

**ANEJO V – GEOLOGÍA Y GEOTÉCNIA**

**INDICE**

1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	3
1.2. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	3
2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA.....	3
3. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....	4
3.1. EVOLUCIÓN DE LA CUENCA.....	4
4. GEOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	4
4.1. ESTRATIGRAFÍA.....	4
4.2. ESTRUCTURA GEOLÓGICA.....	5
5. NIVEL FREÁTICO DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	5
6. PREPARACIÓN DE LA CAMPAÑA GEOTÉCNICA.....	5
6.1. CALICATAS MECÁNICAS.....	6
6.2. SONDEOS A ROTACIÓN CON EXTRACCIÓN CONTINUA DE TESTIGO.....	6
6.3. ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (S.P.T.).....	6
6.4. ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA CONTINUA.....	7
6.5. MEDIDAS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA EN SUPERFICIE.....	7

## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal del presente estudio es la descripción geológico - geotécnica de los materiales afectados por el Proyecto de Conducción en Alta de Agua Tratada para el Abastecimiento de Hinojos (Huelva) entre Almonte e Hinojos. Dentro de este estudio se determinarán los siguientes aspectos (desde una perspectiva general):

- Descripción geológica de los materiales afectados por las obras a proyectar.
- Definición de las características geotécnicas y resumen de las características mecánicas de los materiales afectados por la red de abastecimiento.
- Propuesta de campaña geotécnica.

### 1.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Para la realización del presente estudio geológico – geotécnico se ha contado con la siguiente documentación bibliográfica:

- Mapa Geológico de España (E=1:50.000), Hoja nº 1001, Almonte, editado por el I.G.M.E

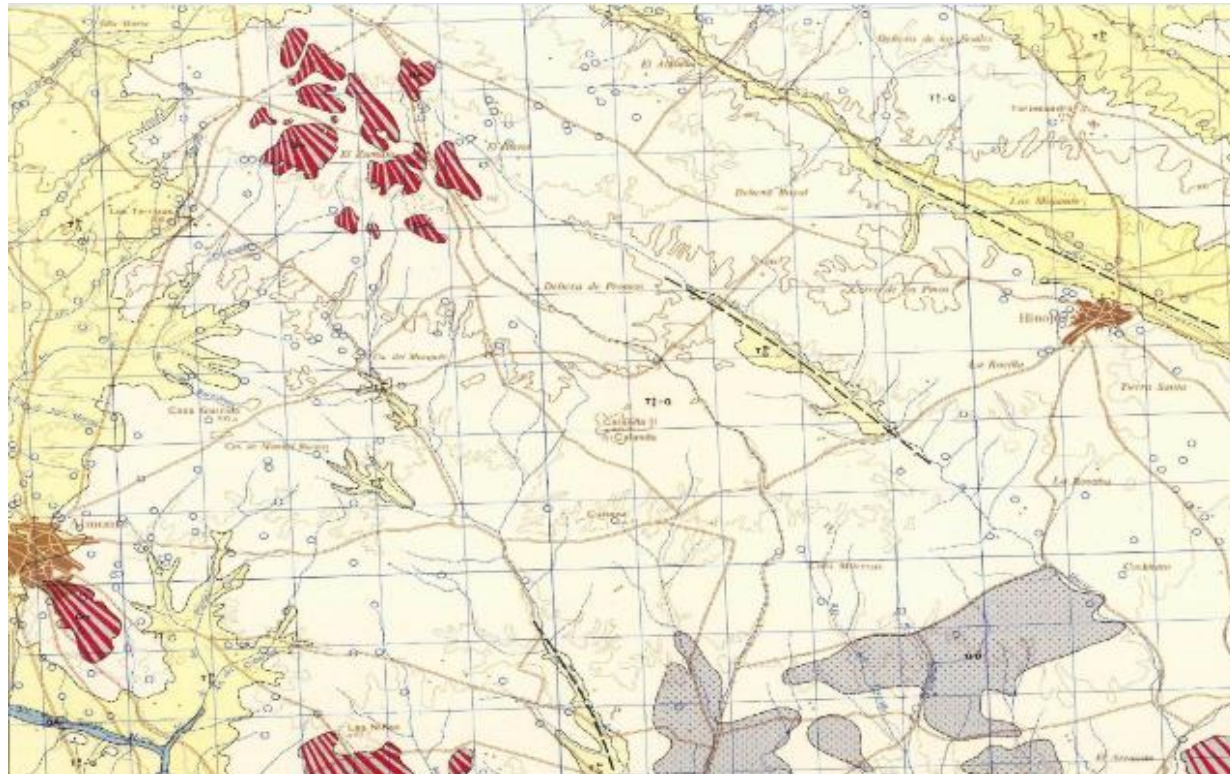


Figura 23- Mapa Geológico Zona El Condado (Huelva)

### LEYENDA

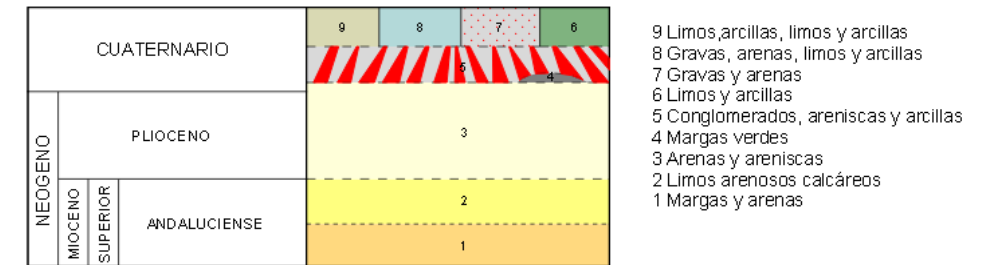


Figura 24- Leyenda Mapa Geológico Zona El Condado (Huelva)

### 1.2. METODOLOGÍA DE TRABAJO.

Para llevar a cabo el estudio geológico se han realizado los siguientes trabajos:

- Recorrido del terreno con la finalidad de comprobar en el campo la información recogida en la bibliografía y cartografía consultadas.
- Análisis de la zona afectada describiendo los diferentes aspectos geológicos, geomorfológicos y estructurales de los materiales.
- Recopilación de ensayos de campo y laboratorio con el fin de definir unos parámetros geotécnicos para las unidades afectadas:
  - Evaluar las características de estabilidad de las paredes de excavación en zanja.
  - Definir la compacidad de los terrenos granulares y la consistencia de los terrenos cohesivos, así como los otros parámetros geotécnicos de influencia para la obra.
- Propuesta de campaña geotécnica, con respectivos ensayos de laboratorio, necesaria para la comprobación de los parámetros geotécnicos propuestos en este documento:
  - Corroborar los resultados obtenidos en los ensayos “de campo”.
  - Definir las características físicas y químicas de los materiales y de las aguas subterráneas.
  - Obtener aquellos parámetros y propiedades que no pueden obtenerse “in situ”.

## 2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El área que abarca este estudio se encuentra comprendida entre los municipios de Almonte e Hinojos, situados en la provincia de Huelva, en la comarca del Condado.

Se trata de una zona situada en la zona denominada Preparque, bordeando el Parque Nacional de Doñana.

### 3. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La zona objeto de este estudio se localiza en el extremo occidental de la Depresión del Guadalquivir, una de las principales cuencas originadas tras la formación de las Cordilleras Béticas durante la orogenia Alpina. En la figura siguiente se muestra un esquema general, donde se pueden apreciar con cierto detalle donde se sitúa la zona citada.

Los materiales que sirven de relleno a la Depresión del Guadalquivir muestran una altísima variabilidad de facies, controladas por la morfología del fondo de la cuenca y del sector considerado. No obstante, dentro de la cuenca es posible distinguir dos grandes subdominios, separados tectónicamente y diferenciados por el origen de los materiales que los forman: series alóctonas (proceden de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas y su naturaleza litológica es muy variada, englobando materiales que van desde el Triásico hasta el Mioceno inferior) y series autóctonas.

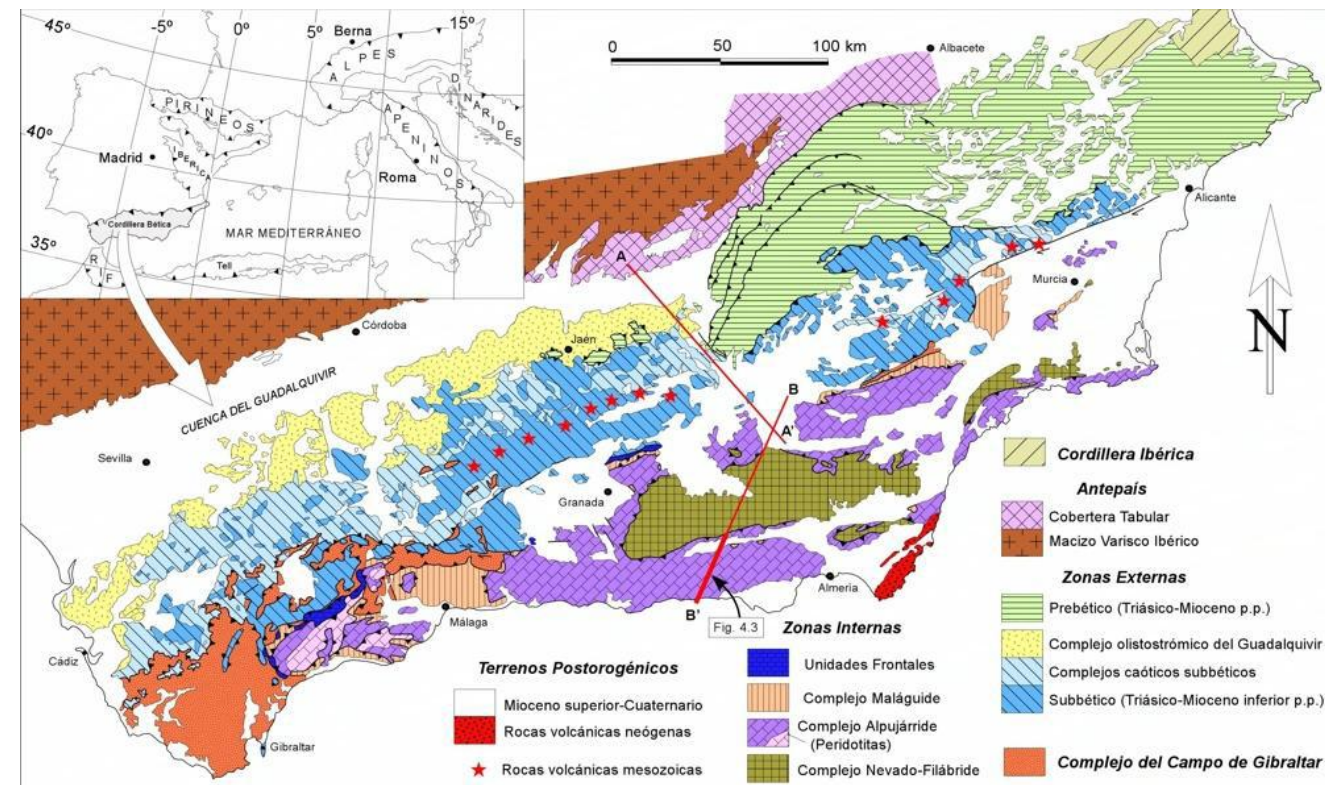


Figura 25- Esquema geológico de la Cuenca del Guadalquivir.

La serie autóctona de la Depresión del Guadalquivir rellena una fosa profunda que se colmata con sedimentos terciarios y cuaternarios y, abiertos al mar desde el mioceno. Los materiales que

predominan en ese relleno son sedimentos generalmente finos y consistentes, de litología margosa, arcillosa y arenosa a techo, depositados en aguas tranquilas con escasos aportes gruesos. En ocasiones aparecen coronados por monteras de conglomerados o calcarenitas. Estos sedimentos se depositan antes, simultáneamente y con posterioridad a los desplomes gravitatorios (serie alóctona) y su edad abarca desde el Mioceno Superior al Plioceno.

#### 3.1. EVOLUCIÓN DE LA CUENCA

En este contexto se hará una breve descripción de lo que ha sido la evolución de la zona de estudio, considerando los eventos últimos que han definido y trazado los rasgos del aspecto morfo-estratigráfico actual.

La estratigrafía de esta zona presenta un substrato caracterizado por la presencia de las denominadas "Margas azules", de edad Messiniense, que indican la existencia de una cuenca fuertemente subsidente de carácter marino. La progresiva retirada del mar se evidencia por un cambio en las características de la sedimentación, depositándose sobre las citadas margas azules una formación de alternancias de margas y arenas que reflejan continuos avances y retrocesos de la línea de costa, preludio de los materiales típicamente regresivos que constituyen la secuencia de colmatación durante el Andaluciense, de forma que los materiales de mayor energía (arenas amarillas, calcarenitas) quedan restringidos a la margen izquierda del río Guadalquivir, mientras que los medios sublitorales, y de menor energía aparecen ampliamente desarrollados en la margen contraria. Esta serie culmina con la sedimentación de margas verdes y limos arenosos del plioceno inferior de color amarillo y localmente rojizo (por rubefacción).

A partir de aquí la red hidrográfica comienza a ejercer una doble actividad sobre los materiales de relleno de la Depresión: por una parte se produce una acción erosiva que potencia el desmantelamiento y posterior evacuación de gran parte de este relleno; por otra, los ríos también ejercen una importante labor sedimentaria sobre sus llanuras de inundación, siendo las terrazas un reflejo de las fluctuaciones del nivel del mar que obligaban a los cauces a reexcavar en numerosas ocasiones su llanura de inundación.

### 4. GEOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO

La geología constituye la base de partida sobre la cual se determinan las propiedades geotécnicas y constructivas de los terrenos y de las rocas que afectan a la ejecución de la obra.

La traza de la conducción objeto de la obra se encuadra en el borde sur-occidental de la Depresión del Guadalquivir. Está constituida por depósitos de origen marino, fluvial y eólico, estructurados en disposición horizontal.

#### 4.1. ESTRATIGRAFÍA

La serie-tipo, de muro a techo, podría describirse a grandes rasgos como sigue:

- **Margas azules del Mioceno superior.** Son margas ricas en fósiles, de facies marinas. Afloran desde Chucena hasta las proximidades de Moguer. Se han llegado a medir potencias de hasta 1200 m.
- **Limos basales del Plioceno.** Es una formación de características intermedias entre los niveles acuíferos y las margas. Son limos arenosos y calcáreos con alternancia de areniscas. El contenido en arcillas aumenta según nos aproximamos hacia Huelva. La potencia de estos materiales es muy variable, sin llegar a superar, aparentemente, los 50 m.
- **Arenas basales del Pliocuatrnario.** Afloran en una amplia banda desde la desembocadura del río Tinto hasta Villamanrique de la Condesa. Son arenas blancoamarillentas o amarillo rojizas, discordantes. Su potencia varia de 20 m (Almonte) a 200 m (franja costera).
- **Formación roja del Cuaternario antiguo-Plioceno superior.** Son arenas, gravas y conglomerados rojizos con matriz arcillosa. No llega a alcanzar los 20 m de potencia.
- **Formaciones costeras cuaternarias:** Son playas, dunas y la barra costera actual, formadas por arenas silíceas de origen litoral y eólico. Su potencia llega a superar los 60 m en la línea de costa.
- **Cuatrnario de las Marismas.** Se distinguen varios niveles. El inferior está compuesto por gravas y cantos rodados, con un espesor variable entre 10 y 30 m. Suele estar en contacto con las arenas basales y se encuentra generalmente en carga. A continuación aparecen niveles arcillosos y limo arenosos de color gris azulado. Tiene una potencia entre 60 y 150 m.
- **Otras formaciones.** En general, son mantos eólicos, dunas antiguas y terrazas fluviales. Su potencia máxima es de 8 m, salvo las terrazas fluviales que pueden llegar a los 30 m.

#### 4.2. ESTRUCTURA GEOLÓGICA

Los materiales no han sufrido ninguna deformación importante, salvo algunos basculamientos de escasa importancia. Todos los materiales forman parte de la cobertera terciaria que cubre los materiales más antiguos del zócalo hercínico.

#### 5. NIVEL FREÁTICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

Según podemos ver en el siguiente mapa, el nivel freático de la zona donde se va a realizar el proyecto oscila entre 45 metros y 55 metros. La altura del terreno en dicha zona es de 90 a 100 metros, por lo que a priori, encontramos un nivel freático bajo, que no nos afecta en la construcción.

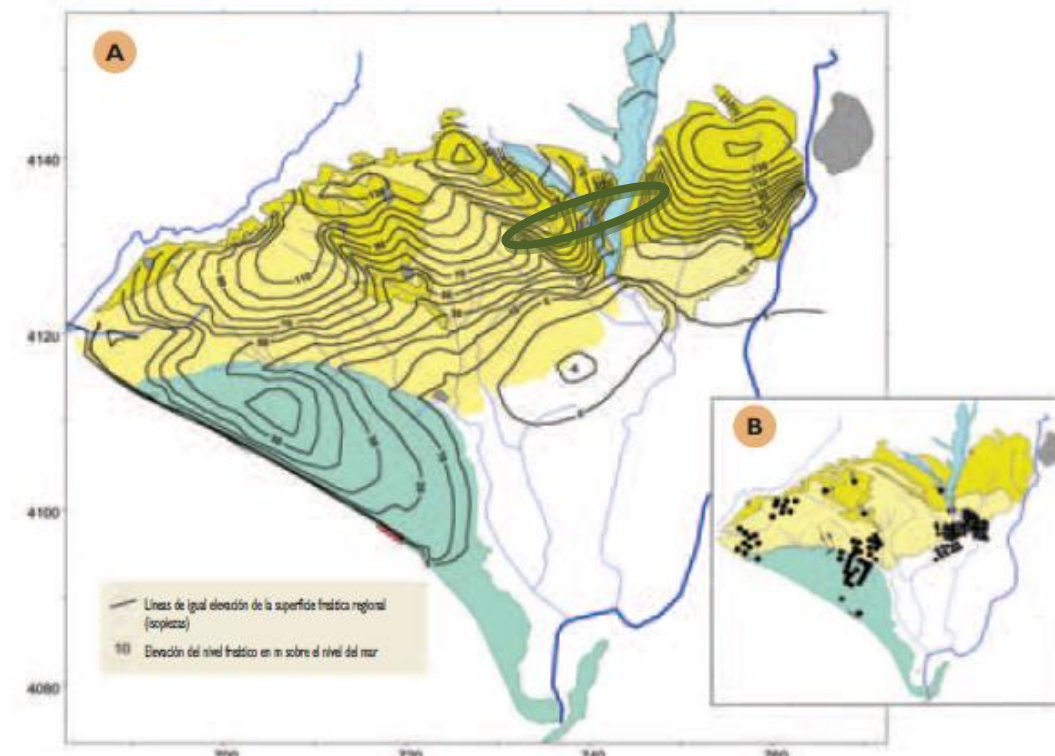


Figura 26- Mapa Nivel Freático de la Zona

#### 6. PREPARACIÓN DE LA CAMPAÑA GEOTÉCNICA.

Se detalla en este apartado la propuesta de campaña geotécnica. Las técnicas de reconocimiento adoptadas han sido:

- Calicatas mecánicas con máquina retro-excavadora mixta.
- Sondeos a rotación con extracción continua de testigo.
- Ensayos de penetración estándar (SPT)
- Ensayos de penetración dinámica continuos

- Ensayos de laboratorio

### 6.1. CALICATAS MECÁNICAS

Se han realizado un total de 15 calicatas mecánicas a lo largo del trazado de las conducciones con máquina retro-excavadora articulada, con las siguientes características:

- Potencia: 86 KW
- Peso: 9.000 Kg
- Torque máximo: 20.100 Nm
- Cuchara: 60 cm

La calicata mecánica consiste en la excavación de una zanja, de anchura igual a la del cazo de la máquina por una profundidad equivalente a la máxima permitida por la maquinaria (3.0 m aprox.), o el terreno.

Dicho ensayo es de uso muy generalizado en obras lineales poco profundas debido a que presenta las siguientes características y ventajas:

- Proporciona información directa sobre la excavabilidad del material y el rendimiento de la excavación.
- Proporciona información sobre la estabilidad de las paredes de zanja.
- Permite observar directamente la litología del terreno, por debajo de la capa de suelo vegetal, constituyendo un auxilio fundamental para el levantamiento de la cartografía geológica.
- Permite la extracción de muestras de terreno a distintas profundidades.

La ubicación de las calicatas no ha sido homogénea ni casual, ya que éstas se han concentrado en las zonas con una mayor variabilidad geológica, con el fin de apoyar al levantamiento de la cartografía geológica y en las zonas de particular interés para la obra.

En todos casos, la ubicación definitiva de las calicatas ha sido, inevitablemente, condicionada por las autorizaciones por parte de los propietarios de las fincas afectadas, así como por la necesidad prominente de evitar cualquier daño a las estructuras lineales subterráneas existentes a lo largo de la traza.

### 6.2. SONDEOS A ROTACIÓN CON EXTRACCIÓN CONTINUA DE TESTIGO

Se han realizado un total de 2 sondeos mecánicos a rotación, situados en puntos singulares.

El sondeo mecánico a rotación es una perforación de pequeño diámetro ( $76\text{mm} < \varnothing < 113\text{mm}$ ) que permite investigar la composición del terreno en profundidad, mediante la toma continua de testigos, así como instalar instrumentos y dispositivos en su interior y realizar mediciones de forma directa de las características geotécnicas.

La perforación y la toma de muestra se realizan de forma conjunta, a través de la introducción en el terreno de un tubo toma-muestra dotado de una corona dentada, de material adecuado a la dureza del terreno.

La maquinaria imprime rotación y presión al toma-muestras mediante un varillaje tubular, en el interior del cual se permite, si es necesario, la circulación de agua, con función de lubricación y refrigeración de la corona dentada.

El tubo toma-muestras se introduce en el terreno por intervalos de profundidad discretos, quedando el material retenido en su interior.

La muestra así obtenida se dispone en una caja para muestras, anotando la profundidad inicial y final de la “maniobra” y realizándose la perforación por “maniobras” sucesivas hasta alcanzar la profundidad necesaria.

### 6.3. ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (S.P.T.)

En el interior de los sondeos se han realizado ensayos *S.P.T.* (Standard Penetration Test) y toma de Muestras Inalteradas.

Se trata, en ambos casos, de pruebas que tienen la finalidad de valorar la compacidad del terreno, en intervalos de profundidades representativos, mediante la medida de la resistencia a la penetración, por golpeo, de un útil especial.

Esto permite estimar, mediante correlaciones empíricas, toda una serie de parámetros geotécnicos como son la densidad relativa y el ángulo de rozamiento interno, en terrenos granulares, o la consistencia y la cohesión sin drenaje, en terrenos cohesivos.

El ensayo de penetración estándar consiste en la hincada en el terreno de una “cuchara tomamuestras” de dimensiones normalizadas, mediante golpeo sucesivo de una maza de peso 63.5 Kg desde una altura constante de 76.2 cm (30”), en tres tandas consecutivas de 15 cm.

La suma del número de golpes necesario para introducir la puntaza en las dos últimas tandas se denomina  $N_{30}$ , o  $N_{SPT}$  (número de resistencia a la penetración estándar).

En terrenos granulares gruesos la cuchara toma-muestra se sustituye por una puntaza cónica y se realizan, usualmente, cuatro tandas de 15 cm. En este caso, con el fin de mantenerse por el lado de la seguridad, se considera la suma de las dos tandas de menor golpeo entre las tres últimas.

El ensayo se da por concluido cuando se completan las tres ó cuatro tandas, o cuando el golpeo supera los 50 golpes, sin que el avance haya alcanzado los 15 cm, considerándose este como valor de “rechazo”.

La toma de Muestra Inalterada (M.I.) constituye un ensayo del todo análogo al ensayo S.P.T., en el cual la cuchara toma-muestras se reemplaza por un tubo de sección delgada, de mayor diámetro, que contiene en su interior otro tubo de PVC en el cual queda retenida la muestra de terreno, sin que este sufra alteraciones apreciables de sus características de humedad y densidad.

Debido a las diferentes dimensiones de la herramienta de ensayo, cuando se emplea la puntaza cónica, o se realiza una toma de M.I., los valores de  $N_{30}$  obtenidos se corrigen mediante la expresión:  $N_{30}(\text{corregido}) = N_{30} / 1,3$ .

#### 6.4. ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA CONTINUA

Se han realizado un total de 10 ensayos de penetración dinámica continua superpesada en emplazamientos señalados.

El ensayo de penetración dinámica continua superpesada consiste en la introducción en el terreno de una “puntaza” perdida de dimensiones normalizadas (33 mm de diámetro) mediante golpeo sucesivo de una maza del peso de 63.5 Kg desde una altura constante de 760 mm.

El número de golpes necesario para introducir la puntaza en el terreno por profundidades sucesivas de 20 cm se denomina  $N_{20}$ .

Generalmente el ensayo se realiza hasta la profundidad de “rechazo” que es aquella en la cual el  $N_{20}$  alcanza valores superiores a 150 golpes, o hasta la profundidad de 10m.

#### 6.5. MEDIDAS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA EN SUPERFICIE

Se ha realizado una campaña de medidas de la resistividad eléctrica en superficie, mediante un dispositivo Wenner de 4 electrodos en línea, para investigar a 1, 2 y 3 metros de profundidad.

Dichas medidas tienen como objeto determinar la necesidad de protección catódica de la tubería según la Norma EN-545.

El principio se basa en inyectar corriente al terreno a través de los dos electrodos externos (A-B) y en medir la Resistividad por medio de la diferencia de potencial existente entre los dos electrodos intermedios (M-N).

La Resistividad, expresada en Ohmios x metro, se obtiene mediante la expresión:

$$R = 2 \pi (V/A) d$$

Donde:

R: Resistividad

V: Tensión en Voltios

I: Intensidad de Corriente en Amperios

d: Distancia en metros

La Resistividad así medida se denomina aparente, y para una profundidad determinada está necesariamente influenciada por la de las capas inmediatamente superiores e inferiores.

La profundidad de investigación teórica se sitúa entre 0,5 y 1 metro de la distancia entre electrodos de corriente, variando en función de las características litológicas del terreno.

El instrumento utilizado para este estudio es un Resistivímetro multi-medida automático marca ABEM modelo TERRAMETER SAS 1000.

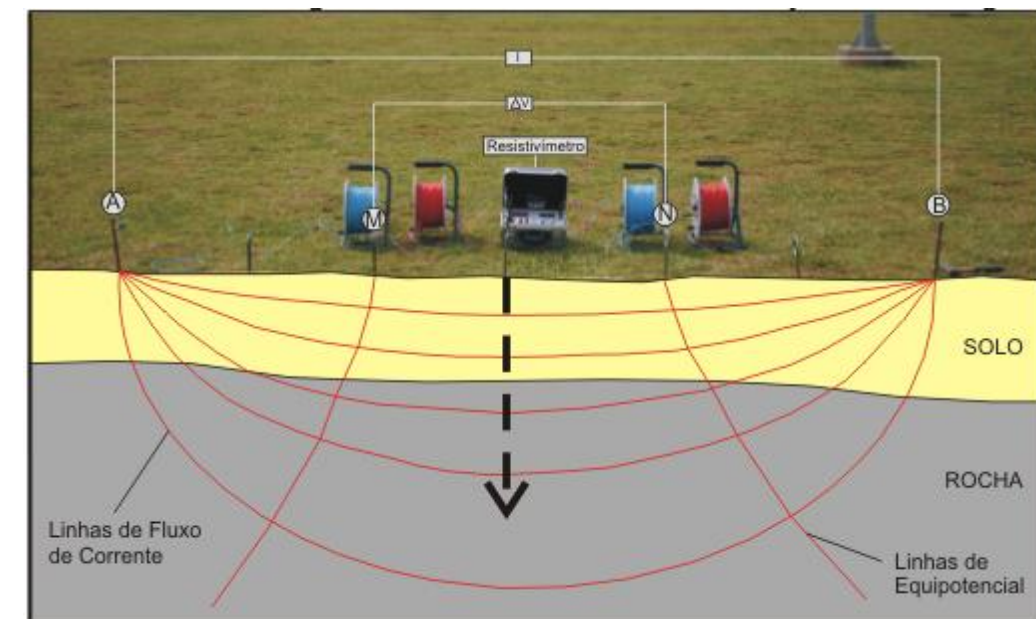


Figura 27- Esquema Cálculo Resistividad del Terreno

Las especificaciones técnicas principales del equipo son:

- Rango de corriente de 1 a 100 mA
- Voltaje máximo: 400V
- Resolución del Voltímetro: 1 $\mu$ V
- Resolución del Amperímetro: 1 $\mu$ A

La Resistividad Eléctrica es un parámetro muy significativo para determinar la agresividad del suelo, por cuanto integra la calidad global del suelo: naturaleza de los elementos y sales que lo componen, presencia de agua, etc.

La Clasificación de la Agresividad de los Terrenos según su Resistividad se resume en la tabla siguiente.

RESISTIVIDAD (OHMM)	AGRESIVIDAD
Hasta 10	Extraordinaria (E)
De 10 a 20	Muy Fuerte (MF)
De 20 a 100	De fuerte a Normal (F-N)
De 100 a 200	Moderada (M)
Más de 200	Prácticamente no Corrosivo (NC)

Tabla 15- Escala Resistividad del Terreno

La NORMA EN-545, para Tubos Accesorios y Piezas Especiales de Fundición Dúctil para Canalización del Agua establece, en lo que respecta a la Resistividad Eléctrica (R), que:

- Suelos con  $R < 15$  Ohm.m, por encima de la capa freática se necesita protección con manga de Polietileno.
- Suelos situados por debajo de la capa freática con  $R < 25$  Ohm.m, se requiere protección con manga de Polietileno.
- Suelos con  $R < 5$  Ohm.m, requieren una mayor protección que la especificada en los dos supuestos anteriores.

En cualquier caso, la Norma considera otros parámetros a tener en cuenta, además de la Resistividad Eléctrica (composición del terreno, presencia de sales, Ph, nivel freático, etc.) para determinar el tipo de revestimiento de la tubería.