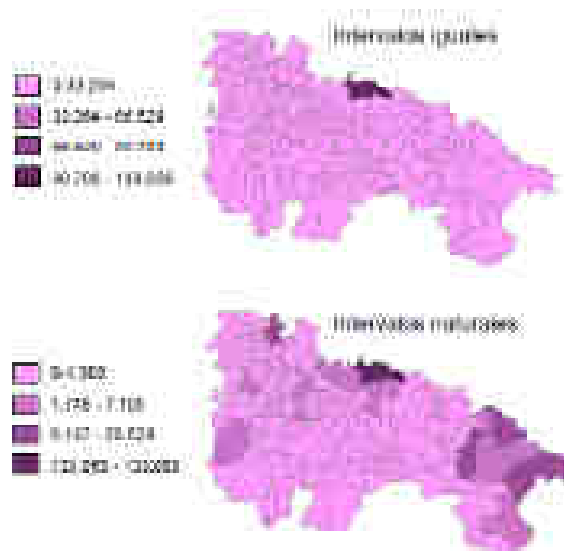


Figura N°23 – Mapa de Coropletas

La visualización en un SIG

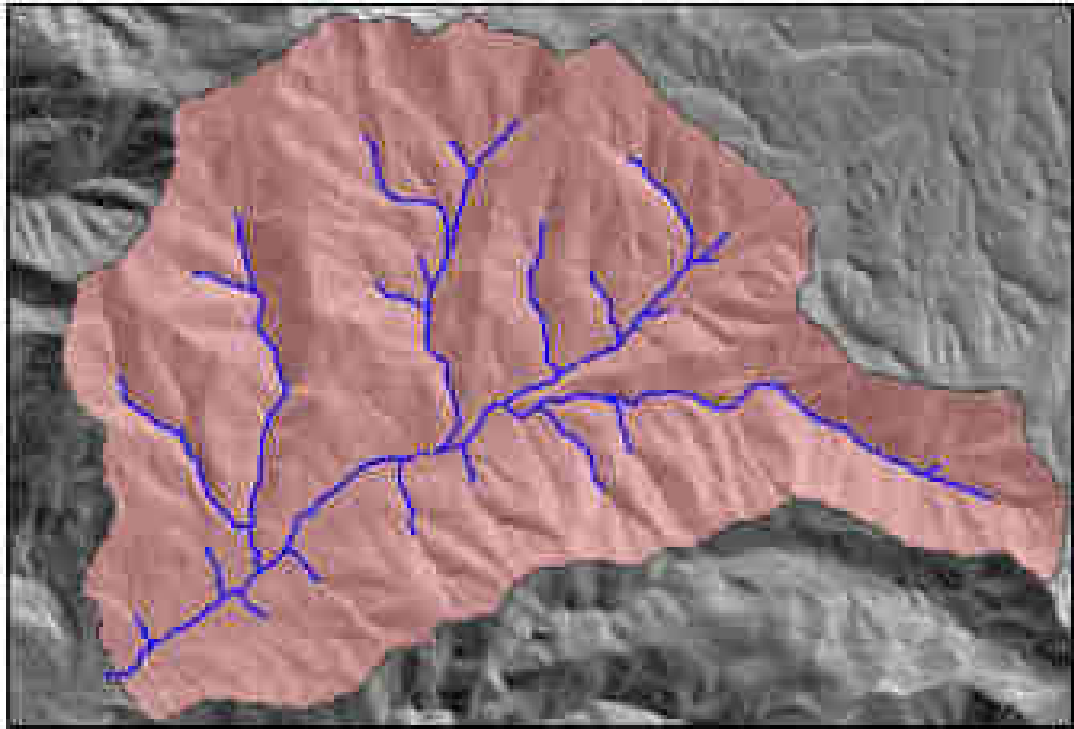


Figura N24 – Combinación de Mapas mediante Transparencias

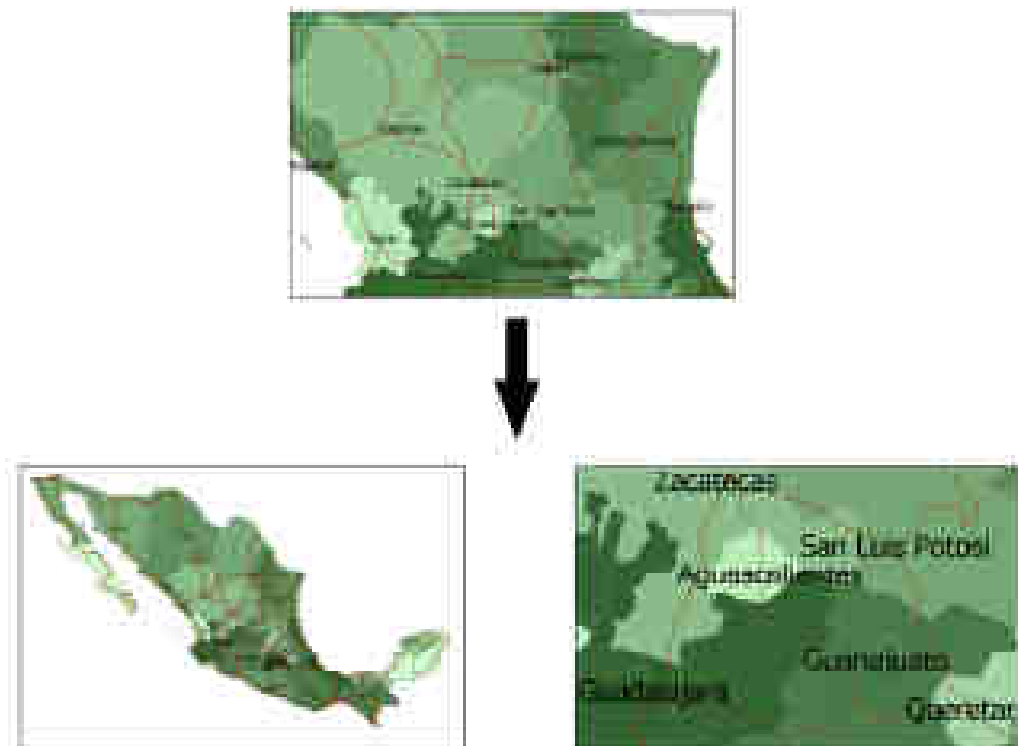


Figura N°25 – Cambios de Escalas en Mapas