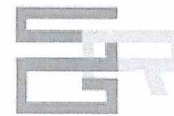




## METODOLOGÍA DE TRABAJO PROPUESTA PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO.

### ANEXO 11



## Anexo 11

### Metodología de trabajo propuesta para la prestación del servicio.

Adjudicación Directa carácter Nacional No. AO-050GYR119-E20-2019

Servicio a realizar: "INSPECCIÓN DE LA ZONA DE LA CENTRAL DE SERVICIOS, PASO ELEVADO Y LAS EDIFICACIONES DEL COMPLEJO HOSPITALARIO DEL CENTRO MÉDICO NACIONAL LA RAZA, MEDIANTE ESTUDIOS GEOFÍSICOS ELECTRORESISTIVOS Y DE GEORADAR"

Obra objeto del servicio: INSPECCIÓN

Ubicación de la obra objeto del servicio: Centro Médico Nacional "LA RAZA" localizado en Avenida Jacarandas S/N y Calzada Vallejo, Colonia La Raza, Alcaldía Azcapotzalco, Código Postal 02990, Ciudad de México

Plazo de ejecución del servicio 20 días naturales

## MÉTODO DE RADAR DE PENETRACIÓN TERRESTRE

### BREVE DESCRIPCIÓN DEL CONCEPTO

El concepto teórico de la técnica del Radar de Penetración Terrestre (GPR) se basa en la determinación de las variaciones en las propiedades electromagnéticas de un medio a partir de la adquisición y el posterior análisis de la respuesta recibida de un pulso de energía electromagnética irradiado hacia el subsuelo. Estas propiedades electromagnéticas son la conductividad eléctrica, la permitividad dieléctrica y la permeabilidad magnética.

El pulso de energía electromagnética es irradiado por un transmisor Tx, la energía al ser reflejada regresa a la superficie y es detectada por una antena receptora Rx con una frecuencia característica única que se encuentra entre los 25.00MHz y 2.00GHz.

Cuando el pulso alcanza heterogeneidades en las características electromagnéticas del medio circundante, como los cambios litológicos, fracturas, cavidades, elementos metálicos y estructuras u objetos enterrados, genera que una fracción de la energía sea reflejada a la superficie mientras que la energía remanente continúa hacia profundidades mayores o hasta llegar a la próxima interface. (Figura 1)

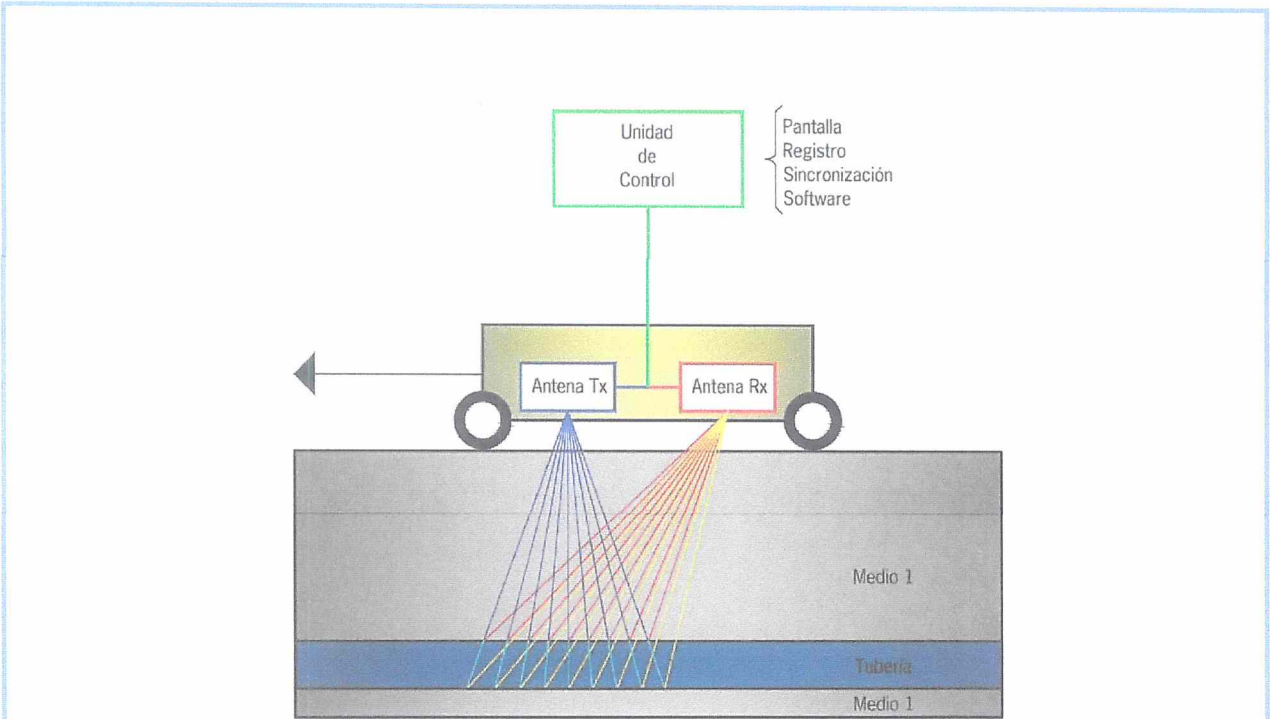


Figura 1. Esquema básico de la instrumentación del GPR.

La profundidad de penetración y la resolución observada dependen del tipo de antena utilizada, existe una relación inversa entre la profundidad de investigación y la frecuencia de la antena de tal forma que a mayor frecuencia de la antena la profundidad de investigación será menor pero la resolución de la señal registrada será mayor aunado a esto la profundidad de investigación depende de las condiciones del subsuelo y el tipo de antena empleada, ya que mientras el medio sea más conductivo la profundidad de penetración será menor.

Como la propagación de las ondas generadas a partir del pulso en el subsuelo está determinada por las propiedades electromagnéticas características de los materiales es posible obtener la imagen dado a las reflexiones de las ondas que se producen debido a los contrastes de dichas propiedades. (Figura 2)

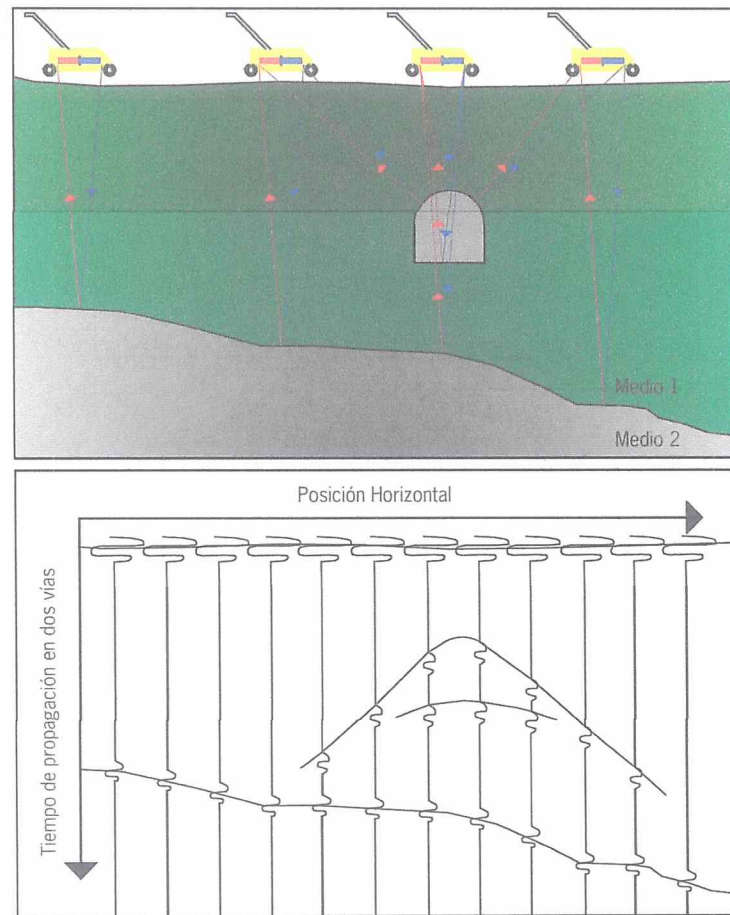
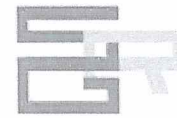


Figura 2. Esquema del proceso de adquisición y registro del método de GPR

Las técnicas para la toma de datos dependen de las antenas del dispositivo ya que ambas pueden ser móviles o estáticas además las distancias entre ellas pueden ser equidistantes o variable y esta separación se conoce como offset. La técnica más utilizada es el Offset común donde el desplazamiento de las antenas es al unísono y en el mismo sentido manteniéndose el offset constante como se observa en la figura 2.



## CONCEPTOS TEÓRICOS DEL MÉTODO DE GPR

El método de Radar de Penetración Terrestre se basa en la emisión de pulsos electromagnéticos, la propagación de estos a través de un medio se puede definir teóricamente a partir de las ecuaciones de Maxwell para ondas electromagnéticas y que por medio de ellas se determinan las ecuaciones del comportamiento de las ondas electromagnéticas como son:

- La frecuencia del pulso de energía electromagnética emitida, donde  $c$  es la velocidad de propagación de la onda electromagnética en un medio,  $\lambda$  es la longitud de onda en dicho medio y  $f$  es la frecuencia del pulso emitido en Hz

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

- La velocidad de propagación de la onda siendo la relación entre la propagación de una onda electromagnética con el tiempo y el medio que atraviesa teniendo una disminución de la amplitud de la onda con la distancia recorrida, definidas por la ecuación donde  $c$  es la velocidad de las ondas electromagnéticas en el vacío y  $\epsilon_r$  es la constante dieléctrica relativa del medio

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

- La longitud de una onda electromagnética en un medio material  $\lambda_m$  donde se relaciona la velocidad de fase enlazada con la longitud de onda en el vacío  $\lambda_0$  y la frecuencia de onda emitida siendo un parámetro importante en el estudio de radar ya que determina la resolución vertical, esta característica se define por la frecuencia de emisión de la antena y la constante dieléctrica efectiva del material

$$\lambda_m = \frac{\lambda_0}{Re\sqrt{\epsilon_r}}$$



La respuesta de las características de propagación de las ondas electromagnéticas en un medio se puede definir a partir de los coeficientes de reflexión y refracción, esto debido a que una onda electromagnética que incide sobre una superficie de discontinuidad que en otras palabras es una superficie que separa dos medios como propiedades electromagnéticas distintas, donde se genera una división de la energía incidente repartiéndose entre la onda reflejada y la refractada formando cada una un ángulo con la línea perpendicular a la superficie de incidencia.

La relación entre el ángulo de incidencia, de reflexión y de refracción de la onda están expresados por la Ley de Snell a partir de las velocidades de propagación  $v_1$  y  $v_2$  de dos medios separados por una discontinuidad.

$$\frac{\sin \theta_i}{v_1} = \frac{\sin \theta_r}{v_1} = \frac{\sin \theta_R}{v_2}$$

Los coeficientes de transmisión y de reflexión definen el porcentaje de la energía que es refractada y la que se refleja, y están expresadas como:

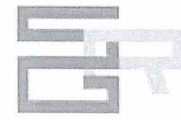
$$T = 1 + R_i$$

$$R_i = \frac{\sqrt{\epsilon_{i-1}} - \sqrt{\epsilon_i}}{\sqrt{\epsilon_{i-1}} + \sqrt{\epsilon_i}}$$

Donde  $R_i$  es el coeficiente de reflexión de las ondas electromagnéticas propagadas del medio " $i - 1$ " al medio " $i$ ".

$\epsilon_{i-1}$  y  $\epsilon_i$  son las constantes dieléctricas del medio " $i - 1$ " y " $i$ " respectivamente.

Si el valor absoluto de  $R$  es mayor que cero, significa que hay una diferencia en las propiedades dieléctricas entre los dos medios provocando que la reflexión de la onda se produzca en el límite de ellos.



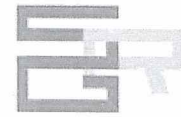
## MÉTODO DE INTERPRETACIÓN

Los registros que se obtienen a través del método de GPR representan la relación de las variaciones entre la onda emitida durante la propagación en el medio hasta el o los cuerpos reflectores y el regreso de la onda a la superficie así como la recepción de la misma, a este registro se le conoce como radargrama que es una imagen de radar en dos dimensiones donde se visualizan estas variaciones.

Estos registros representan en el eje de las ordenadas el tiempo que requiere la onda para atravesar el medio y regresar a la antena receptora además de la profundidad de los materiales que se detecten, en el eje de las abscisas la distancia recorrida por la antena durante la toma de datos.

Para la interpretación de los radagramas se realiza una serie de procesados descritos a continuación:

- Las correcciones que se aplican a los radagramas para la modificación y ajuste de los perfiles y trazas que presentan problemas espaciales o temporales durante la adquisición de datos.
- Aplicación de filtros en 1D y 2D para modificar las frecuencias registradas en el radargrama para eliminar señales de ruido.
- Aplicación de control de ganancia para restablecer las amplitudes y mitigar efectos del decaimiento de la señal y aumentar la amplitud de las ondas reflejadas en objetos profundos.
- Mapeo y etiquetado de las estructuras y materiales en el subsuelo, señalando su localización y profundidad.



## EQUIPOS

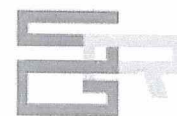
### OPERA DUO

El equipo emplea una antena de doble frecuencia de 250MHz para objetos profundos y 700MHz para percibir la señal de objetos de poca profundidad, el método empleado es a través de la emisión de pulsos electromagnéticos al terreno mediante el uso de las dos frecuencias, proporcionando resultados simultáneos en la detección de los objetos profundos y los pocos profundos en la misma ventana siendo esto un beneficio en la adquisición de datos ya que al encontrarse un cuerpo reflector a baja profundidad este no impide que se observen objetos que se encuentren a mayor profundidad en el mismo punto de adquisición.

Una de las ventajas de utilizar el Opera Duo es que tiene la capacidad de localizar la posición así como la profundidad de servicios como tuberías, líneas de cableados y redes de drenajes en un solo escaneo debido a la doble antena empleada, evitando el realizar un cambio de antenas como lo es con otros equipos, generando una reducción de errores al momento de la adquisición porque el equipo realiza la visualización y el almacenamiento de ambas frecuencias emitidas.

Las aplicaciones del equipo Opera Duo abarcan:

- Detección de líneas de servicios metálicos y no metálicos (tuberías, cables, etc.)
- Identificación de fracturas, hundimientos, grietas y cavidades (Karsts, túneles)
- Inspección y caracterización de edificaciones y construcciones (puentes, muros, etc.)
- Inspección de pavimento en autopistas, pistas aeroportuarias, ferrovías.
- Clasificación de substratos (estratificaciones, profundidad de substrato, etc.)
- Determinación de espesores en zonas de relleno aluvial.
- Estudios de medio ambiente (mapeo, delineamiento de terreno, contaminación de fluidos).



## C-THRUE

El equipo cuenta con una antena de frecuencia central de 2 GHz con una profundidad de investigación de 0.50m generando imágenes de alta resolución vertical y horizontal durante la adquisición de la información.

El C-Thrue es un GPR para el escaneo preciso y de análisis de tiempo real de las estructuras que constituyen el interior de las edificaciones así como estudio previo en sitios de operaciones de construcción y revisión de la misma.

Las aplicaciones del equipo C-Thrue abarcan:

- Inspecciones de control de calidad y de aceptaciones de obra.
- Localización de barras de acero de refuerzo y anclaje para evitar daños en el proceso de operaciones de corte y perforación.
- Operaciones de renovación de edificaciones incluyendo ubicación de líneas de cableado además objetos enterrados o incrustados en las paredes y lozas de concreto.
- Separación entre estructuras y otros materiales.
- Detección de vacíos, cavidades y otras discontinuidades en paredes y lozas de concreto.
- Localización de zonas adecuadas para realizar operaciones de perforación.
- Identificación de diferentes capas al interior del concreto como: doble malla de acero, disposición de las barras de acero reforzado, cables tensados.

La variación de la resistencia ( $\rho$ ) en función dada de la porosidad muestra una curva con el aspecto siguiente.

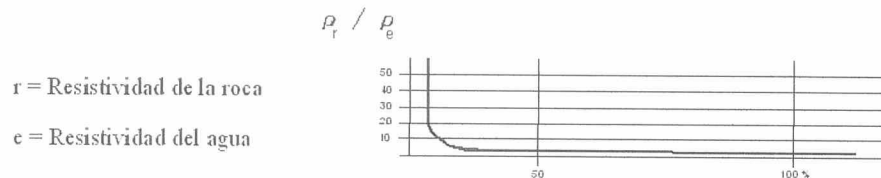


Fig. 1

Los principios fundamentales de la medición de un campo eléctrico artificial en un elemento, consisten en colocar 2 electrodos A y B (Fig. 2) en la superficie del terreno, ligados ambos a una fuente de alimentación. La diferencia de potencial estará expresada por la relación:

$$V_A - V_B > 0 \quad \text{si la corriente va de "A" hacia "B"}$$

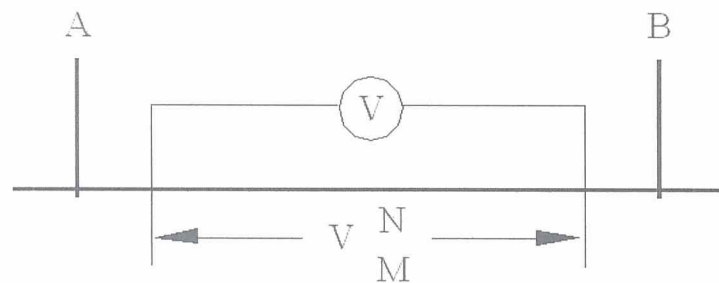


Fig. 2

REPRESENTACION DE DOS ELECTRODOS "M" Y "N" EN EL ESPACIO ENTRE "A" Y "B". LA DIFERENCIA DE POTENCIAL ENTRE "M" Y "N" ES " $V_{mn}$ "

La caída de potencial se manifiesta a lo largo de la distancia AB.  
 Pero cabe señalar que un punto, cuando más apartado esté de A y B,  
 tendrá menor potencial. Cuando los puntos conservan un mismo valor  
 del potencial definen una curva equipotencial. ver fig. 3

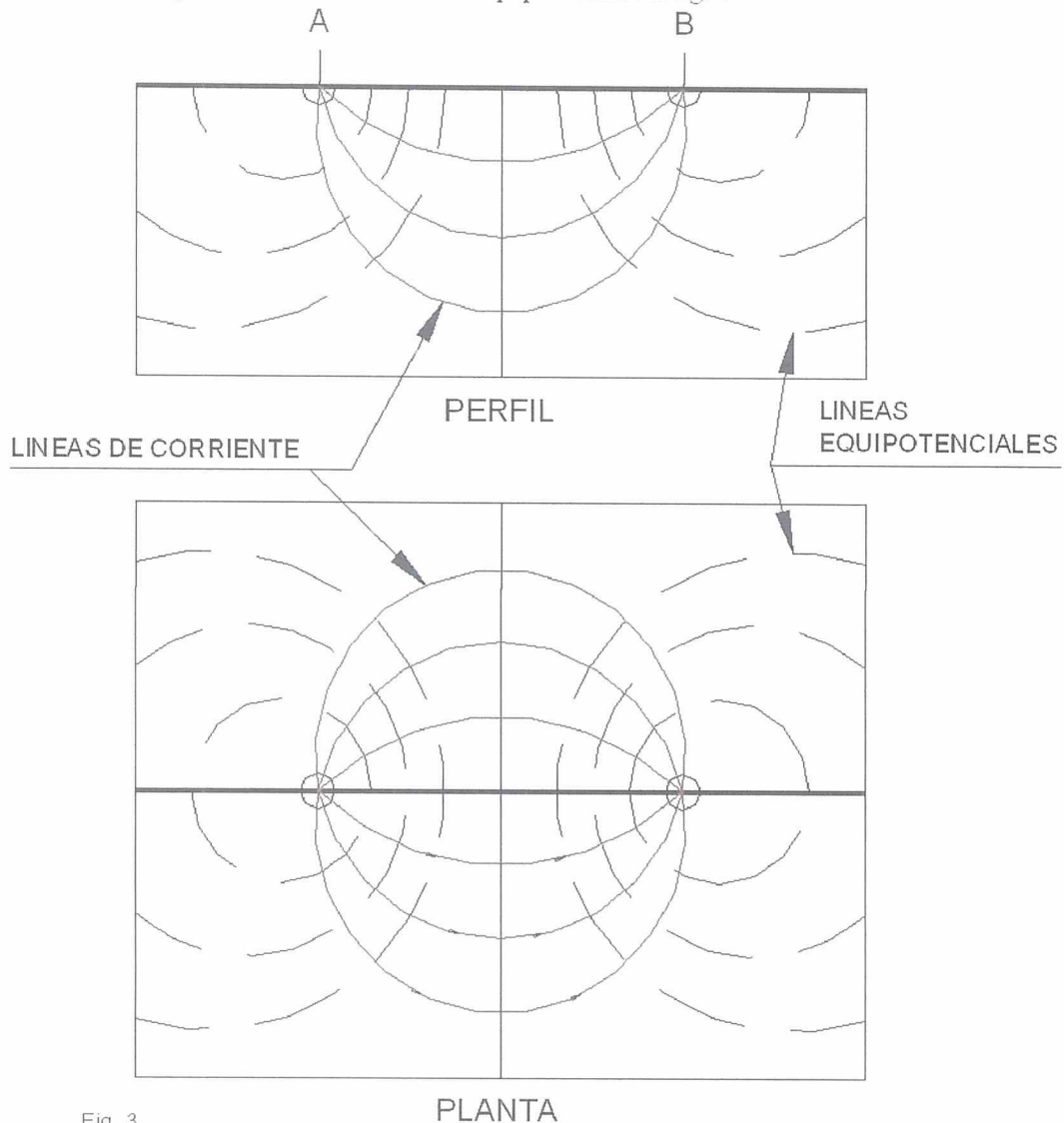
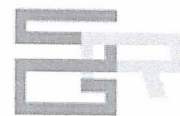


Fig. 3

CAMPO ELECTRICO PRACTICO DONDE LAS LINEAS  
 EQUIPOTENCIALES SON ORTOGONALES A LAS LINEAS DE  
 CORRIENTE



### CONCEPTOS TEORICOS DEL METODO GEOELECTRICO BF-63

La prospección geofísica por medio del método eléctrico resistivo denominado BF-63 de alta densidad de medidas (scanning), consiste en implantar en el terreno en forma lineal un grupo de electrodos de tensión, cuyo número puede ser desde 5 a 11 dependiendo de la capacidad del conmutador selector de electrodos, dicha configuración electródica forma un dispositivo, el cual puede tener dimensiones longitudinales variables que se pueden adaptar a las necesidades del área a investigar, por lo tanto de ello se desprende que la separación entre electrodos puede establecerse desde 1.00 m hasta 20.00 m o más si el caso lo requiere.

Las determinaciones o lecturas de diferencias de potencial se miden entre cada par de electrodos (MN), enviando al terreno un campo eléctrico artificial a través de 2 electrodos de intensidad (AB), de los cuales uno de estos (A) queda distante varias veces de la profundidad que se programe investigar en tanto que el otro, (B) se colocará en posición variable dependiendo de las profundidades que se programen (ver figura 4 del dispositivo), de esta manera se obtendrán los valores de resistividad aparente de cada una de las posiciones del electrodo móvil B en relación a la configuración del dispositivo. En este caso, la medida de resistividad entre M y N es obtenida por:

$$r_a = 2\rho \frac{a_1^2 + a_1 \cdot a_2}{a_2} \frac{\Delta v}{I}$$

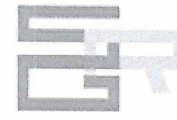
Donde:

$a_1$  = Distancia entre M y N

$a_2$  = Distancia entre M y B

$\frac{\Delta v}{I}$  = Diferencia de potencial

$I$  = intensidad de corriente



## METODO DE INTERPRETACION

El cálculo, base de la interpretación, se lleva a cabo por el método de resistividad aparente, isorresistividad aparente y resistividades reales de acuerdo al proceso que se describe a continuación:

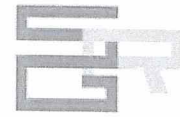
1. Determinación de las resistividades aparentes (calculadas por la fórmula del semiespacio homogéneo o isótopo) correspondientes a las medidas efectuadas variando la posición del electrodo móvil con respecto al dispositivo y a la profundidad requerida.
2. Trazado de las curvas de isorresistividades aparentes. Visualizándose así mucho mejor la estructura del subsuelo.
3. Correlación de los resultados anteriores, teniendo en cuenta las peculiaridades geométricas, las variaciones laterales y subverticales, así como la influencia de los parámetros de la zona in-situ.
4. Correlación de los resultados, con los obtenidos por otros métodos (sísmica, geología superficial, sondeos mecánicos y observaciones particulares en su caso).
5. Definición de las características geotécnicas del terreno.
6. La metodología corresponde a sistemas de barrido, lo que permite tener una imagen de la estructura del subsuelo, de forma continua y tridimensional, obteniéndose así una resolución mucho más amplia, en comparación con metodologías geoeléctricas tradicionales, ver figura 5.

Además de los datos expuestos, se toman para comparación los resultados de estudios anteriores en terrenos semejantes.

## EQUIPO EMPLEADO

Para la ejecución de este tipo de prospección, se emplea un equipo eléctrico de resistividad consistente en:

- Un aparato de medida de resistividad absoluta como se muestra en la figura adjunta.
- Un conmutador de medidas múltiples.
- Una fuente de alimentación (corriente continua).
- Cable necesario para la extensión de líneas de envío de corriente y toma tensiones.



GRAFICA COMPARATIVA, DE PROSPECCION GEOELECTRICA, ENTRE LOS METODOS TRADICIONALES (SCHLUMBERGER) Y LOS DISPOSITIVOS DE BARRIDO DE ALTA DENSIDAD DE MEDIDAS BF-63

ESPECTROS ISORRESISTIVOS EN PERFIL

IMAGEN TRADICIONAL

IMAGEN DE BARRIDO BF-63

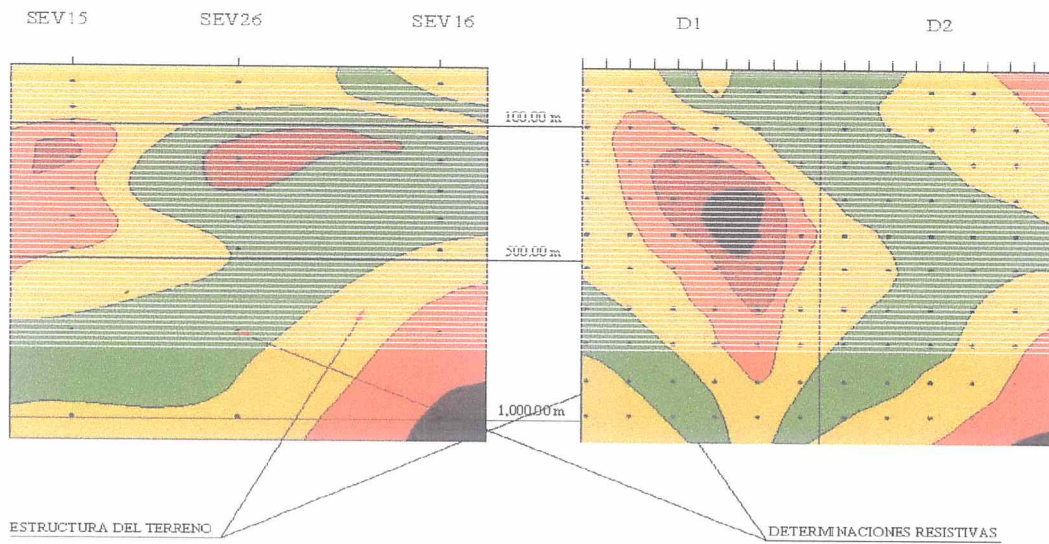
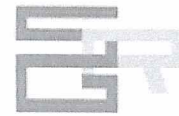


Fig. 5





- Los procedimientos y tecnologías descritas anteriormente permitirán cumplir con los objetivos de estudio.
- En el caso de la tecnología BF-63, durante la toma de datos se conecta el par electródico que cierra el circuito de inyección de corriente al terreno. Se coloca un electrodo para inyección de corriente a una distancia aproximada de tres veces la abertura del dispositivo ( $3 * L$ ), y se identifica el último electrodo (1) a una distancia igual a la profundidad de exploración, a partir de aquí y según la logística de adquisición de datos, inicialmente el circuito se cierra en 1, posteriormente pasa a la posición 2, y así sucesivamente; cuando las lecturas alcancen el puesto n, la captura de información en el dispositivo habrá terminado.
- La toma de datos se realiza en tiempo real con apoyo de una tableta electrónica y siguiendo la metodología BF-63. Los parámetros que se capturan son de naturaleza intrínseca del terreno y la respuesta del terreno a la inducción de un campo eléctrico artificial de fuente controlada que permite obtener la conductividad eléctrica del tramo elegido.
- En el caso del RADAR DE PEMETRACION y C-TRUE, la respuesta de la señal también se da en tiempo real registrando las anomalías presentes en la zona.

#### **PROFUNDIDAD DE ESTUDIO DE LAS TECNOLOGIAS BF-63, RADAR DE PENETRACIÓN Y C-TRUE RADAR.**

- En este caso en específico y de acuerdo a los objetivos generales del estudio, la tecnología BF-63 permitirá obtener una profundidad de investigación de 30.00 m, El radar de penetración permite obtener una profundidad de investigación de hasta 15.00 de acuerdo a las condiciones del subsuelo, la cual nos permite modificar de acuerdo a las anomalías encontradas en tiempo real. El c-true presenta una profundidad de estudio de hasta 0.50 m., la cual permite visualizar el armado estructural de muros y columnas de concreto.

## RESULTADOS Y ENTREGABLES

- Los resultados se presentarán por medio de gráficas, planos y modelos representativos de la metodología aplicada, impresos y en formato digital, en ellos se dará a conocer el estado actual de la estructura de Central de Servicios, paso elevado todas las edificaciones del complejo, en el caso de las perimetrales de los edificios los resultados se darán a conocer mediante planos y un modelo tridimensional (Figura 1) señalando las anomalías encontradas, así como su geología.

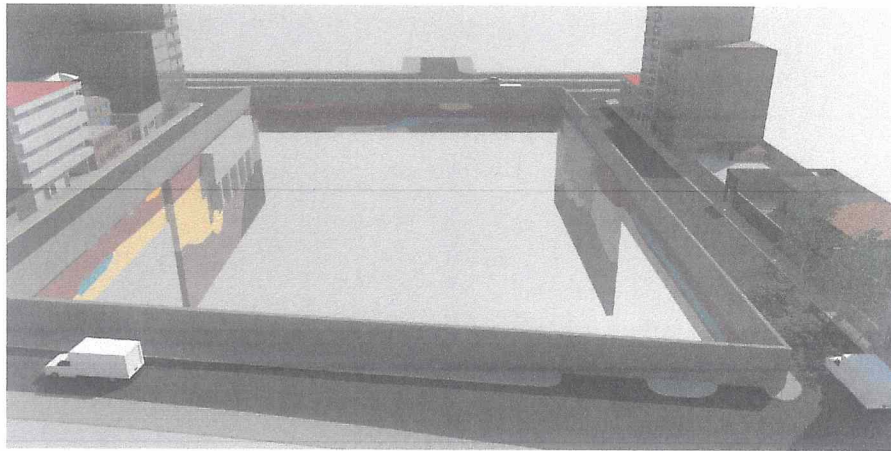


Figura 1. Modelo tridimensional con anomalías

- Con base a la geología presente en el lugar y asociando los resultados obtenidos a las principales en las zonas de estudio, se señalarán y dimensionarán zonas de afectación (figura 2), integrando un informe que contendrá la memoria de cálculo de los trabajos realizados, las conclusiones y recomendaciones que se juzguen necesarias. Los planos 2D y el modelo 3D se entregarán en formato .dwg AutoCAD y en .pdf. La base de datos de los resultados de los estudios se entregará en hojas de cálculo en formato .xlsx. El informe final se entregará en formato .pdf.

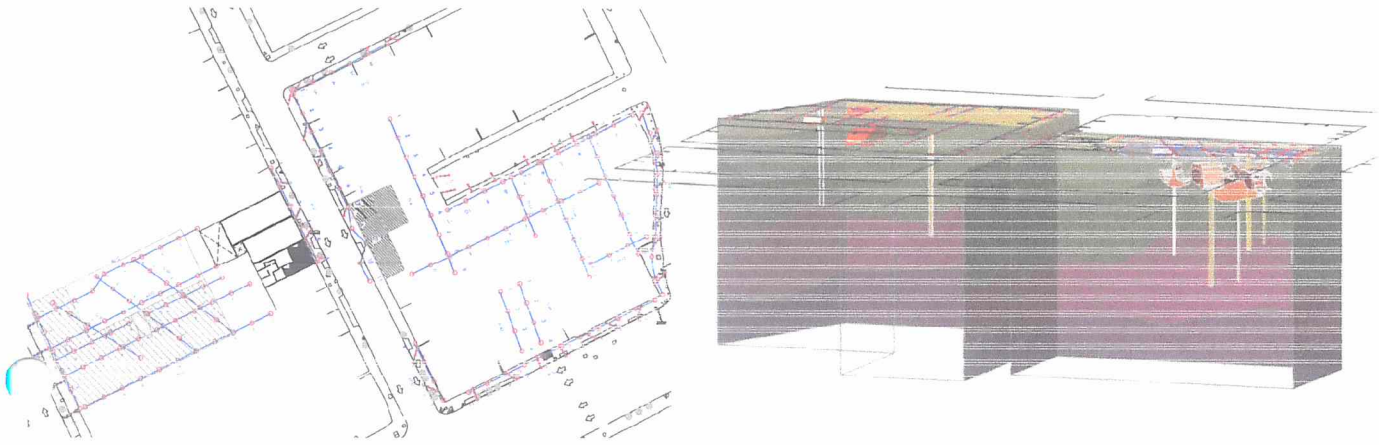
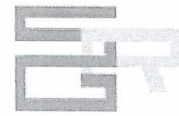


Figura 1. Modelo tridimensional con geología y ubicación zonas de afectación.

ATENTAMENTE

---

MARCELA TORRES ARIAS  
REPRESENTANTE LEGAL