



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

Curso 2022-2023

**CAMPAÑA DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA
ELÉCTRICA PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN
SONDEO DE CAPTACIÓN DE AGUA
SUBTERRÁNEAS. DISEÑO Y CÁLCULO DE LA
PERFORACIÓN.**

Alumno: Rogelio Acosta Rodríguez.

Tutor 1: D. Julián Ángel Martínez López
Depto.: Ingeniería Mecánica y Minera

Tutor 2: D. Rosendo Mendoza Vílchez
Depto.: Ingeniería Mecánica y Minera

Septiembre, 2023

Firma autor del TFG

Firma tutor(es)

Índice.

1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 ANTECEDENTES	10
1.2 OBJETIVO	10
1.3 UBICACIÓN	10
2. CONTEXTO GEOLÓGICO	12
2.1 ESTRATIGRAFIA	13
2.1.1 Paleozoico (542 – 299 Ma)	13
2.1.2 Mesozoico (250 – 66 Ma).....	15
2.1.3 Cenozoico (66 Ma – actualidad).....	16
2.2 TECTÓNICA.....	17
3. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO	18
3.1 HIDROGEOLOGÍA DEL ZÓCALO PALEOZOICO.....	18
3.2 HIDROGEOLOGÍA DEL RELLENO SEDIMENTARIO TRAS EL PLEGAMIENTO HERCINIANO.....	18
3.3 MODELO CONCEPTUAL DE ACUÍFEROS EN ROCAS GRANÍTICAS.	19
3.4 CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DEL BATOLITO DE LINARES.....	20
4. CLIMATOLOGÍA	22
5. INVESTIGACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS. METODOLOGÍA EMPLEADA.	23
5.1 OBJETIVO DEL MÉTODO	24
5.2 FUNDAMENTOS.....	24
5.3 RESISTIVIDAD DE LAS ROCAS	26
6. INSTRUMENTACIÓN	28
6.1 EQUIPO	28
6.1.1 Resistímetro.....	28
6.1.2 Cableado	29
6.1.3 Electrodo.....	29
6.1.4 Conectores	30

6.1.5 Bateria.....	30
6.1.6 Convertidor.....	31
6.2 SOFTWARE RESEC II.....	31
7. CAMPAÑA DE CAMPO.....	35
7.1 LOCALIZACIÓN.....	35
7.2 EQUIPO DE TRABAJO EMPLEADO.....	36
7.2.1 Metodología en la adquisición de datos.....	37
7.2.2 Dispositivo Wenner – Schlumberger.....	39
7.3 SOFTWARE DE INTERPRETACIÓN RES2DINV.....	40
8. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN.....	49
9. METODOS DE PERFORACIÓN.....	51
9.1 TIPOS DE PERFORACIÓN.....	51
9.1.1 Perforación por percusión.....	51
9.1.2 Perforación por rotación.....	52
9.1.3 Perforación a rotopercusión.....	53
10. MÉTODO DE PERFORACIÓN ELEGIDO.....	55
10.1 PARTES DEL D.T.H.....	56
10.2 CAMPO DE APLICACIÓN.....	57
10.3 VENTAJAS DEL MARTILLO EN FONDO.....	57
10.4 INCONVENIENTES DEL MARTILLO EN FONDO.....	58
11. MÁQUINA DE PERFORACIÓN SELECCIONADA.....	58
11.1 REVESTIMIENTO DEL SONDEO.....	60
11.2 MATERIALES.....	61
11.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES A EMPLEAR EN NUESTRO PROYECTO.....	61
11.3.1 Rejilla o paso de luz.....	62
11.3.2 Empaque de gravas.....	63
12. CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN ELEVADORA.....	64
12.1 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGAS.....	65

12.1.1 Cálculo de las pérdidas de carga de los elementos hidráulicos.....	65
12.1.2 Pérdidas de carga por cada 100 m de tubería equivalente.....	68
12.1.3 Pérdida de carga del contador.	70
12.2 ALTURA MANOMÉTRICA.....	70
12.3 POTENCIA DEL GRUPO ELEVADOR.....	71
12.4 ELECCIÓN DE LA BOMBA.....	71
12.5 INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	74
12.6 POTENCIA DEL TRANSFORMADOR.....	77
13. TRÁMITES ADMINISTRATIVOS.....	78
13.1 AUTORIZACIÓN PREVIA DE OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	78
13.2 PUESTA EN SERVICIO DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	78
14. BIBLIOGRAFÍA.....	84
ANEXO I PLANOS.....	87

Índice de Figuras.

Fig. 1 Localización de la provincia de Jaén en España.....	11
Fig. 2 Izda.: Provincia de Jaén. Drcha.: Localización de Linares dentro de la provincia de Jaén.....	11
Fig. 3 Localización zona de estudio "Huerta Perdida".....	11
Fig. 4 Geología de la provincia de Jaén. (Geología 2022).....	12
Fig. 5 Geología de la zona de Linares. (IGME).....	12
Fig. 6 Corte topográfico zona Linares - Baeza. (IGME).....	13
Fig. 7 Leyenda geológica de la zona de Linares. (IGME).....	13
Fig. 8 Izda. Pizarra del Macizo Ibérico. Drcha. Corneana del Macizo Ibérico. (Geología 2022).....	14
Fig. 9 Extensión del batolito de los Pedroches hasta Linares.....	15
Fig. 10 Areniscas del triásico del Macizo Ibérico. (Geología 2022).....	15
Fig. 11 Estratigrafía y leyenda de la zona de Linares. Colectivo Proyecto de Arrayanes. .	16
Fig. 12 Tectónica de la zona de Linares.	17
Fig. 13 Leyenda Tectónica de la zona de Linares.	17
Fig. 14 Porosidad por fisuración. F. Javier San Román. (USAL).....	18
Fig. 15 Permeabilidad zona de Linares. (IGME).....	19
Fig. 16 Modelo conceptual de un sistema acuífero sobre rocas graníticas. (Javier San Román).....	20
Fig. 17 Evacuación de agua por gravedad mediante el socavón de desagüe al río Guadalimar.	22
Fig. 18 Clima de la provincia de Jaén.	22
Fig. 19 Método geoelectrico según Schulemberger.	24
Fig. 20 Esquema básico del método de resistividad.....	25
Fig. 21 Resistividades de rocas.....	28
Fig. 22 Resistímetro D.M.T.	29
Fig. 23 Cableado de la línea de tiro.....	29
Fig. 24 Electrodo y maceta para su hincado en el terreno.	30
Fig. 25 Conexión entre conector y electrodo.....	30
Fig. 26 Batería 12 voltios.....	31
Fig. 27 Convertidor de energía.	31
Fig. 28 Comandos programa RESECS II.	32
Fig. 29 Diferentes comandos del programa RESECS II.....	32

Fig. 30 Menú para la configuración del dispositivo	33
Fig. 31 Menú para la activación de los electrodos instalados en el perfil.	33
Fig. 32 Menú para seleccionar el tiempo de inyección de corriente en el subsuelo.	34
Fig. 33 Pantalla principal de la toma de datos.....	35
Fig. 34 Ubicación y zona de estudio sobre el terreno.....	36
Fig. 35 Topografía de la zona de estudio.	36
Fig. 36 Esquema dispositivo tomografía eléctrica.....	37
Fig. 38 Tirada de cableado sobre el terreno.....	37
Fig. 39 Conexión conector y electrodo mediante pinza de cobre.....	38
Fig. 40 Secuencia de conectores según su numeración y letra.	38
Fig. 41 Equipo instalado para la toma de datos.	39
Fig. 42 Dispositivo Schulerberger.....	39
Fig. 43 Esquema de la configuración del modelo. Los electrodos de color rojo y azul son los electrodos de corriente y los electrodos de potencial presentan un color verde. Los puntos azules reflejan las diferentes resistividades aparentes que se obtienen en el subsuelo. (Pellicer Jiménez, 2015).....	40
Fig. 44 Etapas del proceso de inversión de datos mediante el programa RES2DINV.....	41
Fig. 45 Modelo 2D de bloques.	42
Fig. 46 Barra de diálogo.	43
Fig. 47 Submenú de la opción File del programa de inversión.....	43
Fig. 48 Submenú de la opción Edit del programa de inversión.	43
Fig. 49 Pantalla de opción "Exterminate bad datum points"	44
Fig. 50 Submenú y opción "Change Settings".....	44
Fig. 51 Opción "Change settings" y opciones varias del submenú "Mesh Parameters"	45
Fig. 52 "Inversión Progress Settings" y submenú.	45
Fig. 53 Opción "Inversión"	46
Fig. 54 Opciones de "Inversión Methods and Settings".....	46
Fig. 55 Modelo de bloques con los diferentes puntos de salida.	46
Fig. 56 Opción "Model Sensivity Options"	47
Fig. 57 Modelo de la sensibilidad de bloques.....	47
Fig. 58 Cuadro de diálogo "Topography Options".....	48
Fig. 59 Opción "Display" con sus correspondientes opciones "File".	48
Fig. 60 Opción "Display Sections"	48
Fig. 61 Submenú de la opción "Change Display Settings".....	49

Fig. 62 Modelo de resistividad con topografía.....	50
Fig. 63 Elementos del método de perforación.....	53
Fig. 64 Martillo en cabeza Simba 7.	54
Fig. 65 Perforadora con martillo en fondo.....	55
Fig. 66 Partes del martillo en fondo, (D.T.H)	56
Fig. 67 Tipos de bocas utilizadas en el martillo en fondo.....	57
Fig. 68 Lateral camión SEGOQUI - 21 con perforadora.....	59
Fig. 69 Izda. Abrazadera de tubos para su instalación. Dcha. Trasera del camión SEGOQUI - 21.....	59
Fig. 70 Ábaco 1. Pérdidas de carga de los elementos hidráulicos. (Tomado como ejemplo de Bombas Ideal, 1974)	66
Fig. 71 Ábaco 2. Pérdidas de carga de la válvula para la salida de bomba.....	67
Fig. 72 Ábaco 3. Pérdidas de carga de la válvula de retención en la tubería de impulsión.	67
Fig. 73 Ábaco 4. Pérdidas de carga por cada 100 m de tubería.	69
Fig. 74 Ábaco 5. Pérdidas de carga del contador.	70
Fig. 75 Ábaco 6. Elección de la bomba en función del caudal y la altura manométrica.....	72
Fig. 76 Tipo de bomba sumergida seleccionada (SP - 45 -6).....	74
Fig. 77 Ábaco 7. Determinación de la sección del cableado por arranque directo.	75
Fig. 78 Ábaco 8. Determinación de la sección del cableado para el arranque estrella - triángulo.	76
Fig. 79 Transformador de distribución 50 KVA SERIE 24 KV (GEDELSA).....	77
Fig. 80 Impreso solicitud de autorización de la Junta de Andalucía.....	80
Fig. 81 Impreso solicitud puesta en servicio de la Junta de Andalucía.....	81
Fig. 82 Impresos para la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, (C.H.G)	82
Fig. 83 Impreso de tasas de la Junta de Andalucía para la administración.	83

Índice de Ecuaciones.

Ecuación 1 Valor potencial.....	25
Ecuación 2 Potencial medido por los electrodos M y N.	25
Ecuación 3 Diferencia de potencial entre los electrodos M y N.	26
Ecuación 4 Resistividad.	26
Ecuación 5 Factor de penetración.....	26
Ecuación 6 Factor de formación.....	27
Ecuación 7 Método de mínimos cuadrados.....	40
Ecuación 8 Descomposición de F en sus filtros de suavizado.	41
Ecuación 9 Conversión del caudal en m ³ /hora.....	65
Ecuación 10 Conversión del caudal en m ³ /s.	68
Ecuación 11 Cálculo velocidad caudal por tubería del pozo.....	68
Ecuación 12 Cálculo velocidad caudal por tubería de impulsión.	68
Ecuación 13 Conversión de bares a m.c.a.	70
Ecuación 14 Expresión para cálculo de altura manométrica.	70
Ecuación 15 Cálculo altura manométrica.	71
Ecuación 16 Cálculo potencia de la potencia hidráulica del grupo elevador.....	71
Ecuación 17 Cálculo de la longitud del cable total.....	75
Ecuación 18 Cálculo de la potencia del transformador.....	77

Índice de Tablas.

Tabla 1 Resumen censo minas 1889.....	21
Tabla 2 Datos climáticos de Linares.	23
Tabla 3 Características técnicas de camión SEGOQUI 10.....	58
Tabla 4 Cálculo del diámetro en función del caudal y la profundidad del sondeo. (Piñero e López,2001).....	60
Tabla 5 Características tubería de acero. (Talleres Barragán Hermanos).	61
Tabla 6 Características tubería de acero con filtro puentecillo doble. (Talleres Barragán Hermanos).	61
Tabla 7 Espesor del acero para el diámetro interior determinado. (Talleres Barragán Hermanos).	62
Tabla 8 Longitudes de la entubación.	62
Tabla 9 Datos de partida del pozo.....	64
Tabla 10 Pérdidas de carga de la tubería de impulsión.	68
Tabla 11 Pérdidas de carga por cada 100 m de tubería.	69
Tabla 12 Datos técnicos de la bomba seleccionada (GRUNDFOS).	73
Tabla 13 Datos técnicos bomba seleccionada.	74
Tabla 14 Características eléctricas del transformador.	78

1. INTRODUCCIÓN.

1.1 ANTECEDENTES

La finca La Huerta Perdida, ubicada al norte del término municipal de Linares, presenta una extensión de 333.917 m², está dedicada en su totalidad a la plantación de olivar de secano. No obstante, esta finca tiene una concesión de 1 Hm³, autorizada por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir para el riego de plantación de olivar de secano que resultaba insuficiente para la necesaria dotación de agua para el cultivo. Por tal motivo, en el año 2003 se construyó un sondeo que aportaba un caudal de 4 l/s, para suplir el déficit de caudal necesario para abastecer a la finca.

En años posteriores, la extensión de olivar fue aumentando y los caudales disponibles resultan insuficientes, por lo que ha sido necesario la construcción de un segundo sondeo para así, poder abastecer a todas las zonas de la finca. Este sondeo es llamado “Sondeo Príncipe”

1.2 OBJETIVO.

El objetivo principal de este trabajo fin de grado (TFG), es el de diseñar un sondeo de captación de aguas subterráneas, determinando el método de perforación y calculando el tipo de bomba necesaria. Previamente se realizará una campaña de prospección geofísica basada en tomografía eléctrica para determinar zonas de mayor permeabilidad (fracturación) y así, poder establecer la ubicación más favorable para la implantación de dicho sondeo.

1.3 UBICACIÓN.

La zona de estudio se encuentra al norte del término municipal de Linares, provincia de Jaén. Se encuentra a 1.5 km de la ciudad de Linares, delimitada al sur por la A-312, al este por la A-303 y al oeste por el camino de la Masegosa. (fig. 1, 2 y 3)

El acceso a la finca “Huerta perdida” se realizará a través de un giro a la izquierda hacia un camino de tierra que sale a 50 m tras dejar la glorieta donde confluyen ambas carreteras (A-312 y A-303). (plano 1,2)



Fig. 1 Localización de la provincia de Jaén en España.



Fig. 2 Izda.: Provincia de Jaén. Drcha.: Localización de Linares dentro de la provincia de Jaén.

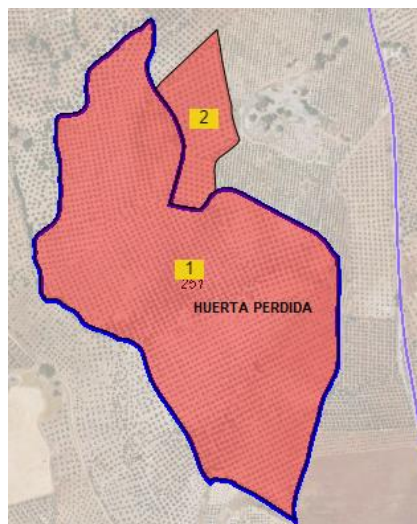


Fig. 3 Localización zona de estudio "Huerta Perdida".

2. CONTEXTO GEOLÓGICO.

La zona de estudio se encuentra entre dos grandes unidades morfológicas: Macizo Ibérico y la Depresión del Guadalquivir. (fig. 4).



Fig. 4 Geología de la provincia de Jaén. (Geología 2022)

El macizo Ibérico es una unidad compuesta fundamentalmente por materiales paleozoicos, es decir, rocas metamórficas (pizarras) e ígneas (granitoides) de edad entre 542 y 252 Ma.

Estas rocas fueron afectadas por el plegamiento Varisco, cuya consecuencia fue la formación del zócalo paleozoico que sirvió de basamento para los sedimentos mesozoicos y cenozoicos, debido a los fenómenos erosivos del final de Pérmico hasta gran parte del Mesozoico. (fig. 5, 6 y 7), (plano 3).

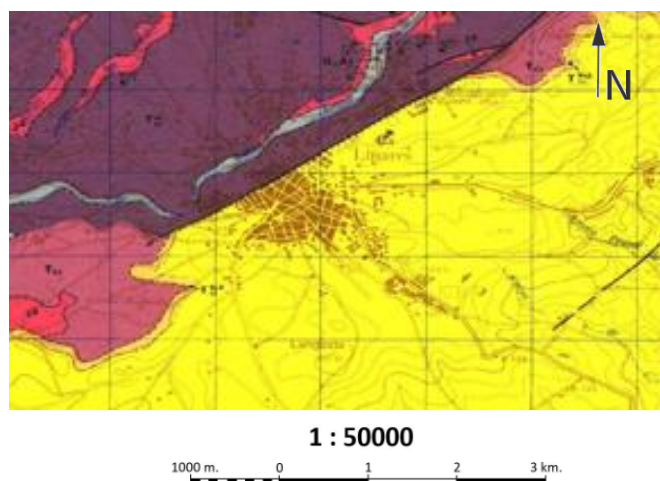


Fig. 5 Geología de la zona de Linares. (IGME).

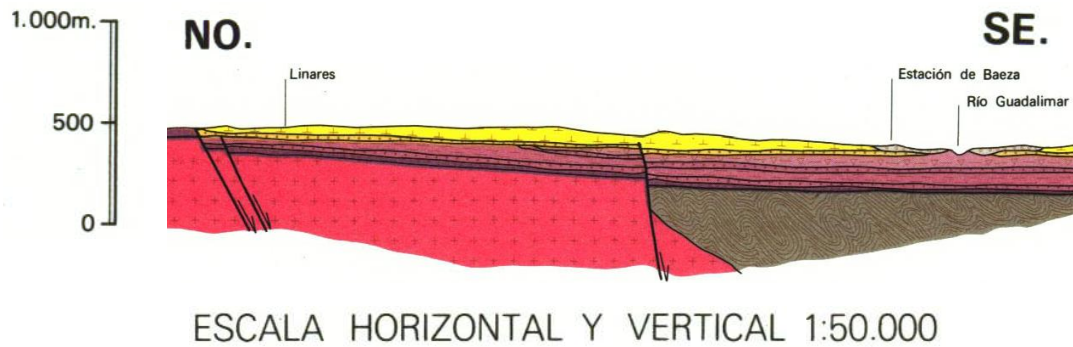


Fig. 6 Corte topográfico zona Linares - Baeza. (IGME)

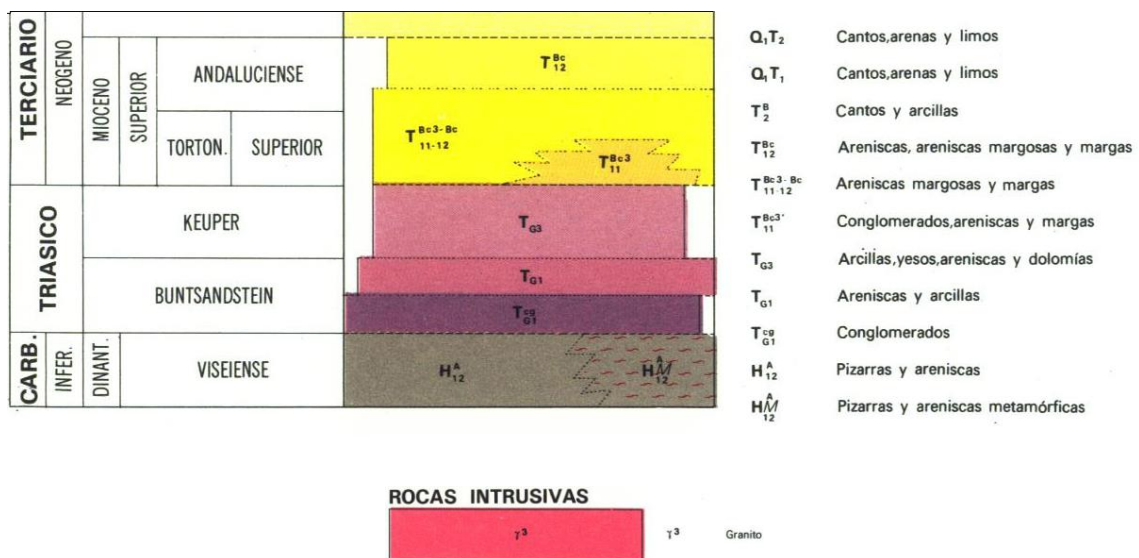


Fig. 7 Leyenda geológica de la zona de Linares. (IGME)

La máxima deformación de las rocas ígneas y metamórficas se produjeron en el Carbonífero (359 -299 Ma).

2.1 ESTRATIGRAFIA.

2.1.1 Paleozoico (542 – 299 Ma).

- Rocas metamórficas: Se caracteriza porque los sedimentos marinos depositados en el carbonífero, facies Culm (pelíticos, clásticos) plegados y posteriormente transformados durante la orogenia Hercínica, sufren un metamorfismo regional dando lugar a pizarras, meta-areniscas, meta-grauvacas, y semiesquistos.

Estas presentan unos colores pardo-grisáceos con tintes azulados o verdosos y que pueden alcanzar potencias cercanas a los 500 m.



Fig. 8 Izda. Pizarra del Macizo Ibérico. Drcha. Corneana del Macizo Ibérico. (Geología 2022)

(Mapa geológico de España, escala 1:50000. Hoja 905 Linares. Madrid. 1977)

- **Batolito de los Pedroches:** Se extiende en dirección ONO - ESE desde las proximidades de Linares (Jaén) a las proximidades de Badajoz. Presenta más de 200 km de afloramiento continuo.

Se trata de una roca intrusiva en las facies del Culm. Esta intrusión dio lugar a la deformación previa de su roca encajante entre el Namuriense inferior y el Westphaliense inferior (320 -310 Ma). Esta intrusión granodiorítica llevo consigo un metamorfismo de contacto que, a través de su aureola metamórfica y fluidos hidrotermales dio lugar a la formación de corneanas y rocas mosqueadas.

La intrusión de este cuerpo granítico hace que, en las pizarras que forman parte de la roca encajante, se formen abundantes cristales de andalucita (silicato aluminico) de hábito prismático. Este es el motivo de la denominación de pizarras moteadas o corneanas.

En diferentes afloramientos y debido a los fenómenos erosivos superficiales pueden dar geometrías en forma de bolos. Esto es debido a la presencia de agua en fracturas de descompresión originadas en la roca. El agua altera el feldespatos en minerales de la arcilla dando lugar a la arenización del bolo y su correspondiente fragmentación en lajas.



Fig. 2.- Esquema cartográfico del Batolito de Los Pedroches y plutones asociados. 1) Nissa-Alburquerque. 2) Cáceres. 3) Trujillo. 4) Montánchez. 5) La Roca de la Sierra. 6) Mérida. 7) La Haba. 8) Los Pedroches. 9) Santa Eufemia. 10) El Guijo. 11) Mogabar. 12) Cardeña-Virgen de la Cabeza. 13) Linares. 14) Santa Elena.

Fig. 9 Extensión del batolito de los Pedroches hasta Linares.

(Mapa geológico de España, escala 1:50000. Hoja 882 Cardeña. Madrid. 1977)

2.1.2 Mesozoico (250 – 66 Ma).

Los materiales más antiguos de la era mesozoica datan del Triásico inferior (252.2 – 247.2 Ma).

La base de esta formación constituye el zócalo paleozoico, constituidos por conglomerados y brechas de granitos, pizarras, cuarcitas que han estado expuestos a fenómenos de meteorización superficial.

El triás está formado por arcillas rojas (facies Buntsandstein), con potencias en torno a los 100 m y con un conglomerado basal de 10 – 20 m de espesor y de arcillas y areniscas versicolores (facies Keuper), a techo.

Estas facies tienden a disponerse en capas horizontales dando lugar a lo que se conoce como cobertera sedimentaria post-hercínica.

Esta cobertera es discordante con el zócalo paleozoico, presenta potencias variables y en algunos puntos puede llegar a alcanzar los 200 m.



Fig. 10 Areniscas del triásico del Macizo Ibérico. (Geología 2022)

(Mapa geológico de España, escala 1:50000. Hoja 905 Linares. Madrid. 1977)

2.1.3 Cenozoico (66 Ma – actualidad).

Se compone de conglomerados, margas, areniscas con grandes tonalidades amarillentas, limos o brechas a la base y margocalizas datadas del Mioceno Superior (11.62 – 5.3 Ma), que se depositaron en un medio marino, por lo que es frecuente que se encuentre algún gasterópodo (*Cerithium*), braquiópodo (*Terebrátula sinuosa*, *Terebrátula Maugeri*), erizo (*Clypeaster*) o cualquier otro tipo de animal fosilizado en la roca.

El muro conglomerático del Mioceno se encuentra en discordancia con el techo del Triásico

Estos materiales corresponden con la cuenca del río Guadalquivir.

El cuaternario (2.59 Ma – actualidad) comprende limos, arenas y gravas asociadas al relleno de los cauces. (plano 4)

(Mapa geológico de España, escala 1:50000. Hoja 905 Linares. Madrid. 1977)

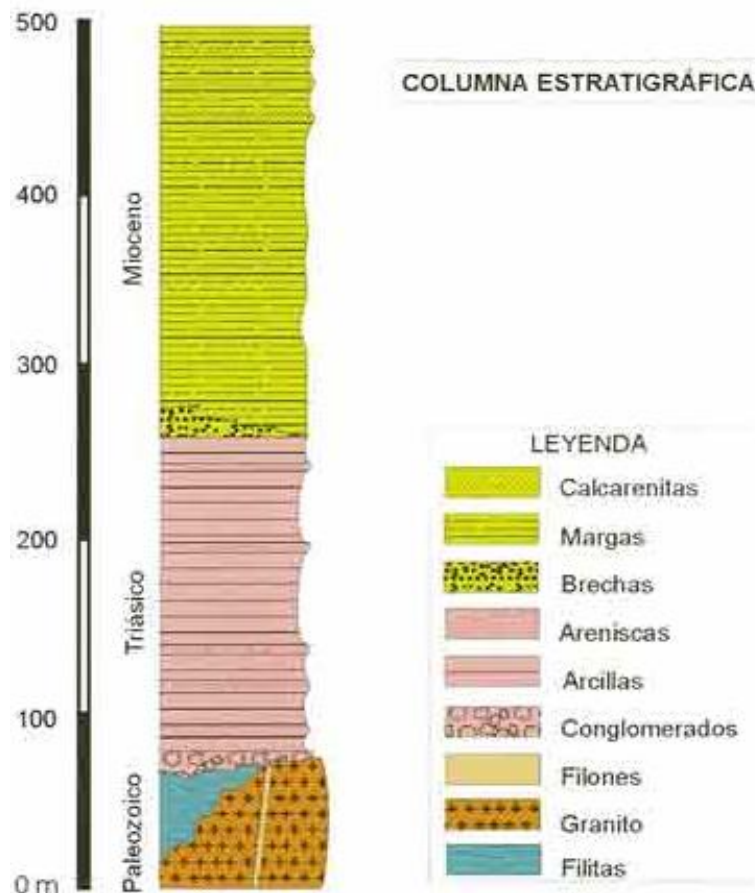


Fig. 11 Estratigrafía y leyenda de la zona de Linares. Colectivo Proyecto de Arrayanes.

2.2 TECTÓNICA.

Linares se encuentra ubicada sobre materiales del Tortoniano (Mioceno) y del Triásico. Al E está delimitada por el graben de Bailén compuesto por materiales de relleno del Mioceno Superior delimitado por la falla de Guarromán y la de Baños de la Encina.

Linares se sitúa sobre una falla que lleva su mismo nombre “Falla de Linares” la cual pone en superficie materiales del triás en su parte N. Esta falla tiene el mismo régimen que las que producen la fosa de Bailén, es decir, son fallas normales de gran profundidad ya que llegan a fracturar gran parte del paleozoico y con unos buzamientos subverticales. (fig. 12)

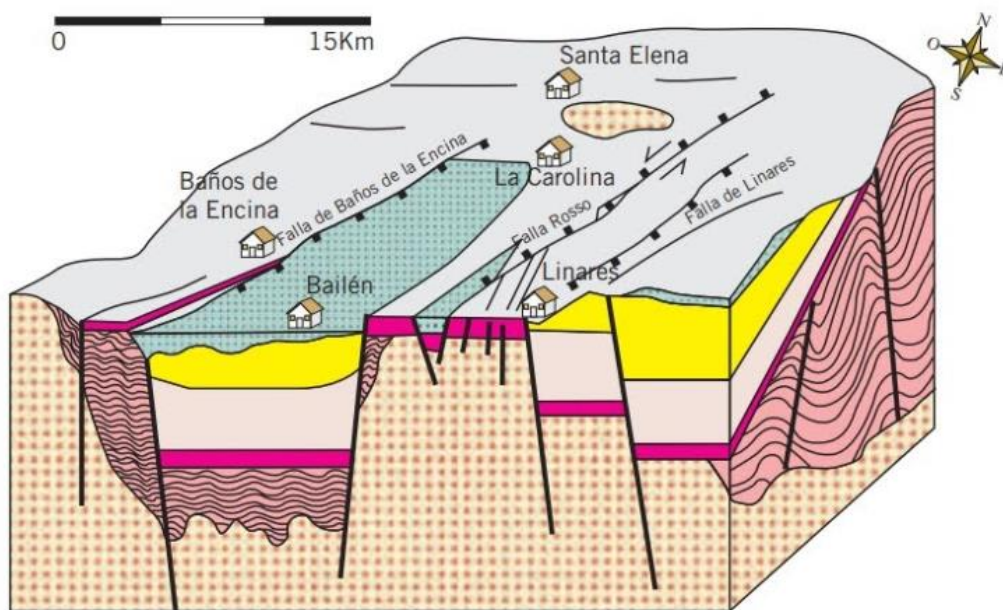


Fig. 12 Tectónica de la zona de Linares.

<https://es.wikiloc.com>



Fig. 13 Leyenda Tectónica de la zona de Linares.

3. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO.

Para hablar de la hidrogeología de la comarca de la Linares se deben hacer dos grandes diferenciaciones:

- Hidrogeología del zócalo paleozoico.
- Hidrogeología del relleno sedimentario tras el plegamiento herciniano.

3.1 HIDROGEOLOGÍA DEL ZÓCALO PALEOZOICO.

Consta fundamentalmente de rocas metamórficas (pizarras, cuarcitas...) y rocas ígneas (intrusión granodiorítica).

Estas rocas llamadas “Hard Rocks” presentan una nula porosidad intergranular por lo que los únicos lugares de almacenamiento y circulación de agua será por fracturas, diaclasas o planos de discontinuidad producidas por la alteración de estas rocas (porosidad secundaria) (fig.14).

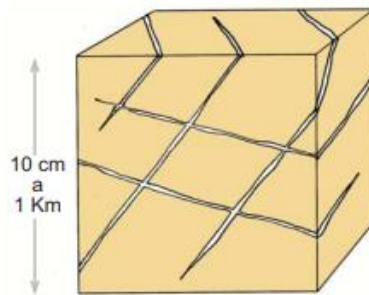


Fig. 14 Porosidad por fisuración. F. Javier San Román. (USAL)

3.2 HIDROGEOLOGÍA DEL RELLENO SEDIMENTARIO TRAS EL PLEGAMIENTO HERCINIANO.

El relleno post-herciniano está formado por materiales del Triásico (fundamentalmente lutitas rojas, con potencias en torno a los 100 m, con un conglomerado basal de 10 – 20 m de espesor), Mioceno (margas con niveles de areniscas, limos y brechas a la base) y Cuaternario (limos, arenas y gravas asociadas al relleno de los cauces), (Hidalgo et.al.2022)

En algunas zonas de la comarca de Linares y concretamente en la zona de estudio del presente trabajo se han extraído caudales del orden a los 4 l/s al N de la comarca. (Hidalgo et. al. 1996) mientras que en zonas pertenecientes a la fosa de Bailén (Mioceno), se han obtenido caudales cercanos a los 30 l/s.

La conductividad hidráulica (k) o permeabilidad depende de los materiales de los que está compuesta la masa de agua subterránea, de ahí que la comarca de Linares presente diferencias de permeabilidad dependiendo de su formación geológica. (fig. 15).

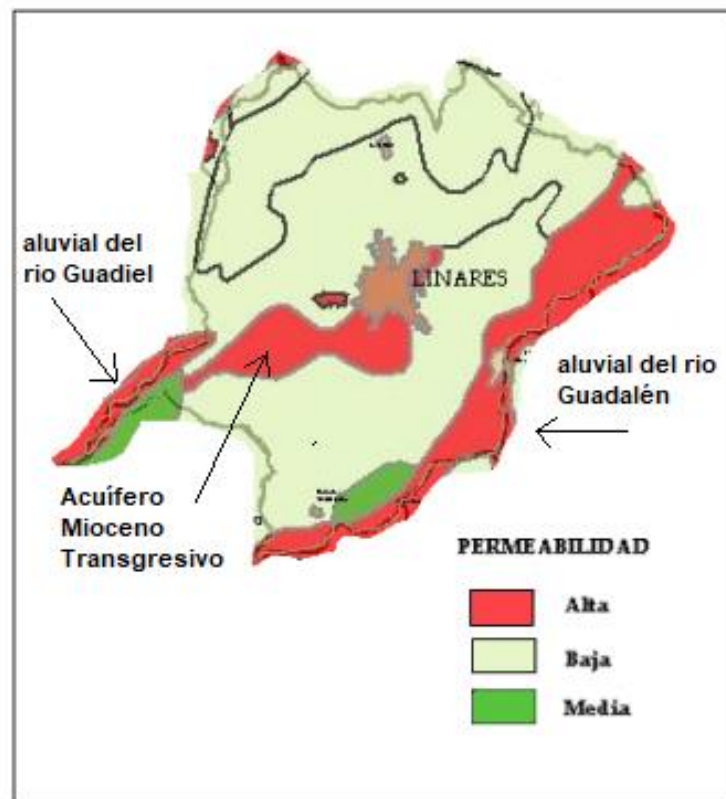


Fig. 15 Permeabilidad zona de Linares. (IGME)

3.3 MODELO CONCEPTUAL DE ACUÍFEROS EN ROCAS GRANÍTICAS.

En el modelo de acuíferos de carácter granítico se pueden distinguir tres grandes niveles:

- La capa superior: la roca alterada ha dado lugar a materiales no consolidados. Puede no existir o alcanzar varias decenas de metros de espesor; este espesor depende del clima y de la erosión posterior que pudo haberse llevado los materiales alterados. (Sánchez San Román, 2017)

La permeabilidad de este nivel depende de la roca que fue alterada, pero en todos los casos serán materiales con una fracción limo-arcilla importante. (Sánchez San Román, 2017)

- Un nivel fisurado: la densidad de las fisuras va disminuyendo con la profundidad. Estas fisuras pueden haber sido causadas por el enfriamiento del magma al cristalizar, ya sea por esfuerzos tectónicos o por descompresión (fisuras horizontales, al desaparecer los materiales suprayacentes por erosión). A través de estas fisuras ha avanzado la alteración de la roca. (Sánchez San Román, 2017)
- El basamento apenas presenta fisuras.

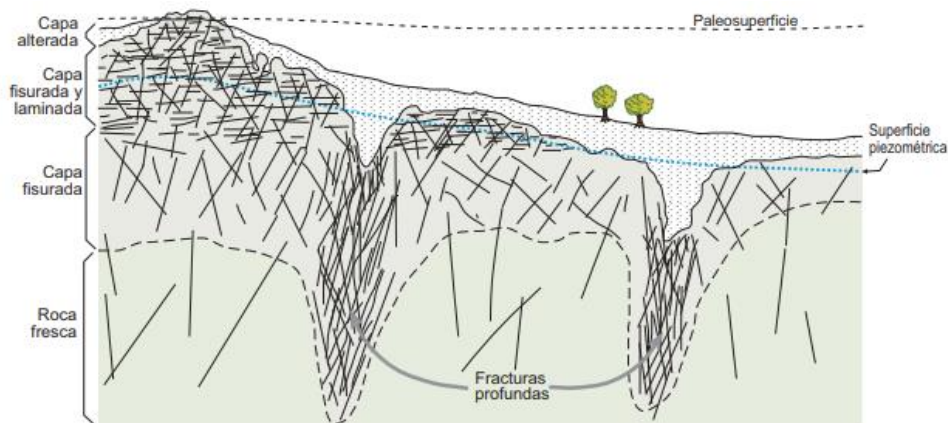


Fig. 16 Modelo conceptual de un sistema acuífero sobre rocas graníticas. (Javier San Román)

3.4 CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DEL BATOLITO DE LINARES.

El área de Linares es considerada como una zona sin acuíferos de interés en lo que a estudios hidrogeológicos se refiere, pero en la actualidad cabe destacar que existe una gran cantidad de cavidades artificiales en el sistema granítico donde se almacena o discurre el agua subterránea. Estos huecos corresponden a pozos o galerías mineras antiguas llegando estas últimas a alcanzar cientos de kilómetros. Como referencia cabe destacar las 320 concesiones mineras según el censo de minas de 1889, así como más de 65 km de pozos y 780 km de galerías sobre el filón granítico (Tabla 2).

Término municipal	Conce- siones	Demas- ías	Esco- riales	Total
Linares	320	156	27	503
Bailén	15	7		22
Guarromán	30	13	3	46
Vilches	40	11		51
Carboneros	40	14	4	58
La Carolina	98	23		121
Baños	99	29	1	129
Santa Elena	55	16		71
TOTAL	697	269	35	1.001

Tabla 1 Resumen censo minas 1889.

https://minaslinares.com/wp-content/uploads/2020/06/las-minas-de-linares_18_2_2010-p.pdf

La ejecución de diferentes estudios realizados mediante la aplicación de técnicas de análisis se ha permitido estimar un volumen de cavidades en torno a 13 Hm³ (Cardenal et. al.2000) donde una gran parte de este volumen se encuentra bajo agua, confiriendo al batolito una alta importancia hidrogeológica, permitiendo obtener caudales en torno a los 30 – 50 l/s (Hidalgo et. al. 1999).

La construcción de un socavón de desagüe a finales de la década de los 50 y con una longitud de casi 13 km permitió la evacuación por gravedad de un caudal de 50 – 70 l/s al río Guadalimar, siendo este el principal punto de descarga del sistema granítico.

Este socavón o galería de desagüe establece el límite entre la zona no saturada con una potencia aproximada de 200 m y la ñ saturada, constituida principalmente en huecos inundados que llegan a alcanzar los 800 m de profundidad máxima.

Este socavón afectó principalmente a las principales concesiones mineras quedando exenta las situadas más al SW y O de Linares. En estas últimas, las ubicadas en la zona O, el nivel piezométrico está condicionado al caudal del río Guadiel que se encuentra a unos 30 m de profundidad respecto a la concesión minera (Cerro Hueco), (fig.18).

Este tipo de acuífero “antrópico” se recarga mediante la infiltración de agua superficie procedente de la precipitación, la cual atraviesa los diferentes sistemas de fracturación del sistema granítico.

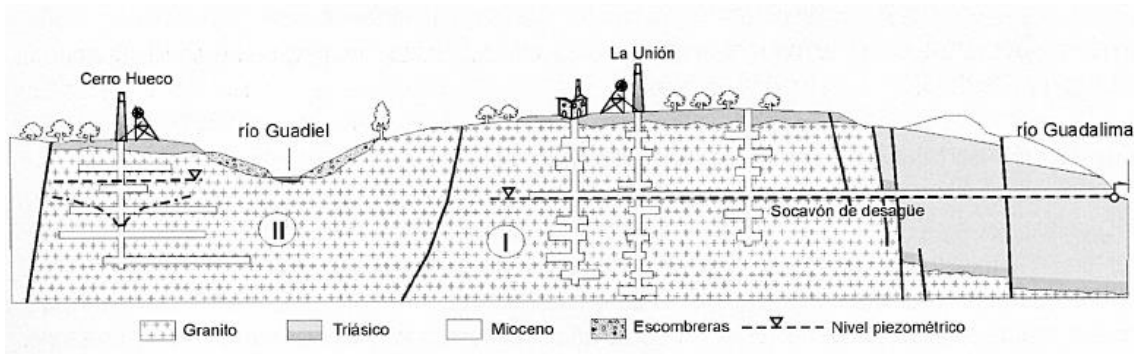


Fig. 17 Evacuación de agua por gravedad mediante el socavón de desagüe al río Guadalimar.

[https://dialnet-LaGestionDelAguaEnLaMineriaDelDistritoLinaresLaCar-4602060%20\(2\).pdf](https://dialnet-LaGestionDelAguaEnLaMineriaDelDistritoLinaresLaCar-4602060%20(2).pdf)

4. CLIMATOLOGÍA.

Linares se encuentra en el hemisferio norte dentro de un clima continental mediterráneo húmedo (PAPADAKIS) que se caracteriza por presentar unos inviernos largos y fríos y unos veranos cálidos y muy calurosos pudiendo llegar a sobrepasar los 40°C.

La amplitud térmica suele ser bastante grande ya que se puede pasar de los 2°C a los 36°C

En cuanto a las temperaturas, es la época estival donde las temperaturas son más elevadas, siendo julio y agosto los meses más calurosos pudiendo llegar a tener temperaturas subtropicales tal y como queda reflejado en la clasificación climática de PAPADAKIS en relación al régimen térmico.

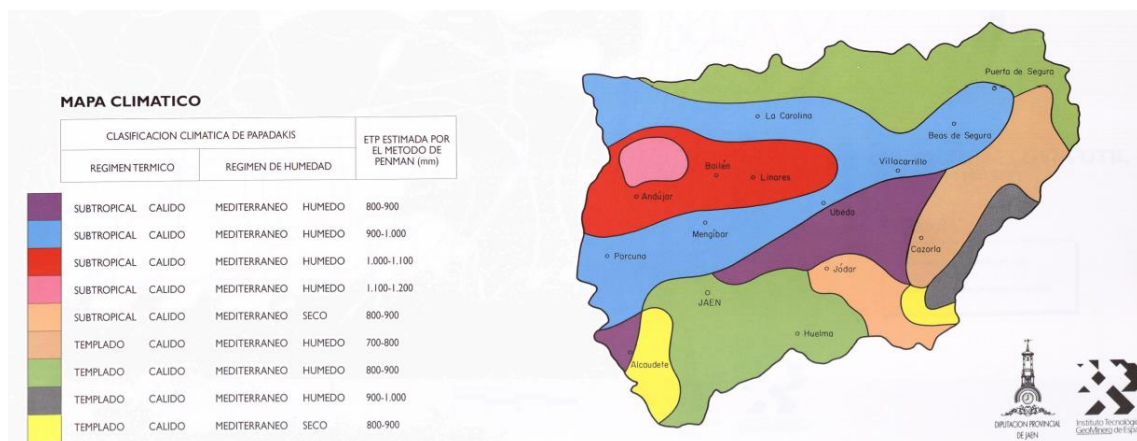


Fig. 18 Clima de la provincia de Jaén.

https://aguas.igme.es/igme/publica/libro76/pdf/lib76/in_02.pdf

En la siguiente tabla se observa como la precipitación entre el mes más lluvioso y el mes más seco hay una diferencia de 62 mm. En cuanto a la temperatura (oscilación térmica) esta varia 21.3 °C a lo largo de todo el año.

El parámetro de humedad alcanza su valor más bajo en el mes de julio ya que es el mes con mayor irradiación solar con un 29.05% y alcanza su mayor porcentaje en el mes de diciembre ya que es el mes más lluvioso del año con un 73.93%

La menor cantidad de días lluviosos se producen en el mes de julio con 0.83 días y la mayor corresponde con el mes de diciembre con 8.53 días siendo la precipitación anual media de 456 mm.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	7.4	8.8	11.9	15	19.5	25.4	28.8	28.6	23.6	18.3	11.4	8.3
Temperatura mín. (°C)	2.6	3.5	6	8.9	13	18.1	21.3	21.3	17.4	12.8	6.7	3.7
Temperatura máx. (°C)	12.7	14.2	17.6	20.6	25.4	31.7	35.3	35.1	29.6	23.9	16.4	13.5
Precipitación (mm)	55	50	48	49	33	11	2	5	27	52	60	64
Humedad(%)	74%	68%	61%	57%	47%	37%	29%	31%	43%	57%	68%	74%
Días lluviosos (días)	6	6	5	6	5	2	1	1	3	6	6	6
Horas de sol (horas)	6.2	7.0	8.3	9.6	11.3	12.8	13.0	12.1	10.5	8.6	6.8	6.2

Tabla 2 Datos climáticos de Linares.

<https://es.climate-data.org/europe/espana/andalucia/linares-57058/>

5. INVESTIGACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS. METODOLOGÍA EMPLEADA.

La Tomografía eléctrica es un método muy efectivo para determinar las resistividades de los diferentes materiales en profundidades someras, viéndose favorecido si la topografía es plana.

De este método se obtienen tanto las variaciones laterales como en profundidad de la resistividad de los materiales del subsuelo, permitiendo, de esta forma, realizar una mejor interpretación del modelo geológico.

Esta técnica se basa en la determinación de las diferentes resistividades que se asignan a una serie de celdas en las que el subsuelo queda dividido en función del dispositivo de medida utilizado, la posición geométrica de los electrodos, las trayectorias del campo emitido, etc. El dispositivo simétrico de Schlumberger es uno de los más utilizados en tomografía (fig. 19).

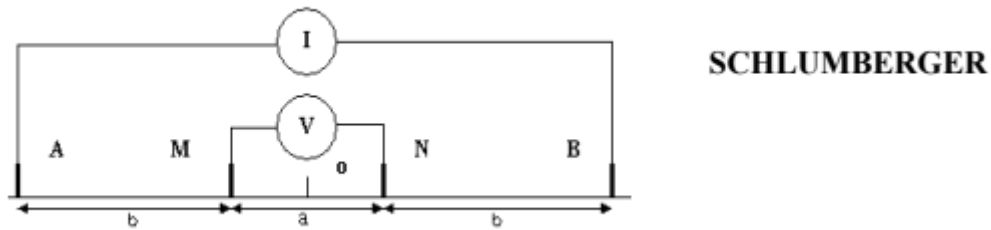


Fig. 19 Método geoelectrico según Schulemberger.

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6231/07.pdf?sequence=8>

La adquisición de datos se realiza con cierta facilidad a partir de un gran número de electrodos dispuestos sobre el terreno. Con un ordenador y con unas especificaciones predefinidas, el tomógrafo realiza de forma automática toda la secuencia de medidas previamente establecidas de los cuadripolos posibles.

5.1 OBJETIVO DEL MÉTODO.

Se basa en obtener una sección 2-D de las resistividades de los diferentes materiales del subsuelo, lo que permitirá interpretar un modelo geológico donde se deducirá la existencia de posibles niveles acuíferos, generalmente asociados a áreas donde exista una disminución de resistividad del terreno.

Para esto es necesario que se emplee un programa de inversión, que transforme las resistividades aparentes obtenidas en la campaña de campo en resistividades reales.

5.2 FUNDAMENTOS.

Su finalidad es definir los diferentes materiales del subsuelo a partir de sus propiedades eléctricas; concretamente la resistividad. Esta se expresa en $\Omega.m$, siendo la inversa de la conductividad que se expresa en $\mu S/cm$.

El método se fundamenta principalmente en la conductividad de origen iónico proporcionada por la conductividad del fluido y las sales disueltas presentes en los poros de la roca.

Para la medida de la resistividad de las rocas, generalmente se utilizan cuatro electrodos conectados a tierra estableciendo el circuito eléctrico. Concretamente, un circuito de corriente constituido por dos electrodos A y B que se conectan a un microamperímetro y a una fuente de energía. Por otro lado, otros dos electrodos M y N conectados a un milivoltímetro que constituyen el circuito de potencial. En función de la intensidad y voltaje

medidos y una constante geométrica del dispositivo se calcula la resistividad aparente (ver figuras y fórmulas siguientes).

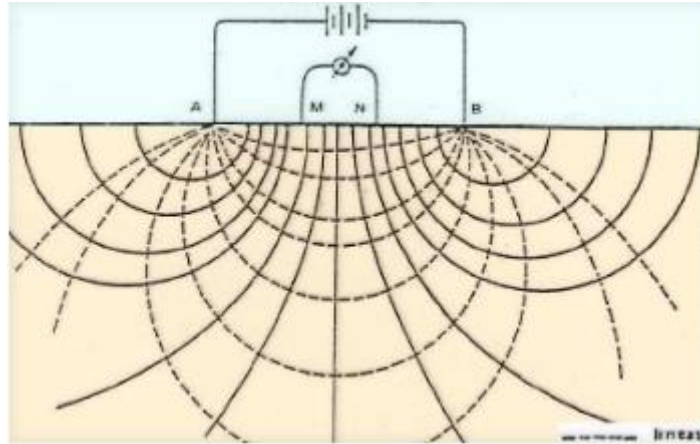


Fig. 20 Esquema básico del método de resistividad.

<https://www.cartomex.com/sondeo-electrico-vertical-sev.html>

En un semiespacio homogéneo e isótropo de resistividad ρ , sometido a una intensidad I , el potencial V de un punto situado a una distancia r con respecto a un electrodo puntual es:

$$V = \frac{I\rho}{2\pi r} \quad (I)$$

Ecuación 1 Valor potencial.

Partiendo de esta expresión (I), para una disposición electródica como la mostrada en la figura (20), el potencial medido por los electrodos de medida M y N será:

$$V_M = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right]; \quad V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right] \quad (II)$$

Ecuación 2 Potencial medido por los electrodos M y N.

Siendo:

V_M = Potencial en el punto M.

V_N = Potencial en el punto N.

AM = Distancia entre los electrodos A y M.

AN = Distancia entre los electrodos A y N.

Por lo que la diferencia de potencial ΔV_{MN} entre ambos puntos será:

$$\Delta V_{MN} = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right] \quad (III)$$

Ecuación 3 Diferencia de potencial entre los electrodos M y N.

Si ahora despejamos ρ obtendremos el valor de la resistividad para el punto medio del dispositivo, que podemos definir como la dificultad que la corriente eléctrica encuentra a su paso por el material.

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} K \quad (IV)$$

Ecuación 4 Resistividad.

En donde la resistividad aparente (ρ_a) se mide en Ohmios x metro, I en Amperios, y V en Voltios. El termino K es el "factor geométrico" y dependerá de las distancias entre los electrodos.

$$K = \frac{2\pi}{\left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right]} \quad (V)$$

Ecuación 5 Factor de penetración.

A partir de la resistividad aparente (ρ_a), se estudiará el subsuelo definiendo las resistividades de los diferentes materiales junto con los espesores de estos, dando lugar a un corte geoelectrico.

5.3 RESISTIVIDAD DE LAS ROCAS.

La resistividad de las rocas va a depender fundamentalmente de:

- Conductividad o resistividad del fluido de formación.
- Porosidad.
- Grado de saturación.

- Geometría de sus poros.

Si de la resistividad sólo dependieran los minerales que componen la roca, podría decirse que estas tendrían un carácter aislante, exceptuando todas aquellas que estuviesen formadas por minerales metálicos semiconductores.

La relación existente entre la resistividad y el fluido se conoce como Factor de Formación, y su relación con la porosidad fue enunciada por Archie en 1942.

$$F = \frac{\rho}{\rho_w} \quad ; \quad F = a \cdot \phi^{-m} \quad (VI)$$

Ecuación 6 Factor de formación.

Donde:

- ✚ ρ: Resistividad de la roca.
- ✚ ρ_w: Resistividad del fluido de formación.
- ✚ a: Factor de ajuste.
- ✚ m: Factor de cementación.

Los dos factores anteriores van a depender de la forma, tamaño, selección, empaquetamiento y cementación de los granos, cuyo factor de ajuste para rocas sedimentarias no cementadas oscilará entre 0.6 y 1 y entre 1.3 y 2.15 para el factor de cementación.

Por un lado, la conductividad del fluido va a depender de la naturaleza de los iones en disolución, su concentración, viscosidad, temperatura y presión a la que se encuentre sometido. Hay que tener en cuenta que el fluido de formación será principalmente el agua, considerándose dulce aquella que presente una conductividad que oscile entre 10 y 1000 μS/cm, y salada cuando oscila entre 1000 y 50000 μS/cm.

Las rocas sedimentarias son las rocas más porosas y por este motivo presentan un alto contenido en agua lo que hace que sus valores de resistividad disminuyan. En el sentido opuesto las rocas metamórficas e ígneas son las que presentan una escasa o nula porosidad dando valores de resistividad muy altos. (fig, 21).

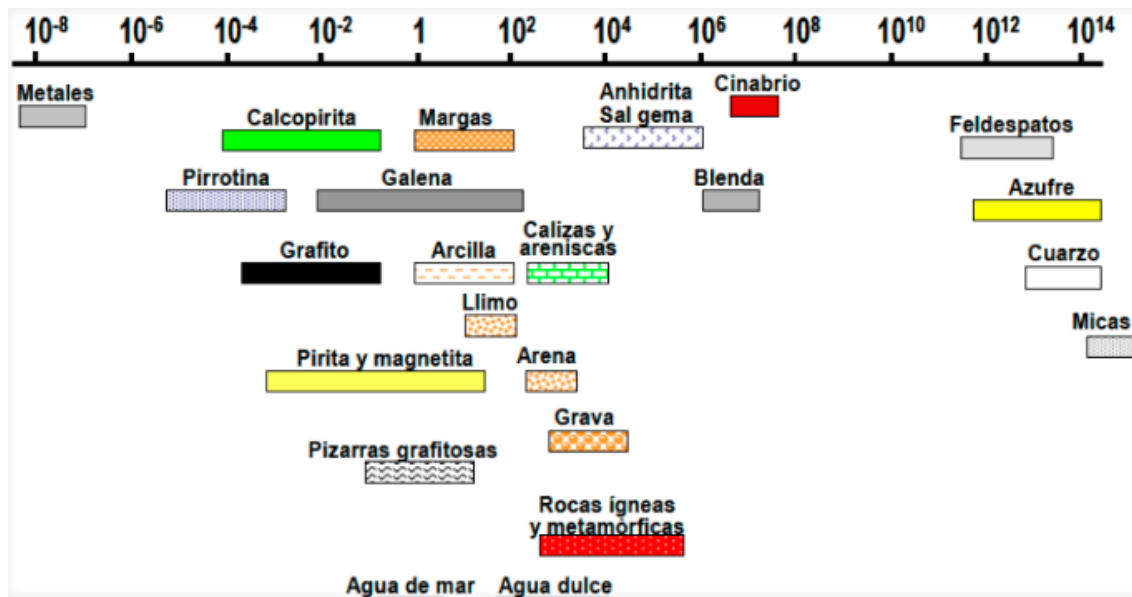


Fig. 21 Resistividades de rocas.

<https://www.cartomex.com/sondeo-electrico-vertical-sev.html>

6. INSTRUMENTACIÓN

6.1 EQUIPO

El equipo que forma un estudio de tomografía eléctrica consta de los siguientes elementos:

6.1.1 Resistímetro.

Es el elemento más importante del equipo ya que se puede considerar como el cerebro de todo el dispositivo. Es el encargado de ejecutar de forma automática la secuencia de medidas, verificar el buen estado de las conexiones y almacenar todos los resultados obtenidos en el campo. Este consta de los siguientes elementos:

- Ordenador y software RESECS. Nos va a permitir definir las variables de trabajo tales como; el número de electrodos, espaciado, número de medidas, tipo de dispositivo electrónico, configuración de los dispositivos de medida y control del tiempo real de las medidas, además de procesar y visualizar los resultados obtenidos tras la campaña.
- Procesador automático de la resistividad aparente.
- Memoria interna.
- Batería interna.
- Selector de electrodos.

- Procesador de penetración.
- Nodos internos inteligentes para la gestión de electrodos controlados con el programa Penetrac.

En nuestro caso el equipo es el RESEC de la casa DMT alemana (fig. 22).



Fig. 22 Resistímetro D.M.T.

6.1.2 Cableado.

De diferentes longitudes es el elemento al que se le conectan los electrodos a través de las cajas de conexión que llevan incluidas en él.



Fig. 23 Cableado de la línea de tiro.

6.1.3 Electrodos.

Son unas simples picas de acero cuya función es la de transmitir la corriente al terreno y medir el potencial.



Fig. 24 Electrodo y maceta para su hincado en el terreno.

6.1.4 Conectores.

Son los encargados de conectar los electrodos al cable. Constan de unos pequeños cables de cobre con pinzas y banana de conexión a la caja.



Fig. 25 Conexión entre conector y electrodo.

6.1.5 Batería.

Es la fuente de energía externa de 12 voltios y 72 amperios.



Fig. 26 Batería 12 voltios.

6.1.6 Convertidor.

Es el elemento que controla la transmisión de energía al terreno. Con tres posiciones (intensidades) posibles.



Fig. 27 Convertidor de energía.

6.2 SOFTWARE RESEC II

Todo equipo para la adquisición de datos requiere de un software, al que se le introducen unas indicaciones antes de empezar con las mediciones de campo.

El software que utiliza nuestro equipo es el RESECS II cuyo menú principal y diálogos del programa quedan reflejados a continuación:

File
New project
Open project
Close project
Save Project
Save project as
Write config files
Select default config file
Export data
Exist Resecs

Basic edit
General information
Available electrode strings
Field geometry

Fig. 28 Comandos programa RESECS II.

<p>Project control:</p> <ul style="list-style-type: none"> Project control Choose and configure electrode configurations Function of external electrode <p>External electrode selection</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Work edit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Activate electrode strings</td></tr> <tr><td>Recording channel / gain</td></tr> <tr><td>Injection timing</td></tr> <tr><td>Injection voltaje</td></tr> <tr><td>Valid data range</td></tr> </tbody> </table>	Work edit	Activate electrode strings	Recording channel / gain	Injection timing	Injection voltaje	Valid data range																			
Work edit																										
Activate electrode strings																										
Recording channel / gain																										
Injection timing																										
Injection voltaje																										
Valid data range																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Options</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Data select</td></tr> <tr><td>ASCII export</td></tr> <tr><td>Binary trace export</td></tr> <tr><td>Measure options</td></tr> <tr><td>Memory</td></tr> <tr><td>Backup</td></tr> <tr><td>Monitoring</td></tr> <tr><td>Plot size</td></tr> <tr><td>Data display color</td></tr> <tr><td>Color range</td></tr> </tbody> </table>	Options	Data select	ASCII export	Binary trace export	Measure options	Memory	Backup	Monitoring	Plot size	Data display color	Color range	<table border="1" style="margin-left: 100px;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Monitoring</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Activate monitoring</td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="margin-left: 100px;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Tools</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Decoder test</td></tr> <tr><td>Convert binary</td></tr> </tbody> </table>	Monitoring	Activate monitoring	Tools	Decoder test	Convert binary	<table border="1" style="margin-left: 100px;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Window</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Data</td></tr> <tr><td>Scope</td></tr> <tr><td>Pseudosection</td></tr> <tr><td>Pseudoárea</td></tr> <tr><td>Proyect info</td></tr> <tr><td>Electrode layout</td></tr> <tr><td>Field record</td></tr> </tbody> </table>	Window	Data	Scope	Pseudosection	Pseudoárea	Proyect info	Electrode layout	Field record
Options																										
Data select																										
ASCII export																										
Binary trace export																										
Measure options																										
Memory																										
Backup																										
Monitoring																										
Plot size																										
Data display color																										
Color range																										
Monitoring																										
Activate monitoring																										
Tools																										
Decoder test																										
Convert binary																										
Window																										
Data																										
Scope																										
Pseudosection																										
Pseudoárea																										
Proyect info																										
Electrode layout																										
Field record																										

Fig. 29 Diferentes comandos del programa RESECS II.

A modo de resumen a continuación quedan reflejadas algunas de las pantallas del programa RESECS II.

En esta primera pantalla se introducirá el tipo de dispositivo con el que se quiere trabajar y, además, el espaciado que queremos tener entre los electrodos y el paso “delta”.

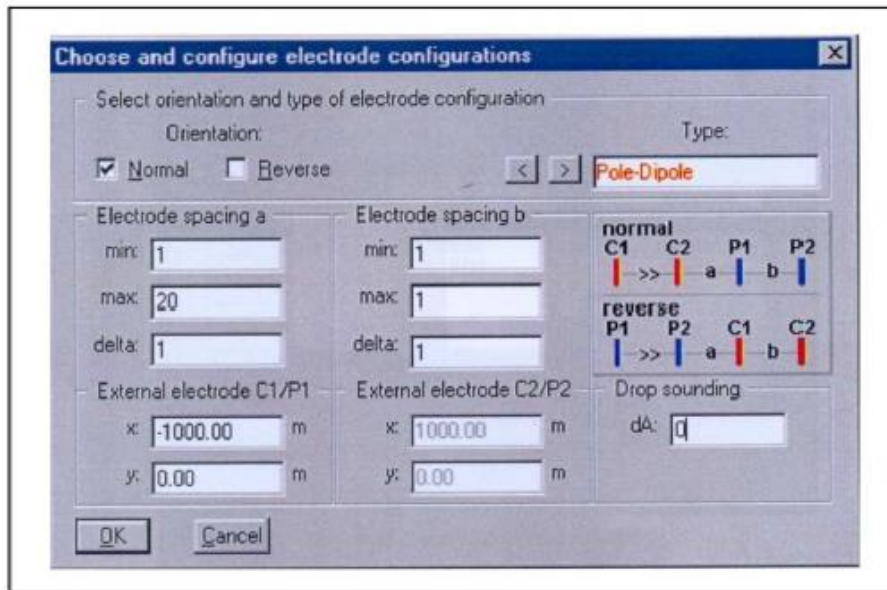


Fig. 30 Menú para la configuración del dispositivo.

Posteriormente, se seleccionarán y activarán los electrodos que se han dispuesto en el perfil.

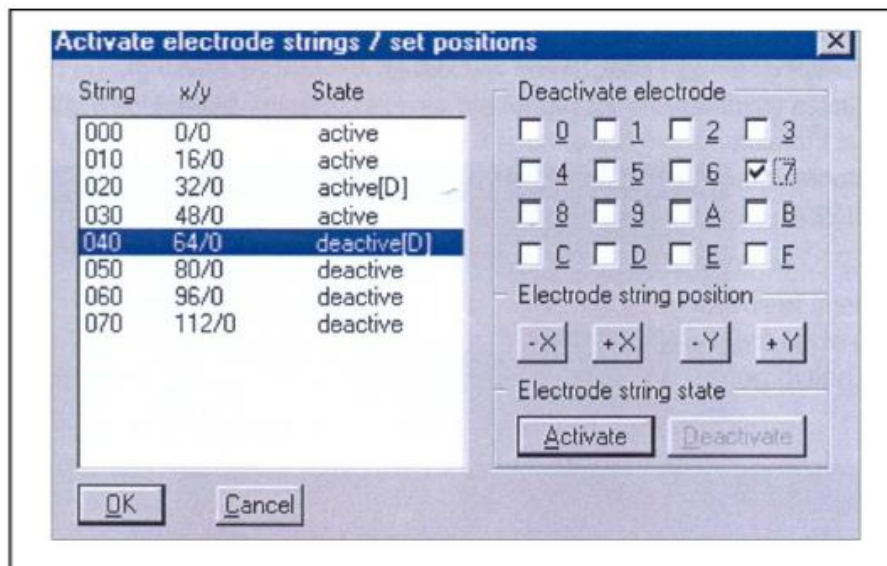


Fig. 31 Menú para la activación de los electrodos instalados en el perfil.

En la pantalla siguiente se visualizará y seleccionará el tiempo de inyección de corriente en el terreno, de interrupción de paso de corriente y de retraso.

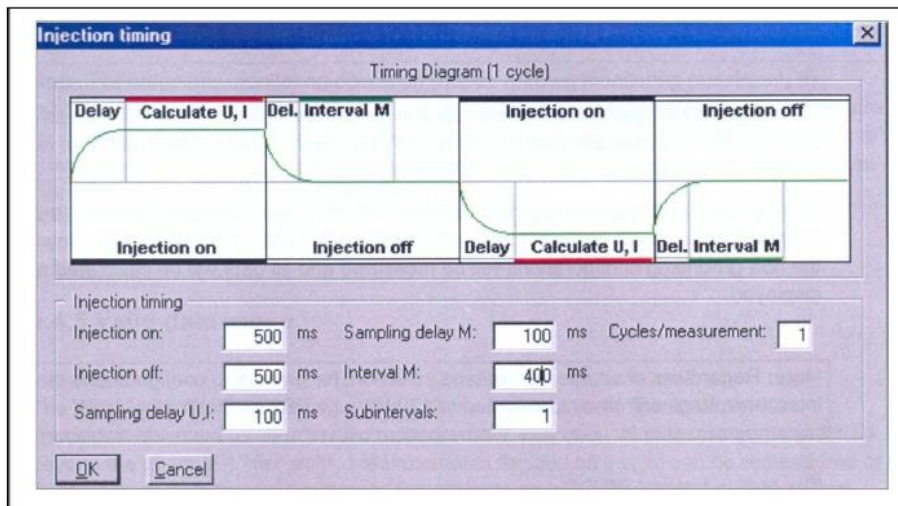


Fig. 32 Menú para seleccionar el tiempo de inyección de corriente en el subsuelo.

En la siguiente y última pantalla se diferencian dos partes bien diferenciadas:

Una parte superior donde queda reflejado un código de colores que indica que se está realizando la medición (1). Bajo esta barra se observa una pantalla donde se visualiza la curva de inyección de corriente y la curva de potencial medido, lo que permite realizar modificaciones de los parámetros de inyección de corriente en caso de apreciar que la calidad de estas curvas no es buena (2).

En la parte izquierda se verán todos los parámetros de medida (voltaje medido, resistividad aparente, intensidad de corriente...), (3).

En la parte inferior de la pantalla aparecen todos los datos que han sido calculados a lo largo del perfil, donde las resistividades aparentes se representan según una escala de colores y también se indican las diferentes capas en función del espaciado introducido previamente. (4)

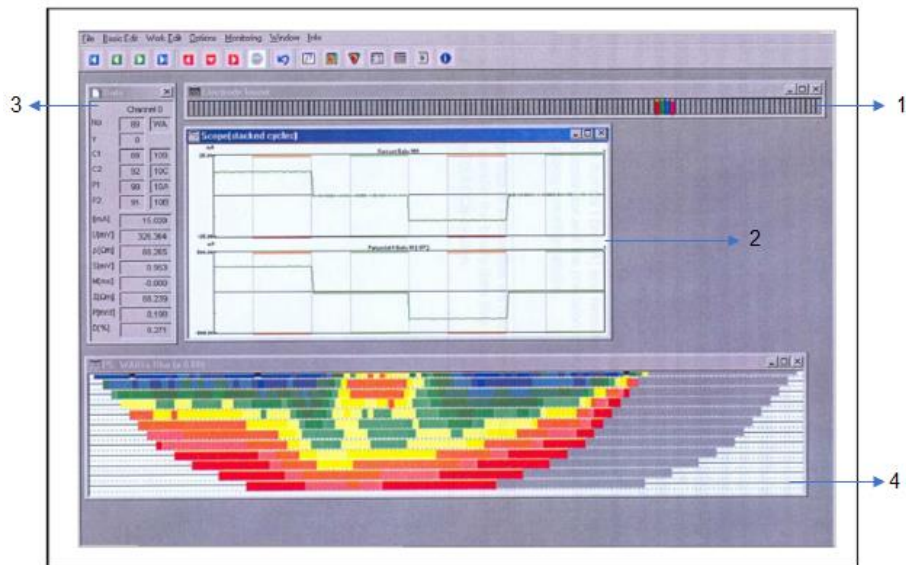


Fig. 33 Pantalla principal de la toma de datos.

7. CAMPAÑA DE CAMPO.

7.1 LOCALIZACIÓN.

La campaña de prospección geofísica para el desarrollo de este trabajo fin de grado se llevó a cabo en la finca Huerta Perdida en el mes de octubre de 2022. Inicialmente, se realizó un estudio previo de la cartografía geológica de la zona marcando los objetivos a cubrir. Como se ha explicado en el capítulo de geología e hidrogeología, las posibilidades de localizar un acuífero se centran fundamentalmente en localizar fracturas abiertas. Se sabe que las direcciones preferentes de fracturación en el distrito de Linares se alinean con dirección N 25° E, por lo que el perfil se programa con dirección sensiblemente perpendicular a esta dirección de fracturación, presentando las siguientes coordenadas:

Inicio: Longitud → 38.1207 °; Latitud → -3.6439°

Final: Longitud → 38.1256°; Latitud → -3.6467°

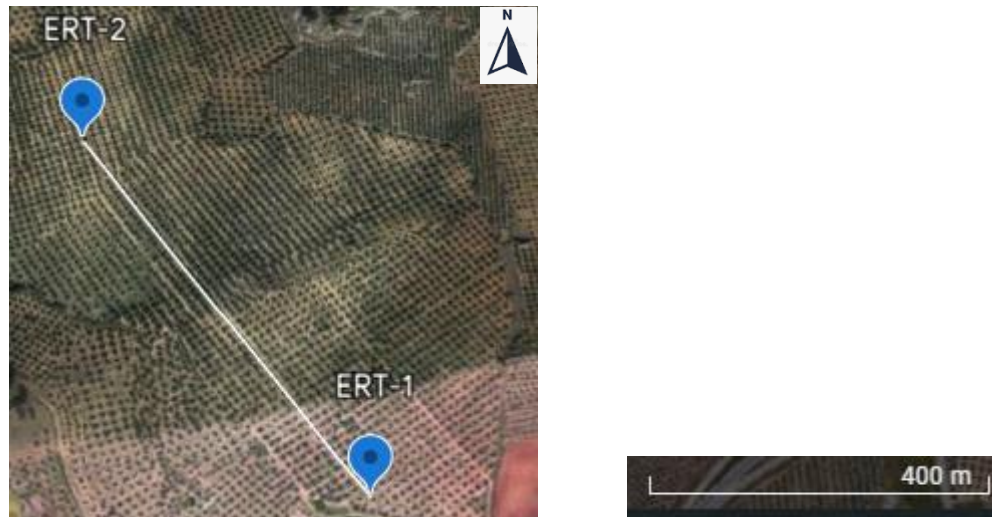


Fig. 34 Ubicación y zona de estudio sobre el terreno.

A continuación, se procedió a la representación de la topografía del terreno mediante equipos GPS a lo largo de los 630 m de longitud del perfil propuesto, obteniéndose una orografía irregular y con una diferencia de cotas de unos 17 metros totales desde el punto más bajo al punto más alto. Esta queda representada en la siguiente figura:

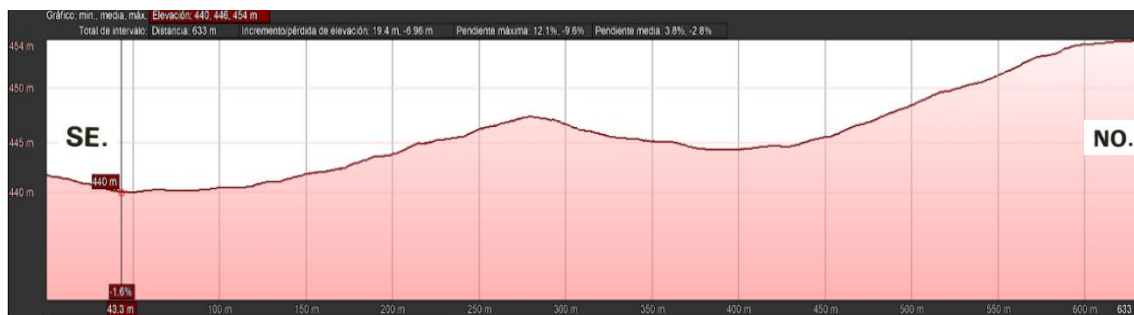


Fig. 35 Topografía de la zona de estudio.

7.2 EQUIPO DE TRABAJO EMPLEADO.

El equipo empleado en la toma de datos fue:

- ✚ 64 electrodos o picas de acero inoxidable.
- ✚ 4 familias de cable (8 perchas en total) con 8 conectores cada una.
- ✚ Un resistímetro.
- ✚ Fuente de alimentación constituida por dos baterías de 12V, una para la inyección de corriente y la otra para el resistímetro.
- ✚ Material auxiliar: guantes, martillos, garrafas de agua, etc.

Todos estos dispositivos a excepción del material auxiliar y las baterías pertenecen a la casa alemana DMT.

7.2.1 Metodología en la adquisición de datos.

Para la adquisición de datos se utilizaron un total de 64 electrodos en línea, los cuales fueron conectados al resistivímetro a través del cable multicanal, pudiendo situarse en el centro del dispositivo (fig. 36), aunque lo más frecuente es ubicarlo en un extremo

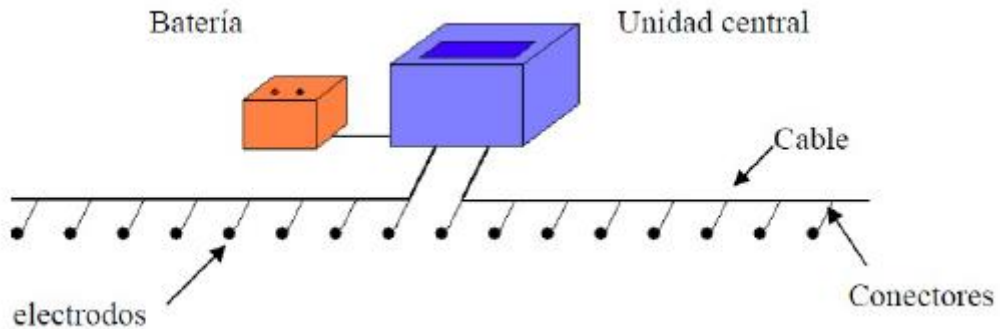


Fig. 36 Esquema dispositivo tomografía eléctrica

<https://docplayer.es/18248964-Tema-3-tomografia-electrica.html>

En un principio se procede al extendido del cable multinúcleo hasta alcanzar la distancia AB determinada en el estudio (630 m), con un espaciado entre electrodos de 10 metros.



Fig. 37 Tirada de cableado sobre el terreno.

Mediante un pequeño cable de cobre y con una terminación en pinza, se hará la conexión entre el conector y el electrodo hincado en el terreno para transmitir la corriente al terreno y realizar las medidas del potencial. La fuente de corriente es una batería de 12 V.



Fig. 38 Conexión conector y electrodo mediante pinza de cobre.

Para una correcta secuencia, el cable de transmisión tiene un código numérico correlativo en cada una de las cajas de conexión. La forma de conexión de las diferentes secciones queda reflejada en las siguientes figuras:



Fig. 39 Secuencia de conectores según su numeración y letra.

En las figuras anteriores se observa la correlación de la numeración de los conectores dispuestos en el cable. Al pasar de una percha a la siguiente se indica por la letra asociada. La terminación de la sección anterior sería 09E y el comienzo de la siguiente correspondería con 00F y así sucesivamente hasta alcanzar la distancia de estudio (630m).

Tras la disposición de los cables y la conexión de todos los conectores con sus respectivos electrodos se procede al riego con agua de cada uno de dichos electrodos que conforman el estudio y así poder facilitar una mejor transmisión de la corriente eléctrica a este.

Una vez realizado esto y tras la conexión de todos los elementos del equipo se procederá a la configuración del resistivímetro mediante el programa RESECS II y la posterior toma

de datos. El dispositivo electródico utilizado para el estudio es el dispositivo Wenner-Schlumberger.



Fig. 40 Equipo instalado para la toma de datos.

7.2.2 Dispositivo Wenner – Schlumberger.

La configuración geométrica de este dispositivo determina que los electrodos de corriente se ubicarán en los extremos (A, B) mientras que los electrodos de potencial se colocarán en la parte central (M, N). La única condición que deben cumplir es que la distancia de separación existente entre los electrodos de corriente sea 5 veces mayor que la distancia de separación de los electrodos de potencial. (Fig. 41)

Este dispositivo tiene buena respuesta tanto para cambios de resistividad verticales como para laterales.

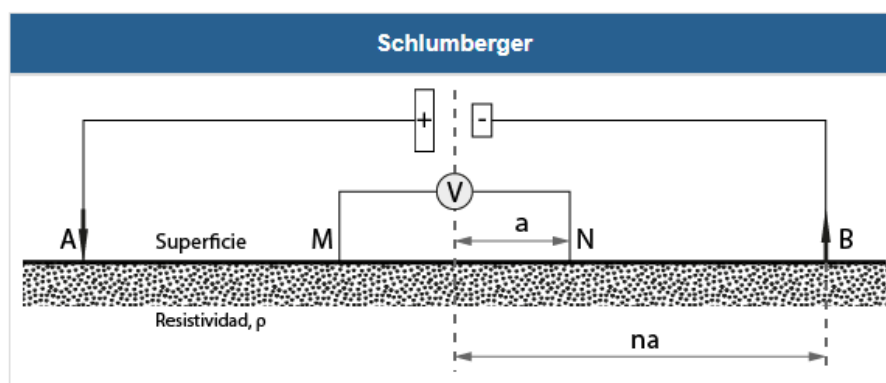


Fig. 41 Dispositivo Schulemberger.

A continuación, se muestra una parte de la secuencia de medida del dispositivo de Wenner – Schlumberger para un determinado número de electrodos y la profundidad de las distintas medidas.

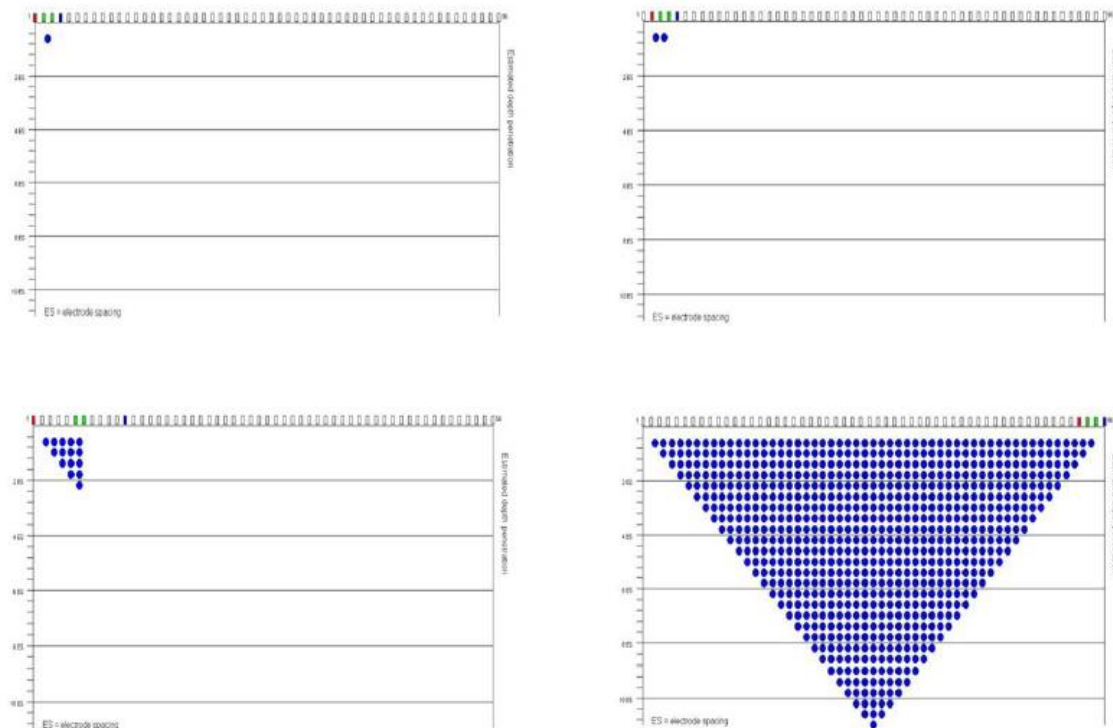


Fig. 42 Esquema de la configuración del modelo. Los electrodos de color rojo y azul son los electrodos de corriente y los electrodos de potencial presentan un color verde. Los puntos azules reflejan las diferentes resistividades aparentes que se obtienen en el subsuelo. (Pellicer Jiménez, 2015)

Tras la finalización de la toma de datos se procederá al trabajo de gabinete para su interpretación.

7.3 SOFTWARE DE INTERPRETACIÓN RES2DINV.

El software RES2DINV es un método de inversión de datos que consiste en determinar y calcular la resistividad real a partir de la resistividad aparente de campo utilizando algoritmos desarrollados e implementados por Loke & Barker, (1996) con el fin de realizar un modelo.

Estos autores se basan en un método de mínimos cuadrados, es decir, una optimización de datos obtenidos en la campaña de campo con los datos calculados. Cuanto más se parezcan estos datos, mejor será el ajuste. Este método de mínimos cuadrados sigue la siguiente expresión:

(VII)

$$(J^T J + uF)d = J^T g$$

Ecuación 7 Método de mínimos

Donde:

$$F = f_x f_x^T + f_z f_z^T \quad (\text{VIII})$$

Ecuación 8 Descomposición de F en sus filtros de suavizado.

Siendo, f_x y f_z filtros de suavizado, J la matriz jacobiana de derivadas parciales, u es el factor de amortiguamiento, d es el vector sobre la perturbación del modelo y g es el vector de discrepancia.

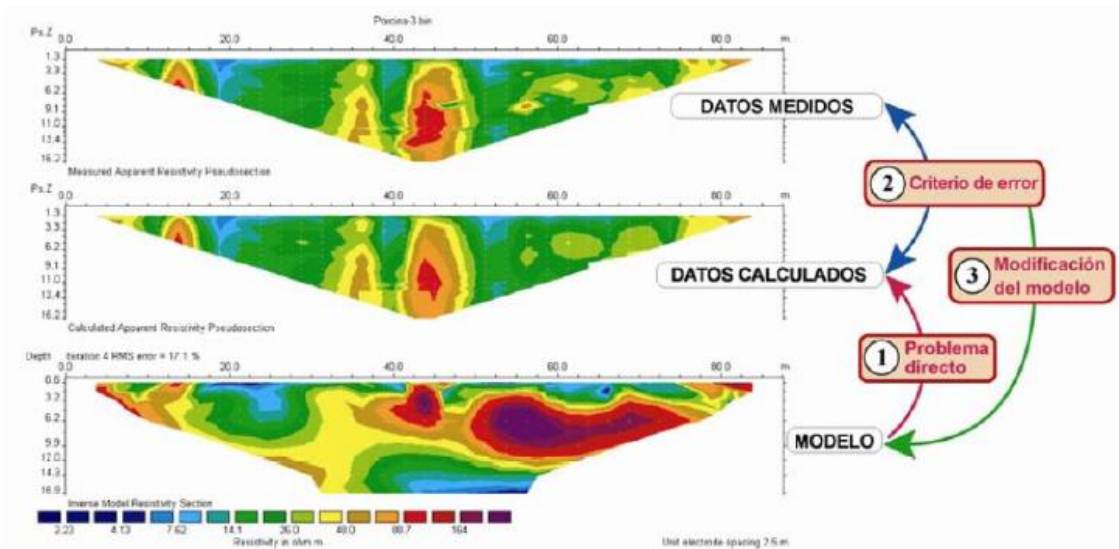


Fig. 43 Etapas del proceso de inversión de datos mediante el programa RES2DINV.

Este programa utiliza un modelo bidimensional, es decir, divide la superficie del terreno en bloques rectangulares cuya finalidad es la de determinar la resistividad de cada bloque, el cual creará una pseudosección de resistividades que coincida con los valores medidos.

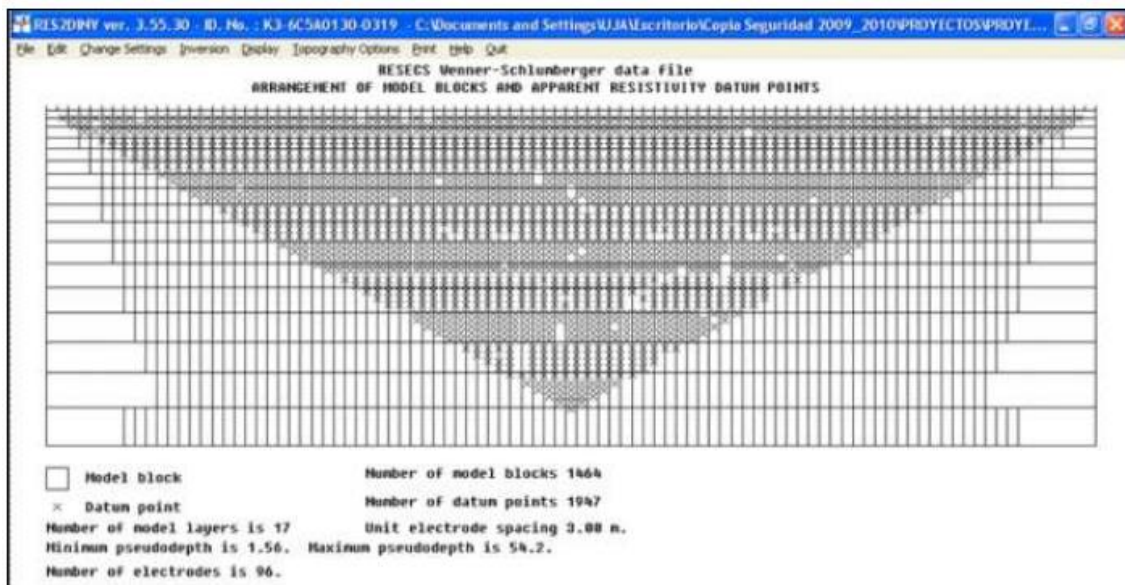


Fig. 44 Modelo 2D de bloques.

Para el dispositivo Wenner y Schlumberger, el espesor del primer bloque se establece como 0.5 veces el espaciado entre los electrodos mientras para los dispositivos Polo – Polo, Dipolo-Dipolo y Polo-Dipolo los espesores son de 0.9, 0.3 y 0.6. El espesor de la capa más profunda aumenta entre un 10 y un 15%, pudiendo variar según se requiera por parte del operador.

Uno de los factores más importantes a la hora de realizar la inversión de datos es el error RMS. Este error es la diferencia que existe entre los datos medidos (datos de campo) y los valores calculados (valores de resistividad aparente). Cuanta más diferencia haya entre ambos datos mayor será el error producido, por este motivo estos datos llamados “outliers” deberán ser filtrados, no obstante, es importante conocer su génesis y evaluarlos.

Previa a la inversión de datos se realiza un filtrado de toda la información para poder identificar posibles puntos que representen resistividades anómalas (bajos o altos). Estos puntos pueden ir asociados a un ruido natural (medición, geometría...) que pueden afectar al cálculo del modelo por lo que es conveniente proceder a su eliminación para así conseguir una inversión limpia y refinada.

A continuación, se detallan diferentes opciones disponibles en el programa de inversión de la casa Geotomo Software:

7.3.1.1 Barra de diálogo del menú principal.

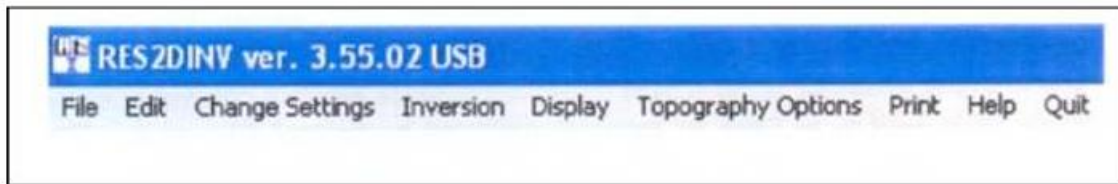


Fig. 45 Barra de diálogo.

7.3.1.2 File.

En este apartado se importan los datos que han sido obtenidos en la campaña de prospección. Estos datos se presentarán con una extensión rem., sen., y uai.

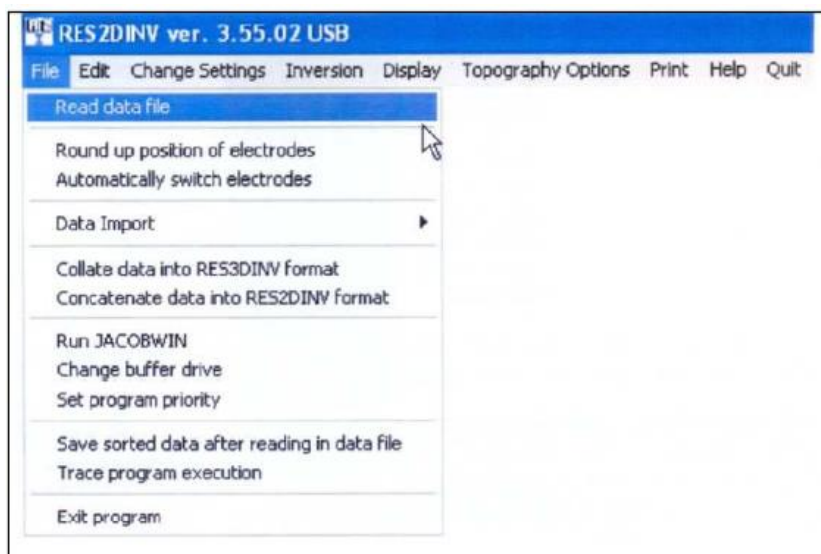


Fig. 46 Submenú de la opción File del programa de inversión.

7.3.1.3 Edit.

Es el apartado donde se eliminan los datos anómalos que se consideren oportunos en el comando "Exterminate bad datum points".

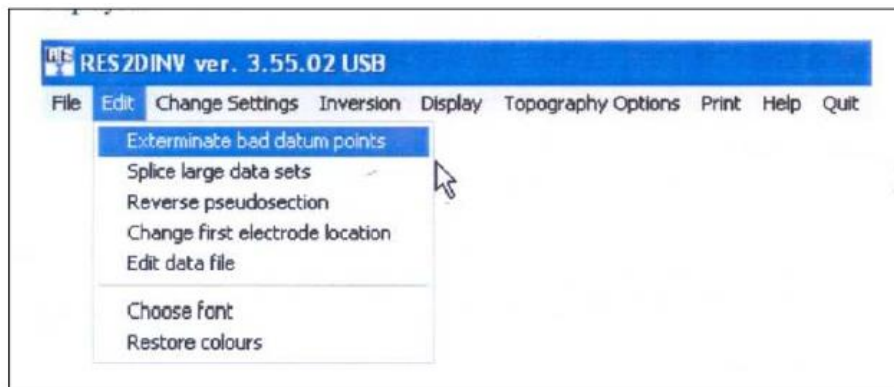


Fig. 47 Submenú de la opción Edit del programa de inversión.

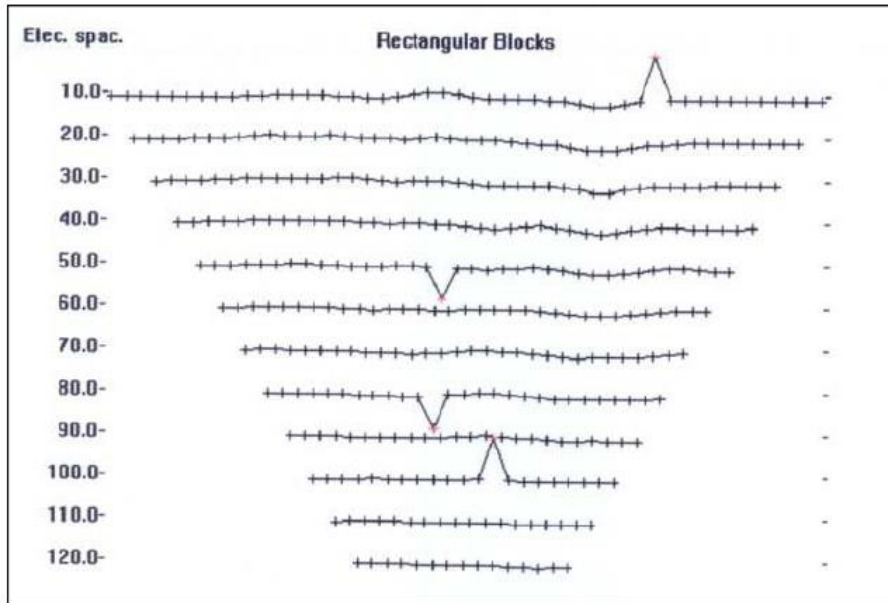


Fig. 48 Pantalla de opción "Exterminate bad datum points"

7.3.1.4 Factor de amortiguamiento (u).

Este factor se utiliza cuando existe una gran cantidad de ruido el cual está comprendido entre 0.1 y 0.3, escogiéndose el menor valor cuando la señal/ruido sea buena. Dicho valor sirve para estabilizar el proceso de inversión por lo que suele ser de gran importancia. Para el control de esta opción hay que entrar en la opción "Change Settings" y seleccionar "Inversion Damping Parameters" "Damping Factor".



Fig. 49 Submenú y opción "Change Settings".

Dentro de "Change Settings" encontramos la opción "Mesh Parameters" donde se pueden modificar los parámetros de la malla mediante "Finite Mesh Grid Size" y "Mesh Refinement".

En cuanto al método elegido por ser más rápido y eficaz el programa utiliza el Métodos de Diferencias Finitas (MDF).

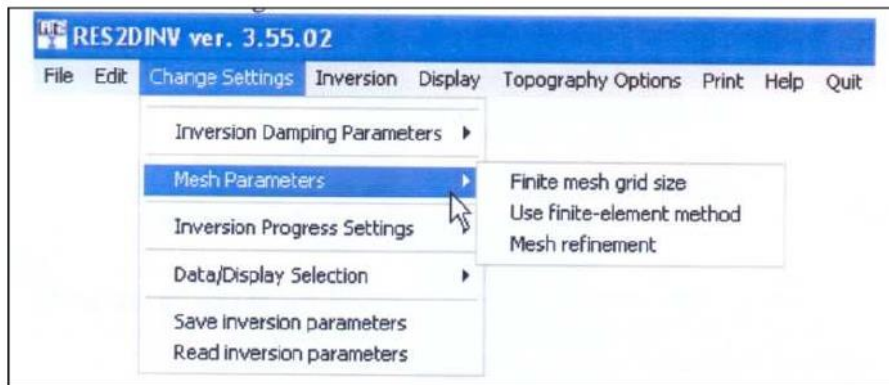


Fig. 50 Opción "Change settings" y opciones varias del submenú "Mesh Parameters"

Dentro de las operaciones de inversión, cabe destacar el parámetro "Convergence Limit" que se ubica dentro de la opción "Inversion Progress Settings". Este parámetro establece el límite menor para el cambio en el error cuadrático en % entre dos iteraciones consecutivas (RMS). Si el RMS es menor a dicho limite se detendrá. Normalmente se establece entre un 2 y un 5% en función de la calidad de los datos.

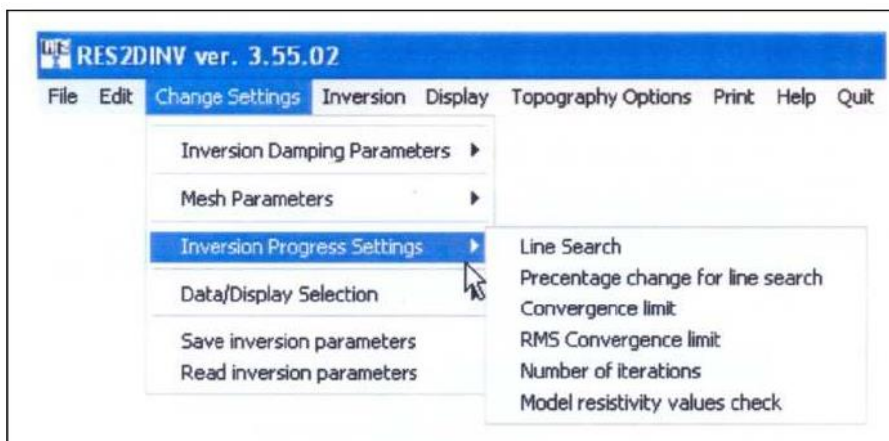


Fig. 51 "Inversión Progress Settings" y submenú.

7.3.1.5 Inversión.

Comienza con la opción de inversión por mínimos cuadrados "Least-squares inversion"

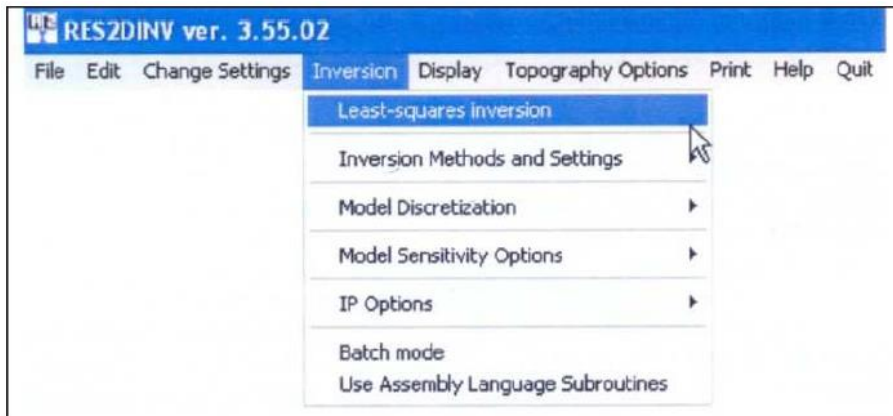


Fig. 52 Opción "Inversión"

Las opciones de discretización permiten realizar modificaciones en la forma en las que el programa divide el terreno en celdas. Con la opción "Display model blocks" representa la distribución de bloques y la situación de los puntos de medida.

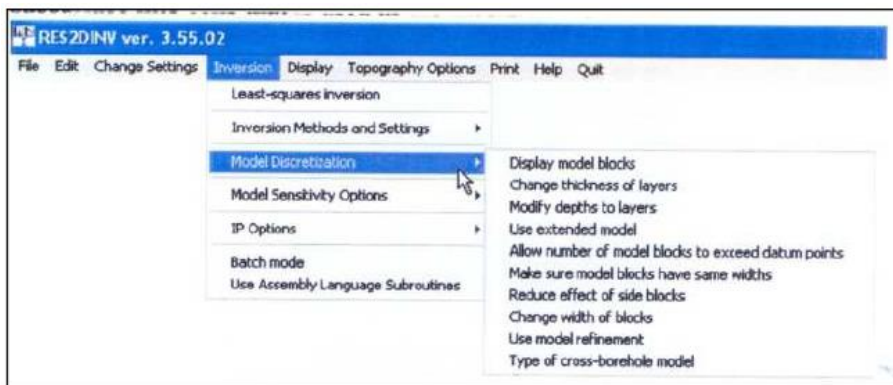


Fig. 53 Opciones de "Inversión Methods and Settings"

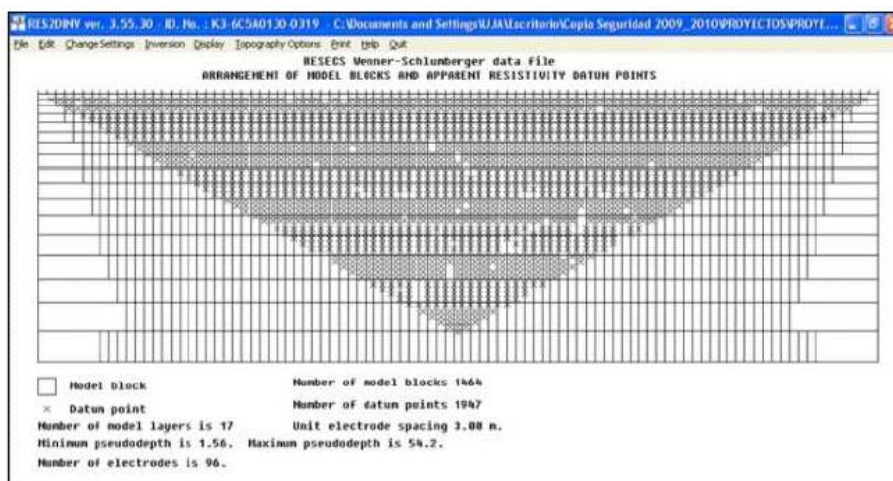


Fig. 54 Modelo de bloques con los diferentes puntos de salida.

La opción “Model Sensitivity Options” presenta el parámetro “Display model blocks sensitivity” que nos permite ver la distribución de la sensibilidad en el modelo de bloques.

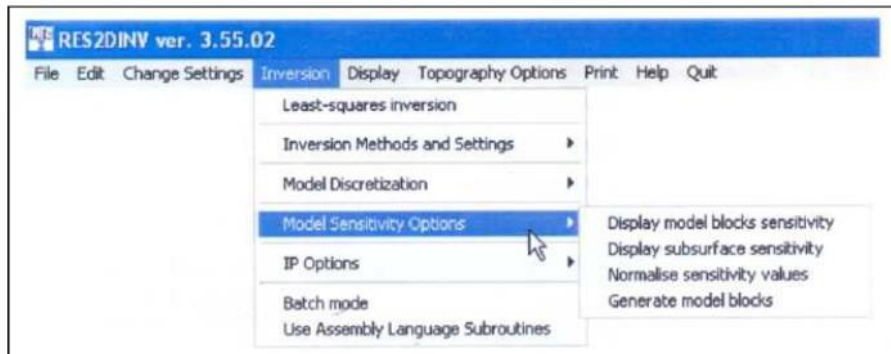


Fig. 55 Opción "Model Sensitivity Options"

El valor de la sensibilidad mide la cantidad de información obtenida de la resistividad en el modelo de bloques para el conjunto de los datos medidos. Cuanto mayor será el valor de sensibilidad más fiables serán los datos del modelo.

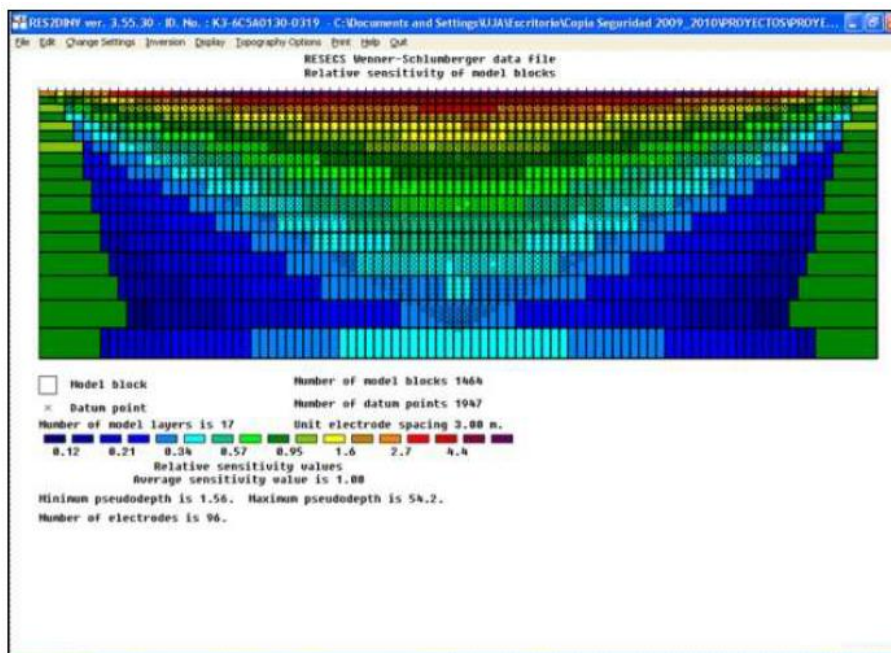


Fig. 56 Modelo de la sensibilidad de bloques.

La opción “Topography Options” permite visualizar la topografía medida. La topografía es un factor fundamental a tener en cuenta a la hora de crear diferentes secciones de resistividad, ya que tiene una gran influencia en el resultado de la inversión de los datos. Los datos topográficos que se obtienen a partir de su correspondiente levantamiento topográfico realizado con un sistema de GPS, se introdujeron en el software al iniciar la

inversión mediante un fichero de texto. El método utilizado para la modelización de los datos de topografía es el de los elementos finitos.

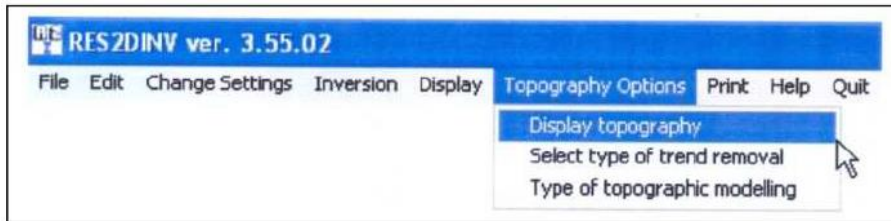


Fig. 57 Cuadro de diálogo "Topography Options"

7.3.1.6 *Display.*

Este comando lleva a un nuevo desplegable con las siguientes opciones.

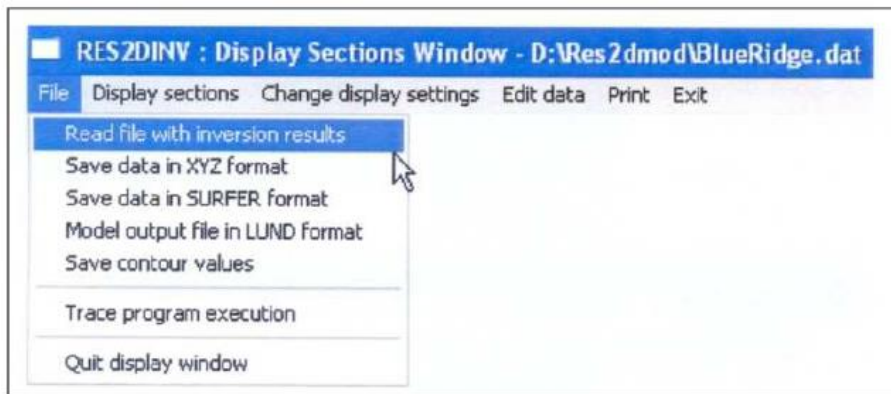


Fig. 58 Opción "Display" con sus correspondientes opciones "File".

En la opción "Display Sections" se puede visualizar el perfil con o sin su topografía.

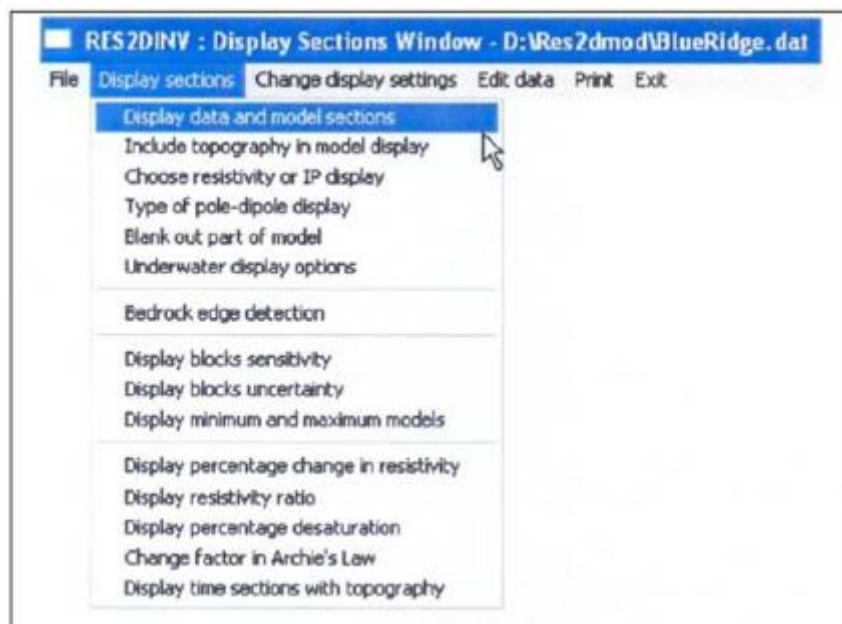


Fig. 59 Opción "Display Sections"

En la opción "Change display settings" se pueden modificar tanto la información como las cualidades de los gráficos.

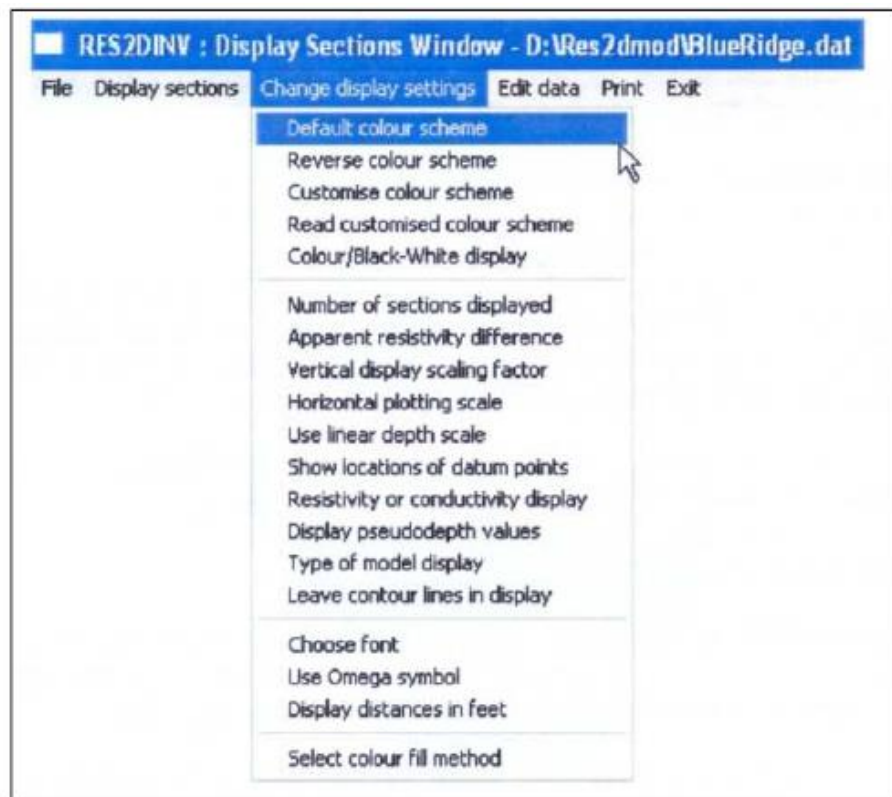


Fig. 60 Submenú de la opción "Change Display Settings"

En la opción Print se guarda toda la información del estudio realizado en un formato gráfico.

8. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN.

La detección de agua en el subsuelo se basa en la localización de zonas favorables una vez elaborado nuestro modelo de resistividad real de la zona.

Los valores de resistividad que nos pueden indicar la presencia de agua en el subsuelo pueden ser diferentes. En el caso de series sedimentarias detrítica, las rocas de interés estarán asociadas a conglomerados y/o arenas que presentarán resistividades superiores a las margas o arcillas sin interés para la captación de agua. En el caso de series sedimentarias carbonatadas, el interés se centrará detectar estos niveles que pueden constituir acuíferos secundarios por fisuración o fracturación, presentando una respuesta de resistividades alta. En el caso que nos ocupa, donde buscamos zonas fracturadas dentro de un resistivo (granito), las resistividades medidas tendrán un valor medio-bajo.

Por este mismo motivo es recomendable tener un mínimo conocimiento de la geología de la zona ya que de esta forma se podrán asociar los valores de resistividad medidos a las litologías esperables.

Conociendo la geología de la zona y una vez obtenido nuestro modelo de resistividad real con su correspondiente topografía tras la inversión de datos mediante el programa RES2DINV. Interpretamos el siguiente modelo:

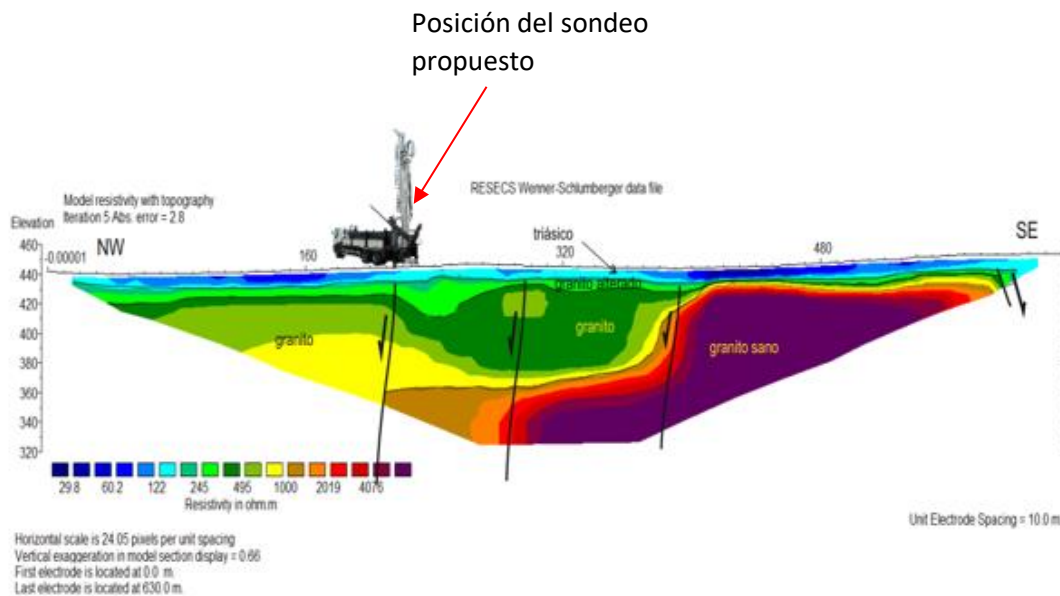


Fig. 61 Modelo de resistividad con topografía.

Unas resistividades con unos valores superiores a los 3000 $\Omega \cdot m$ en la parte derecha del modelo. Son valores característicos de un granito sano, sin fractura alguna y de gran dureza que ha instruido en una roca encajante compuesta por rocas metamórficas (filitas, pizarras...), no presentes en la zona de estudio.

Los valores de resistividades entre los 250 y los 3000 $\Omega \cdot m$ corresponden a rocas graníticas más o menos alteradas, en función del grado de fracturación y presencia de agua. Los valores entre 250 y 1000 $\Omega \cdot m$ serían granitos con un elevado grado de alteración, asociado a alteración supergénica asociada a zonas de fracturación (ver modelo hidrogeológico del granito). Esta presenta una potencia aproximada de 140 m en su parte occidental y una potencia de 20 m en su parte más oriental. Todo el conjunto parece estar controlado por un juego de fallas que compartimentan y hundan el granito hacia el NW.

Sobre el basamento paleozoico se deposita el triásico por discordancia angular erosiva. Las litologías corresponderían con unos conglomerados de base, arcillas y areniscas. Las resistividades oscilarían entre 30 y 250 $\Omega \cdot m$. y potencia entre 10 y 15 m.

A la vista del modelo interpretado, las zonas preferentes para posicionar el sondeo deberían asociarse a las fracturas deducidas. Según, este criterio la zona donde mayor caída de resistividad se aprecia sería en el metro 240 desde el origen. También, la caída de resistividad que se aprecia hacia el final del perfil, también asociado a una fractura, podría ser de interés, si bien al estar en el extremo no ha resultado bien reconocida con la tomografía.

9. METODOS DE PERFORACIÓN.

La **perforación** es toda operación que se realiza para la apertura de un hueco en la roca, ya sea para la realización de un sondeo, captación de agua, petróleo o gas, o para introducir un explosivo en su interior en minería.

Estos huecos son cilíndricos, con unos diámetros y longitudes que varían según su funcionalidad. En minería se le conocen comúnmente como barrenos.

Los principales componentes de un sistema de perforación son:

- Perforadora.
- Varillaje que es el medio de transmisión de energía.
- La boca de perforación que es la encargada de transmitir la energía a la roca.
- El fluido de barrido que es el encargado de extraer el ripio o detritus producido en la perforación

9.1 TIPOS DE PERFORACIÓN.

9.1.1 Perforación por percusión.

El fundamento de este método se basa en el golpeo de un trépano que se eleva con un cable y que cae por gravedad.

Este sistema requiere de la eliminación del ripio con cucharas. Este proceso se realiza deteniendo el golpeo e introduciendo la cuchara junto con un caudal de agua para la extracción del detritus producido en la fase de golpeo.

Estos sondeos son estrictamente verticales, los cuales pueden ser entubados al mismo tiempo de producirse la percusión.

9.1.1.1 Características.

- Pueden alcanzar los 700 m de profundidad, pero no suelen exceder de los 100-150 m.
- Sus diámetros de perforación oscilan entre los 250 y 800 mm.
- La altura de su mástil oscila entre los 11 y 18 m.
- Realiza una percusión en torno a unos 30 – 60 golpes por minuto de modo que a mayor dureza mayor frecuencia de golpeo.
- La altura de caída del trepano oscila entre los 30 – 90 cm de modo que a mayor dureza mayor altura de caída.
- Se accionan mediante motores diésel.

9.1.1.2 Campo de aplicación

Este método se utiliza principalmente en terrenos con una dureza media-baja por lo que sus rendimientos serán mucho más elevados que en terrenos duros y abrasivos.

9.1.2 Perforación por rotación

La perforación por rotación consiste en aplicar energía a la roca, haciendo rotar una herramienta de corte con la acción de la fuerza de la roca.

Este sistema tuvo su origen en los pozos petrolíferos limitados a rocas blandas, con unos diámetros que oscilan entre los 50 y 311 mm.

Este tipo de perforación comprende dos variantes que dependen de la circulación del fluido de perforación. Estas son:

- **Circulación Directa:** El fluido de perforación se introduce por el interior de la sarta y se extrae por el anular.
- **Circulación Inversa:** El fluido de perforación se extrae por el interior de la tubería de la sarta.

9.1.2.1 Campo de aplicación

En rotación directa el diámetro máximo se encuentra en torno a los 700 mm y alcanza cualquier profundidad, por el contrario, en rotación inversa los diámetros oscilan en torno a los 250 – 700 mm en suelos no cohesionados y profundidades máximas de 300 m.

9.1.3 Perforación a rotopercusión.

En el método de rotopercusión se hace uso de una sarta de perforación por donde se inyecta aire comprimido a través de las tuberías para accionar un martillo neumático de fondo, que golpea directamente el útil de perforación. (Bustillo, M., 2001 en López, C.,2001).

En la actualidad, este método permite superar los 300 m. de profundidad. El diámetro máximo ese encuentra en torno a los 320 mm, el cual se consigue reperfando el taladro inicial de 210 mm de diámetro. Su utilización es excelente para terrenos consolidados, granito, cuarcitas, calizas, dolomías y pudingas. La perforación es muy rápida, consiguiendo avances medios diarios de 100 m. (Bustillo, M., 2001) (Fig. 62).

El ripio generado es extraído mediante un caudal de aire comprimido y agua.

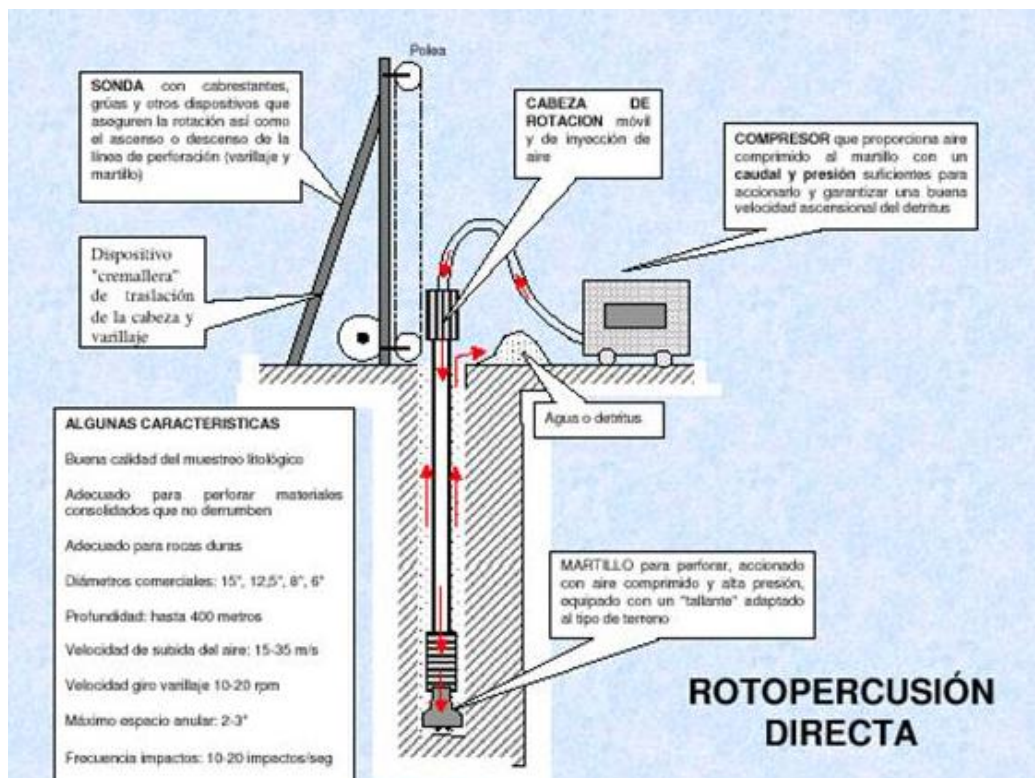


Fig. 62 Elementos del método de perforación.

<https://www.perforacioneslacanada.es/portfolio/metodos-de-perforacion>

En nuestro estudio, este es el método seleccionado para realizar la perforación del sondeo para captación de agua subterránea.

Dentro del método rotopercutivo existen dos variables diferentes, en general para perforaciones cortas (barrenos):

9.1.3.1 Martillo en cabeza.

En este tipo de martillo tanto la percusión como la rotación se realizan fuera del barreno, transmitiéndose la energía a través del varillaje hasta la boca de perforación. Es apropiado para perforar profundidades no muy profundas, como son los barrenos para perforación y voladura (Fig. 63).

Puede ser tanto neumático como hidráulico.



Fig. 63 Martillo en cabeza Simba 7.

<https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/01/17/perforacion-con-martillo-en-cabeza>

9.1.3.2 Martillo en fondo.

En este caso la percusión se realiza en la boca de perforación y la rotación en el exterior del barreno. El pistón es accionado mediante un dispositivo neumático, por el contrario, la rotación puede ser tanto neumática como hidráulica (Fig. 64).



Fig. 64 Perforadora con martillo en fondo.

<http://heavy-construction.com.ar/5-1-1-dth-drilling-rigs.html>

10. MÉTODO DE PERFORACIÓN ELEGIDO.

Los resultados obtenidos en el estudio de prospección geofísica, indican la posición del sondeo a realizar y la profundidad de la perforación. Los materiales a atravesar son una capa triásica en superficie con un granito alterado en profundidad. El sondeo a realizar será de:

- Profundidad: 150 m.
- Diámetro perforación: 300 mm.
- Tubería de revestimiento: 180 mm.

De los tres métodos descritos anteriormente el método que se utilizará para la perforación de nuestro objetivo es: **ROTOPERCUSION CON MARTILLO EN FONDO (D.T.H)**

Este tipo de perforación fue desarrollado por Stenuick en 1951, en el cual la boca de un martillo golpea directamente con el fondo de la perforación evitando que se pierda parte de la energía transmitida a través del varillaje.

En la actualidad, este método de martillo en fondo puede llegar a alcanzar profundidades superiores a los 300 m y tener unos altos rendimientos que oscilen entre los 60 – 100 m por turno de trabajo.

El martillo en fondo y la boca de perforación constituyen una sola pieza dentro del sondeo, garantizando de esta forma, que la velocidad de perforación sea uniforme durante todo el proceso de perforación.

El pistón del martillo se acciona de forma neumática mientras que la rotación se puede alcanzar tanto por vía neumática como por vía hidráulica. Además, el aire comprimido sirve para extraer el detritus del fondo del sondeo generado por la fragmentación y trituración de la roca (Fig. 65 y 66).

10.1 PARTES DEL D.T.H.

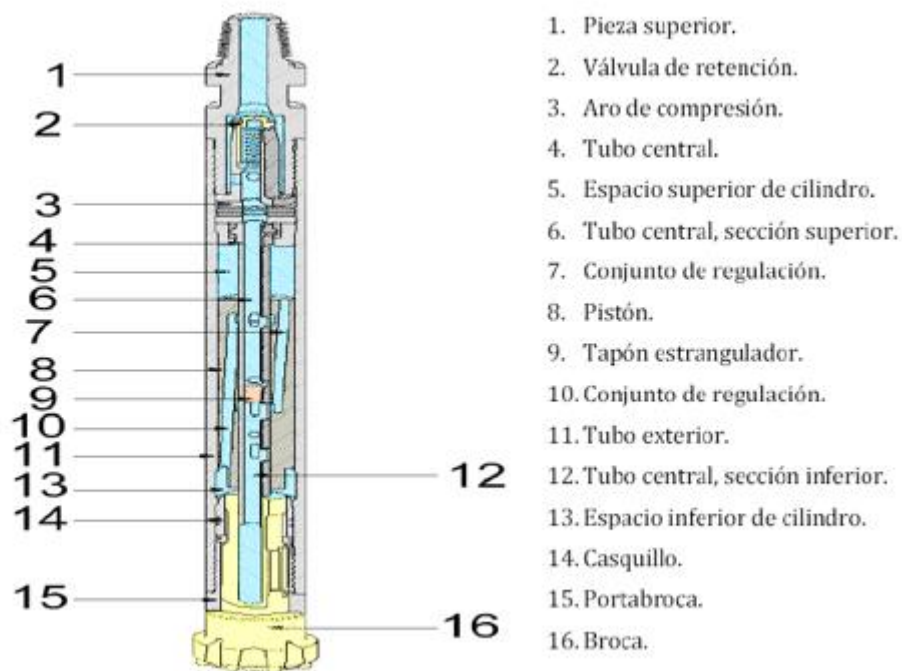


Fig. 65 Partes del martillo en fondo, (D.T.H)

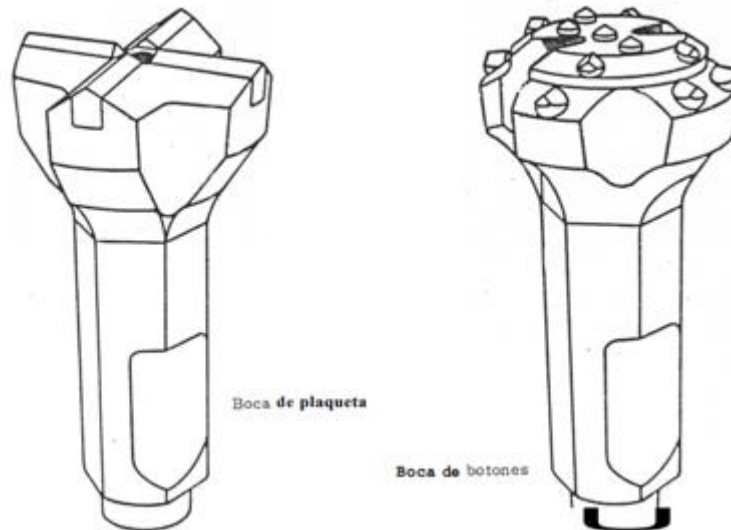


Fig. 66 Tipos de bocas utilizadas en el martillo en fondo.

https://aguas.igme.es/igme/publica/libro51_54/pdf/lib51/in_anexo%201a.pdf

10.2 CAMPO DE APLICACIÓN.

La perforación en rotopercusión con martillo en fondo se emplea fundamentalmente en rocas cuya resistencia a la compresión este comprendida entre 60 – 100 MPa, utilizando unos diámetros entre 85 – 200 mm, aunque el rango comprendido entre 76 – 125 mm está siendo sustituido por la perforación con martillo hidráulico en cabeza.

La velocidad de penetracion en diámetros comprendidos entre 105 y 165 mm para presiones entre 1800KPa y 2000KPa es de 0.5 a 0.6 m/min.

La frecuencia de golpeo se encuentra entre 600 y 1600 golpes/min.

Para el empuje es necesario un peso de 85 kg por cada cm de diametro.

10.3 VENTAJAS DEL MARTILLO EN FONDO.

- La velocidad de penetración es uniforme durante todo el proceso de perforación.
- El desgaste de la broca es menor al producido por el martillo en cabeza. A mayor abrasividad de la roca mayor desgaste producido.
- Los tubos tienen una vida útil mayor que las varillas y manguitos del martillo en cabeza.
- Presentan mínimas desviaciones.
- Se emplean en formaciones fracturadas y diaclasadas.

- Bajo nivel de ruido al encontrarse el martillo en el interior del sondeo.

10.4 INCONVENIENTES DEL MARTILLO EN FONDO.

- Alto riesgo de pérdida del martillo en el interior del sondeo.
- Se requieren de compresores de alta presión con sus respectivos consumos energéticos.
- Velocidades de penetración bajas.
- Coste muy elevado.

11. MÁQUINA DE PERFORACIÓN SELECCIONADA.

La selección del equipo de perforación se realiza a través de la empresa Talleres Segovia S.A la cual presenta un amplio catálogo de modelos de sondas de perforación para sondeos que llegan a alcanzar los 2000 m de profundidad.

Estas sondas vienen montadas en orugas, camión y plataforma.

El equipo más apropiado para realizar la perforación de nuestro sondeo proyectado es la Segogui – 21, la cual presenta las siguientes características técnicas.

SEGOQUI 21 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Propósito:	Rotopercusión y Circulación Directa.
Capacidad:	450 m de profundidad con Ø350 mm.
Potencia:	150 kw (200 H.P) a 1.800 r.p.m.
Par máx. de rotación:	2.200 kg x m.
Extracción máxima:	24.000 kg.
Cabestrante Principal:	36.000 kg.
Extracción Total:	50.000 kg. con cilindro y cabestrante.
Empuje:	12.000 kg.
Vel. máx. Rotación:	120 r.p.m.
Cabeza de Rotación:	Con 3 velocidades.
Mesa inferior:	Hidráulica con 320 mm de paso.
Varillaje:	Ø114mm.Ø140mm y 3m de longitud.
Almacén de varillas:	150 m, sobre propio camión.
Tipo de montaje:	Camión 6x6 ó 6x4 con P.M.A de 26.000 kg.
Cabrestante:	Para maniobra de 3.000 kg de tiro.
Varios:	Grupo de Soldadura de 300 A. Bomba de inyección de espuma.

Tabla 3 Características técnicas de camión SEGOQUI 10.

Este equipo de perforación (Segoqui-21), admite un diámetro de perforación de 350 mm alcanzando una profundidad de 450 m. Puede ir montada sobre un camión 6x6 o 6x4 con un P.M.A de 26000 kg. Presenta una potencia de 150 kW y produce un empuje sobre el terreno de 12000 kg.

Además, presenta doble funcionalidad tanto a circulación directa como inversa.



Fig. 67 Lateral camión SEGOQUI - 21 con perforadora.



Fig. 68 Izda. Abrazadera de tubos para su instalación. Dcha. Trasera del camión SEGOQUI - 21

11.1 REVESTIMIENTO DEL SONDEO.

El proceso de revestimiento se puede realizar mediante dos formas diferentes.

- **Tubería de revestimiento**: Se utiliza en formaciones inestables.
- **Cementaciones**: Para consolidación de paredes de los sondeos o para perforar zonas muy descompuestas y con una fuerte karstificación, (Piñero e López, 2001).

La escasa alteración de la roca que presenta el granito en profundidad, nos permite la utilización de la tubería de revestimiento.

El aporte de agua al sondeo puede realizarse mediante dos formas:

- **Fracturación del granito**: El granito presenta un comportamiento muy cercano a un acuífero secundario por fracturación por lo que la tubería ranurada o de rejilla deberá colocarse en dicha zona.
- **Aporte superficial**: Las capas más superficiales actuarán como un acuífero libre debido a la gran fracturación del granito por la fuerte exposición a los procesos de meteorización.

Un material muy apropiado para la entubación del sondeo es la tubería de acero. Además, deberá cumplir con el diámetro adecuado, el cual va en función del caudal que se quiere extraer y la profundidad proyectada.

Este diámetro según viene establecido en el “Manual de sondeos. Aplicaciones” (Piñero e López, 2001) sería de 300 mm como mínimo, según la relación caudal (4 l/s) y profundidad (150 m). (Fig. 56). El diámetro seleccionado para la entubación será de 180 mm.

PROFUNDIDAD H (m)	CAUDAL Q (l/s)		
	0-40	40-60	60-100
	DIÁMETRO (mm)		
0-100	250	300	350
100-200	300	350	400
200-300	300	350	400

Tabla 4 Cálculo del diámetro en función del caudal y la profundidad del sondeo. (Piñero e López, 2001)

11.2 MATERIALES.

Los más utilizados en la entubación de un sondeo son:

- **Acero:** Es el material más empleado y va en función del diámetro del sondeo y de la resistencia a soportar.
- **PVC:** Se le conoce como Polivinilo de Cloro y se utiliza principalmente en sondeos de pequeño diámetro y en terrenos consolidados.

En el proyecto se va a utilizar el acero, por la profundidad del mismo y por las presiones que va a soportar.

La empresa que nos va a aportar dichos materiales es Talleres Barragán Hermanos, especialistas en la fabricación de este tipo de tuberías.

11.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES A EMPLEAR EN NUESTRO PROYECTO.

- **Tubería de acero:** Se trata de una tubería de acero al carbono con soldadura en espiral. Dicha soldadura penetra en el 100% de la pared del tubo dando lugar a una completa fusión de las placas de acero permitiendo, que este tipo de tubería sea la más adecuada para la conducción de líquidos. Esta tubería presenta las siguientes características:

Longitud	entre los 4 y 15 m
Diámetro	entre 180 y 1016 mm
Espesor	4, 5, 6, 8 y 10 m

Tabla 5 Características tubería de acero. (Talleres Barragán Hermanos).

- **Tubería de acero con filtro puentecillo doble:** Es el principal tipo de tubería para la captación de aguas subterráneas la cual presenta las siguientes características:

Longitud tramos ranurados	2, 4, 6 y 8 m
Diámetro	entre 200 y 350 mm
Espesor	4, 5, 6y 8 mm
Abertura rejilla o paso de luz	Entre 1.3 y 1.5 mm

Tabla 6 Características tubería de acero con filtro puentecillo doble. (Talleres Barragán Hermanos).

Hay que destacar que, por cada 2 m de tubo ranurado, las ranuras hacen un hueco de 437 cm² por lo que está asegurado que toda el agua que pueda proporcionar el acuífero va a penetrar en el sondeo.

En la siguiente figura se detalla el espesor adecuado que deberá tener el acero en función del diámetro interior del sondeo:

Diámetro interior	Espesor (mm)			
	4	5	6	8
180	18,5			
210	21,0	26,0		
250	25,5	32,0	38,6	

Tabla 7 Espesor del acero para el diámetro interior determinado. (Talleres Barragán Hermanos).

Por tanto, para la entubación del sondeo emplearemos:

Tubería	Cantidad	Longitud (Ud.)	Total (m)
Acero ciego	17	6	102
Rejilla	12	4	48
		TOTAL	150

Tabla 8 Longitudes de la entubación.

11.3.1 Rejilla o paso de luz.

El objetivo fundamental de la rejilla es la de permitir la circulación de agua hacia el interior del pozo con el mínimo rozamiento posible para así, evitar pérdidas de carga.

Sus principales funciones son:

- Contener la grava artificial.
- Permitir el desarrollo del pozo.
- Evitar el arrastre de materiales que no se desean eliminar.

La selección de la rejilla debe hacerse en función de:

- La posición del acuífero.
- La curva granulométrica del acuífero.
- El diámetro.
- El caudal esperado en la captación.

En nuestro proyecto, al tratarse de un acuífero secundario (fracturación dentro de un granito), la rejilla a seleccionar vendrá determinada por el material y diámetro de la entubación ya que, al tratarse de una roca consolidada no dará lugar a arrastres de finos hacia el interior del sondeo. (plano 5)

11.3.2 Empaque de gravas.

El empaque de gravas se dispone entre la pared y la entubación del pozo mejorando de esta forma las características hidráulicas del sondeo.

Las gravas (artificiales) empleadas han de cumplir los siguientes requisitos:

- Deben ser las más redondeadas posibles.
- De composición silícea.
- Deben presentar un cierto grado de uniformidad.

En sondeos donde se realicen tratamientos no se deberá superar el 5% de ácido ya que, en caso de superarse, se eliminarían las partículas calcáreas del empaque de gravas en vez de eliminar las incrustaciones de Ca y Fe que puedan originarse en tuberías y filtros.

Estas gravas deben estar limpias, siendo lavadas con agua dulce.

Estas gravas una vez limpias, bien redondeadas y con una buena clasificación ofrecen un mínimo rozamiento por lo que, sondeos en los que se emplean estas gravas tienen unas menores pérdidas de cargas, mejorando rendimientos.

Las principales funciones del empaque de gravas en un sondeo son:

- Contener las paredes.
- Actuar como filtro impidiendo que partículas sólidas pasen al interior del sondeo.
- Consiguen una mayor permeabilidad, disminuyendo la velocidad del agua a su paso por el empaque de gravas.
- Alto rendimiento debido a las mínimas pérdidas de carga.
- Debido a la eliminación de un gran porcentaje de finos da lugar a un excelente funcionamiento del sondeo.

El empaque de gravas en nuestro sondeo no sería necesario al tratarse de un acuífero secundario por fracturación exento de finos. No obstante, es recomendable su instalación debido a las ventajas expuestas anteriormente.

De este modo vamos a disponer de una grava comercial con un diámetro mínimo de 3 mm y un diámetro máximo de 6 mm para así evitar que partículas inferiores a 0.5 mm puedan penetrar en el interior del sondeo.

12. CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN ELEVADORA

En la siguiente tabla se especifican las características del sondeo proyectado.

Características del sondeo	
∅ del sondeo	300 mm
Profundidad	150 m
Parámetros	
Q de explotación	4 l/s
Cota embocadura sondeo	435 m
Cota máxima de elevación	437 m
Profundidad del n.d.min.	65 m
Tubería del pozo.	
Longitud	150 m
Tubería ciega	102
Tubería ranurada	48
Diámetro	180 mm
Material	Acero
Tubería de impulsión	
Longitud	70 m
Diámetro	60 mm
Material	Polivinilo
Elementos auxiliares	
Codo de 90°	1
Válvula compuerta	1
Válvula de retención	1

Tabla 9 Datos de partida del pozo.

A partir estos datos de iniciales se procederá al cálculo de los siguientes elementos que componen la perforación del pozo:

1. Pérdidas de carga.
2. Altura manométrica.
3. Potencia del grupo elevador.
4. Características de la bomba.
5. Instalación eléctrica.
6. Transformador y grupo electrógeno.

12.1 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA.

12.1.1 Cálculo de las pérdidas de carga de los elementos hidráulicos.

Teniendo en cuenta que se espera extraer 4 l/s, primero realizamos la conversión de l/s a m³/h del caudal de explotación.

(IX)

$$Q = 4 \frac{dm^3}{s} * \frac{1 m^3}{1000dm^3} * \frac{3600 s}{1 hora} = 14.4 m^3 /hora$$

Ecuación 9 Conversión del caudal en m³/hora.

Una vez calculado el caudal el m³ / h se procede al cálculo de las pérdidas de carga mediante el siguiente ábaco de las tuberías de pozo y de impulsión y de los elementos auxiliares de las tuberías.

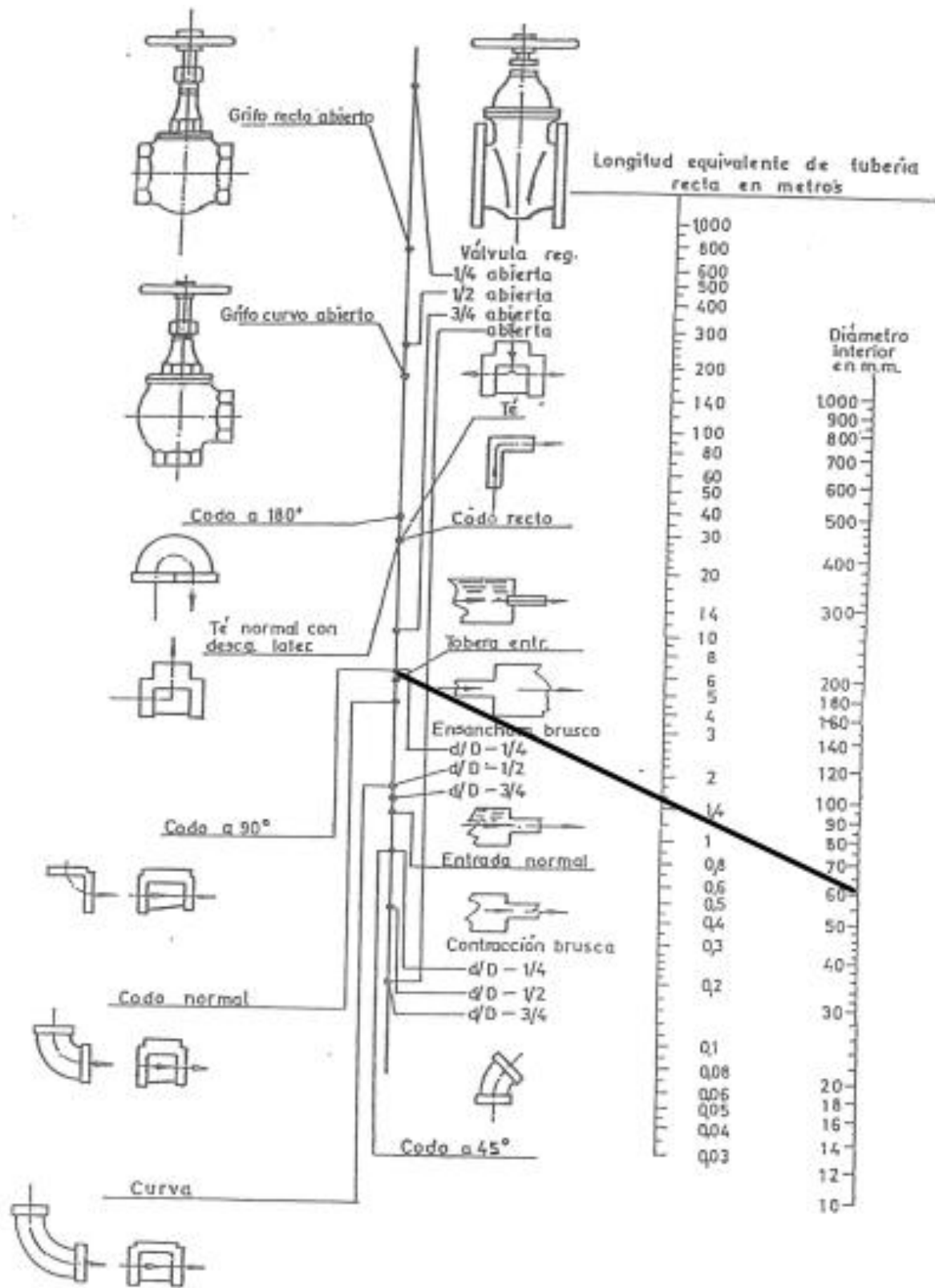


Fig. 69 Ábaco 1. Pérdidas de carga de los elementos hidráulicos. (Tomado como ejemplo de Bombas Ideal, 1974)

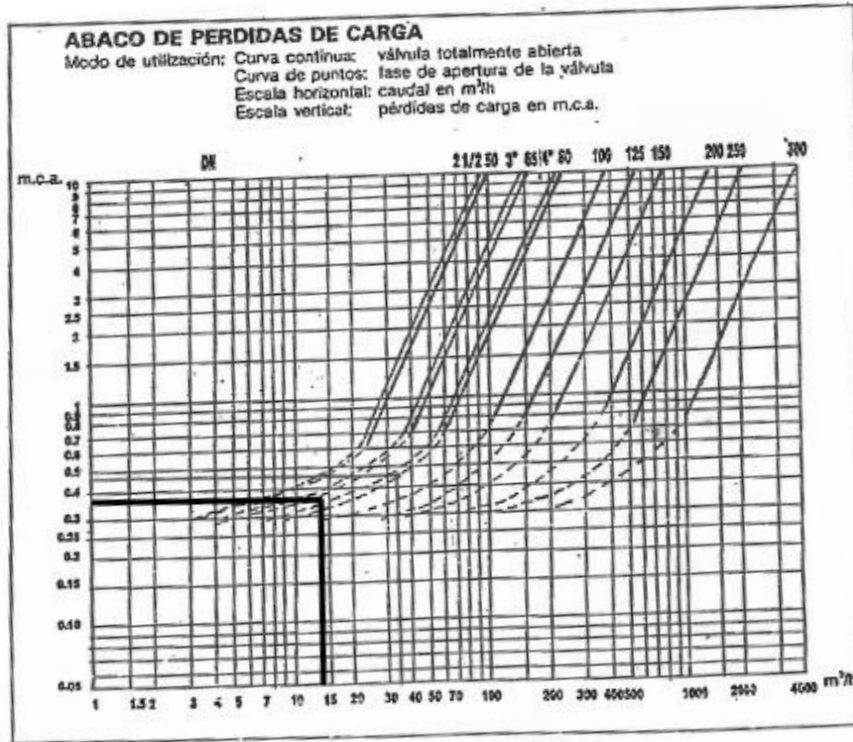


Fig. 70 Ábaco 2. Pérdidas de carga de la válvula para la salida de bomba.

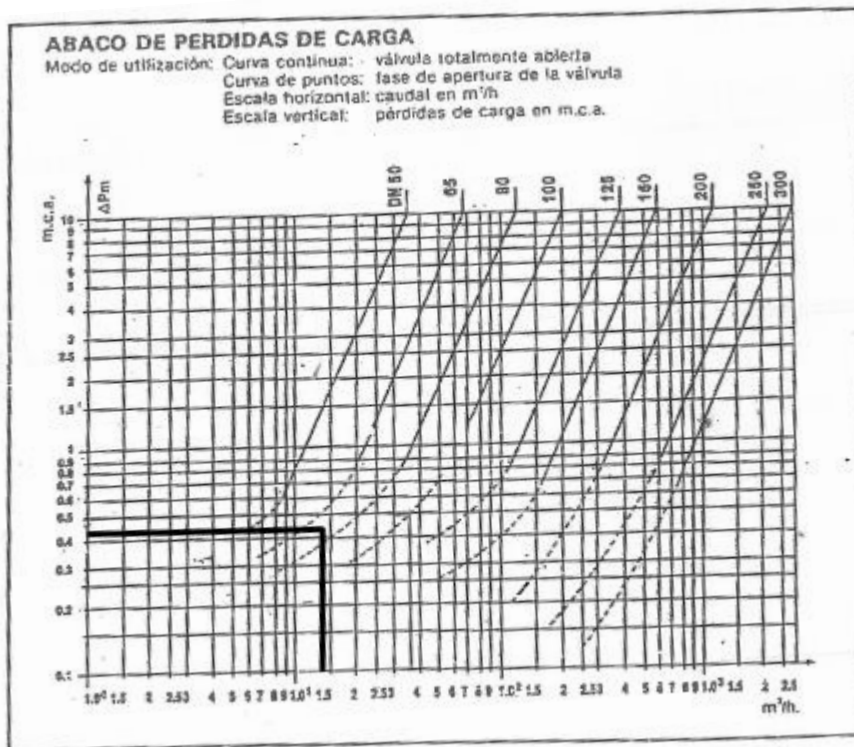


Fig. 71 Ábaco 3. Pérdidas de carga de la válvula de retención en la tubería de impulsión.

12.1.1.1 Resultados de pérdidas de carga para la tubería del pozo.

En esta tubería no habría ninguna pérdida de carga ya que a través de esta no circula fluido en su interior.

12.1.1.2 Resultados de pérdidas de carga para tubería de impulsión.

Cantidad	Concepto	Longitud equivalente (m)	Total longitud equivalente (m)
1	codo de 90°	1,6	1,6
1	Válvula compuerta	0,5	0,5
1	Válvula retención	0,34	0,34
70	Metros tubo del pozo	1	70
			72,44

Tabla 10 Pérdidas de carga de la tubería de impulsión.

La longitud equivalente total de la tubería de impulsión es **72.44 m**

12.1.2 Pérdidas de carga por cada 100 m de tubería equivalente.

Para determinar estas pérdidas se utilizará el ábaco de Prandtl – Colebrook, por lo que se necesita que la unidad de caudal se encuentre en m³/s y la velocidad en m/s.

$$Q = 14,4 \frac{m^3}{h} * \frac{1 \text{ hora}}{3600 \text{ s}} = \mathbf{0.004 \text{ m}^3/\text{s}} \quad (\text{X})$$

Ecuación 10 Conversión del caudal en m³/s.

Las velocidades por ambas secciones son las siguientes:

$$Q = S * V \rightarrow V = \frac{0.004 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi}{4}(0.8)^2} = \mathbf{0.8 \text{ m/s}} \quad (\text{XI})$$

Ecuación 11 Cálculo velocidad caudal por tubería del pozo.

$$Q = S * V \rightarrow V = \frac{0.004 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi}{4}(0.1)^2} = \mathbf{0.5 \text{ m/s}} \quad (\text{XII})$$

Ecuación 12 Cálculo velocidad caudal por tubería de impulsión.

Tras llevar estos resultados al ábaco de Prandtl – Colebrook se interpretan las siguientes pérdidas de carga por cada 100 m de tubería, tanto del pozo como de la tubería de impulsión. Los resultados quedan reflejados en la siguiente tabla:

Tipo de tubería	Longitud	Pérdida de carga por cada 100 m de tubería	Pérdida de carga total por cada 100 de tubería.
De impulsión	72.44 m	1.8 m.c.a	1.3 m.c.a

Tabla 11 Pérdidas de carga por cada 100 m de tubería.

Pérdidas de carga totales por cada 100 m de tubería = **1.3 m.c.a.**

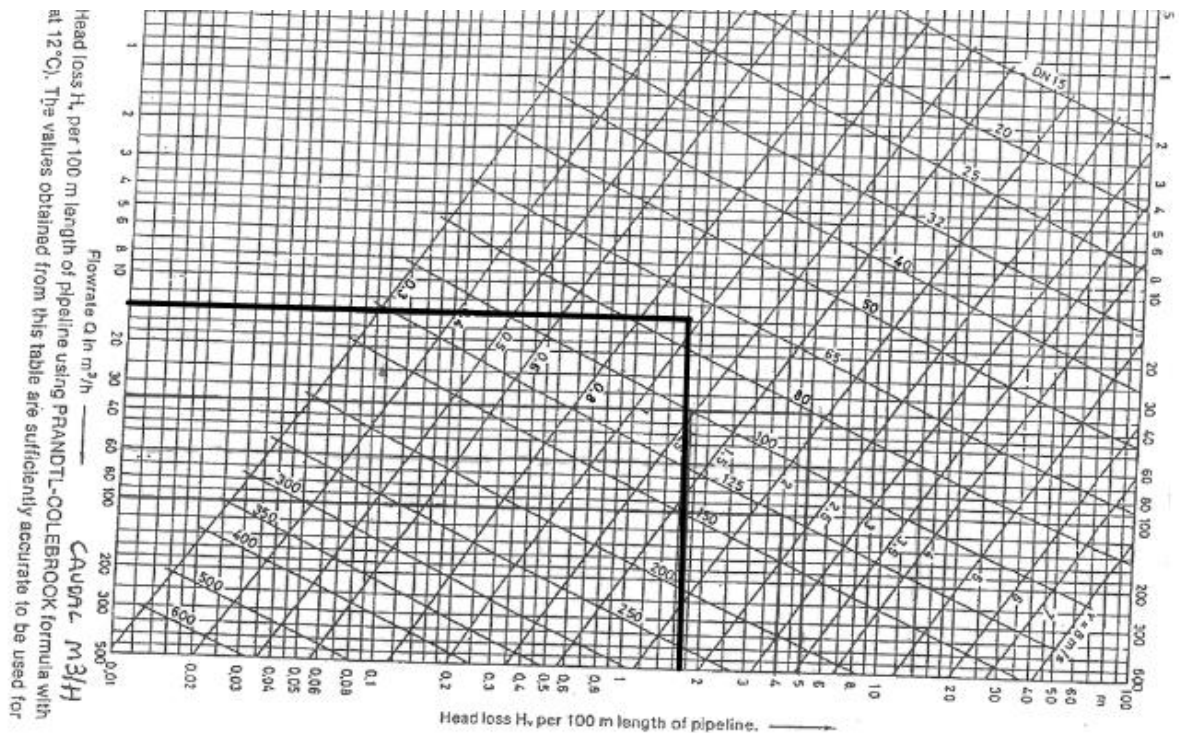


Fig. 72 Ábaco 4. Pérdidas de carga por cada 100 m de tubería.

12.1.3 Pérdida de carga del contador.

Las pérdidas de carga del contador se determinan a través de siguiente ábaco:

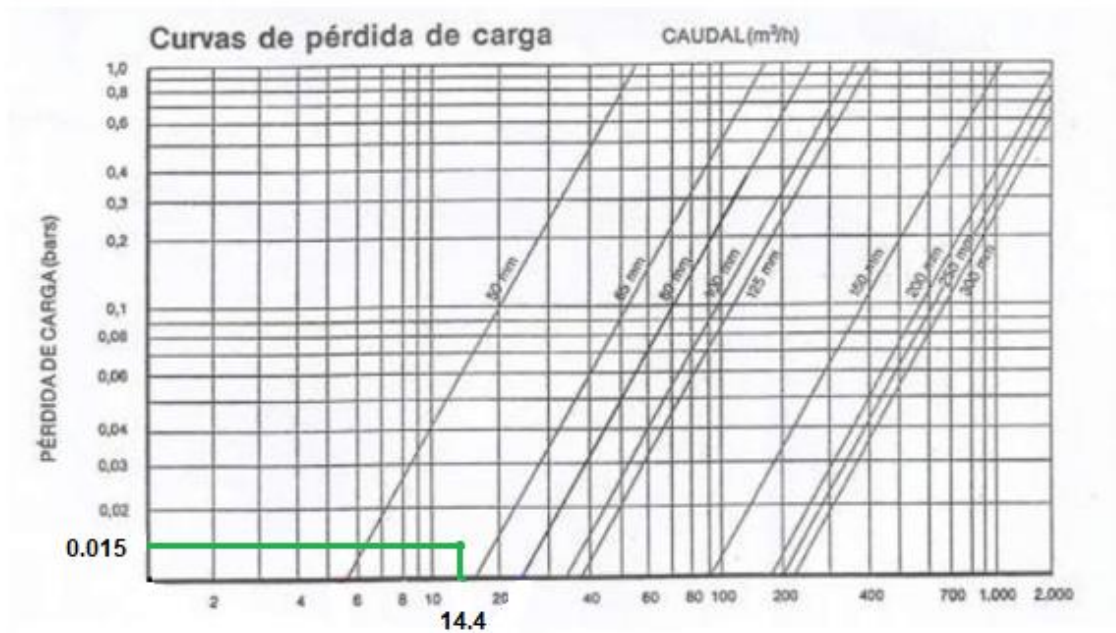


Fig. 73 Ábaco 5. Pérdidas de carga del contador.

(aclaración los 0.015 son las pérdidas de carga en bares para nuestro caudal en m³/h que es 14.4 para un diámetro de 60 mm)

Una vez determinadas las pérdidas de carga de los diferentes elementos hidráulicos, se calcula la altura manométrica. Para ello, se deberá realizar la conversión de las pérdidas de cargas del contador (0.015 bares) para el caudal de 14.4 m³/h.

(XIII)

$$0.015 \text{ bares} * \frac{10.2 \text{ m.c.a}}{1 \text{ bar}} = 0.153 \text{ m.c.a}$$

Ecuación 13 Conversión de bares a m.c.a.

12.2 ALTURA MANOMÉTRICA.

Esta altura se compone de la suma de la altura geométrica (nivel dinámico del sondeo), de las pérdidas de carga de los elementos hidráulicos (codos, válvulas) y de la altura de elevación (boca del sondeo al depósito regulador).

(XIV)

$$H_M = H_G + H_{PC} + H_E$$

Ecuación 14 Expresión para cálculo de altura manométrica.

$H_G = 65$ m (profundidad del nivel dinámico mínimo)

$H_E = 2$ m (diferencia de cota del emboquille y la cota máxima de elevación el sondeo)

$H_{PC} = 1.3$ m.c.a + 0.153 m.c.a = **1.453 m.c.a.**

Por tanto:

$$\begin{aligned} H_M &= 65 \text{ m} + 2 \text{ m} + 1.453 \text{ m.c.a} \\ H_M &= 68.45 \text{ m} \end{aligned} \quad \text{(XV)}$$

Ecuación 15 Cálculo altura manométrica.

12.3 POTENCIA DEL GRUPO ELEVADOR.

Tómanos la siguiente fórmula para realizar dicho cálculo:

(XVI)

$$P_{\text{hidráulica}} = \frac{H_m \cdot Q}{75 \cdot 0.80} = \frac{68.45 \text{ m} \cdot 4 \text{ l/s}}{75 \cdot 0.80} = \frac{273.8}{60} = \mathbf{4.57 \text{ C.V}}$$

Ecuación 16 Cálculo potencia de la potencia hidráulica del grupo elevador.

$$\mathbf{4.57 \text{ C.V} = 3.36 \text{ KW}}$$

12.4 ELECCIÓN DE LA BOMBA.

Calculada la altura manométrica y sabiendo el caudal, el siguiente ábaco nos permite determinar el tipo de bomba a utilizar:

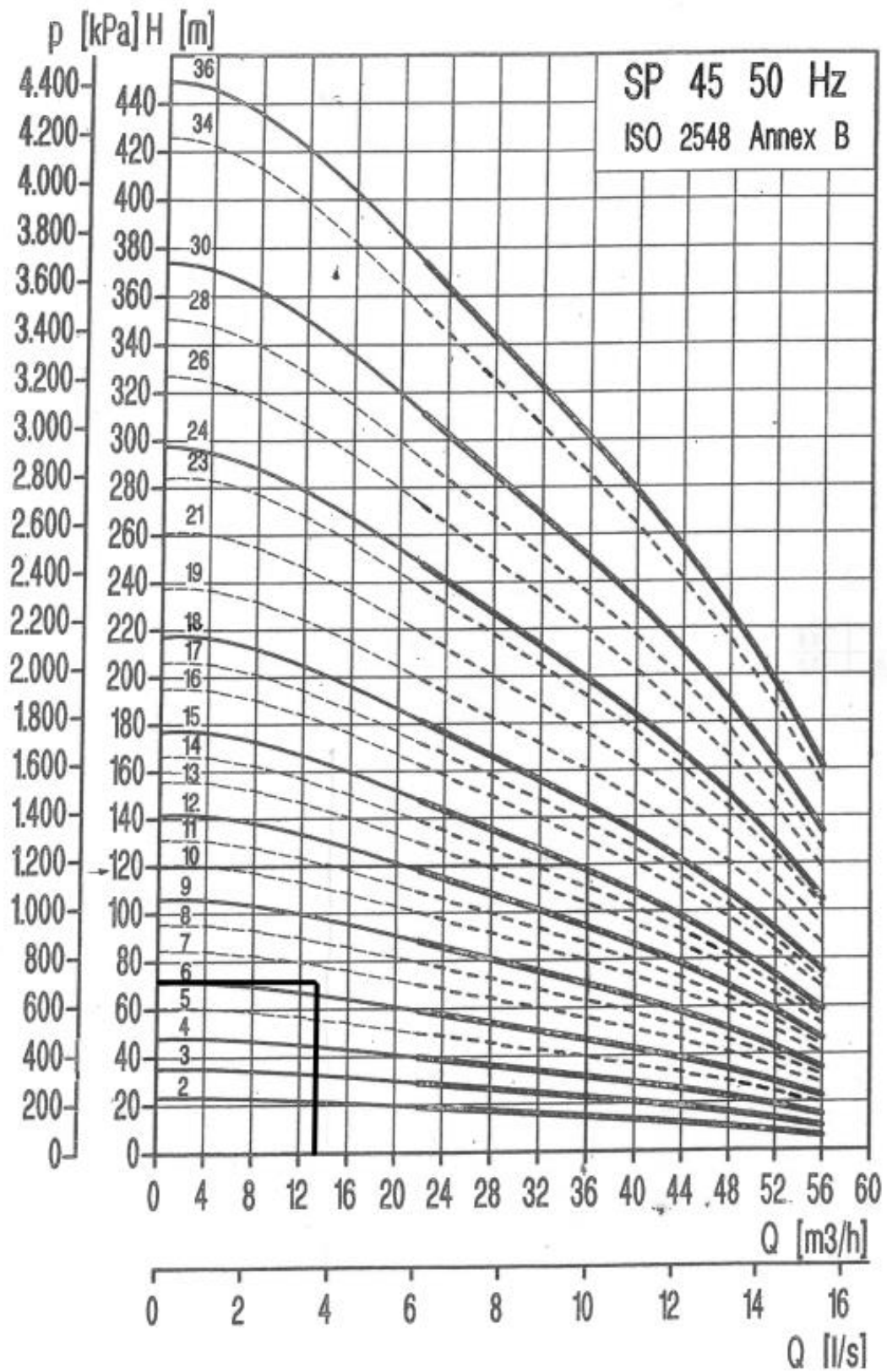


Fig. 74 Ábaco 6. Elección de la bomba en función del caudal y la altura manométrica.

Los datos técnicos de la bomba seleccionada (GRUNDFOS), quedan reflejados en la siguiente figura:

Datos eléctricos (3x380 V, 3x415 V)

Tipo de bomba	Motor			Intensidad de trabajo [A]		Intensidad a plena carga [A]		Cos φ		$\frac{I_m}{I_n}$	
	Ø	[kW]	[HP]	3x380V	3x415V	3x380V	3x415V	3x380V	3x415V	3x380V	3x415V
SP 45-2	4"	2,2	3,0	5,75	5,24	6,00	5,50	0,86	0,86	4,1	4,1
SP 45-3	4"	3,7	5,0	8,44	7,73	10,00	9,20	0,87	0,87	4,4	4,4
SP 45-4	6"	5,5	7,5	11,20	11,30	13,60	13,00	0,86	0,84	4,4	5,0
SP 45-5	6"	7,5	10	13,90	13,40	18,00	16,80	0,87	0,87	4,4	5,2
SP 45-6	6"	7,5	10	16,00	15,30	18,00	16,80	0,87	0,87	4,4	5,2
SP 45-7	6"	11	15	20,00	19,80	26,50	25,00	0,88	0,86	4,4	5,1
SP 45-8	6"	11	15	22,00	21,70	26,50	25,00	0,88	0,86	4,4	5,1
SP 45-9	6"	11	15	24,30	23,40	26,50	25,00	0,88	0,86	4,4	5,1
SP 45-10	6"	15	20	26,50	25,70	35,00	32,00	0,87	0,86	4,8	5,5
SP 45-11	6"	15	20	28,60	27,60	35,00	32,00	0,87	0,86	4,8	5,5
SP 45-12	6"	15	20	30,70	29,40	35,00	32,00	0,87	0,86	4,8	5,5
SP 45-13	6"	18,5	25	34,10	33,20	43,00	39,50	0,89	0,86	4,3	5,4
SP 45-14	6"	18,5	25	36,20	35,10	43,00	39,50	0,89	0,86	4,3	5,4
SP 45-15	6"	18,5	25	38,30	36,90	43,00	39,50	0,89	0,86	4,3	5,4
SP 45-16	6"	22	30	42,40	41,30	50,50	47,00	0,88	0,86	4,7	5,6
SP 45-17	6"	22	30	44,70	43,20	50,50	47,00	0,88	0,86	4,7	5,6
SP 45-18	6"	22	30	47,00	45,00	50,50	47,00	0,88	0,86	4,7	5,6
SP 45-19	8"	30	40	53,40	49,90	64,00	62,00	0,88	0,82	5,1	5,7
SP 45-21	8"	30	40	58,30	53,40	64,00	62,00	0,88	0,82	5,1	5,7
SP 45-23	8"	30	40	61,90	58,70	64,00	62,00	0,86	0,82	5,1	5,7
SP 45-24	8"	30	40	63,20	57,90	64,00	62,00	0,86	0,82	5,1	5,7
SP 45-26	8"	37	50	68,50	62,70	78,00	75,00	0,86	0,83	5,5	6,2
SP 45-28	8"	37	50	73,10	67,00	78,00	75,00	0,86	0,83	5,5	6,2
SP 45-30	8"	37	50	77,80	71,30	78,00	75,00	0,86	0,83	5,5	6,2
SP 45-34	8"	45	60	86,60	79,30	92,00	88,00	0,87	0,83	6,0	6,8
SP 45-36	8"	45	60	90,80	83,10	92,00	88,00	0,87	0,83	6,0	6,8

Materiales

Componentes	Materiales	Versión estándar		Versión N		Versión R	
		DIN W.-Nr.	AISI	DIN W.-Nr.	AISI	DIN W.-Nr.	AISI
Cuerpo de válvula	Acero inoxidable	1.4301	304	1.4401	316	1.4539	904L
Cono de válvula	Acero inoxidable	1.4301	304	1.4401	316	1.4539	904L
Asiento de válvula	Acero inoxidable/NR	1.4301	304	1.4401	316	1.4539	904L
Cojinete superior	Bronce Acero inoxidable/NR	2.0401		1.4436	317	1.4462	
Cámara intermedia	Acero inoxidable	1.4301	304	1.4401	316	1.4539	904L
Cono de distribución	Acero inoxidable	1.4301	304	1.4401	316	1.4539	904L
Impulsor	Acero inoxidable	1.4301	304	1.4401	316	1.4539	904L
Cámara de aspiración	Acero inoxidable	1.4301	304	1.4401	316	1.4539	904L
Filtro	Acero inoxidable	1.4301	304	1.4401	316	1.4539	904L
Eje	Acero inoxidable	1.4057	431	1.4460	329	1.4462	
Tirantes	Acero inoxidable	1.4301	304	1.4401	316	1.4539	904L
Protector de cable	Acero inoxidable	1.4301	304	1.4401	316	1.4539	904L
Tuerca de cebado	Acero inoxidable	1.4401	316	1.4401	316	1.4539	904L
Junta de cierre	Acero inoxidable	1.4301	304	1.4401	316	1.4539	904L

Tabla 12 Datos técnicos de la bomba seleccionada (GRUNDFOS).

Los datos más característicos de la bomba son:

Modelo SP 45 - 6
Diámetro de bomba = 6"
Potencia = 7.5 Kw = 10 C.V
Coefficiente de rendimiento $\cos \alpha = 0.87$
Intensidad a plena carga = 18

Tabla 13 Datos técnicos bomba seleccionada.

Debido a que $6'' * 25.4 \text{ mm} = 152.4 \text{ mm}$ es inferior al diámetro de entubación 180 mm podemos decir que la bomba tiene una sección apropiada para la entubación seleccionada. La instalación de la bomba junto con todos sus componentes queda reflejada en el plano 6.



Fig. 75 Tipo de bomba sumergida seleccionada (SP - 45 -6)

12.5 INSTALACIÓN ELÉCTRICA.

Para el cálculo de la sección del cable se dimensionará para un 5% la longitud del cable de la bomba.

(XVII)

Longitud del cable = 70 m + 3.5 m = **73.5 m**

Ecuación 17 Cálculo de la longitud del cable total.

Con esta longitud del cable calculada junto con la potencia de la bomba, se estima la potencia de arranque directo y la potencia de arranque en estrella-triángulo.

DETERMINACION DE LA SECCION DEL CABLE

BOMBA

Para arranque directo o autotransformador

Intensidad del motor en Amperios

	Longitud del cable m.																													
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	
2																														
4																														
6																														
8																														
10																														
15				1,50																										
20																														
25																														
27																														
30																														
35				2,5																										
36																														
40																														
45				4																										
47																														
50																														
55																														
60				6																										
65																														

* Los ábacos de estas tablas estan calculados para:
Tensión de servicio : 380 V
Caída de tensión máxima: 3%
Temperatura ambiente: 25 °C
Para mayor seguridad, se recomienda efectuar los calculos incrementando la longitud del cable en un margen del 5%.

Correcciones a estas tablas.
A) Para calcular secciones, con tensiones diferentes a 380 V
Hágase el calculo siguiente:
$$L_i = \frac{L \times 380}{nueva\ tensión}$$

siendo : L = Longitud del cable . L_i = nueva longitud.
Búsqese a continuación en la tabla, la sección correspondiente a esta nueva longitud.
(B) Para calcular secciones para longitudes de cable superiores a 200 m.
Hágase el calculo siguiente:

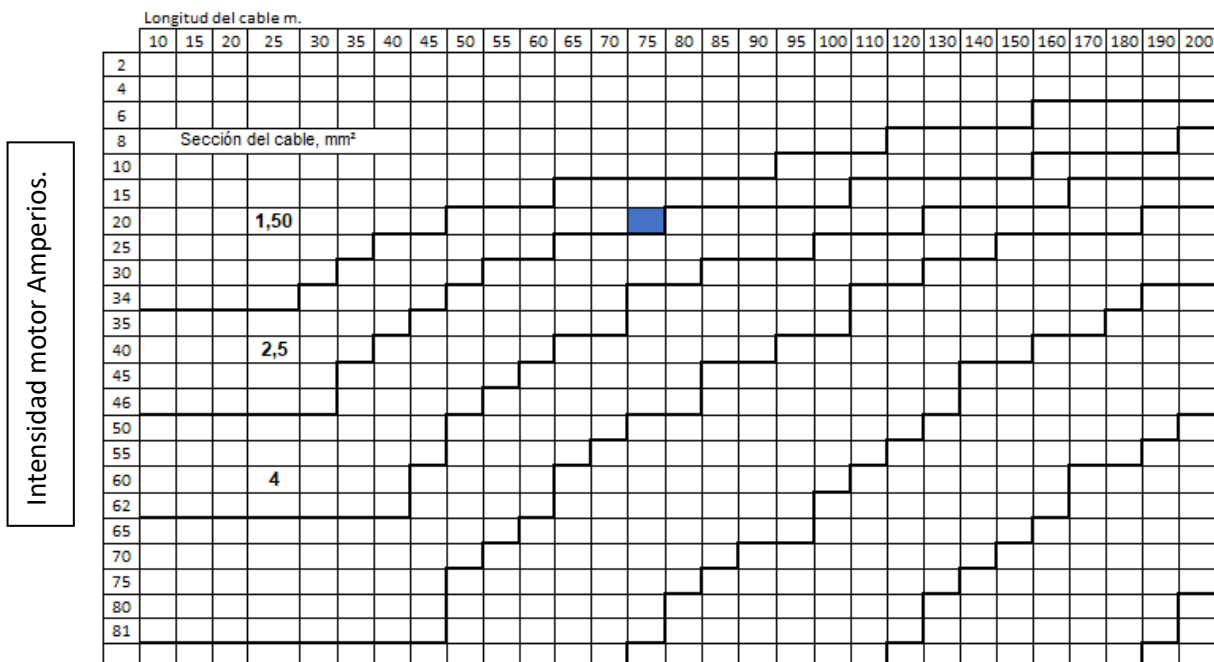
$$S = \frac{L \times I \times \cos \phi \times \sqrt{3}}{57 \times 0,03 \times V}$$

Fig. 76 Ábaco 7. Determinación de la sección del cableado por arranque directo.

DETERMINACION
DE LA SECCION
DEL CABLE

BOMBA

Para arranque
estrella - triángulo.



En caso de arranque estrella - triángulo:

$$S = \frac{2 \times L \times I \times \cos \phi}{\sqrt{3} \times 57 \times 0,03 \times V}$$

siendo:

- S = Sección buscada del cable.
- L = Longitud del cable, en arranque directo o de cada uno de los cables en arranque estrella - triángulo.
- I = Intensidad del motor.
- V = Tensión del servicio.

EJEMPLO

Supongamos que se trata de la electrobomba 6615/4/51,5/2, que ha de alimentarse con una tensión de 380 V, con arranque directo y que va situada en el pozo a una profundidad de 76 m. En la tabla de datos técnicos de la electrobomba vemos que, para una tensión de 380 V la intensidad nominal del motor es de 110 Amp. La longitud teórica del cable será de 75 + 5% = 80 m. Entonces, vemos que la sección necesaria de cada uno de los tres conductores del cable es 25 mm², resultado de intersectar en la tabla la columna 80 m con la fila 110 Amp.

Fig. 77 Ábaco 8. Determinación de la sección del cableado para el arranque estrella - triángulo.

Se obtienen las siguientes secciones:

- Sección arranque directo: 3 x 2.5 mm²
- Sección arranque estrella – triángulo: 3 x 2.5 mm²

De estas dos secciones se elegirá la que queramos ya que tanto la sección de arranque directo y la sección arranque – estrella presentan el mismo ahorro energético.

12.6 POTENCIA DEL TRANSFORMADOR.

La finca “Huerta Perdida” dispone de una línea eléctrica de media tensión. Para las necesidades del sondeo se va a instalar un transformador cuya potencia la calculamos mediante la siguiente fórmula:

(XVIII)

$$P_{\text{transformador}} = \frac{P_{\text{transformador}} * 0.736}{\mu * \cos\alpha} = \frac{7.5 * 0.736}{0.8 * 0.87} = 7.93 \text{ KVA}$$

Ecuación 18 Cálculo de la potencia del transformador.

Esta es la potencia mínima a suministrar para comprobar que la instalación puede funcionar correctamente por lo que se instalará un transformador de mayor potencia (50 KVA)



Fig. 78 Transformador de distribución 50 KVA SERIE 24 KV (GEDELSA)


 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS TRANSFORMADOR / ELECTRICAL CHARACTERISTICS TRANSFORMER 50-100-160 kVA			Valores / Values		
			Serie 24 kV		
			50 kVA	100 kVA	160 kVA
Pérdidas debidas a la carga / Load losses a 75°C (Pk - W)			1100	1750	2350
Pérdidas en vacío / No-load losses al 100 Un % (Po - W)			90	145	210
Potencia acústica / Sound power level (Lwa - dB (A))			39	41	44
Impedancia de cortocircuito / Short circuit impedance a 75°C %			4	4	4
RENDIMIENTO / EFFICIENCY	CARGA / LOAD 100%	cos φ = 1	97,68	98,14	98,42
		cos φ = 0.8	97,11	97,69	98,03
	CARGA / LOAD 75%	cos φ = 1	98,15	98,52	98,73
		cos φ = 0.8	97,69	98,15	98,42
	CARGA / LOAD 50%	cos φ = 1	98,56	98,85	99,00
		cos φ = 0.8	98,21	98,56	98,75
CAÍDA DE TENSIÓN / VOLTAGE DROP	CARGA / LOAD 100%	cos φ = 1	2,26	1,81	1,54
		cos φ = 0.8	3,77	3,57	3,43

Tabla 14 Características eléctricas del transformador.

13. TRÁMITES ADMINISTRATIVOS

13.1 AUTORIZACIÓN PREVIA DE OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.

Previamente a la perforación del sondeo se debe solicitar una autorización a la Consejería de Industria, Energía y Minas. Esta autorización consta de las siguientes entregas de documentos:

- Solicitud normalizada, cumplimentada en todos sus apartados con aceptación del Director Facultativo (Ingeniero, Ingeniero Técnico de Minas, Graduado de Minas). (fig. 88)
- Proyecto redactado por el Técnico competente, visado o acompañado de la Declaración Responsable del mismo. En dicho proyecto se incluirá el Documento de Seguridad y Salud. Igualmente, el proyecto aclarará el carácter anual del aprovechamiento (Inferior o Superior a 7000 m³).
- Modelo 046 de liquidación de tasas. (fig.91)

13.2 PUESTA EN SERVICIO DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.

Para la puesta en marcha del sondeo una vez perforado es necesario la entrega de los diferentes documentos en la Consejería de Industria, Energía y Minas.

- Solicitud en modelo oficial debidamente cumplimentada en todos los apartados y firmada por el peticionario y la empresa instaladora. (fig. 90)
- Concesión administrativa del Organismo de Cuenca o Documento que acredite la inscripción en el Registro del Organismo de Cuenca (CHG).
- Declaración aceptando el condicionado del Organismo de Cuenca (CHG).
- Certificado de Dirección Facultativa de las obras de captación firmado por el técnico competente y visado por su Colegio Oficial, que recogerá las variaciones o modificaciones habidas con respecto al proyecto previo.
- Proyecto Técnico y Certificado de Dirección Técnica, firmados por el técnico competente y visado por su Colegio Oficial, de las instalaciones de aprovechamiento e instalaciones auxiliares.
- Respecto a las instalaciones eléctricas de Alta y Baja Tensión, se ha de iniciar un expediente correspondiente aportando:
 - Proyecto técnico de las instalaciones eléctricas suscritas por el técnico competente y visado por su Colegio Oficial.
 - Certificado de Dirección Técnica de las instalaciones eléctricas firmado por el técnico competente y visado por su Colegio Oficial.
 - Certificado de instalación eléctrica suscrito por empresa instaladora (boletín).
 - Carta de conformidad de la empresa eléctrica distribuidora.
 - Contrato de mantenimiento del Centro de Transformación.
 - Autorización de condicionados de titulares de bienes o derechos afectados y/o tramites ambientales que procedan.
- Modelo 0.46 de liquidación de tasas (fig. 91).

Los tramites que se realizarán para la Confederación Hidrográfica de Guadalquivir deberán ser tramitados por vía telemática ya que este trámite ha sido centralizado en Sevilla.

T.M.:
Expediente:

SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

D./Dª N.I.F. nº:
En nombre propio o en representación de:
Con domicilio en: Calle: Nº:
C.P.: Teléfono de contacto:

EXPONE:

Que en la finca: situada en el Término Municipal de:, Paraje: Referencia Catastral: Propiedad de D./Dª.: de acuerdo con los artículos 11 y 108 del R.D. 863/1985, de 2 de Abril.

SOLICITA:

Sin perjuicio a terceros con mas derechos,

Autorización Previa para la (1) de (2)

Las características del pozo/sondeo proyectado y croquis de situación son los que al dorso se indican.

LA FINALIDAD DEL APROVÉCHAMIENTO ES:

Las obras la realizará la empresa:

Con D.C.E. Nº: siendo el consumo previsto de explosivos de Kg.

En, a de del

Aceptación de Dirección de Obras
El Ingeniero

Fdo:

Empresa Constructora

Fdo:

El Peticionario

Fdo:

VISADO COLEGIAL

ILMO. SR./SRA. DELEGADO/A PROVINCIAL DE ALMERIA DE ECONOMÍA, INNOVACIÓN Y CIENCIA

(1) Construcción, Limpieza, Reforma, Instalación Eléctrica, etc.

(2) Pozo, Sondeo, reforma, Instalación Eléctrica, etc.

Fig. 79 Impreso solicitud de autorización de la Junta de Andalucía.

T.M.:

Expediente:

SOLICITUD DE PUESTA EN SERVICIO PARA OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

D./Dª N.I.F. nº:

En nombre propio o en representación de:

Con domicilio en: Calle: Nº:

C.P.: Teléfono de contacto:

EXPONE:

Que en la finca: situada en el Término Municipal de:, Paraje: Referencia Catastral: Propiedad de D./Dª.: de acuerdo con los artículos 11 y 108 del R.D. 863/1985, de 2 de Abril.

SOLICITA:

Sin perjuicio a terceros con mas derechos,

Puesta en Servicio de (1)

Las características del pozo/sondeo proyectado y croquis de situación son los que al dorso se indican.

LA FINALIDAD DEL APROVECHAMIENTO ES:

Las obras la realizará la empresa:

Con D.C.E. Nº: siendo el consumo previsto de explosivos de Kg.

En, a de del

Aceptación de Dirección de Obras
El Ingeniero

Fdo:

El Peticionario

Fdo:

VISADO COLEGIAL

ILMO. SR./SRA. DELEGADO/A PROVINCIAL DE ALMERIA DE ECONOMÍA, INNOVACIÓN Y CIENCIA

(1) Pozo, Sondeo, reforma, Instalación Eléctrica, etc.

Fig. 80 Impreso solicitud puesta en servicio de la Junta de Andalucía.



COMUNICACIÓN DE UN APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON UN CONSUMO ANUAL IGUAL O INFERIOR A 7.000 m³ ANUALES, A LOS EFECTOS DE SU INSCRIPCIÓN EN LA SECCIÓN B DEL REGISTRO DE AGUAS (ART. 54.2 DEL TRLA)

1 DATOS DE LA PERSONA SOLICITANTE Y DE SU REPRESENTACIÓN LEGAL					
APELLIDOS Y NOMBRE O RAZÓN SOCIAL			DNI/CIF		
DOMICILIO: CALLE, PLAZA O AVENIDA Y NÚMERO					
LOCALIDAD			PROVINCIA		C. POSTAL
APELLIDOS Y NOMBRE DEL/DE LA REPRESENTANTE LEGAL				DNI	
DOMICILIO A EFECTOS DE NOTIFICACIÓN					
LOCALIDAD			PROVINCIA		C. POSTAL
TELÉFONO		FAX		CORREO ELECTRÓNICO	
2 CARACTERÍSTICAS DEL APROVECHAMIENTO					
2.1.- DATOS DE LA FINCA					
NOMBRE DE LA FINCA		TERMINO MUNICIPAL		PROVINCIA	
SUPERFICIE TOTAL DE LA FINCA		TIPO DE SUELO (rústico, urbano, urbanizable, etc.)		POLÍGONO PARCELA	
2.2.- ACREDITACIÓN DE LA PROPIEDAD: DATOS REGISTRALES DE LA FINCA					
REGISTRO	NÚMERO	TOMO	LIBRO	FOLIO	Nº DE FINCA
TITULARES					
2.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS CAPTACIONES					
NÚMERO O NOMBRE		PROFUNDIDAD (m)	NIVEL ESTÁTICO (m)	DIÁMETRO (m)	TIPO DE CONSTRUCCIÓN
COORDENADAS UTM DEL PUNTO DE EXTRACCIÓN (ETRS88)		HUSO:	DISPOSITIVO DE CONTROL PREVISTO		
X:	Y:		Z:	Tipo:	Marca:
			Nº de serie:	Modelo:	1º Lectura:
NÚMERO O NOMBRE		PROFUNDIDAD (m)	NIVEL ESTÁTICO (m)	DIÁMETRO (m)	TIPO DE CONSTRUCCIÓN
COORDENADAS UTM DEL PUNTO DE EXTRACCIÓN (ETRS88)		HUSO:	DISPOSITIVO DE CONTROL PREVISTO		
X:	Y:		Z:	Tipo:	Marca:
			Nº de serie:	Modelo:	1º Lectura:
NÚMERO O NOMBRE		PROFUNDIDAD (m)	NIVEL ESTÁTICO (m)	DIÁMETRO (m)	TIPO DE CONSTRUCCIÓN
COORDENADAS UTM DEL PUNTO DE EXTRACCIÓN (ETRS88)		HUSO:	DISPOSITIVO DE CONTROL PREVISTO		
X:	Y:		Z:	Tipo:	Marca:
			Nº de serie:	Modelo:	1º Lectura:
OTRAS CAPTACIONES EXISTENTES EN LA FINCA		REFERENCIA DE EMPEDIMIENTOS RELACIONADOS		¿PERTENECE A COMUNIDAD DE REGANTES?	
2.4.- DATOS DEL SISTEMA DE DERIVACIÓN					
<input type="checkbox"/> MOTOR ELÉCTRICO		<input type="checkbox"/> MOTOR GASOL		<input type="checkbox"/> BOMBA	
POTENCIA		POTENCIA		POTENCIA	
<input type="checkbox"/> CAMIÓN CISTERNA					
POTENCIA					
CAUDAL MÁXIMO		CAUDAL MÁXIMO		CAUDAL MÁXIMO	

Fig. 81 Impresos para la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, (C.H.G)



Junta de Andalucía
 Consejería de Tr. Económica,
 Industria, Conocimiento y
 Universidades

OTROS INGRESOS
 TASAS, PRECIOS PÚBLICOS, SANCIONES, OTROS INGRESOS
 MODELO
046
 DECLARACIÓN - LIQUIDACIÓN EN EUROS

DELEGACIÓN
 PROVINCIAL EN

JAEN

ÓRGANO
 GESTOR

DEL TERR. ECONOM. JAEN

CÓDIGO
 TERRITORIAL

CE2301

EJEMPLAR PARA LA ADMINISTRACIÓN

77331462B ACOT
 ACOSTA RODRIGUEZ ROGELIO

0462912897736

02 DIA 24 MES 01 AÑO 2023

CONCEPTO DETERMINADOS SERVICIOS ADM.

(A) OBLIGADO AL PAGO

N.I.F. APELLIDOS Y NOMBRE O RAZÓN SOCIAL
 77331462B ACOSTA RODRIGUEZ ROGELIO

A LOS EFECTOS DE NOTIFICACIÓN DOMICILIO FISCAL OTRO DOMICILIO

TIPO VÍA	NOMBRE VÍA PÚBLICA	TIPO Nº	Nº / KM	CALIF. NUM.	BLOQ.	PORTAL	ESCAL.	PLTA./PISO	PTA./LETRA
AL	CALVO SOLTELO	NUM	85	85	10	4	2	1	3
COMPLEMENTO DOMICILIO		PROVINCIA	MUNICIPIO	LOCALIDAD		C. POSTAL	TELÉFONO		
		17 JAEN	14 JAEN	INFANTAS (LAS)		23636	74		

(B) RESPONSABLE SOLIDARIO (SI EXISTE)

N.I.F. APELLIDOS Y NOMBRE O RAZÓN SOCIAL

TIPO VÍA	NOMBRE VÍA PÚBLICA	TIPO Nº	Nº / KM	CALIF. NUM.	BLOQ.	PORTAL	ESCAL.	PLTA./PISO	PTA./LETRA
COMPLEMENTO DOMICILIO		PROVINCIA	MUNICIPIO	LOCALIDAD		C. POSTAL	TELÉFONO		

(C) LIQUIDACIÓN

LIQUIDACIÓN ANEXA EXPEDIENTE Nº LIQUIDACIÓN Nº

AUTOLIQUIDACIÓN

DESCRIPCIÓN

AUTORIZACION OBRA SONDEO PARA CAPTACION DE AGUAS SUBTERRANEAS

IMPORTE 225,31 BONIFICACIÓN TOTAL A INGRESAR 225,31

(D) PRESENTACIÓN

FECHA DE LIQUIDACIÓN DIA MES AÑO

FECHA DE PRESENTACIÓN DIA 01 MES 11 AÑO 2022

ORGANO COMPETENTE DEL TERR. ECONOM. JAEN

FIRMA DEL PRESENTADOR/A

SELLO FIRMA

(E) INGRESO

060311/2

Este documento no será válido sin la certificación electrónica o, en su defecto, firma autografiada

Cláusula de Protección Datos.
 En cumplimiento de lo dispuesto en el Reglamento General de Protección de Datos se informa que:
 a) El Responsable del tratamiento de sus datos personales es la Secretaría General de Hacienda, cuya dirección es Calle Juan Antonio de Vitorán s/n 4ª planta 41071 (Sevilla).
 b) Puede contactar con el Delegado de Protección de Datos en la dirección dpd.chae@juntadeandalucia.es.
 c) Los datos personales que nos proporciona son necesarios para el análisis, seguimiento y gestión de ingresos, según base jurídica en el art. 6.1.a) del RGPD, cumpliendo de una misión realizada en interés público.
 d) Puede usted ejercer sus derechos de acceso, rectificación, supresión, portabilidad de sus datos, y la limitación u oposición a su tratamiento, como se explica en la información adicional.

Fig. 82 Impreso de tasas de la Junta de Andalucía para la administración.

14. BIBLIOGRAFÍA

Azcárate, J.E. Memoria mapa geológico de España. Escala 1:50000, hoja 905 Linares. Madrid. IGME. 1977.

Quesada, C., Cueto. L.A., Fernández, F.J., (2013) “Mapa geológico de España. Escala 1:50000, 2ª serie (MAGNA), Hoja nº 882”. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid. Cartografía finalizada en 1990. Memoria finalizada y revisada en 2008.

Bustillo Revuelta, M., García Bermúdez, P., López Jimeno, C., Ramírez Ortega, A., Ramos González G., Piñero Coronel, A. “Manual de sondeos. Aplicaciones”. Madrid. Carlos López Jimeno. 2001.

Nieto Albert, L.M., Jiménez Espinosa, R. Colección Geología. “Viaje En el tiempo: Itinerario Geológico del Paleozoico al Cuaternario. Despeñaperros – Mengíbar”. Sociedad Geológica de España. Salamanca 2018.

De gea, R., Jiménez, V., López, J.M., et. al. Colección Geología. “Rocas graníticas de la provincia de Jaén: un paseo geológico por el Piélagos y la Aliseda”, Sociedad Geológica de España. Salamanca. 2022.

Custodio, E., Llamas, M. R. Hidrogeología subterránea (dos tomos). Barcelona. Omega. 1983.

Sánchez San Román, F.J., Hidrología superficial y subterránea. Salamanca. Sánchez san Román, F.J. 2018.

Martín, C., Rubio, J.C., Hueso, L.M., Actualización del Atlas hidrogeológico de la provincia de Jaén. Granada. IGME 2010.

Hidalgo, M.C., Rey Arranz, J., Dueñas, J., Visita al área minera de Linares – Hidrogeología del sector. Presente y futuro de las aguas subterráneas en la provincia de Jaén. 2002.pp 309 – 317.

Rey Arranz, J., Martínez López, J., XVI curso de sondeos: prospección geofísica mediante tomografía eléctrica. Ejemplos de aplicación en proyectos realizados y/o ejecución. E.P.S de Linares. 2012.

López Jimeno, C., López Jimeno, E., Ramírez Ortega, A., Toledo Santos, J.M., (2000). Manual de Sondeos. Tecnología de perforación. 699. ETSI Minas. Madrid.

López Jimeno, C., Manual de Sondeos: Aplicaciones. Madrid (2001).

Puy Huarte, Jesús., Procedimientos de sondeo: teoría, prácticas y aplicaciones. 2ª ed. Rev. Tu. aum. Madrid (1981).

Pellicer Jiménez, Esperanza, (2015). Caracterización mediante tomografía eléctrica del deslizamiento de Toleo (Oviedo). Trabajo fin de master. Universidad de Oviedo.

Instituto Tecnológico y Minero de España (1994). *Manual de perforación y voladura de rocas*. Ed. IGME. Madrid, 500 pp

YEPES, V. (2014). *Maquinaria para sondeos y perforaciones*. Apuntes de la Universitat Politècnica de València, Ref. 209

Páginas web.

<http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/magna50/memorias/MMagna0882.pdf>

<https://www.proyectoarrayanes.org/>

<https://es.wikiloc.com>

https://aguas.igme.es/igme/publica/libro76/pdf/lib76/in_02.pdf

<https://es.climate-data.org/europe/espana/andalucia/linares-57058/>

https://minaslinares.com/wp-content/uploads/2020/06/las-minas-de-linares_18_2_2010-p.pdf

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6231/07.pdf?sequence=8>

<https://www.cartomex.com/sondeo-electrico-vertical-sev.html>

<https://docplayer.es/18248964-Tema-3-tomografia-electrica.html>

<https://www.perforacioneslacanada.es/portfolio/metodos-de-perforacion>

<https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/01/17/perforacion-con-martillo-en-cabeza>

<https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/01/18/perforacion-con-martillo-en-fondo/>

<http://heavy-construction.com.ar/5-1-1-dth-drilling-rigs.html>

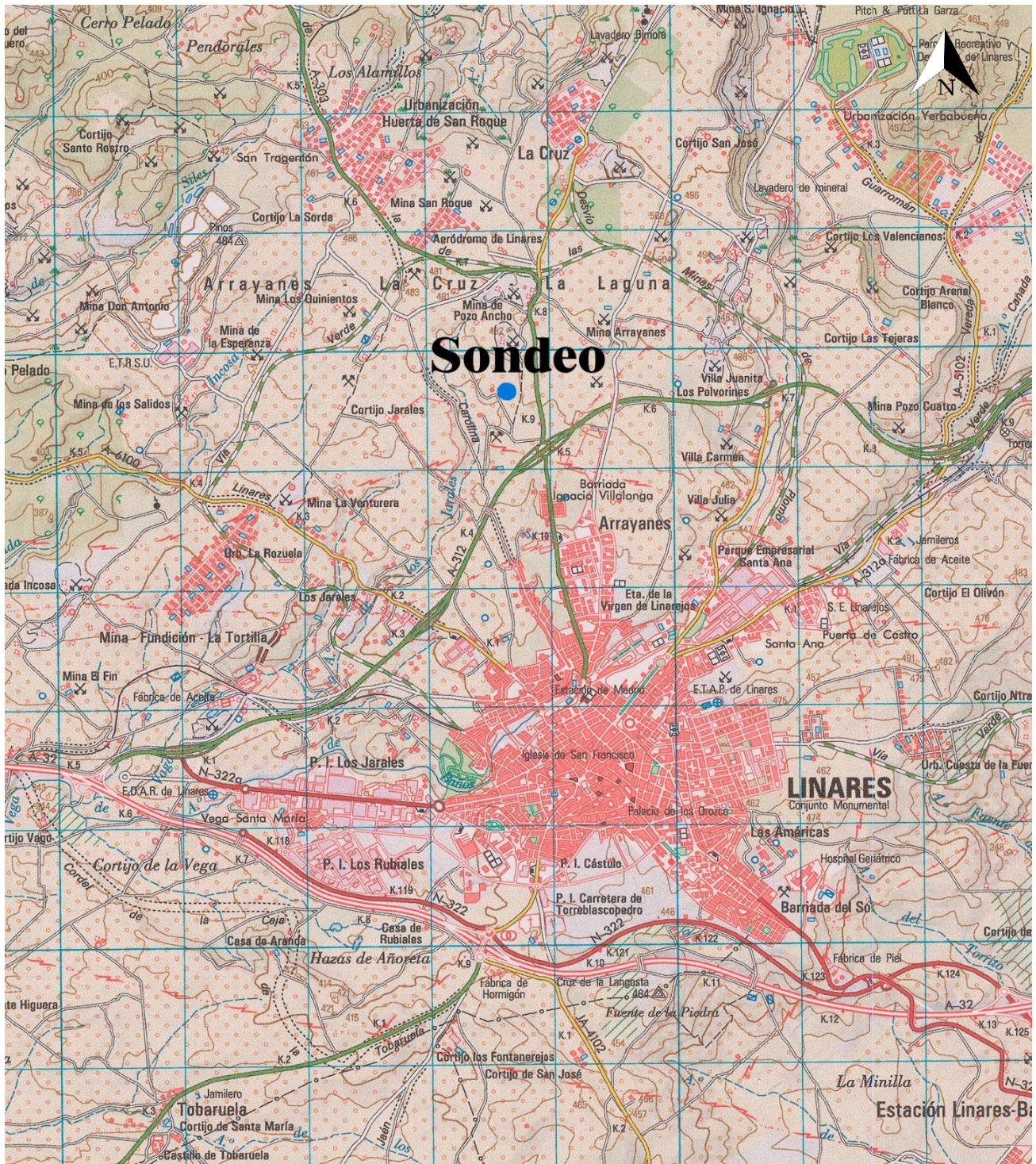
https://aguas.igme.es/igme/publica/libro51_54/pdf/lib51/in_anexo%201a.pdf

<http://tallerbarragan.es/>

<https://gedelsa.com/>

https://www.tallersegovia.com/es/drilling_experts/equipos_de_perforacion/captacion_de_agua/segoqui_10

ANEXO I PLANOS.



Sondeo

LINARES

Escala 1:50.000



PROYECTO

Solicitud para la ejecución de un sondeo de captación de aguas subterráneas en finca "Huerta Perdida", Linares (Jaén)



Escuela Politécnica Superior de Linares

UNIVERSIDAD DE JAÉN

FORMATO

DIN-A4

FECHA

Sep - 23

APELLIDOS, NOMBRE:

Acosta Rodríguez, Rogelio

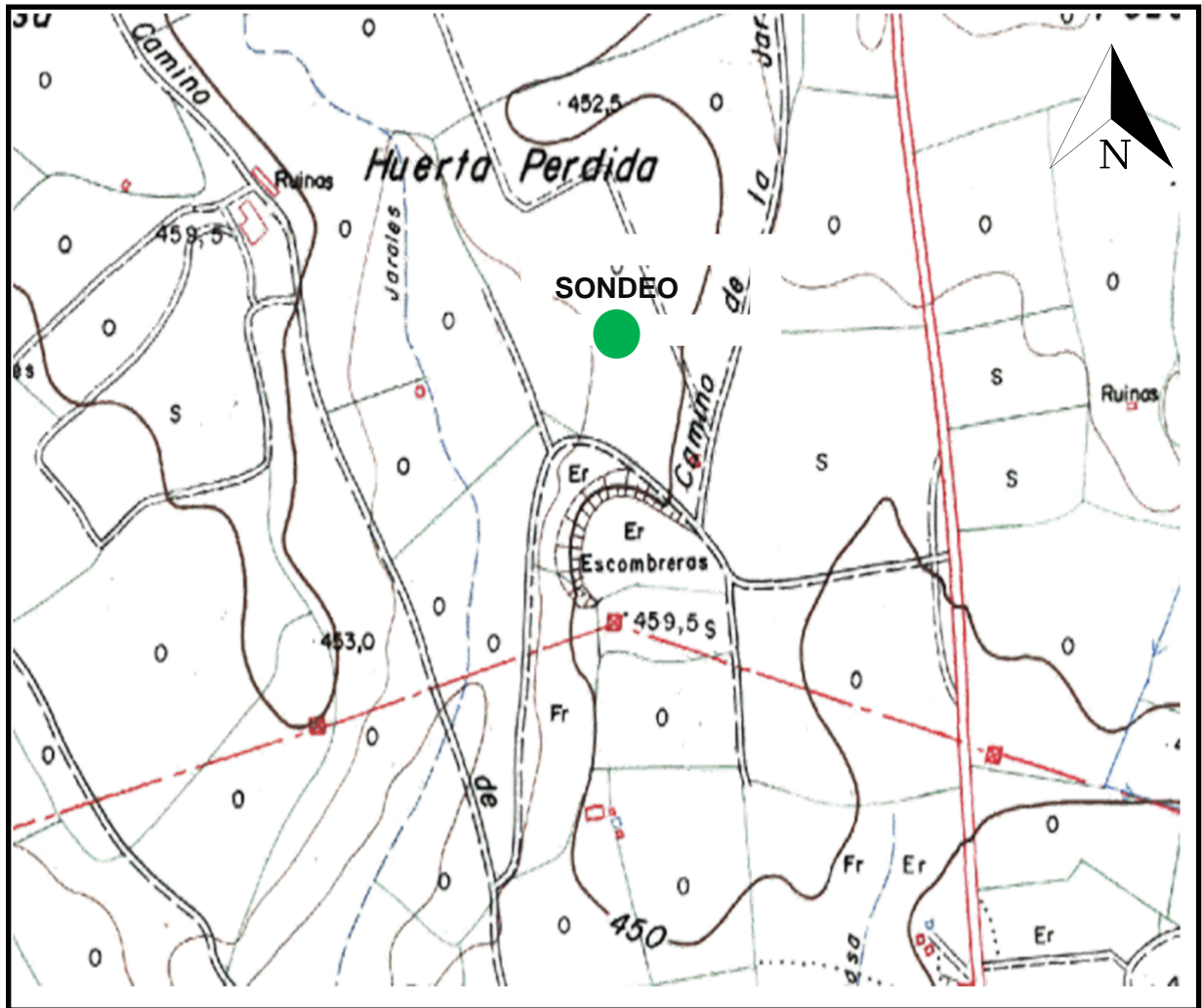
PLANO DE SITUACIÓN

ESCALA

1:50000

Nº DE PLANO

1



PROYECTO



Escuela Politécnica Superior
de Linares

UNIVERSIDAD DE JAÉN

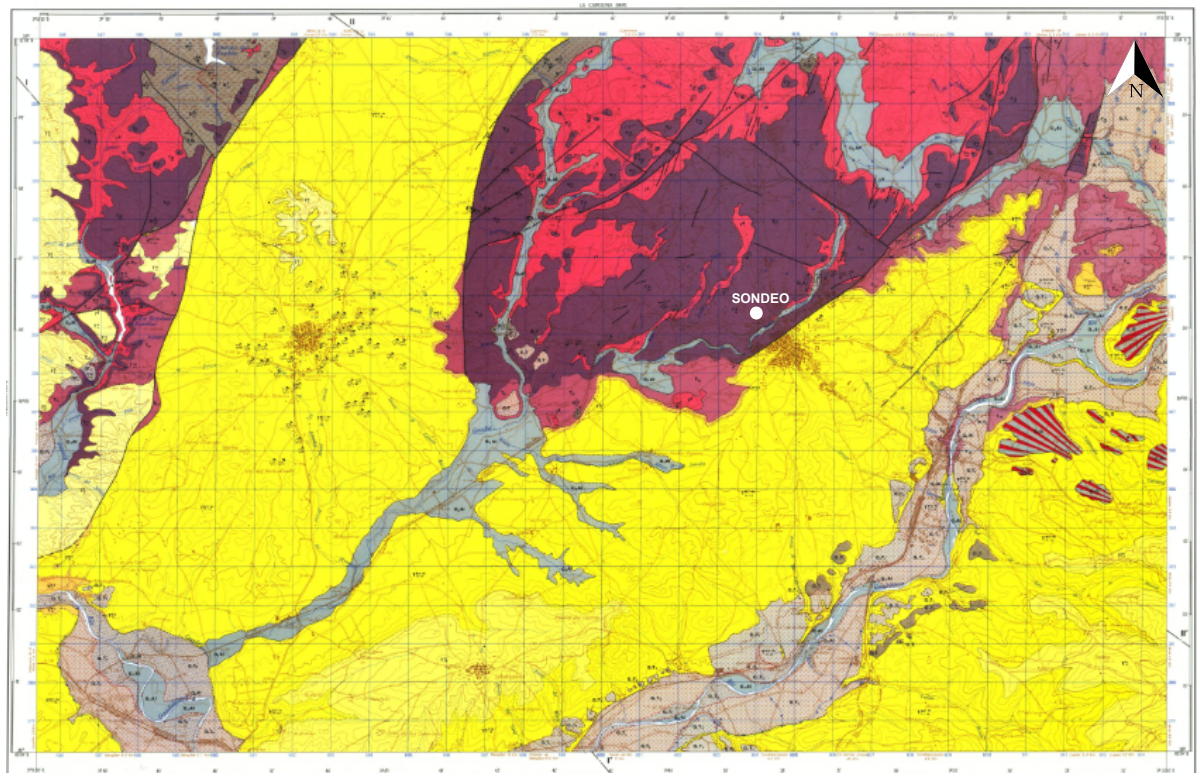
FORMATO

APELLIDOS, NOMBRE:

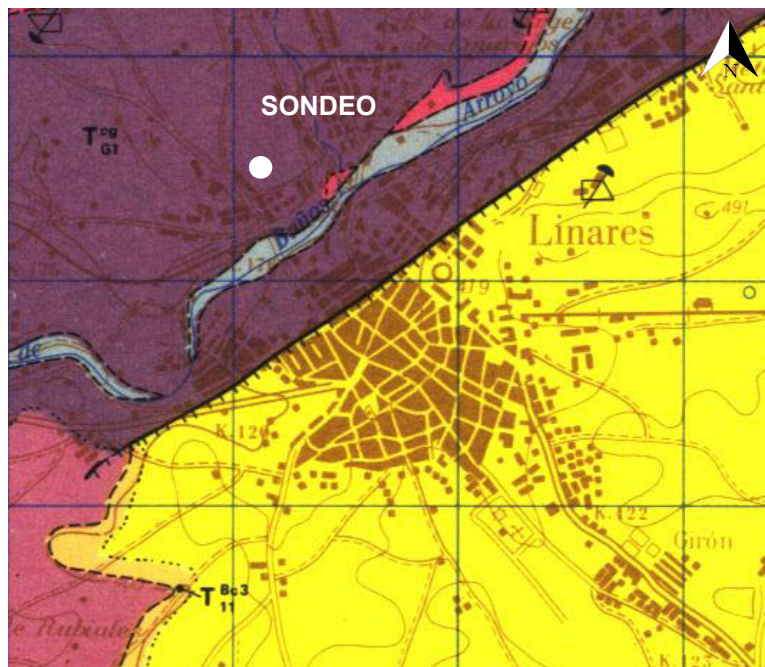
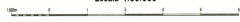
ESCALA

FECHA

Nº DE PLANO



Escala 1:50.000



Escala 1:10000




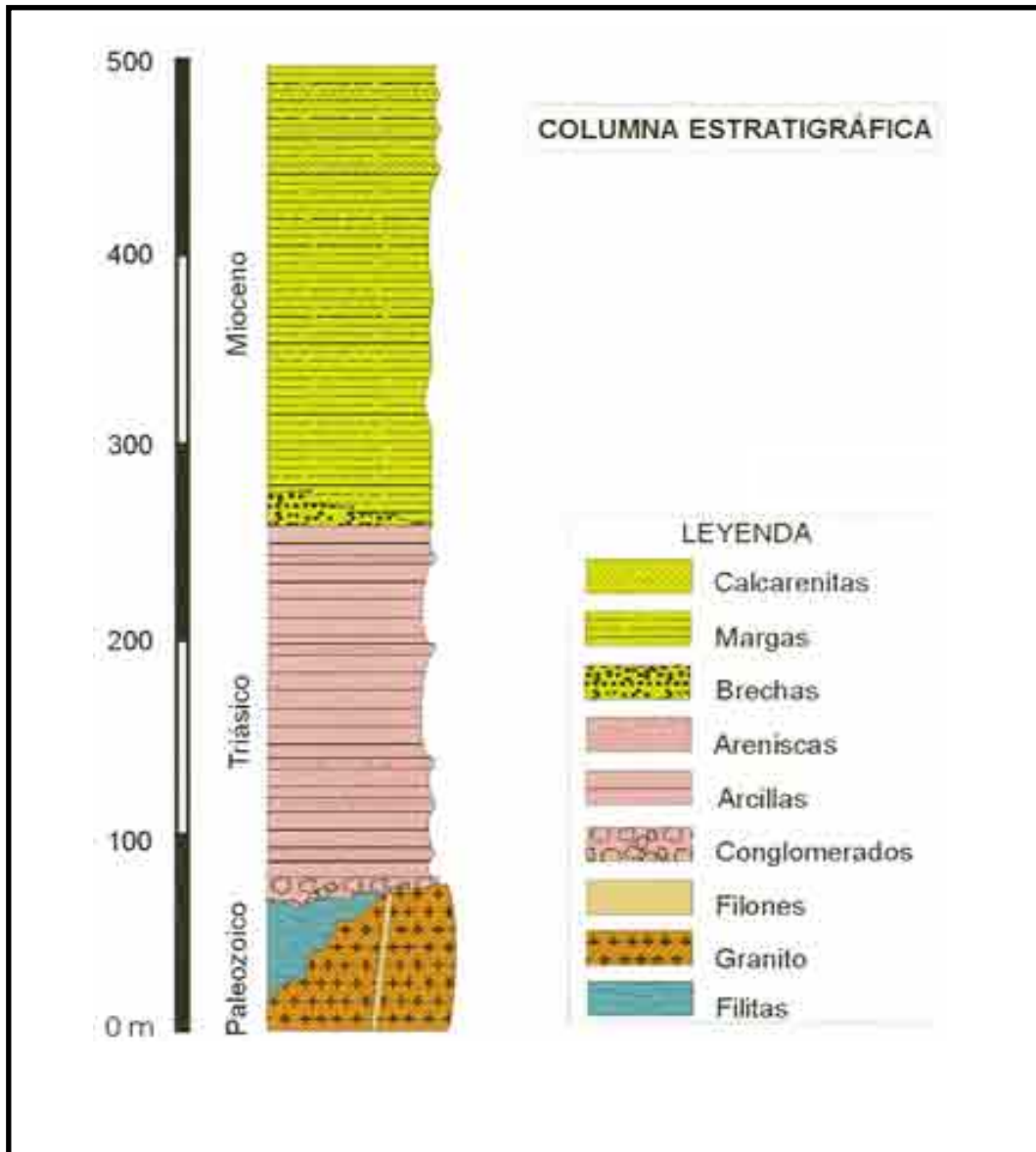
LEYENDA


CUATERNAR	HOLOCENO	Q ₁ Al	Q ₁ Al	Aluviones	
	PLEISTOCENO	Q ₁ G, Q ₁ T	Q ₁ G, Q ₁ T	Cantos, limos y arcillas	
TERCIARIO	NEOGENO SUPERIOR	PLIOCENO	Q ₁ T ₁ , Q ₁ T ₂ , T ₂ ¹ , Q ₁ T ₁	Cantos, arenas y limos	
		ANDALUCIENSE	T ₁ ¹	Cantos, arenas y limos	
	TORTON SUPERIOR		T ₁ ²	Cantos y arcillas	
			T ₁ ³	Areniscas, areniscas margosas y margas	
	TRIASICO	KEUPER	T ₁ ⁴ , T ₁ ⁵	Areniscas margosas y margas	
		BUNTSANDSTEIN	T ₁ ⁶ , T ₁ ⁷	Arcillas, yesos, areniscas y dolomías	
		T ₁ ⁸	Areniscas y arcillas		
CARB. INFER. DINANT	VISENSE	H ₁ ¹ , H ₁ ²	H ₁ ¹ , H ₁ ²	Conglomerados	
			H ₁ ³ , H ₁ ⁴	Pizarras y areniscas	
			H ₁ ⁵ , H ₁ ⁶	Pizarras y areniscas metamórficas	
ROCAS INTRUSIVAS					
				T ³	Granito



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

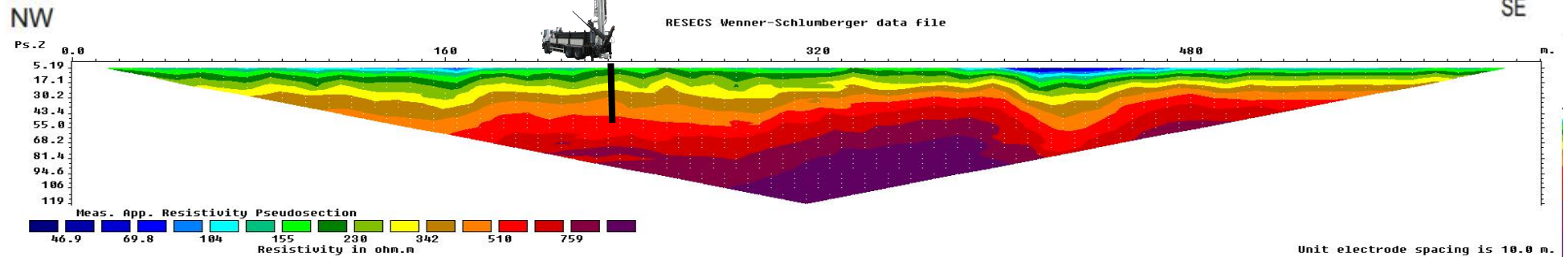
PROYECTO		 Escuela Politécnica Superior de Linares UNIVERSIDAD DE JAÉN
FORMATO	APELLIDOS, NOMBRE:	
FECHA		ESCALA
		Nº DE PLANO



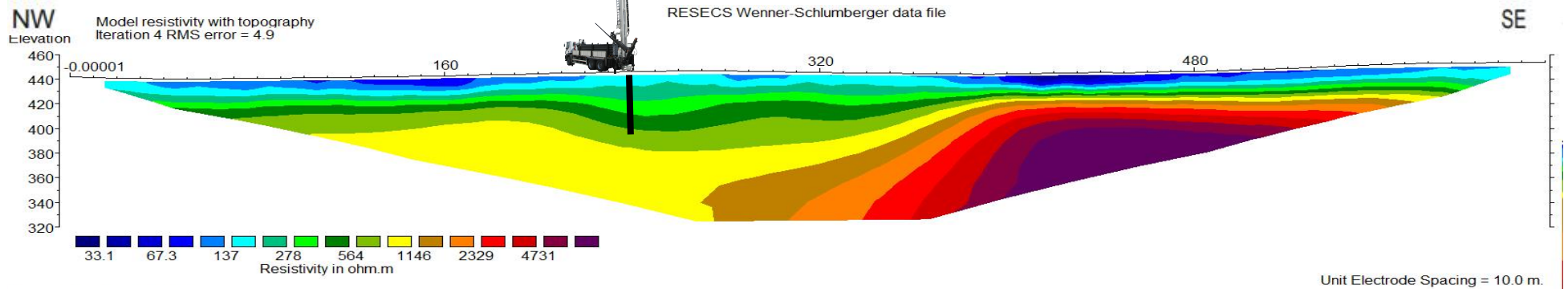
PROYECTO		 <p style="margin: 0;">Escuela Politécnica Superior de Linares</p> <p style="margin: 0; font-size: 1.2em;">UNIVERSIDAD DE JAÉN</p>
FORMATO	APELLIDOS, NOMBRE:	ESCALA
FECHA		Nº DE PLANO

MÉTODO WENNER - SCHLUMBERGER

RESISTIVIDAD APARENTE



RESISTIVIDAD REAL



PROYECTO

Solicitud para la ejecución de un sondeo de captación de aguas subterráneas en finca "Huerta Perdida", Linares (Jaén)



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Escuela Politécnica Superior de Linares

FORMATO

DIN-A4

APELLIDOS, NOMBRE:

Acosta Rodríguez, Rogelio

ESCALA

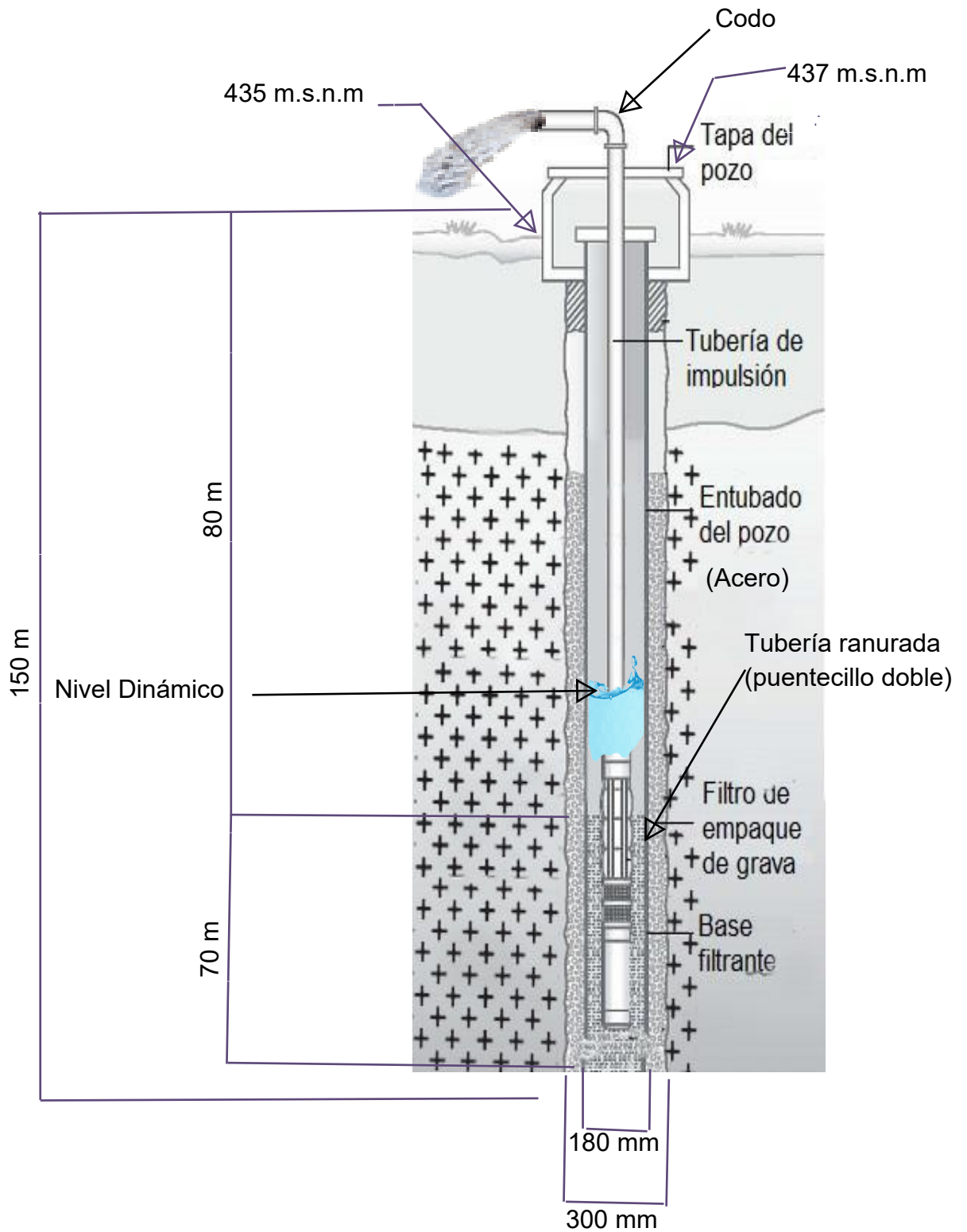
FECHA


Sep-23

Resistividades

Nº DE PLANO

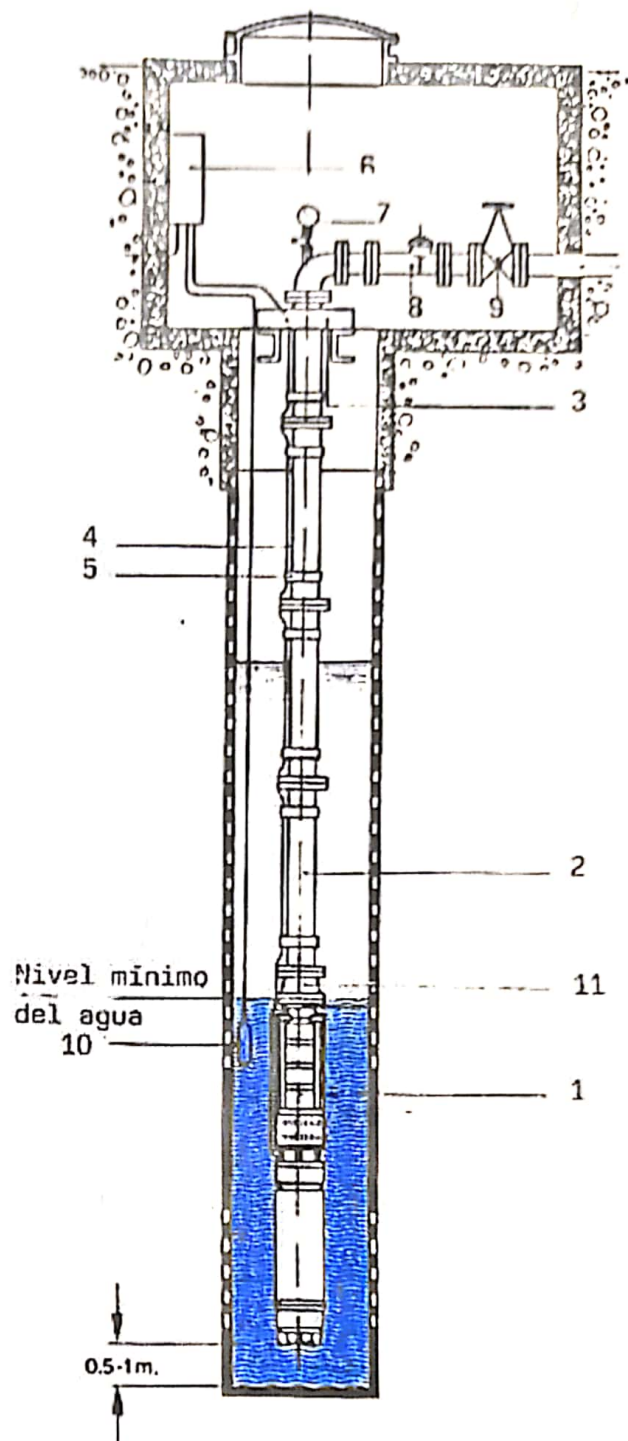
4




PROYECTO		 Escuela Politécnica Superior de Linares UNIVERSIDAD DE JAÉN
FORMATO	APELLIDOS, NOMBRE:	
FECHA		ESCALA
		Nº DE PLANO

LEYENDA

1. Electrobomba
2. Tubería de impulsión
3. Grapas de soporte para fijación de la bomba
4. Cable eléctrico
5. Abrazaderas para sujeción del cable eléctrico
6. Guardamotor o armario eléctrico
7. Manómetro con grifo
8. Contador de agua
9. Válvula de compuerta para regulación del caudal
10. Sonda electrónica para control del nivel de agua
11. Válvula de retención para evitar la descarga de la electrobomba durante paradas



PROYECTO		 Escuela Politécnica Superior de Linares UNIVERSIDAD DE JAÉN
FORMATO	APELLIDOS, NOMBRE:	
FECHA		ESCALA
		Nº DE PLANO