



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

L.39

(05/2000)

SERIE L: CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y
PROTECCIÓN DE LOS CABLES Y OTROS
ELEMENTOS DE PLANTA EXTERIOR

**Investigación del suelo antes de utilizar las
técnicas de tendido sin zanja**

Recomendación UIT-T L.39

(Anteriormente Recomendación del CCITT)

Recomendación UIT-T L.39

Investigación del suelo antes de utilizar las técnicas de tendido sin zanja

Resumen

En esta Recomendación se describen las principales técnicas que permiten una investigación del suelo para obtener información sobre la posición de objetos enterrados y la naturaleza del terreno. Estos datos se necesitan para planificar la ejecución del trabajo utilizando técnicas de tendido sin zanja y optimizar el trayecto de perforación previniendo así el riesgo de dañar tanto las infraestructuras existentes como el equipo perforador y evitar fallos en la perforación debido a la presencia de obstáculos o a las características del terreno.

En esta Recomendación se dan directrices sobre los requisitos de carácter general de las tres fases diferentes en que puede dividirse el trabajo de investigación: operaciones preliminares, investigación sobre el terreno y elaboración de mapas de instalaciones de servicios públicos.

Orígenes

La Recomendación UIT-T L.39, preparada por la Comisión de Estudio 6 (1997-2000) del UIT-T, fue aprobada por el procedimiento de la Resolución 1 de la CMNT el 12 de mayo de 2000.

PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Conferencia Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (CMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la CMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT no ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

© UIT 2001

Es propiedad. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse o utilizarse, de ninguna forma o por ningún medio, sea éste electrónico o mecánico, de fotocopia o de microfilm, sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

	Página
1 Alcance	1
2 Operaciones preliminares.....	1
3 Investigación en el terreno	1
3.1 Detección de objetos enterrados	2
3.2 Investigación del suelo.....	3
4 Producción de mapas de instalaciones de servicios públicos	7
Apéndice I – Métodos de investigación disponibles.....	8
I.1 Métodos de perforación	8
I.2 Sondeos y muestreos.....	9
I.3 Métodos de excavación para exploración.....	10
I.4 Exploraciones geofísicas.....	10

Recomendación UIT-T L.39

Investigación del suelo antes de utilizar las técnicas de tendido sin zanja

1 Alcance

La presente Recomendación:

- describe las operaciones preliminares, necesarias antes de efectuar una investigación directa en el terreno;
- describe las técnicas y métodos principales que se pueden aplicar para efectuar una investigación del suelo y asesora respecto a algunos procedimientos operativos;
- da directrices sobre cómo elaborar el mapa final de la zona investigada.

2 Operaciones preliminares

Tras la primera fase planificadora es fundamental obtener toda la información disponible sobre las instalaciones de servicios públicos existentes y la naturaleza del terreno en el lugar. Esta información es del tipo siguiente:

- reglamentaria/administrativa;
- tecnológica (por ejemplo, presencia de instalaciones de servicios públicos u otros obstáculos);
- geolitológica, hidrogeológica y geotécnica.

Se recomienda lo siguiente:

- consultar la documentación existente de que se disponga respecto a cualquier trabajo realizado en la zona (por ejemplo: sobre instalaciones de equipos de servicios públicos);
- acopiar toda la información de tipo administrativo sobre permisos, supervisión y prueba de instalaciones de servicios públicos existentes;
- ponerse en contacto con las oficinas técnicas de las autoridades locales para obtener informes geológicos y geotécnicos sobre los trabajos llevados a cabo en la zona;
- recabar de los organismos culturales o museos información arqueológica e histórica relacionada con el lugar de trabajo;
- ponerse en contacto con las compañías contratantes que han trabajado antes en el lugar para obtener una información más precisa, sobre todo en el caso de instalaciones de servicios públicos potencialmente peligrosas (por ejemplo, líneas de gas) o aquéllas de importancia pública (por ejemplo, la alimentación eléctrica de hospitales y teléfonos).

3 Investigación en el terreno

Para reducir al mínimo el riesgo de errores debidos a la utilización de mapas no actualizados o a las posibles diferencias entre planos "de proyecto" y planos "de instalación" debe efectuarse una investigación directa en el terreno.

A continuación se describen las técnicas disponibles para detectar objetos enterrados y llevar a cabo una investigación del suelo.

3.1 Detección de objetos enterrados

3.1.1 Radar penetrante en suelos (*GPR, ground penetrating radar*)

Además de localizar objetos en superficie, que es su utilización normal, el radar puede detectar discontinuidades por debajo del suelo. Una antena plana transmite una onda electromagnética desde el interior del terreno y la radiación retrodispersada es recibida por otra antena y procesada a continuación, para extraer la información relativa a objetos enterrados. Normalmente se detecta cualquier discontinuidad de las propiedades electromagnéticas del suelo (constante dieléctrica y conductividad). Los objetos a detectar se pueden clasificar de acuerdo con su geometría: superficies planas, objetos largos y delgados (cables y tuberías), objetos locales.

En el mercado se dispone de sistemas de radar por impulsos de banda ancha en el dominio del tiempo y se ofrecen normalmente con antenas de diversos tipos, adecuadas a la gama de sondeos deseados.

El grado de penetración del suelo está limitado por la atenuación de la señal: la penetración aumenta con longitudes de onda mayores, pero la resolución es mayor con longitudes de onda menores, por lo que la elección de la frecuencia resulta normalmente de un compromiso entre unas y otras. La profundidad a la que se efectúa la investigación está también estrictamente relacionada con la naturaleza del terreno: el radar penetrante en suelos (GPR), funciona mejor en suelos secos y granulares y es posible que no tenga una visión muy profunda a través de terrenos muy húmedos o densamente arcillosos.

En condiciones medioambientales normales se utilizarán antenas de frecuencias medias (400-600 MHz) para una profundidad de investigación de hasta 2 metros y antenas de bajas frecuencias (100-200 MHz) para alcanzar profundidades de investigación de hasta 3 metros.

La mayoría de las antenas tienen proyecciones de radiación relativamente pequeñas, lo que significa que una investigación rápida y de amplias zonas sólo es posible con sistemas de radar multicanal. Estos sistemas utilizan más de una antena, montadas sobre una estructura fija, que permite adquirir gran cantidad de datos en un tiempo relativamente breve, y hace así más fácil la interpretación final de los resultados del sondeo.

Sobre todo en zonas urbanas, se recomienda utilizar un sistema de radar multicanal, instalando una serie de antenas, para aumentar la probabilidad de detección de instalaciones de servicios públicos subterráneas y reducir la duración total de la investigación.

Para interpretar correctamente los datos del radar debería llevarse a cabo un procedimiento de calibración, ya que la calibración manual en el lugar de trabajo puede provocar la distorsión de la información, se recomienda acopiar localmente datos no calibrados y procesarlos a continuación utilizando algoritmos de calibración automática. De esta manera se evitan los errores de calibración en el lugar de trabajo, y el procedimiento de calibración automática subsiguiente se puede repetir si los resultados no fueran satisfactorios.

El sistema de captación de datos de los equipos GPR modernos incluye un computador personal conectado a las antenas montadas en un remolque, que permite maniobrar fácilmente. El operador tiene una visión inmediata de los datos captados en el terreno, lo cual puede ayudar a la interpretación final de los resultados.

Un punto fundamental de las operaciones en el terreno es la creación de un sistema de referencia en el entorno local al que los datos del radar deben referirse con exactitud para elaborar mapas precisos de las instalaciones de servicios públicos enterradas.

Es necesario por tanto definir en la zona de exploración una línea de referencia (línea cero), que se corresponda si es posible con una línea existente (por ejemplo, un muro, el borde de un pavimento, etc.) y represente uno de los dos ejes del sistema local de coordenadas, y un origen de los ejes (punto cero).

De este modo, cuando se sigan líneas de investigación a una distancia conocida con respecto a los ejes, se podrán referir de manera automática todos los perfiles de GPR con la posición pertinente de cada objeto detectado al sistema local de coordenadas.

Para determinar la posición de los perfiles de GPR con respecto al sistema local de coordenadas se utilizará un rodillo de búsqueda conectado directamente al remolque de GPR.

3.1.2 Localizadores de cables y tuberías

La mayoría de los localizadores funcionan detectando señales electromagnéticas generadas alrededor de cables "vivos", y pueden hacerlo a las diversas frecuencias que convienen a las líneas de electricidad y telecomunicación. Los localizadores de una tubería metálica se pueden utilizar como simples detectores de metales, pero es mejor utilizarlos junto con un transmisor que induzca una señal en la tubería que pueda ser recogida por un receptor.

Se dispone de sistemas que pueden seguir el recorrido de tuberías de hierro fundido y de otros metales a profundidades de hasta 10 m.

La localización de tuberías no metálicas es más difícil y sólo se puede efectuar si es posible empujar o arrastrar un pequeño transmisor a través de la tubería mientras se sigue la señal con un receptor en superficie. Para seguir el recorrido de tuberías no metálicas de gas o agua en servicio, se utilizarán los localizadores junto con un transmisor estándar unido a un bloque conector en el extremo posterior de un hilo semirrígido recubierto introducido en la tubería.

3.2 Investigación del suelo

Una investigación geológica, debido a su amplitud y, por tanto, a lo costosa que resulta, debería disponer del conocimiento bibliográfico pertinente que se tenga de la zona así como la información obtenida mediante una investigación en el terreno.

Los métodos utilizados para efectuar la investigación se pueden agrupar en dos clases: métodos directos y métodos geofísicos.

Las técnicas de investigación directa son sobre todo métodos de taladrado y excavación y sondeos mecánicos. Todos ellos se basan en la observación directa de muestras del suelo o en el resultado de pruebas mecánicas con las que se obtienen respuestas fiables sobre la naturaleza del suelo en las zonas cercanas a los puntos investigados.

En las exploraciones geofísicas pueden medirse algunos parámetros físicos, tales como resistencia eléctrica, magnetismo o velocidad de propagación de las ondas, mediante dispositivos sensores para interpretar las características del terreno. Efectúan una investigación no disruptiva y algunas de ellas además hacen posible la investigación de zonas extensas de manera continua.

Las exploraciones geofísicas aportan información sobre el perfil del lecho rocoso, permiten definir el límite de las zonas de suelo granular y de grandes depósitos orgánicos. Definen de manera general las condiciones por debajo de la superficie, incluida la profundidad de la capa de agua subterránea.

Sin embargo, la información obtenida con estos métodos tiene limitaciones y no cabe esperar que de ellos se deriven resultados fiables o útiles cualesquiera que sean las condiciones del subsuelo.

Para alcanzar un equilibrio conveniente entre la duración y el coste de la investigación, la fiabilidad de los resultados obtenidos y el impacto en el lugar de trabajo, se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- efectuar sondeos mecánicos o recoger muestras del suelo efectuando perforaciones en un número reducido de puntos a lo largo de la línea investigada y extrapolar los datos utilizando los resultados obtenidos de manera continua mediante la aplicación de un método apropiado;
- consultar con geólogos o técnicos expertos en suelos y con buenos conocimientos de las teorías geofísicas a fin de determinar la aplicabilidad de los procedimientos geofísicos a la zona investigada, de modo que se garantice una utilización óptima de las técnicas de investigación.

3.2.1 Métodos de investigación directa

Los sondeos tienen por lo general la ventaja de su rapidez y bajo coste en comparación con las perforaciones. Para obtener más información, se pueden efectuar varios sondeos en sustitución de una perforación. Además, los sondeos se pueden utilizar para obtener información adicional entre perforaciones con un coste mínimo cuando se haya demostrado que las condiciones del suelo, entre las perforaciones, son diferentes. Los sondeos son particularmente útiles si se llevan a cabo para obtener información sobre estratificaciones, información de la que normalmente no se dispondría sino hasta que se efectuaran nuevas perforaciones en una etapa posterior de la exploración.

Las excavaciones que son lo suficientemente grandes como para permitir la entrada de una o más personas representan uno de los medios más valiosos y fiables de exploración, ya que permiten un examen detallado de los materiales presentes en el subsuelo.

Se recomienda lo siguiente:

- utilizar sondas para efectuar el levantamiento cartográfico de los diferentes estratos del terreno durante las primeras etapas de la exploración, en las que el número de perforaciones que se pueden efectuar es reducido normalmente;
- integrar los resultados obtenidos mediante sondeos con otros datos para evitar resultados engañosos inducidos por la presencia de obstáculos locales (grava, piedras, raíces, etc.);
- limitar la aplicación de métodos de excavación a la perforación de los pozos necesarios para la utilización de técnicas de tendido sin zanja, a fin de reducir la obstrucción al tráfico y a los peatones en el lugar.

3.2.2 Métodos geofísicos

3.2.2.1 Método de la resistividad eléctrica

En las exploraciones del subsuelo se aplican dos formas de análisis de la resistividad, a saber, el sondeo eléctrico horizontal y el sondeo eléctrico vertical.

El sondeo eléctrico horizontal se lleva a cabo manteniendo distancia interelectródica constante a medida que los electrodos se desplazan a lo largo de una zona y se mide la resistividad para cada nueva ubicación de los mismos. Los datos obtenidos recorriendo una serie de itinerarios a lo largo de una zona determinada se pueden presentar en forma de contornos de igual resistividad. El sondeo eléctrico horizontal se utiliza para delimitar una zona de depósitos de suelo permeable, localizar planos de averías, y localizar superficies de contactos inclinados entre diferentes materiales.

Los sondeos eléctricos verticales se realizan manteniendo el centro del conjunto de electrodos en un lugar determinado y efectuando una serie de lecturas de la resistividad a medida que se aumenta la separación entre ellos. Al aumentar la distancia interelectródica, aumenta la profundidad del material

que hace aumentar la resistividad, y los cambios de ese material quedan reflejados en los valores de resistividad obtenidos. Los sondeos eléctricos verticales se utilizan para estimar la profundidad a que se hallan el lecho rocoso, la arena y la grava, o los estratos húmedos y para estimar el espesor de los mismos.

Se recomienda, por tanto, lo siguiente:

- establecer sondeos eléctricos horizontales para obtener información sobre variaciones laterales de los materiales del subsuelo;
- utilizar sondeos eléctricos verticales para obtener información sobre la variación de los materiales del subsuelo al aumentar la profundidad.

Una tecnología de reciente aparición aplica el método de la resistividad eléctrica utilizando unos dispositivos eléctricos formados por decenas o centenas de electrodos, separados algunas veces menos de 1 metro y dispuestos a lo largo de perfiles o en superficies. Dichos dispositivos proporcionan imágenes eléctricas del suelo, en secciones bidimensionales y también en planos a diversas profundidades, para obtener imágenes tridimensionales. El principio físico se basa en la medición de la resistividad eléctrica en corriente continua o por impulsos utilizando cuadripolos o bipolos cuyos espacios geométricos aumentan al aumentar la profundidad.

Para mejorar la calidad de la medida de la resistividad es necesario:

- utilizar corriente alterna con muy baja frecuencia para eliminar los efectos de la polarización y alcanzar mayores profundidades;
- utilizar la cobertura de múltiples puntos de medida para mejorar la relación señal/ruido;
- utilizar programas de soporte lógico, científico y comercial, que permitan un buen tratamiento de los datos en bruto.

Las principales desventajas del método son:

- la necesidad de implantar muchos electrodos en el suelo;
- el gran número de operarios que hacen falta para actuar rápidamente en el terreno.

Por estos motivos se prefiere utilizar este modo en zonas rurales sobre todo, limitando su aplicación cuando se trate de zonas urbanas y suburbanas.

Además, para obtener unos datos fiables, se utilizarán, por lo general, los métodos de la resistividad eléctrica junto con la realización de perforaciones.

3.2.2.2 Sistema electromagnético

Estos sistemas miden la tensión inducida entre los electrodos de un multipolo cuando se inyecta una corriente en el suelo.

Puesto que se aplican métodos inductivos, estos sistemas no necesitan electrodos introducidos en el terreno, por lo que se pueden investigar perfiles de varios kilómetros cada día. Se utilizarán los métodos donde haga falta una respuesta rápida para el establecimiento de mapas o perfiles en los que las variaciones de la resistividad eléctrica se atribuyen a variaciones litológicas, contenidos de agua, etc., tanto en la dirección vertical como en la horizontal.

3.2.2.3 Reflexión sísmica poco profunda de alta resolución

La exploración mediante reflexión sísmica es una técnica utilizada para detectar los límites de estratos continuos subterráneos. Las ondas sísmicas se generan artificialmente en superficie y las ondas reflejadas generadas por los cambios de impedancia acústica (por ejemplo, en los límites de un estrato) se miden utilizando múltiples geófonos situados sobre el suelo y, finalmente, se procesan.

La técnica a la que se refiere el párrafo anterior ha sido desarrollada en el campo de la exploración de recursos energéticos, tales como el petróleo y el carbón, y permite efectuar investigaciones del suelo hasta miles de metros de profundidad. Para efectuar una investigación del suelo a poca profundidad (hasta 10 m) antes de utilizar técnicas de tendido sin zanja se necesita un equipo especial y técnicas de tratamiento. Además, sobre todo en los entornos urbanos, es preciso reducir la dimensión global del equipo, para disminuir la obstrucción que pudiera tener el tráfico en el lugar.

Se recomienda:

- utilizar ondas longitudinales (en vez de ondas transversales), que son más eficaces en exploraciones poco profundas, ya que se desplazan a través del suelo más lentamente que las ondas transversales. De esta manera, a la misma frecuencia tienen una longitud de onda más corta y las señales reflejadas tienen por consiguiente mejor resolución;
- utilizar una máquina generadora de ondas sísmicas capaz de generar repetidamente ondas longitudinales estables.

Además, en entornos urbanos se debe utilizar una serie de geófonos instalados sobre una base metálica que se puedan desplazar simultáneamente, para no tener que introducirlos en el suelo y reducir así la duración de los trabajos.

3.2.2.4 Radar penetrante en suelos

Además de para localizar discontinuidades en el subsuelo, el GPR se puede utilizar también para detectar las características del mismo. La retrodispersión electromagnética del suelo se procesa para obtener de ella la información correspondiente a las características del subsuelo: su conductividad, su contenido en agua y su granulometría.

La información relativa al suelo se puede obtener analizando la característica electromagnética de la respuesta del mismo. La eficacia del análisis aumenta con el radar con multifrecuencia y multipolarización.

Se recomienda por tanto efectuar investigaciones con multifrecuencia utilizando antenas de frecuencias medias (400-600 MHz) y antenas de bajas frecuencias (100-200 MHz), e investigaciones con multipolarización captando datos de radar copolares y de polarización cruzada.

Para deducir las características del suelo se deberían utilizar datos con multifrecuencia y multipolarización; por ello, todos los datos se deberían captar simultáneamente para garantizar que corresponden al mismo volumen de suelo.

Se utilizará un sistema de radar multicanal, instalando una serie de antenas, para hacer posible la captación simultánea de datos con multifrecuencia y multipolarización reduciendo así el tiempo total.

Las investigaciones con multifrecuencia y multipolarización de radar permitirán producir perfiles continuos de las características del suelo. La calibración de esa información mediante muestras mejora la calidad de los resultados.

Se recomienda por tanto:

- calibrar los datos de radar mediante muestras de núcleo, mejorando así la fiabilidad de los resultados de la investigación.

3.2.2.5 Investigación de las aguas subterráneas

Las investigaciones de las aguas subterráneas son de dos tipos: las que tratan de hallar el nivel y la fuente de la capa freática y las que tienen por objeto determinar la permeabilidad de los materiales del subsuelo. El primer tipo incluye las mediciones para determinar la profundidad a la que se encuentra la superficie de la capa freática (masa de agua potable) y su variación estacional a lo largo del año, la ubicación de las masas de agua, la localización de los acuíferos y la presencia de fuentes artesianas. Los niveles y las fuentes del agua se pueden medir en pozos existentes, en pozos de sondeo y en pozos de observación efectuados a propósito.

Se debería llevar a cabo una investigación para determinar la profundidad a la que se encuentra la superficie de la capa freática, sobre todo si, de acuerdo con la documentación existente o los sondeos previos, cabe considerar que un recorrido propuesto de la perforación tendría que estar a una profundidad mayor que la de la masa de agua.

4 Producción de mapas de instalaciones de servicios públicos

Una de las tareas más importantes en las investigaciones del suelo para la detección de instalaciones subterráneas de servicios públicos consiste en la producción de mapas que puedan ser utilizados fácilmente por los operarios que tengan que efectuar un trabajo de instalación o mantenimiento en el lugar.

El informe final dará los detalles de las características del suelo según lo requerido por el utilizador.

Se debería dibujar el mapa final indicando la posición de las instalaciones de servicios públicos detectadas con respecto al mismo sistema de coordenadas adoptado en el terreno, para que se facilite la correlación entre el mapa y el entorno local.

Es necesario también indicar en el mapa todas las instalaciones de servicios públicos potencialmente peligrosas (por ejemplo, las conducciones de gas) o aquéllas de importancia pública (por ejemplo, las de alimentación de potencia de los hospitales y las líneas telefónicas).

El programa informático de procesamiento posterior de algunos de los modernos sistemas de GPR facilita el establecimiento de un enlace con una estación de diseño asistido por computador (CAD, *computer aid design*) para transferir directamente a un mapa digital la información correspondiente a la posición y profundidad de las instalaciones de servicios públicos subterráneas detectadas.

Cuando se disponga de la representación cartográfica digital de la zona investigada se debería integrar la información correspondiente a la posición de las instalaciones de servicios públicos detectadas con la cartografía existente actualizándola directamente.

Lo anterior es muy importante, sobre todo en los entornos urbanos en los que el subsuelo está congestionado algunas veces por la presencia de instalaciones de servicios públicos de diversos tipos.

A veces, debido a los obstáculos existentes o por las condiciones del tráfico, no se pueden investigar uno o más tramos del lugar pretendido. Para evitar riesgos, el usuario final del mapa de los servicios públicos debería estar al corriente de esa falta de información.

Por ello, es necesario indicar las zonas que no se investigaron en el mapa de la zona investigada. Es posible hacerlo mediante la obtención de la información directamente a partir de los datos del radar si el GPR se une directamente a la estación CAD.

Métodos de investigación disponibles

I.1 Métodos de perforación

Una perforación puede definirse como el resultado de taladrar un agujero vertical, inclinado u horizontal en el terreno con el objetivo fundamental de obtener muestras del material de recubrimiento o de los materiales rocosos presentes y permitir así la determinación de la estratografía y/o las propiedades desde el punto de vista de la ingeniería civil de esos materiales. Además, el agujero se puede utilizar para la determinación local de propiedades, tales como la permeabilidad y la tensión tangencial, la determinación de la presión lateral del terreno, la observación de las fluctuaciones del nivel de la capa freática, la determinación de las presiones del agua intersticial utilizando piezómetros insertados en los agujeros y la medición de las deformaciones mediante la instalación de unos dispositivos denominados extensómetros.

El procedimiento seguido para hacer perforaciones exploratorias consta de dos operaciones básicas:

- 1) el avance del agujero hasta la profundidad a la que se han de obtener las muestras; y
- 2) la toma de muestras del suelo o de la roca.

La variedad de materiales encontrados y la necesidad de muestras para diversos fines ha dado lugar al desarrollo de un gran número de técnicas y tipos de equipos diferentes. Los métodos para hacer avanzar el agujero se clasifican de acuerdo con la manera según la cual se eliminan los materiales. Entre las técnicas empleadas comúnmente figuran la de desplazamiento, el muestreo continuo, la excavación por barrenado, la perforación con inyección de agua, el taladrado por percusión, el taladrado rotatorio y el taladrado mediante martillo de empuje. Las técnicas de muestreo del suelo se clasifican, en general, de acuerdo con la configuración mecánica del dispositivo de toma de muestras y/o el nombre de su diseñador. Los dispositivos de toma de muestras utilizados habitualmente son la espiral, los cangilones, las barrenas de fuste hueco, los sacamuestras de tubo continuo y tubo discontinuo, los sacamuestras de tubo de Shelby, los sacamuestras de rocas de un solo tubo y de dos tubos con trépanos de diamante o carburo, las barrenas sacamuestras con trépanos y otros.

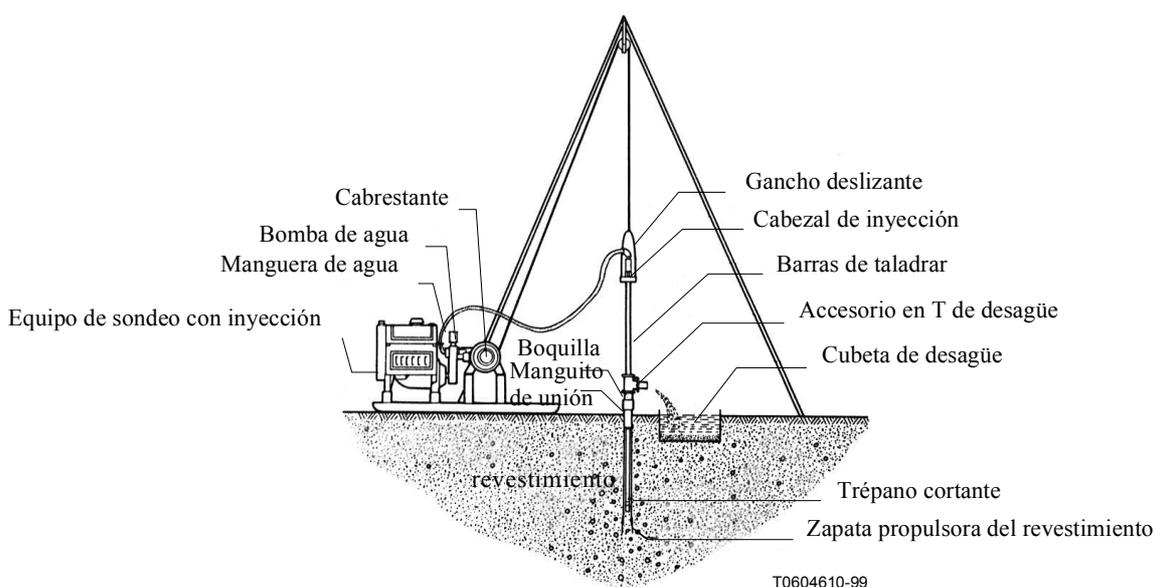


Figura I.1/L.39 – Esquema de método de perforación (perforación con inyección de agua)

La maquinaria utilizada para hacer avanzar el agujero y tomar muestras (véase la figura I.1), a la que frecuentemente se denomina perforadora, consta por lo general de un motor, una bomba de agua o compresor de aire, un cabrestante con trípode, y un bastidor de cuatro patas con un mástil o grúa. El motor proporciona la potencia con la que se acciona el martillo que hace avanzar el revestimiento y se hace girar un cabrestante que sirve para subir o bajar el equipo de perforación y de toma de muestras. Además, aporta el movimiento rotativo con el que se hacen girar las barrenas o el equipo de trépanos y permite hacer presión en sentido descendente para introducir los sacamuestras en el terreno. La bomba de agua o el compresor de aire proporcionan el agua o el aire a presión para eliminar de los desbastes y refrigerar los trépanos rotatorios. Con un cabrestante se suben o bajan las herramientas perforadoras y el revestimiento.

La unidad seleccionada dependerá de la disponibilidad de equipos perforadores específicos, del lugar en donde se lleve a cabo el trabajo, de los materiales que se han de penetrar, del tipo de muestreo, del tamaño y la profundidad del agujero y del método de penetración.

I.2 Sondeos y muestreos

Los términos sondeo y muestreo se utilizan de manera sinónima para representar el método de exploración en el que se hace penetrar una barra en depósitos de material de recubrimiento aplicándole cargas dinámicas o estáticas y con el que se obtiene un registro continuo o semicontinuo de la resistencia a la penetración. La resistencia a la penetración se utiliza para señalar los cambios de materiales, y se correlaciona con las diversas propiedades del suelo.

En su forma más sencilla, el aparato utilizado para efectuar sondeos consta de una punta cónica montada en una barra de acero, que se denomina penetrómetro cónico (véase la figura I.2). Los sondeos consisten en empujar o dirigir la punta introduciéndola en la tierra y registrar la presión necesaria para alcanzar una determinada penetración o el número de percusiones requerido para impulsar la punta con un peso de martillo y una altura de caída determinados.

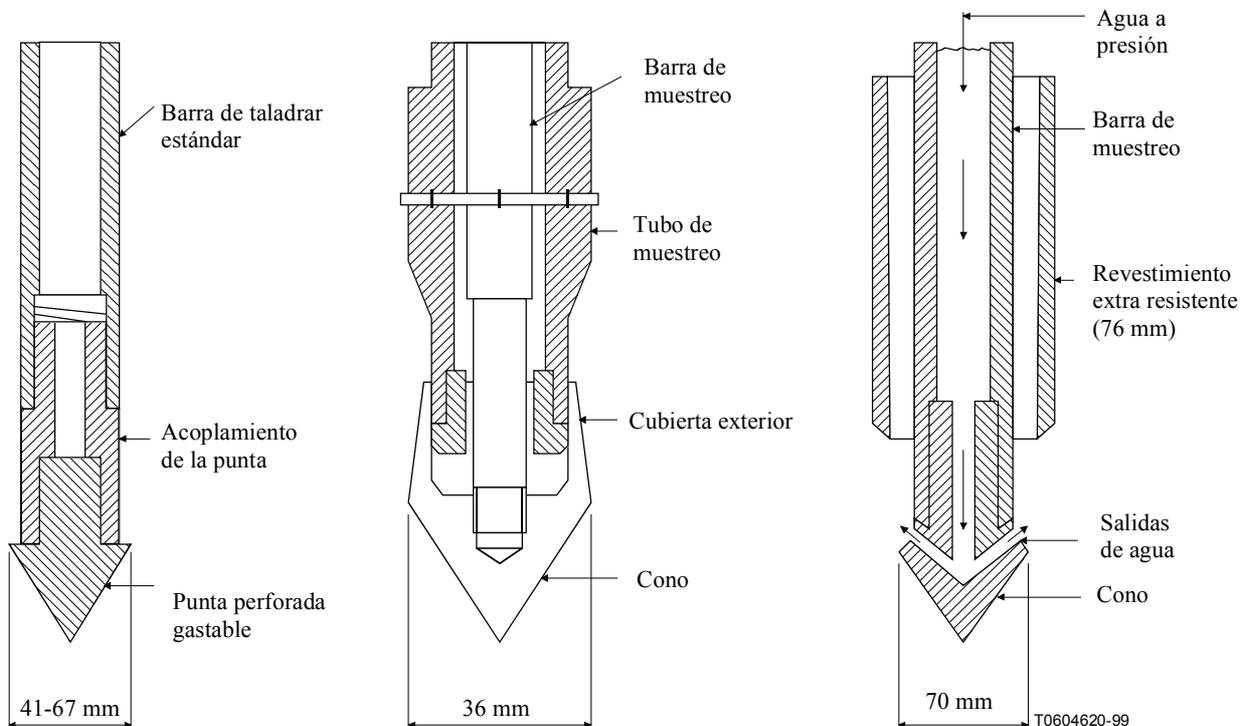


Figura I.2/L.39 – Ejemplos de penetrómetros cónicos

Los sondeos sirven sobre todo para efectuar el levantamiento cartográfico de los estratos del suelo durante las primeras etapas de la exploración, en las que el número de perforaciones que se pueden hacer es reducido normalmente. Por lo general, tienen la ventaja de su rapidez y bajo coste en comparación con las perforaciones. Para obtener más información, se pueden efectuar varios sondeos en sustitución de una perforación. Además, los sondeos se pueden utilizar para obtener información adicional entre perforaciones con un coste mínimo una vez que se haya demostrado que las condiciones del suelo, entre las perforaciones, son diferentes. Los sondeos son particularmente útiles cuando se llevan a cabo para obtener informaciones sobre estratificaciones de la que normalmente no se dispondría sino hasta que se efectuaran nuevas perforaciones en una etapa posterior de la exploración.

De todos modos, con los sondeos no se pueden obtener muestras o bien sólo se obtienen muestras por inyección de agua, por lo que no es posible identificar los estratos de manera definitiva haciendo sondeos únicamente. Además, hay que tener en cuenta la posibilidad de que los resultados obtenidos sean engañosos por la presencia de gravas o piedras erráticas o maderas dentro de los estratos del suelo. La interpretación de los resultados obtenidos mediante sondeos requiere por ello un alto grado de experiencia, sobre todo cuando se pretende establecer una correlación entre la resistencia a la penetración y las propiedades de los suelos desde el punto de vista de la ingeniería civil.

I.3 Métodos de excavación para exploración

Las excavaciones con un tamaño suficiente como para permitir la entrada de una o más personas representan uno de los medios más valiosos y fiables de exploración, ya que permiten un examen detallado de los materiales presentes en el subsuelo. Sirven además para obtener muestras de gran tamaño de los materiales encontrados.

Los pozos de prueba y las zanjas se pueden excavar a mano o mediante equipos motorizados, tales como máquinas zanjadoras, retroexcavadoras, explanadoras y otros tipos de excavadoras para la construcción. También se pueden utilizar equipos de perforación especiales, por ejemplo, dragas excavadoras de cangilones de gran tamaño. Los equipos motorizados tienen una limitación, a saber, que no se pueden utilizar muy cerca de los lugares de los que se pretende extraer muestras no alteradas.

El tamaño de la excavación dependerá sobre todo del espacio requerido para que la exploración se lleve a cabo de manera eficaz y también de limitaciones de tipo económico. Los pozos de prueba tienen normalmente una sección transversal cuadrada de 1 a 3 m de lado o bien circular de 1 a 3 m de diámetro. Las zanjas de prueba suelen tener una anchura de 1 a 2 m y su longitud se puede prolongar tanto como haga falta para poner de manifiesto las condiciones del terreno a lo largo de una línea determinada. Por lo general, las zanjas de prueba son relativamente poco profundas mientras que los pozos de prueba pueden alcanzar mayores profundidades. Lo normal, no obstante, es reducir la profundidad de los pozos de prueba al mínimo por lo costosa que resulta su construcción.

I.4 Exploraciones geofísicas

I.4.1 Métodos sísmicos

Los métodos sísmicos se basan en el hecho de que las ondas de choque se desplazan a velocidades diferentes a través de materiales de tipo diferentes. Puesto que la velocidad de propagación de la onda depende de muchos factores, por ejemplo, la densidad, la humedad, la textura, los espacios vacíos y las constantes de elasticidad, se pueden determinar la naturaleza y la estratificación de los materiales del subsuelo. No obstante, la mayoría de dichos materiales no son homogéneos y son anisótropos, lo que hace que el análisis de los datos de exploración sísmica resulte un tanto complejo.

En las exploraciones sísmicas, se producen impulsos artificiales mediante explosiones o bien introduciendo perturbaciones por vibración o de carácter mecánico o naturaleza eléctrica, o de otro tipo en la superficie del suelo o a poca profundidad dentro de un agujero. Estos choques artificiales generan tres tipos de onda, a saber, de compresión, transversales y de superficie, si bien, por lo general, sólo se observan las ondas de compresión. Estas últimas se clasifican en ondas directas, reflejadas, o refractadas. Las ondas directas se desplazan siguiendo aproximadamente líneas rectas desde el origen del impulso a la superficie. Las ondas reflejadas o refractadas experimentan un cambio de dirección de la propagación cuando encuentran una frontera separadora de medios de velocidad sísmica diferente. Las ondas que retroceden al encontrar ese límite se llaman ondas reflejadas y las que experimentan un cambio o un desvío en su dirección de propagación se dice que son ondas refractadas. Los métodos sísmicos de refracción y reflexión se utilizan sobre todo para el establecimiento de perfiles del subsuelo en exploraciones relacionadas con la ingeniería civil. De esos métodos, el de refracción es el utilizado más frecuentemente a efectos de ingeniería, ya que los métodos de reflexión sólo proporcionan información sobre materiales del subsuelo a profundidades superiores a unos 150 m por debajo de la superficie.

Cuando se explora un estrato del suelo muy poco profundo (hasta 10 metros) en zonas urbanas, es necesario tener en cuenta los problemas relacionados con la interferencia entre las ondas reflejadas y la superficie así como las ondas directas, lo que aumenta la dificultad del procesamiento de los datos obtenidos.

Se han desarrollado técnicas especiales para detectar fronteras separadoras entre estratos poco profundos, basadas en la reflexión de las ondas longitudinales. La longitud de las ondas longitudinales es menor que la de las ondas transversales de la misma frecuencia, lo que permite una mejor resolución. Además, las ondas transversales son influidas por las aguas subterráneas y muestran un contraste de velocidad menor en estratos situados por debajo de la superficie de las aguas subterráneas, mientras que las ondas longitudinales no resultan afectadas por las masas de agua.

Las máquinas generadoras de impulsos sísmicos, que provocan ondas longitudinales, utilizan normalmente el método de percusión de tablas. Este método consiste en situar un objeto pesado sobre un tablero y aplicar a continuación manualmente una fuerza percutora en un lado del mismo para generar ondas longitudinales debidas a la fuerza de fricción resultante. Ahora bien, los tableros han de ser golpeados directamente por los operarios, por lo que se necesita gran cantidad de mano de obra y no se pueden producir ondas estables de forma repetida. Además, el sonido generado por la percusión de los tableros puede ser muy molesto, lo que impide aplicar este método en zonas urbanas.

Recientemente se han puesto a punto máquinas generadoras de impulsos sísmicos diseñadas para su utilización en entornos urbanos. Generan ondas longitudinales levantando un martillo con un cilindro neumático y dejándolo caer libremente para que golpee los tableros. El principio es el mismo que el del método general de percusión de tableros, pero permite golpear repetidamente con la misma energía. Este generador de impulsos sísmicos puede producir ondas longitudinales capaces de explorar profundidades de hasta 15 metros.

Anteriormente se hacían las mediciones clavando piquetes con geófonos directamente en la tierra, pero ello sólo era posible en zonas despobladas, por ejemplo, lugares montañosos y llanuras. No son muchos los sitios de zonas urbanas pavimentadas en los que se pueden clavar piquetes; por ello, se han desarrollado nuevos sistemas. Se han diseñado plataformas de aluminio, que se instalan fácilmente en la superficie del terreno y se pueden desplazar con igual facilidad: el peso de la plataforma produce una fuerza de fricción con la superficie del suelo, que permite detectar las vibraciones subterráneas.

Los métodos sísmicos se pueden utilizar en el modo superficie, el modo agujero descendente o el modo agujero transversal. En el modo agujero descendente, el transmisor y el receptor están instalados sobre la misma sonda separados verticalmente por una distancia conocida. En el modo agujero transversal, el receptor se sitúa en una taladro de sondeo mientras que el transmisor se sitúa en otro agujero que puede ser "visto" acústicamente desde el agujero del receptor.

Además de para establecer los perfiles del subsuelo, los métodos sísmicos se pueden utilizar para determinar las propiedades desde el punto de vista de la ingeniería civil del suelo y las rocas, calcular localmente la velocidad de las ondas de compresión y, a veces, la de las ondas transversales.

I.4.2 Método de la resistividad eléctrica

El método de la resistividad eléctrica para la exploración del subsuelo se basa en el hecho de que materiales diferentes ofrecen una resistencia diferente al paso de la corriente eléctrica. De este modo, determinando variaciones verticales y laterales de dicha resistencia es posible inferir la estratificación y la extensión lateral de los depósitos por debajo de la superficie. En este método, la resistencia al paso de la corriente se determina midiendo la resistencia específica de los materiales, que se define como la resistencia en ohmios entre caras opuestas de un cubo unidad del material (véase la figura I.3). En los suelos, la resistividad de las partículas es alta; de manera similar, la resistividad del agua subterránea, si es pura, también es alta. Por tanto, si ha de circular una corriente a través de una masa de suelo, dicha circulación será casi exclusivamente consecuencia de la acción electrolítica debida a la presencia de sales disueltas en el agua subterránea. La resistividad de un suelo depende principalmente, por tanto, del contenido de humedad y de la concentración de sales disueltas. También influyen en ella el índice de huecos, el tamaño de las partículas, la estratificación y la temperatura. En rocas distintas de depósitos mineralizados, la resistividad depende sobre todo, de manera similar, del contenido de humedad y de la concentración de sales disueltas en el agua subterránea. También influyen en ella la porosidad, el buzamiento y el rumbo, la consistencia y la temperatura de los estratos.

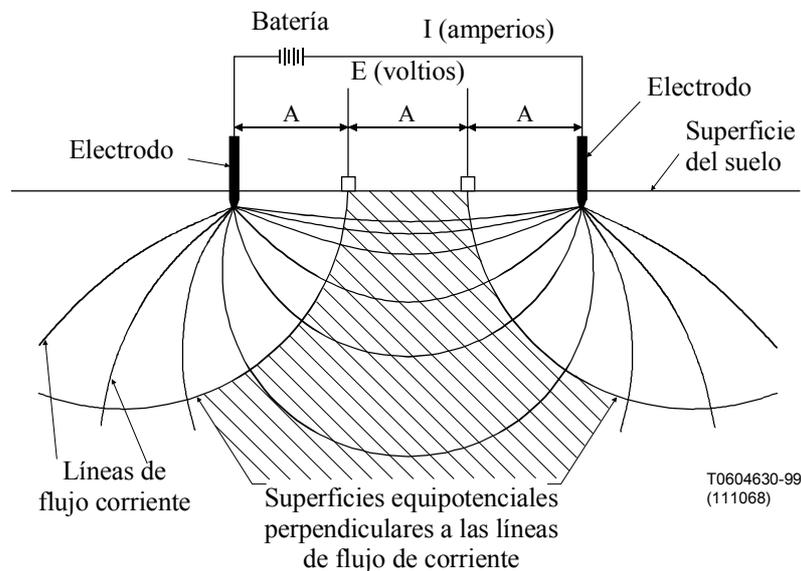


Figura I.3/L.39 – Método de la resistividad eléctrica

Para obtener datos fiables se ha de utilizar el método de la resistividad eléctrica junto con las perforaciones. Por lo general, este método no es tan preciso ni fiable como el método sísmico. Sin embargo, es un procedimiento de exploración más rápido y más económico. El equipo requerido tiene un coste inicial bajo y es totalmente portátil.

I.4.3 Radar penetrante en suelos

Las exploraciones de las condiciones del subsuelo mediante sistemas de radar por impulsos, denominado radar penetrante en suelos (GPR, *ground penetrating radar*), o alternativamente, el establecimiento por medios electromagnéticos de los perfiles del subsuelo (ESP, *electromagnetic subsurface profiling*) o el radar de superficies interfaciales del subsuelo (SIR, *subsurface interface radar*), se han aplicado de manera satisfactoria en el campo de la ingeniería civil. Estos métodos han sido utilizados para muchos fines, entre los que figuran el establecimiento de perfiles continuos de los estratos entre perforaciones, el establecimiento de perfiles de la superficie de lechos rocosos y de masas de agua subterránea, la detección de oquedades en el suelo y en las rocas, así como dentro, y por debajo, de los pavimentos, la localización de instalaciones de servicios públicos y objetos enterrados, la detección de agujeros en revestimientos de arcilla y la localización de barras de refuerzo en los pavimentos. Al igual que ocurre con otros métodos de exploración geofísica, es necesario efectuar perforaciones a efectos de correlación y calibración cuando la técnica se utiliza para precisar las condiciones del subsuelo. Son métodos que requieren la colaboración de un especialista para interpretar los datos geofísicos en términos propios de la ingeniería.

Estos métodos consisten en la radiación de impulsos electromagnéticos repetitivos hacia el interior del terreno desde la superficie, y el registro del tiempo que tarda en recibirse los impulsos reflejados desde la superficie del terreno y desde las discontinuidades del perfil del subsuelo. La duración de los impulsos reflejados se utiliza para determinar la profundidad de las discontinuidades y efectuar un diseño de las mismas. La reflexión de las señales de radar se debe a las diferencias de conductividad de los materiales a través de los cuales pasa la señal y a las constantes dieléctricas relativas de los materiales penetrados.

El equipo empleado en las investigaciones con radar penetrante en suelos incluye un generador de impulsos de radar, antenas de baja y alta frecuencia utilizadas para transmitir la señal de radar aplicada y recibir las señales reflejadas, un trazador de gráficos y un computador portátil. Las antenas de alta frecuencia (300 a 900 MHz) producen una resolución mayor de los detalles a niveles no muy profundos, mientras que con las antenas de baja frecuencia (80 a 120 MHz) se consigue una penetración mayor pero con menos resolución. Objetos con un tamaño inferior a 3 cm pueden ser detectados a una profundidad de 1 m con la antena de 900 MHz y se puede obtener una penetración de hasta 20 m con una resolución de aproximadamente 1 m con antenas de 80 a 120 MHz.

Las señales del GPR penetran revestimientos de cloruro de polivinilo, o bien petróleo o agua, pero resultan muy atenuadas por el acero, una suspensión bentonítica de gran concentración o aguas saladas.

Recientemente se han desarrollado sistemas de radar de nuevo diseño a fin de mejorar la fiabilidad de los resultados de la investigación y reducir el tiempo necesario para efectuar el levantamiento de planos. Las características principales de estos sistemas son como sigue:

- constan de una serie de múltiples antenas multicanales;
- son instrumentos poderosos de procesamiento posterior;
- tienen conexión directa con los sistemas de diseño con ayuda de computador (CAD, *computer aided design*) y con el sistema de información geográfica (GIS, *geographical information system*).

La "formación de radares" está constituida por varias antenas que funcionan simultáneamente, y permite un notable aumento de la probabilidad de detección de instalaciones de servicios públicos u otras presencias subterráneas. Estos sistemas pueden adquirir varios canales de radar diferentes, que pueden ser monoestáticos, biestáticos, copolarizados y de polarización cruzada, haciendo posible así que la configuración se adapte a los diferentes requisitos de las aplicaciones. Además, la arquitectura de la serie de antenas permite obtener una visión tridimensional del terreno (véase la figura I.4).

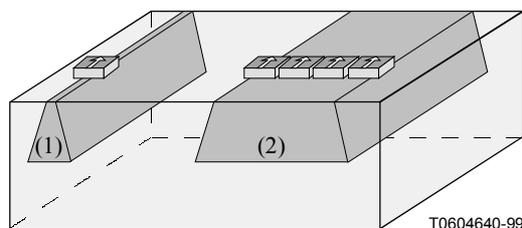


Figura I.4/L.39 – Comparación entre: 1) una visión bidimensional (una sola antena) y 2) una visión tridimensional (serie de antenas)

Con la técnica descrita se obtiene lo siguiente:

- un grupo de secciones de radar paralelas (verticales) (véase la figura I.5), en donde los objetos detectados están representados con una geometría deformada;
- una visión de radar planimétrica (horizontal) de capas del subsuelo (véase la figura I.6), en donde aparece reconstruida la geometría real del objeto detectado.

Este segundo tipo de representación, útil para una visión rápida y sintética del lugar, es posible gracias a la utilización de una serie de antenas.

Algunos sistemas de radar permiten transferir automáticamente la información relativa a instalaciones de servicios públicos y otros objetos enterrados a un entorno CAD, que produce el mapa final del lugar investigado.

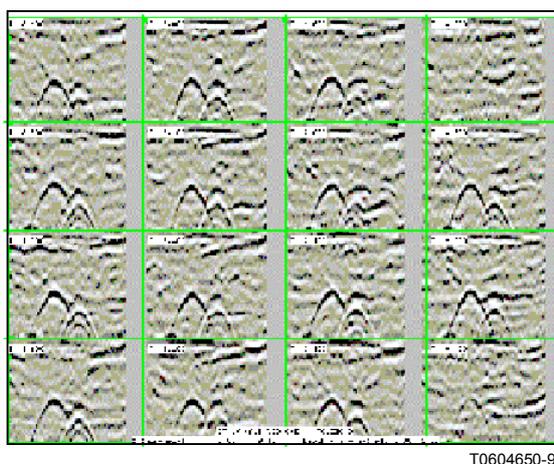


Figura I.5/L.39 – Representación de secciones múltiples de radar

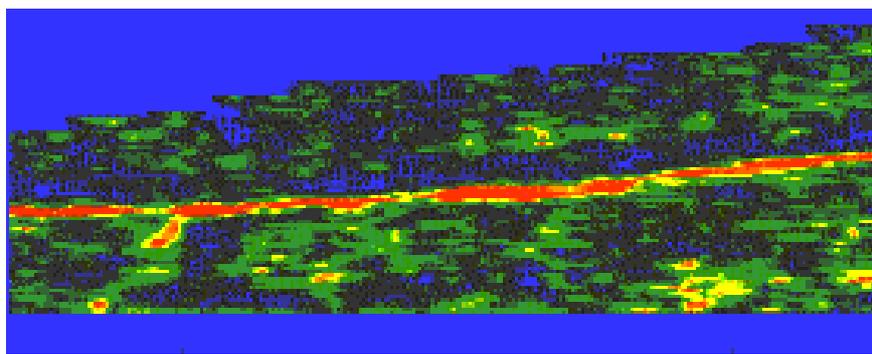


Figura I.6/L.39 – Visión planimétrica de una tubería

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie B	Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación
Serie C	Estadísticas generales de telecomunicaciones
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedios
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Transmisiones de señales radiofónicas, de televisión y de otras señales multimedios
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	RGT y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos
Serie Y	Infraestructura mundial de la información y aspectos del protocolo Internet
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación