

3. METODOLOGÍA

La Tomografía de Resistividad Eléctrica se puede dividir en dos etapas: la adquisición de los datos y el procesado de éstos o inversión, para estimar la resistividad verdadera del subsuelo (Tejero *et al.*, 2002). En el presente estudio se analizará la primera etapa.

3.1. Adquisición

Se realizó un estudio de tomografía eléctrica galvánica con el objetivo de determinar posibles zonas de riesgo a lo largo del colector Poniente, entre los hundimientos de 2007 y 2010 en la Ciudad de Guatemala (Figura 3.1).

Para abarcar la mayor parte de la zona de estudio se plantearon seis perfiles, que al estar en una zona urbana altamente poblada, fueron acotados por la disposición de las calles y la morfología del lugar.

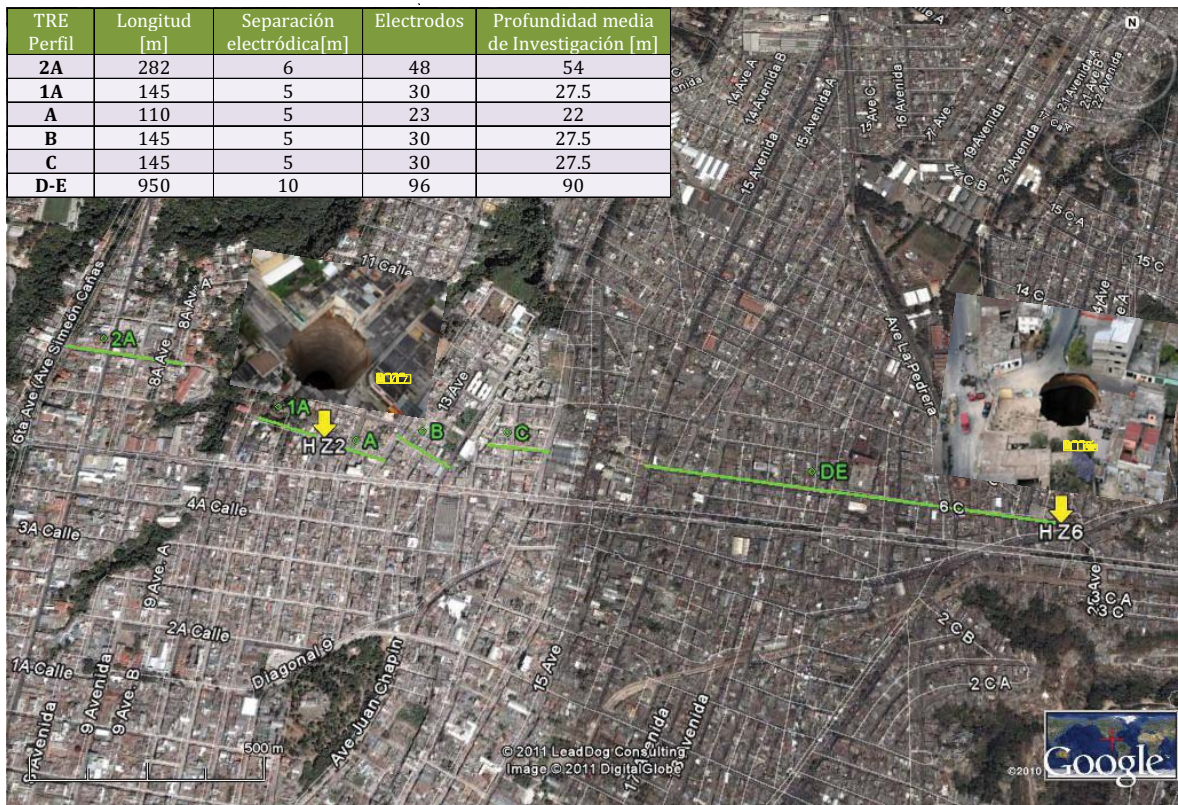


Figura 3.1. Localización de los Perfiles de TRE, en las Zona 2 (2010) y Zona 6 (2007) de la Ciudad de Guatemala. Modificada de Google Earth (2010).

Detección de zonas de riesgo en la Ciudad de Guatemala

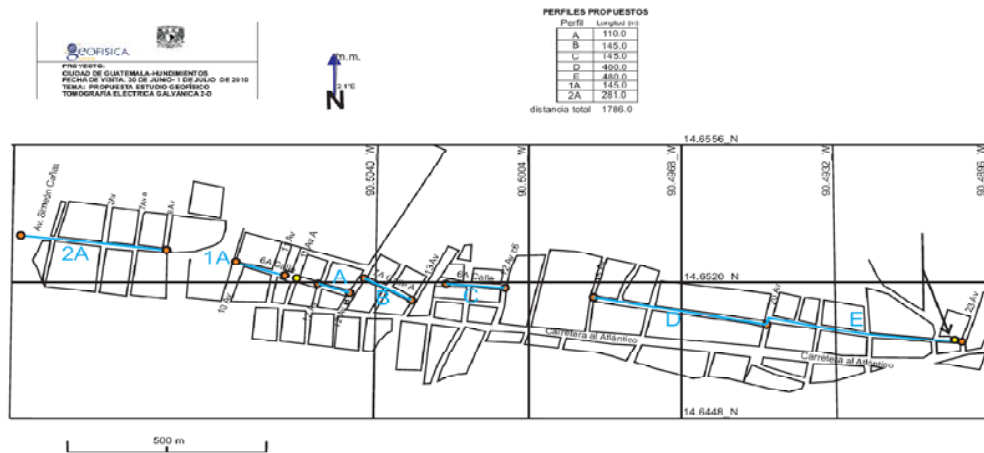


Figura 3.2. Mapa local de la zona de estudio. Tomado de Chávez *et al.*, 2011.

El equipo utilizado para llevar a cabo el levantamiento geofísico fue un resistivímetro modelo SySCAL Pro Switch de 48 canales, fabricado por la compañía IRIS (Francia).

Se emplearon 4 carretes de cables inteligentes, cada uno para 12 electrodos equiespaciados a 10 m, que al conectar en línea alcanzan una longitud máxima de 470 m.



Figura 3.3. Tomografía eléctrica, Esquema que muestra la inserción de un electrodo de cobre en el suelo. (a) Perforación en el pavimento para que el electrodo se asiente en el suelo natural. (b) Se coloca una pequeña cantidad de sulfato de cobre y agua. (c) Se introduce el electrodo con la ayuda de un mazo asegurándose que quede fijo. (d) La parte del electrodo que sale a superficie, se conecta al cable inteligente que a su vez está conectado al equipo.

En primer lugar se localiza el perfil, se define el origen de cada línea y la dirección en la que se medirá. En este caso todos los perfiles se tomaron con dirección W-E.

Se insertan los electrodos en el terreno (Figura 3.3) de forma equiespaciada, intentando siempre que sea línea recta. Se perfora en la ubicación de cada electrodo y la separación depende de la longitud total de la línea (cada 5, 6 o 10 m) con una profundidad alrededor de 60 cm.

Los electrodos de cobre miden 80 cm con $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro. Para evitar la polarización de los electrodos, se coloca cantidad suficiente de un electrolito, sulfato de cobre, en cada orificio, para una mejor conductividad.

Después de colocar y conectar todo el equipo, se realiza la medición de resistencias de contacto, esperando que sea menor a $2\text{ k}\Omega$ de acuerdo al fabricante del equipo (Manual AGI, 2009), para empezar la adquisición, de lo contrario se revisa en que electrodo está alta y se coloca más electrolito o de no bajar a niveles estables se cambia de posición. Finalmente se procede a la adquisición (Figura 3.4).

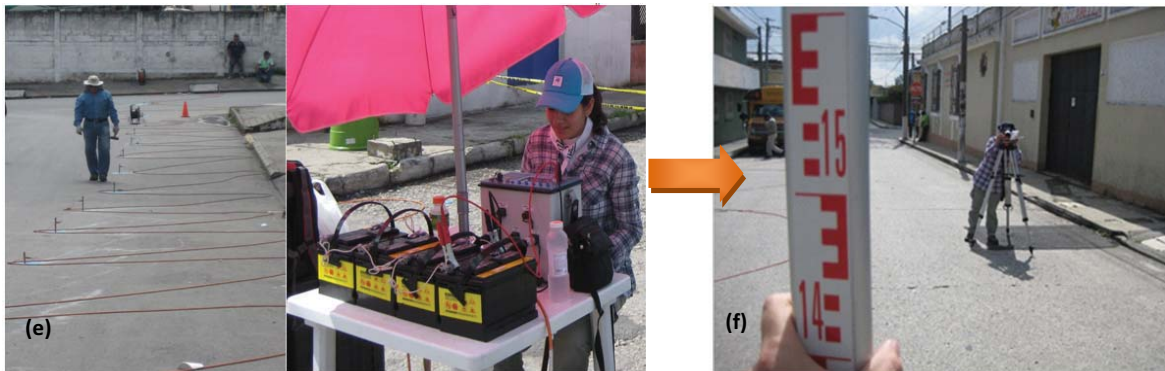


Figura 3.4. Tomografía eléctrica, (e) Esquema de adquisición con el equipo SYSCAL Pro Switch.

(f) Nivelación topográfica a lo largo del perfil.

Parte fundamental es la nivelación del terreno pues se llegó a tener un desnivel de hasta de $\sim 6\text{ m}$, se tomó con el equipo la marca LEICA, modelo NA724, que comprende de un nivel con un tripie y un estadal de resolución milimétrica, además se tomó la ubicación del inicio y final de cada línea del levantamiento mediante GPS.

En cada perfil se adquirieron los datos con tres arreglos geométricos diferentes: Wenner, Wenner-Schlumberger y Dipolo-Dipolo.

La geometría de los arreglos se realiza con el software de Electre- Pro (IRIS Instruments, 2007), estas secuencias se le cargan a la consola previamente (Figura 3.5).

Se introducen los parámetros tales como el tipo de arreglo eléctrico, el número de electrodos, el espaciamiento entre estos, el número de apilamiento y el factor de calidad.

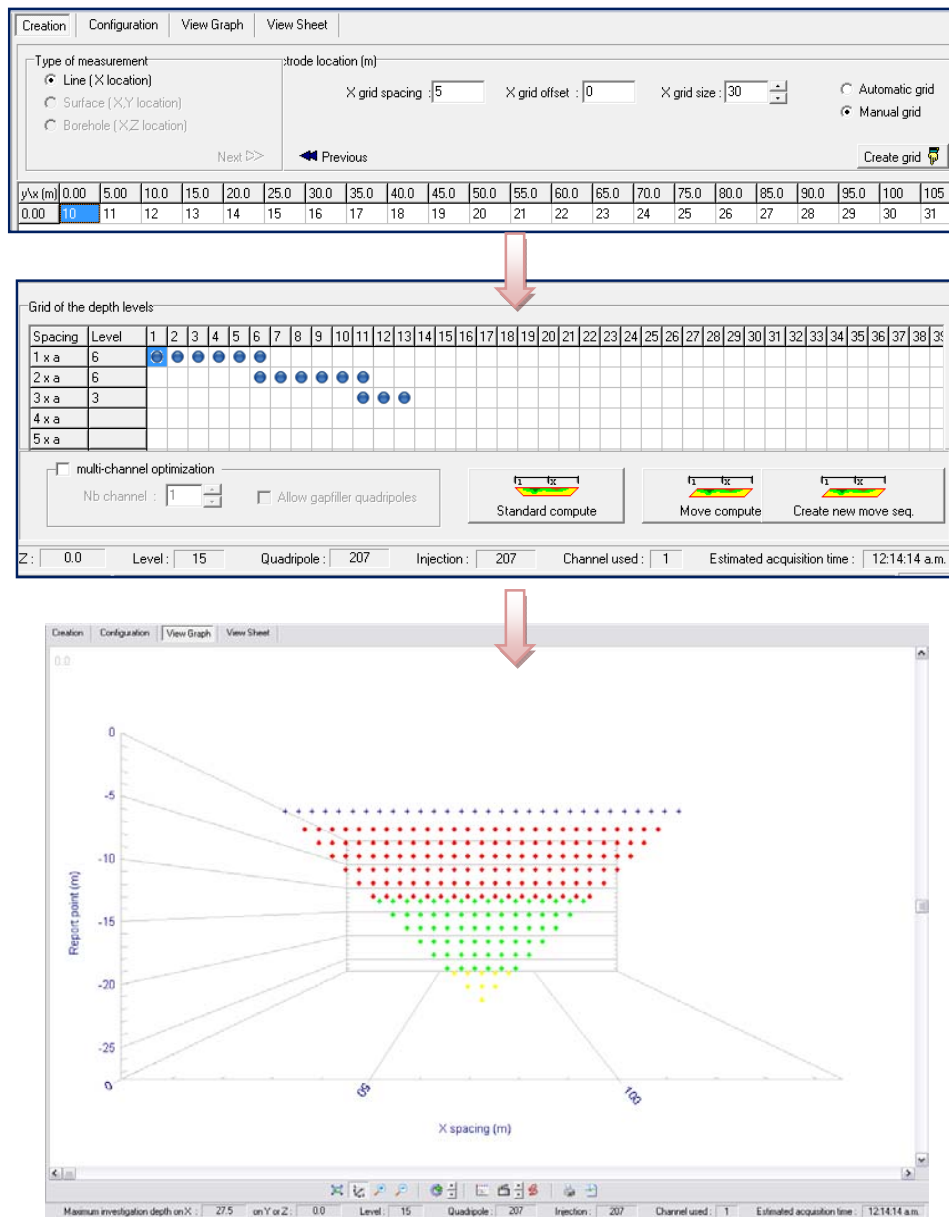


Figura 3.5. Programación de la secuencia de medición. (Electre Pro, 2007).

En el siguiente cuadro se resumen las características de cada perfil en el momento de la adquisición con cada arreglo utilizado.

Perfil	Arreglo	Cuadripolo	Prof. teórica máx [m]	Total[m]	No.Electrodos	Separación [m]	Nivel
2A	DD	906	59	282	48	6	39
	WW	360	46.7				15
	WS	565	53.4				25
1A	DD	336	30.8	145	30	5	24
	WW	135	23.4				9
	WS	207	27.5				15
A	DD	189	23.5	110	23	5	18
	WW	77	18.2				7
	WS	115	20.9				11
B	DD	336	30.8	145	30	5	24
	WW	135	23.4				9
	WS	207	27.5				15
C	DD	336	30.8	145	30	5	24
	WW	135	23.4				9
	WS	207	27.5				15
DE	DD	2550	98.3	950	96	10	39
	WW	1008	77.8				15
	WS	1601	89.1				25

Cuadro 3.1. Características adquisición de los perfiles propuestos en la TRE.

3.2 Técnica Roll-along o de traslape

En los últimos años ha surgido el uso de sistemas multi-electrodo para la adquisición de datos de resistividad (i.e. Griffiths y Turnbull, 1985; Overmeeren y Ritsema 1989). Con el rápido desarrollo de éstos se han convertido en una herramienta barata y fiable para caracterizar el subsuelo.

La técnica multi-electrodo llamada roll-along o de traslape fue desarrollada en la Universidad de Lund (Dahlin, 1993; Dahlin *et al.*, 1994) y su principal objetivo es medir perfiles muy largos de manera continua adaptándose a las capacidades del equipo y material.

Esta técnica se utilizó para la adquisición de datos del Perfil DE, alcanzando una longitud de 950 m (Figura 3.7). Consiste en realizar mediciones continuas de resistividad utilizando los primeros 48 electrodos sembrados a lo largo del perfil. Para mantener dicha

continuidad, la siguiente secuencia de observación se lleva a cabo, para este caso, trasladando los primeros 12 electrodos al final de la línea medida y repitiendo la operación tantas veces sea necesario (Figura 3.6). El equipo también se tiene que recorrer en cada traslape al punto medio de la línea. Se realizaron un total de 5 perfiles para completar la longitud planeada. Las mediciones se deben tomar con la misma configuración electrónica y semejantes condiciones. Cabe mencionar que la aportación de esta técnica en el presente estudio fue hecha por el Dr. Andrés Tejero.

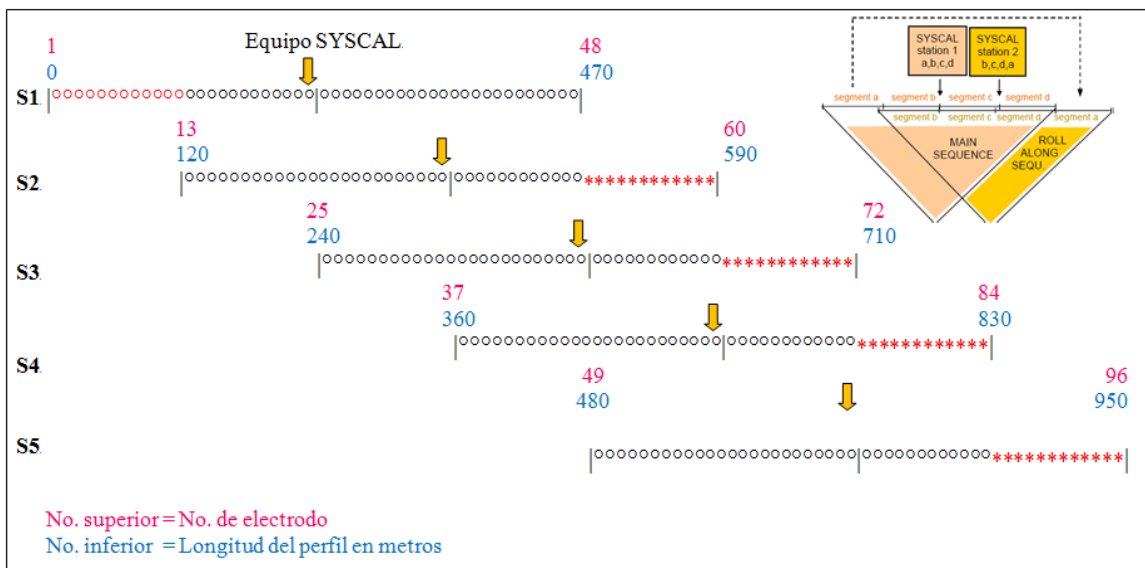


Figura 3.6. Esquema de un dispositivo multi-electrodo utilizando la técnica de Roll-along, * y ° representan los electrodos, donde * son los electrodos de traslape, los que se colocan para medir el siguiente segmento del perfil.

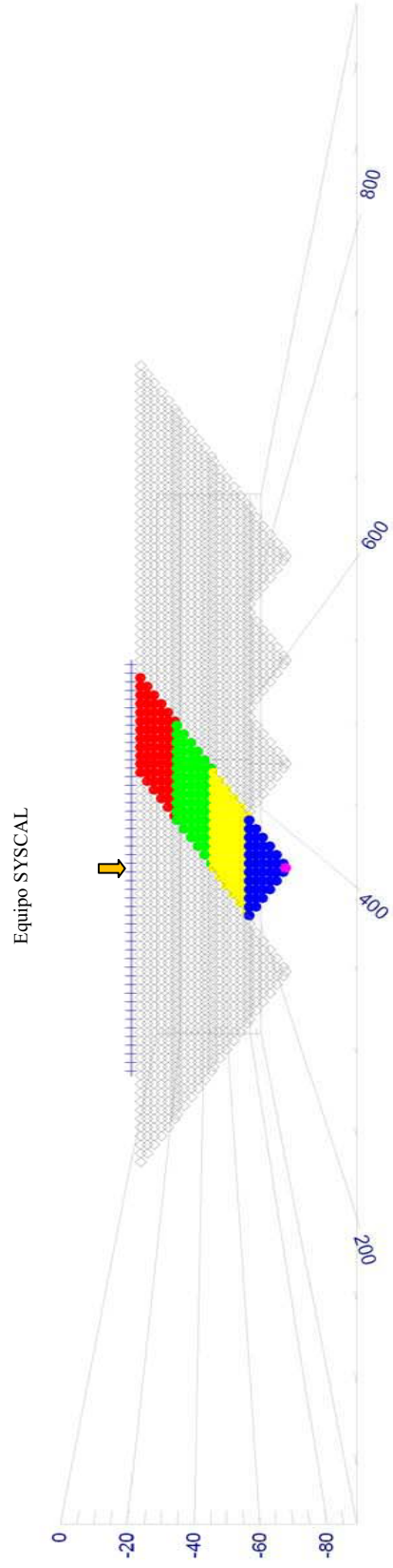


Figura 3.7. Diseño del Perfil DE para realizar la adquisición con la técnica roll-along.

La sección a color muestra el primer traslape y la flecha la posición del equipo SYSCAL

Perfil	Arreglo	Base	Roll along				Cuadripolo	Total[m]
		1-470	470-590	590-710	710-830	830-950		
DE	DD	906	411	411	411	411	2550	950
	WW	360	162	162	162	162	1008	
	WS	565	259	259	259	259	1601	

Cuadro 3.2. Características de las secciones del Perfil DE con la técnica roll-along.