

## Capítulo 4 Metodología

### 4.1 Adquisición de datos

La geometría de las líneas de investigación para este proyecto, se definió de manera que se pudiera caracterizar la grieta expuesta en el Campus Casa Libertad de la UACM. Se realizaron tres perfiles de manera que dos de estos pasaran sobre la estructura de interés y uno más donde se planea construir un nuevo edificio para verificar, si la estructura se extiende bajo la superficie, lo cual podría ocasionar daños estructurales a la construcción proyectada. La distribución de las líneas quedó como se muestra en la Imagen 4.1

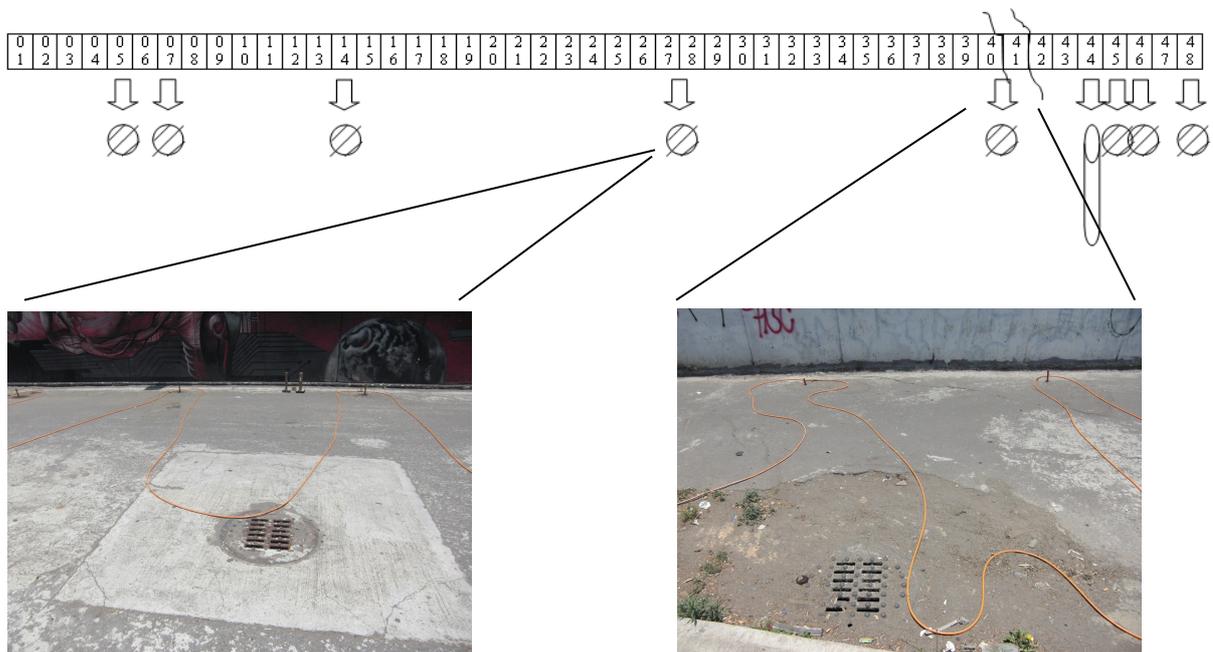


**Imagen 4.1 Ubicación de la UACM**

La longitud de las líneas de investigación fue de 141.0, 99.0 y 96.0 metros respectivamente, con un espaciado entre electrodos de 3 metros. Los arreglos utilizados para este estudio fueron: Dipolo-Dipolo (DD), Wenner Schlumberger (WS) y Wenner (W).

El equipo empleado para la toma de datos, fue el resistivímetro Syscal Pro Switch, varillas de cobre de 1/2" de diámetro y 40 cm de largo, cables

inteligentes de 24 canales y un dispositivo de posicionamiento global (GPS), para ubicar correctamente las líneas, para colocar los electrodos, se perforaron agujeros en la carpeta asfáltica con un roto-martillo con una broca de carburo de tungsteno de 1". Asimismo, se utilizó un nivel marca Leica para tomar las lecturas de topografía, ya que ésta afecta los resultados de la inversión. Posteriormente, se probó la resistencia de contacto en los electrodos, donde las lecturas mayores a 10,000 Ohms, denotaron un electrodo mal colocado, por lo que fue necesario repetir la perforación de los agujeros, una resistencia de contacto aceptable e ideal es menor de 2,000 Ohms, para disminuir tal resistencia se agregó un electrolito de sulfato de cobre y bentonita disueltos en agua a cada electrodo con el propósito de mejorar las resistencias de contacto. La primera línea se localiza junto a un muro, el cual afectó las lecturas debido a los cimientos, asimismo, esta línea se localiza cerca de la tubería del drenaje, por lo que estos datos presentan mayor cantidad de ruido, las estructuras de interés se denotan esquemáticamente en la Imagen 4.2.



**Imagen 4.2 Localización de las coladeras y estructuras de interés en la línea 1**

La segunda línea se encuentra sobre una pendiente; por lo que los datos de topografía son necesarios para el procesamiento de los datos.

La tercera línea se encuentra cercana a un muro y está localizada sobre el terreno donde planea construirse un edificio.

## **4.2 Procesamiento de datos**

Los datos recabados por el resistivímetro, tienen que ser ordenados en un archivo *.dat* para ser leídos por el software de inversión: *Res2Dinv* y el archivo de los resultados de la inversión para su interpolación en el programa *Surfer*. Al descargar los datos en la computadora se leen con el programa *Prosys II*, mismo que convierte el archivo al formato requerido (Anexo A).

Para los datos de topografía se nivelan todas las lecturas con respecto a un punto para que las tres líneas de investigación concuerden en la elevación de una con respecto a la otra, estos datos son introducidos al archivo con las mediciones de resistividad con el formato especificado en el manual del programa *Res2Dinv* (Anexo B).

Al leer el archivo *.dat* en el paquete *Res2Dinv*, es necesario realizar una corrección, ya que algunos valores están fuera de escala o son negativos.

A partir del criterio del interpretador, se marcan los puntos que están fuera de escala y se procede a guardar una copia nueva con los datos corregidos, el programa leerá el nuevo archivo y al elegir de nuevo la misma opción.

## **4.3 Parámetros de inversión**

### **4.3.1 Res2Dinv**

La rutina de inversión utilizada en este programa, es el método de suavizamiento forzado de mínimos cuadrados de deGroot-Hedlin y Constable (1990) basado en la ecuación:

$$(J^T J + uF)d = J^T g \quad (a)$$

Donde:

$$F = f_x f_x^T + f_z f_z^T$$

$f_x$  = Filtro de achatamiento horizontal

$f_z$  =Filtro de achatamiento vertical  
 $J$  =Matriz de derivadas parciales  
 $u$  = Factor de amortiguamiento  
 $d$  =Vector de perturbación del modelo  
 $g$  =Vector de discrepancia

Es posible ajustar el valor mínimo y máximo del factor de amortiguamiento  $u$  en la ecuación (a).

De acuerdo con el manual del programa Res2Dinv (2006) la resolución en el método de resistividad decrece exponencialmente con la profundidad, el factor de amortiguamiento utilizado en el método de inversión de suavizamiento forzado de mínimos cuadrados normalmente, se incrementa a cada estrato más profundo con el propósito de estabilizar el proceso de inversión, por lo que es necesario modificar éste parámetro.

Asimismo es posible que el programa busque el valor óptimo para obtener el menor error RMS en cada iteración.

Para evitar que los valores tengan un rango muy amplio es posible limitar el rango de los valores de resistividad que dará la subrutina de inversión.

Una condición para terminar las iteraciones y evitar bucles en el programa es definir el límite inferior para el cambio relativo en el error RMS entre dos iteraciones, donde al llegar a dicho límite el programa muestra una ventana para determinar si debe detenerse o continuar con un nuevo valor que se debe especificar en una ventana emergente, de la misma manera es posible especificar un error RMS en el cual el programa debe detenerse, así como el número de iteraciones que deben de llevarse a cabo.

Si después de llevar a cabo una iteración, el modelo de resistividad se vuelve muy grande (más de 20 veces el valor máximo de resistividad aparente) o muy pequeño (menos de 1/20 del valor mínimo de resistividad aparente), el programa muestra una advertencia denotando que el modelo se ha vuelto poco estable.

Al realizar la inversión es posible elegir el tipo de inversión a realizar, entre un método de inversión robusto o de bloques.

El software muestra la distribución de los bloques del modelo y los datos son graficados como puntos que están a la profundidad media de investigación,

para el arreglo utilizado, asimismo es posible modificar el espesor de los estratos. Se puede elegir el ancho de las celdas con una abertura de la mitad del espaciamiento entre electrodos, esto se hace, con el fin de optimizar los resultados, este espaciamiento puede ser mayor o menor, dependiendo de los resultados esperados.

Después de utilizar estas opciones, el modelo se mejora dejando un solo punto por malla, lo cual mejora los resultados obtenidos en la interpolación.

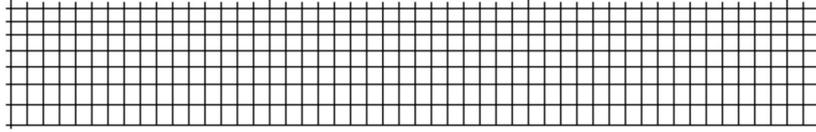
Se utiliza el menú *Topographical modelling* si se presenta una topografía significativa en la línea de estudio. Si el archivo de entrada tiene datos de topografía, el programa automáticamente selecciona el método de elemento finito, ya que éste incorpora la topografía en la malla de modelado utilizada. En este caso, el modelado topográfico será llevado a cabo automáticamente por el programa al invertir los datos. El programa permite elegir entre tres tipos de modelado topográfico: *Distorted finite-element grid with uniform distortion*, *Distorted finite-element grid with damped distortion* y *S-C transformation with distorted finite-element grid* (Figura 4.1).

*Distorted finite-element grid with uniform distortion*, este método utiliza una malla distorsionada, tal que los nodos de superficie estén emparejados a la topografía real. Los nodos debajo de la superficie son desplazados la misma extensión que los nodos de superficie.

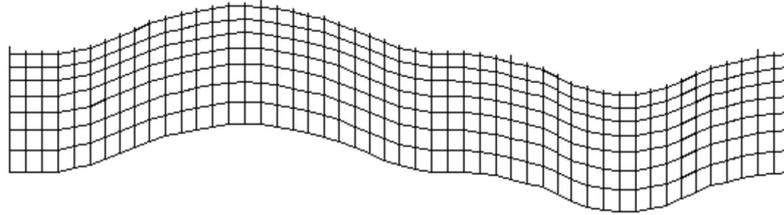
*Distorted finite-element grid with damped distortion*, en esta opción, los nodos debajo de la superficie son desplazados una menor extensión comparados con los nodos de la superficie; por lo tanto, la topografía esta amortiguada con la profundidad.

*S-C transformation with distorted finite-element grid*, este método utiliza la transformación de Schwarz-Christoffel, para calcular la distorsión en las capas de subsuelo.

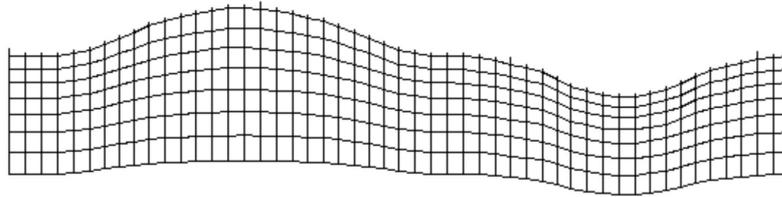
a) Arreglo de bloques del modelo sin topografía



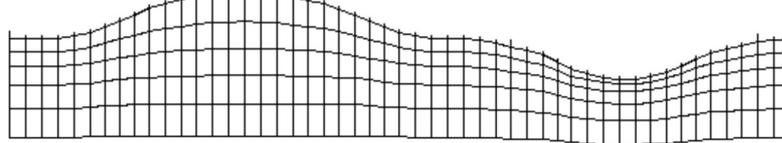
b) Arreglo de bloques del modelo con una malla uniformemente distorsionada



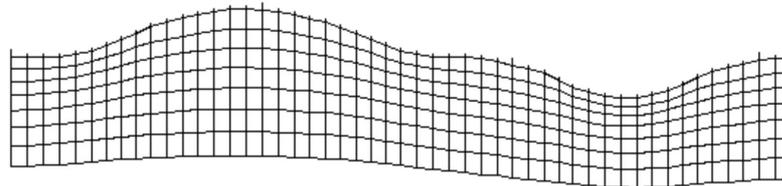
c) Arreglo de bloques del modelo con una malla distorsionada moderadamente amortiguada



d) Arreglo de bloques del modelo con una malla distorsionada altamente amortiguada

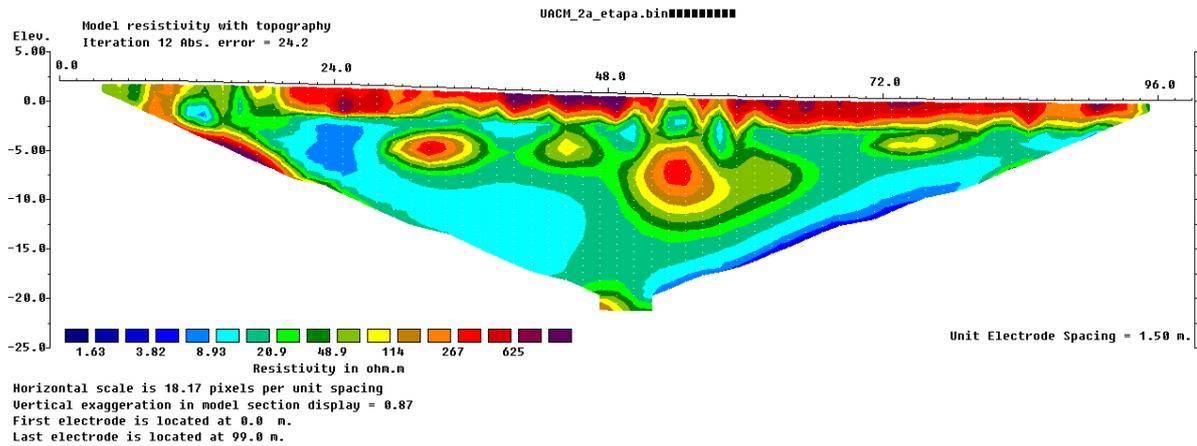


e) Arreglo de bloques del modelo con la transformación inversa de Schwarz-Christoffel



**Figura 4.1 Distintos métodos para incorporar la topografía (Manual Res2Dinv, 2006)**

Después de llevar a cabo la inversión de los datos, se elige la opción *Include topography in model display*, dicha opción mostrará la sección resultante de la inversión con la topografía incluida como se muestra en la Imagen 4.3.



**Imagen 4.3 Modelo de resistividad con topografía**

Se puede elegir el número de iteración que se desea utilizar para salvar los resultados de la inversión, asimismo, se pueden elegir los valores de resistividad directos o en forma logarítmica, misma que es más conveniente cuando el rango de variación de los valores de resistividad es muy grande. Al graficar las secciones en Surfer estas son rectangulares; por lo que es necesario utilizar una función para blanquear las áreas, cuyos datos no son confiables, debido a la configuración de electrodos utilizada, así como la topografía del terreno. El cuadro de diálogo mencionado anteriormente, provee dos opciones para llevar a cabo este blanqueamiento, siendo la opción *Use base map overlay method* el más confiable. Dado que los datos de este estudio contienen topografía, se selecciona la opción *Model resistivity with topography*, al hacer esto Res2Dinv guardará 4 archivos para ser utilizados en Surfer:

- \*topreslog.dat, valores del modelo de resistividad
- \*topreslog.blm, función de blanqueamiento
- \*topreslog.lvl, escala de color utilizada en Res2Dinv
- \*topreslog\_post.dat, posición de los electrodos.